Poster_Balkin.qxp_Mise en page 1 15/12/2015 11:22 Page1

L'ATMOSPHÈRE

LES COUCHES DE L'ATMOSPHÈRE

L'EXOSPHÈRE

L'EXOBASE

600-10 000 KM / 375-6,200 MI

L'exosphère est la couche supérieure de l'atmosphère.

Elle est constituée d'une petite quantité d'hydrogène et d'hélium, les gaz les plus légers. Il existe de l'oxygène atomique près de la base de l'exosphère, également appelée exobase. Au sein de l'exosphère, les satellites qui tournent en orbite autour de la Terre rencontrent peu de frottement atmosphérique.

Il n'existe pas de frontière nette entre l'exosphère et l'espace.

LA THERMOPAUSE

LA THERMOSPHÈRE

90-600 KM / 56-375 MI

La thermosphère désigne la couche atmosphérique la plus chaude. Sous l'influence de l'activité solaire, elle augmente et diminue sa taille quotidiennement. Ici, les gaz peuvent atteindre des températures allant jusqu'à 2500 °C pendant la journée. Mais les molécules de gaz chauffées sont si petites et éparses que leur influence sur la température de l'air reste négligeable.

L'ionosphère est la partie supérieure de l'atmosphère. Riche en ions, elle s'étend au-delà de la mésosphère, de la thermosphère et de l'exosphère, soit entre 60 et 300 km au-dessus de la surface de la Terre. Au sein de l'ionosphère, l'énergie solaire connue sous le nom de rayonnement ultraviolet, bombarde les particules d'air et crée le plasma qui est constitué d'ions (atomes ayant perdu des électrons) et d'électrons libres.

La *Station spatiale internationale* est située en orbite dans la partie supérieure de la thermosphère. La rencontre entre la partie supérieure de la thermosphère et l'exosphère se situe au niveau de la thermopause, que l'on appelle également l'exobase.

LA MÉSOPAUSE

LA MÉSOSPHÈRE

50-90 KM / 31-56 MI

Froide et sèche, la mésosphère est la couche atmosphérique la moins explorée. Elle constitue la zone la plus froide de la basse atmosphère où les températures tombent au fur et à mesure que l'on gagne en altitude jusqu'à un minimum de – 100 °C, créant les conditions favorables à la transformation de la vapeur d'eau en nuages de glace. La mésosphère est aussi une zone très sèche – cent millions de fois plus sèche que l'air du désert du Sahara.

LA STRATOPAUSE

LA STRATOSPHÈRE

20-50 KM / 12-31 MI

La stratosphère possède des conditions atmosphériques stables et, contrairement à la troposphère, elle ne subit pas de phénomènes météorologiques, de nuages ou de mouvements d'air turbulents.

La couche d'ozone occupe la majeure partie de la stratosphère et varie en épaisseur selon les parties du globe. Elle est plus fine au niveau de l'équateur et plus épaisse au-dessus des régions polaires. Elle absorbe les rayons ultraviolets du soleil, faisant ainsi augmenter la température au fur et à mesure que l'on gagne en altitude vers la partie supérieure de la stratosphère, pour finalement atteindre des températures autour de 0 °C.

LA TROPOPAUSE

LA TROPOSPHÈRE

0-20 KM / 0-12 MI

La troposphère est la partie la plus basse de l'atmosphère terrestre. Elle contient jusqu'à 80 % de ses gaz et la plus grande partie de sa masse et de ses vapeurs d'eau. Elle est composée essentiellement d'azote (78 %) et d'oxygène (21 %) avec de petites concentrations d'autres gaz. La partie inférieure de la troposphère est la seule zone de l'atmosphère qui soit respirable.

La troposphère est une zone agitée qui, en opposition avec les autres couches atmosphériques, est aussi la plus chaude au plus près de la surface de la Terre. Son épaisseur varie de 8 km au-dessus des pôles à 16 km au-dessus de l'équateur.

LE NIVEAU DE LA MER

0-20 KM / 0 MI

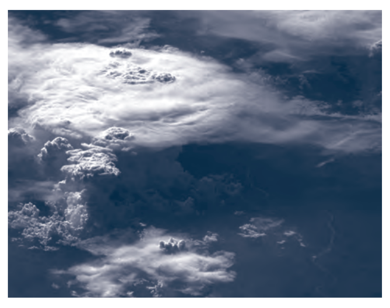
Le niveau de la mer représente la hauteur moyenne de la mer. En fonction de l'altitude, l'atmosphère présente des variations de pression et de température relativement importantes qui vont définir les différentes couches atmosphériques. Les frontières entre ces dernières sont marquées par des transitions brutales que l'on connaît sous les noms de tropopause, stratopause, mésopause et thermopause.

VOUS ÊTES ICI

CE QUE LES GENS DEVRAIENT SAVOIR

« L'une des raisons pour lesquelles j'étudie l'atmosphère, est qu'elle est indispensable à la vie. Mais il s'agit d'un film protecteur très, très fin à la surface de la planète. Allez n'importe où dans le monde, dans un endroit que vous considérez comme l'endroit le plus propre de la Terre, et prélevez un échantillon d'air. Vous constaterez qu'il sera plein de particules provenant de l'activité humaine. Nous pouvons voir toutes ces choses, inédites dans l'histoire de la planète. Nous pouvons même les mesurer. Tous les déchets que l'homme rejette dans l'atmosphère ne disparaissent pas. Ils ne sont pas aspirés dans l'espace. Cela vaut aussi pour l'effet de serre, la destruction de la couche d'ozone stratosphérique et même la pollution de l'air en général. »

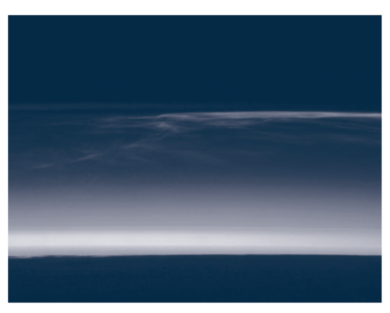
Robert Rhew, géochimiste,
université de Berkeley, Californie



ENMOD

L'opération « Popeye » était une opération militaire américaine qui visait à ensemencer les nuages pour prolonger artificiellement les moussons saisonnières au Laos pendant la guerre du Vietnam. En réponse à l'opération « Popeye », la Convention sur la modification de l'environnement de 1976 (ENMOD – *Environmental Modification Convention*) interdit d'utiliser des techniques de modification de l'environnement à des fins hostiles.

