



HERVÉ LE TREUT  
NOUVEAU CLIMAT  
SUR LA TERRE  
COMPRENDRE, PRÉDIRE, RÉAGIR

**N**OUVELLE  
**B**IBLIOTHÈQUE  
**S**CIENTIFIQUE

Flammarion

Extrait de la publication





NOUVEAU CLIMAT  
SUR LA TERRE

comprendre, prédire, réagir

DU MÊME AUTEUR

- L'Effet de serre. Allons-nous changer le climat ?* (avec J.-M. Jancovici), Paris, Flammarion, coll. « Champs », 2004
- Le Changement climatique* (avec G. Jacques), Paris, Unesco, 2004
- Climat : chronique d'un bouleversement annoncé* (avec D. Hauglustaine, J. Jouzel), Paris, Le Pommier, 2004

Hervé Le Treut

NOUVEAU CLIMAT  
SUR LA TERRE

comprendre, prédire, réagir

Flammarion

Cartes, schémas et graphiques : Édigraphie, Rouen

© Paris, Flammarion, 2009

ISBN : 978-2-0821-0587-3

## INTRODUCTION

L'urgence se fait de plus en plus pressante : le climat de notre planète évolue dangereusement, et ce danger se révèle peu à peu inévitable. Dès les années quatre-vingt, la communauté scientifique a lancé un message d'alerte : l'augmentation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre va inévitablement provoquer un réchauffement global de la Terre pouvant déclencher de multiples perturbations : sécheresse et désertification ici, tempêtes violentes et inondations là, fonte des glaces et hausse du niveau de la mer ailleurs... Il s'agissait alors de prévisions – les premiers signes du réchauffement et de ses conséquences n'étaient pas encore mesurables –, mais la réalité les a progressivement confirmées.

Aujourd'hui, les responsables politiques ont accepté le diagnostic des scientifiques et considèrent avec eux qu'un réchauffement global de plus de 2 °C représente un niveau de danger à éviter absolument : il risque d'occasionner une évolution incontrôlable du climat. En serons-nous capables ? Compte tenu de la force d'inertie du système climatique, il nous reste très peu de temps pour réagir : quelques décennies tout au plus pour accomplir des efforts d'une ampleur considérable qui n'empêcheront pas tous les effets du changement climatique, mais devraient nous prémunir des plus graves.

Nous devons diminuer au plus vite nos émissions de gaz à effet de serre, mais aussi apprendre à mieux gérer notre



planète dans un contexte où se développent d'autres facteurs de crise : croissance démographique, réduction de la biodiversité, exploitation plus difficile des réserves de combustibles fossiles, accès encore très inégal des populations aux biens vitaux (eau potable, nourriture), mais aussi aux systèmes de santé... Seule une démarche politique, au sens le plus fort du mot, peut assurer la cohérence de choix complexes à opérer tant les paramètres à prendre en compte sont nombreux. Car il s'agit d'engager l'ensemble de la société, pas seulement les scientifiques et les techniciens, dans une démarche touchant les plans éthique, social, géopolitique. Mais faire connaître ces choix, en comprendre les implications, les faire accepter par des pays et des groupes sociaux dont les intérêts sont objectivement divergents requiert le développement d'une expertise scientifique à la fois incontestable et partagée.

La connaissance que nous avons de notre planète évolue sans cesse. Elle résulte d'une histoire scientifique longue de plusieurs siècles, voire de plusieurs millénaires, qui s'est très fortement accélérée ces dernières décennies. À la fin du Moyen-âge, on débattait encore de la rotondité de la Terre. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, de nombreux territoires demeuraient inexplorés. Au XX<sup>e</sup> siècle, les mécanismes qui régulent le climat ont commencé à être appréhendés sous forme quantitative. À la fin des années soixante-dix, à l'époque où je commençais une thèse dans l'équipe de modélisation du climat que Robert Sadourny et Katia Laval venaient de former à l'École normale supérieure, une sécheresse particulièrement durable au Sahel, synonyme de famine pour les populations locales, soulevait, pour la première fois de manière aussi dramatique, le problème de l'impact des activités humaines : les pâturages avaient fragilisé la savane et modifié la réflexion des sols, provoquant, croyait-on alors, une diminution des précipitations. Le développement de systèmes d'observation ou de modélisation était au cœur du travail de recherche. Depuis, une nouvelle

étape a été franchie : l'œil des satellites permet d'observer la Terre partout et à chaque instant, ou presque ; la capacité de calcul des ordinateurs a été multiplié par 1 million ; l'histoire des climats passés de la planète s'est écrite grâce à l'apport de techniques entièrement nouvelles.

