

Traduction de l'article « Comment dévaster l'environnement » couvrant les pages 181 à 205 du livre « Unless Peace Comes – A scientific forecast of new weapons » (À moins que la paix ne vienne – Une Prévision scientifique de nouvelles armes)

Copyright © Nigel Calder, 1968

Tous droits réservés

Publié en 1968 en édition cartonnée et une édition Viking Compass de Viking Press, Inc., 625 Madison Avenue, New York, N. Y. 10022

Numéro de carte du catalogue de la Librairie du Congrès : 68-28023

Imprimé aux U.S.A. par The Colonial Press Inc.

Deuxième impression : décembre 1968

### **COMMENT DÉVASTER L'ENVIRONNEMENT**

PAR

**GORDON J.F. MacDONALD**

*États-Unis*

*Le professeur MacDonald est co-directeur de l'Institut de Géophysique et de Physique planétaire de l'Université de Californie à Los Angeles. Ses recherches englobent une diversité considérable de phénomènes naturels et ses intérêts professionnels s'étendent encore avec sa participation à l'élaboration des politiques scientifiques nationales. Il est membre du Comité Consultatif Scientifique « Président Johnson ».*

---

PARMI LES FUTURS MOYENS d'atteindre des objectifs nationaux par la force, il existe une possibilité reposant sur la capacité de l'homme à contrôler et manipuler l'environnement de sa planète. Une fois atteint, ce pouvoir sur son milieu ambiant lui fournira une nouvelle force apte à causer d'énormes dégâts, sans discrimination. Notre compréhension actuelle primaire de la modification intentionnelle de l'environnement fait qu'on a du mal à imaginer un monde où l'on pratique la guerre géophysique. Ce pourrait être un monde où les armes nucléaires seraient effectivement prohibées et où les armes de destruction massive seraient celles de la dévastation écologique. Alternativement, je puis envisager qu'un monde de stabilité nucléaire résultant de la parité de tels armements soit rendu instable par le développement par une nation particulière d'une technologie avancée à même de modifier l'écosystème terrestre. Ou bien, des armes géophysiques peuvent intégrer l'armement de chaque nation. Comme je le développerai, ces armes sont particulièrement adaptées aux guerres clandestines ou secrètes.

La littérature de science-fiction contient moult suggestions sur les façons dont les guerres seraient menées si l'homme avait la capacité effective de modifier la météo, le climat ou les courants océaniques. Nombre de ces suggestions fictives, et autres débats plus sérieux, oublient de prendre en compte les limites de la nature. Jules Verne a donné une description détaillée du déplacement des calottes glaciaires, rendant ainsi plus équitables les zones climatiques du monde (Les Voyages extraordinaires ; Sans Dessus Dessous, Metzel, 1889). Verne proposait d'annuler l'inclinaison de 23 degrés de l'axe de la Terre, la mettant à angle droit du plan soleil-terre. Toutefois, comme Verne l'a ensuite correctement souligné dans un exposé, le gonflement terrestre à l'équateur stabilise notre planète et, même si on lançait un projectile de 180 000 tonnes, le déplacement produit ne serait que d'un dixième de micron. Le sénateur Estes Kefauver, candidat à la vice-présidence lors de l'élection américaine de 1956, redécouvrit la proposition d'origine de Verne et fut fortement préoccupé par le basculement de l'axe terrestre. Il rapporta que l'axe de la Terre pouvait, par suite de l'explosion d'une

bombe H, se déplacer de dix degrés. C'est soit le sénateur Kefauver, soit ses scientifiques qui ont négligé l'influence stabilisatrice du gonflement de la Terre. Le déplacement maximal qu'on puisse espérer de l'explosion d'une arme H de cent mégatonnes est de moins d'un micron, comme Walter Munk et moi-même l'avons souligné dans notre livre, *Rotation de la Terre* (Cambridge University Press, New York, 1960).

Les progrès énormes réalisés dans les sciences de l'environnement comblent petit à petit le fossé entre réalité et fiction à propos des manipulations de l'environnement physique de la Terre. À mesure que ces manipulations deviennent possibles, l'histoire montre que des tentatives peuvent être faites pour les utiliser afin de favoriser des ambitions nationales. Pour évaluer les conséquences de la modification climatique dans les luttes entre nations, il nous faut prendre en compte l'état actuel du sujet et comment les évolutions supputées dans le domaine pourrait mener, dans dix à cinquante ans d'ici, à des systèmes d'armes qui se serviraient de la nature avec des méthodes nouvelles et peut-être inattendues.

**La clef de la guerre géophysique réside dans le repérage des instabilités environnementales auxquelles l'ajout d'une petite quantité d'énergie libèrerait des quantités extrêmement supérieures.** L'instabilité environnementale est une situation dans laquelle la nature a emmagasiné bien au-delà de la normale de l'énergie en un point de la Terre ou autour de celui-ci. L'énergie requise pour déclencher cette instabilité pourrait être apportée par de violentes explosions ou par de petits morceaux de matière capables d'induire de rapides changements en agissant comme catalyseurs ou agents de nucléation. Le mécanisme de stockage de l'énergie pourrait être l'accumulation de tension dans la terre ferme sur des centaines de millions d'années, ou bien l'eau surfondue dans l'atmosphère via des remontées d'air se produisant sur quelques dizaines de minutes. Les effets de la libération de cette énergie pourraient être répercutés à l'échelle mondiale, comme dans le cas de modification climatique, ou bien à l'échelle régionale, comme dans le cas de séismes ou de précipitations amplifiées.

