



ANDRÉ LEGENDRE

L'Homme est-il responsable du réchauffement climatique ?



L'homme est-il responsable du réchauffement climatique ?

ANDRÉ LEGENDRE



17, avenue du Hoggar – P.A. de Courtabœuf
BP 112, 91944 Les Ulis Cedex A

Imprimé en France
ISBN : 978-2-7598-0383-5

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinés à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2009

SOMMAIRE

Introduction	7
De Joseph Fourier (1768-1830) à Kyoto (1997)	17
Chapitre 1. L'effet de serre	27
Variation diurne et effet de serre.....	27
L'effet de serre et les trois planètes	34
Ce que l'on peut retenir	42
Chapitre 2. Forçage radiatif et sensibilité climatique.....	43
Une erreur récurrente ?	52
Ce que l'on peut retenir	62
Chapitre 3. Rétroactions et prévisions des modèles climatiques	65
Rétroactions dues à l'eau	66
Autres rétroactions	80
Ce que l'on peut retenir	80
Chapitre 4. Un peu plus sur l'albédo, les nuages et les aérosols	83
Qu'est ce qui peut faire varier l'albédo ?	85
Les aérosols	88
Ce que l'on peut retenir	91
Chapitre 5. Les températures du passé	93
Comment connaître les climats passés.....	94
Le carottage des glaces et des sédiments	100
Les variations climatiques depuis le début des ères géologiques ...	102
Au temps des Dinosaures	103
Au temps d'Homo habilis	104
Au temps d'Homo erectus	104

Au temps d'Homo sapiens	105
Au cours du présent interglaciaire	108
Au cours des derniers millénaires	110
Ce que l'on peut retenir	117
Chapitre 6. Les températures actuelles	119
Évolution des températures au cours du xx ^e siècle	120
Les mesures thermométriques elles-mêmes	127
Satellites et ballons	128
Ce que l'on peut retenir	139
Chapitre 7. Les glaces d'aujourd'hui, d'antan et le niveau des mers...	141
Les prévisions du GIEC	142
Le niveau des mers et sa mesure	144
Raisons des variations du niveau des mers	152
Ce que l'on peut retenir	172
Chapitre 8. Les gaz à effet de serre, le cycle du carbone et Gaïa	175
L'eau	176
Le méthane (CH_4)	176
L'ozone (O_3)	178
Les oxydes d'azote	179
Les chlorofluorocarbures et les fluorocarbures	180
L'hexafluorure de soufre (SF_6)	180
Le gaz carbonique (CO_2)	181
Le cycle du carbone	191
Gaïa	205
Ce que l'on peut retenir	208
Chapitre 9. Un peu plus sur les événements extrêmes.....	211
Les vagues de chaleur et de froid	213
La sécheresse et les pluies diluviales	215
Les cyclones tropicaux	218
Le ralentissement du Gulf Stream	222
Ce que l'on peut retenir	226
Chapitre 10. Les causes du réchauffement	229
L'énergie que le Soleil veut bien nous dispenser	230
Intercession des rayons cosmiques	244
L'effet de serre et sa fluctuation	253
Et les échanges internes ?	257
Ce que l'on peut retenir	259
Quelques pages en guise de conclusion	261
Une théorie très controversée	262
Relation quantitative $\text{CO}_2/\text{température}$	264

SOMMAIRE

Un large consensus ?	268
D'autres causes pour le réchauffement climatique ?	270
Des peurs et des hommes	272
Le CO ₂ est-il l'ennemi public qu'on nous présente ?.....	273
Des réponses pour un développement durable ?	275
Recherche d'une plus grande efficacité énergétique	278
Prise de position.....	285
Références citées	291
Pour en savoir plus	305
Remerciements	307

INTRODUCTION

Il n'y a plus d'hiver, le climat « se détraque ». Cette expression populaire du réchauffement climatique s'accompagne de la version « il n'y a plus d'été » ou de celle, encore plus courante, « *il n'y a plus de saisons !* ».