Dans l'article II de la convention, les « techniques de modification de l'environnement » sont définies comme les « techniques ayant pour objet de modifier – grâce à une manipulation délibérée des processus naturels – la dynamique, la composition et la structure de la Terre incluant ses biotes, sa lithosphère, son hydrosphère, son atmosphère ainsi que l'espace extra-atmosphérique ». La convention est entrée en vigueur en 1978.



NUAGES NOCTULESCENTS

Les nuages noctulescents, ou nuages « nocturnes lumineux », peuvent être aperçus occasionnellement dans le ciel au crépuscule si la lumière solaire les touche lorsque le Soleil est positionné entre quatre et seize degrés sous l'horizon. Les nuages sont formés de petits cristaux de glace de la taille des particules contenues dans la fumée de cigarette. Considérés par certains comme le signe d'un changement climatique, les nuages noctulescents (connus également sous le nom de nuages mésosphériques polaires) commencent à apparaître à une altitude supérieure à 80 km dans la mésosphère. Ils ont été observés pour la première fois en 1885, deux ans après que l'éruption du Krakatoa (en Indonésie) eut expulsé des panaches de cendres volcaniques à une hauteur de 80 km. À cette époque, les nuages ne pouvaient être observés qu'à des latitudes situées au-dessus 50e parallèle, comme en Scandinavie, en Russie et en Grande-Bretagne. On a pu toutefois les observer récemment bien plus au sud comme dans l'Utah et le Colorado aux États-Unis. Au sein de l'hémisphère Nord, la saison des nuages noctulescents s'étend de mi-mai à la fin août.

JOSEPH KITTINGER (31 KM)

« Au-dessus de moi, le ciel est hostile. L'homme pourra peut-être vivre dans l'espace mais il ne pourra jamais le conquérir. »

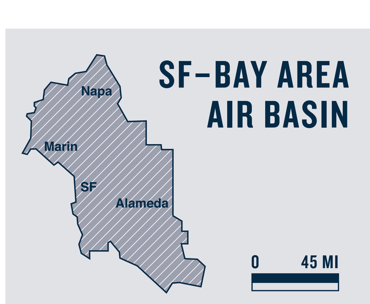
Joseph Kittinger

En 1960, dans le cadre d'une expérience militaire américaine sur les conséquences des éjections à haute altitude, Joseph Kittinger, équipé d'une combinaison pressurisée, réalise un saut en parachute depuis le ballon *Excelsior III* à une hauteur de 102800 pieds (31 km). Il s'agit du troisième essai d'une série de trois sauts dont les deux premiers ont été réalisés respectivement à une hauteur de 76400 pieds (23,3 km) et de 74700 pieds (22,7 km). À chaque essai, Kittinger rencontre des incidents techniques à mi-parcours de sa chute libre, comme une descente en vrille à très haute vitesse ou la dépressurisation d'un gant.

En 2012, Felix Baumgartner saute depuis un ballon d'hélium à une hauteur de 128100 pieds (38,6 km) au-dessus de la Terre et franchit le mur du son pendant sa chute libre. Son contact radio principal n'est autre que Joseph Kittinger pendant l'ascension qui précède le saut.

L'EXPÉDITION EN BALLON À DESTINATION DE L'ARCTIQUE, 1897

En 1897, l'aérostier S. A. Andrée conduisit l'expédition suédoise de 1897 qui devait rallier le pôle Nord en ballon. L'équipage tenta de diriger le ballon à hydrogène jusqu'au pôle à l'aide d'un système de cordes et de câbles et en empruntant la voie située au-dessus de l'archipel du Svalbard, situé dans l'océan Arctique. Alourdi par l'accumulation de glace à son sommet, le ballon s'échoua sur la banquise. Andrée et ses compagnons de route, dont l'auteur dramatique Nils Strindberg, neveu d'August Strindberg, périrent en tentant de rebrousser chemin sur la glace. Cependant, leur disparition ne fut élucidée qu'en 1930 lorsque les vestiges de leur dernier campement furent découverts sur l'île Blanche (Kvitøya), située dans l'archipel du Svalbard.

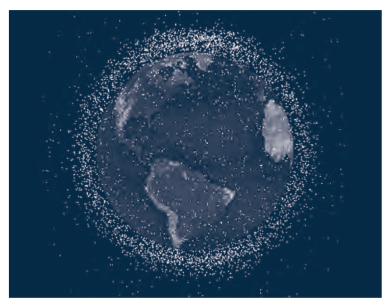


LE BASSIN ATMOSPHÉRIQUE DE LA BAIE DE SAN FRANCISCO

« Le bassin atmosphérique de la baie de San Francisco est soumis à l'autorité du Bay Area Air Quality Management District, agence locale chargée de la gestion de la qualité de l'air dans les comtés de Napa, Marin, San Francisco, Contra Costa, Alameda, San Mateo et Santa Clara, ainsi que la partie sud du comté de Sonoma et la partie ouest du comté de Solano. Le bassin atmosphérique n'est actuellement pas conforme aux normes étatiques sur la qualité de l'air. C'est le cas pour la norme de vingt-quatre heures, la norme annuelle applicables pour les particules PM10 (matières particulaires inférieures à 10 microns de diamètre) et la norme annuelle applicable pour les particules fines PM2,5 (matières particulaires inférieures à 2,5 microns de diamètre). »

California Air Resources Board
(Commission californienne en charge de la qualité de l'air)

POLLUTION

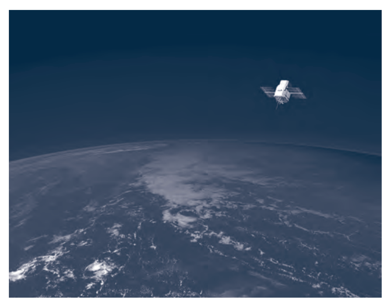


DÉBRIS SPATIAUX + CO_2

En 2012, le Centre spatial suisse lance *CleanSpace One*, une sonde spatiale conçue pour récupérer les composants satellites inactifs et les rapporter sur Terre.