#### Modification météo

L'atmosphère terrestre est une enveloppe d'air qui tourne principalement à la même vitesse que les continents et les océans sous-jacents. Le mouvement relatif entre l'atmosphère et la terre provient de sources et de réservoirs d'énergie (*energy sinks*) dont la localisation et la puissance varient mais dont l'origine ultime est le rayonnement solaire. Les quantités d'énergie en jeu dans les systèmes météorologiques dépassent substantiellement la quantité d'énergie contrôlée directement par l'homme. Par exemple, la somme caractéristique d'énergie déployée par l'entonnoir d'une seule tornade équivaut à environ cinquante kilotonnes d'explosifs ; une seule colonne orageuse brasse (*exchanges*) environ dix fois cette même énergie au cours de sa vie ; un ouragan atlantique de puissance moyenne peut tirer de la mer plus de mille mégatonnes d'énergie. **Ces immenses quantités d'énergie font qu'il est improbable qu'on puisse raisonnablement modifier la météo par des techniques employant la force brute. Cependant, on pourrait obtenir des résultats en intervenant sur les instabilités atmosphériques.**

Nous commençons dès à présent à comprendre plusieurs types d'instabilités atmosphériques. Les gouttelettes d'eau sur-refroidies dans les nuages froids sont instables mais restent à l'état liquide pendant de longues périodes, à moins d'être dotées de noyaux autour desquels elles peuvent geler. La transformation de gouttelettes d'eau en glace par l'introduction de noyaux artificiels peut fournir une source locale d'énergie. Cette chaleur produite peut provoquer des courants d'air ascendants (*updrafts*) qui, à leur tour, amènent à former davantage d'eau sur-refroidie. Ce procédé peut faire

tomber au sol une pluviosité plus importante que sans nucléation artificielle. Il peut se produire une deuxième instabilité, dans laquelle la vapeur se condense en eau, affectant là aussi la distribution d'énergie palpable (sensible). **À plus grande échelle, il existe ce qu'on appelle l'instabilité barocline des ondes atmosphériques qui enserrant la planète. C'est par le biais de ce déséquilibre de chaleur entre équateur et pôle que de l'énergie est stockée dans cette instabilité, afin d'être déchaînée dans la fabrication de grandes tempêtes cycloniques dans les zones tempérées. Il existe d'autres instabilités, moins bien comprises, capables d'influer sur le climat ; j'y reviendrai plus tard.**

Quelle est la situation actuelle concernant la modification météo et que peut-on raisonnablement attendre à l'avenir ? Des expériences sur les dix-huit dernières années ont démontré sans équivoque qu'on peut transformer des nuages de gouttelettes d'eau surfondue en nuages de cristaux de glace en les ensemençant d'iodure d'argent, de neige carbonique et d'autres agents chimiques appropriés. Cette découverte a été appliquée avec succès pour dégager les aéroports pris dans du brouillard surfondu au sol. Aucune technique similaire n'a été élaborée pour dissiper le brouillard chaud, bien que plusieurs pistes prometteuses soient actuellement étudiées. Dans le cas du brouillard chaud, l'instabilité atmosphérique vient du fait que la vapeur d'eau diffusée par petites gouttes contient plus d'énergie de surface que la même eau diffusée en grosses gouttes. Le procédé qui permettra de dissiper ce brouillard chaud sera celui qui forcera les petites gouttes à s'organiser en gouttes plus grosses pour ensuite tomber à terre.

Il y a des preuves croissantes bien que non concluantes que les précipitations venant de certains types de nuages et de systèmes orageux des régions tempérées puissent être amplifiées de dix à quinze pour cent par le biais de l'ensemencement. D'autres signes un peu plus controversés indiquent que les précipitations peuvent être amplifiées à partir de cumulus tropicaux par des techniques analogues à celles employées dans les régions tempérées. **Des expériences préliminaires sur les ouragans ont pour objet de dissiper les nuages entourant l'œil d'une tempête de façon à étaler l'énergie de celle-ci et en réduire ainsi la puissance. Les résultats sont controversés mais indiquent que l'ensemencement peut, dans certaines circonstances, conduire à une augmentation marquée dans le nuage ensemençé.** Cette possibilité peut avoir des avantages dans la modification des ouragans, mais jusqu'ici les expériences n'ont pas débouché sur une conclusion définitive.

Quant à la suppression de la foudre, il existe des indices mitigés mais extrêmement prometteurs que la fréquence des éclairs nuage-sol puisse être diminuée via l'introduction de paillettes métalliques (*chaff*) telles celles utilisées pour créer un faux écho dans les radars ennemis.

Lorsqu'on se tourne vers l'avenir, il est très clair qu'il y aura des avancées considérables dans tous ces domaines de modification météo. Aujourd'hui, les transports aériens aussi bien militaires que civils bénéficient des progrès réalisés dans la dissipation du brouillard au sol. De nouvelles avancées de la technologie consistant à injecter l'agent d'ensemencement dans le brouillard laissent entrevoir des probabilités que ce type de dispersion de nuage devienne routinier. En un sens, la dispersion du brouillard est la première application militaire de manipulation délibérée de la météo, mais elle est, bien sûr, très limitée.

Des programmes de grande portée sont actuellement entrepris aux États-Unis pour explorer davantage la possibilité de renforcer la pluviosité, surtout dans les États de l'ouest et du nord-est. Sur les hautes terres des États de l'ouest, la neige des tempêtes hivernales fournit la plupart de l'humidité du pays. **Des recherches sont en cours pour voir si l'ensemencement peut amener une augmentation du volume neigeux et améliorer ainsi les ressources en eau. Le grand intérêt porté à ce type de modification météo, conjugué à une recherche accrue sur la physique des nuages, a des chances d'aboutir à une modification efficace des nuages dans les cinq à quinze ans à venir.**

Actuellement, les effets ne sont mesurés qu'en termes statistiques et trop peu de choses ont été faites dans le domaine de l'observation des nuages avant et après ensemencement quant à la manière de repérer avec précision lesquels des nuages ont le plus de chance d'être affectés.

