

# Eclairage scientifique

Cycles 1, 2, 3 et 4

## Qu'est-ce que le changement climatique et comment lutter contre ?

### Résumé

Le changement climatique, qu'est-ce que c'est ? Qu'est-ce qui nous attend au XXIème siècle, et quelles en seront les conséquences ? Comment lutter contre le changement climatique ?

Cet éclairage scientifique apporte de manière synthétique des clés de compréhension sur ce phénomène d'ampleur.

# Éclairage scientifique

## Le changement climatique, qu'est-ce que c'est ?

### *Depuis quand l'homme s'y intéresse-t-il ?*

Si, aujourd'hui, il va de soi pour tout le monde que le climat sur la Terre n'est pas immuable, il n'en a pas toujours été ainsi. C'est à Joseph Fourier, mathématicien et physicien français, que l'on doit, au début du XIX<sup>e</sup> siècle, la première théorie scientifique montrant que la température à la surface de notre planète est le fruit d'un équilibre entre des gains d'énergie (que la Terre reçoit du Soleil) et des pertes d'énergie (que la Terre émet et renvoie vers l'espace) et que l'atmosphère joue un rôle clé dans la régulation de cet équilibre. Il évoque même la possibilité que les activités humaines puissent modifier l'atmosphère et ainsi provoquer un réchauffement ou un refroidissement de notre planète.

Un scientifique suédois, Svante Arrhenius remarque à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle que nos civilisations industrialisées sont fondées sur une utilisation massive de combustibles fossiles, entraînant d'importantes émissions de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Il prévoit un doublement de la quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère à relativement brève échéance, et calcule que la température moyenne de notre planète augmentera alors de 4 degrés. Ses travaux lui valent le prix Nobel en 1903.

Notons cependant que, pour Arrhenius, cette perspective de réchauffement global n'est pas catastrophique, bien au contraire : il y voit un moyen d'éviter une prochaine période glaciaire et une solution à l'augmentation galopante de la démographie humaine. Selon lui, un tel réchauffement permettra en effet d'augmenter les rendements agricoles.

Ce n'est qu'à la fin des années 1960 que les conséquences écologiques de la récente et fantastique croissance économique deviennent une préoccupation, à la fois dans le monde scientifique et dans le grand public. Entretemps, la conquête spatiale et la diffusion des premières photos satellites ont profondément transformé notre vision de la Terre : alors qu'on la pensait inaltérable, elle se révèle une petite perle bleue entourée d'une fine enveloppe atmosphérique, isolée au milieu de l'espace froid et sombre – unique, fragile et abritant la seule vie connue. On ne dira jamais assez le bouleversement philosophique provoqué par ces images.



Notre Terre vue de son satellite, la Lune, lors de la mission Apollo 8 en décembre 1968. © NASA

Une conscience écologique globale se met progressivement en place tandis que la communauté scientifique commence à tirer la sonnette d'alarme, notamment en créant le club de Rome en

1968. Pour les militants écologiques les plus extrémistes, le changement climatique apparaît comme une des preuves des méfaits du progrès technique. Ne retenant que les hypothèses les plus pessimistes, ils développent un catastrophisme relayé avec complaisance par les médias. Conséquence : tout en provoquant une prise de conscience globale autour d'un problème bien réel, ils contribuent à le décrédibiliser.

En 1988, la création du GIEC (Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat) par les Nations unies marque un véritable tournant. Les rapports du GIEC, rédigés grâce à une alchimie miraculeuse entre scientifiques et gouvernements de tous les pays, sont considérés comme fiables et objectifs par tous sans exception. Publiés en 1990, 1995, 2001 et 2007, ces rapports sont destinés à fournir aux décideurs l'état des connaissances scientifiques et techniques, permettant d'éclairer les décisions qu'ils ont à prendre pour faire face au risque d'un changement climatique mondial.

Le sommet de Rio (1992) ou « sommet de la Terre » fixe comme objectif aux pays industrialisés de diminuer leurs émissions de gaz à effet de serre pour en stabiliser la concentration dans l'atmosphère. Le protocole de Kyoto, en 1997, va plus loin en imposant à ces mêmes pays une réduction obligatoire de leurs émissions. Il entre en vigueur en 2005, mais n'est ratifié ni par la Chine ni par les États-Unis, les deux pays les plus fortement émetteurs de gaz à effet de serre.

### **Réalité ou fiction ? Quels sont les changements observés depuis un siècle ?**

Depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, on constate un réchauffement rapide et persistant de l'atmosphère, à un rythme et une ampleur jamais observés depuis mille ans (si l'on étudie les cernes de croissance des arbres, des coraux, des sédiments...), ni même depuis 480 000 ans (si l'on étudie les carottages de glace effectués en Antarctique).

La température a augmenté de 0,8°C au cours du XX<sup>e</sup> siècle, alors qu'à l'échelle planétaire, les variations « normales » sont de l'ordre de 0,1°C tous les mille ans et que la tendance naturelle était plutôt au refroidissement ! Les douze dernières années sont les années les plus chaudes

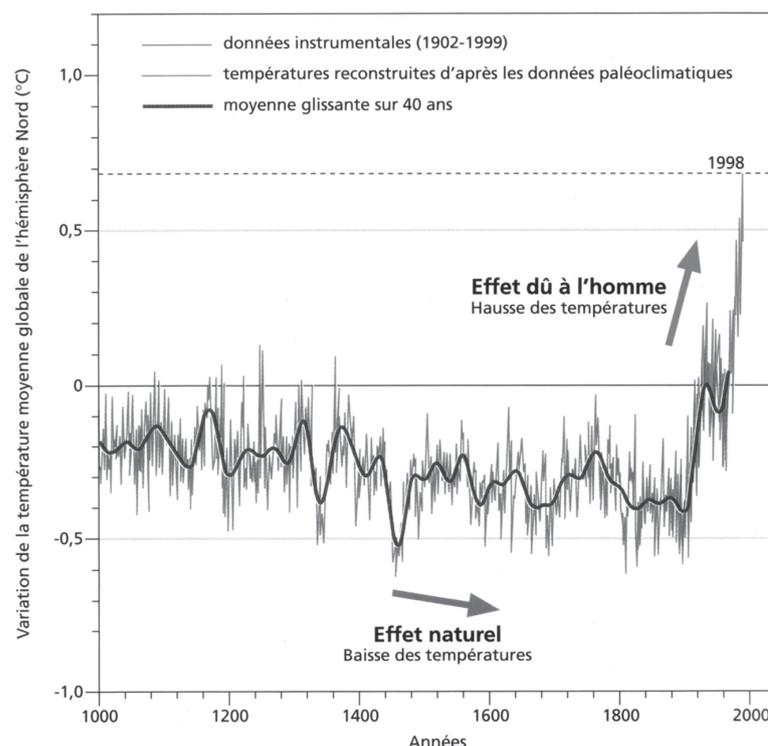


Schéma tiré de René Ducroux et Philippe Jean-Baptiste, *L'Effet de serre – Réalité, conséquences et solutions*, CNRS éditions, 2004.

jamais enregistrées depuis 1850, à une exception près (1996). Le réchauffement n'est pas linéaire, il s'accélère.

