

UNIVERSITE DE NANTES
FACULTE DE PHARMACIE

ANNEE 2005

N°67

THESE

Pour le

DIPLÔME D'ETAT

DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Par

HURTAUD Adeline

Présentée et soutenue publiquement le 7 novembre 2005

**CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DE L'EFFET
DE SERRE**

Président : Mme Anne ALLIOT, Maître de Conférence de Parasitologie

Membres du Jury : Mlle Claire METAYER, Maître de Conférence de Chimie Analytique

Mme Sylvie HAMELIN, Pharmacien d'officine

SOMMAIRE

<u>INTRODUCTION</u>	4
 <u>Première partie : Généralités</u>	5
I- Historique de la découverte de l'effet de serre	6
II- Le climat de la planète au cours du temps	10
III- Qu'est ce que l'effet de serre	13
IV- Les gaz à effet de serre	16
 <u>Deuxième partie : Les impacts du changement climatique</u>	26
I- Variations observées de la température	27
II- La modélisation numérique du futur climat	28
III- Les impacts du réchauffement climatique	32
 <u>Troisième partie : Les mesures internationales et nationales et les solutions pour limiter les émissions de gaz à effet de serre</u>	48
I- Qui est responsable des émissions de gaz à effet de serre ?	49
II- Les différents secteurs responsables des émissions de gaz à effet de serre	50
III- Les décisions et négociations internationales	54
IV- Comment réduire l'effet de serre ?	60
 <u>CONCLUSION</u>	68
 Table des matières	70
Annexe 1 : Définitions	74
Annexe 2 : Présentation et organisation du GIEC	75
Annexe 3 : Les pays de l'annexe B du protocole de Kyoto et les engagements concernant les émissions	76
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	78

INTRODUCTION

Personne aujourd'hui ne peut passer à côté du problème de l'effet de serre. Que ce soit dans les journaux, à la télévision, en politique, ce sujet fait débat. L'augmentation dans l'atmosphère des gaz responsables du réchauffement de la planète par effet de serre inquiète. En effet les scientifiques tirent la sonnette d'alarme, il est temps de faire le point sur nos habitudes de vie et nos habitudes de consommation en matière d'économie d'énergie.

Nous allons définir ce qu'est l'effet de serre afin de mieux comprendre le phénomène qui, à l'origine, est bénéfique et indispensable. Ensuite nous traiterons des impacts déjà constatés et des conséquences futures du réchauffement sur notre planète. Enfin nous étudierons les décisions internationales et les solutions qui s'offrent à nous pour résoudre ce problème qui commence tout juste à être pris au sérieux.

1^{ère} partie :

Généralités

I- Historique de la découverte de l'effet de serre (1)(2)(3)

1) Les travaux de Horace Bénédict de SAUSSURE (1740-1799) et de Joseph FOURIER (1768-1830).

Le savant genevois de Saussure est à l'origine de l'analogie entre le vitrage d'une serre et l'enveloppe atmosphérique du globe.

Afin de montrer l'effet de l'énergie solaire sur l'air en fonction de l'altitude, il avait construit un dispositif expérimental constitué de cinq caisses de verre emboîtées les unes dans les autres et équipées de thermomètres.

L'objectif était de montrer l'effet du rayonnement solaire sur la température de l'air contenu dans les boîtes transparentes. Il expérimente ce dispositif sur les cimes des montagnes et dans les vallées.

En 1827, le physicien Fourier publie *Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires*. Il place le problème de la température de la Terre dans un contexte cosmologique. « *La Terre est ainsi plongée dans la température du ciel planétaire mais elle est échauffée par les rayons solaires dont l'inégale distribution produit la diversité des climats. Tous les effets terrestres de la chaleur du Soleil sont modifiés par l'interposition de l'atmosphère et la présence de l'océan. Les grands mouvements de ces fluides rendent la distribution des températures plus uniforme* ».

Il décrit l'expérience de H.B. de Saussure qui permettait de comparer l'effet solaire sur une montagne élevée à celui dans une plaine. Comparant la Terre avec son enveloppe atmosphérique à la boîte vitrée de M. de Saussure, il conclut que « *la température (du sol) est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur (rayonnement solaire) trouve moins d'obstacles pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure (rayonnement infrarouge tellurique)* ». Il manque alors à identifier les gaz responsables de la plus grande transparence de l'atmosphère au rayonnement solaire par rapport aux radiations infrarouges émises par la surface de la Terre.

2) Les travaux de John TINDALL en 1860

Tyndall associe les observations et réflexions de Saussure et Fourier sur la transmission atmosphérique de la chaleur solaire et terrestre avec l'analyse des propriétés optiques et radiatives des gaz et des vapeurs.

Il publie en 1861 une importante étude sur la théorie de l'effet de serre et comme Pouillet, disciple de Fourier et auteur d'une étude importante à l'Académie des Sciences sur la constante solaire, il conclut que cet effet est dû essentiellement à la vapeur d'eau. Selon lui, toute variation de la quantité de vapeur d'eau, comme de CO₂, devait se traduire par un changement climatique.

Un léger changement dans les constituants variables de l'atmosphère suffit pour que se modifie la quantité de chaleur retenue à la surface de la Terre enveloppée par la couverture d'air atmosphérique.

Il rassemblera ses contributions dans ce domaine dans son livre "Contributions to Molecular Physics in the Domain of Radiant Heat" (London, 1872).

Au cours du XIX^{ème} siècle, la physique expérimentale démontra que tout corps (y compris la Terre) émet un rayonnement et que les pertes vers l'extérieur sont régies par l'absorption du rayonnement infrarouge dans l'atmosphère. L'analogie entre une couverture chauffante et l'atmosphère s'ajoute à la métaphore de la serre.

3) Les travaux de Svante ARRHENIUS (au tournant du XIX et du XX^{ème} siècle)

Le savant suédois Arrhénius (1859-1927), prix Nobel en 1903 avait noté que la civilisation industrielle était fondée sur une large utilisation des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) et que ces combustions entraîneraient l'émission de gaz carbonique. En 1896, il soutint qu'un doublement de quantité de dioxyde de carbone dans l'air se traduirait par une hausse des températures de 5 à 6°C, soit une valeur très proche du résultat observé.

4) A partir de 1957 (1)(4)(19)(21)

Au cours de l'Année géophysique internationale, en 1957-1958, des études sur les paléoclimats sont lancées. L'étude de carottage des glaces de l'Antarctique et la mesure systématique de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère commencent alors.

A l'observatoire de Mauna Loa dans la grande île d'Hawaï, au centre du Pacifique nord, le géochimiste Charles David Keeling observe d'une manière exemplaire les variations saisonnières et l'augmentation annuelle moyenne du CO₂ dans l'atmosphère. L'altitude et sa situation au milieu du Pacifique font de ce site un point idéal pour étudier l'évolution du taux de CO₂. Au bout de quelques années d'études, le résultat est clair : le CO₂ atmosphérique suit une courbe ascendante dite de Keeling.

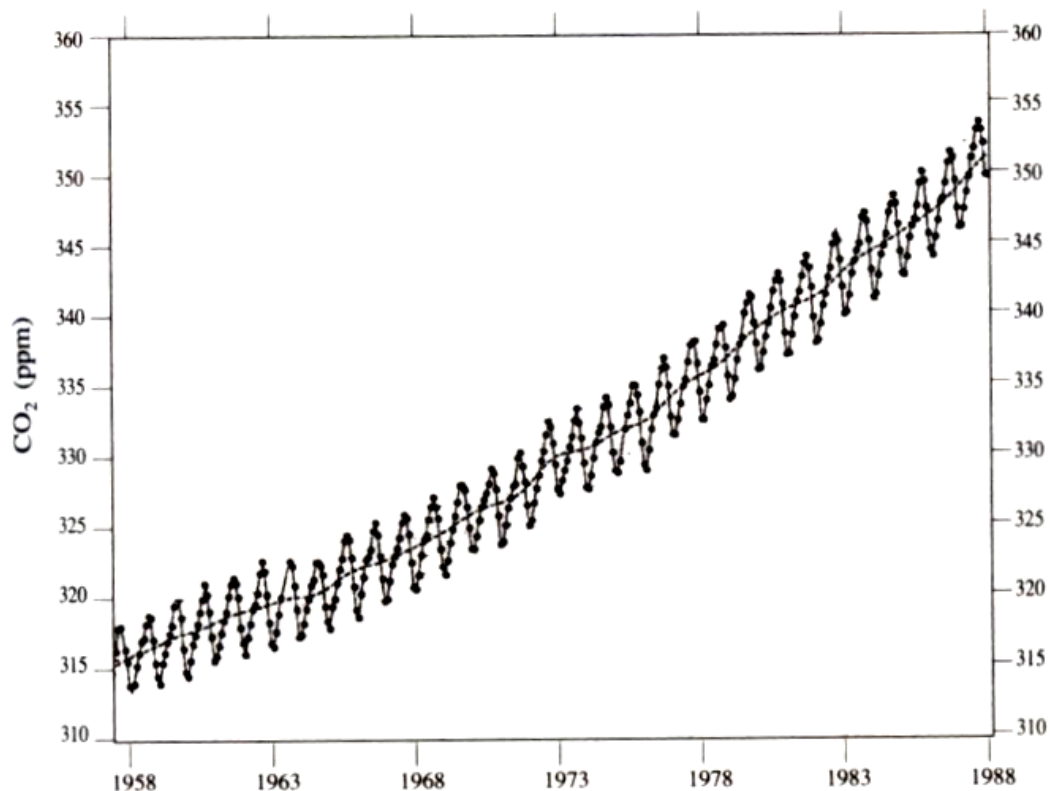


Figure 1 : Evolution de la concentration du gaz carbonique dans l'air, d'après les mesures de l'observatoire du Mauna Loa, Hawaï en ppm (parties par million).

L'oscillation annuelle est due principalement à l'absorption du gaz carbonique par la végétation pendant le printemps et l'été de l'hémisphère nord.

La "théorie climatique du gaz carbonique" commence à être prise au sérieux, un siècle après les travaux de Tyndall.

On s'interroge alors sur l'impact du développement industriel sur la composition en constituants radiativement actifs de l'atmosphère et sur les mutations du climat que les recherches géologiques ont révélées.

En 1979, se tient à Genève la première conférence mondiale sur le climat. On y traite les questions scientifiques du renforcement anthropique de l'effet de serre et de ses conséquences sur la santé, l'agriculture, l'économie.

En 1988 le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, le GIEC (cf. annexe 2) est créé. Sa mission est de préparer un rapport sur la science du climat, sur les impacts probables d'un réchauffement et sur les stratégies possibles pour atténuer ces changements ou s'y adapter.

En 1992, est signée à Rio la convention-cadre sur les changements climatiques. Les pays développés s'engagent à stabiliser leurs émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990.

En 1995, le deuxième rapport du GIEC prévoit un réchauffement moyen de 1°C à 3,5°C d'ici à 2100 et une élévation du niveau de la mer de 15 à 95 cm.

En décembre 1997 a lieu la conférence de Kyoto. L'accord obtenu dit « Protocole de Kyoto », engage tous les pays à lutter contre le changement climatique. Il comporte des engagements chiffrés : une réduction globale de 5,2% des émissions de gaz à effet de serre en 2008-2012 par rapport au niveau de 1990.

En 2001, les experts du GIEC rendent public à Genève leur rapport aux « décideurs ». Ce dernier indique que la température moyenne du globe a augmenté de 0,6°C depuis 1861 soit 0,15°C de plus que ne prévoyait le rapport de 1995. Le niveau des mers s'est élevé de 10 à 20 cm pendant le XX^{ème} siècle. Enfin les experts prévoient qu'à l'horizon 2100 la température moyenne du globe pourrait augmenter de 1,4 à 5,8°C et le niveau des mers de 9 à 88 cm !

Après 1998 et 2002, l'année 2003 est la plus chaude jamais enregistrée. L'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) estime à 21000 le nombre de décès liés à la canicule de l'été en Europe !

Enfin, le 16 février 2005, le protocole de Kyoto entre en vigueur. C'est la ratification, 90 jours plus tôt, par la Russie qui a déclenché cet ultime compte à rebours. Il aura fallu attendre 7 ans pour que cet accord s'impose légalement aux 141 pays signataires !

II- le climat de la planète au cours du temps

1) Définition du climat (7)

Le climat est défini comme la moyenne, sur une période suffisamment longue, du temps qu'il fait chaque jour, caractérisé par tout un ensemble de paramètres : température de l'air, vitesse et direction du vent, nébulosité, pluie et évaporation.

A cause de la forte variabilité que l'on observe d'un an sur l'autre, les climatologues considèrent qu'une durée de trente ans est nécessaire pour établir une référence climatique valable dans une région donnée. L'Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M) a recommandé le choix des années 1931 – 1960 comme « période normale ».

2) Les variations observées du climat (8)(9)(20)(22)

Chacun sait que le climat de la terre a connu d'importantes variations dans le passé (informations obtenues grâce aux archives que constituent entre autres les glaces polaires ou les sédiments amassés au fond des lacs et des océans).

Notre planète est vieille de 4,56 milliards d'années et les premières formes de vie sont apparues il y a environ 3,8 milliards d'années.

- Pendant les deux ou trois premiers milliards d'années, les géologues estiment que la température de la terre n'a presque jamais été assez basse pour que surviennent les glaciations. L'atmosphère était en effet riche du gaz carbonique exhalé par la croûte terrestre et saturée de la vapeur d'eau des océans omniprésents.

- Puis il semble que ce soient produites à quatre ou cinq reprises, au cours du Précambrien (entre -700 et -600 millions d'années), des glaciations majeures, qualifiées de « Terre boule de neige », des épisodes au cours desquels les glaces couvraient jusqu'aux zones tropicales. Le dégazage de gaz carbonique par les volcans aurait permis, à chaque fois, un réchauffement par effet de serre et la fonte des glaces.

- A l'ère primaire, à part une glaciation majeure il y a environ trois cents millions d'années, le climat est généralement chaud. Il n'y a pas de calottes glaciaires et le niveau des mers est plus élevé de 300 à 400 mètres par rapport au niveau actuel. Il faut noter qu'à cette

époque, il n'y avait qu'un seul continent : la Pangée, qui s'est ensuite disloquée pour former les continents actuels. La formation de calottes polaires semble être liée à une disposition particulière des continents.

- La période chaude et humide qui s'étend depuis le Trias (225 millions d'années) correspond à la période de formation des réserves fossiles de charbon, de pétrole et de gaz dans lesquels nous puisons aujourd'hui ! Les réserves se sont formées à partir de la décomposition des débris des organismes vivants et de la végétation abondante qui recouvrait le continent.

- A la fin du Crétacé, il y a 65 millions d'années, une catastrophe met fin à la domination des dinosaures et provoque l'extinction de la plupart des espèces animales. On attribue ce cataclysme à une collision de la Terre avec une météorite (dont on a retrouvé la trace au Mexique, dans le Yucatan) et peut être aussi à la gigantesque éruption volcanique qui a formé les « trapps » du Decan en Inde. Dans les deux cas, on pense que les nuages de gaz et de poussières projetés dans l'atmosphère ont assombri durablement la surface, changé le climat et la chimie des océans, et détruit la vie animale et végétale.

- Les trois derniers millions d'années montrent une alternance de périodes glaciaires et de périodes plus chaudes. Cette succession a été établie par l'analyse des sédiments marins. En effet, les paléoclimatologues exploitent les variations du rapport entre les isotopes de l'oxygène de masse atomique 16 et 18 comme des marqueurs de glaciation.

L'atome d'oxygène possède 3 isotopes (ils diffèrent par la masse de leur noyau), le plus abondant est l' ^{16}O (99,76%), l' ^{17}O représente 0,04% et l' ^{18}O 0,2%.

Du fait de leur masse plus élevée, ces atomes s'échangent plus lentement que les atomes d' ^{16}O . Ce « fractionnement isotopique » se produit à toutes les étapes du cycle de l'eau. Par exemple, la vapeur d'eau évaporée sous les tropiques contient moins d' ^{18}O que l'eau de mer. On peut ainsi déduire de sa composition isotopique la température à laquelle une couche de glace a été formée. D'autre part, en période glaciaire la glace qui s'accumule sur les continents est relativement plus pauvre en ^{18}O , à l'inverse des océans et des organismes qui y vivent. La détection d'une proportion plus élevée d' ^{18}O dans les coquilles calcaires enfouies dans les sédiments est la signature d'une glaciation passée.

Diverses méthodes permettent de dater les glaciations intervenues au cours du dernier million d'années : méthodes du carbone 14 qui permet une datation jusqu'à 50 000 ans, le thérium 230 (de 75 000 à 300 000 ans) ...

Elles ont permis de constater que les glaciations se sont succédées à intervalle régulier de 100 000 à 125 000 ans, modulées par des périodes plus courtes de l'ordre de 40 000, 25 000 et 20 000 ans.

- Les derniers 420 000 ans.

Pendant les glaciations, on observe une accumulation de neige pendant une très longue période, cette neige se tasse peu à peu, piège les poussières, les pollens et surtout les bulles d'air. L'empilement sur des milliers de mètres d'épaisseur de cette neige, pendant des centaines de milliers d'années, constitue une archive exceptionnellement riche en informations sur les climats des époques qui nous ont précédées.

L'Antarctique et le Groenland constituent ainsi des archives qui révèlent le récit détaillé du climat de la Terre à condition de pouvoir y accéder et de savoir les lire.

Un forage de glace effectué à la station russe de Vostok (partie est du continent Antarctique) a atteint en janvier 1998 la profondeur de 3623 mètres, permettant de remonter 420 000 ans en arrière ! L'analyse de cette carotte (composition isotopique de la glace et composition chimique des bulles) a permis de retracer les variations de la température de l'air et de la concentration de l'atmosphère en gaz stables, le gaz carbonique et le méthane, deux gaz qui nous intéressent de très près car ils sont au premier rang des accusés de l'accroissement de l'effet de serre.

En 2004, le programme européen EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) vient de décrypter 740 000 ans d'archives glaciaires prélevées sur le dôme C en Antarctique. La carotte a atteint la profondeur de 3130 mètres par une température moyenne de -54°C .

Les recherches d'EPICA précisent qu'au cours des 740 000 dernières années, notre planète a subi huit cycles climatiques glaciaires.

- Les derniers millénaires

L'optimum climatique se situe il y a quelques 7000 ans. La Terre a connu des périodes clémentes du X^{ème} au XIII^{ème} qui a permis aux Vikings de donner le nom de « Terre verte » au Groenland et des périodes plus froides. En effet au milieu du XV^{ème} siècle et jusqu'au XVIII^{ème} siècle a sévi le Petit âge glaciaire. Il n'a pas eu un retentissement mondial mais s'est accompagné de l'avancée des glaciers de montagnes sur la plupart des continents.

Depuis la fin du XIX^{ème} siècle, on assiste à un réchauffement progressif. Une analyse rigoureuse des variations de la température globale sur les cent années écoulées met en évidence une élévation constatée de 0,3 à 0,6°C !

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

L'énergie qui nous parvient du soleil donne naissance aux phénomènes climatiques, à l'échauffement des surfaces continentales et océaniques, ainsi que de l'atmosphère. Parmi tous les phénomènes induits par les interactions entre le « système Terre » et le rayonnement solaire, l'effet de serre de l'atmosphère joue un rôle fondamental. L'atmosphère laisse entrer et sortir la plupart du rayonnement visible, elle filtre une grande partie du rayonnement infrarouge terrestre et empêche qu'il s'évade vers l'espace. L'effet de serre correspond donc au piégeage par l'atmosphère de ce rayonnement thermique.(10)

1) Rappel sur notre atmosphère (17)(60)

Elle s'étend au-delà de 50 km d'altitude et est divisée en basse atmosphère (troposphère jusqu'à environ 10 km d'altitude) et en haute atmosphère (stratosphère au-delà).

L'essentiel de notre atmosphère est composée d'un gaz pratiquement inerte chimiquement, l'azote (79%), d'oxygène (20%) et d'argon (1%). Ce dernier, comme l'azote est inerte. L'oxygène quant à lui, n'intervient pas sur la température de notre planète.

Ce sont les gaz dits « à effet de serre », présents en très petite quantité dans l'atmosphère qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre et assurent ainsi une température « viable ».