Pour ce qui concerne les applications militaires, j'émet l'hypothèse que l'augmentation des précipitations aurait des vertus limitées dans les situations tactiques classiques et, d'autre part, seulement dans un avenir où sa maîtrise sera plus complètement comprise. On pourrait par exemple imaginer des commandants des opérations appeler à amplifier des précipitations au niveau local afin de couvrir ou d'empêcher diverses opérations au sol. Alternativement, l'ensemencement des nuages pourrait être appliqué de façon stratégique. Nous sommes incertains, à l'heure actuelle, des effets de l'ensemencement des nuages sur les précipitations sous le vent. Des analyses préliminaires suggèrent qu'il n'y a aucun effet de 200 à 300 miles [environ 320 à 480 km, ndt] **sous le vent**, mais que l'ensemencement continu au-dessus d'une longue bande de terre sèche pourrait clairement ôter assez d'humidité pour supprimer la pluie à 1000 miles [environ 1600 km, ndt] **sous le vent. Cet effet étendu amène à la possibilité de désintégrer clandestinement l'humidité de l'atmosphère de sorte qu'une nation qui dépend de la vapeur d'eau traversant un pays rival pourrait être soumise à des années de sécheresse. La manœuvre pourrait se dissimuler derrière l'irrégularité statistique de l'atmosphère. Une nation possédant une technologie supérieure en matière de manipulation environnementale pourrait causer des dommages à un adversaire sans révéler son intention.** La modification des tempêtes pourrait, elle aussi, avoir des implications majeures. Comme je l'ai mentionné, des expériences préliminaires ont été menées sur l'ensemencement des ouragans. La dynamique des ouragans ainsi que le mécanisme de transfert d'énergie de l'océan à l'atmosphère nourrissant l'ouragan sont très mal compris. Toutefois, on peut imaginer divers systèmes de dissipation et de pilotage. Bien que les ouragans démarrent dans les régions tropicales, ils peuvent voyager vers les latitudes tempérées, comme le savent trop bien les habitants de la Nouvelle Angleterre. Un ouragan sous contrôle pourrait servir d'arme à terroriser des opposants sur de vastes régions du monde habité.

On suppose généralement qu'un ouragan puise la plupart de son énergie dans la mer qu'il survole. Le processus nécessaire au transfert de chaleur dépend de l'action des vagues qui permet à l'air d'entrer en contact avec un volume d'eau. Cette interaction air-eau canalise aussi les couches supérieures de l'atmosphère et permet à l'ouragan de puiser dans un réservoir de chaleur considérablement plus grand que la simple eau chaude de surface. **En utilisant des pellicules unimoléculaires de matériaux comme ceux élaborés pour couvrir les réservoirs et réduire l'évaporation, il peut y avoir des façons de diminuer l'interaction locale entre la mer et l'air et empêcher ainsi l'océan de fournir de l'énergie à l'ouragan de façon accélérée. Un tel procédé, conjugué à un ensemencement sélectif, pourrait offrir des mécanismes de guidage des ouragans.** À l'heure actuelle, nous sommes loin d'avoir les données et la compréhension fondamentale requises pour réaliser de telles expérimentations ; néanmoins, la possibilité à long terme d'élaborer et d'appliquer ces techniques sous couvert de dérèglements naturels offre une perspective alarmante.

#### Modification climatique

Lorsqu'on se demande si la modification climatique est chose possible, il convient d'examiner les variations du climat dans des conditions naturelles. Il existe des manifestations géologiques bien concrètes d'une longue série d'Âges Glaciaires dans un passé relativement récent qui montrent que le climat est en train d'évoluer lentement. Il existe aussi de solides preuves géologiques, archéologiques et historiques d'un modèle récurrent de fluctuations plus petites et plus rapides se superposant au lent changement évolutif. Par exemple, en Europe, le climat du début de la période qui a succédé au dernier Âge Glaciaire était continental, avec des étés chauds et des hivers froids. 6000 ans avant J.-C., il y eut une mutation vers un climat chaud humide avec une température moyenne de 5° Fahrenheit [– 15° centigrade, ndt] de plus qu'actuellement et une forte pluviosité qui amena une croissance considérable de tourbe. Cette période, connue sous le nom d'optimum climatique, fut accentuée en

Scandinavie par un affaissement de terrain qui permit un influx accru d'eau chaude de l'Atlantique dans la grande Mer Baltique.

Cet optimum climatique fut très particulier. Tandis que, de manière générale, la pluviosité décrivit très graduellement, cette diminution fut interrompue par de longues sécheresses pendant lesquelles la tourbe superficielle a flétri. Cette fluctuation se produisit à plusieurs reprises, les principales périodes sèches allant de 2000 à 1900, de 1200 à 1000 et de 700 à 500 avant J.-C. La dernière, une vague de chaleur sèche d'une durée approximative de 200 ans, fut la mieux développée (*best developed*). La sécheresse, bien que pas assez intense pour interrompre le développement régulier des forêts, provoqua bel et bien des migrations de populations des régions plus sèches vers de plus humides. Un changement vers des conditions plus froides et plus humides se produisit en Europe vers 500 avant J.-C. et fut de loin le changement climatique le plus brutal depuis la fin du dernier Âge Glaciaire. Il eut un effet catastrophique sur les débuts de la civilisation européenne : d'immenses zones forestières furent détruites par la rapide croissance de la tourbe, et les niveaux des lacs alpins s'élevèrent d'un coup, inondant nombre de colonies avoisinantes. Ce changement climatique ne dura guère ; dès le début de l'ère chrétienne, les conditions ne différaient pas beaucoup de celles actuelles. Dès lors, les variations du climat ont continué à se produire et, bien qu'aucune n'ait été aussi dramatique que celle de 500 avant J.-C., la perturbation connue comme petit âge glaciaire du 17<sup>e</sup> siècle est un exemple à noter. La cause de ces changements climatiques historiques reste nimbée de mystère. **Les rapides changements de climat dans le passé suggèrent à beaucoup qu'il existe des instabilités affectant l'équilibre du rayonnement solaire.**

**En effet, le climat est avant tout déterminé par l'équilibre entre l'onde courte entrante provenant du soleil (principalement la lumière) et la perte du rayonnement d'onde longue sortante (principalement la chaleur).**