Conséquence de ce réchauffement, davantage d'eau s'évapore des océans, ce qui accroît les précipitations à l'échelle globale. Toutefois, les différentes régions du globe sont très différemment affectées par ces modifications : les zones subtropicales, déjà très sèches, constatent une baisse des précipitations de l'ordre de 3% tandis que l'hémisphère Nord enregistre une hausse de 5 à 10%.

Quant à la couverture neigeuse, elle est en constante diminution depuis un siècle et ce phénomène ne fait que s'accélérer. La banquise arctique a perdu plus de 40% de son épaisseur et 20% de sa surface en seulement trente ans. La quasi-totalité des glaciers de montagne ont également régressé au cours du xx<sup>e</sup> siècle.

Pendant cette même période, le niveau des mers s'est élevé d'environ 20 cm, soit vingt fois plus vite qu'au cours des siècles précédents. Cette hausse est une conséquence directe du réchauffement, non seulement en raison de la fonte partielle ou totale des glaciers continentaux, mais aussi parce que l'eau des océans, en se réchauffant, se dilate.

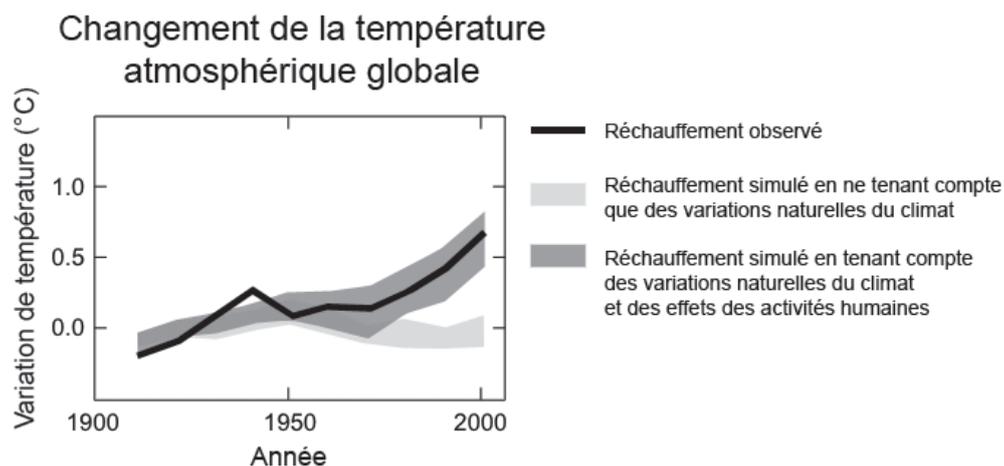
Augmentation de la température et des précipitations, élévation du niveau des mers, diminution de la couverture neigeuse, régression des glaciers et de la banquise, tout cela à une vitesse jamais observée auparavant : le changement climatique est bien une réalité !

### ***L'homme est-il vraiment à l'origine du changement climatique ?***

Cette question, qui est pourtant tranchée au sein de la communauté scientifique depuis des années, continue étonnamment de défrayer la chronique en raison de la complaisance de certains médias pour la polémique. Certaines personnes mal inspirées, heureusement de moins en moins nombreuses, continuent « allègrement » de semer le doute.

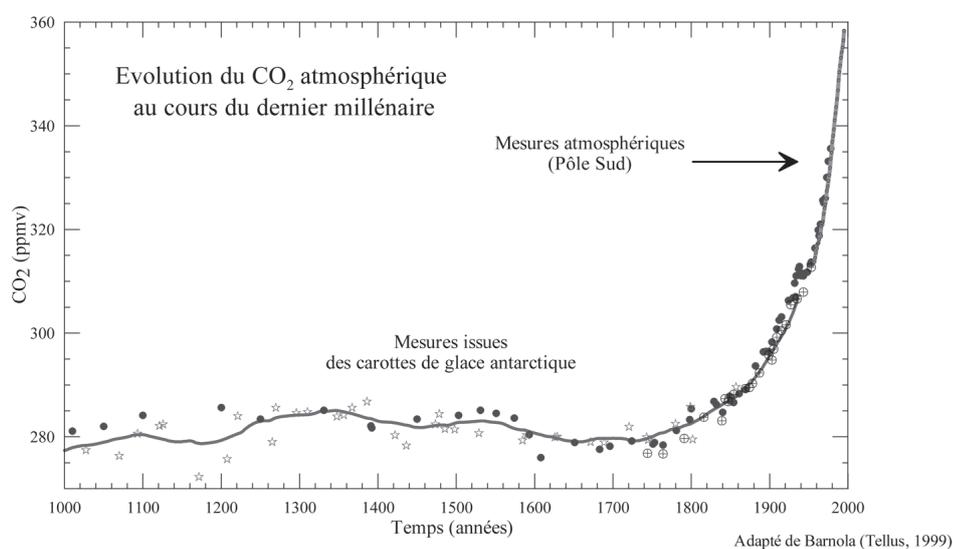
Un rapide coup d'œil au graphique ci-dessous permet pourtant d'en avoir le cœur net. Les variations naturelles (qui existent ! voir la courbe en gris clair) ne peuvent à elles seules expliquer le réchauffement climatique observé (courbe noire), loin s'en faut. En revanche, si l'on prend en compte les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine (courbe en gris foncé), on explique parfaitement le réchauffement observé.

Les variations naturelles sont essentiellement d'origine astronomique. L'orbite de la Terre n'est pas si régulière et stable qu'il y paraît : son ellipse s'aplatit plus ou moins au cours du temps et tourne lentement autour du Soleil. De plus, l'axe de rotation de la Terre est incliné par rapport à son orbite (c'est cette inclinaison qui est à l'origine des saisons) et l'angle ainsi formé n'est pas constant. Toutes ces variations provoquent des changements dans la manière dont le Soleil



éclairer notre planète et se produisent lentement, et régulièrement, sur des périodes de plusieurs dizaines de milliers d'années. Ce sont ces variations qui sont à l'origine des grands cycles glaciaires – interglaciaires, d'une amplitude de 5-6 degrés. Un autre mécanisme naturel est capable de modifier légèrement (quelques dixièmes de degré) la température de notre planète : ce sont les éruptions volcaniques, qui libèrent une grande quantité de poussières. Ces poussières peuvent stagner pendant quelques années dans la haute atmosphère, absorbant une partie de la lumière du Soleil et refroidissant ainsi la surface. Mais cet effet est de très courte durée.

L'effet des activités humaines se fait sentir depuis le début de l'ère industrielle par une augmentation sans précédent de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère : la concentration de gaz carbonique a augmenté de 35 %, celle du méthane de 148 % et celle du protoxyde d'azote de 18 %. Par ailleurs, de nouveaux gaz à effet de serre sont apparus récemment : les gaz fluorés. Ces derniers, en plus de contribuer au réchauffement climatique, détruisent la couche d'ozone qui nous protège des rayons ultraviolets émis par le Soleil.