Ces trois versions se réfèrent, de manière subconsciente, à l'existence d'un climat idéalement stable dont les fantaisies du « temps » empêcheraient sans cesse la réalisation. Les journaux télévisés et les médias de toute nature entretiennent d'ailleurs cette référence en répétant, jour après jour, que l'homme est en train de modifier le climat stable dans lequel il prospérait. Cette stabilité serait menacée par l'irresponsable aventure technologique humaine qui va inévitablement être sanctionnée par un réchauffement insupportable.

Tout ce qui survient de mauvais dans le monde, de la canicule de 2003 au cyclone Katrina, en passant par les inondations de 2002 en Tchéquie et les records d'enneigement aux États-Unis, est désormais attribué au réchauffement climatique dont l'homme est responsable. Les plus alarmistes nous décrivent un avenir menaçant avec montée

des mers, dépérissement de la végétation, sécheresse et pluies diluvien-nes, progression des maladies tropicales, des ouragans, des cyclones, des inondation et des noyades d'ours blancs... et concluent à l'urgence de changer nos modes de vie.

Pourtant, le climat de notre planète n'a jamais été stable. Il y a seulement 15 000 ans, nous étions encore en période glaciaire et depuis 150 000 ans *Homo sapiens* a vu se succéder une période interglaciaire plus chaude qu'aujourd'hui, une période glaciaire qui a duré 100 000 ans, puis de nouveau une période chaude, celle que nous vivons actuellement depuis 10 000 ans. Nos ancêtres ont subi, à l'échelle de quelques générations, durant chacune de ces trois périodes, des variations, quelquefois rapides de la température.

La période chaude actuelle, l'Holocène, a elle-même débuté par un brusque retour du froid retardant momentanément la fin du dégel. Elle a connu, il y a environ 8 000 ans un optimum climatique durant lequel le Sahara était verdoyant, puis quelques épisodes plus chauds ou plus froids qu'aujourd'hui, tels que le petit âge glaciaire. Ce dernier, après avoir été péniblement ressenti au siècle de Louis XIV, ne s'est achevé qu'au milieu du XIX^e siècle.

Cela n'empêche pas que le réchauffement actuel soit décrit comme étant sans précédent. L'année 2005 aurait été la plus chaude jamais enregistrée¹. La température moyenne du globe se serait élevée de 0,8 °C en un siècle. Les trois dernières décennies auraient vu une augmentation de la température moyenne du globe de plus de 0,6 °C, ce qui révélerait une accélération du processus. Mais, surtout, les modèles climatiques nous prédisent pour la fin du siècle des augmentations de température difficilement supportables.

Le programme *Climate prediction net*, qui met en œuvre des modèles utilisant la puissance de calcul considérable de dizaines de milliers d'ordinateurs personnels, prévoit, pour la fin du siècle, une augmentation de température comprise entre 1,9 et 11,5 °C. Il est vrai que la majorité

1. Il est vrai que les enregistrements thermométriques ne datent que de 150 ans.

des résultats se situent entre 4,2 et 8 °C, mais les médias n'ont évidemment retenu que la limite supérieure de 11 °C. Interrogé au sujet de ces résultats, M. Pierre Jouzel² a déclaré au journal *Le Monde* du 25 janvier 2006 « *qu'on ne peut exclure que le réchauffement soit supérieur à 6 °C à la fin du siècle si on ne fait pas attention* ».

Ce réchauffement de 6 °C est la limite supérieure dont fait état le dernier rapport des experts du climat de l'ONU. Bien que ce rapport donne une fourchette de 1,1 à 6,4 °C et indique 3 °C comme valeur la plus probable, le catastrophisme ambiant et l'alarmisme professionnel des médias ne mémorisent que la valeur maximale.

On nous prédit donc un avenir dramatique. La fonte des glaces va entraîner une élévation du niveau des mers qui rayera de la carte des régions entières, dont certaines sont parmi les plus peuplées du monde. La végétation n'aura pas le temps de s'adapter à l'évolution rapide de température prévue, les régions céréalières deviendront improductives et les forêts tempérées dépériront. La biodiversité sera réduite. Les ouragans et les cyclones, les inondations, et de manière générale les événements extrêmes deviendront plus fréquents et plus violents. La sécheresse au Sahel sera aggravée. Les maladies tropicales s'étendront aux régions actuellement tempérées. Les décès liés au réchauffement et aux canicules augmenteront...