Trois facteurs dominent dans cet équilibre : l'énergie solaire, la nature de la surface des régions terrestres (eau, glace, végétation, désert, etc.) et la transparence de l'atmosphère terrestre à différentes formes d'énergie rayonnante. Dans cette dernière correspondance (*connection*), l'effet des nuages qui font les jours frais et les nuits relativement chaudes est affaire de vécu familier. Mais les nuages sont une manifestation plutôt qu'un déterminant original de la météo et du climat ; plus important est l'effet des gaz dans l'atmosphère, lesquels absorbent une grande partie du rayonnement passant du soleil à la terre ou de la terre à l'espace. Les forts rayons X et ultraviolets solaires, ainsi que les particules atomiques hautement énergisées sont stoppés dans la haute atmosphère. **Seule la bande étroite de lumière visible et certaines ondes courtes radio traversent l'atmosphère sans interruption majeure.**

Il y a eu de grandes controverses ces dernières années concernant les effets globaux supposés sur le climat mondial des émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère générées par les hauts-fourneaux et les moteurs consommant des énergies fossiles, et certaines controverses à propos des influences éventuelles de l'échappement des grosses fusées sur la transparence de la haute atmosphère. Le dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère depuis le début de la révolution industrielle a provoqué une augmentation de la température moyenne de la basse atmosphère de quelques dixièmes de degré Fahrenheit. La vapeur d'eau pouvant être rejetée dans la stratosphère par les transports supersoniques peut aussi conduire à une augmentation analogue. **En principe, il serait faisable d'injecter dans la haute atmosphère des matériaux qui absorberaient soit la lumière entrante (refroidissant ainsi la surface), soit la chaleur sortante (réchauffant la surface).** En pratique, dans l'atmosphère raréfiée et battue par les vents, le matériau se disperserait plutôt rapidement, de sorte que l'utilisation militaire d'une telle technique escompterait probablement des effets globaux plutôt que locaux. De plus, le matériau moléculaire tendra à se décomposer et même les matériaux élémentaires se perdront au final par diffusion dans l'espace ou précipitation au sol. À des niveaux

intermédiaires, dans la stratosphère, les matériaux peuvent tendre à s'accumuler, bien que le temps de mélange pour cette partie de l'atmosphère soit de certainement moins de dix ans, voire peut-être de quelques mois. **Si les météorologues de tel ou tel pays calculaient qu'un réchauffement ou un refroidissement général de la Terre est dans l'intérêt national, améliorant leur climat tout en faisant empirer celui d'autres, il pourrait y avoir la tentation de relâcher des substances depuis des fusées à haute altitude.** À l'heure actuelle, nous n'en savons toutefois que trop peu sur les effets paradoxaux du réchauffement et du refroidissement pour dire quelle en serait l'issue.

Des effets plus soudains, peut-être plus brefs et néanmoins désastreux sont prévisibles si des moyens chimiques ou physiques étaient élaborés pour une des composantes naturelles de l'atmosphère : l'ozone. Une faible concentration d'ozone ( $O_3$ , une forme moléculaire rare de l'oxygène) dans une couche entre quinze et cinquante kilomètres d'altitude revêt une importance primordiale pour la vie sur terre. Elle se charge d'absorber la plus grande partie des ultraviolets solaires. À faible dose, ce rayonnement provoque des coups de soleil ; si on l'expérimentait à sa puissance maximale au sol, cela serait fatal à toute vie qui ne serait pas en mesure de s'en abriter, y compris les récoltes et les troupeaux. **L'ozone se reforme quotidiennement, mais un « trou » temporaire dans sa couche au-dessus d'une zone cible pourrait être engendré par une action physique ou chimique. Par exemple, à une longueur d'onde de 250 millimicrons l'ultraviolet décompose les molécules d'ozone, et l'ozone réagit immédiatement à une large gamme de matériaux.**

**À présent, nous ne pouvons que spéculer timidement sur la modification du rayonnement d'ondes courtes à sa source : le soleil. Nous avons découvert à la surface du soleil des instabilités de grande ampleur qui pourraient désormais être manipulées.** Dans une explosion solaire, par exemple,  $10^{10}$  mégatonnes d'énergie sont stockées dans des champs magnétiques déformés. Par des techniques avancées dans le lancement de fusées et la détonation de grosses explosions, nous pouvons à terme apprendre à déclencher ces instabilités. Cependant, pour l'avenir proche, l'altération ne se fera pas dans le rayonnement d'ondes courtes entrant mais dans celui d'ondes longues sortant.

Les schémas habituels de modification climatique impliquent la manipulation de grandes étendues de glace. La persistance de ces grandes étendues glacées est due à l'effet refroidissant de la glace elle-même, aussi bien du fait qu'elle reflète (plutôt qu'absorbe) le rayonnement d'ondes courtes entrant, que du fait qu'elle irradie la chaleur plus intensément que le sol ordinaire. On suggère communément pour modifier le climat **d'avoir recours à de fines couches de matériau éparpillé sur une surface glacée, inhibant ainsi aussi bien le processus de réflexion que celui de rayonnement, faisant fondre la glace et altérant par là même le climat.** Un tel procédé présente des difficultés techniques et logistiques évidentes. Par exemple, si l'on souhaitait créer une enveloppe de surface de l'épaisseur d'un micron pour recouvrir seulement un carré de 1000 kilomètres, le poids total du matériau utilisé pour cette pellicule extrêmement ténue serait d'un million de tonnes ou plus, en fonction de sa densité. Par conséquent, les propositions de saupoudrage aérien de certaines étendues de glace sont irréalistes et reflètent une technique de la force brute ne mettant pas à profit les instabilités présentes dans le milieu ambiant.

Bien qu'il puisse être technologiquement difficile de changer la nature d'une calotte glaciaire, et du même coup ses propriétés thermiques, on pourrait éventuellement déplacer la glace, si l'on tient compte de l'instabilité gravitationnelle des calottes. L'énergie gravitationnelle potentielle de l'eau sous forme de calotte de glace haute et épaisse est largement plus grande qu'elle ne le serait au niveau de la mer. Ce fait rend possible, au moins en principe, l'invention de procédés pour parvenir à une redistribution de la glace. En effet, A. T. Wilson a proposé une théorie cyclique des périodes glaciaires, basée sur cette instabilité.