Ce très long chemin, parcouru en si peu de temps, a changé le regard que nous portons sur notre planète. Voilà quelques siècles, elle était immense, hostile, inconnue. Au fil des explorations et des études, sa part de mystère n'a cessé de diminuer, tout comme ses dimensions. Depuis que les astronautes ont pu embrasser d'un seul regard la petite boule bleue et blanche perdue dans l'espace, nous ne l'envisageons plus comme une *terra infinita, incognita*, abritant toutes sortes de mystères à percer. La Terre est devenue notre domaine, un peu exigu, mais familier, apprivoisé. Cette vision nous a aussi fait prendre conscience de sa fragilité : elle est notre unique « vaisseau spatial »... et nous y sommes toujours plus nombreux. Nous étions deux milliards dans les années cinquante, près de sept milliards aujourd'hui, neuf milliards dans les décennies à venir. Une humanité croissante menace nécessairement une planète aux dimensions et aux ressources limitées, et il est désormais évident que celles-ci viendront à manquer. Cette prise de conscience a commencé à se manifester dans les années soixante-dix. Le célèbre rapport du Club de Rome, « Halte à la croissance. Rapport sur les limites de la croissance<sup>1</sup> », montrait déjà que notre mode de développement ne pourrait se perpétuer indéfiniment, un thème qui fut au cœur de la campagne présidentielle de René Dumont en 1974. Le grand choc pétrolier de 1973

---

1. Rapport établi par le Massachusetts Institute of Technology à la demande du Club de Rome : D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers *et al.*, *The Limits to Growth : A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, traduit de l'anglais par J. Delaunay, préface de R. Lattès, Fayard, 1972.

constitua lui aussi une illustration frappante du caractère limité de nos ressources. Et, toujours à cette époque, des indicateurs objectifs témoignaient pour la première fois de changements environnementaux de grande ampleur. Ainsi, les premières mesures systématiques du taux atmosphérique de dioxyde de carbone, lancées en 1957, ont traduit tout au long des années soixante une augmentation de plus en plus significative : la composition de l'atmosphère était fortement affectée par les activités humaines.

Parallèlement, l'exploration de notre planète a engendré un autre sentiment, très différent : un sentiment de puissance, de maîtrise. Ainsi, après la Seconde Guerre mondiale, on assista à la conception et à la mise en œuvre de projets colossaux : des barrages immenses construits pour maîtriser l'avenir énergétique, comme ceux d'Assouan, en Égypte, ou plus récemment des Trois-Gorges, en Chine ; un système d'irrigation de grande ampleur, tel celui permettant à l'Ouzbékistan de produire des tonnes de coton, a coupé l'alimentation d'une des plus grandes mers fermées du monde, la mer d'Aral, et l'a condamnée à un assèchement rapide ; ou encore des projets que nous n'oserions même plus imaginer et qui ont été finalement abandonnés, tel celui d'une usine marémotrice barrant toute la baie du Mont-Saint-Michel.

Si l'ère de ces grands projets semble révolue, la multiplication des images et des informations disponibles, l'accroissement indéniable de nos connaissances continuent d'entretenir l'espoir que nous pourrions un jour utiliser notre planète de manière rationnelle, en contrôlant son fonctionnement, en la modifiant, voire en la réparant à notre guise. Depuis peu, on laisse entendre que certaines technologies (réalisées ou en projet), regroupées sous le terme de « géo-ingénierie », sont capables de contrecarrer le changement climatique. A l'heure des choix importants, entretenir une telle illusion peut engendrer de dangereux malentendus.

L'importance que ces procédés ont prise dans le débat public a justifié un rapport<sup>1</sup> de la Royal Society, l'académie des sciences britannique. Un groupe d'experts a évalué les bénéfices potentiels, les coûts des différents procédés, et mis en relief les dangers de certaines méthodes, notamment celle consistant à injecter dans l'atmosphère des particules soufrées capables de réfléchir le rayonnement solaire.