Évolution observée de la concentration de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> (source : Jean-Marc Barnola, LGGE-CNRS).

L'origine humaine de ces différents gaz à effet de serre ne fait aujourd'hui plus de doute, pas plus que leur impact sur le réchauffement global. L'homme est bien le principal responsable du changement climatique constaté depuis un siècle.

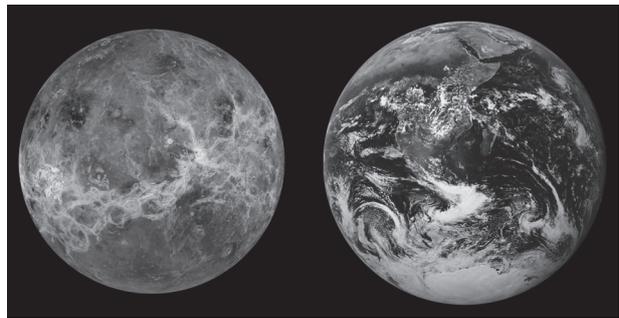
### ***L'effet de serre, comment ça marche ?***

Vénus et la Terre sont deux planètes « jumelles » : de taille, densité et composition chimique similaires, elles gravitent à peu près à la même distance de leur étoile, Vénus étant un peu plus proche du Soleil que la Terre. Pourtant, Vénus est une planète infernale : la température à sa surface peut atteindre 470 °C (ce qui est suffisant pour faire fondre le plomb). À l'origine de cette différence : Vénus possède une atmosphère très dense et composée à 95 % de CO<sub>2</sub>, qui provoque un effet de serre très puissant.

Sur la Terre aussi, l'effet de serre est présent ... mais il est bien plus modéré. Torride sur Vénus, il est en revanche une bénédiction sur notre planète. Sans lui, la température sur la Terre serait 30 °C inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui et la vie ne pourrait pas exister sous la forme que nous connaissons.

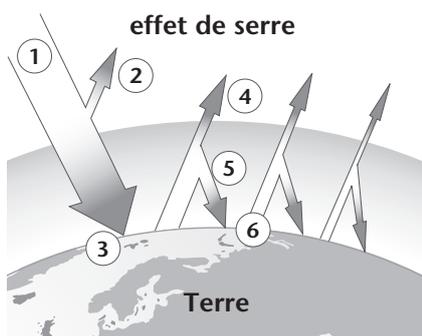
L'origine de ce phénomène tient dans le fait que notre atmosphère n'est pas transparente à tous les rayonnements : elle laisse passer la lumière dite visible (celle qui, décomposée par un

Vénus et la Terre,  
© Lunar and Planetary Institute, NASA.



prisme, révèle les couleurs de l'arc-en-ciel), mais elle absorbe les rayons infrarouges. Le mécanisme de l'effet de serre peut se décomposer ainsi :

- la lumière que nous recevons du Soleil transporte de l'énergie. Une partie est réfléchiée par l'atmosphère, les nuages et le sol et repart vers l'espace ; l'autre est absorbée et convertie en chaleur par la surface terrestre, qui voit donc sa température augmenter ;
- comme tout corps chaud, le sol terrestre émet alors un rayonnement dont la longueur d'onde « dominante » dépend de sa température. Pour une température usuelle (entre 0°C et 100°C), ce rayonnement est essentiellement infrarouge, invisible pour notre œil ;
- en l'absence de gaz à effet de serre, ce rayonnement infrarouge (porteur d'énergie) émis par la surface de la Terre serait envoyé dans l'espace : cette énergie serait perdue. Mais notre atmosphère contient certains gaz (vapeur d'eau, CO<sub>2</sub>, méthane, etc.) qui en absorbent une partie. L'atmosphère, absorbant de l'énergie, se réchauffe... et émet à son tour un rayonnement infrarouge. Ce rayonnement infrarouge « bis » est émis dans toutes les directions : une partie s'échappe vers l'espace et une partie se dirige vers le sol ;
- le sol reçoit donc un surplus d'énergie (infrarouge) et se réchauffe en conséquence. Etant plus chaud, il va émettre davantage d'infrarouges qui seront à nouveaux « captés » par les gaz à effet de serre, et la boucle recommence ;
- cette boucle prend fin quand la température de la surface terrestre est telle que la quantité d'énergie qu'elle reçoit est exactement compensée par la quantité d'énergie qu'elle perd en rayonnant.



1. Lumière venant du Soleil
2. Une partie est réfléchiée vers l'espace.
3. Le sol est chauffé par la lumière « visible » et émet du rayonnement infrarouge.
4. Une partie des infrarouges s'échappe vers l'espace.
5. L'essentiel est absorbé par les gaz à effet de serre. L'atmosphère se réchauffe et ré-émet des infrarouges vers l'espace et le sol.
6. La surface se réchauffe, et émet des infrarouges...

Sur la Terre, le principal gaz à effet de serre est la vapeur d'eau, qui ne doit pas sa présence aux activités humaines mais à l'évaporation de l'eau des océans et des sols. Les régions les plus arides du globe, comme les déserts, affichent des amplitudes thermiques très importantes entre le jour et la nuit. Dans le Sahara, par exemple, il peut faire 45°C dans la journée et -10°C quelques heures plus tard, car l'atmosphère nocturne est si dépourvue de vapeur d'eau que rien n'intercepte les rayons infrarouges émis par la surface : cette énergie est donc perdue et la température chute très rapidement.

À cet effet de serre « naturel » s'ajoute celui causé par les émissions humaines de gaz à effet de serre. L'atmosphère, piégeant plus de lumière infrarouge, se réchauffe car l'équilibre naturel décrit plus haut entre les gains et les pertes d'énergie est rompu. C'est un cercle vicieux car, sous l'effet du réchauffement, l'eau des océans a tendance à s'évaporer davantage, ce qui enrichit l'atmosphère en vapeur d'eau qui, elle-même (en tant que gaz à effet de serre), réchauffe l'atmosphère...

### ***Effet de serre et couche d'ozone : deux problèmes distincts ?***

On confond souvent effet de serre et couche d'ozone, probablement car l'un comme l'autre constituent des préoccupations écologiques majeures depuis la fin du xx<sup>e</sup> siècle.

L'ozone est un gaz naturellement présent dans l'atmosphère qui a la propriété d'absorber les rayons ultraviolets. En ce sens, il constitue un véritable bouclier protecteur contre les UV présents dans la lumière solaire. Ces rayons UV, quand ils nous atteignent, sont à l'origine des coups de soleil, mais aussi de certains cancers de la peau et de cataractes.

Indispensable à toute vie terrestre, l'ozone n'est pourtant présent qu'en très faible quantité dans l'atmosphère : une seule molécule sur 100 000 ! On le trouve essentiellement dans une zone située entre 20 et 30 km d'altitude (qu'on appelle la « couche d'ozone »), alors que l'effet de serre se manifeste surtout dans les basses couches de l'atmosphère.