Les points principaux de la théorie de Wilson sont les suivants :

1. L'Antarctique est recouverte d'une couche de glace de plusieurs kilomètres d'épaisseur. La pression à la base de la glace est assez forte pour maintenir celle-ci à son point de fonte ou

proche de celui-ci ; l'eau est un matériau insolite du fait qu'une augmentation de la pression fait baisser au lieu de monter son point de fonte. Une augmentation de l'épaisseur de la couche glacée pourrait avoir comme résultat de la faire fondre à sa base. Le mélange eau-glace qui en résulterait le long de la semelle du glacier permettrait le glissement par un processus de glaciation-fonte – processus de glissement bien plus efficace que l'écoulement plastique ordinaire (*ordinary plastic flow*)

2. Si une telle instabilité se produit, la couche de glace glissera dans la mer environnante et une immense plateforme de glace se formera entre l'Antarctique et l'océan environnant. Cela aura pour conséquence la réflexion du rayonnement solaire d'ondes courtes et une perte renforcée de chaleur par rayonnement d'ondes longues, induisant un refroidissement et une glaciation globale.
3. Une fois immergée, la plateforme de glace commencera à fondre et finira par disparaître. La glace restant sur terre sera beaucoup plus mince qu'avant. À mesure que la réflectivité de l'hémisphère sud diminuera avec la fonte de la calotte antarctique, le climat du globe redeviendra chaud, équivalant au début d'une période interglaciaire. La calotte glaciaire se reformera lentement.

Dans un commentaire sur la théorie de Wilson, J. T. Hollin a remarqué l'éventualité catastrophique d'un surgissement ou d'une avancée de la couche de glace, comme cela a été attesté à maintes reprises sur de petits glaciers. La poussée la plus grande enregistrée jusqu'à présent est probablement celle de la calotte glaciaire à Spitzberg qui a avancé jusqu'à 21 km sur un front de 30 km entre 1935 et 1938. Il existe aussi des rapports faisant état de glaciers avançant à une vitesse de 100 m par jour. Hollin suppose qu'une fois qu'est atteinte la phase de fonte de la partie inférieure d'une calotte de glace instable, cette dernière se déplacera vite. Outre la chaleur géothermique emprisonnée qui fait fondre la glace à sa base, il y a également la chaleur générée par la friction du glacier contre le sol.

**Si les conjectures de la théorie de Wilson sont correctes (et elle a de nombreux attraits), il existe bien alors un mécanisme permettant d'altérer de manière catastrophique le climat de la Terre.**

Relâcher de l'énergie thermique, éventuellement par des explosions nucléaires à la base d'une couche de glace, pourrait enclencher un glissement de la couche vers l'extérieur, lequel serait ensuite entretenu par l'énergie gravitationnelle. Une mégatonne d'énergie suffit à faire fondre une centaine de millions de tonnes de glace. Cent mégatonnes transformeraient 0,1 cm de glace en une mince couche d'eau recouvrant la totalité de la calotte glaciaire antarctique. De moindres quantités d'énergie placées à bon escient enclencheraient sans nul doute le glissement de la glace vers l'extérieur.

Quelles seraient les conséquences d'une telle opération ? L'effet instantané de ce volume immense de glace s'immergeant dans l'eau, si les vitesses de cent mètres par jour sont adéquates, créerait de gigantesques tsunamis (raz-de-marée) qui dévasteraient entièrement les régions côtières, même dans l'hémisphère nord. Il s'ensuivrait des changements sensibles du climat causés par la modification soudaine de la réflectivité de la Terre. Au rythme de cent mètres par jour, le centre de la couche de glace atteindrait les bords du littoral en quarante ans.

Qui tirerait profit d'une telle application ? Le candidat logique serait un pays équatorial enclavé. Une ère glaciaire prolongée ferait régner des conditions quasi-arctiques sur la plupart de la zone tempérée, mais un climat tempéré avec des précipitations abondantes serait la règle dans les régions tropicales actuelles.

L'Avenir de la modification de la météo et du climat.

Ce qui suit est une vision de la modification de la météo et du climat peut-être plus positive que celle soutenue par beaucoup de scientifiques de la Terre. Je crois cette vision justifiée du fait qu'elle se base sur trois avancées scientifiques et technologiques. D'abord, la compréhension de la météorologie de base a fait des progrès tels que des schémas mathématiques de l'atmosphère ici ont été élaborés en y incorporant les éléments les plus importants. Les processus physiques dans les nuages, dans les échanges turbulents au sol et dans la transmission du rayonnement à travers l'atmosphère ne sont plus aussi mystérieux que jadis. Les volumes simulés par les schémas vont de la taille d'un simple nuage à l'ensemble de l'atmosphère ; ces schémas ne sont plus des représentations primaires.

Deuxièmement, l'avènement d'ordinateurs ultra rapides permet d'étudier plus en détail les modèles atmosphériques. Ces ordinateurs ont une importance toute particulière quant à la modification météo puisque qu'ils permettront aux scientifiques de réaliser des expériences élargies pour tester si oui ou non divers procédés de manipulation de l'atmosphère sont effectivement possibles et quel devrait en être le résultat.

La troisième avancée qui nourrit des espoirs de modification de la météo et du climat est le nouveau déploiement d'instruments élaborés pour observer et détecter les changements dans l'atmosphère. La plus spectaculaire et peut-être la plus puissante de ces avancées est le satellite météo qui fournit une plateforme d'où l'atmosphère peut être observée, non seulement dans les régions géographiquement inaccessibles mais aussi avec des prises de mesures physiques entièrement nouvelles. Par exemple, les satellites météo du futur permettront de déterminer l'humidité, la température et la pression sur la moyenne établie sur de très grands volumes de l'atmosphère, fournissant les quantités requises à l'élaboration des modèles mathématiques. Une panoplie d'instruments sophistiqués au sol pour observer des processus détaillés au sein de parties plus petites de l'atmosphère, nous procure, pour regarder les nuages et l'interaction de l'atmosphère à l'intérieur de ses limites, des outils bien plus puissants que ceux disponibles il y a dix ou vingt ans.