Il y a, certes, de quoi être effrayé par ces changements brutaux qui risquent de faire de la Terre « une planète différente de celle que nous connaissons ». Surtout lorsque l'on constate que ces alarmes ne sont pas le seul fait de journalistes en manque de copies à sensation mais sont diffusées par des conférenciers de renom, comme Al Gore, et justifiées par des scientifiques reconnus.

La responsabilité de ces catastrophes à venir est attribuée à l'homme, coupable d'avoir développé une civilisation technologique

2. Directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) fédérant six laboratoires de recherches. Outre la recherche, l'IPSL a en charge la diffusion des connaissances auprès des pouvoirs publics, des industries et des citoyens.

qui rejette dans l'atmosphère des quantités de plus en plus importantes de dioxyde de carbone, en conséquence de l'utilisation croissante des combustibles fossiles, charbon, pétrole et gaz naturel.

L'accroissement du dioxyde de carbone³ dans l'atmosphère résulte de la combustion du carbone contenu dans les hydrocarbures fossiles. C'est un gaz à effet de serre ; il est donc susceptible de renforcer l'effet de serre dont bénéficie notre planète. Pour l'instant, nous jouissons, dans les régions tempérées, de l'agréable température moyenne que nous procure l'effet de serre naturel alors que, sans lui, nous grelotterions de froid en plein été. Mais il est compréhensible que certains puissent penser que son augmentation excessive puisse conduire à un réchauffement insupportable. C'est d'ailleurs le propos qui est tenu par un certain nombre de scientifiques, s'exprimant au nom du GIEC.

Le GIEC, ou Groupement intergouvernemental sur l'évolution du climat, a été créé en 1988 par L'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Cet organisme onusien a pour rôle « *d'expertiser l'information scientifique, technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique provoqué par l'homme* ». Son rôle, ainsi défini, présuppose dès l'origine la responsabilité de l'homme dans le réchauffement en cours et à venir. Il n'est donc pas surprenant que le GIEC s'emploie à le démontrer.

La théorie élaborée par le GIEC repose sur un certain nombre de principes et d'observations qui appellent autant de questions.

Première observation : les relevés thermométriques montrent, sans équivoque, une hausse de la température moyenne globale depuis le milieu du XIX^e siècle. Les trois décennies récentes révèlent une accélération de cette élévation de température, et l'on enregistre un réchauffement sans précédent de l'Arctique.

3. Qui sera, le plus souvent, désigné dans ce qui suit par sa formule : CO₂.

Deuxième observation : les glaciers terrestres reculent partout dans le monde et la superficie des banquises diminue.

Troisième observation : le niveau des mers s'élève.

Quatrième observation : la fréquence et l'intensité des événements extrêmes (ouragans cyclones, inondations...) augmentent.

Cinquième observation : des espèces végétales et animales ont déjà réagi au changement climatique et les coraux, notamment, montrent des signes de souffrance.

Sixième observation : les relevés effectués à partir des carottes prélevées dans les glaces des inlandsis arctique et antarctique établissent clairement une covariation des températures et des concentrations en gaz à effet de serre. De plus, la concentration actuelle de CO₂ dans l'atmosphère, soit 380 ppmv, est supérieure à toutes celles qui ont été mesurées dans les carottes glaciaires depuis 800 000 ans.

Aucune de ces observations, sauf peut-être la dernière, n'étonnera vraiment l'homme cultivé ni même celui qui se satisfait de la lecture des journaux. Ils s'interrogeront cependant sur le sens donné à une température moyenne globale, alors que les émissions télévisées leur démontrent chaque jour la variabilité régionale des températures. Mais ils concluront assez rapidement que ce sens peut exister, lorsque l'on regarde notre planète de loin, depuis l'espace.

Ils se demanderont néanmoins s'il ne convient pas de relativiser certaines des affirmations qui précédent.