2) La serre du jardinier (1)(8)

L'expression « effet de serre » est issue de la comparaison entre notre atmosphère et la serre des jardiniers. Les parois de verre des serres laissent passer le rayonnement solaire visible et bloquent partiellement le rayonnement infrarouge émis par les objets à température ambiante situés à l'intérieur de la serre, capturant ainsi une partie de la chaleur absorbée. La température de la serre s'élève de la sorte jusqu'à atteindre un équilibre entre le rayonnement visible entrant et le rayonnement infrarouge qui parvient malgré tout à sortir.

Le soleil éclaire la Terre, celle-ci rayonne en retour vers l'espace. Il se forme un équilibre entre les énergies entrantes et sortantes qui détermine la température moyenne annuelle de la Terre voisine de 15°C. A cette température, la Terre ne rayonne pas dans le visible mais son maximum d'émission se situe dans l'infrarouge lointain entre 4 et 5 microns. L'atmosphère laisse entrer et sortir la plupart du rayonnement visible.

3) L'effet de serre dans l'atmosphère (60)(67)

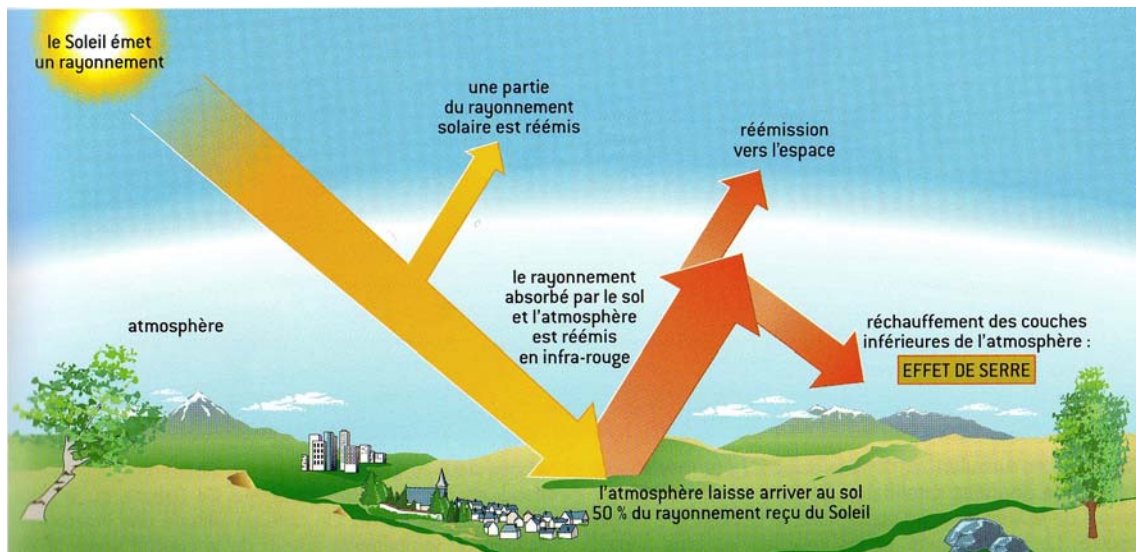


Figure 2 : l'effet de serre

Le soleil émet un rayonnement principalement dans les longueurs d'ondes visibles. 30% environ de ce rayonnement est directement réfléchi vers l'espace par les nuages, les poussières de l'air, la surface terrestre et surtout la calotte glaciaire. Cette fraction de rayonnement visible réfléchi ou diffusé vers l'espace est appelée albédo.

Les 70% restants de ce rayonnement, sont absorbés soit par l'atmosphère (20%), soit par la surface terrestre (50%) et réémis en rayonnement infrarouge.

Une partie de ces infrarouges s'échappe dans l'espace tandis qu'une autre partie, piégée par les gaz à effet de serre, reste dans la basse atmosphère et la réchauffe.

4) L'importance de l'effet de serre (8)

L'effet de serre assure ainsi une température moyenne de la Terre de 15°C.

Sans l'effet de serre, la température moyenne serait de -18°C. Cela revient à dire que l'effet de serre naturel élève la température moyenne annuelle globale de la Terre de 33°C !

Sans cet effet de serre, toute l'eau sur la Terre serait probablement glacée. En fait, la surface des océans et des continents serait couverte de neige ou de glace et par conséquent, l'albédo serait bien supérieur à 30%.

L'effet de serre naturel est excellent puisqu'il fait de cette planète un lieu d'habitation idéal pour notre espèce. C'est son augmentation qui inquiète. On parle d'effet de serre additionnel.

5) Pourquoi Vénus et Mars sont inhabitables ? (8)

Des trois planètes, seule la Terre possède actuellement de l'eau à l'état liquide. Mars et Vénus ont aujourd'hui une atmosphère presque entièrement composée de gaz carbonique mais celle-ci est dix mille fois plus dense sur Vénus et cent fois moins dense sur Mars.

Plus proche du soleil, Vénus a connu dès sa formation un puissant effet de serre qui a porté sa température de surface à des valeurs telles que toute l'eau n'y a d'abord subsisté qu'à l'état de vapeur. D'épais nuages d'eau et d'autres composés volatiles ont encore accru l'effet de serre. Vénus est un enfer sur lequel règne une température de l'ordre de 460°C, bien plus que la planète Mercure, pourtant presque deux fois plus proche du soleil mais totalement dépourvue d'atmosphère.

Mars, situé à 1,5 fois la distance Terre-Soleil, est aussi une planète plus petite que la Terre. Son diamètre n'est que de 3200 km, la moitié de celui de la Terre et sa masse ne représente que le dixième. Cette petite taille explique à la fois sa basse température et la faible densité de son atmosphère actuelle : elle est trop petite pour conserver assez de chaleur interne et pour empêcher complètement l'évasion de son atmosphère. Si l'effet de serre y a été suffisant pendant les premiers 500 millions d'années après sa formation pour y maintenir une présence d'eau liquide, il s'est altéré par la suite, amorçant un processus dans lequel la baisse de la température a entraîné la condensation de certains composés accentuant à son tour la diminution de l'effet de serre et ainsi de suite...

Favorisées par la présence initiale d'eau liquide, des réactions chimiques ont piégé le gaz carbonique dans des roches carbonatées, où il est resté séquestré faute d'une activité tectonique suffisante. L'effet de serre est très faible et la température sur Mars varie de 0 à -100°C entre le jour et la nuit.

IV- Les gaz à effet de serre

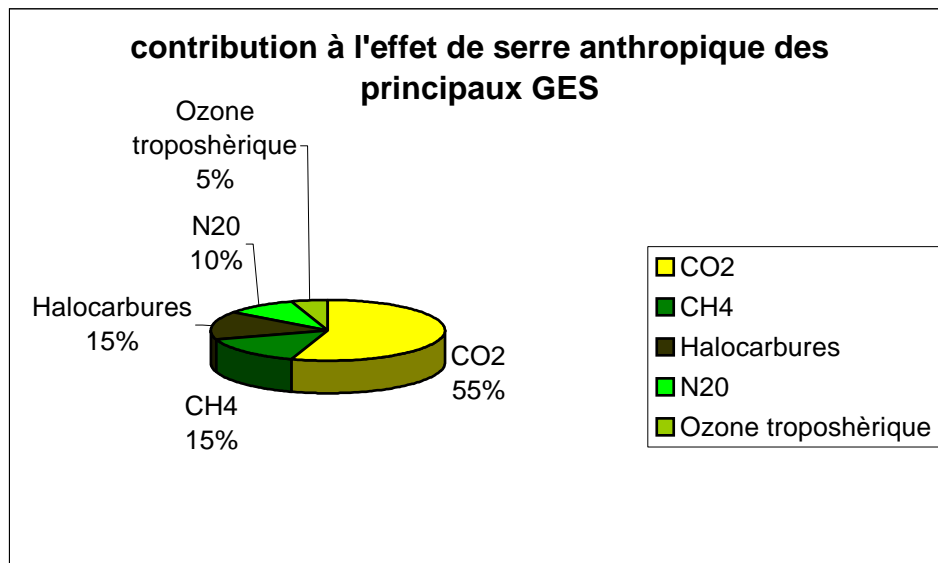


Figure 3

Les gaz à effet de serre interceptent les infrarouges émis par la surface terrestre. Il en existe de deux sortes : - les gaz « naturels » à effet de serre qui étaient présents dans l'atmosphère bien avant l'apparition de l'homme sur terre. Les deux principaux gaz sont la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone. Ensuite on peut citer le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O) et l'ozone (O_3). L'augmentation des concentrations de ces gaz dans notre atmosphère due à une activité humaine industrielle est responsable du réchauffement de la planète.

- les gaz « industriels » qui n'existent pas à l'état naturel. Il s'agit des halocarbures : $\text{C}_x\text{H}_y\text{Hal}$. Hal étant un halogène (chlore, brome, fluor). Ces molécules possèdent des propriétés particulières. En effet elles absorbent beaucoup plus les infrarouges que le CO_2 et sont chimiquement très stables dans l'atmosphère ce qui leur confère une durée de vie très longue. Une famille particulière des halocarbures, les chlorofluorocarbones (CFC) sont, en plus d'être des gaz à effet de serre, responsables de la destruction de l'ozone stratosphérique. Enfin il existe également un autre gaz industriel, l'hexafluorure de soufre (SF_6). Il est utilisé pour les applications électriques (transformateurs) et les doubles vitrages. Il n'est pas émis en très grande quantité mais est encore plus absorbant pour les infrarouges.

(11)(19)

1- Présentation des différents gaz à effet de serre

a) la vapeur d'eau (11)(12)

Le premier gaz à effet de serre est la vapeur d'eau qui compose environ 0,3% de notre atmosphère. Sa concentration y est la plus importante et la moitié de l'élévation de température par effet de serre vient de la vapeur d'eau. De plus, elle ne s'accumule pas dans notre atmosphère. Dès que sa concentration est trop importante, elle se condense et se précipite : il pleut !!!

Les émissions directes de vapeur d'eau par l'homme (centrales électriques, irrigations, barrages...) ne sont pas prises en compte du fait de sa durée de vie courte dans l'atmosphère (une semaine environ).

b) le gaz carbonique (11)(13)(18)(14)

Il engendre 55% de l'effet de serre anthropique. Ce gaz occupe actuellement 0,0036% de l'atmosphère ou encore 360 ppmv (1ppmv=1 partie par million en volume). Même faible cette concentration suffit à engendrer une augmentation de température de 15°C environ.

Les émissions naturelles de CO₂ sont : la respiration des animaux, la putréfaction, les incendies naturels ...

Les émissions anthropiques sont représentées par -la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz)

- les industries
- le transport
- le chauffage
- la déforestation en zone

tropicale.

Actuellement, 46% des émissions de CO₂ restent dans l'atmosphère, le reste est repris, à proportions à peu près égales, par la biomasse (réduction par la photosynthèse des plantes) et l'océan.

Dans l'océan, le CO₂ est dissout sous forme de carbonates et bicarbonates. Depuis le début de l'ère industrielle, l'océan a absorbé 400 milliards de tonnes de gaz

carbonique issus des combustibles fossiles. Si l'homme continue d'émettre le CO₂ à cette cadence, cela conduira à une acidification de 0,3 du pH de l'océan d'ici à 2050 et 0,5 en 2100 !!! Les océans ralentissent le processus de réchauffement climatique en absorbant le carbone en trop et en enfouissant une part de chaleur supplémentaire dans ses profondeurs.

Aujourd'hui, la concentration atmosphérique a augmentée de 31% depuis 1750. Elle atteint 370 ppm contre 280 ppm en 1750 ! Notre atmosphère n'a pas connu une telle concentration depuis des millions d'années.

Le taux d'augmentation de la concentration de CO₂ a été d'environ 1,5 ppm par an ces vingt dernières années.

c) le méthane (11)(18)(15)

Il engendre environ 15% de l'effet de serre anthropique. Les réserves de gaz naturel se sont formées il y a très longtemps par la décomposition des plantes et des animaux. Une partie du méthane présent dans l'atmosphère est donc d'origine parfaitement naturelle et provient des zones humides. Les marécages abritent des bactéries qui se nourrissent de l'hydrogène ou de l'acétate présents dans la tourbe. Ils rejettent entre 110 à 260 millions de tonnes par an. Il ne faut pas oublier les termites qui produisent jusqu'à 27 millions de tonnes de méthane par an !!!

Les émissions anthropiques sont représentées par : - la combustion imparfaite de brûlis en zones tropicales.

- l'élevage des ruminants (les aliments qu'ils ingèrent fermentent dans l'estomac en dégageant du méthane)

- les cultures de riz

- les décharges d'ordures ménagères et le compostage

- les exploitations pétrolières et gazières qui provoquent des fuites de gaz naturel.

L'élimination du méthane dans l'atmosphère est régie par une réaction avec des radicaux hydroxydes (OH), naturellement présents, pour donner du CO₂.

Sa concentration atmosphérique s'est accrue de 151% depuis 1750 et elle ne cesse d'augmenter.

d) le protoxyde d'azote (11)(18)

Il engendre environ 10% de l'effet de serre anthropique. Son émission naturelle se produit surtout en zone humide. Mais la plus grande partie de la production est d'origine humaine. En effet il est émis lors de l'utilisation d'engrais azotés en agriculture et dans certaines industries chimiques (nylon, acide nitrique...), ainsi que dans les transports.

Sa concentration depuis 1750 dans l'atmosphère a augmentée de 17%.

La figure 4 ci-dessous illustre l'évolution des concentrations et des trois principaux gaz depuis 1000 ans (source : GIEC 2001).

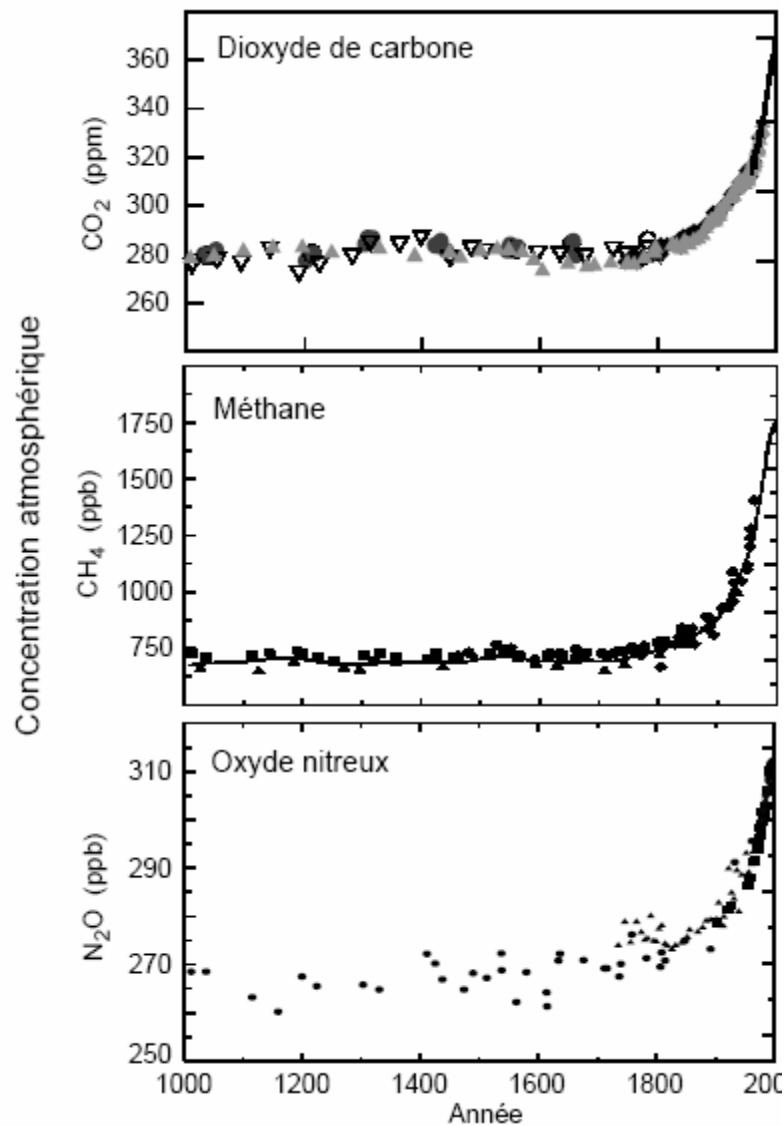


Figure 4

e) les halocarbures (11)

Ils engendrent environ 15% de l'effet de serre anthropique. A l'inverse des autres gaz à effet de serre, il n'existe pas d'émission naturelle. Les premiers représentants sont les chlorofluorocarbones (CFC) et les halons (halocarbures contenant du brome) désormais remplacés, depuis le protocole de Montréal, en 1987 par d'autres gaz voisins qui détruisent moins l'ozone stratosphérique. Il s'agit des hydrofluorocarbures (HFC).

Ils sont utilisés comme gaz réfrigérants dans les systèmes de climatisation et la chaîne du froid, comme gaz propulseurs et dans certains procédés industriels (fabrication de mousse plastique, de composés d'ordinateur ou de téléphone portable).

Il existe également les perfluorocarbures (PFC) où l'atome d'hydrogène est totalement remplacé par du fluor. Leur structure moléculaire est du type C_nF_{2n+2} (par exemple CF_4 , C_2F_6). Ils sont émis lors de la fabrication de l'aluminium car le bain d'alumine électrolysé contient des adjuvants fluorés. Le problème de ces PFC est qu'ils ont une durée de vie dans l'atmosphère qui peut aller jusqu'à plusieurs dizaines de milliers d'années.

f) l'ozone troposphérique (couche la plus basse de l'atmosphère) (11)(16)

Il engendre 5% de l'effet de serre anthropique. C'est un composant de la pollution locale. Il résulte de l'oxydation du monoxyde de carbone, du méthane ou de certains hydrocarbures en présence d'oxyde d'azote émis en particulier par la circulation automobile.

2) Comparaison de ces différents gaz

a) Durée de séjour dans l'atmosphère (18)

Hormis la vapeur d'eau qui s'élimine rapidement, les gaz à effet de serre mettent très longtemps à se décomposer dans l'atmosphère.

Voici une estimation de la durée de séjour des différents gaz présentés précédemment.(source GIEC)

La durée de séjour se définit comme étant le temps nécessaire à ce que le gaz soit éliminé de l'atmosphère soit par réaction chimique soit par transfert dans l'océan ou la biomasse. Par exemple, le méthane s'oxyde naturellement en CO₂.

Gaz	Durée approximative de séjour
Gaz carbonique	100 ans
Méthane	12 ans
Protoxyde d'azote	120 ans
Hydrofluorocarbure	2 à 260 ans
Perfluorocarbure	Jusqu'à 50 000 ans

b) Le pouvoir de réchauffement global (PRG) (11)(18)

Il permet de comparer la nocivité des différents gaz. Il est important de pouvoir faire des comparaisons pour engager des plans d'action et définir des priorités d'action.

Le principal gaz à effet de serre est le gaz carbonique, il sert de référence pour les autres.

Le PRG d'un gaz exprime sa capacité à réchauffer le climat compte tenu de son temps de résidence dans l'atmosphère et son efficacité énergétique à absorber le rayonnement par rapport au réchauffement provoqué par une même quantité de gaz carbonique.

Le PRG du CO₂ est donc égal à 1 par convention. Un gaz de PRG égal à 2 est donc deux fois plus nocif que le CO₂ vis à vis de l'effet de serre.

Voici les PRG des 6 gaz ou famille de gaz visés par le protocole de Kyoto (les perfluorocarbures (PFC) et les hydrofluorocarbures (HFC) sont des halocarbures particuliers)

Gaz	PRG à 100 ans
Gaz carbonique	1
Méthane	23
Protoxyde d'azote	296
HFC	140 à 11 700 selon les molécules
PFC	6 500 à 9 200 selon les molécules
SF ₆	22 200

On peut résumer en disant qu'une molécule de méthane est 23 fois plus nocive qu'une molécule de CO₂ concernant l'effet de serre.

c) L'équivalent carbone (11)

Tout comme les longueurs d'onde se mesurent en nanomètres, les émissions de gaz à effet de serre se mesurent en équivalent carbone. Par définition, 1kg de CO₂ vaut 0,2727kg d'équivalent carbone c'est à dire le poids du carbone seul dans la molécule de « gaz carbonique » CO₂.

Pour les autres gaz, l'équivalent carbone vaut : $PRG \times 0,2727$

Gaz	Equivalent carbone
Gaz carbonique	0,2727
Méthane	6,27
Protoxyde d'azote	80,71
HFC	38,18 à 3 190,60
PFC	1 772,55 à 2 508,84
SF ₆	6 053,94

3) Les aérosols: « la pollution locale contre l'effet de serre »? (11)(15)(17)

Outre les gaz à effet de serre, l'homme émet aussi des aérosols et des précurseurs d'aérosols. Cette émission contribue à refroidir le sol.