De fait, ces dernières décennies, la recherche nous a révélé la complexité, encore largement incomprise, de la machine climatique. Et l'humilité s'impose face à un système qui, tel le corps humain, apparaît infiniment plus complexe à mesure que nous l'explorons. Ce qui a conduit les scientifiques à donner l'alerte, c'est finalement la combinaison de ce qu'ils savent – l'identification d'un mécanisme inexorable de réchauffement de la planète, un faisceau d'indications mettant au jour les débuts d'un changement climatique important, appelé à s'intensifier – et de ce qu'ils ne savent pas – l'incapacité de prévoir avec précision le comportement d'un système multiple dont le climat n'est que l'un des déterminants.

Ce que les chercheurs savent procède d'une recherche collective organisée depuis plus d'un siècle à l'échelle internationale. Sous l'égide du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), de l'Unesco et du Conseil international pour la science (CIUS, une émanation des académies et sociétés savantes), au travers d'instances plus spécifiques telles que l'Organisation météorologique mondiale (OMM) ou la Commission océanographique internationale (COI), ont été créés tous les outils permettant une étude de la planète : observatoires, systèmes d'analyse et de prévisions. Ainsi, c'est une communauté de plusieurs milliers, voire dizaines de milliers de chercheurs, travaillant dans plusieurs centaines d'instituts, qui a permis,

---

1. *Geoengineering the Climate. Science, Governance and Uncertainty*, septembre 2009.

au cours des vingt dernières années, d'évaluer le risque climatique. Résumées dans les rapports successifs du Groupe intergouvernemental d'experts pour l'étude du climat (le GIEC, lui-même émanation de l'OMM et du PNUE), ces études ont eu une influence décisive sur le développement d'une action politique internationale destinée à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cette action, lancée avec le Sommet de la Terre à Rio (1992), en présence d'un grand nombre de chefs d'État, s'est poursuivie avec le protocole de Kyoto (1997 ; entrée en vigueur en 2005), qui a quantifié les objectifs de réduction des émissions pays par pays pour la période 2008-2012. C'est aussi le diagnostic de la communauté scientifique qui permet de définir les objectifs de l'après-Kyoto (2010-2020), lesquels constituent l'enjeu du prochain Sommet international des Nations unies sur le climat, prévu en décembre 2009 à Copenhague.

Ce que nous ne savons pas comporte une large gamme de risques : quelles seront les régions du monde les plus affectées ? D'ici à 2100, de combien de dizaines de centimètres le niveau de la mer se sera-t-il élevé ? Etc. Non seulement nous n'avons pas de réponse précise à ces questions, mais nous ne savons même pas si nous en aurons un jour. Le système climatique est à la fois chaotique et ordonné, prévisible et imprévisible. Cette part d'incertitude, pour le moment irréductible, doit inciter à prendre des mesures draconiennes de préservation de notre environnement. Mais elle complique l'adoption à l'unanimité d'un agenda politique adéquat. D'un côté, les actions nécessaires pour réduire les gaz à effet de serre – dans le jargon des négociations, on parle de « mitigation » – sont connues : économies d'énergie, recours à des énergies non carbonées, maîtrise des massifs forestiers, réduction des émissions de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, oxyde nitreux, fréons), stockage du carbone. De l'autre, nous savons que nous

devrons aussi nous protéger des effets désormais inévitables du changement climatique – on parle alors d’adaptation. Le couple mitigation/adaptation est indissociable. Mais cette adaptation ne sera possible que si l’amplitude du changement reste modérée. Conclusion : tout retard dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre implique une responsabilité croissante des pays occidentaux (les plus gros émetteurs de gaz depuis une cinquantaine d’années) et des pays émergents (depuis une dizaine d’années) vis-à-vis des victimes. Par ailleurs, la nécessité d’une action rapide change aussi la nature du problème et complique la mise en œuvre collective de solutions. Longtemps, l’incapacité scientifique à détailler la géographie des changements à venir a été perçue comme un atout : les différentes nations de la planète émettaient des gaz à effet de serre que l’atmosphère se chargeait très vite de mélanger. Comme il était impossible de distinguer les gagnants des perdants, le problème climatique se résumait à l’affirmation d’une solidarité planétaire face à un danger commun. Il devient impossible d’ignorer que nous ne sommes pas égaux face au changement climatique en termes de responsabilité et de risques encourus. Si nous n’en tenons pas compte, nous pénaliserons les nations les plus vulnérables.