« Les recherches menées depuis le début des années 1990 ont conduit à l'hypothèse que l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone, rejetées par les centrales électriques ou toute autre source terrestre, augmenterait la durée de vie orbitale des satellites hors-service et des débris spatiaux en orbite de basse altitude. Les activités d'observation et de modélisation soutiennent la théorie selon laquelle les émissions de CO_2 ont conduit à un refroidissement de la thermosphère (à des altitudes comprises entre 85 et 600 km) ainsi qu'à une réduction importante de la densité atmosphérique et donc de l'effet de frottement sur les objets en orbite. Selon cette hypothèse, le contrôle des émissions de CO_2 n'empêchera pas le refroidissement thermosphérique de se poursuivre encore sur les cent prochaines années, date à laquelle cet effet deviendrait semblable à celui de la variabilité de l'activité solaire. »

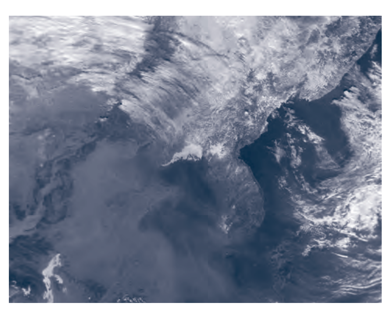
Mark Williamson, *Space: The Fragile Frontier*



LA CONTRACTION DU CIEL

Bien que les émissions de CO_2 soient à l'origine du réchauffement de la basse atmosphère, elles peuvent aussi provoquer le refroidissement de la thermosphère. Un refroidissement qui est déjà en train de réduire la densité atmosphérique, causant ainsi une contraction généralisée.

Depuis les années 1940, la thermosphère, qui se réchauffe et s'étire de manière importante pendant la journée et se refroidit et se contracte durant la nuit, a vu sa surface totale diminuer d'environ 8 km.



LA CONVENTION DE GENÈVE SUR LA POLLUTION DE L'AIR

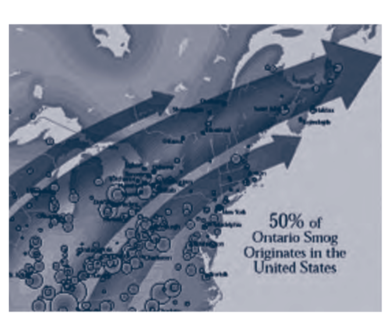
La convention de Genève de 1979 sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance a été formulée en réponse aux émissions industrielles d'Europe centrale à l'origine de pluies acides en Scandinavie, ainsi qu'aux conclusions scientifiques des années 1970 selon lesquelles la pollution de l'air pouvait être transportée à des milliers de kilomètres de l'endroit de son émission. L'objectif de la convention était de faire en sorte que « les parties s'efforcent de limiter et, dans la mesure du possible, de réduire progressivement et de prévenir la pollution de l'air, y compris la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance ».

Depuis son entrée en vigueur en 1983, la convention a été complétée par huit nouveaux protocoles qui font état des mesures à prendre pour réduire les émissions de certains polluants atmosphériques incluant les métaux lourds, l'oxyde d'azote, les composés organiques volatiles ainsi que les polluants organiques persistants.

LE TRANSPORT DE LA POLLUTION DE L'AIR EN ARCTIQUE

Les courants venteux transportent jusqu'en Arctique des polluants synthétiques comme les PCB (polychlorobiphényles) et le pesticide DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) depuis les grandes zones industrielles de production comme la Chine, les États-Unis, le Canada et l'Europe.

Ces polluants sont à l'origine de la concentration importante de perturbateurs endocriniens retrouvés dans les paliers supérieurs de la chaîne alimentaire en Arctique. Le sang et les tissus adipeux des Inuits tout comme ceux des autres peuples de l'Arctique et du Subarctique canadiens, qui se nourrissent principalement de poissons et de mammifères marins situés dans la partie supérieure de la chaîne alimentaire, contiennent une concentration de PCB et de polluants organiques persistants largement supérieure à celle observée chez les autres populations de la planète.



LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE TRANSFRONTIÈRE

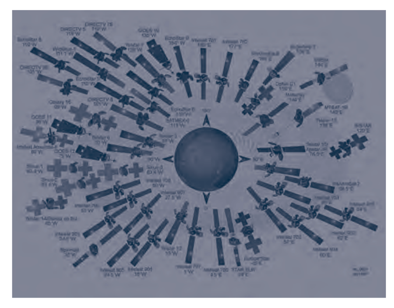
Au moins un tiers de la pollution à fines particules présente en Californie, connue également sous le nom d'aérosol, s'est déplacée dans les airs depuis l'Asie, selon Steve Cliff, expert en sciences atmosphériques à l'université de Californie à Davis. « En mai de cette année, la quasi-totalité des aérosols retrouvés à Lake Tahoe (à 300 km à l'est de San Francisco) provenait de Chine », précise Tom Cahill, éminent professeur de sciences atmosphériques de l'université de Californie. « La brume que l'on peut observer au printemps à Crater Lake (Oregon) ou dans toute autre région éloignée est en réalité d'origine chinoise. »

Seth Zuckerman, *Worldchanging Blog*

LE BROUILLARD DE DONORA, PENNSYLVANIE

Le brouillard de Donora de 1948 fut un brouillard meurtrier causé par une accumulation de particules polluantes rejetées par les cheminées de l'usine Donora Zinc et piégées au sol à cause d'une inversion d'air. Le brouillard s'installa sur la ville de Donora, en Pennsylvanie, obscurcissant le ciel pendant cinq jours. Il contamina 6000 des 14000 habitants de la ville et entraîna la mort de 20 personnes. La propagation de la maladie et le nombre de victimes causés par le brouillard générèrent une fronde populaire qui alimenta le premier mouvement en faveur d'une régulation de la qualité de l'air aux États-Unis. Il aboutit en 1963 au *Clean Air Act* (loi sur la qualité de l'air). La loi établit un plan de financement destiné à étudier et à nettoyer la pollution de l'air. Le Donora Smog Museum ouvrit ses portes en 2008. Il présente une riche collection d'objets historiques témoignant de la catastrophe et de ses conséquences.