### Modifications des séismes

Qu'est-ce qui provoque les tremblements de terre ? Au cours du temps géologique, la distribution irrégulière d'éléments radioactifs créateurs de chaleur dans les couches rocheuses a généré des différences de température du sous-sol entre diverses parties de la Terre. Sur les continents, les granits et les roches similaires ont concentré les éléments radioactifs près de la surface ; aucune concentration similaire n'a eu lieu dans les régions sub-océaniques, qui peuvent résulter plus froides de plus de cent degrés centigrade que leurs correspondantes sub-continentales. De telles variations de température le long d'une ligne horizontale, à cause des différences dans la distribution verticale des éléments créateurs de chaleur, génèrent de grandes tensions thermiques, provoquant un stress analogue à celui qui ébrèche un grand verre qu'on remplit d'eau chaude. Le changement tend à être maximal dans les régions connaissant de brusques écarts de température le long d'une ligne horizontale traversant la croûte terrestre. La pression peut être en partie soulagée par le lent glissement convectif dans les profondeurs de la Terre, dont certains géophysiciens pensent qu'il pousse les continents. Mais la pression peut aussi être soulagée par des fractures prononcées ou par des mouvements le long d'anciennes failles dans les roches proches de la surface. Un mouvement le long d'une faille fait rayonner l'énergie vers l'extérieur, ce qui se solde par un séisme. Chaque année, c'est approximativement 200 mégatonnes d'énergie de déformation (*strain energy*) qui est relâchée de cette façon, les plus gros tremblements de terre correspondant à un ordre de 100 mégatonnes. L'énergie libérée dépend du



volume du matériau affecté. Les plus gros séismes ont lieu le long de failles ayant une dimension linéaire de 1000 km ; les plus petits sur des failles d'un kilomètre ou moins.

Les plus grands séismes tendent à se situer le long de deux ceintures principales. L'une, sur laquelle environ quatre-vingt cinq pour cent de l'énergie totale est libérée, fait le tour du Pacifique et affecte des pays dont les littoraux longent l'océan, par exemple le Japon et la côte ouest de l'Amérique du nord. La seconde ceinture traverse les régions méditerranéennes vers l'est à travers l'Asie et rejoint la première en Indonésie. Le long de ces deux ceintures, de grands séismes se produisent à fréquence variable. En Californie, on peut s'attendre à d'importants séismes une fois tous les cinquante à cent ans, et au Chili tous les dix ou vingt ans. Parfois de grands séismes se sont produits dans des régions censées ne présenter d'ordinaire aucun risque. Par exemple, le séisme de New Madrid de 1811-1812 a détruit une grande zone du centre de l'Amérique du nord mais n'a eu que de légères conséquences culturelles du fait du faible peuplement de celle-ci. Aujourd'hui, nous avons une compréhension détaillée limitée du mécanisme responsable des séismes, ainsi que de la façon de déclencher l'instabilité qui y est liée. Ce n'est que depuis ces quelques dernières années qu'ont été entamés des débats sérieux sur la prédiction des séismes, alors que les prévisions météo modérément fiables sont disponibles depuis environ trente ou cinquante ans. Actuellement, d'importants efforts sont faits, en premier lieu par le Japon et les États-Unis, pour élaborer des techniques de prévision sismique. Ces techniques se basent en grande partie sur l'évaluation des conditions changeantes de la pression des matériaux dans les roches entourant les zones de failles connues. Il peut être utile d'observer qu'avant un séisme la pression accumulée s'accélère.

La maîtrise des séismes est une perspective encore plus lointaine que celle de leur prévision, bien que deux techniques aient été suggérées grâce à l'expérience récente.

1. Au cours des essais souterrains d'armes nucléaires sur le site du Nevada, on a observé qu'une explosion a apparemment libéré une pression locale dans la terre. On suppose que l'accumulation rapide de pression due à la décharge soudaine d'énergie d'une explosion libère cette énergie de pression sur un grand volume de matériau.
2. Une autre méthode de décharge d'énergie est apparue en pompant de l'eau souterraine à proximité de Denver, Colorado, ce qui a conduit à une série de petits tremblements. Ici, l'hypothèse est que l'eau souterraine a contribué à une lubrification locale qui a permis aux blocs adjacents de glisser les uns contre les autres.

L'utilisation comme système d'arme de l'instabilité de l'énergie de pression dans la terre solide (*solid earth*) nécessite un mécanisme déclencheur efficace. Une installation de pompage d'eau apparaît comme une solution maladroite et facilement détectable. D'autre part, si le schéma répétitif dans la croûte terrestre peut être déterminé avec précision, on pourrait envisager une décharge d'énergie, progressive ou pour un moment fixé, venant de failles plus petites, prévue pour impacter une grande faille se trouvant à une certaine distance. Cette décharge minutée pourrait être activée par le biais de petites explosions et il serait ainsi possible d'utiliser son énergie stockée dans les petites failles à distance d'une faille majeure pour mettre cette dernière en branle. **Par exemple, la zone de la faille de San Andreas qui passe par Los Angeles et San Francisco fait partie de la grande ceinture sismique entourant le Pacifique. Une bonne connaissance des pressions à l'intérieur de cette ceinture pourrait permettre de donner l'impulsion à la zone de San Andreas par le biais d'explosions synchronisées dans la Mer de Chine et la Mer des Philippines. Contrairement à certaines opérations météo, il semblerait fort improbable qu'une attaque de ce genre puisse être menée clandestinement sous le masque d'un séisme naturel.**

Modification des océans

Nous ne sommes encore qu'aux prémices de l'élaboration d'une théorie et de techniques de prédiction de l'état des océans. Au cours des deux dernières décennies, on a inventé des méthodes de prévision de la distribution des vagues et des vents de surface. On a également élaboré un système avertissant des tsunamis (raz-de-marée) générés par des séismes. Certains courants ont été identifiés dans les océans mais nous n'en connaissons pas encore les composantes variables, à savoir la météo interne à l'océan. Ainsi, nous n'avons pas pu identifier d'instabilité dans la circulation océanique qui puisse être facilement manipulée. Comme dans le cas de la terre ferme, nous ne pouvons émettre que de timides suppositions sur la façon éventuelle de contrôler les processus océaniques.