Les gaz fluorés (surtout les CFC : chlorofluorocarbones), largement utilisés par l'industrie, migrent dans la haute atmosphère et sont à la base de réactions chimiques qui détruisent l'ozone. Le protocole de Montréal de 1987 a réglementé leur utilisation, mais il faudra attendre au moins 2050 avant que la couche d'ozone retrouve son niveau normal.

Augmentation de l'effet de serre et diminution de la couche d'ozone sont donc deux problèmes distincts. Toutefois, il existe des liens entre les deux :

- le réchauffement climatique aggrave le trou de la couche d'ozone, car la formation de l'ozone dépend de la température de la haute atmosphère ;
- les CFC, qui détruisent l'ozone, sont également de puissants gaz à effet de serre.

Notons enfin une dernière similitude entre les deux phénomènes. S'agissant de la couche d'ozone, les pouvoirs politiques ont longtemps été sceptiques face aux alertes des scientifiques et nous avons finalement évité le pire grâce à une collaboration exemplaire entre scientifiques, politiques, industriels et citoyens. Jusqu'à très récemment, le même scepticisme était observé par une partie de la classe politique vis-à-vis du changement climatique. Espérons que, là aussi, nous trouverons une solution in extremis...

### ***Quelles sont les activités humaines qui émettent le plus de gaz à effet de serre ?***

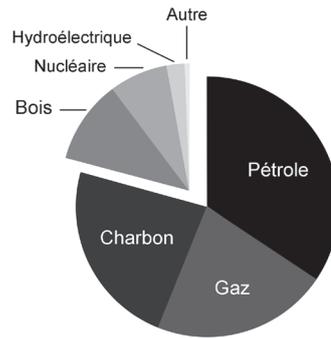
La révolution industrielle a marqué un tournant dans l'histoire de l'humanité en raison des bouleversements scientifiques, technologiques, économiques, politiques, démographiques et sociaux qu'elle a déclenchés.

Depuis, les besoins énergétiques de l'humanité n'ont cessé d'augmenter, tant à cause de la croissance de la population mondiale que du développement économique. Cette énergie est produite actuellement pour 80 % à partir de combustibles fossiles. Conséquence directe : depuis la fin du xix<sup>e</sup> siècle, les concentrations dans l'atmosphère des gaz à effet de serre n'ont cessé de croître.

Les activités humaines sont responsables de l'émission de plusieurs gaz à effet de serre différents :

- la consommation de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) est la première

**Consommation mondiale d'énergie**  
10 milliards de tonnes par an  
en "équivalent pétrole"



Consommation mondiale d'énergie en 2007  
80% de cette énergie provient de combustibles fossiles, émetteurs de gaz à effet de serre.

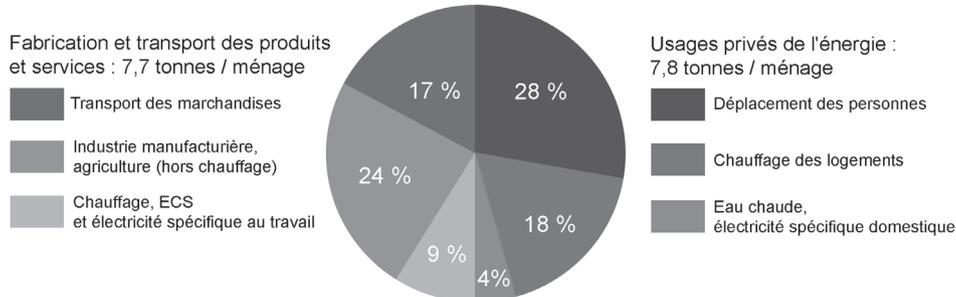
cause de rejet de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, mais ça n'est pas la seule : la déforestation des zones tropicales libère également de grandes quantités de CO<sub>2</sub> ;

- les rejets de méthane (CH<sub>4</sub>) proviennent essentiellement de l'élevage des ruminants, des rizières, des termites... mais aussi de la prolifération des décharges d'ordures ménagères et des fuites dans l'exploitation du gaz naturel ;
- l'agriculture, à travers l'utilisation massive d'engrais azotés et la production d'aliments pour le bétail, est responsable des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), dit aussi « gaz hilarant » ;
- quant aux gaz fluorés, leur production ne cesse de croître : ils sont utilisés par l'industrie comme réfrigérants, solvants, ou gaz propulseurs des bombes aérosols.

Réduire les émissions de gaz à effet de serre nécessite non seulement d'agir sur les transports, l'industrie, l'agriculture mais également sur les comportements individuels. En effet, en France, la moitié des émissions de gaz à effet de serre est d'origine domestique, l'autre moitié étant liée à la fabrication et au transport des produits et services que nous consommons. Un ménage français émet en moyenne 16,4 tonnes de CO<sub>2</sub> par an pour se déplacer, chauffer et alimenter son logement en électricité et en eau chaude.

Deux secteurs sont particulièrement préoccupants : les transports et le bâtiment. L'un comme l'autre ont connu une forte augmentation de leurs émissions de CO<sub>2</sub> ces vingt dernières années. Le parc automobile français compte de plus en plus de véhicules qui parcourent toujours plus de kilomètres, tandis que le parc immobilier souffre d'une mauvaise performance énergétique, d'une augmentation des surfaces à chauffer et d'un accroissement de la consommation d'électricité.

**16,4 tonnes de CO<sub>2</sub> par ménage**



## Qu'est-ce qui nous attend au XXI<sup>e</sup> siècle ?

### Comment connaître l'avenir du climat ? Quels sont les scénarios possibles ?

Prévoir l'évolution du climat pour le XXI<sup>e</sup> siècle nécessite tout d'abord d'évaluer quelles seront les émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, sociologues, démographes, spécialistes de l'énergie et de la géopolitique travaillent ensemble au sein du GIEC à l'élaboration de scénarios d'émissions.

Les scénarios sont regroupés en « familles », chaque famille décrivant un monde futur possible. Par exemple, la famille des scénarios dits A1 fait l'hypothèse d'une croissance économique rapide et d'une population qui continuera d'augmenter jusqu'au milieu du XXI<sup>e</sup> siècle, pour décliner ensuite.

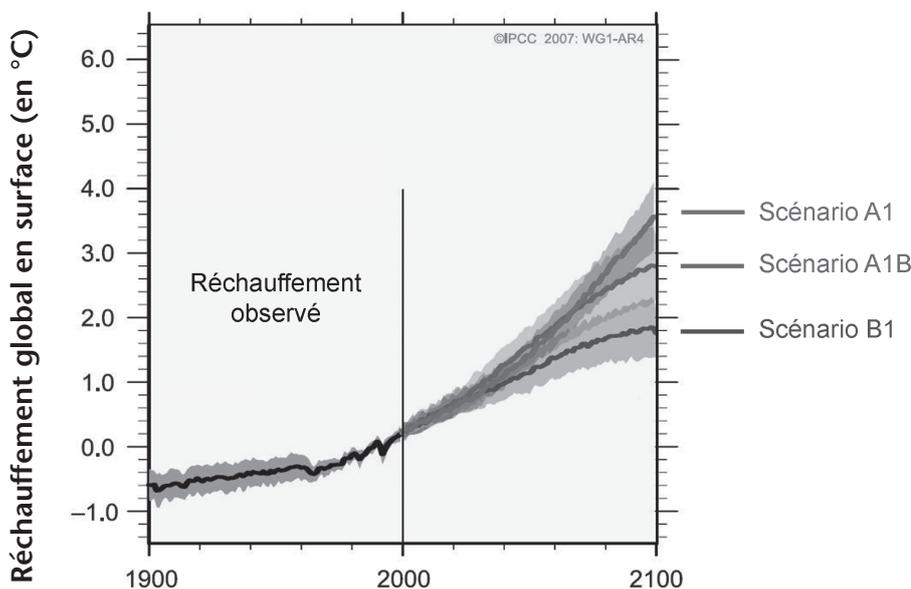
Au sein de cette famille A1, trois tendances sont explorées :