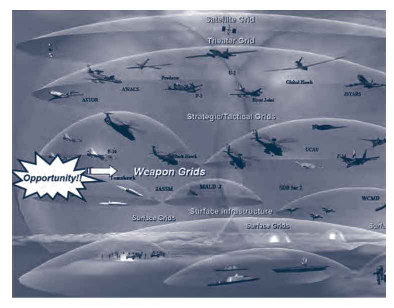
POLITIQUE SPATIALE



SATELLITES

« Intéressez-vous aux satellites, apprenez leurs noms, découvrez à qui ils appartiennent, dans quels cadres ils sont utilisés et à quelles fins. Il est nécessaire de lutter contre notre déficit de connaissance sur les satellites. Contestez l'appropriation militaire et corporative au travers de l'art, du militantisme, de l'imaginaire et de l'expérimentation. Imaginez comment l'utilisation des satellites en faveur de l'intérêt public pourrait être redéfinie. »

Docteur Lisa Parks,
Département cinéma et médias,
université de Californie, Santa Barbara

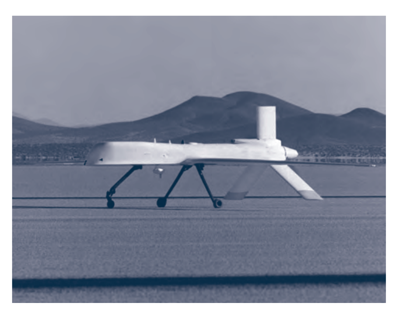


DÉPLOIEMENT DES ARMES DANS L'ATMOSPHÈRE

Bien qu'assez hostile à toute forme d'habitat, l'atmosphère n'en est pas moins occupée et contrôlée. Depuis les symboles de la puissance et de la coopération étatiques jusqu'aux sphères de contrôle à distance, l'atmosphère peut être découpée selon différentes cartes, réseaux et surfaces de déploiement des armes.

Cela inclut les diverses tentatives américaines visant à exercer un contrôle militaire dans les parties supérieures et inférieures de l'atmosphère, comme l'Initiative de défense stratégique (également connue sous le nom de « Guerre des étoiles » et qui n'a jamais été entièrement développée), avec pour objectif de déployer des armes dans l'espace, ou encore la défunte *Distant Early Warning Line* (Ligne DEW – réseau d'alerte avancée), un réseau de stations radar établi en Extrême-Arctique canadien pendant la guerre froide.

Comme le représente ci-dessus le schéma du département de la Défense des États-Unis de 2007, le maillage du « déploiement de l'armement » illustre une vision entièrement militarisée de l'atmosphère, et cela du niveau de la mer jusqu'à l'exosphère.



SCIENCE ET RÉCUPÉRATION MILITAIRE

La technologie à double usage fait référence aux technologies et aux biens qui sont utilisés à des fins scientifiques à la fois pacifiques et militaires. Le drone *Global Hawk*, construit par la Northrop Grumman Corporation, est un véhicule aérien sans pilote, opérant à haute altitude (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) et qui peut rester en vol pendant plus de trente heures. La NASA a déjà fait appel au *Global Hawk* pour vérifier les mesures prises par l'un de ses satellites lors d'un projet de recherche atmosphérique sur les aurores polaires. Le *Global Hawk* a aussi été utilisé par l'armée américaine pendant les conflits en Afghanistan et en Irak. Dès 2010, 7000 UAV étaient utilisés par l'armée américaine dans ces deux pays à des fins de reconnaissance militaire, de surveillance, mais également pour le lancement à distance de missiles et de bombes depuis les airs.

LA GUERRE DANS L'ATMOSPHÈRE INFÉRIEURE

« M. Speaker, d'épais nuages de fumée noire, causés par des incendies, ont envahi le ciel du Koweït pendant plus d'un mois, obscurcissant le soleil avec une quantité de polluants atmosphériques dix fois supérieure à celle générée par la production confondue de toutes les centrales électriques et industrielles des États-Unis… Une pollution atmosphérique de cette ampleur est une première dans notre histoire. L'Agence américaine de protection de l'environnement a détecté la présence de polluants atmosphériques générés par les incendies du Golfe à l'autre bout du monde, depuis son observatoire de Mauna Loa, situé dans les îles hawaïennes. »

Nancy Pelosi, membre du Congrès américain
Extrait du Registre du Congrès,
16 avril 1991

ESSAIS NUCLÉAIRES DANS L'ATMOSPHÈRE

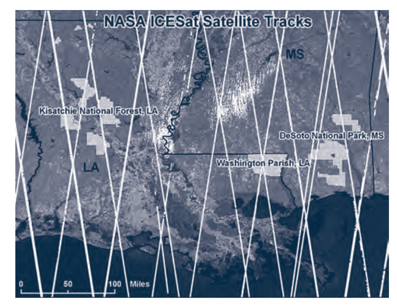
Ci-dessus : opération « Dominic Truckee », 6 juin 1962
Île Christmas, 210 kilotonnes à 2124 mètres d'altitude

Les explosions des bombes nucléaires dans l'atmosphère réalisées entre 1954 et 1963 ont créé un nuage permanent de carbone 14 (un isotope radioactif du carbone) qui a parcouru la Terre entière. En plus de doubler la quantité de carbone 14 présente dans l'atmosphère, les essais nucléaires ont laissé des traces de la conquête militaire atmosphérique dans le monde entier. La consommation de fruits provenant d'arbres contaminés affecta les populations nées dans les années 1950. Elles présentaient en effet des taux de carbone 14 plus élevés dans leurs cellules cérébrales que les personnes nées après le Traité d'interdiction partielle des armes nucléaires de 1963.