La fiabilité des mesures thermométriques est-elle assurée ? Ces mesures sont-elles confirmées par les mesures effectuées par les satellites ? L'accélération de l'élévation de température est-elle confirmée pour les années les plus récentes ? Le réchauffement constaté en Arctique est-il réellement sans précédent ?

Les glaciers terrestres reculent, mais n'est-ce pas normal à la sortie du petit âge glaciaire dont l'appellation caractérisait justement leur progression ? La diminution de surface des banquises est-elle valable pour les deux régions polaires, comme le laisse supposer le caractère

global du réchauffement ? Le niveau des mers monte, mais ne monte-t-il pas depuis le dernier paroxysme glaciaire, il y a 18 000 ans ?

L'appréciation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes a, d'évidence, un caractère subjectif ; leur augmentation est-elle scientifiquement établie ?

La souffrance des coraux ne peut-elle avoir d'autres causes que les émissions croissantes de dioxyde de carbone, considérées comme responsables de la montée de température et de l'acidification des océans ?

Les résultats des carottages glaciaires nous sont moins familiers, même si l'on en parle beaucoup. Ils suscitent néanmoins plusieurs questions : Une covariation implique-t-elle une relation de cause à effet et, si oui, qui est l'œuf et qui est la poule ? Les faibles variations du CO₂ constatées dans les carottes glaciaires peuvent-elles expliquer les variations importantes de température relevées au cours des 800 000 ans couverts par les mesures ? Des concentrations supérieures à celles qui sont admises officiellement n'ont-elles jamais été trouvées dans le passé ?

Sur les bases exposées par le GIEC, le non-spécialiste aura, avant même de connaître les réponses aux questions qu'il se pose, le sentiment que l'augmentation anthropique du CO₂ dans l'atmosphère pourrait bien être la cause de l'augmentation de température depuis la fin du petit âge glaciaire. Il ne ferait alors que devancer la théorie soutenue par le GIEC qui s'appuie, pour l'essentiel, sur deux principes et sur les résultats de la modélisation des climats.

Premier principe : le CO₂ est un gaz à effet de serre. Il absorbe une part de l'énergie rayonnée par le sol et la renvoie, en partie, vers celui-ci. Il renforce ainsi le rayonnement solaire reçu par la surface terrestre. Ce renforcement se traduit par une élévation de la température de cette surface. La concentration du CO₂ dans l'atmosphère croît depuis le début de l'ère industrielle. Le renforcement ou, si l'on préfère, l'effet de serre s'intensifie donc et la température au sol continuera d'augmenter.

Deuxième principe : l'augmentation de température provoquée par l'accroissement du CO₂ entraîne une plus grande évaporation de l'eau. Comme la vapeur d'eau est également un gaz à effet de serre, la boucle de rétroaction positive ainsi créée va de nouveau éléver la température du sol et des basses couches de l'atmosphère.

La modélisation : les modèles climatiques indiquent, en application de ces deux principes, qu'un doublement de la concentration préindustrielle du CO₂, plus précisément le passage d'une concentration de 280 ppmv à 560 ppmv, entraînerait une augmentation de température de 2 à 4,5 °C. Sur la base des hypothèses qui peuvent être formulées pour l'évolution des émissions anthropiques de CO₂, les modèles climatiques couplant les circulations atmosphérique et marine prévoient des augmentations de température pouvant aller jusqu'à 6,4 °C à la fin du siècle.

Les questions lui venaient aisément lorsqu'il s'agissait des observations, mais sur les principes le non-spécialiste se sent moins à l'aise. Il se risquera cependant à formuler les questions suivantes :

Comment expliquer et quantifier l'effet de serre terrestre ? Le CO₂ en est-il le seul responsable ? Puisque l'effet de serre est lié à l'existence d'une atmosphère, qu'en est-il pour les autres planètes, et en particulier pour celles qui nous sont les plus proches, Mars et Vénus ?