- la première fait l'hypothèse que l'humanité continuera à utiliser de fortes quantités de combustibles fossiles, tant que ceux-ci sont disponibles. C'est le scénario A1FI ;
- la seconde, au contraire, se base sur un recours massif et rapide aux énergies non carbonées (énergies renouvelables, mais aussi nucléaire, qui n'émet pas de gaz à effet de serre). C'est le scénario A1T ;
- la troisième, enfin, explore une situation intermédiaire entre les deux premières. C'est le scénario A1B, dit « équilibré », car les énergies fossiles et renouvelables sont utilisées conjointement. C'est ce scénario qui a été retenu pour les exemples cités dans le projet « Le climat, ma planète... et moi ! » décrit dans ce livre, car il conduit en général à des conclusions « médianes » par rapport aux autres scénarios.

Les autres familles de scénarios (A2, B1, B2) explorent différents types de développement économique et technologique, de croissance ou de déclin démographique, d'adoption ou non de solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale...

Quels que soient les scénarios retenus, la concentration de CO<sub>2</sub> attendue dans l'atmosphère d'ici un siècle sera comprise entre 550 et 1 000 ppm (partie par million). Selon le scénario A1B, cette concentration atteindra environ 700 ppm, soit deux fois et demie la concentration préindustrielle.

La seconde étape, s'agissant de prévoir l'évolution du climat, consiste à modéliser le système climatique pour étudier comment celui-ci se comporte face à une telle augmentation de gaz à



Source : GIEC, 2007.

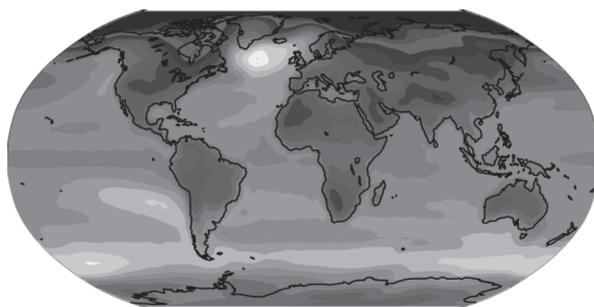
effets de serre. Les modèles numériques des climatologues sont de plus en plus sophistiqués et réalistes. Ils prennent en compte de nombreux phénomènes physiques et chimiques régissant l'état de l'atmosphère, des océans et des surfaces continentales : effets du rayonnement solaire, des aérosols, des nuages et de la pluie, des courants marins, de la glace, de la végétation, etc.

Une vingtaine de modèles mis au point par différents laboratoires dans le monde ont été confrontés par le GIEC pour simuler le climat du  $xxi^e$  siècle, et cela pour chaque scénario. Il en résulte une légère incertitude suivant que l'on utilise les résultats de l'un ou l'autre de ces modèles pour un scénario donné. Le graphique ci-dessus montre que le réchauffement sera compris entre 1 et 6,4 degrés.

### ***Quelle est l'ampleur du changement climatique attendu ?***

Suivant les scénarios ou les modèles utilisés, les scientifiques estiment que la température aura augmenté, d'ici un siècle, de 1 à 6,4 degrés. Une hypothèse médiane, ni optimiste ni pessimiste, est que le climat se réchauffera de 3°C environ.

Sachant que seuls 5-6°C séparent une ère glaciaire d'une ère interglaciaire (c'est-à-dire les périodes les plus froides et les plus chaudes des grands cycles climatiques naturels), et sachant que le passage de l'une à l'autre a toujours, par le passé, bouleversé la géographie du monde, on mesure en quoi le réchauffement annoncé pour le  $xxi^e$  siècle est un phénomène d'importance.



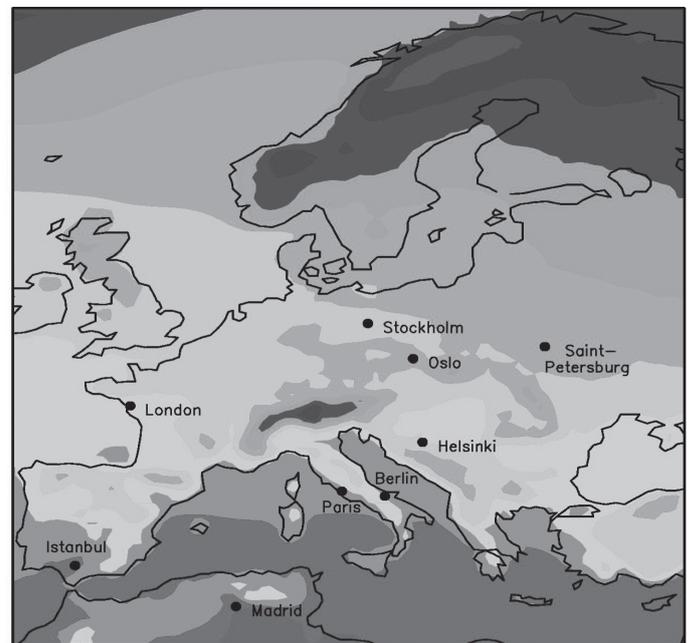
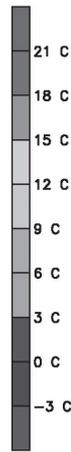
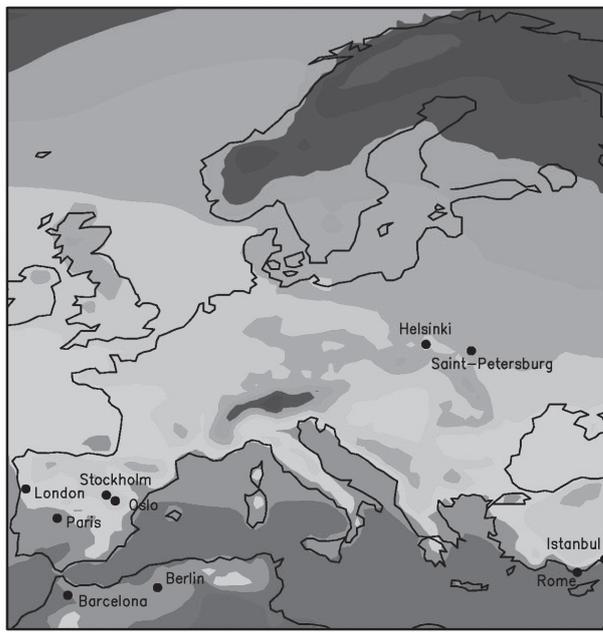
Plus on monte vers le nord, plus le réchauffement est marqué. Source GIEC, 2007.