HAARP

Le Programme de recherche sur les hautes fréquences des aurores boréales (HAARP – *High Frequency Active Auroral Research Program*) est un programme d'observation et de recherche sur l'ionosphère. La station HAARP a été construite au nord de Gakona, en Alaska, en raison de sa position privilégiée dans la région aurorale où il est possible d'observer des événements ionosphériques dans un périmètre géographique limité. Parmi eux, l'électrojet polaire, un courant électrique de forte intensité qui apparaît de manière imprévisible. Les recherches du programme HAARP comprennent des expérimentations « actives ou interactives » via l'émission de hautes fréquences (HF) et au travers d'une « surveillance passive ». Malgré un réseau de 180 antennes, « l'instrument essentiel de la station HAARP reste l'instrument de recherche ionosphérique (IRI), un émetteur radio de haute puissance qui agit sur une gamme de fréquences HF ». Cogéré par l'Office of Naval Research (bureau du Département de la Marine des États-Unis) et l'université de l'Alaska sous l'autorité de l'U.S. Air Force (Force aérienne des États-Unis), le projet HAARP a souvent fait l'objet de spéculations et de controverses au sein de la sphère civile de par sa taille, son budget, mais aussi et surtout ses objectifs officiels qui font référence à un projet « d'utilisation technologique de l'ionosphère visant à améliorer les systèmes de communication et de surveillance ». En 2014, l'U.S. Air Force annonce au Congrès américain qu'elle prévoit l'arrêt du projet HAARP.

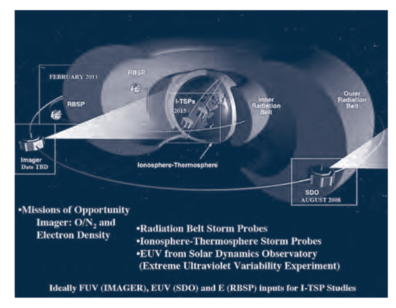
TÉLÉDÉTECTION



TÉLÉDÉTECTION PAR SATELLITE

Les satellites de télédétection utilisent des capteurs pour observer la Terre depuis l'exosphère. Au fil des années, la télédétection est devenue primordiale dans l'évaluation de l'impact humain sur l'environnement planétaire. La protection de l'environnement passe par la mesure des conséquences du réchauffement climatique sur les glaciers, la banquise et les forêts.

De 2003 à 2009, le satellite *ICESat* de la NASA a été utilisé pour mesurer la stabilité de la masse glaciaire, l'extension verticale des nuages et des aérosols, la topographie et la surface forestière. Lorsque le capteur principal de l'*ICESat* tombe en panne en 2001, ce dernier est éliminé par une manœuvre de désorbitation au-dessus de la mer de Barents et remplacé par *IceBridge*, un satellite d'observation de la glace polaire sur la Terre. En 2009 et 2011, deux des satellites d'observation de la Terre de la NASA, *Glory* et *Orbiting Carbon Observatory* (OCO), visant à intensifier les efforts de recherche sur le climat, s'écrasent au moment de leur lancement respectif. Ce fut un sérieux revers dans le processus d'amélioration des modèles climatiques. Le lancement d'*ICESat-2* est prévu pour 2017.

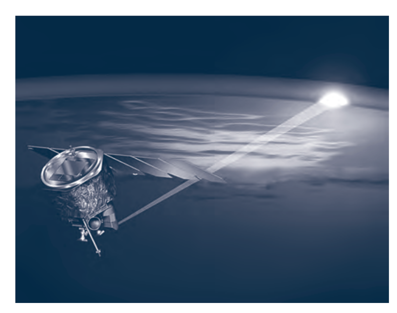


SONDES IONOSPHERE – THERMOSPHERE

Après une première mission avortée en 2012, les deux sondes *Ionosphere-Thermosphere Storm Probes* (I-TSP) de la NASA pourraient un jour retrouver la voie de l'espace pour « étudier la répartition de la densité ionosphérique et thermosphérique, les perturbations géomagnétiques et les irrégularités ionosphériques » en faisant ricocher des ondes radio de haute fréquence (HF) sur l'ionosphère.

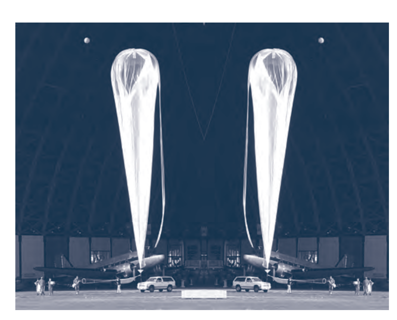
L'ionosphère se divise en quatre régions surnommées : D, E, F1 et F2. La région D (50-90 km), qui absorbe aisément les ondes radio AM (en modulation d'amplitude), disparaît la nuit avec la zone E (90-120 km) et la zone F1 (150-210 km). Seule la région F2 (210-800 km) est présente vingt-quatre heures par jour, ce qui fait d'elle la zone la plus intéressante en termes de propagation d'ondes radio HF.

Si leur lancement a bien lieu, les sondes I-TSP se positionneront en orbite là où la densité ionique est la plus élevée (400-450 km). « Elles mesureront la densité du plasma, les mouvements, les irrégularités, les densités neutres et les vents. » Ces caractéristiques mêmes de l'ionosphère-thermosphère impactent la communication, l'orientation et la mise en orbite des engins spatiaux et pourraient également nuire à l'ozone et au climat.