**Une instabilité offrant un potentiel de futur système d'arme est celle qui est associée aux tsunamis. Ces derniers ont souvent pour origine l'effondrement dans les profondeurs océaniques de concrétions sédimentaires meubles et de roches perchées sur la plateforme continentale. Des déplacements de ces sédiments peuvent engendrer d'énormes quantités d'énergie gravitationnelle, dont une partie est transférée dans le mouvement du tsunami. Si, par exemple, le long des 1000 km du bord d'une plateforme continentale, un bloc de 100 m de profondeur sur 10 km de largeur tombait à 100 m, c'est environ 100 mégatonnes d'énergie qui seraient libérées. Cette décharge s'avèrerait catastrophique pour tout pays côtier. Comment pourrait-on y parvenir ? La manière la plus efficace serait une série d'explosions progressives artificielles qui déclencheraient peut-être des séismes naturels. Je pourrais même envisager la possibilité de planifier un raz-de-marée téléguidé dont le contrôle serait assuré par un formatage correct de la source libératrice d'énergie.**

Ondes agissant sur le cerveau au niveau planétaire (Brain Waves around the World) ?

**À des altitudes de quarante à cinquante kilomètres au-dessus de la surface terrestre, on trouve des quantités considérables de particules chargées qui font de cette partie de l'atmosphère – l'ionosphère – un bon conducteur électrique. Les roches et les océans sont aussi plus conducteurs que la basse atmosphère. Ainsi, nous vivons dans une atmosphère isolante entre deux coquilles sphériques conductrices ou, comme le dirait un ingénieur radio, dans une cavité terre-ionosphère ou un canal d'ondes.** Les ondes radio se heurtant à l'une ou l'autre des coquilles conductrices ont tendance à se refléter vers la cavité, et c'est ce phénomène qui rend possibles les communications radio longue distance conventionnelles. Ce n'est toutefois que récemment que l'on s'est un tant soit peu intéressé aux résonances électriques naturelles internes au canal d'ondes terre-ionosphère. Comme toute cavité similaire, le canal d'ondes terre-ionosphère tendra à garder l'oscillation radio de préférence à certaines fréquences plutôt qu'à d'autres. Ces fréquences de résonance sont avant tout déterminées par la taille de la Terre et la vitesse de la lumière, mais les propriétés de l'ionosphère les modifient dans une certaine mesure. Les résonances les plus basses commencent à environ huit cycles seconde (**par seconde ???**), bien en deçà des fréquences habituellement utilisées pour les communications radio. Leur longueur d'onde longue et leur petite force de champ les rendent difficile à détecter. De plus, elles meurent rapidement, peu ou prou en l'espace d'un seizième de seconde ; dans le vocabulaire des ingénieurs, la cavité possède une constante de temps court (*short time constant*).

Les oscillations naturelles de résonance sont excitées par des coups de foudre, les éclairs nuage-sol constituant une source beaucoup plus efficace que les décharges horizontales de nuage à nuage. En moyenne, environ cent éclairs sont produits à la seconde (principalement concentrés sur les régions équatoriales), de sorte que normalement à peu près six éclairs sont utiles pour

injecter l'énergie avant qu'une oscillation donnée ne s'évanouisse. La force caractéristique d'un champ d'oscillation est de l'ordre de 0,3 millivolt par mètre.

**La puissance des oscillations varie en fonction de la géographie. Par exemple, pour une source située au Brésil sur l'équateur, l'intensité maximale de l'oscillation se trouve près de la source et du côté opposé de la Terre (vers l'Indonésie). L'intensité est plus faible dans les régions intermédiaires et vers les pôles.**

On peut imaginer plusieurs façons d'augmenter l'intensité de telles oscillations électriques. On pourrait augmenter artificiellement à la source le nombre d'éclairs par seconde. De gros progrès ont été faits dans la compréhension de la physique de la foudre et dans la façon de la maîtriser. Les oscillations naturelles sont excitées par des éclairs survenant au hasard. L'excitation artificiellement minutée des éclairs augmenterait l'efficacité avec laquelle l'énergie est injectée dans une oscillation. En outre, la constante temporelle de l'oscillation serait doublée par une multiplication par quatre de la conductivité électrique de l'ionosphère, de telle sorte que tout procédé amplifiant cette conductivité (par exemple, l'injection de vapeur facilement ionisée) diminue les pertes d'énergie et prolonge la constante temporelle, ce qui permettrait un plus grand nombre de coups de foudre progressifs avant qu'une oscillation ne se décompose.

**Les oscillations électriques de basses fréquences que l'on amplifie dans la cavité terre-ionosphère sont liées à d'éventuels systèmes d'armes à travers un aspect peu compris de la physiologie du cerveau. L'activité électrique cérébrale se concentre à certaines fréquences ; une part de cette activité extrêmement lente, assez proche de cinq cycles/seconde, et une part très notable (le rythme alpha), autour de dix cycles/seconde. Des expériences ont été menées en utilisant une lumière vacillante pour forcer le rythme alpha du cerveau à se synchroniser avec elle de façon non naturelle ; la stimulation visuelle conduit à la stimulation électrique.** Il y a aussi eu des travaux sur le pilotage électrique direct du cerveau. Dans des expériences décrites par Norbert Wiener, une feuille de fer blanc est suspendue au plafond et connectée à un générateur fonctionnant à dix cycles/seconde. Avec de grandes forces de champ d'un ou deux volts par centimètre oscillant à la fréquence du rythme alpha, des sensations franchement désagréables sont perçues par les sujets humains.