Un aérosol est une suspension dans l'air de gouttelettes ou de poussières. Nous en voyons tous les jours : les nuages ! La nature crée également des aérosols résultant du vent ou encore du volcanisme. En effet, lors d'une éruption, des millions de tonnes de poussières peuvent être envoyées dans l'atmosphère. Si l'éruption est assez violente comme celle du Pinatubo (Philippines) en 1991, ces poussières sont propulsées dans la stratosphère où elles séjournent plusieurs années avant de retomber sur terre avec une influence décelable sur le climat (on a observé une baisse des températures mondiales de 0,1 à 0,2°C).

Les sources d'aérosols sont : - les particules fines émises lors de la combustion de pétrole ou de charbon (fumée noire)

- les particules fines émises lors de l'utilisation du bois comme combustible

- la poussière soulevée par la circulation routière ou l'exploitation de carrières.

Un précurseur d'aérosol est une substance gazeuse qui par suite de diverses transformations physiques ou chimiques peut conduire à la formation d'aérosol.

Parmi les émissions de précurseurs on trouve les émissions de dioxyde de soufre (SO_2) qui est un polluant local issu de la combustion d'un produit contenant du soufre. Ce dioxyde se transforme ensuite en petites particules de sulfates (SO_4) solides. En moindre mesure il y a également les émissions d'oxyde d'azote (NO_x) qui proviennent de l'agriculture conduisant à la formation de particules solides de nitrates.

Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote sont considérés comme des refroidisseurs du climat mais ils sont également responsables des fameuses pluies acides qui ont un effet néfaste sur le sol et la végétation. Ces pluies neutraliseraient l'émission d'un gaz à effet de serre : le méthane.

Les aérosols réfléchissent ou absorbent la lumière selon la couleur des particules qui les compose. Ils favorisent la condensation de la vapeur d'eau de l'atmosphère en petites gouttes ce qui conduit à la modification des nuages. Les nuages sont composés d'eau et donc contribuent à l'effet de serre mais en empêchant la lumière de passer, ils ont un effet refroidissant sur la surface.

La caractéristique importante des aérosols est qu'ils ne perdurent pas longtemps dans l'atmosphère ; leur durée de vie est de quelques jours à quelques semaines seulement (un nuage provoque la pluie, les poussières retombent ...). Ils ne s'accumulent pas dans l'atmosphère à la différence des gaz à effet de serre.

4) Relations entre gaz à effet de serre et température (12)(16)(18)

Grâce à l'analyse des bulles d'air de la glace du Groenland et en Antarctique, on a pu mesurer les concentrations du CO₂ et CH₄ au long des derniers cycles glaciaires et interglaciaires. Les derniers sondages permettent cette analyse jusqu'à environ 420 000 ans, ce qui correspond à quatre cycles climatiques complets.

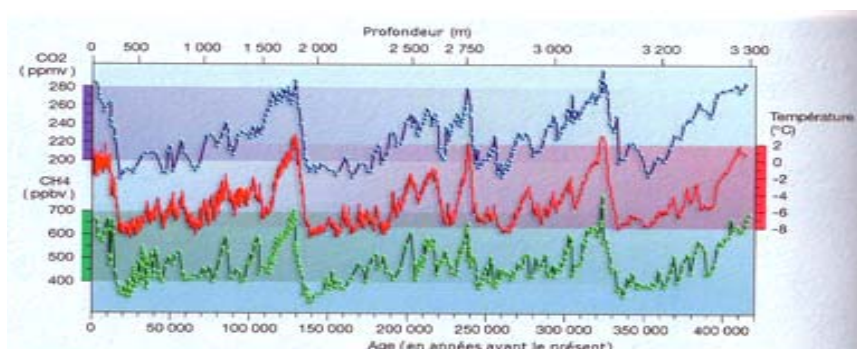


Figure 5 : variations couplées de la température (en rouge) et des teneurs en CO₂ (en bleu) et en CH₄ (en vert)

La figure ci-dessus a été effectuée après analyse de la carotte de Vostok.

Les courbes qui retracent les variations de la température et celles des deux gaz incriminés dans l'effet de serre présentent un parallélisme étonnant. Leurs taux passent par des minima et des maxima avec la même périodicité, soulignant l'étroite dépendance qui relie le climat et la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre. La courbe qui retrace les variations de concentration en gaz carbonique au cours des 420 000 dernières années montre que celle-ci ne descend jamais au dessous de 18 ppm en volume (valeur atteinte dans les périodes les plus froides) ni ne dépasse 280 ppm dans les périodes les plus chaudes. Il en est de même pour le méthane qui fluctue de manière synchrone entre 0,3 et 0,7 ppm.

Tout se passe comme si le refroidissement de la période glaciaire s'accompagnait d'une diminution de la quantité de gaz à effet de serre, ce qui tend à amplifier le refroidissement.

En deux siècles, l'activité humaine a réussi à modifier suffisamment la composition de l'atmosphère pour que les deux des plus puissants gaz à effet de serre sortent de la fameuse fourchette qu'ils n'avaient jamais quittés.

Enfin, la figure ci-dessous illustre la comparaison entre la température observée depuis 1860 (courbe en escalier) et celle simulée par les modèles sans tenir compte des aérosols (pointillés) et celle obtenue en tenant compte de ces derniers.(source :GIEC 1995)

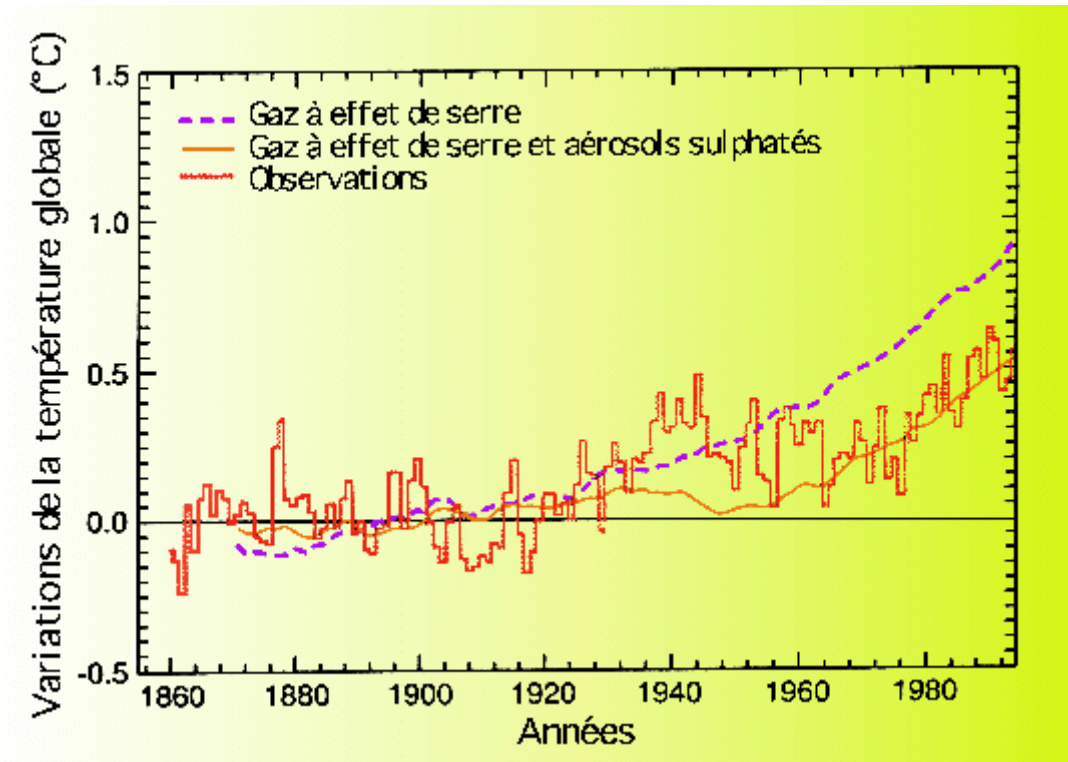


Figure 6

On remarque que l'effet des aérosols a été significatif durant les années 1940 à 1970. Cette observation est due à la quantité massive qui a été émise à ce moment là, durant la reconstruction et les Trente Glorieuses.

5) Conclusion

Depuis le début de l'ère industrielle, l'homme n'a cessé d'émettre des gaz à effet de serre. Ces émissions perturbent l'équilibre du système climatique et provoquent un effet de serre additionnel qui a pour conséquence une élévation des températures à la surface de la terre.

La rapidité du changement climatique inquiète les scientifiques car il pourrait être préjudiciable au fonctionnement des activités économiques mais surtout à la vie de l'homme et au milieu naturel qui l'entoure comme la faune et la flore.

Sachant les dangers que représentent ces émissions et connaissant leurs origines, il est urgent de réagir pour limiter le processus de réchauffement qui est déjà enclenché !

2^{ème} partie :

Les impacts du changement climatique

Avant d'étudier les différents impacts d'un changement climatique, nous allons montrer que depuis quelques années la température à la surface du globe a bien augmenté. A l'aide de modèles, les scientifiques sont également capables de prédire quelles seront la température et la concentration des gaz à effet de serre dans les années futures en fonctions de notre comportement.

I- Variations observées de la température (13)(18)(22)(26)

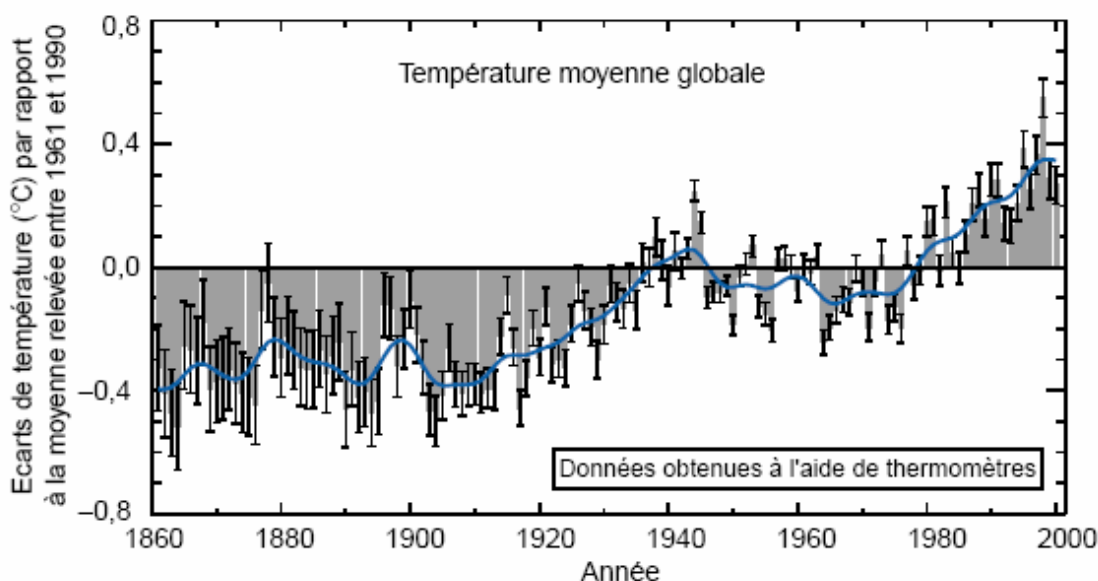


Figure 7

La température moyenne à la surface du globe a augmenté de $0,6^{\circ}\text{C}$ au $\text{XX}^{\text{ème}}$ siècle. Le réchauffement s'est effectué en deux temps : de 1910 à 1945 puis de 1976 à aujourd'hui.

L'augmentation moyenne a été de $0,15^{\circ}\text{C}$ par décennie. La légère baisse de la température enregistrée dans les années 1950 et 1960 est due à la baisse de l'ensoleillement (minimum du cycle solaire) qui est venu ralentir provisoirement le réchauffement planétaire.

Le réchauffement n'est pas homogène d'une région à l'autre et il a été plus prononcé sur les terres émergées qu'en milieu océanique. C'est dans les régions boréales que l'élévation de température est la plus forte. En 30 ans, les hivers d'Alaska ont gagné en moyenne deux à trois degrés. Cette élévation de température a des conséquences sur les infrastructures construites sur la glace. Le conseil de l'Arctique a rapporté en 2004 que le pôle Nord se

réchauffait 2 à 4 fois plus vite que le reste du monde, ce qui a pour conséquence la disparition de la moitié de la banquise d'été d'ici à la fin du siècle !

En France, l'année 2003 a été la plus chaude depuis le début des relevés météorologiques. Elle devance l'année 1994 d'un demi-degré qui jusqu'ici détenait le record !

Ce réchauffement, déjà sensible, n'est presque rien par rapport à celui qui nous attend. Le GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) en 2001 prédisait un réchauffement de 1,4 à 5,8°C entre 1990 et 2100.

Les chercheurs de Météo France sont encore plus pessimistes. Ils estiment que pour la période 2070 à 2100 les hausses de température pourraient atteindre 4 à 7 degrés l'été, à l'aube et 2 à 4 degrés l'hiver dans l'après midi. Ils parlent bien sûr de moyenne, dans certaines régions, la température s'élèvera de 9 voire 10 degrés et dans d'autres l'élévation sera moins conséquente. Ce pronostic est fondé sur un triplement des concentrations de gaz carbonique par rapport à l'ère préindustrielle. Il repose sur l'utilisation de modèles informatiques.

Une chose est sûre, si l'homme ne réagit pas en limitant ses émissions de gaz à effet de serre, la canicule de 2003 sera « normale » en 2050 !

II- La modélisation numérique du futur climat (1)(12)(16)(22)

Un modèle désigne un logiciel qui traduit en langage informatique les équations de la physique et de la chimie qui régissent les principales composantes de la machinerie climatique.

Aujourd'hui, la plupart des modèles employés sont des modèles couplant les processus océaniques et atmosphériques, ce qui n'était pas le cas au tout début de la modélisation. Avec ces outils, les spécialistes tentent d'élaborer des scénarios pour le futur en tenant compte de l'évolution socio-économique de la planète.

La simulation du climat futur présente cependant encore des points faibles. Il existe des incertitudes quant à l'évolution démographique et économique de la planète. En effet, dans certains pays en développement comme l'Inde et la Chine, le taux de croissance démographique est très élevé. Dans les décennies à venir, ils auront de gros besoins pour améliorer leurs conditions de vie.

Toutes ces incertitudes concernant l'évolution des comportements soulèvent le problème de la fiabilité des résultats de la modélisation numérique du climat futur. Comment évaluer aujourd'hui la quantité de gaz carbonique ou de méthane que rejettera l'homme dans un siècle?

Pour répondre à cette question, les économistes du GIEC ont proposé différents scénarios prenant en compte les émissions de l'ensemble des gaz à effet de serre.

Ces scénarios associent quatre types d'évolution démographique, de développement économique et social et de grandes tendances économiques.

Les scénarios d'émissions du Rapport Spécial sur les Scénarios d'Emissions (RSSE) du 15 mars 2000. (source GIEC 2001)

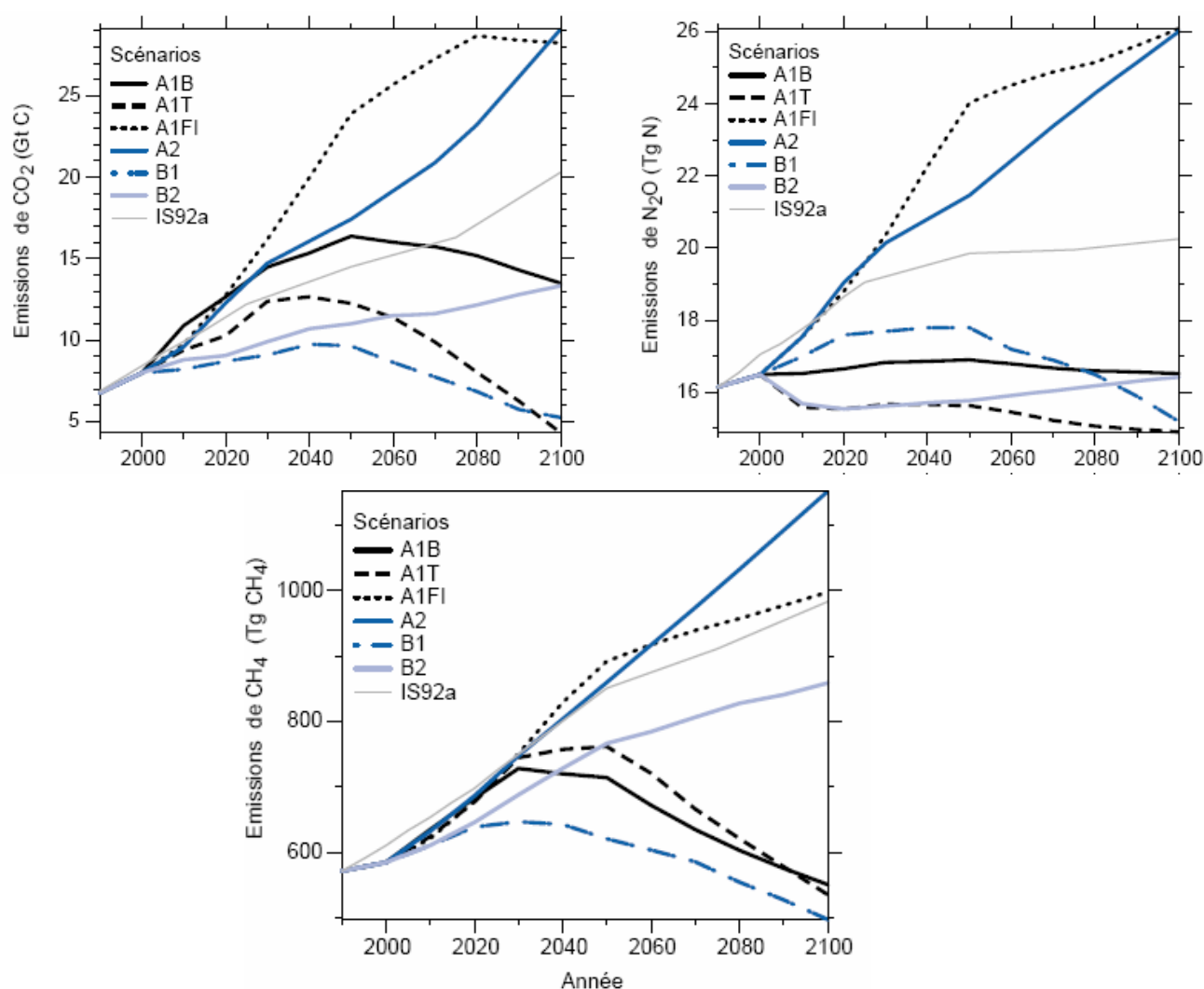


Figure 8

Remarque : GtC signifie gigatonne de carbone

Tg correspond à la masse totale du gaz soit 10^{12} g.

Tout d'abord, A1 décrit « un monde futur caractérisé par une croissance économique très rapide, une population mondiale qui atteint son maximum au milieu du siècle (8,7 milliards) pour diminuer ensuite (7 milliards en 2100) et l'apparition rapide de technologies nouvelles et plus efficaces. »

La famille de scénarios A1 se divise en 3 groupes qui correspondent à différentes hypothèses concernant l'évolution technologique du système énergétique :

-A1F1 : usage intensif de combustibles fossiles.

-A1T : sources d'énergies autres que fossiles.

-A1B : équilibre entre toutes les sources d'énergie.

Ensuite, A2 décrit « un monde très hétérogène, le thème sous jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les courbes de fertilités dans les différentes régions du monde ne convergent que lentement et la population mondiale ne cesse pas de croître pour atteindre 15 milliards en 2100. Le développement économique obéit principalement à une orientation régionale, la croissance économique par habitant et les changements technologiques sont lents et divers. »

Pour ce qui est du scénario B1, l'évolution de la population serait la même que pour A1 passant par un maximum au milieu du siècle. Les structures économiques évolueraient rapidement vers une économie des services et de l'information avec une diminution de l'économie matérielle et l'introduction de technologies propres et économes en énergie. L'accent serait mis sur la recherche de solutions mondiales en matière de viabilité économique, sociale et environnementale, y compris par le biais d'une plus grande équité, mais sans nouvelles initiatives ayant trait au climat.