AERONOMY OF ICE IN THE MESOSPHERE

Le satellite *Aeronomy of Ice in the Mesosphere* (AIM) a été lancé par la NASA en 2007 pour étudier les nuages noctulescents ou les nuages dits « mésosphériques polaires » (PMC – *Polar Mesospheric Clouds*). Son objectif principal est d'aider les scientifiques à comprendre l'origine de la formation de ces nuages et leur relation avec le climat terrestre. Les capteurs du satellite mesurent la répartition spatiale, la taille des particules et la quantité de PMC et collectent des informations sur la température et la chimie atmosphériques. Depuis 2007, l'AIM a révélé que la glace mésosphérique se forme au sein même d'une couche continue de nuages se situant en dessous de 83 km et jusqu'à 90 km. Cependant, la découverte la plus considérable reste « l'étonnante similitude entre la structure des PMC observés […] et celle des nuages troposphériques. Ce qui laisse à penser que la mésosphère partagerait les mêmes procédés dynamiques que ceux qui influencent la météo proche de la surface de la Terre ». La mission de l'AIM a été renouvelée de 2009 à 2015 pour étudier plus en profondeur l'éventuel lien entre les nuages et le changement climatique.



LE BALLON STRATOSPHÉRIQUE

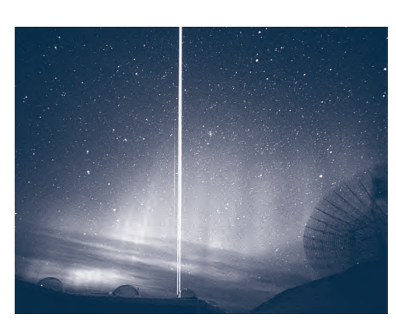
Un ballon stratosphérique est un ballon conçu pour atteindre de hautes altitudes. Il est utilisé pour recueillir des données environnementales à des endroits reculés des océans qui ne seraient pas accessibles autrement. Le ballon n'atteint sa taille maximale que lorsqu'il arrive à une altitude de 60000-65000 pieds (18-20 km) dans la haute stratosphère. Il dérive ensuite grâce à la force des vents dominants pendant environ une semaine.

Lâchés depuis un avion en plein vol, les ballons stratosphériques sont équipés d'un certain nombre d'instruments qui servent à collecter des informations relatives à la pression, la température et l'humidité. Ces instruments, appelés aussi catasondes, se détachent du ballon stratosphérique et, à mesure de leur descente, relaient des informations régulières par satellite. Au même titre que les radiosondes, les ballons stratosphériques fournissent des données destinées à l'analyse de la météo et des prévisions météorologiques.

LA RADIOSONDE

La radiosonde est un outil de mesure emporté par ballon dans l'atmosphère et qui communique par radio-transmission. Comme les ballons stratosphériques, les radiosondes sont équipées d'instruments de mesure de la pression, de la température et de l'humidité. Pendant leur ascension, les capteurs enregistrent et transmettent des informations sur les conditions atmosphériques observées. Grâce à des collectes quotidiennes de données, il est possible d'obtenir un état des lieux très précis du changement des conditions atmosphériques.

Les radiosondes sont lancées deux fois par jour près de l'aéroport d'Oakland en Californie par une entreprise privée pour le compte du service météorologique des États-Unis, le *National Weather Service* (NWS). Le NWS est un organisme de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique) ainsi qu'une unité opérationnelle du U.S. Department of Commerce (département du Commerce américain).



LIDAR (TÉLÉDÉTECTION PAR LASER)

Équivalent du radar, le lidar se base sur le temps que met la transmission d'un signal pour atteindre un objet et revenir jusqu'à lui afin d'évaluer la distance de cet objet ; seule différence, il utilise la lumière laser au lieu des ondes radio. Le lidar permet d'étudier les nuages noctulescents ainsi que d'autres phénomènes de l'atmosphère moyenne.

« Cette image montre des faisceaux issus de deux systèmes de lidar différents. L'un utilise le processus de diffusion Rayleigh à partir des gaz atmosphériques existants et l'autre est conçu pour répondre aux atomes de sodium (émis par le phénomène d'ablation des météores lorsqu'ils atteignent les couches supérieures de l'atmosphère). Ces systèmes sont situés au centre de recherche de la haute atmosphère de Sondrestrom, à l'ouest du Groenland. Outre les deux faisceaux de lidar, on aperçoit des observatoires équipés de différents systèmes de caméras pour étudier les aurores, ainsi qu'une antenne radar (un peu floue car en mouvement) qui collecte elle aussi des informations sur les aurores. »

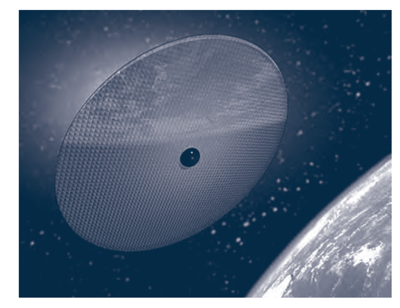
Craig Heinselman, scientifique
Groupe de travail sur les très basses fréquences (VLF),
Stanford

CHANGEMENT CLIMATIQUE

SPÉCULATIONS

Les scénarios climatiques sont des images du futur ou de futurs alternatifs. Utilisés pour exposer les différentes possibilités d'évolution du climat dans une variété d'échelles de temps, ils prédisent de quelle façon « les températures, les précipitations, le niveau de la mer et les autres variables climatiques peuvent évoluer » en fonction des facteurs climatiques d'origine humaine et naturelle. Les scénarios climatiques sont également ancrés dans les croyances populaires relatives au changement climatique et influencent notre idée même de l'avenir, au risque d'impacter le futur climat et l'atmosphère.

Alors qu'il serait difficile de calculer avec précision l'impact global de nos différentes visions du monde sur l'atmosphère, la concentration anthropique de gaz à effet de serre donnerait quant à elle un résultat beaucoup plus tranché. En avril 2015, les données relatives au dioxyde de carbone atmosphérique (CO_2) mesurées par l'observatoire du Mauna Loa, à Hawaï, indiquaient 403 parties par million (ppm). À quoi ressemblera le climat dans cent ans ? Dans mille ans ? L'incertitude est grande.