Le GIEC fait intervenir la vapeur d'eau dans le cadre d'une boucle de rétroaction. Mais l'eau n'est-elle pas, indépendamment, l'un des principaux contributeurs primaires à l'effet de serre terrestre ? Comment répartir, alors, l'effet quantitatif entre l'eau et le CO₂ ? Plus précisément, quelle est l'absorption attribuable au CO₂ en présence d'eau ? Ce qui introduit très naturellement la question complémentaire : Quel est l'effet quantitatif du CO₂, considéré seul, en dehors de toute rétroaction ?

L'intensification de l'évaporation n'aura-t-elle pas pour effet la formation d'une plus grande quantité de nuages ? Une plus grande quantité de nuages ne réfléchira-t-elle pas une plus grande part de l'énergie solaire, avec pour conséquence un refroidissement ? S'il

existe une boucle de rétroaction, est-on sûr qu'elle soit positive, comme le postule le GIEC ? Ne pourrait-elle pas être négative et constituer ainsi une boucle de régulation ?

La modélisation, largement utilisée en physique et dans d'autres sciences, est un moyen efficace, mais qu'en est-il de la modélisation climatique ? Les incertitudes majeures concernant les données à entrer et, plus encore, celles qui concernent leurs interactions, n'obligent-elles pas à des paramétrisations qui peuvent n'être que d'ajustement et ne pas résulter de l'application de lois physiques ? Quelle confiance peut-on alors accorder aux modèles climatiques ? Les modèles de climat s'apparentent, mais de façon plus complexe, aux modèles météorologiques ; peuvent-ils échapper à l'imprévisibilité des phénomènes chaotiques ?

J'ai d'abord été convaincu que l'homme était responsable du réchauffement climatique et que ce dernier, s'il se poursuivait, pouvait constituer une menace pour l'humanité et la diversité des espèces. Cette conviction reposait sur un enchaînement logique : le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre ; l'homme, en consommant les combustibles fossiles, rejette dans l'atmosphère des quantités croissantes de dioxyde de carbone ; on ne doit donc pas s'étonner de l'accroissement de sa concentration dans l'atmosphère ; cet accroissement conduira à une intensification de l'effet de serre, donc à une élévation de la température dont l'homme serait responsable ; cet accroissement de la température pourrait devenir insoutenable.

J'ai eu ensuite la curiosité, naturelle de par ma formation scientifique, de rechercher les réponses aux questions qui précèdent et, notamment, de rechercher comment « l'évidence qualitative » pouvait se quantifier.

J'aurais pu raconter la progression pas à pas de ma quête personnelle, avec son lot d'hésitations, d'incertitudes, puis de convictions.

Je vous propose, plus directement, dans les chapitres qui suivent une tentative de réponse aux questions énoncées plus haut et que chacun se pose tout naturellement. J'y ajouterai, bien sûr, une question que vous vous posez certainement depuis quelques pages : Si le CO₂ n'a qu'une incidence minime sur le climat et si les rétroactions positives sont mises en doute, alors comment peut-on expliquer la montée de température depuis le milieu du XIX^e siècle ?

DE JOSEPH FOURIER (1768-1830)

À KYOTO (1997)

Vous êtes peut-être impatient d'aborder le vif du sujet. Je vais cependant vous proposer d'observer une pause afin de rappeler comment la notion d'effet de serre est née et comment le débat autour de ce sujet s'est développé jusqu'à devenir « l'affaire » de l'effet de serre. Le terme « affaire » est redénable à Philippe Roqueplo¹. Il désigne la période à partir de laquelle la controverse échappe aux seuls scientifiques concernés par le climat et où le débat scientifique se complique de prises de positions écologiques, économiques, politiques... écologistes.

Le terme « effet de serre » a été employé pour la première fois par Joseph Fourier, en 1827. Dans les premières décennies du XIX^e siècle, les scientifiques avaient en effet compris que la température moyenne dont bénéficiait notre planète ne pouvait être redénable au seul

1. Philippe Roqueplo, *Climats sous surveillance*, Éd. Economica, 1993.

rayonnement solaire direct. Il fallait qu'une part du rayonnement émis par la surface terrestre et renvoyé vers l'espace soit piégée dans l'atmosphère et retournée vers le sol.