Enfin, B2 s'intéresse à des solutions locales en matière de viabilité économique, sociale et environnementale. Ce scénario se caractérise par une population mondiale qui augmente régulièrement, par un développement économique de niveau intermédiaire et par un progrès technologique moins rapide et plus divers que A1 et B1. Ce scénario est également axé sur la protection de l'environnement et l'équité sociale, il privilégie l'approche locale et régionale.

Sur les graphiques, IS92a correspond au scénario du deuxième rapport du GIEC en 1995. Il a été mentionné à titre de comparaison.

Ces différents scénarios d'émissions permettent d'effectuer une projection future pour l'évolution des concentrations des gaz à effet de serre. Pour 2100, les modèles prévoient une concentration de CO₂ dans l'atmosphère variant de 540 à 970 ppm. Il en est de même pour les autres gaz à effet de serre qui ne cesseront de croître.

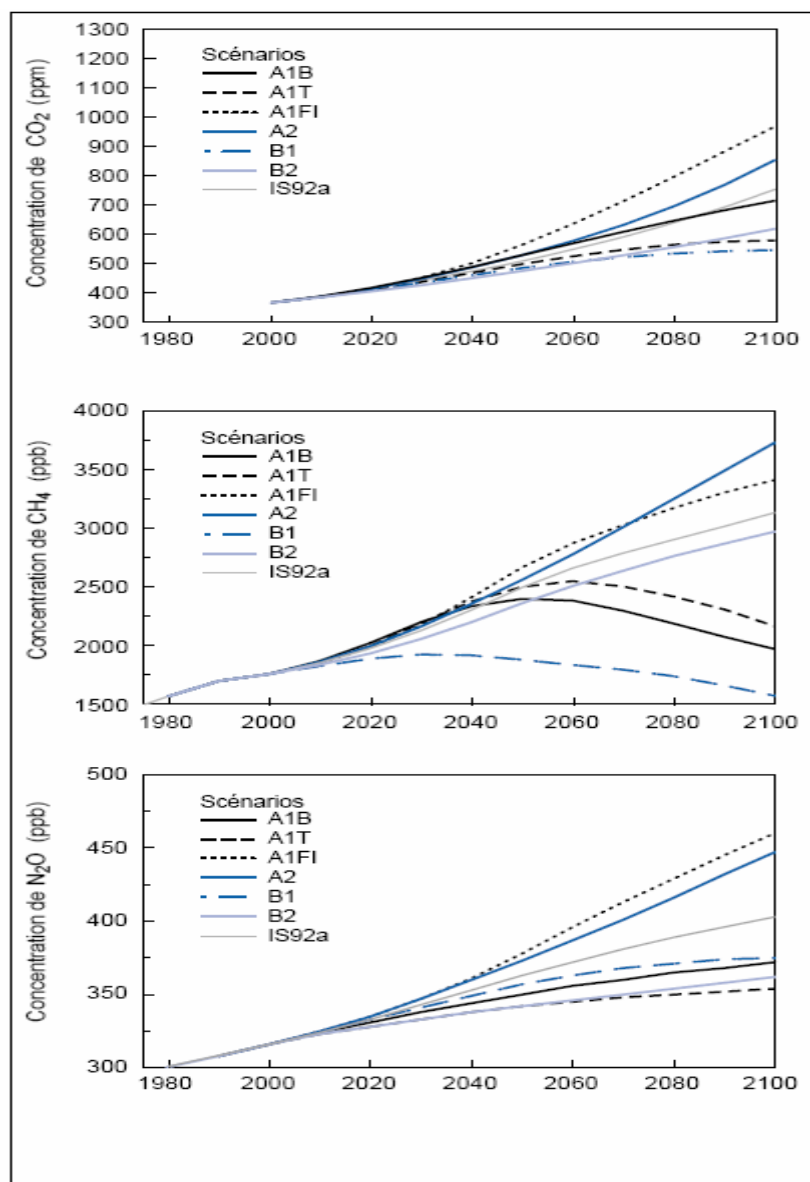


Figure 9

III-Les impacts du réchauffement climatique

Nous avons démontré précédemment grâce aux constats du thermomètre et les modèles numériques que notre planète se réchauffe depuis quelques années et la température va continuer à grimper de façon plus ou moins importante en fonction de nos efforts. Nous n'avons pas besoin d'attendre pour constater que déjà, le processus est enclenché. Nous allons étudier les différents impacts du changement climatique observé ainsi que les conséquences de celui-ci à plus ou moins long terme sur notre écosystème précisément sur la faune, la flore et sur l'être humain, sa santé et ses activités.

1) Les glaciers et les calottes glaciaires (5)(17)(23)(24)(25)(28)

D'après le rapport du GIEC, la couverture neigeuse a diminué sur toute la planète de 10% depuis la fin des années 1960.

La superficie de glace de mer a régressé globalement de 10 à 15% dans l'hémisphère nord depuis 1950 et de 40% dans l'Antarctique.

Dans l'ensemble les glaciers de la planète ont reculé au cours du XX^{ème} siècle. Voici une liste non exhaustive des principaux glaciers mondiaux menacés par le réchauffement climatique.

Aux Etats-Unis, les plus grands glaciers nord-américains qui se trouvent dans le Glacier National Park dans le Montana ne représentent plus qu'un tiers de ce qu'ils étaient en 1850. En effet, à l'époque on en dénombrait 150 et aujourd'hui il n'en reste que 30.

En Tanzanie, la superficie de la glace qui recouvre le mythique Kilimandjaro (5895 mètres) a diminué de 82% depuis 1912.

En Himalaya, les glaciers comme le Dokriani Barnak, long de 5 Km en 1990, a perdu 800 mètres.

La calotte de glace de Quelccaya, au Pérou, fond à une vitesse de 200 mètres par an. Si ce rythme perdure, elle aura disparu en 2100 laissant des milliers de Péruviens sans eau ni électricité.

Enfin, en Suisse, les glaciers auront perdu 18% de leur surface entre 1980 et 2025 contre 1% au cours des quinze années précédentes. Cet été, le glacier Gurschen a même été recouvert d'une bâche isotherme de 2500 m² afin de limiter sa fonte !

Dans les Alpes, les glaciers sont en recul depuis la fin du dernier âge glaciaire. Ils accélèrent leur fonte depuis environ vingt ans.

La fonte des glaces et des calottes polaires apportera d'énormes quantités d'eau dans les océans, suffisamment pour affecter leurs niveaux.

L'amplitude de cette variation est encore très incertaine car personne n'est en mesure de prédire l'effet exact de la hausse des températures sur les calottes glaciaires. De plus, le réchauffement s'accompagnera d'une augmentation du taux d'évaporation conduisant probablement à une accumulation du surplus d'humidité sous forme de neige sur le continent Antarctique, actuellement un désert sur le plan climatique.

Enfin, la calotte glaciaire du Groenland rétrécit lentement mais sûrement. A long terme, si la calotte venait à disparaître (d'ici un millier d'années) on observera une montée des eaux de 6 mètres !

Il faut cependant ajouter que ce phénomène pourra s'accompagner de conséquences positives. Certaines pêcheries arctiques pourraient gagner en productivité. La diminution des surfaces marines prises par les glaces permettra à terme d'ouvrir un passage nord pour le trafic maritime entre les océans Pacifique et Atlantique, plus rapide que le trajet par le canal de Suez. Cette route pourrait être ouverte cent jours par an en 2050 contre vingt actuellement. Les producteurs de pétrole se frottent également les mains, la zone recèlerait un quart des ressources planétaires d'hydrocarbures, certaines régions comme le Nunavut au Canada, en regorgeant.

2) Le dégel des sols (27)(28)

Le permafrost ou pergélisol est une terre en sous sol dont la température reste inférieure à zéro degré pendant au moins deux années consécutives. En surface, la couche active du permafrost joue un rôle clé dans les mouvements des sols. C'est un régulateur de nombreux processus biophysiques.

Le dégel des sols menace les infrastructures terrestres installées en Arctique y compris les exploitations pétrolières et les transports. Ainsi en Sibérie, en juin 2001 une partie d'un immeuble de cinq étages s'est écroulé !

Il est important également de rajouter que les sols gelés de l'Arctique contiennent environ 455 milliards de tonnes de carbone. La décomposition de matières organiques sous un

climat plus chaud conduira à un rejet accru du carbone des sols dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique ou de méthane (dans les sols humides).

Selon les modèles de prévisions, la surface du permafrost dans l'hémisphère Nord devrait diminuer de 10 à 18% d'ici 2030, 15 à 30% d'ici 2050 et 25 à 35% d'ici 2080.

3) L'élévation du niveau des mers (5)(12)(22)(23)(24)(26)(29)

Le niveau moyen des océans a déjà augmenté de 10 à 20 cm en un siècle et devrait s'élever selon le GIEC de 9 à 88 cm d'ici à 2100.

Deux phénomènes sont responsables de l'élévation du niveau de la mer. Comme nous l'avons vu précédemment, la fonte des glaciers et de la calotte glaciaire participera à cette augmentation. Mais il y a également la dilatation de l'océan qui jouera un rôle non négligeable. En effet, l'eau chaude occupe plus de volume que l'eau froide. La simple dilatation de l'eau océanique sous l'effet de la chaleur garantit une élévation minimale du niveau moyen de la mer.

La montée du niveau des mers constitue une menace pour des milliers de gens. Les îles basses du Pacifique comme les Maldives seront les premières touchées. De même, l'archipel des Tuvalu en Océanie abritant plus de 10 000 habitants recherche une terre d'accueil pour échapper à la montée des océans. En 2002, cette nation a demandé un accord de principe à l'Australie pour recueillir ses ressortissants. Celle-ci a refusé par crainte sans doute d'être submergée de demandes !

En France, 10% de la population totale réside dans les communes littorales qui sont visitées chaque année par plus de 30 millions de personnes. Les côtes sans relief seront progressivement grignotées : Languedoc, Camargue, bassin d'Arcachon...

Les deltas, submergés par l'eau salée deviendront impropres à l'agriculture. Par ailleurs, l'infiltration d'eau salée dans les nappes phréatiques menace les sources d'eau potable.

Dans le reste du monde, on estime que si le niveau de la mer augmente d'un mètre environ, 20% du territoire du Bangladesh sera inondé, 12% du Vietnam ainsi que dans une proportion nettement moindre, l'Indonésie et la Malaisie. Aux Pays Bas, la moitié du territoire se trouve au ras du niveau de la mer voire au-dessous.

4) La circulation des océans

Principalement mis en mouvement par les vents dominants et les différences de densités de l'eau, les courants océaniques sont déterminants dans le refroidissement, le réchauffement et l'alimentation en eau des continents ainsi que le transfert de la chaleur de l'équateur vers les pôles.

Le moteur de la circulation appelée thermohaline est le changement de densité dû à la température ou au sel. L'eau salée chaude de l'Atlantique nord tropical monte vers les pôles en formant des courants de surface tels que le Gulf Stream et se refroidit au contact de l'air. Un trop grand changement dans la salinité et la température de l'océan pourrait perturber suffisamment la circulation thermohaline. Il ne faudrait pas plus de dix ans pour voir apparaître des changements climatiques catastrophiques.

5) Les phénomènes climatiques extrêmes (5)(13)(17)(22)(31)(59)

Les extrêmes climatiques sont des événements météorologiques intenses comme les pluies torrentielles, les ouragans, les cyclones, les sécheresses ou encore les inondations. Ils ont des conséquences souvent dramatiques sur les infrastructures (destructions des routes, des ponts...) mais également sur les personnes et les biens.

Ces catastrophes climatiques seront-elles plus fréquentes ou plus violentes dans les années à venir ?

La chaleur de l'atmosphère ou celle de l'océan constitue un stock d'énergie qui se libère au cours de phénomènes violents, tempêtes ou cyclones. Le réchauffement de la surface terrestre devrait donc exacerber ces phénomènes.

En moyenne, le nombre annuel de catastrophes liées au climat (inondations et sécheresses) a doublé au cours des années 1990 par rapport à la décennie précédente et leur coût économique s'élève à 11 milliards de dollars environ, portant préjudice à l'agriculture et précipitant l'extinction d'espèces végétales.

Encore un grand nombre de questions sur la relation entre le réchauffement climatique et la fréquence des catastrophes restent en suspens. Néanmoins on est en droit de se demander si les tempêtes de 1999 en France ou les inondations dans la Somme en 2001 ne présagent pas d'un avenir riche en événements climatiques extrêmes.

Pour le moment, aucune étude ne dit avec certitude que la fréquence ou l'intensité des phénomènes extrêmes a d'ores et déjà augmenté.

L'actualité très récente avec le cyclone Katrina qui a dévasté la côte sud des Etats-Unis en particulier la Louisiane nous montre encore une fois la violence de ces phénomènes climatiques. La Nouvelle Orléans qui a été construite sous le niveau de la mer a été complètement inondée suite à la rupture des digues. Aujourd'hui les américains doivent faire face à une catastrophe naturelle et sanitaire sans précédent dans leur pays. Le lien avec le réchauffement climatique n'est pas établi mais cette catastrophe pourrait bien accentuer la prise de conscience de l'effet de serre chez les citoyens américains.

Particularités d'El Niño

El Niño est un phénomène climatique actif depuis des milliers d'années. Il s'agit d'une inversion périodique des vents et courants océaniques dans la frange tropicale du Pacifique durant entre 9 mois et 1 an. Des eaux chaudes affluent et recouvrent les eaux froides et poissonneuses provoquant la disparition de cette denrée si précieuse. Il est responsable de terribles sécheresses à l'ouest du Pacifique (Australie, Indonésie...) et d'inondations à l'est (Pérou, Equateur...). Il influe sur le climat mondial en entraînant des phénomènes climatiques extrêmes. Le débat actuel est de savoir si le réchauffement climatique le rendra plus fréquent (actuellement il revient tous les 3 à 7 ans) ou si ce n'est pas le cas, le rendra-t-il plus violent encore ?

6) Les impacts du changement climatique sur la santé (8)(33)

En décembre 2003, l'OMS publiait un rapport alarmiste sur l'impact qu'aurait le réchauffement climatique sur la santé. Ce réchauffement aurait déjà coûté la vie à 150 000 personnes en 2000 dans le monde !

On ne dispose pas aujourd'hui de certitudes. On peut tout au plus extrapoler à partir des situations actuelles ou bien dériver, des effets sanitaires du climat d'aujourd'hui, les conséquences possibles d'un climat en moyenne plus chaud.

Avant toute chose, il faut différencier les effets du réchauffement qui s'exerceraient directement sur l'organisme humain de ceux qui s'exerceraient indirectement comme les modifications des conditions écologiques plus ou moins favorables à la survie et la

multiplication et le développement de tel ou tel germe pathogène ou insecte hématophage vecteur de ce germe.

a) les effets directs du réchauffement (8)(17)(32)(34)(60)

Ils concernent principalement les personnes âgées, les personnes souffrant de maladies chroniques, les nourrissons et les jeunes enfants.

En août 2003, en France, la canicule a provoqué la mort de 15 000 personnes. Les causes les plus fréquentes étant l'hyperthermie et la déshydratation.

Lors de grosses vagues de chaleur, il peut se produire un stress thermique capable de causer un malaise cardiaque surtout chez les personnes âgées et les malades.

Parmi les pathologies les plus susceptibles de voir leur prévalence augmenter à l'occasion d'un réchauffement de l'ensemble du climat, on peut citer les maladies cardiovasculaires et cérébrovasculaires. Le climat peut aussi avoir des impacts variés sur l'appareil respiratoire avec, en particulier, une recrudescence printanière et /ou estivale des rhinites et des crises d'asthmes, d'autant que la hausse des températures amènerait inévitablement le déplacement de l'aire de répartition de nombreuses espèces végétales, dont certaines fortement allergisantes. De plus la fréquence accrue du « beau temps » chaud, ensoleillé et exempt de fortes précipitations augmenterait les quantités de pollens libérés dans l'air.

D'autres pathologies très diverses risquent de connaître une aggravation liée à l'élévation de température. On peut penser que la chaleur et la déshydratation seront la cause d'une augmentation de fréquence des lithiases urinaires. On observera une croissance du nombre de crises de coliques néphrétiques dans les semaines qui suivent les fortes chaleurs.

Le taux de prématurité pourrait également s'accroître conformément à l'observation courante de la forte augmentation des accouchements avant terme en période de canicule.

Les simulations tendent à montrer qu'avec une augmentation des températures on assisterait à une diminution de la mortalité hivernale mais en revanche à une augmentation de la mortalité estivale.

En fait, tout dépend de la brutalité avec laquelle s'opérerait le réchauffement. Une évolution relativement lente permettant une acclimatation progressive n'aurait sans doute que

peu de conséquences néfastes. Mais si l'évolution se fait par à coups, les conséquences risquent d'être beaucoup plus violentes.

En France, dans les suites immédiates de la terrible canicule de 2003, l'Institut de Veille Sanitaire a signé un accord-cadre avec Météo-France au début de l'année 2004. Le but était de faciliter la mise en place de dispositifs de prévention et d'alerte contre les risques sanitaires d'origine météorologique. Ce partenariat scientifique a notamment permis de concevoir et de mettre en opération au cours de l'été 2004 un système national d'alerte canicule et santé (Sacs). Il définit les actions destinées à prévenir un impact sanitaire en rapport avec une forte vague de chaleur.

Le ministère de la santé a établi en 2004 un Plan National Canicule auquel l'Institut de Veille Sanitaire a largement participé.

Ce plan se décline selon quatre niveaux. Le niveau 1 est un niveau de veille sanitaire et correspond à la période du 1^{er} juin au 31 août. Le niveau 2 (pré-alerte) est déclenché en cas de déplacement des seuils avec un à trois jours d'anticipation. Le niveau 3 (alerte) correspond à un dépassement des seuils prévus le jour même. Enfin le niveau 4 (mobilisation maximale) correspond à une situation exceptionnelle qui nécessite la mobilisation de l'ensemble des acteurs du Plan National Canicule et pouvant dépasser le champ sanitaire. Il décrit les actions devant être mise en place pour chaque niveau afin de prévenir les conséquences de la chaleur sur la santé.

De plus, on pourrait également observer une multiplication des intoxications du fait de la mauvaise conservation des aliments ou encore un risque accru de contamination des systèmes de climatisation ou d'humidification par des micro-organismes variés notamment la redoutable légionellose ! Citons de même, la prolifération de petits parasites tels que les mouches, blattes ou les rongeurs fréquemment porteurs de germes infectieux, favorisée par une température et une humidité élevée.

Lors d'épisodes climatiques extrêmes comme les inondations ou les tempêtes, hormis les morts par noyade, l'homme doit faire face à des risques sanitaires comme la contamination des systèmes de purification d'eau, la rupture des canalisations d'égouts et les risques de poussées infectieuses pour les humains ou les animaux.

En 1998, l'ouragan Mitch en Amérique Centrale a provoqué la mort de 7500 personnes et entraîné une épidémie de diarrhée et de choléra du fait de la rupture de la chaîne d'eau potable.

Pour finir, les risques liés à un ensoleillement sont aussi à mettre au nombre des effets directs d'une exposition accrue au rayonnement solaire, aggravés par les comportements de la population et l'accroissement du taux de rayonnement ultraviolet atteignant le sol (dû à l'amointrissement de la couche d'ozone stratosphérique).

Parmi les effets néfastes des rayons U.V, on trouve le risque accru de cancer de la peau, des pathologies des yeux (cataractes, conjonctivites, kératinites) et du système immunitaire qui devient plus sensible aux infections.

b) les effets indirects (8)(24)(33)(34)

Ici, les maladies infectieuses et parasitaires sont concernées.

Le paludisme

C'est une des maladies endémiques les plus graves des régions tropicales en Afrique et en Asie et sa résistance aux traitements classiques ne cesse de croître.

En France, le paludisme sévissait encore dans les années 1940 en Camargue mais il a été éradiqué grâce aux insecticides.

Selon les statistiques, environ 100 à 120 millions d'individus présenteraient chaque année les symptômes. Mais la réalité est beaucoup plus inquiétante, on peut estimer à 500 millions le nombre de cas annuels soit un total d'environ un milliard de personnes infectées !

Avec 1,5 à 3 millions de décès par an sur le continent africain, le paludisme représente l'une des premières causes de mortalité à la surface du globe.

Cette maladie est due à un parasite du genre *Plasmodium* transporté dans la salive d'un moustique : l'anophèle femelle. Les anophèles prolifèrent en ambiance chaude et humide. Ils se reproduisent à proximité de l'eau, notamment dans les zones marécageuses et les mares.