GÉO-INGÉNIERIE

Par géo-ingénierie, entendez « la volonté délibérée de modifier l'environnement de la Terre à grande échelle afin qu'il convienne mieux aux besoins humains ». Elle fait appel à des technologies de modification climatique encore trop peu testées comme l'injection de soufre dans la stratosphère, la liquéfaction et l'emprisonnement de dioxyde de carbone dans les fonds marins, la « fertilisation » en fer des océans pour favoriser la multiplication du plancton, ou encore la mise en orbite d'un miroir géant au-dessus du Groenland pour réfléchir la lumière du soleil et empêcher la fonte des glaces.

La géo-ingénierie est souvent présentée comme l'opportunité de mettre à profit des technologies de grande échelle ayant pour objectif de ralentir ou même de mettre un terme au changement climatique. Dans le même temps, l'utilisation de ces technologies implique des conséquences complètement imprévisibles et potentiellement irréversibles. Avec la modification climatique comme arme potentielle, ces technologies iraient à l'encontre de la convention de 1976 des Nations unies sur la modification de l'environnement (ENMOD). De plus, la géo-ingénierie légitime l'extraction continue et la combustion d'énergies fossiles.

UNE JUSTICE ATMOSPHÉRIQUE ET CLIMATIQUE

« Nous sommes choqués de constater le niveau de corruption que la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques a généré en permettant aux multinationales de prendre le contrôle de la sphère politique et des processus de négociation sur le climat. »

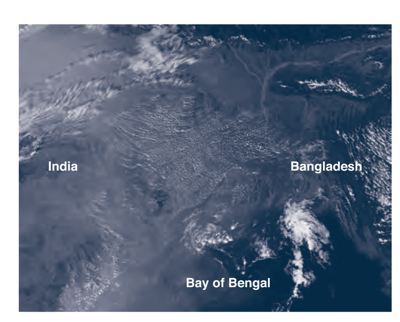
Alicia Muñoz, La Via Campesina Chili
(Mouvement paysan international)
Déclaration conjointe du réseau Climate Justice Now!
Poznań, Pologne, 2008

STRATOSPHERIC OZONE LAYER

OZONE (O_3)

« L'ozone est un composé intéressant. Beaucoup de personnes le considère comme une molécule centrale du point de vue de la chimie atmosphérique. Dans la basse atmosphère, l'ozone est tenu pour un polluant nocif à la santé humaine et à la vie végétale ; c'est également un composant majeur du brouillard. Il reste cependant essentiel dans la partie supérieure de l'atmosphère car il forme des radicaux qui nettoient l'atmosphère de tous ses polluants. L'ozone dans la troposphère peut donc être considéré à la fois comme un polluant et un nettoyeur redoutable. Et si l'on se dirige plus haut dans la stratosphère, il devient même un élément indispensable à la vie sur Terre car il absorbe les rayons solaires ultraviolets qui, autrement, causeraient d'importants dommages à l'ADN des cellules de tout organisme vivant. »

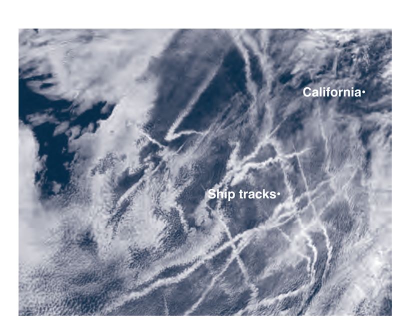
Robert Rhew, géochimiste,
université de Berkeley, Californie



LES NUAGES BRUNS ATMOSPHÉRIQUES

Les nuages bruns atmosphériques ou *Atmospheric Brown Clouds* (ABC) sont des nuages de pollution atmosphérique de couleur brunâtre qui apparaissent cycliquement à l'échelle régionale et plus particulièrement au-dessus de l'Asie, de l'Afrique australe et du bassin amazonien. Ils sont principalement constitués de suie (noir de carbone), de sulfates et d'autres composants d'aérosols issus de la combustion des énergies fossiles et de la biomasse. Les ABC bloquent les rayons du soleil, réduisant ainsi de 10 à 15 % la quantité de lumière solaire à la surface de la Terre. Ils réduisent également les précipitations.

Les aérosols favorisent la nucléation, autrement dit le maintien de l'eau dans les nuages en altitude sous forme de vapeur, au détriment de la pluie qui tombe. L'impact de ces nuages chargés d'aérosols en termes d'absorption et de dispersion de la lumière est complexe. Ils contribuent au réchauffement solaire atmosphérique mais sont impliqués dans bien d'autres aspects du changement climatique. Les ABC réduisent les pluies de mousson de l'été indien, détériorent la santé de l'homme, augmentent la quantité d'ozone et nuisent à la production agricole dans les zones affectées.



EXHALAISONS MARITIMES

Les porte-conteneurs, toutes cheminées fumantes, vont et viennent dans la baie de San Francisco, laissant dans leur sillage de longues traînées de condensation. Les traînées des bateaux, que l'on appelle aussi exhalaisons maritimes, forment un schéma quasi graphique, porté dans le sens du vent à la suite des navires, et ressemblant à des traînées d'avions.

Le dioxyde de souffre et autres particules de pollution issues des émissions maritimes donnent naissance à des nuages de gouttelettes qui influencent ensuite la formation d'une nébulosité marine. Les aérosols provenant des exhalaisons des bateaux emprisonnent les rayonnements de grande longueur d'onde (rayonnements quittant la Terre) et influencent par la suite les précipitations, le climat, rendant ainsi visibles certains des impacts environnementaux du commerce planétaire.

Le cliché ci-dessus représente le croisement des trajectoires maritimes au large de la côte californienne. Il a été réalisé par le satellite AQUA de la NASA le 21 février 2012.