John Tyndall essaya, sur la base de cette idée, de mettre en évidence une absorption par les gaz les plus importants de l'atmosphère, l'azote et l'oxygène. Il constata qu'ils étaient transparents vis-à-vis du rayonnement infrarouge. Par chance, disent certains, il testa le gaz de houille (méthane) avec lequel il éclairait son laboratoire et découvrit qu'il était absorbant dans l'infrarouge. Il poursuivit alors ses expériences sur d'autres gaz et trouva que le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau se comportaient de la même façon. Il développa alors, au cours des années 1860, l'idée que certains gaz, parmi lesquels la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, n'affectent pas la lumière visible mais absorbent les radiations de grandes longueurs d'onde, conservant ainsi à la Terre une partie de la chaleur reçue du Soleil. Tyndall soutenait que la vapeur d'eau était le principal responsable, alors que d'autres scientifiques pensaient que ce rôle était joué par le CO₂, car les « opinions » des scientifiques s'opposaient déjà.

Svante Arrhenius, à la fin du XIX^e siècle, partageait ce dernier point de vue et calculait qu'un doublement de la concentration atmosphérique en CO₂, (0,03 % à son époque), conduirait à une augmentation de température de 5 à 6 °C. Il ajoutait que les fluctuations du CO₂ atmosphérique pourraient être une explication des périodes glaciaires et concluait avec optimisme : « *Nous pouvons espérer pour l'avenir des températures plus égales et des conditions climatiques plus douces, particulièrement en ce qui concerne les régions les plus froides de la Terre. Pour le bien d'une population qui semble en voie d'accroissement plus rapidement que jamais* ».

En réalité, les calculs d'Arrhénius s'avérèrent erronés. Certains de ses contemporains ont d'ailleurs tenté de démontrer expérimentalement que l'incidence climatique du CO₂ ne pouvait être aussi importante. D'une part parce que les mesures faisaient apparaître que le pouvoir d'absorption du CO₂ était déjà saturé aux concentrations

actuelles. D'autre part parce que les bandes d'absorption du CO₂ avaient un fort recouvrement avec celles de la vapeur d'eau qui, étant beaucoup plus abondante, masquait l'absorption du CO₂ dans ces mêmes bandes.

Les scientifiques qui avaient adopté avec enthousiasme les conclusions d'Arrhénius reconnaissent alors s'être fourvoyés et l'on n'entendit plus parler de l'influence climatique du CO₂ pendant des décennies. Si l'idée était encore mentionnée, ce n'était que pour la réfuter. Beaucoup de membres de la communauté scientifique étaient d'ailleurs convaincus que la Terre autorégulait la composition de son atmosphère par le biais des océans.

D'autres scientifiques refusaient d'accepter l'idée que le CO₂ atmosphérique soit sans effet climatique. Mais un seul avocat, Guy Stewart Callendar, se résolut, vers 1938, à défendre ouvertement les idées d'Arrhénius et de ses contemporains. Callendar était ingénieur et météorologue amateur. Il compila les mesures de températures des dernières décennies, en retint une augmentation et, dans le même temps, constata un accroissement de 10 % de la concentration atmosphérique en CO₂. Il conjectura que cette augmentation du CO₂ pouvait expliquer celle des températures, en raison du renforcement de l'effet de serre. Puis, il calcula qu'un doublement du CO₂ pourrait conduire à une augmentation de température de 2 °C, ce qu'il ne considérait pas dommageable. Sa préoccupation n'était d'ailleurs pas celle d'un réchauffement futur, mais celle d'une explication du mystère des époques glaciaires.

La communauté des météorologues, tout en citant Callendar dans les manuels des années 1940 et 1950, ne lui accordait qu'une créance limitée. La communauté des météorologues n'était d'ailleurs pas convaincue que le CO₂ ait augmenté dans l'atmosphère et restait persuadée que le recouvrement des bandes d'absorption du CO₂ par celles de l'eau bloquait toute influence du dioxyde de carbone. Mais au cours des années 1950, le sujet fut repris par les militaires américains qui s'intéressaient aux applications éventuelles du rayonnement

infrarouge. Ils trouvèrent qu'une analyse spectrale plus fine des raies d'absorption laissait des espaces évitant une saturation totale, « particulièrement dans la haute troposphère, froide et à pression réduite »².