La durée d'incubation (temps nécessaire au développement complet du parasite dans le vecteur) dépend de l'espèce et de la souche du parasite ainsi que du moustique. Elle dépend également des conditions thermiques (à 28°C, le développement se fait en 8 à 14 jours) et de l'humidité ambiante.

Voici un graphique représentant le potentiel épidémique du paludisme en fonction de la température (1 représentant un potentiel maximum)

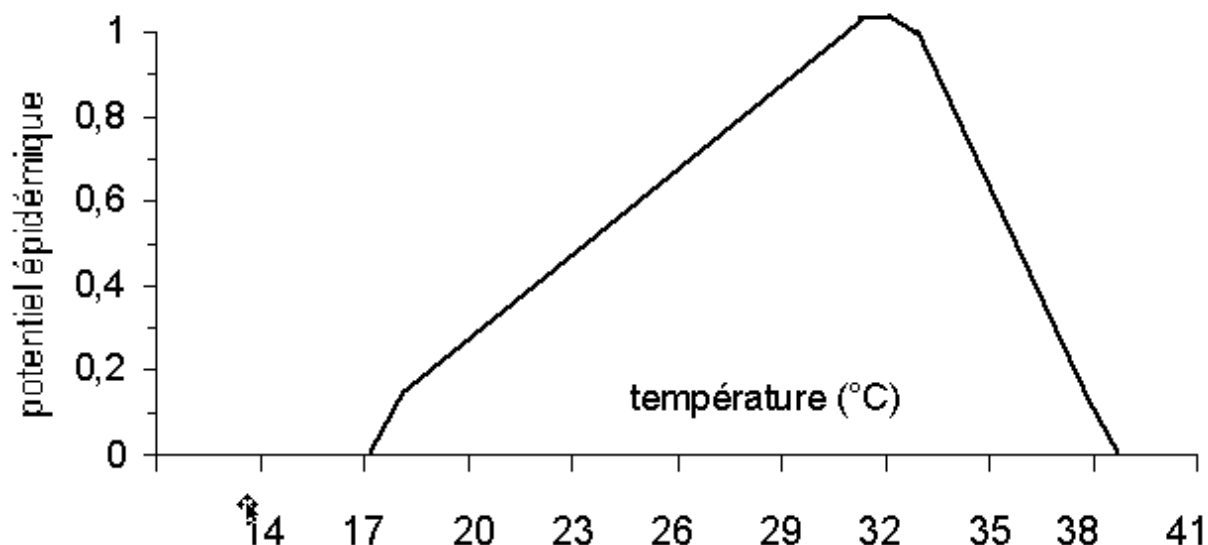


Figure 10

Une élévation de la température aurait pour effet de raccourcir le temps de développement du parasite chez son vecteur, ce qui accroîtrait la capacité vectorielle de l'anophèle. Le réchauffement pourrait donc à la fois augmenter le niveau de transmission dans des régions où elle était auparavant rendue impossible par des températures inférieures, selon l'espèce, à 16 ou 18°C.

Il pourrait en résulter une extension en latitude de la zone d'endémie palustre. Des craintes sont ainsi permises pour le nord du Sahel, pour la majeure partie du Maghreb, pour la Turquie, pour le Proche et le Moyen-Orient, ainsi que pour l'Afrique du Sud, pour le Brésil méridional ou pour le sud de la Chine.

Il s'ensuit que si en 1990, 45% de l'humanité vivait dans les régions où sévit le paludisme, le taux pourrait atteindre 60% dans un demi-siècle, du double fait de l'élargissement de la zone impaludée et de sa forte croissance démographique.

Il ne faut cependant pas isoler la température des autres éléments naturels ou anthropiques susceptibles de conditionner la transmission d'une maladie. En effet si la hausse des températures s'accompagne d'une baisse de pluviosité, les répercussions sanitaires seront opposées au schéma attendu !

Le réchauffement climatique n'est pas (ou pas encore) suffisant pour provoquer une recrudescence du paludisme en zones intertropicales mais la vigilance s'impose...Un facteur supplémentaire d'incertitude tient au fait qu'à plus ou moins long terme, des mutations génétiques pourraient conduire à l'apparition de souches d'hématozoaires aux exigences écologiques différentes, un peu comme le Plasmodium est devenu résistant en bien des endroits aux médicaments anti-paludiques les plus utilisés.

Les autres vecteurs de maladies infectieuses

-*Aedes albopictus* est un moustique d'origine asiatique qui colonise depuis 1990 la moitié septentrionale de l'Italie. C'est un bon vecteur de la dengue mais aussi de la fièvre de la vallée du Rift et du virus West Nile. Ce dernier qui fait régulièrement des victimes au Proche Orient est réapparu dans l'hexagone alors qu'il n'y sévissait plus depuis une trentaine d'année !En effet en Camargue quelques chevaux ont été tués après avoir été piqués par ce moustique vecteur. Le danger serait que le virus parvienne via le moustique à « passer » chez l'homme où il peut causer des encéphalites mortelles.

-*Aedes aegypti* est une espèce voisine. Ce moustique est le principal vecteur de la dengue et de la fièvre jaune. Il était autrefois implanté dans le sud de l'Europe et pourrait bénéficier du réchauffement climatique pour s'y installer et provoquer des épidémies particulièrement redoutables pour une population non immunisée.

-les tiques transmettent l'encéphalite à tique présente en Scandinavie et en Europe du nord centrale et orientale et surtout la maladie de Lyme.

L'évolution du climat pourrait être favorable à l'accroissement des populations de tiques à leur activité au printemps et à leur expansion géographique.

7) Les impacts sur le monde animal et végétal

Dans de nombreux endroits du globe, des observations s'accumulent. Les espèces migrent, les populations changent de taille, les dates d'accouplement ou de migrations évoluent.

Voici quelques observations dans le monde animal et végétal qui témoignent d'un réchauffement de notre planète et des conséquences qu'il pourrait entraîner.

a) le monde végétal (17)(24)(40)

Des chercheurs ont affirmé que les arbres des forêts françaises poussent plus vite qu'autrefois mais ils mettent en garde sur le fait qu'une croissance trop rapide peut provoquer des déséquilibres nutritionnels (moins bonne assimilation du phosphore et de l'azote) rendant les arbres plus fragiles aux maladies, à la sécheresse et aux insectes xylophages.

Les plantes cultivées quant à elles réagissent à la douceur du temps en anticipant leur floraison. Plus vite mûres, les fruits se gorgent davantage de sucres l'été. Le problème c'est que lors d'hivers trop doux, les plantes ne perçoivent pas leur dose réglementaire de froid pour bourgeonner au printemps. D'où des récoltes médiocres de pêches, par exemple, en 2003. De plus, en fleurissant de plus en plus tôt, ces espèces sont menacées par un coup de gel tardif !

De même, la hausse des températures pousse certaines plantes alpines à remonter de plus en plus haut en altitude pour trouver des conditions favorables à leur floraison. Il s'agit le plus souvent d'espèces dites reliques dans le sens où elles étaient beaucoup plus abondantes en Europe au moment de la dernière glaciation.

Au Groenland, de nouvelles espèces de plantes apparaissent. Elles n'ont d'ailleurs pas encore de noms car inconnues jusqu'ici ! Les botanistes y ont découvert également une petite fougère primitive (la botrychne lunaire) à 80 km au nord de son milieu habituel.

Etudions maintenant plus particulièrement le cas des forêts. (5)(8)(17)(24)

Les forêts constituent les milieux les plus riches en diversité animale et végétale notamment les forêts tropicales qui à elles seules accueillent entre 40 et 60 % de la totalité des espèces de la planète. Elles sont malheureusement menacées par le développement agricole et la déforestation pour l'utilisation du bois.

Elles jouent un rôle fondamental car absorbent le CO₂ nécessaire à la croissance des arbres par photosynthèse. Ce phénomène est tout à fait utile pour freiner l'augmentation de ce gaz à effet de serre. Cependant ces forêts peuvent être source de gaz à effet de serre lorsqu'elles sont dévastées par la surexploitation.

Une augmentation du CO₂ dans l'atmosphère favorisera la photosynthèse, c'est à dire l'absorption du gaz carbonique par la plante. On observera alors une croissance végétale plus importante du fait d'une assimilation accrue du carbone atmosphérique.

Les satellites de la NASA ont observé qu'en vingt ans, la période en feuille des arbres a été allongée de douze jours en Amérique du nord et dix-huit à vingt et un jours en Eurasie. En Lorraine, on constate que les hêtres grandissent de 45 cm par an contre 30 cm autrefois. Ceci est le résultat d'un réchauffement climatique mais également d'une hausse du CO₂ atmosphérique.

Une hausse des températures influera sur le cycle annuel des végétaux (repos hivernal, débourrement, développement des bourgeons...). Aujourd'hui, le débourrement (sortie du bourgeon qui donnera ultérieurement la feuille) est avancé pour certaines espèces. De même, beaucoup d'arbres ont besoin en hiver d'une température comprise entre -5 et +5°C pour lever la dormance des bourgeons.

Dans les forêts tempérées, certaines espèces pourraient connaître une expansion vers le nord grâce à des températures hivernales plus élevées. C'est le cas par exemple des pins maritimes. Mais paradoxalement, ces forêts souffriraient du déficit hydrique dans leurs actuelles aires de répartition.

Dans le bassin amazonien qui abrite le plus grand nombre d'espèces végétales et animales, les prévisions font état d'une sensible hausse du thermomètre et d'une prolongation de la saison sèche, susceptibles de conduire à une importante dégradation du couvert végétal. L'augmentation de la fréquence des feux de forêts menace les derniers grands massifs forestiers laissant place à des broussailles ou à de véritables déserts. Selon un groupe de chercheurs britanniques, la majeure partie de la forêt amazonienne aura disparu d'ici à 2050. Il faut savoir tout de même que la destruction de l'ensemble du massif forestier pourrait augmenter les températures globales de 2°C !!!

b) le monde animal (22)

Dans les classes animales, certaines comme les insectes, réagissent très vite aux perturbations climatologiques, d'autres comme les mammifères, beaucoup plus lentement.

La modification d'aires géographiques de certaines espèces n'est pas uniquement due au climat. On peut citer également la destruction des habitats, la pollution et même la

concurrence avec des espèces invasives. Malgré tout, les modifications climatiques enregistrées depuis quelques décennies n'ont pas que des impacts négatifs sur les animaux.

les oiseaux (17)(38)(39)

Sur les quelques 9000 espèces d'oiseaux répertoriées sur le globe, 5000 seraient en déclin et plus de 1000 menacées d'extinction. Bien sur le réchauffement n'est pas le seul coupable. Il s'accompagne de l'urbanisation, de la fragmentation et de la destruction des habitats naturels, de la pollution (aux insecticides principalement) et enfin de l'activité directe de l'homme (chasse...).

Les régions tempérées voient partir leurs migrateurs vers le sud dès l'automne en même temps elles accueillent les oiseaux venus des régions arctiques et boréales qui viennent passer la mauvaise saison sous ces latitudes.

Depuis quelques années, on note chez les oiseaux migrateurs une certaine « paresse » à nous quitter. Par exemple, les espèces grandes migratrices (qui hivernent en Afrique tropicale et équatoriale) ont tendances à s'observer de plus en plus en novembre voire décembre ce qui était exceptionnel il y a 30 ans.

De plus, les hivers sont globalement plus doux mais ne sont pas pour autant épargnés de périodes de froid vif qui sont susceptibles de « piéger » les oiseaux revenus précocement. Ce retour précoce peut être négatif pour certaines espèces qui ne trouveront pas à leur arrivée leurs insectes préférés. La Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO) estime que la moitié des espèces nicheuses, migratrices ou hivernantes en France pourraient être affectées par le changement climatique dans les décennies à venir. Enfin, le réseau mondial de protection des oiseaux quant à lui annonce que ce changement pourrait menacer de disparition 10% des oiseaux d'ici les 100 prochaines années.

les poissons (17)(23)

Des chercheurs de l'Université du Colorado ont montré qu'une élévation modeste de la température des eaux douces aux Etats-Unis conduirait certaines espèces affectionnant les eaux froides (saumons ou truites) à diminuer. De même les espèces qui aiment les eaux plus chaudes (poissons chat, carpes) pourraient voir leur aire de répartition augmenter vers le nord du continent américain.

Prenons l'exemple du tarpon qui est un poisson tropical. Avant les années 1970, il ne dépassait pas le détroit de Gibraltar. Depuis 1990, on le voit de l'Espagne à la Bretagne et on le trouve aujourd'hui au large de l'Ecosse.

On peut s'interroger sur les conséquences d'une modification de la répartition des poissons sur l'économie locale d'une région, qui vit essentiellement de pêche.

les coraux (22)(36)(37)

Parmi les espèces marines, les coraux tropicaux souffrent particulièrement de la chaleur. Ces animaux vivent en colonies, leurs squelettes forment des massifs qui sont extrêmement sensibles aux variations de température. Une hausse de 1°C les rend malades et au-delà de 3°C c'est la mort assurée.

Les coraux vivent en symbiose avec une algue unicellulaire qu'ils abritent dans leurs tissus vivants. Cette algue photosynthétique, une zooxanthelle, se charge pour eux de transformer l'énergie solaire en matière organique qui compose le menu quotidien de nos coraux.

Les pigments de cette algue, qui captent la lumière, sont à l'origine de leurs couleurs variées. Quand la température de l'eau est trop importante, les coraux expulsent leur hôte, deviennent blancs (c'est le blanchiment) et meurent.

Déjà fragilisés par la pollution, ils ne supporteront probablement pas une hausse supplémentaire.

En 1998, le phénomène El Niño qui avait eu pour conséquence une élévation de la température de l'océan a provoqué la disparition de 16% des coraux.

Il faut souligner également que la mort du corail s'accompagne évidemment de celle des poissons qui vivent dans ces récifs.

A Buenos Aires en décembre 2004, lors de la conférence de l'ONU sur le protocole de Kyoto, une étude a constaté que 70% des coraux de la planète auraient disparu ou seraient menacés par le réchauffement climatique.

En revanche, la conclusion qu'un réchauffement global des mers serait néfaste pour le corail ne fait pas l'unanimité. Une étude australienne affirme que la surface des récifs coralliens de la planète pourrait augmenter d'un tiers précisément grâce à la hausse des températures !

Il faut cependant rester prudent car le constat actuel est que 20% des coraux du monde aurait déjà été détruit ou n'aurait guère de perspective de survie.

les insectes (17)(24)

Un certain nombre d'études révèlent que les papillons, diurnes ou nocturnes, sont de bons indicateurs du changement climatique. Depuis 1850, plus de 200 espèces de papillons avaient étendu leur aire de répartition vers le nord.

En Europe, l'Apollon est un papillon diurne qui vit dans les zones montagneuses. Il déserte depuis quelques temps les plus basses altitudes. Il y a 15 ans, il était présent entre 900 et 1000 mètres et aujourd'hui on le retrouve à 1100 mètres. Ce papillon est une espèce relique de la dernière période glaciaire lorsqu'il faisait beaucoup plus froid en Europe.

Les moustiques profitent quant à eux d'un réchauffement climatique qui leur permet de migrer dans des régions où dans le passé ils n'auraient pas pu s'adapter. Ce phénomène peut avoir des conséquences sanitaires si l'on s'intéresse aux moustiques vecteurs de germes pathogènes pour l'homme (cf. impact sur la santé).

les mammifères (17)(40)

Les effets du réchauffement sont plus difficiles à déceler à la différence des autres animaux, ils n'ont pas des capacités de réaction aussi rapides.

Prenons l'exemple de l'ours blanc. Des scientifiques canadiens l'étudient depuis près de 30 ans dans la baie d'Hudson. Dans cette région, la banquise dégèle environ deux semaines plus tôt qu'autrefois, ce qui écourte d'autant plus la chasse aux phoques. Cette chasse permet à l'ours de refaire ses réserves de graisses. On a constaté que les animaux manquent de réserves, ils vivent à terre loin de leur zone de nourriture (la banquise n'est plus là) et dépérissent.

8) Les impacts sur l'agriculture (17)(24)(35)(68)

Les inondations importantes, les fortes sécheresses menacent de s'amplifier et de se multiplier dans les années à venir. Elles auront de toute évidence des répercussions sur les productions agricoles. Des cultures se trouveront noyées ou au contraire brûlées par le soleil avant la récolte.

De même, avec la montée des eaux, des terres riches en sédiments et donc bonnes pour l'agriculture risquent d'être submergées. C'est le cas des deltas où ces terres sont parmi les meilleures pour l'agriculture. Par exemple au Vietnam, 50% de la production de riz provient de la région du delta du Mékong qui est au premier rang pour subir les conséquences d'une montée des eaux.

L'ennui est que ces phénomènes climatiques peuvent être plus importants encore dans les pays en voie de développement, déjà touchés par des problèmes alimentaires. Des études ont montré que certaines cultures tropicales répondent mal à un environnement trop riche en CO₂ alors que les variétés tempérées croissent plus vite. La production de riz pourrait diminuer de 7,4% chaque fois que la température montera de 1°C !

De plus, dans certaines régions, l'eau risque de devenir précieuse et rare et des conflits pour sa maîtrise risquent d'éclater. Comme cela s'est déjà produit localement, la baisse des rendements agricoles pourrait conduire à des famines plus graves encore entraînant alors des déplacements considérables de populations avec toutes les implications sociales et politiques que l'on devine.

Les climats favorables aux diverses cultures seront en général décalés vers les hautes latitudes mais aussi parfois vers des sols peu favorables à ces cultures. Les plaines du MIDDLE-WEST des Etats-Unis, « le grenier à blé et à maïs » ne seront peut être plus qu'un souvenir... On imagine aisément qu'un réchauffement climatique de quelques degrés pourrait rendre cultivables des terres jusqu'alors inexploitablees en Russie par exemple. La Russie y voyait là un moyen naturel de résoudre ses problèmes actuels de sous-production agricole.

Pour illustrer l'impact d'un réchauffement climatique prenons l'exemple d'une activité agricole très présente en France : la viticulture.

La vigne possède un potentiel d'adaptation important aux changements de son environnement mais le réchauffement climatique possible pourrait cependant avoir des effets plus ou moins directs.

Dans l'hypothèse d'un réchauffement autour de 2°C d'ici à 2050, la frontière nord de la vigne se déplacerait de 10 à 30 km par décennie.

De même, les vignerons constatent que les dates des vendanges sont de plus en plus précoces. Par exemple, à Château-Neuf du Pape, en 30 ans, elles ont avancé d'un mois. Le réchauffement pousse la vigne à fleurir de plus en plus tôt. C'est bon pour le raisin qui se gorge davantage de sucre au cours de l'été. Ainsi le cépage grenache (Côte du Rhône) a gagné 2 à 3 degrés d'alcool depuis 1983 !

3^{ème} partie :

Les mesures internationales et nationales et les
solutions pour limiter les émissions de gaz à
effet de serre

I- Qui est responsable des émissions de gaz à effet de serre ?(12)

Les émissions anthropiques mondiales de gaz à effet de serre s'élèvent actuellement à 14 gigatonnes équivalent carbone par an dont 7 à 8 pour le seul gaz carbonique (6,2 Gt proviennent de la consommation de combustibles fossiles) le reste provient de la déforestation (1 à 2 Gt) et de l'industrie cimentaire.

Depuis la fin de la dernière guerre mondiale, les émissions annuelles ont été multipliées par quatre. Cette forte hausse de la consommation d'énergie n'est pas seulement due à l'accroissement de la population, la consommation par habitant et par an a aussi fortement augmenté durant le dernier siècle, passant de 0,2 à 1,5 tonnes équivalent pétrole (tep) en moyenne mondiale !

Cette moyenne reste très inférieure à ce que consomme un américain (7 à 8 tep par an) ou même un européen (3 à 4 tep par an). Si la population mondiale avait le niveau de consommation d'un américain, les émissions de gaz carbonique fossile seraient multipliées par six !