L'ampleur du réchauffement ne sera pas la même en tout point du globe mais plus forte près du pôle Nord et, d'une façon générale, plus marquée au-dessus des continents qu'au-dessus des océans, qui jouent un rôle régulateur.

Cette disparité se retrouvera également au niveau des précipitations. Si elles augmentent à l'échelle globale, il en ira très différemment selon les régions. En général, la tendance observée tout au long du  $xx^e$  siècle se poursuivra : les régions subtropicales, déjà très sèches, connaîtront un climat encore plus aride. Le pourtour du bassin méditerranéen sera confronté à une sécheresse accrue.

En Europe, chaque degré en plus correspond à une « migration » de 200 km vers le sud. Ainsi le « paysage climatique » de l'Europe du  $xxi^e$  siècle sera-t-il très différent de celui que nous connaissons. Les deux cartes de la page suivante nous montrent à quoi ressemblera le climat de certaines grandes villes d'Europe.

Les glaciers, calottes polaires et banquises seront particulièrement affectés par le réchauffement climatique et verront leur régression s'accroître. Si les glaciers situés dans des climats secs et froids sont à même de résister à un réchauffement modéré, ce n'est pas le cas de ceux qui sont sous influence océanique (climat plus doux et humide). Quant aux glaciers alpins, ceux qui sont situés à moins de 3400 mètres d'altitude sont condamnés. La banquise arctique, dont la fonte s'avère bien plus rapide que ne le prévoyaient les modèles, est amenée à disparaître entièrement,



Déplacement du climat de certaines grandes villes d'Europe d'ici 2100 selon deux modèles différents (à gauche, celui du Centre Hadley, à droite celui de Météo France). Les niveaux de gris indiquent la température moyenne actuelle. Les grandes villes européennes connaîtront un climat plus chaud, correspondant à un déplacement vers le sud de plusieurs centaines de kilomètres.

Par exemple, selon le modèle du centre Hadley, la ville de Paris est mise à la place de Madrid, ce qui signifie que le climat futur de Paris sera similaire au climat actuel de Madrid. Selon le modèle de Météo France, le futur climat de Paris correspond plutôt à celui de Rome (Source : S. Kopf, S. Hallegatte et M. Ha Duong, « L'évolution climatique des villes européennes », *Pour la science*, 2007).

au moins l'été, d'ici quarante ans. Or cette immense surface blanche agit comme un miroir en renvoyant 90% de la lumière du Soleil. Sans elle, l'océan Arctique, beaucoup plus sombre, absorbera cette lumière et se réchauffera en conséquence. La disparition de la banquise va donc accentuer le réchauffement climatique.

Le niveau des mers continuera à monter en raison de la dilatation thermique des océans et, dans une moindre mesure, de la fonte des glaciers et calottes polaires. Les estimations varient beaucoup d'un scénario à l'autre : entre 20 et 80 cm. Cette relative modération est due à la très forte inertie thermique de l'eau, qui met beaucoup de temps à se réchauffer et à se dilater. En conséquence, le niveau des mers continuera de s'élever pendant plusieurs siècles, longtemps après une éventuelle stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub>. Sur le long terme, cette montée devrait dépasser plusieurs mètres.

### ***Quelles en seront les conséquences ?***

Il est difficile de prévoir les conséquences d'un réchauffement de 3 °C et la faculté d'adaptation de nos sociétés tant cette situation est nouvelle : l'Homme, depuis sa sédentarisation et l'invention de l'agriculture, n'a jamais été confronté à un tel changement climatique.

La canicule de l'été 2003 nous a montré que notre société ne savait pas comment réagir face à un événement climatique nouveau. Rien qu'en France, elle a causé la mort de 15 000 personnes alors que la température moyenne de l'été 2003 n'était supérieure à la normale que de 4 °C ! Ces quatre « petits » degrés ont fait toute la différence et nous ont montré que nos infrastructures, notre architecture, nos équipements et même notre environnement naturel n'étaient pas préparés à un tel changement. Il est fort probable que la canicule de 2003 représentera un été moyen à la fin du siècle.

Le déclin des glaciers et de la couverture neigeuse réduira de façon importante l'approvisionnement en eau douce de nombreux pays. Un être humain sur six dépend de l'eau de

fonte estivale des glaciers. Comment ces populations s’approvisionneront-elles lorsque ces glaciers auront, en partie ou totalement, disparu ? Les régions sèches des latitudes moyennes et tropicales arides, qui souffrent déjà du manque d’eau, connaîtront des sécheresses plus importantes... mais aussi, bien que cela paraisse paradoxal, des inondations. En effet, le réchauffement accroît sensiblement la fréquence et l’intensité de certains événements météo extrêmes, comme les canicules, incendies et sécheresses, mais aussi les très fortes pluies.

La dépendance vis-à-vis de l’eau sera beaucoup plus forte qu’aujourd’hui et entraînera d’importants déplacements de populations. La perturbation du cycle de l’eau, associée à la déforestation et aux incendies de forêts, augmentera le nombre des terres menacées de désertification.

Si le réchauffement est limité à 3°C, l’agriculture des régions de moyennes et hautes latitudes se verra favorisée et les rendements améliorés. Au-delà de 3°C, le stress hydrique des plantes (c’est-à-dire les dégâts causés par le manque d’eau), renforcé par l’évaporation de l’eau des sols, sera trop important, et les rendements chuteront. Aux latitudes plus basses en revanche (entre les tropiques notamment), les rendements agricoles diminueront, même pour une faible augmentation de la température, ce qui augmentera le risque de famine.

Les populations vivant près des côtes, toujours plus nombreuses, seront menacées par les inondations dues à l’élévation du niveau des mers, risque encore aggravé dans les régions subissant des tempêtes tropicales. À la fin du siècle, plusieurs millions de personnes seront inondées chaque année, essentiellement dans les grands deltas d’Asie et d’Afrique. Les petites îles, comme l’archipel Tuvalu dans le Pacifique, sont déjà menacées de submersion.



La santé de millions de personnes sera affectée par le changement climatique, et plus particulièrement par :

- la prolifération de maladies infectieuses : la baisse de la qualité de l’eau favorisera la prolifération de certaines bactéries, comme le choléra. L’absence de gel hivernal empêchera que les larves de moustiques soient tuées par le froid et l’augmentation des températures étendra les zones d’habitation des moustiques. Conséquence : les cas de paludisme, de dengue et de malaria seront plus fréquents ;

- l’accroissement de la malnutrition : causée par la baisse des rendements agricoles et les pénuries en eau, la malnutrition affectera la croissance et le développement des enfants des pays touchés ;

- l’augmentation de la fréquence et de l’intensité des vagues de chaleur : en France, actuellement, la mortalité est plus élevée en hiver qu’en été. Avec une augmentation de la température de 2°C, la mortalité hivernale diminuera et la mortalité estivale augmentera (principalement par un accroissement des maladies cardiaques et des accidents vasculaires cérébraux), le bilan global restant le même. En revanche, si le réchauffement atteint ou dépasse 3°C, le bilan global sera une hausse de la mortalité ou, dit autrement, une baisse de l’espérance de vie en France.