**L'Institut de Recherche sur le Cerveau de l'Université de Californie étudie l'effet des champs oscillatoires faibles sur le comportement humain. Les forces de champ dans ces expériences sont de l'ordre de quelques centièmes de volt par centimètre. Les sujets montrent une détérioration petite mais mesurable de leurs performances lorsqu'ils sont exposés à des champs oscillatoires sur des durées allant jusqu'à quinze minutes.**

Les forces de champ dans ces expériences sont toujours bien plus fortes – d'un facteur d'environ 1000 – que les oscillations naturelles observées dans la cavité terre-ionosphère. Cependant, comme on l'a remarqué plus haut, l'intensité des fluctuations naturelles pourrait être augmentée de façon substantielle et maintenue en principe longtemps, étant donné qu'on dispose toujours d'orages tropicaux pour les manipuler. **Le lieu géographique adéquat de la source de foudre, conjugué à des éclairs précisément minutés et artificiellement excités, pourrait donner un modèle récurrent d'oscillation qui produirait des niveaux d'une puissance relativement élevée au-dessus de certaines régions de la Terre et des niveaux considérablement plus bas au-dessus d'autres. De cette manière, on pourrait élaborer un système capable d'affaiblir les performances cérébrales de vastes populations dans des régions de son choix sur une période prolongée.**

On peut admettre que le projet que j'ai suggéré soit exagéré, mais je l'ai utilisé pour indiquer les rapports plutôt subtils entre les variations des conditions environnementales de l'homme et son comportement. Perturber le milieu ambiant peut provoquer des changements dans les modèles comportementaux. Étant donné que notre compréhension de la manipulation aussi bien comportementale qu'environnementale est rudimentaire, les projets d'altération du

comportement semblent irréalistes en surface. Quel que soit le degré de perturbation qu'éprouvent certains à l'idée d'utiliser le milieu ambiant pour manipuler les comportements à l'avantage d'une nation, la technologie permettant une telle pratique a des chances d'être développée dans les prochaines décennies.

#### Guerre secrète et rapports changeants

Les carences aussi bien dans la compréhension de base des processus physiques environnementaux que dans la technologie de la modification du milieu ambiant font qu'il est très peu probable que, dans un avenir proche, la modification environnementale s'avère être un système d'arme attractif dans tout conflit militaire direct. L'homme possède déjà des outils de destruction efficaces. Enfin, des moyens autres que la guerre ouverte peuvent cependant être employés pour s'assurer l'avantage national. **À mesure que grandit la concurrence économique entre nombre de nations développées, il peut être à l'avantage d'un pays de s'assurer un environnement naturel pacifique et laisser à ses concurrents une nature perturbée. Les opérations instaurant de pareilles conditions pourraient être menées clandestinement, étant donné que les irrégularités naturelles permettent que tempêtes, inondations, sécheresses, séismes et raz-de-marée soient considérés comme inhabituels mais pas inattendus. Il n'est jamais besoin qu'une telle « guerre secrète » soit déclarée, voire même connue des populations touchées. Elle pourrait se poursuivre pendant des années, les forces de sécurité compromises étant les seules au courant. Les années de sécheresse et d'intempéries seraient imputées à une nature hostile, et ce n'est qu'après qu'une nation aurait été saignée que l'on tenterait une prise de pouvoir militaire.**

Outre leur clandestinité, un trait commun à plusieurs projets de modification est leur capacité à affecter la Terre dans son ensemble. Le milieu ambiant ne connaît pas de frontières politiques ; il est indépendant des institutions basées sur la géographie, et les effets de la modification peuvent être projetés de n'importe quel point A à n'importe quel point B de la Terre. C'est parce que la modification environnementale pourra être un trait dominant des décennies du monde futur, qu'il est préoccupant que cette technologie naissante soit en conflit total avec les unités et les concepts géographiques et politiques traditionnels.

Les conséquences politiques, juridiques, économiques et sociologiques de la modification environnementale délibérée, même à buts pacifiques, seront d'une telle complexité que toutes nos implications dans les questions nucléaires pourront sembler très simples en comparaison. Notre compréhension de la science environnementale de base n'en est qu'à ses balbutiements, mais nos notions des formes et procédures adéquates pour traiter les conséquences de la modification sont encore plus primaires. Toute l'expérience montre que des changements technologiques de moindre importance transforment finalement les rapports politiques et sociaux. Elle montre aussi que ces transformations ne sont pas forcément prévisibles et que les supputations que nous pourrions émettre maintenant sur la base de précédents ont quelques chances de s'avérer totalement erronées. Il semblerait toutefois que ces problèmes non scientifiques, non technologiques sont d'une telle magnitude qu'ils méritent d'être pris en considération par des étudiants du monde entier si la société est censée vivre confortablement dans un environnement sous contrôle.

NOTE DE L'AUTEUR : Dans la section sur la modification météo, j'ai largement puisé dans *Modification de la météo et du climat* (Académie Nationale des Sciences, Conseil National de Recherches, Washington, 1966). Le papier d'A. T. Wilson sur « L'Origine des Âges Glaciaires » est paru dans *Nature*, vol. 201, pp. 147-49 (1964), et les commentaires de J. T. Hollin dans le vol. 208,

pp. 12-16 (1965). La décharge de pression tectonique par explosion nucléaire souterraine est rapporté par F. Press et C. Archambeau dans la *Revue de Recherche Géophysique*, vol. 67, pp. 337-43 (1962), et les séismes de la main de l'homme à Denver par D. Evans dans *Geotimes*, vol. 10, pp. 11-17. **Je remercie J. Homer et W. Ross Adey de l'Institut de Recherche sur le Cerveau de l'Université de Californie, Los Angeles, pour l'information sur les études expérimentales de l'influence des champs magnétiques sur le comportement humain.**