Voici un graphique des principaux pays émetteurs de gaz à effet de serre.(45)

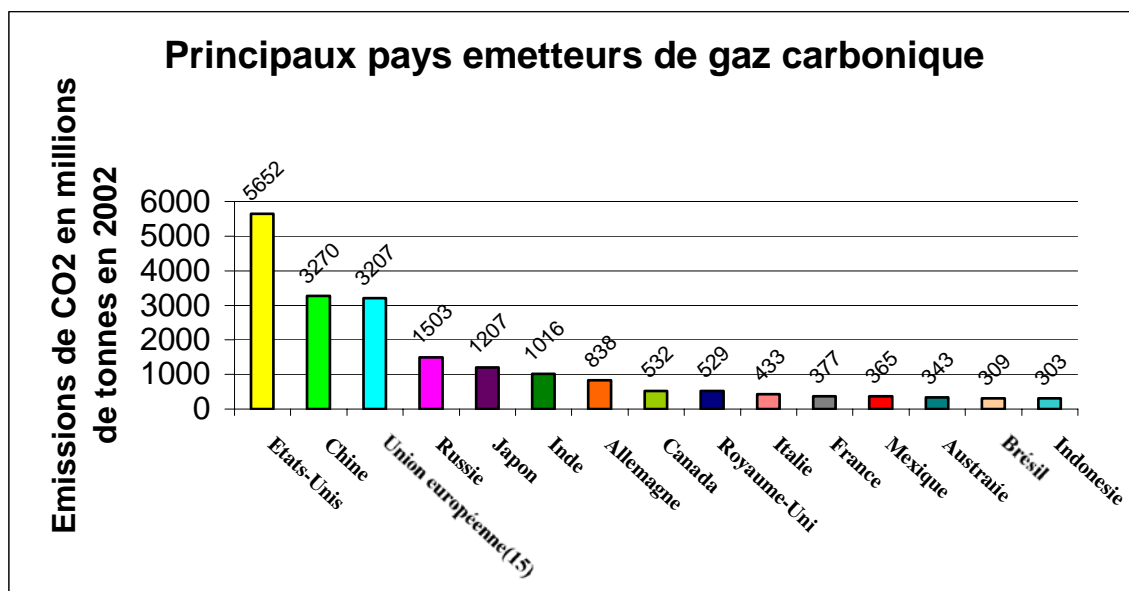


Figure 11

Les Etats-Unis sont de très loin les premiers émetteurs. Comme tous les pays développés, la part du gaz carbonique fossile est prépondérante dans leurs émissions de gaz à

effet de serre. Pour ce seul gaz, ils sont à l'origine de 25% des émissions annuelles de l'humanité !

De plus, la Chine ou encore l'Inde, sont en train de devenir les gros pollueurs de la planète en raison de leur croissance rapide (on constate une augmentation des émissions de 25% par an environ).

Ces pays ne sont actuellement pas soumis à une obligation de réduction de leurs émissions. Quand on sait que ces pays émergents sont en plein développement économique et démographique, on ne peut que s'inquiéter de l'augmentation des émissions de gaz si rien n'est fait pour les réduire. Cependant, avec un tiers de sa consommation d'énergie venant du charbon et un quart du pétrole, la Chine connaît de tels problèmes de pollution que le gouvernement s'est lancé de lui-même vers une mise en application du protocole de Kyoto.(41)(42)(43)

II- Les différents secteurs responsables des émissions de gaz à effet de serre

1) la production d'énergie (13)

La production électrique mondiale est responsable de 30% des émissions de CO₂. Les centrales au charbon sont celles qui rejettent le plus de CO₂ par kiloWattheure produit. La Chine est le premier consommateur mondial de ce combustible solide, suivi de près par les Etats-Unis et l'Inde.

Il existe d'autres moyens pour produire de l'électricité. Le graphique ci-dessous compare les différentes énergies primaires en fonction des émissions de CO₂ en gramme par kWh. Il faut préciser que les émissions ne prennent en compte que le fonctionnement des centrales électriques. (Source : observatoire de l'énergie).(46)

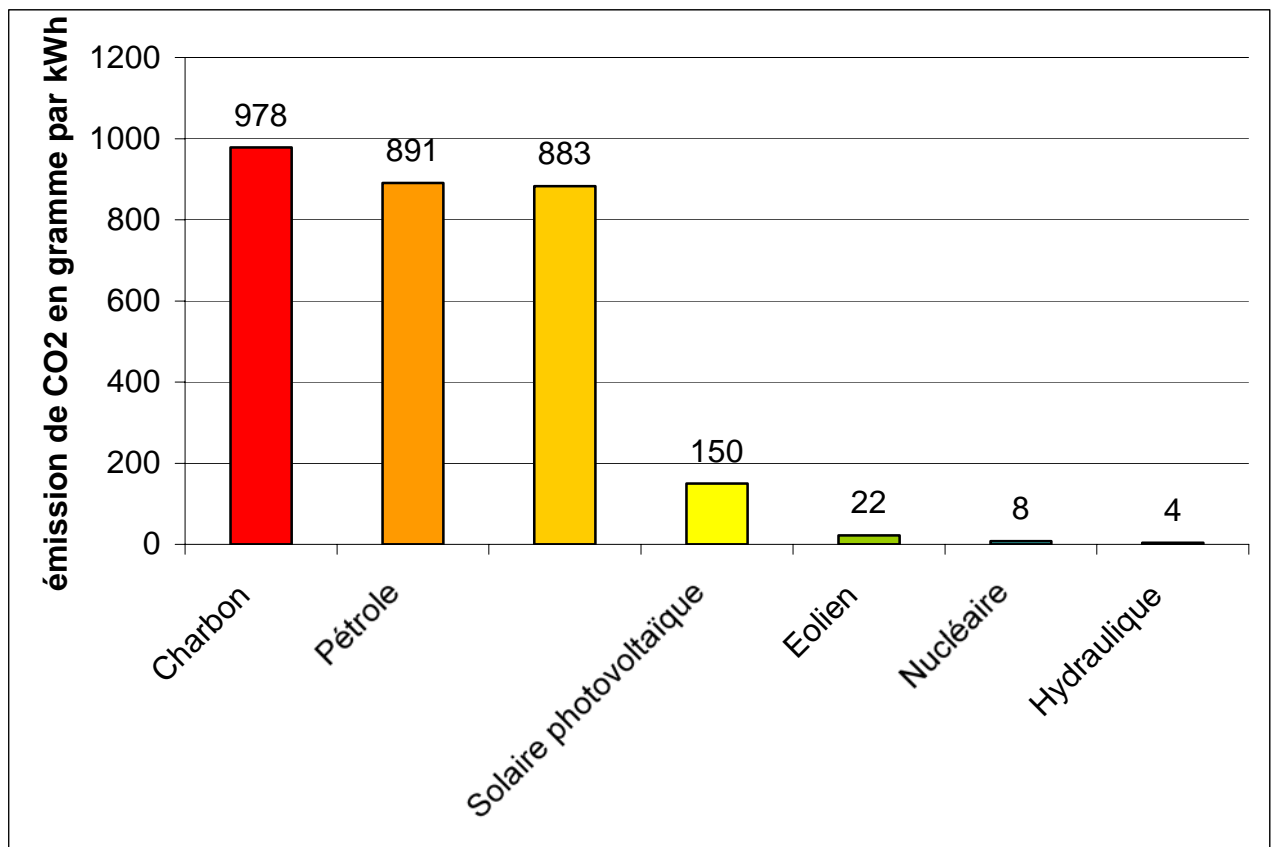


Figure 12

On remarque que les énergies renouvelables (hydraulique, éolienne, solaire) et le nucléaire n'émettent quasiment pas de CO₂. Pour ce qui est du nucléaire, on ne prend ici en compte que le fonctionnement des centrales.

2) l'industrie (13)

C'est un secteur polluant vis à vis de l'effet de serre mais les industriels s'adaptent aux contraintes (économiques, législatives, administratives...). Les émissions de ce secteur sont en régression dans les pays développés. Toutefois une partie de ces « bons » résultats s'explique par la délocalisation des industries vers les pays en voie de développement !!!

Par exemple, transformer du minerai de fer en acier, du sable en verre consomme le gros de l'énergie et est responsable des émissions de l'industrie.

3) les transports (44)

Le transport est responsable de 25% des émissions de CO₂ et dans la mesure où 80% des habitants de la planète n'ont pas de véhicule, ce secteur va continuer sa forte croissance !

On notera que plus les modes sont récents donc rapides et/ou individuels, plus ils sont gourmands en énergie.

Passer de la voiture au train pour les déplacements longs permet une division par trois de l'énergie consommée et, passer de l'avion en court courrier au train, une division par plus de quatre !

L'avion est le moyen de transport dont l'usage augmente le plus vite. Parce qu'il vole à très haute altitude, un avion a un impact climatique qui vaut 1 à 5 fois celle d'un transport routier. Les avions interagissent avec la stratosphère en formant des nuages hauts, fins et translucides contributeurs nets du réchauffement climatique.

Ensuite, les transports terrestres émettent quant à eux du méthane, du protoxyde d'azote, du gaz carbonique. Le problème inquiétant actuel est que les véhicules sont de plus en plus équipés de systèmes de climatisation. En 2003, trois véhicules neufs sur quatre en étaient équipés ! Ce système entraîne des augmentations de consommations : sur route, selon l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) l'augmentation serait de 16 à 20% ! De plus, le rejet de fluides réfrigérants présents dans les systèmes de climatisation font de ces transports des sources d'émissions d'halocarbures.

Le train est le plus économe en gaz à effet de serre mais les émissions peuvent varier d'un pays à l'autre. La France possède une forte proportion de lignes électriques (électricité provenant du nucléaire et de l'hydraulique). La Grande-Bretagne quant à elle possède une forte proportion de trains qui fonctionnent au diesel et une production d'électricité faisant appel au charbon.

Voici un graphique représentant les émissions de gaz à effet de serre selon les modes de transport.

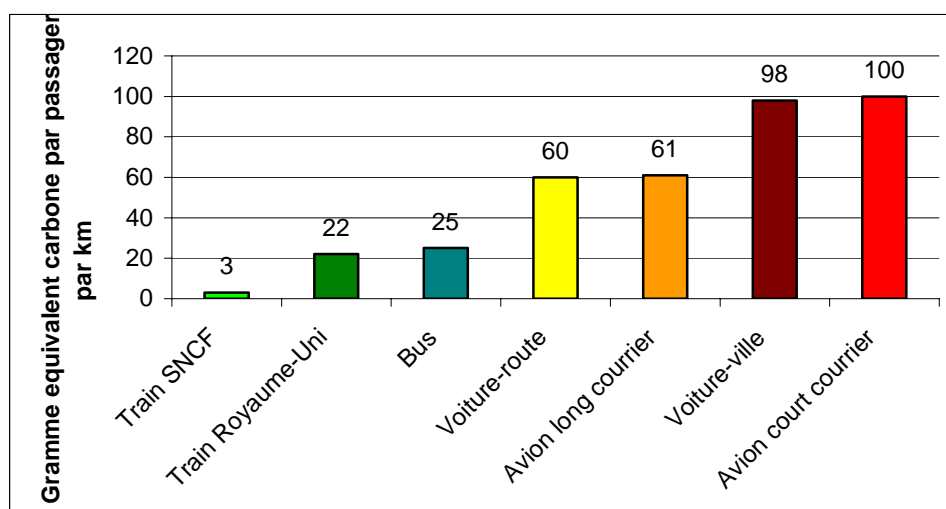


Figure 13

4) le secteur résidentiel et tertiaire (44)

Il s'agit du confort thermique des bâtiments. Dans les pays développés, il s'agira pour l'essentiel du chauffage (fioul, gaz...), de l'eau chaude sanitaire, de la climatisation.

Aux Etats-Unis, la climatisation mobilise 30% de la demande d'électricité lors des grosses chaleurs.

L'augmentation de la consommation électrique n'est pas le seul impact sur l'effet de serre. En effet, les fluides réfrigérants en cas de fuites ont un pouvoir de réchauffement de l'atmosphère jusqu'à 2000 fois plus élevé que celui du CO₂ (par molécule). Il est donc très important que l'installation soit bien étanche !

5) l'agriculture et la sylviculture (44)

Ce sont essentiellement des émissions de méthane (par l'élevage intensif de ruminants) et de protoxyde d'azote (par l'utilisation d'engrais) qui font de l'agriculture un contributeur important à la perturbation climatique.

L'agriculture est à l'origine d'émissions conséquentes alors que les activités sylvicoles (exploitations forestières) conduisent à consommer du CO₂ de l'atmosphère.

III- Les décisions et négociations internationales (1)(12)(22)

Tout ce qui a été présenté précédemment ne fait que confirmer l'urgence et la nécessité pour nous de réagir et de diminuer nos émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement et de toutes ses conséquences. Il n'est plus à discuter des rôles de l'homme dans ce réchauffement. Il est aujourd'hui certain que les émissions anthropiques provoquent une hausse des températures par effet de serre. C'est donc à l'homme de réagir pour ne pas attendre que la situation ne devienne encore plus critique qu'elle ne l'est déjà.

Cette réflexion s'adresse à chacun d'entre nous dans nos actions quotidiennes, nos habitudes de consommation et s'adresse également à un gouvernement, une nation, à l'humanité toute entière.

Quelque soit le niveau de stabilisation auquel nous souhaitons parvenir, il faut que les émissions mondiales de gaz carbonique (sans parler des autres gaz) repassent sous les 3 Gt équivalent carbone par an (contre 7 à 8 Gt aujourd'hui). On obtiendrait ainsi une concentration atmosphérique en CO₂ de 450 ppm. Si ces émissions ne sont pas ramenées sous cette limite, alors la concentration de CO₂ croîtra indéfiniment aussi loin que nous puissions le savoir et les ennuis seront certains.

Pour une population actuelle arrondie à six milliards d'habitants, cela fait 500kg de carbone fossile par an, soit 10% des émissions actuelles d'un américain, 15% de celles d'un allemand, 25% de celles d'un français, 120% de celles d'un indien et 200% de celles d'un habitant de certains pays d'Afrique.

Ce plafond est atteint par un seul aller retour Paris-New York en avion.

Ces chiffres relatent de plus l'écart entre les nations et les différences entre les pays émergents comme l'Inde qui veut tendre vers notre mode de vie et les pays développés qui devront faire des efforts considérables pour atteindre ce seuil.

LE PROTOCOLE DE KYOTO (47)

En 1992, 178 délégations nationales et 116 chefs d'états, participaient au sommet de la Terre à Rio de Janeiro. La convention sur le changement climatique était alors adoptée fixant l'objectif de « *stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique* ».

Le 11 décembre 1997, la communauté internationale adopte le protocole de Kyoto qui transformait l'objectif de la Convention en un engagement obligeant les pays développés à réduire leurs émissions de gaz d'un pourcentage précis.

Le traité définit les moyens par lesquels les pays pourraient satisfaire cet engagement :

- des mesures intérieures d'efficacité énergétique, d'agriculture durable, d'énergies renouvelables, de réductions des émissions dans les transports...
- un marché des réductions d'émissions entre les pays de l'annexe B (cf. annexe3) ayant ratifié le traité
- un transfert de technologie vers les pays du sud dit « *mécanisme de développement propre* » pour les aider à réduire leurs émissions.

a) Les objectifs du traité (48)(49)

Le protocole fixe aux pays dont la liste figure dans l'annexe B (cf. annexe 3) un objectif global de réduction de 5,2% par rapport au niveau de 1990 à atteindre entre 2008 et 2012.

Selon l'article 25 du protocole, celui-ci entrera en vigueur le 90^{ème} jour suivant la ratification du protocole par au moins 55 pays signataires représentant au moins 55% des émissions de gaz à effet de serre.

En 2002, l'Union Européenne a été le premier groupe de grands pays industrialisés à ratifier le protocole.

La ratification de la Russie le 18 novembre 2004, a permis de remplir ces conditions et le protocole est donc entré en vigueur le 16 février 2005. Ce traité a donc été ratifié par 141 pays dont 30 industrialisés.

Chaque pays figurant à l'annexe B du texte prend un engagement d'objectif mais choisit sa propre politique. Pour atténuer le coût de la mise en oeuvre du protocole, un mécanisme de droit d'émissions de gaz à effet de serre et de Bourse est mis en place. Les entreprises peuvent investir pour réduire leurs rejets, acheter ou vendre des droits à polluer sur les marchés. Enfin, un fond d'adaptation permettra d'aider les pays pauvres à s'adapter au réchauffement.

b) L'exemple de l'Europe (48)(51)(52)

Selon le protocole, elle doit réduire de 8% ses tonnages par rapport à 1990.

Le 22 juillet 2003, la Commission Européenne a adopté une directive prévoyant l'ouverture le 1^{er} janvier 2005 d'un marché d'échange à l'échelle de l'Union Européenne où ne s'échangeront au départ que des permis d'émissions de CO₂ entre entreprises industrielles, à l'exclusion des transports et de l'habitat.

Chaque Etat membre a adressé un « plan national d'allocation de quotas » (PNAQ) qui fixe pour les années 2005 à 2007 les quantités de ce gaz que 12 000 industriels (aciéries, centrales électriques, raffineries...) seront autorisés à rejeter dans l'atmosphère. Il est important de préciser qu'un quota représente une tonne de CO₂.

Les entreprises qui réduiront leurs émissions en deçà de leurs quotas pourront revendre les droits non utilisés aux entreprises incapables d'y parvenir. Des sanctions sont prévues en cas de non respect des quotas (amende de 40€ par quota manquant et 100€ à partir de 2008). En 2008 le système d'échange européen est susceptible de s'étendre à d'autres gaz (méthane, protoxyde d'azote et trois gaz fluorés) et il deviendra international.

De même, à titre d'exemple, un cimentier européen pourrait obtenir des crédits suite à des engagements qu'il aurait pris pour réduire les émissions de CO₂ d'une usine en Asie.

En conclusion, les Européens sont à peu près en ligne avec les objectifs exigés. Selon un rapport publié par la Commission européenne, en décembre, l'Union devrait atteindre en 2010 ses objectifs de réduction de 8% des émissions.

c) La position des Etats-Unis (42)(47)(53)(54)(55)(64)

En 1997, le traité est signé par les Etats-Unis après que le vice-président Al Gore ait beaucoup agi pour réduire sa portée. Pour le président Bill Clinton, il était déjà évident que ce traité aurait eu du mal à être ratifié par le sénat américain. En mars 2001, seulement trois mois après son arrivée au pouvoir, son successeur George W. Bush annonçait qu'il s'opposait à la ratification du protocole par les Etats-Unis. En conséquence, ce traité demeure affaibli par l'absence du plus gros pollueur de la planète.

Selon l'administration Bush, le respect des objectifs de Kyoto coûterait trop cher à l'économie américaine. Elle estime que cinq millions d'emplois seraient perdus.

De plus, une autre raison qui motive le refus du traité est qu'il n'impose aucune obligation à la Chine et à l'Inde qui sont en train de devenir des émetteurs importants des gaz à effet de serre en raison de leur croissance rapide.

Depuis le début de son mandat, G.Bush maintenait le fait qu'il n'existait pas de lien scientifiquement prouvé entre les émissions de CO₂ et le changement climatique malgré les affirmations des scientifiques américains.

Il a même assoupli les règles sur les émissions nocives, permettant aux centrales thermiques anciennes de se développer sans avoir à respecter les normes de pollution récentes. Il a supprimé la taxe spéciale sur les groupes chimiques et pétroliers pour financer le nettoyage des rivières polluées.

C'est un peu avant le sommet du G8, qui s'est déroulé du 6 au 8 juillet 2005 à Gleneagles en Ecosse, que le président américain a reconnu au cours d'une conférence de presse qu'il existe un lien entre réchauffement climatique et activité humaine : *« je reconnais que la surface de la Terre est plus chaude et que l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre provoquée par l'activité humaine contribue au problème »*.

Cette reconnaissance scientifique du problème n'engage pas pour autant les Etats-Unis dans le protocole de Kyoto... Au G8, G.Bush a déclaré qu'il existait un « consensus » entre les membres sur les questions liées au réchauffement climatique et il a insisté sur le fait qu'il fallait se diriger vers une ère « post-Kyoto ». Malgré tout, il continue de plaider pour la recherche et le développement de sources d'énergie non polluantes plutôt que pour une réduction des gaz à effet de serre.

Si le président américain a refusé d'adhérer au protocole de Kyoto, le reste des Etats-Unis ne suit pas pour autant les opinions de son président.

La Californie (8^{ème} économie mondiale) s'est engagée à respecter les objectifs internationaux de réduction des gaz à effet de serre d'ici à 2005 : réduction de 11% d'ici à 2010, 25% d'ici à 2020 et 87% d'ici à 2050. Cet état n'est pas le seul, 130 villes américaines sont favorables à la logique de Kyoto et ont promis de réduire leurs émissions.