Simultanément au travail des militaires qui remettaient en selle une possible contribution du CO₂ à l'augmentation de l'effet de serre, l'absorption rapide d'un excès de CO₂ par les océans était mise en cause. Si certains scientifiques continuaient d'estimer que la surface des océans assurerait une régulation en termes de mois, d'autres, plus nombreux, le niaient. En 1950, Roger Revelle affirmait que l'absorption par les océans était contrôlée par des phénomènes complexes empêchant de réguler une augmentation rapide du CO₂ atmosphérique. Il concluait que l'émission de CO₂ par une humanité croissante et industrialisée ne pourrait être compensée par une absorption de l'océan et que le CO₂ atmosphérique continuerait d'augmenter.

En 1957, Roger Revelle et Hans Suess, qui travaillaient alors tous deux à La Jolla, en Californie, à la *Scripps Institution of Oceanography*, publièrent un article dans lequel ils déclaraient que les océans吸收raient le dioxyde de carbone à un taux sensiblement inférieur à celui qui était ordinairement prévu. Ils suggéraient que, de ce fait, les émissions humaines allaient augmenter la concentration du CO₂ dans l'atmosphère et accroître l'effet de serre. Ils regrettaiient que l'homme « *ait commencé une expérience de géophysique à grande échelle* ».

Certains scientifiques n'étaient pas encore convaincus que la concentration de l'atmosphère en CO₂ allait augmenter. Callendar revint alors à la charge (1958) en confirmant que le CO₂ était en croissance continue depuis le début du XIX^e siècle. Il ne comprenait cependant pas pourquoi l'océan ne pouvait absorber en totalité le CO₂ additionnel.

Des scientifiques suédois, rejoignant Suess et Revelle, expliquèrent plus complètement le stockage du CO₂ par les océans et soulignèrent notamment que le dégazage pouvait survenir avant que la circulation

2. (et où l'on trouve peu d'eau).

océanique entraîne le CO₂ vers les abysses. Ils annonçaient une progression de 25 % du CO₂ atmosphérique pour la fin du xx^e siècle, tandis que d'autres scientifiques annonçaient un réchauffement dramatique pour le siècle suivant³. Revelle, qui était, en 1958, Président de l'Année géophysique internationale (AGI), demanda à Charles David Keeling de mettre au point une mesure sûre de la concentration atmosphérique en CO₂ et obtint des fonds de l'AGI pour réaliser le projet. C. D. Keeling établit alors une base, proche de l'observatoire de Mauna Loa à Hawaï, à 3 000 mètres d'altitude. C. D. Keeling montra que la concentration en dioxyde de carbone croissait d'année en année, même si l'on ne retrouvait dans l'atmosphère que la moitié des émissions anthropiques.

À la fin des années soixante, les premiers modèles cherchant à établir l'augmentation de température qui résulterait d'un doublement du CO₂ atmosphérique furent élaborés⁴. Ils faisaient largement intervenir la rétroaction due à l'eau. Ils furent suivis de nombreux autres, prenant toujours en compte les mêmes facteurs, à l'élaboration desquels participa activement James Hansen.

Mais des scientifiques éminents refusaient de soutenir l'idée qu'un accroissement des émissions de CO₂ pourrait changer dramatiquement le climat. Certains pensaient qu'au pire on pouvait s'attendre à une augmentation de température de 1 ou 2 °C au terme des quatre prochains siècles.

Tout cela fut vite oublié, car au symposium de météorologie de Stockholm, en 1972, le réchauffement global n'était plus d'actualité. La communauté des météorologues constatait que, depuis 1940, le refroidissement global avait renversé la tendance au réchauffement du début du siècle. Plusieurs des participants annonçaient une fin plus ou moins proche de la période interglaciaire. La même année 1972, Cesare Emiliani (1922-1995), connu pour l'étude des cycles

3. Mikhail Budyko, 1962.

4. Manabé et Wetherald, 1967.