L’ambition de ce livre est directement liée à cette difficulté. Les mesures à prendre doivent se développer à différentes échelles – internationale, nationale, locale –, alors même qu’elles mettent en jeu des intérêts différents, parfois contradictoires. Cela ne sera possible que si tous les acteurs partagent une perspective, une intuition, la plus juste possible, de ce qui nous attend dans les prochaines décennies. À ce titre, le développement d’une expertise scientifique de haut niveau dans les pays émergents, laquelle n’a plus rien à envier à celle des pays développés, contribue à une prise de conscience plus largement partagée des risques et peut faciliter les négociations internationales, tandis que le manque d’informations des nations les plus pauvres est un handicap auquel il est urgent de remédier.

Mais veillons à ne pas tomber dans la simplification. Faire du changement climatique une catastrophe absolue, sans échappatoire ni rémission, c'est aller au-delà de ce que dit la science et c'est priver les générations futures de toute perspective autre que celle d'un avenir douloureux quels que soient les efforts entrepris. S'autoriser un relativisme (l'humanité s'en est toujours sortie, et il n'y a pas de raisons que cela change) somme toute très approximatif, c'est ignorer les souffrances, les famines, les caprices de la nature qu'ont dû affronter les générations passées et instaurer en système une désinvolture qui menace gravement les générations futures. Les circonstances commandent au contraire une réaction collective, organisée et prompte.

C'est en coordonnant un chapitre sur l'histoire des recherches climatiques, publié dans le dernier rapport du GIEC (2007), que m'est apparu l'intérêt de transmettre la façon dont s'est élaboré et continue de l'être l'ensemble des connaissances scientifiques et des modes de raisonnement qui nous permettent d'aborder cette crise environnementale sans précédent. Notre regard s'est affiné peu à peu : inévitablement, les théories proposées pour décrire un système aussi complexe et hétérogène que le système climatique n'ont qu'une validité partielle et sont immédiatement suivies par d'autres théories un peu plus précises. C'est ainsi, d'étape en étape, que se sont développées les connaissances qui permettent d'affronter des problèmes nouveaux, comme le rôle des activités humaines.

Pour éviter les faux débats et les controverses non fondées, il est indispensable de savoir situer les uns par rapport aux autres des processus qui se développent à des échelles d'espace et de temps d'une incroyable variété. Le climat correspond pourtant à une notion fort concrète : c'est bien lui, et non la météorologie du jour, qui détermine la distribution géographique des écosystèmes, la structure de

l'habitat, le mode vestimentaire et le régime alimentaire, l'organisation de la vie économique et sociale. Et c'est bien l'évolution future du climat qui nous préoccupe, même si c'est très souvent au travers de ses manifestations les plus extrêmes (tempêtes, inondations...) que les médias ou le grand public cherchent à l'appréhender. Il s'agit donc d'inscrire les fluctuations météorologiques dans le cadre d'évolutions plus lentes, plus globales, plus organisées.

Mais ces fluctuations plus lentes couvrent elles-mêmes un registre très étendu. L'histoire de notre planète se déroule sur plusieurs milliards d'années. Le positionnement de l'Antarctique au pôle Sud s'est effectué il y a environ 100 millions d'années. Les grands cycles glaciaires du quaternaire se sont organisés à l'échelle de dizaines ou de centaines de milliers d'années. L'âge interglaciaire, pendant lequel les civilisations humaines se sont développées, dure depuis 10 000 ans, tandis que les émissions de gaz à effet de serre augmentent de manière particulièrement brutale depuis 50 ans ! Enfin, pour parler de l'attente la plus ordinaire, elle concerne surtout la pluviosité du prochain été sur son lieu de vacances.

L'étude de chaque échelle de temps nous aide à comprendre un processus particulier. Comment agréger toutes ces connaissances dans une vision cohérente du fonctionnement de la Terre ? Celle-ci peut-elle nous aider à comprendre pourquoi notre planète, seule parmi toutes celles que nous connaissons, a pu abriter un mécanisme aussi fragile que la vie et pourquoi les activités humaines engendrent une menace inédite ? C'est l'ambition du livre que de donner quelques éléments de réponse à ces questions.