Très récemment, les Etats-Unis ont lancé, aux côtés de cinq autres grands pays (Australie, Japon, Chine, Inde et Corée du Sud), un plan contre le réchauffement climatique : *« le partenariat Asie-Pacifique pour un développement propre et le climat »*. Ce partenariat est axé autour de l'utilisation de nouvelles technologies. Mais ce plan qui devra être détaillé en novembre 2005, ne comporte aucun engagement chiffré ou daté contre les émissions de

gaz à effet de serre. De plus cela reste « régional » alors que le problème des émissions de gaz à effet de serre est mondial.

d) La position de la France (56)

L'effort exigé par le protocole de Kyoto de la France est l'un des plus faible de tous les pays industrialisés. Le texte fixe à notre pays un objectif de baisse de 8% de ses émissions de gaz à effet de serre en 2010, par rapport au niveau de 1990. Mais, avec l'accord de la communauté internationale, l'Union Européenne s'est engagée en tant que telle à une réduction globale de 8% de ses émissions, les baisses étant réparties entre les Etats membres de cette « bulle » pour tenir compte des situations de chacun. Dans ce cadre, la France a fait valoir que, du fait de son important parc nucléaire, elle disposait de moins de marge de manœuvre que d'autres pays qui peuvent plus facilement jouer sur la modification de leur parc de centrales électriques au charbon. Ainsi l'objectif de la France, dans le cadre du protocole et de cette « bulle » européenne, est passé à...0% !!

Le pays respecte ce but : en 1990, il émettait 568 millions de tonnes de gaz à effet de serre et en 2003, le chiffre était de 557 millions de tonnes soit une baisse de 1,9%.

Lors de l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto, le président Jacques Chirac a confirmé l'engagement de la France pour réduire de 75% ses émissions d'ici 2050. Cet objectif avait été fixé en février 2003 par M. Raffarin et dans le plan climat de juillet 2004.

f) Les premiers résultats et les limites du protocole (50)(58)

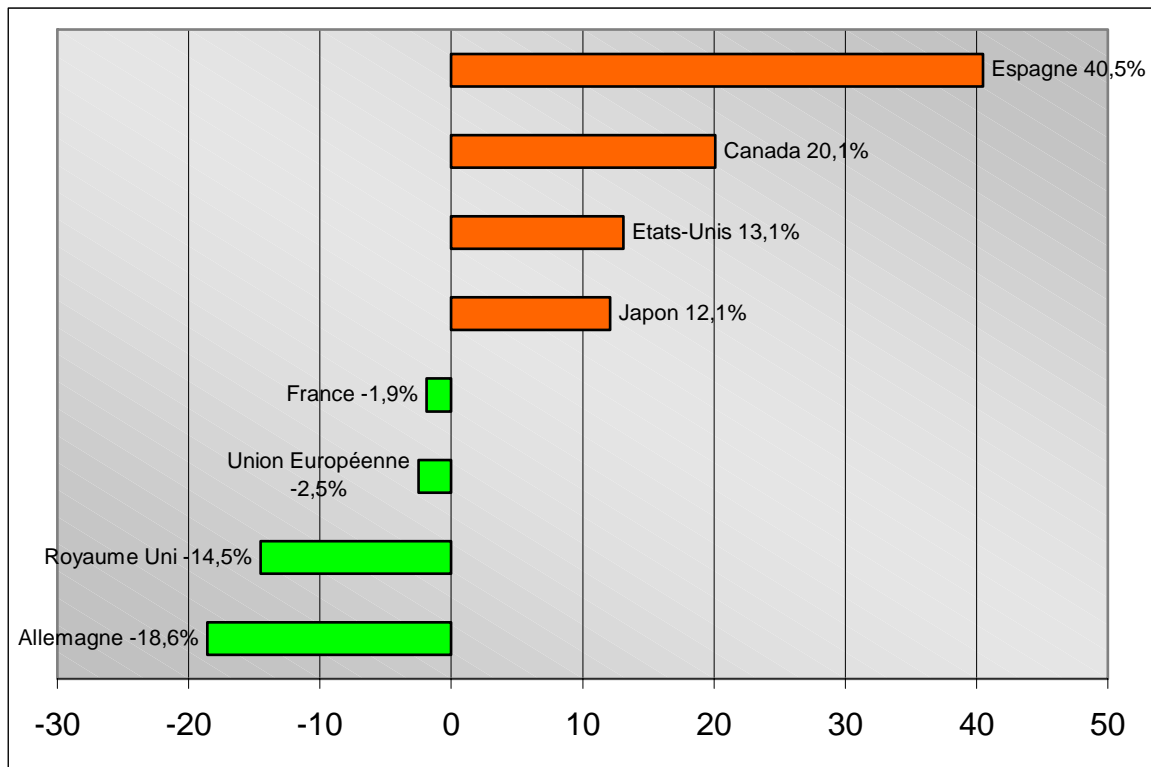


Figure 14

Voici un graphique illustrant les variations du total des émissions de gaz à effet de serre en pourcentage entre 1990 et 2002.

On remarque aisément les pays qui ont commencé à faire des efforts quant à leur réduction d'émissions.

Le protocole de Kyoto est le premier traité contraignant des Etats à agir de concert pour préserver la planète. L'aspect le plus important de Kyoto dont il ne faut pas attendre de miracle, est qu'un premier pas a été fait.

D'un point de vue scientifique, l'impact du protocole sera négligeable. Avec la participation des Etats-Unis, le coup de chaud aurait été atténué de 0,06°C pour une hausse évaluée sur un siècle de 1,4 à 5,8°C.

Le principal problème est évidemment la non ratification des Etats-Unis mais également l'absence de programme d'action et d'engagement précis dans les économies émergentes notamment la Chine et l'Inde.

De plus, concentrer les obligations et les contraintes sur quelques pays seulement avec un surcroît de coût pour les entreprises qui devront acheter des quotas supplémentaires, risque de conduire à des délocalisations.

La directive européenne qui a instauré des quotas d'émissions de CO₂ et un marché d'échange de ces quotas n'a pas impliqué les secteurs et les activités les plus fortement émetteurs comme les transports ou les consommations énergétiques des bâtiments (climatisation, chauffage).

En conclusion, la question du CO₂ est une question cruciale pour notre planète. C'est sans doute la première fois dans l'histoire du monde qu'un problème collectif de cette importance est identifié.

Nous allons ensuite traiter des solutions et alternatives qui s'offrent à nous afin que dans l'avenir nous réduisions nos émissions de gaz à effet de serre et plus particulièrement de CO₂.

IV- Comment réduire l'effet de serre ? (1)(22)

Il est important actuellement de trouver les solutions qui permettront de concilier la demande en énergie importante avec une réduction des émissions de gaz à effet de serre et principalement celles du gaz carbonique.

La meilleure solution consiste sans doute à attaquer le problème par tous les fronts possibles : tout d'abord en maîtrisant notre consommation d'énergie (en améliorant les rendements et en utilisant l'énergie de manière plus rationnelle), en produisant notre énergie à partir de sources moins ou non émettrices de gaz à effet de serre et enfin en piégeant le gaz carbonique à la sortie des centrales et le stocker par la suite dans des réservoirs appropriés.

Une chose est sûre, l'homme doit prendre du recul par rapport à son mode de vie et s'apercevoir qu'il commet un grand nombre de gaspillages d'énergie dont il pourrait faire l'économie sans réduire pour autant son bien-être.

1) la maîtrise de l'énergie (13)(60)(61)(65)

La maîtrise de l'énergie consiste à trouver des solutions où l'on consomme mieux en dépensant moins d'énergie.

En effet, chaque individu peut contribuer à réduire sa consommation d'énergie en roulant moins vite, en éteignant les lumières inutiles, en isolant son habitation...

Dans l'industrie, l'amélioration des procédés de fabrication permet d'économiser de l'énergie.

Dans le secteur du bâtiment, des progrès considérables ont été accomplis dans l'isolation thermique des habitations et des bureaux. En effet, la réduction des consommations énergétiques passe au préalable par une conception climatique des bâtiments afin de profiter au maximum des apports solaires et d'isoler le mieux possible les parois de l'air extérieur. Dans le même intérêt, la Haute Qualité Environnementale (HQE) des bâtiments consiste à maîtriser les répercussions sur l'environnement extérieur et à créer un environnement intérieur sain et confortable. La HQE garantit la réduction des consommations d'énergie, la diminution des émissions de CO₂ (sur-isolation, énergies renouvelables), la diminution des consommations d'eau (recyclage des eaux de pluies pour WC, nettoyage et arrosage).

Le secteur des transports, quant à lui, est très coûteux en énergie et en émission de gaz à effet de serre. Dans les pays développés, la croissance en nombre et surtout en taille des véhicules se poursuit ce qui témoigne d'une certaine irresponsabilité. Dans ce domaine, le recours à d'autres sources d'énergie que les combustibles fossiles devient donc une nécessité.

Pour finir, citons un exemple de maîtrise de l'énergie. On sait réduire de 80% la consommation d'électricité d'un réfrigérateur par amélioration du compresseur, de l'isolation.... D'après une étude de l'American Council for an Energy efficient economy, si on changeait les 250 millions de réfrigérateurs des pays en voie de développement par 250 millions de réfrigérateurs « efficaces », on observerait une diminution de la consommation d'électricité de 42 gigaWatt, ce qui équivaut à la production d'une soixantaine de centrales nucléaires !!

2) production d'énergie non fossile

Pour l'instant, deux grandes catégories de sources d'énergie se distinguent de l'énergie produite à partir des combustibles fossiles. Il s'agit des énergies nouvelles et renouvelables et de l'énergie nucléaire.

a) les énergies propres

l'hydraulique (13)(62)

C'est l'énergie renouvelable la plus développée dans le monde et également la plus ancienne (moulin à eau). Selon l'Agence internationale de l'énergie, elle fournit 20% de l'électricité mondiale.

Le principe illustré ci-dessous est très simple. L'eau entraîne une turbine qui reliée à un alternateur produit de l'électricité. (Source : Agence de l'environnement et la maîtrise de l'énergie)

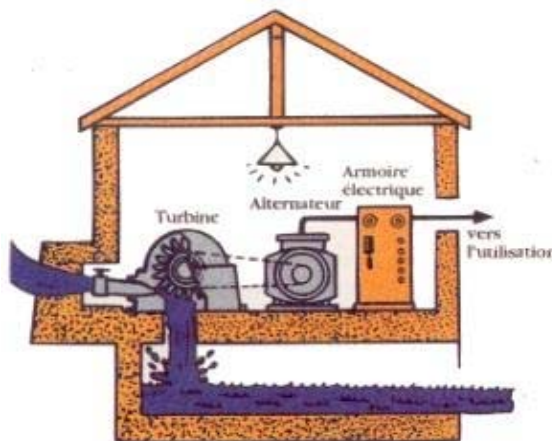


Figure 15

Cette énergie présente de nombreux avantages comme une très longue durée de vie de l'investissement et un coût d'exploitation faible. Par ailleurs, les barrages permettent une régulation des cours d'eau pour la navigation ainsi que la prévention des inondations et l'irrigation.

La construction des barrages est en cours dans les pays en voie de développement, essentiellement en Chine avec le barrage des Trois-Gorges qui sera le plus grand barrage du monde, en Inde, au Brésil... Par contre, dans les pays développés, la construction est pratiquement inexistante.

En France, la puissance hydraulique est de 25 822 MégaWatt (MW) pour environ 270 barrages. Cela représente 13,9% de la production française d'électricité.

l'éolien (13)(60)(62)

Le principe est simple, à l'inverse d'un ventilateur qui utilise un moteur électrique pour faire tourner les pales montées sur un rotor afin de produire un courant d'air, l'éolienne utilise le vent pour faire tourner un rotor actionné par les pales et couplé à une génératrice. Cette rotation produit de l'énergie mécanique qui est ensuite transformée en énergie électrique. Celle-ci peut être distribuée aux normes sur le réseau grâce à un transformateur.

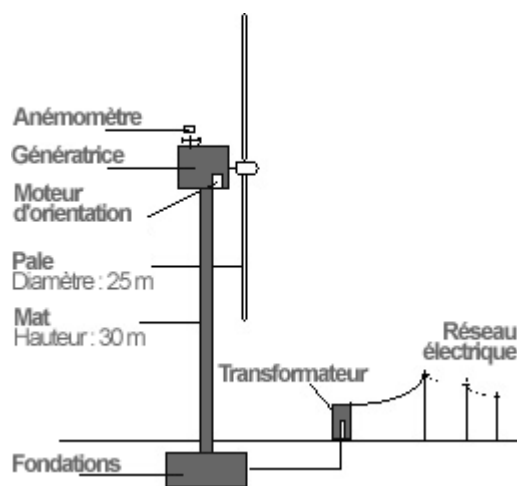


Figure 16

La production d'énergie éolienne est en pleine croissance, les fermes éoliennes (regroupement de plusieurs éoliennes) peuvent produire jusqu'à 10 MW par an et répondre à la demande locale.

Par exemple, au Danemark, en 2003, les fermes ont produit 15,9% des besoins en électricité du pays ce qui lui a permis de réduire ses émissions de CO₂ de 5%.

En France, début 2005, on comptait 56 parcs éoliens capables de fournir 253 MW, ce qui représente seulement 0,25% de la production française d'électricité.

Parmi les inconvénients de l'éolien, on peut citer les superficies nécessaires à l'implantation des parcs éoliens, leur coût élevé et l'esthétique environnementale critiquée par les riverains. Mais il faut bien garder à l'esprit que l'utilisation du vent pour produire de l'électricité est sans conséquence sur notre atmosphère !

Pour pallier en partie à ces inconvénients, on a développé des fermes *offshore* c'est à dire implantées en pleine mer.

l'énergie solaire (13)(60)(62)

Cette énergie est abondante mais difficile à capter et à stocker.

L'énergie solaire thermique est utilisée essentiellement pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire des habitations.

L'énergie solaire photovoltaïque est produite par des panneaux constitués de cellules photovoltaïques. Elles convertissent directement le rayonnement solaire en énergie électrique. Cette énergie a une application surtout dans l'habitat. Elle n'est pas appropriée pour une production massive d'électricité en raison de la surface de panneaux qu'il faudrait déployer mais s'intègre parfaitement à l'habitat et à l'usage domestique.

Le coût encore élevé limitait le développement de cette énergie propre mais depuis quelques années cependant, avec l'apparition de politiques volontaristes de développement d'énergies renouvelables, le photovoltaïque connaît un développement significatif dans l'habitat.

Comme pour l'énergie éolienne, l'énergie solaire a pour inconvénient l'irrégularité de la fourniture d'énergie. Le développement de système de stockage d'électricité est un enjeu important pour ces filières d'énergies renouvelables.

la géothermie (13)(62)

La géothermie tire son énergie de la chaleur interne de la Terre. En effet, partout la température croît depuis la surface vers l'intérieur de la Terre. Cette chaleur est produite par la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre. L'extraction de cette chaleur n'est possible que lorsque les formations géologiques constituant le sous-sol contiennent des nappes souterraines renfermant de l'eau ou de la vapeur d'eau.

Les régions les plus favorables à la géothermie sont les régions volcaniques. C'est une source de chaleur qui permet aussi bien d'assurer la production d'électricité que le chauffage urbain.

Cette énergie renouvelable présente l'avantage d'être non intermittente.

En France, l'essentiel de l'électricité géothermique est produit dans la centrale de Bouillante en Guadeloupe. Dans le bassin parisien par exemple, les gisements permettent le chauffage de milliers d'habitations et de bâtiments publics.

la biomasse (17)(60)

Il s'agit d'une énergie renouvelable conventionnelle avec la combustion du bois et des déchets végétaux. En effet le bois est utilisé comme combustible pour la cuisson et le chauffage de l'habitat. Mais il s'agit également d'une énergie nouvelle avec la production de biocarburants d'origine agricole (à partir de colza, de betteraves ou encore de tournesol) ainsi que de biogaz (essentiellement du méthane issu de la fermentation des déchets organiques agricoles et urbains). Ce biogaz permet de réduire de façon considérable les émissions de méthane tout en valorisant le potentiel énergétique de ce gaz. Il peut être employé comme combustible dans une chaudière ou utilisé pour produire de l'électricité.

b) Que dire de l'énergie nucléaire ? (60)(62)(66)

Pour certains hommes politiques, l'énergie nucléaire est considérée comme une énergie propre vis à vis de l'effet de serre. Nous avons vu précédemment que cette énergie, lors du fonctionnement des centrales, n'émet que très peu de CO₂.

Le problème est que les émissions de CO₂ de la filière nucléaire du « berceau à la tombe » sont loin d'être négligeables. En effet toutes les étapes de la chaîne consomment de l'énergie pour l'extraction du minerai d'uranium, pour l'enrichissement de cet uranium, pour être utilisé dans ces centrales, pour le transport de cet uranium enrichi et enfin pour le retraitement et le stockage des déchets (en France, à la Hague).

De plus, le nucléaire n'est pas une énergie renouvelable car le combustible nucléaire utilisé est une ressource naturelle vouée à l'épuisement. Les réserves prouvées en uranium s'élèvent à près de trois millions de tonnes (environ 100 ans d'exploitation).

Enfin, il n'est pas sans danger pour l'environnement. En effet, sa dangerosité et l'accident de Tchernobyl sont désormais étroitement associés dans les esprits.

La question de la sécurité des réacteurs et de la gestion des déchets radioactifs sont considérés comme des inconvénients majeurs par une grande partie de l'opinion publique mondiale.

Pour toutes ces raisons, on ne peut donc pas accepter le nucléaire comme réponse à l'effet de serre malgré son efficacité en matière de production d'électricité.

4) Les puits de carbone (17)(60)(63)

a) Les puits naturels de carbone

les océans

Les océans contiennent un large stock de carbone (environ 40 000 milliards de tonnes) qui est loin d'être épuisé. Considéré comme la « poubelle » idéale, l'océan par sa forte capacité de stockage suscite un grand nombre d'idées qui peuvent laisser perplexe. Le phytoplancton qui est un organisme autotrophe, nécessite pour sa synthèse du gaz carbonique, des éléments nutritifs ainsi que des éléments traces et de l'énergie solaire. Ainsi, des chercheurs ont proposé pour rendre ce processus plus efficace de déverser du fer pour stimuler cette productivité marine. Ces techniques sont toutefois considérées avec scepticisme dans la communauté scientifique car leur efficacité réelle n'est pas établie et leur impact potentiel sur l'écologie et la biodiversité marine exige des recherches approfondies. De même certains scientifiques ont eu l'idée d'immerger du CO₂ préalablement liquéfié par 3 000 mètres de fond où il serait piégé par la pression élevée. D'autres équipes imaginent de déverser des blocs de glace carbonique en pleine mer. Cette dernière solution est condamnée par les spécialistes qui affirment que le stockage n'est pas stable à long terme.

la biomasse

La biomasse participe naturellement au piégeage du CO₂. Chaque arbre est en effet capable d'absorber le gaz carbonique de l'atmosphère pour le transformer en matière végétale. La forêt joue donc un rôle d'éponge pour emprisonner durablement le gaz carbonique lors de la croissance des arbres. L'idée de planter des arbres et de faire des cultures intensives semble logique mais la formation de puits de carbone dans la biosphère continentale est réversible et une fois le carbone stocké, il faut prendre les mesures appropriées pour en assurer la conservation à long terme.

Il est donc très difficile de capter le carbone en excès par la biosphère sans provoquer des risques pour ces écosystèmes. C'est pourquoi, on a pensé à capturer le CO₂ à la source des émissions et à le séquestrer dans les sous-sol de la Terre.

b) La capture et la séquestration du CO₂ (13)(17)(62)

Une idée très simple en apparence : éviter de rejeter le gaz carbonique, c'est à dire le récupérer avant qu'il ne rejoigne l'atmosphère, le conditionner et le stocker durablement dans le sous-sol et ce bien sur suffisamment longtemps pour qu'il ne retrouve l'atmosphère qu'une fois les combustibles fossiles épuisés.

A l'heure actuelle, cette option qui vise à capturer le carbone dans les centrales thermiques ou dans les grandes installations de combustion et à le stocker dans le sous-sol est sérieusement étudiée. Par contre cela paraît beaucoup plus difficile pour les sources diffuses et faibles de gaz carbonique comme les voitures en raison de la technologie coûteuse et encombrante à mettre en place.

Le principe est simple, tout d'abord il faut capturer le CO₂ présent dans les gaz d'échappement. La technique la plus courante fait appel à des solvants chimiques capables d'absorber le CO₂.