Famines, sécheresses, inondations, maladies infectieuses : certaines régions du globe, déjà défavorisées, seront particulièrement touchées par le changement climatique.

Photo Jean-Luc Maeght © IRD

L'ensemble de ces difficultés conduira inévitablement à d'importants déplacements de populations, qu'il s'agisse d'éviter les famines, les épidémies ou la montée des eaux. Ces millions de réfugiés et l'accès de plus en plus difficile à l'eau créeront des tensions entre les États. Par ailleurs, les réserves en combustibles fossiles s'épuisent : si la croissance de la population et de la consommation d'énergie se poursuit au rythme actuel, les réserves connues de pétrole et de gaz seront épuisées en 2050 et les réserves supposées en 2090. Les ressources en charbon, plus abondantes, perdureront encore un ou deux siècles. La raréfaction et l'augmentation des coûts du pétrole, du charbon et du gaz naturel laissent craindre de nouveaux conflits.

Le changement climatique et l'ordre mondial sont intimement liés, comme le montre l'attribution en 2007 du prix Nobel de la paix à Al Gore et au GIEC.

L'Homme n'est pas le seul à pâtir du réchauffement global. Si la température moyenne mondiale augmente de plus de 2 degrés, ce qui est très probable, de nombreuses espèces animales et végétales connaîtront un risque d'extinction. Outre l'ampleur du changement climatique lui-même, c'est surtout sa rapidité qui met la biodiversité en danger. Une espèce n'a en effet pas beaucoup d'alternatives pour répondre à une modification de son environnement : elle peut s'adapter ou migrer, faute de quoi elle est condamnée à disparaître. Mais les migrations et les adaptations prennent du temps... et la rapidité du réchauffement est telle que beaucoup d'espèces ne pourront pas répondre à ce changement.

L'accroissement des températures dérègle certains rythmes biologiques saisonniers, comme la floraison, l'arrivée des oiseaux migrateurs, le déclenchement de la période de reproduction, etc. Ces décalages modifient les écosystèmes en perturbant par exemple les relations proie - prédateur. Certaines espèces peuvent en tirer des avantages, d'autres être défavorisées.

Le réchauffement force de nombreuses espèces à migrer vers les hautes latitudes... ou en altitude : certaines, bien intégrées à leur écosystème d'origine, deviennent invasives quelques centaines de kilomètres plus loin, ou quelques centaines de mètres plus haut, et mettent alors en péril les autres espèces locales.

La vie marine n'est pas non plus à l'abri : l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère accroît l'acidité des pluies et des océans. Les récifs coralliens et de nombreuses espèces marines sont très sensibles à cette acidification : le blanchiment des coraux et la montée des eaux mettent en péril ces milieux abritant une exceptionnelle biodiversité.

Malheureusement, le changement climatique s'ajoute à une longue liste de pressions écologiques d'origine humaine : déforestation, intensification agricole, fragmentation des habitats, pollution... D'ici 2050, un cinquième des espèces animales et végétales connues pourraient disparaître !



Récif corallien mort. © Gefcoral



Récif corallien vivant, abritant une importante biodiversité  
© Richard Ling, 2004

## Comment lutter contre le changement climatique ?

### *Peut-on arrêter le réchauffement en cours ?*

Le système climatique possède une inertie importante, due en partie à la longue durée de vie des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Même si l'on arrêta toutes les émissions demain, il faudrait attendre quelques siècles avant que la concentration de ces gaz à effet de serre ne se stabilise et, une fois cette stabilisation atteinte, il faudrait attendre encore plus d'un siècle avant que la température ne cesse d'augmenter. Le réchauffement se poursuivra donc pendant plusieurs centaines d'années quoi qu'il arrive.

L'inertie des océans est encore plus grande : même si les prévisions pour le siècle prochain se limitent à une élévation du niveau des mers de quelques dizaines de centimètres, celle-ci se poursuivra pendant plusieurs millénaires et atteindra à terme plusieurs mètres, la fonte des calottes polaires prenant le pas sur la dilatation thermique de l'eau.

Il est donc trop tard pour stopper le changement climatique. Tout au plus pouvons-nous essayer de le limiter. Au-delà d'une augmentation de 2°C, les risques pour les populations et les écosystèmes augmentent considérablement. L'objectif est donc de contenir le réchauffement en dessous de 2 degrés. Pour cela, il faut agir dès maintenant.

### *Pourquoi ne pas attendre avant de prendre des mesures ?*

Le climat est un système complexe où interviennent de nombreux phénomènes physiques, chimiques et même biologiques. En raison de certains effets encore mal connus, les modèles climatiques sont perfectibles. Faut-il, pour autant, attendre d'en savoir plus avant d'agir ?

Non.

Même s'il est trop tard pour empêcher le changement climatique, il est encore temps de le contenir en dessous de 2°C... mais le temps presse ! Il faut pour cela réduire rapidement les émissions de gaz à effet de serre pour que leur concentration dans l'atmosphère se stabilise, puis diminue.

D'un point de vue économique aussi, il est préférable d'agir dès maintenant... et ce en raison de l'incertitude même des modèles scientifiques. Il se peut que l'on s'aperçoive, dans dix ans, que nos prévisions actuelles étaient trop optimistes. Or, les équipements (logements, moyens de transport, centrales électriques...) construits aujourd'hui serviront plusieurs dizaines d'années. S'ils ont été construits sans souci de limitation des émissions de gaz à effet de serre, ils devront alors être démolis et reconstruits, ce qui représentera un coût considérable. Au contraire, si l'on s'apercevait dans dix ans que, par chance, nos prévisions actuelles étaient trop pessimistes, on pourrait garder les équipements que l'on aurait construits. Ces équipements seraient rentabilisés car économes en énergie.

### *Qu'est-ce que le « facteur 4 » ?*

Limiter le réchauffement climatique à une élévation de la température de 2°C nécessite de diviser par deux les émissions globales de gaz à effet de serre d'ici 2050, pour atteindre environ 1,8 tonne de CO<sub>2</sub> par habitant. Or, ces émissions sont très inégalement réparties : les pays industrialisés, qui ne représentent que 20% de la population mondiale, en émettent la moitié : un Américain émet 20 tonnes de CO<sub>2</sub> / an, et un Français 7 tonnes ; tandis qu'un Chinois n'en émet « que » 2,5 tonnes... Or, les émissions des pays en développement ne peuvent que croître dans les prochaines années en raison de leur industrialisation qui entraîne une augmentation effrénée de leur consommation énergétique.

Cela implique que les pays développés doivent au moins diviser par quatre leurs émissions de gaz à effet de serre en moins de cinquante ans.