Nous commencerons par décrire le fonctionnement de la machine climatique en nous attachant à mettre en évidence les grands facteurs qui assurent sa régulation – à l'échelle globale, d'abord, à l'échelle régionale ou locale, ensuite. Nous verrons plus tard comment se sont construits les outils d'observation et de modélisation destinés à



prévoir l'évolution des différentes composantes du système climatique. Enfin, nous nous pencherons sur l'action de l'homme. Celle-ci s'inscrit dans un temps très particulier : très court (quelques décennies) s'agissant des émissions de gaz à effet de serre, beaucoup plus long (quelques siècles) en termes de conséquences. Elle définit aussi une géographie très contrastée : les gaz émis sont mélangés par l'atmosphère et chaque pays subit l'action de tous les autres, d'une manière souvent très inégale et très injuste. Au bout du compte, nous sommes face à un problème qui implique une double solidarité, internationale et intergénérationnelle. C'est dans ce contexte qu'il faut créer les conditions d'une décision citoyenne et démocratique qui devra s'appuyer sur un diagnostic scientifique et technique constamment actualisé.

## LES GRANDS DÉTERMINANTS DU CLIMAT

La Terre est exceptionnelle à plus d'un titre et elle est surtout la seule planète connue qui porte la vie. Quels sont les facteurs qui ont contribué à maintenir des conditions climatiques favorables à la vie pendant plusieurs milliards d'années ? Constituent-ils une sorte de garantie que tout pourra continuer à bien se passer en dépit d'une présence humaine toujours plus déterminante ? Esquisser des éléments de réponse nous oblige à considérer la complexité du système climatique, une complexité qui tient à la multiplicité de ses composantes (atmosphère, océan, glaciers...) et se révèle au fil d'une longue histoire, parfois chaotique. La découverte, au début du XIX<sup>e</sup> siècle, du passé glaciaire de la planète, la mise en évidence de périodes longues de plusieurs millénaires pendant lesquelles d'immenses montagnes de glace recouvraient l'Europe et l'Amérique du Nord ont profondément modifié la vision d'un monde qu'on croyait jusque-là immuable, créé en une seule fois et pour toujours. L'existence de variations climatiques importantes a immédiatement mis les scientifiques au défi d'en comprendre les raisons – une recherche qui s'est accompagnée, dès les débuts, d'une interrogation récurrente : si le climat de la planète a si fortement changé dans le passé, peut-il changer de la même manière dans le futur ? Dès les débuts du XX<sup>e</sup> siècle, le chimiste suédois Svante Arrhenius

y ajoutait une interrogation plus dérangeante encore : l'homme peut-il être un acteur de ces variations ? Arrhenius répondait par l'affirmative et pointait même un mécanisme possible : l'augmentation des gaz à effet de serre.

Démêler l'écheveau de cette complexité sera l'objectif de ce premier chapitre. Comment allons-nous procéder ?

D'abord, regarder vers le passé pour mieux appréhender le futur de notre planète. C'est en comprenant dans quelles conditions climatiques les diverses civilisations sont nées et se sont organisées que nous pourrons mieux définir les caractéristiques nouvelles de la période qui s'ouvre. L'étude des glaciations, ou celle des climats plus chauds de l'Holocène, nous montre que toutes les composantes du système climatique ont subi des modifications : l'étendue des glaciers, bien sûr, mais aussi les zones de précipitations, la température et le niveau de la mer, les circulations océaniques, la distribution des écosystèmes, le taux atmosphérique en gaz à effet de serre... Les climats du passé offrent donc un véritable laboratoire d'observation de la planète permettant d'appréhender l'interaction de tous ces éléments.

Ensuite, nous considérerons notre planète de manière un peu distanciée, comme nous le ferions de Mars et de Vénus. Sa caractéristique la plus nette est sa température globale. Cette température est principalement déterminée par les échanges d'énergie que la Terre entretient avec l'espace. Identifier la nature de ces échanges, leurs variations possibles, c'est donc se donner des clés pour saisir à la fois les variations passées du climat et ses perturbations futures. Le développement de cette approche, très riche conceptuellement, a marqué les débuts de la climatologie.