Une fois capturé, le CO₂ va être soit réutilisé ou soit séquestré.

Il existe dans les sous-sol de nombreuses possibilités de stockage géologique. Les gisements de combustibles fossiles en fin d'exploitation ou épuisés qui constituent d'importantes cavités qui peuvent accueillir du CO₂ sous pression. D'autres sites comme les nappes aquifères salines profondes sont également envisagées.

En ce qui concerne le recyclage du CO₂ capturé, l'utilisation la plus citée concerne l'industrie pétrolière. En effet, le gaz carbonique sous pression permet d'extraire du pétrole qui ne pourrait être extrait en raison de sa trop grande viscosité. Le gaz carbonique est également utilisé dans l'industrie chimique pour la synthèse de produit comme l'urée, dans l'alimentation (boisson gazeuse...).

Il est bien entendu que toutes ces techniques de capture et séquestration n'engendrent pas plus de gaz à effet de serre par leur réalisation que le gaz carbonique stocké.

Nous voyons qu'actuellement, nous sommes encore très loin de la mise en application « capture et séquestration ». Cela reste très hypothétique.

CONCLUSION

Aujourd'hui, une seule certitude apparaît : les activités humaines aussi diverses soient-elles, ont modifié la composition de notre atmosphère. Il en résulte une augmentation de gaz présents dans cette atmosphère et même l'apparition de nouveaux gaz qui n'existaient pas avant l'ère industrielle. Ces gaz sont responsables du réchauffement climatique de notre planète.

Il est vrai que depuis sa création, la Terre a connu une succession de climats divers, passant de périodes de glaciations à des périodes plus douces. L'ennui actuellement, c'est que le climat change non pas à l'échelle du milliard d'années mais à l'échelle du siècle.

Il y a déjà bien longtemps que les scientifiques ont identifié le problème qui menace notre planète. Mais il a fallu des années avant que la classe politique internationale s'y intéresse. La médiatisation massive que l'on connaît en ce moment sensibilise les citoyens et constitue une réelle prise de conscience.

Il ne nous reste plus qu'à nous poser la vraie question : quelle planète voulons-nous laisser aux générations futures ? Si nous voulons être égoïstes, nous pouvons continuer à épuiser les réserves de la Terre, nous pouvons poursuivre nos émissions massives de gaz à effet de serre car c'est vrai, en 2100 nous ne serons plus là ! Mais, en tant qu'être vivant, habitant sur cette planète, nous n'avons pas le droit de la détruire, de la rendre inhospitalière à d'autres espèces sous prétexte d'un développement économique sans limite ou d'une quelconque rentabilité.

Il existe des solutions pour produire de l'énergie, se déplacer sans pour autant polluer l'atmosphère. La première des solutions est la modification profonde de notre façon de vivre. Chacun a un rôle à jouer pour réduire les émissions de gaz à effet de serre afin de limiter l'augmentation inévitable de ces gaz dans l'atmosphère. A titre d'exemple, on peut éteindre les lumières inutiles, se déplacer à pied ou à vélo pour les petits trajets plutôt que de sortir la voiture ou même parfois le 4x4, utiliser des énergies renouvelables comme l'énergie solaire pour chauffer l'eau de la maison...

Les scientifiques sont aujourd'hui à la recherche de solutions pour piéger le gaz carbonique qui est le principal gaz responsable de l'effet de serre anthropique. Les idées les plus saugrenues sont proposées. Les océans, les sous-sols de la Terre représentent des réservoirs parfaits. Mais il ne faut cependant pas jouer les savants fous. Nous l'avons vu, notre Terre est fragile, nous ne pouvons pas faire n'importe quoi pour cacher ce CO₂ et ainsi se déculpabiliser d'en émettre massivement.

La menace est réelle, alors, plutôt que de continuer à ignorer le problème, prenons le au sérieux et CHANGEONS.

TABLE DES MATIERES

<u>INTRODUCTION</u>	4
 <u>Première partie : Généralités</u>	 5
I- Historique de la découverte de l'effet de serre	6
1) Les travaux de Horace Bénédicte de SAUSSURE et de Joseph FOURIER	6
2) Les travaux de John TINDALL	7
3) Les travaux de Svante ARRHENIUS	7
4) A partir de 1957	8
 II- Le climat de la planète au cours du temps	 10
1) Définition du climat	10
2) Les variations observées du climat	10
 III- Qu'est-ce que l'effet de serre ?	 13
1) Rappel sur notre atmosphère	13
2) La serre du jardinier	13
3) L'effet de serre dans l'atmosphère	14
4) L'importance de l'effet de serre	14
5) Pourquoi Vénus et Mars sont inhabitables ?	15
 IV- Les gaz à effet de serre	 16
1) Présentation des différents gaz à effet de serre	17
a) la vapeur d'eau	17
b) le gaz carbonique	17
c) le méthane	18
d) le protoxyde d'azote	19
e) les halocarbures	20
f) l'ozone troposphérique	20
2) Comparaison de ces différents gaz	20
a) durée de séjour dans l'atmosphère	20
b) le pouvoir de réchauffement global	21
c) l'équivalent carbone	22

3) Les aérosols, « la pollution locale contre l'effet de serre » ?	22
4) Relations entre gaz à effet de serre et température	24
5) Conclusion	25
 <u>Deuxième partie : Les impacts du changement climatique</u>	 26
 I- Variations observées de la température	 27
 II- La modélisation numérique du futur climat	 28
 III- Les impacts du réchauffement climatique	 32
1) Les glaciers et les calottes glaciaires	32
2) Le dégel des sols	33
3) L'élévation du niveau de la mer	34
4) La circulation des océans	35
5) Les phénomènes climatiques extrêmes	35
6) Les impacts du changement climatique sur la santé	36
a) les effets directs du réchauffement	37
b) les effets indirects	39
<i>le paludisme</i>	39
<i>les autres vecteurs de maladies infectieuses</i>	41
7) Les impacts sur le monde animal et végétal	41
a) le monde végétal	42
b) le monde animal	43
<i>les oiseaux</i>	44
<i>les poissons</i>	44
<i>les coraux</i>	45
<i>les insectes</i>	46
<i>les mammifères</i>	46
8) Les impacts sur l'agriculture	46

<u>Troisième partie : Les mesures internationales et nationales</u> <u>et les solutions pour limiter les émissions de gaz à effet de serre</u>	48
I- Qui est responsable des émissions de gaz à effet de serre ?	49
II- Les différents secteurs responsables des émissions de gaz à effet de serre	50
1) La production d'énergie	50
2) L'industrie	51
3) Les transports	52
4) Le secteur résidentiel et tertiaire	53
5) L'agriculture et la sylviculture	53
III- Les décisions et négociations internationales	54
Le protocole de Kyoto :	
a) les objectifs du traité	55
b) l'exemple de l'Europe	56
c) la position des Etats-Unis	56
d) la position de la France	58
e) les premiers résultats et les limites du protocole	59
IV- Comment réduire l'effet de serre ?	60
1) La maîtrise de l'énergie	61
2) Production d'énergie non fossile	62
a) les énergies propres	62
<i>l'hydraulique</i>	62
<i>l'éolien</i>	63
<i>l'énergie solaire</i>	64
<i>la géothermie</i>	64
<i>la biomasse</i>	65
b) que dire de l'énergie nucléaire ?	65
3) Les puits naturels de carbone	66
a) les puits naturels de carbone	66
<i>les océans</i>	66
<i>la biomasse</i>	66
b) La capture et la séquestration du CO ₂	67

<u>CONCLUSION</u>	68
Table des matières	70
Annexe 1 : Définitions	74
Annexe 2 : Présentation et organisation du GIEC	75
Annexe 3 : Les pays de l'annexe B du protocole de Kyoto et les engagements concernant les émissions	76
BIBLIOGRAPHIE	78

Annexe 1 : DEFINITIONS

-Anthropique : qui est produit par l'homme.

-Circulation thermohaline : circulation océanique engendrée par les différences de densité des diverses eaux de mer, liée à leur température ou à leur teneur en sel.

-Combustibles fossiles : le charbon, le pétrole et le gaz naturel, utilisés pour la production d'énergie au moyen de la combustion. Ils sont constitués de restes d'animaux et de plantes fossilisés, riche en carbone.

-Ecosystème : ensemble d'être vivants en interaction entre eux et avec leur environnement.

-Giga : 10^9

-Isotope : atome ayant le même nombre d'électrons et de protons mais dont la quantité de neutrons diffère.

-Méga : 10^6

-Pergélisol : sol gelé en permanence là où la température reste sous la barre des 0°C plusieurs années de suite.

-Rayonnement infrarouge : rayonnement de longueur d'onde comprise entre 0.8 microns et 1 mm.

-Rayonnement visible : rayonnement de longueur d'onde comprise entre 320 et 800 nanomètres.

-Rayonnement ultraviolet : rayonnement de longueur d'onde comprise entre 280 et 320 nanomètres.

-Symbiose : association de deux ou plusieurs organismes vivants qui se rendent des services complémentaires leur permettant de vivre.

-Tonne équivalent pétrole : correspond à l'énergie dégagée par la combustion d'une tonne de pétrole.

Annexe 2 : Présentation et organisation du GIEC

En 1988, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) fondent le groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, GIEC en français et IPCC en anglais (Intergovernmental Panel On Climate Change).

Son but est de faire le point, de synthétiser et résumer les connaissances afin que les décideurs politiques puissent s'en servir comme base d'information et de réflexion.

Le GIEC fait travailler des milliers de chercheurs de différentes spécialités (sciences physiques, économie, sciences sociales....) dans le monde entier.

Il doit rédiger un résumé qui synthétise leur expertise à l'attention des responsables politiques. Depuis sa création, le GIEC a rendu 3 séries de rapports en 1990, 1995 et 2001. Il a évalué l'ampleur du réchauffement à venir et identifié une responsabilité humaine importante.

Le GIEC est dirigé par un bureau de 30 membres, tous scientifiques reconnus. Il est organisé en trois groupes de travail. Le travail du premier groupe est consacré aux éléments scientifiques sur le changement climatique, le deuxième groupe analyse ses conséquences et enfin le troisième groupe réfléchit sur les solutions pour y faire face.

Chaque groupe doit publier un rapport complet tous les cinq à six ans ainsi qu'un résumé technique et un résumé destiné aux décideurs. Ce dernier doit être adopté à l'unanimité par les délégués politiques de plus de 170 Etats aux intérêts forcément divergents. Le prochain rapport est attendu en 2007.

Annexe 3 : les pays de l'annexe B du protocole de Kyoto et les engagements
concernant les émissions

Allemagne	-21%
Australie	8.0%
Autriche	-13%
Belgique	-7.5%
Bulgarie	-8.0%
Canada	-6.0%
Croatie	-5.0%
Danemark	-21%
Espagne	15%
Estonie	-8.0%
Etats-Unis d'Amérique	-7.0%
Finlande	0.0%
France	0.0%
Grande-Bretagne	-12.5%
Grèce	25%
Hongrie	-6%
Irlande	13.0%
Islande	10.0%
Italie	-6.5%
Japon	-6.0%
Lettonie	-8.0%
Liechtenstein	-8.0%
Lituanie	-8.0%
Luxembourg	-28%
Monaco	-8.0%
Norvège	1.0%
Nouvelle-Zélande	0.0%
Pays-Bas	-6.0%
Pologne	-6.0%
Portugal	27%
République tchèque	-8.0%

Roumanie	-8.0%
Russie	0.0%
Slovaquie	-8.0%
Slovénie	-8.0%
Suède	4.0%
Suisse	-8.0%
Ukraine	0.0%

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Michel PETIT, « qu'est ce que l'effet de serre ? », édition Vuibert, 2003
- (2) GRINEVALD J., « De Carnot à Gaya, l'histoire de l'effet de serre », La Recherche n° 243
- (3) KANDEL R., FOUQUART Y., « Bilan thermique de la Terre », La Recherche n°241
- (4) Hervé KEMPF, Le Monde, 20 juin 2004, « réchauffement, le gouvernement ne se résout pas à cibler la voiture »
- (5) Fred PEARCE, « Le Réchauffement climatique », Focus Sciences, 2003
- (6) Robert KANDEL, « Le Réchauffement climatique, le grand risque », édition Que sais-je ?, 2002
- (7) J.C DUPLESSY et Pierre MOREL, « Gros temps sur la planète », édition Odile Jacob, 1990
- (8) J.L FELLOUS, « Avis de tempêtes, la nouvelle donne climatique », édition Odile Jacob, 2003
- (9) Pierre de FELICE, « L'effet de serre », édition L'Harmattan, 2001
- (10) Gérard GUYOT , « climatologie de l'environnement », édition Dunod, 1999
- (11) site Internet de Jean Marc JANCOVICI : www.manicore.com
- (12) Jean Marc JANCOVICI, « l'avenir climatique », édition du seuil, 2002
- (13) René DUCROUX et Philippe JEAN BAPTISTE, « l'effet de serre, Réalité, conséquences et solutions », CNRS édition, 2004
- (14) Sylvestre HUET, Libération, 24 /09/2004, « Les mers vident l'air de son CO2 et virent à l'acide »

- (15) Laurence NOUAHLAT, Libération, 05/08/04, « Les pluies acides, agent double contre l'effet de serre »
- (16) Gérard BELTRANDO, « Les climats, processus, variabilités et risques », édition Armand Colin, 2004
- (17) Philippe J.DUBOIS et Pierre LEFEVRE, « un nouveau climat, les enjeux du réchauffement climatique », édition de la Martinière, 2004
- (18) Rapport du GIEC : Bilan 2001 du réchauffement climatique
- (19) Serge POIROT, Ouest France, 12/02/2005, « Climat, l'accord de Kyoto entre en vigueur »
- (20) Le Monde, 11-06-2004, « La glace du pôle révèle 740 000 ans d'archives climatiques »
- (21) Hervé Morin, Le Monde, 28-06-2005, « Charles D.Keeling, climatologue américain »
- (22) Jean JOUZEL et Anne DEBROISE, « Le climat : jeu dangereux », édition Dunod, 2004
- (23) Daniel GLICK, National Geographic, octobre 2005, « le grand dégel »
- (24) Olivier HERTEL, le Point, 12-12-2003, « Réchauffement de la planète, les preuves à nos portes »
- (25) Luc HILLY, Libération, 12-05-2005, « Emballé c'est glacier »
- (26) Caroline de MALET, le Figaro, 16-12-2005, « les chercheurs répondent aux sceptiques ».
- (27) Denis DELBECQ, Libération, 23-04-2004, « le dégel du permafrost, un danger pour les terres nordiques »
- (28) Caroline de MALET, le Figaro, 09-11-2004, « la fonte des glaces... »
- (29) Rafaël BRILLAUD, Libération, 09-07-2005, « l'inexorable écoulement du sable »
- (30) Guy-Pierre CHORETTE, Géo, mai 2005, « les premiers réfugiés climatiques »

- (31) Libération, 18-08-2004, « 2080, l'Europe sans hiver »
- (32) Laurent GREILSAMER, le Monde, 28-06-2005, brumisateurs pour tout le monde »
- (33) Alexandra SCHWARTZBROD, Libération, 13-12-2003, « le diagnostic alarmiste de l'OMS »
- (34) Jean-Pierre BESANCENOT, CNRS, « la jaune et la rouge de 2000 :le réchauffement climatique et la santé »
- (35) Jacques DUPONT, Le Point, 02-09-2004, « Canicule, le cadeau empoisonné »
- (36) Lise BARNEAUD, Libération, 14-08-2004, « la parade des coraux contre le réchauffement »
- (37) Caroline de MALET, Le Figaro, 17-12-2004, « l'effet discuté du réchauffement sur le corail »
- (38) Le Monde, 10-06-2005, « les oiseaux à l'épreuve du changement climatique »
- (39) Libération, 02-04-2005, « le printemps fait les hirondelles »
- (40) Danielle McCaffrey, Ca m'intéresse, mars 2005, « Groenland, des savants dans la débâcle »
- (41) Anne BARLUET, Le Figaro, 08-07-05, « accord minimal sur le réchauffement du climat »
- (42) Hervé KEMPF, Le Monde, 08-07-05, « G.Bush estime qu'il y a un consensus au G8 sur le climat »
- (43) Antoine REVERCHON, Le Monde, 16-02-2005, « l'avenir se joue d'abord à Pékin »
- (44) Hervé MORIN, Le Monde, 04-08-2004, « energivore, la climatisation contribue au réchauffement climatique »
- (45) Energy Information Administration
- (46) Observatoire de l'énergie

- (47) Hervé KEMPF, Le Monde, 16-02-2005, « Kyoto, an 1 »
- (48) Le Monde économique, 10-12-2004, « Qu'est ce que le protocole de Kyoto ? »
- (49) Romano PRODI et Margot WALLSTROM, Le Figaro, 11-11-2004, « lutter ensemble contre le changement climatique »
- (50) Denis DELBECQ, Libération, 16-02-2005, « l'effet de serre dans le collimateur »
- (51) Cécile DUCOURTIEUX, Le Monde, 16-02-2005, « la finance carbone est née »
- (52) Pierre PINSON, Ouest-France, 16-02-2005, « l'Europe lance une bourse du droit à polluer »
- (53) Eric LESER, Le Monde, 16-02-2005, « A reculons, Washington est obligé d'évoluer »
- (54) Sylvestre HUET, Libération, 09-05-2005, « Bush sous pression sur le climat »
- (55) Jean Pierre LANGELLIER, Le Monde, 07-07-2005, « Tony Blair recherche un accord sur le climat »
- (56) Hervé KEMPF, Le Monde, 16-02-2005, « Diviser par quatre les émissions d'ici à 2050 »
- (57) Hervé KEMPF, Le Monde, 16-02-2005, « la France veut aller au-delà des objectifs fixés par Kyoto »
- (58) Bertrand COLLOMB et Guy DOLLE, Le Monde, 11-12-2004, « Kyoto ? Oui ! la directive Européenne ? Non ! »
- (59) Karen LAJON, Le journal du dimanche, 04-09-2005, « Katrina, fille du réchauffement ? »
- (60) Adolphe NICOLAS, « 2050 rendez-vous à risque », édition Belin, 2004
- (61) François SAGOT, le Moniteur, 14-11-1997, « des bâtiments à faible consommation énergétique »
- (62) Francis MEUNIER, « domestiquer l'effet de serre », édition Dunod, 2005
- (63) Frédéric LOWINO, le Point, 12-08-2004, « les savants jettent un froid »

(64) Christian LOSSON, Libération, 29-07-2005, « un plan B américain pour contourner l'après-Kyoto »

(65) site Internet : www.ciberarchi.com

(66) Christine LAURENT, le courrier de l'UNESCO, février 2001, « Le nucléaire, parade à l'effet de serre ? »

(67) Edouard BARD, les dossiers de la Recherche, janvier 2005, « Neuf clés pour comprendre l'effet de serre »

(68) Gérard MEGIE, « Ozone, l'équilibre rompu », édition presse du CNRS, 1989

Nom-Prénoms : HURTAUD Adeline, Annie, Danièle

Titre de la Thèse : CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DE L'EFFET DE SERRE

Résumé de la Thèse : Le réchauffement climatique est un phénomène que nous ne pouvons plus ignorer aujourd'hui. L'augmentation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre est responsable de ce réchauffement. La relation entre l'émission par l'homme de ces gaz et la hausse des températures est désormais établie. Des experts ont annoncé que d'ici à 2100, la température moyenne du globe pourrait augmenter de 1,4 à 5,8 degrés Celsius et le niveau des mers de 9 à 88 centimètres.

La planète et son écosystème commencent déjà à souffrir de ce réchauffement. Ce problème est depuis quelques années pris au sérieux par les hommes politiques et les citoyens. Il existe des solutions pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre et peut être ainsi laisser une planète « propre » aux générations futures.

MOTS CLES :

- RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE	- IMPACTS	- PROTOCOLE DE KYOTO
- EFFET DE SERRE	- SOLUTIONS	

JURY

PRESIDENT : Mme Anne ALLIOT, Maître de Conférence de Parasitologie
Faculté de Pharmacie de Nantes

ASSESSEURS : Melle Claire METAYER, Maître de Conférence de Chimie Analytique
Faculté de Pharmacie de Nantes
Mme Sylvie HAMELIN, Pharmacien
32 rue Charles Lecour 44120 Vertou

Adresse de l'auteur : Hurtaud Adeline
12 route de Nesmy
85000 La Roche sur Yon