### **Comment relever le défi ?**

Ce « facteur 4 », dont la France a fait son objectif, est un véritable défi, qui ne peut être relevé qu'en mobilisant tous les acteurs politiques, économiques, industriels, ainsi que les citoyens.

L'action des ménages est en effet déterminante, puisque la moitié des émissions de CO<sub>2</sub> est d'origine domestique.

Trois approches complémentaires sont nécessaires, aucune ne se suffisant à elle seule :

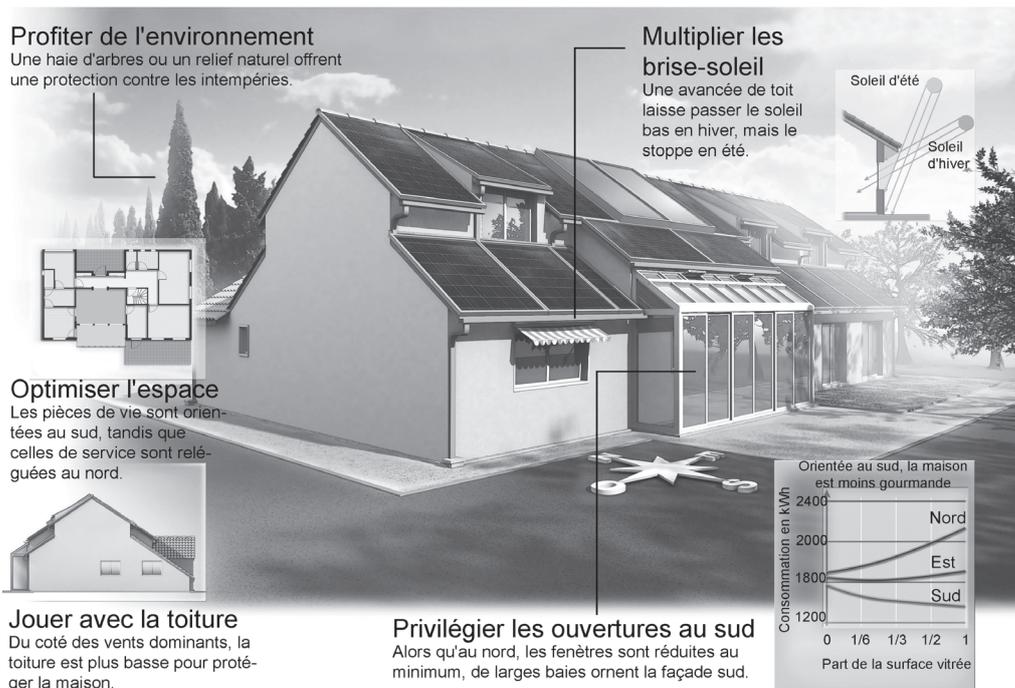
- diminuer les dépenses énergétiques en évitant le gaspillage ;
- promouvoir les équipements économes en énergie ;
- augmenter le recours aux énergies sans émission de gaz à effet de serre.

Éviter le gaspillage commence par une utilisation raisonnée de la voiture : en France, un déplacement automobile sur deux fait moins de 3 kilomètres. Est-il vraiment nécessaire de prendre la voiture pour de si petites distances ? Bien souvent, la marche à pied et le vélo, par ailleurs bons pour la santé, permettent de gagner du temps. Pour des trajets plus importants, les transports en commun sont d'une efficacité énergétique bien supérieure à l'automobile si l'on rapporte les émissions de gaz à effet de serre à la quantité de personnes transportées. Quand la voiture est indispensable, les ménages peuvent s'orienter vers les véhicules les moins polluants : un 4x4, par exemple, consomme 33 % d'énergie en plus qu'une voiture classique. Les voitures hybrides, qui combinent un petit moteur à essence avec un moteur électrique alimenté par une batterie, émettent peu de gaz à effet de serre. Leur coût, encore élevé aujourd'hui, baisse rapidement à mesure que la production augmente. Enfin, si l'avion est nécessaire aux longues distances, il n'est pas indispensable aux trajets de quelques centaines de kilomètres. Pour une liaison Paris - Marseille, par exemple, un voyageur émet 300 kg de CO<sub>2</sub> en avion, contre 160 kg en voiture... et seulement 2 kg en train !

La maison constitue également un enjeu énergétique de premier plan. Le chauffage domestique représente près de un cinquième des émissions de gaz à effet de serre en France. Limiter la température intérieure à 19°C en hiver est largement suffisant, et meilleur pour la santé que vivre dans un logement surchauffé. Chaque degré en moins permet d'économiser 10 % d'énergie en chauffage. L'isolation des murs, plafonds et toitures, ainsi que les doubles vitrages permettent de réduire encore cette facture énergétique de 30 %.

La production d'eau chaude sanitaire occupe la seconde place dans le palmarès des émissions domestiques de CO<sub>2</sub>, derrière le chauffage. Les solutions ne manquent pourtant pas, qui permettent de réduire à la fois la consommation d'eau et celle d'énergie : prendre des douches plutôt que des bains, limiter la température de l'eau chaude, couvrir les casseroles lors de la cuisson, préférer le lave-vaisselle (s'il est économe et s'il fonctionne à plein) au lavage à la main... et, bien sûr, installer un chauffe-eau solaire qui permet de couvrir plus de la moitié des besoins en eau chaude sans émettre de CO<sub>2</sub>.

On sait concevoir aujourd'hui des maisons dites « bioclimatiques » particulièrement économes. Très bien isolées, orientées au sud, possédant une ventilation performante, ces habitations ne requièrent que 50 kWh par mètre carré et par an pour le chauffage, contre 230 kWh pour une maison classique. La consommation énergétique est alors suffisamment faible pour pouvoir être prise en charge par des dispositifs alternatifs : capteurs solaires, éolienne, géothermie, etc., qui n'émettent pas de gaz à effet de serre. Certains logements, dits « à énergie positive », vont même jusqu'à produire plus d'énergie qu'ils n'en consomment ! Leurs propriétaires revendent



Les principes de l'architecture bioclimatique. © Christophe Martin / *Science & Vie*, Hors-série n° 241

alors le surplus d'énergie à EDF à un tarif très attractif, ce qui leur permet de rentabiliser leur installation en quelques années seulement.

Des « éco-quartiers » commencent à fleurir en France et en Europe. Bien plus qu'un simple regroupement d'habitations à énergie positive, ils sont le fruit d'une réflexion profonde de l'urbanisme. L'étalement urbain, consommateur d'espace, allonge les distances et oblige les habitants à des déplacements quotidiens, qu'il s'agisse d'aller travailler, de faire ses courses ou de pratiquer des activités de loisir. Les éco-quartiers sont denses, favorisent les modes de déplacements « doux » – marche, vélo, transports en commun –, et offrent tous les services et infrastructures de base – écoles, commerces, bureaux, installations sportives, espaces verts...

---

## Auteurs

David WILGENBUS, Nathalie BOIS-MASSON, Alain CHOMAT

**Cette ressource a été produite avec le soutien des éditions Le Pommier**

## Date de publication

2008

## Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



*Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.*

## Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75 006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

Site : [www.fondation-lamap.org](http://www.fondation-lamap.org)