Enfin, ce regard distancié ne suffit pas ; il nous faut aussi la regarder de plus près. La diversité des climats de la planète est dessinée par l'atmosphère et l'océan, deux fluides que le chauffage solaire et la rotation de la Terre entraînent

dans un mouvement sans fin. Ce mouvement est parfois complexe et ne se fait pas au hasard : nous savons d'ailleurs que certaines manifestations – les orages violents de la région du pot-au-noir, près de l'équateur, la bande de désert qui ceinture la Terre près des tropiques, les dépressions des moyennes latitudes... – constituent des traits quasi permanents du visage climatique de la planète. Tous ces phénomènes sont contraints par des lois physiques dont l'énoncé peut rebuter le non-scientifique : conservation de l'énergie, du moment cinétique, de la quantité d'eau, équation du mouvement... Ce sont pourtant ces lois physiques qui déterminent le caractère du monde dans lequel nous vivons, qui définissent la mesure des changements climatiques possibles dans le futur, et c'est guidés par leur signification que nous essaierons de décrire le fonctionnement de notre planète.

## La très longue histoire de la Terre

La question du climat est intimement associée à l'effort qu'ont dû faire les différentes sociétés humaines pour s'organiser. Les hommes n'ont cessé de se déplacer, d'emprunter des voies de migration, des routes commerciales souvent longues et complexes, et de prendre ce faisant conscience de la diversité des paysages rencontrés. De telles connaissances leur ont permis de coloniser toute la planète, d'y élaborer des formes de vie collectives très complexes. Les monuments mégalithiques, vieux de plusieurs milliers d'années, nous en offrent peut-être le témoignage le plus ancien. L'administration centralisée d'un empire aussi immense que la Chine, le peuplement des îles du Pacifique par les Polynésiens ou, plus près de nous, l'expansion scandinave à l'époque des Vikings ne peuvent se concevoir sans une vision très articulée du monde, de sa géographie et de son climat.

Composition et mise en page



N° d'édition : L.01EHBNU0587.N001  
Dépôt légal : novembre 2009

# NOUVEAU CLIMAT SUR LA TERRE

COMPRENDRE, PRÉDIRE, RÉAGIR

**HERVÉ LETREUT**

*professeur à l'École polytechnique, dirige l'Institut Pierre-Simon-Laplace, fédération de six laboratoires de recherche impliqués dans les sciences de la planète et de l'environnement.*

*Spécialiste de la modélisation du climat, il a participé aux rapports du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).*

*Il est notamment l'auteur de: L'Effet de serre. Allons-nous changer le climat? (avec J.-M. Jancovici, Flammarion, 2004).*

Aujourd'hui, Copenhague. Objectifs: refonder le protocole de Kyoto, l'élargir à tous les pays de la planète. Trouver un accord global d'aide aux populations les plus vulnérables et un accord sur la réduction des gaz à effet de serre pour les pays industrialisés et émergents – États-Unis et Chine compris.

La recherche nous a révélé l'immense complexité de la machine climatique et la difficulté à prédire son évolution. Quelle sera l'élévation du niveau de la mer en 2100? la pression sur les milieux littoraux? l'étendue de la désertification? l'évolution des glaciers? Impossible de le quantifier. En revanche, il est démontré que nos émissions de gaz à effet de serre sont responsables du changement climatique; que celui-ci est d'ores et déjà irréversible et qu'il affectera tous les milieux naturels; qu'un réchauffement supérieur à 2 °C rendra l'évolution du climat incontrôlable.

Hervé Le Treut, l'une des figures de l'appel à la vigilance lancé dès les années 1980, dresse le tableau des actions à mener: réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre, mettre en place des politiques d'économie d'énergie, limiter la consommation d'énergie fossile, développer les énergies alternatives, capter et stocker le CO<sub>2</sub> des centrales thermiques... Il ne reste que quelques décennies pour diminuer l'ampleur des modifications en cours et nous préparer à affronter les nouvelles inégalités qui en découleront.

Un ouvrage indispensable pour comprendre la machine climatique, ses facteurs de régulation et les enjeux écologiques de demain.

Prix France : 21 €  
ISBN : 978-2-0821-0587-3



9 782082 105873  
editions.flammarion.com

**N . B . S .**  
**Flammarion**

Extrait de la publication

Tempête de sable dans la province du Gansu,  
Chine, février 2009 © Chen Mingzhe /  
ChinaFotoPress / Getty Images