ESPACE AÉRIEN

TRAITÉ DE L'ESPACE DE 1967

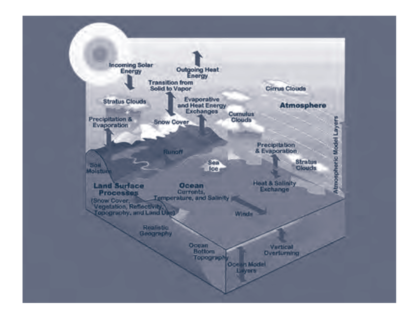
Le Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, dit encore Traité de l'espace, pose les fondements juridiques du droit international de l'espace. Il interdit aux gouvernements de revendiquer le droit d'appropriation ou de contrôle des ressources situées au-dessus de l'atmosphère terrestre et considérées comme « patrimoine commun de l'humanité ». Il garantit également le libre accès à toutes les régions des corps célestes. Alors que les pays signataires du traité ne sont pas autorisés à revendiquer une quelconque souveraineté par l'occupation des corps célestes, un État conserve cependant le droit de contrôle sur les objets artificiels qu'il lance dans l'espace. Les États sont également responsables de tout dommage ou pollution engendrés par leurs activités dans l'espace. Le traité interdit aux signataires de placer des armes de destruction massive en orbite autour de la Terre, sur la Lune ou dans l'espace atmosphérique. Il limite également l'utilisation de la Lune à des fins pacifiques, rendant illégale l'installation de bases militaires, d'entraînement, d'expérimentation ou d'occupation. Cependant, il n'interdit pas le positionnement d'armes dites conventionnelles en orbite autour de la Terre.

KÁRMÁN LINE

LA LIGNE DE KÁRMÁN (100 KM / 62.1 MI)

La ligne de Kármán est une frontière internationale en altitude qui détermine où commence l'espace.

Nommée en l'honneur de l'ingénieur et physicien Theodore von Kármán, la ligne de Kármán représente la hauteur minimale à partir de laquelle les chutes libres et la mise en orbite sont possibles. Elle représente également la limite atmosphérique pour les sports aériens, séparant de fait les activités aéronautiques et astronautiques. Alors que l'aéronautique a besoin de l'atmosphère terrestre pour être pratiquée, l'astronautique se justifie par l'absence d'atmosphère et donc de freinage atmosphérique.



MODÈLE CLIMATIQUE

Les modèles climatiques rapprochent mathématiquement les interactions possibles entre l'atmosphère, les océans, la surface terrestre et la glace. Ils peuvent être globaux, mettant en évidence la circulation atmosphérique d'un point de vue général, ou bien régionaux. De nombreux modèles climatiques sont envisagés de façon simultanée pour fournir un état des lieux anticipé des probables répercussions du changement climatique.

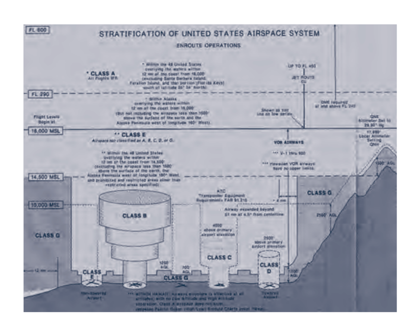
Des scénarios mathématiques à la fois simples et complexes sont utilisés par les organisations, tel le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*), pour servir de base aux négociations sur le climat ou dans le cadre de l'élaboration de recommandations politiques. En 2012, le sénat de la Caroline du Nord a fait adopter une loi qui restreint jusqu'en 2016 l'usage de la modélisation prédictive par les agents de planification de l'État dans le cadre de l'élaboration de scénarios sur l'augmentation du niveau de la mer des régions côtières.

DÉVIATIONS

De nombreux pays imposent des contraintes aux compagnies aériennes qui survolent leur territoire. Cela inclut des taxes obligatoires dont elles doivent s'acquitter pour obtenir un « droit de survol ».

Dans le *Spiegel Online*, Ronald Schmid, expert juridique du trafic aérien, explique que « ces taxes varient selon les pays ». « C'est pour cette raison que, par exemple, les vols au départ de Francfort peuvent être amenés à faire des détours par Buenos Aires en Argentine afin d'éviter les territoires aux taxes les plus élevées. »

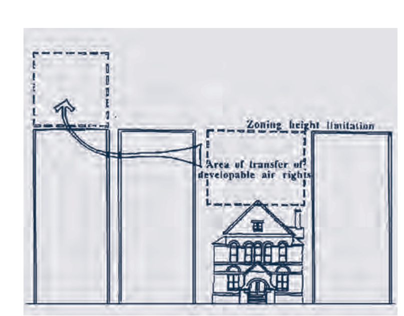
En 2007, le *U.S. Department of Homeland Security* (Département de la Sécurité intérieure des États-Unis) a exigé des compagnies canadiennes qu'elles transmettent la liste de leurs passagers soixante-douze heures avant la traversée de l'espace aérien américain, même si l'avion n'a pas l'intention d'atterrir sur le sol américain.



UNE DIMENSION VERTICALE DE LA SOUVERAINETÉ

« Réseau complexe, invisible aux yeux des spectateurs depuis la terre ferme », l'espace aérien est divisé en régions tridimensionnelles, organisées en différentes catégories standardisées et basées sur des restrictions d'accès. Il n'existe pas d'accord international sur la superficie verticale de la souveraineté.

Les États-Unis ont proposé que quiconque passerait à une altitude supérieure à 80 kilomètres au-dessus du sol n'aurait pas besoin de demander une autorisation de survol des nations. La ligne de Kármán, située à 100 kilomètres d'altitude, a également été recommandée pour être la limite verticale officielle de l'espace aérien d'une nation.

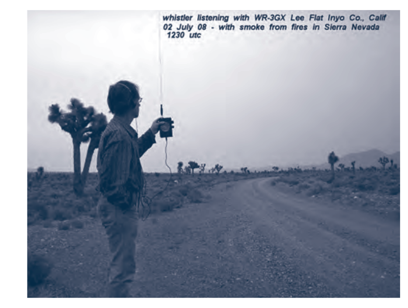


DROITS AÉRIENS

Les droits aériens font partie des mesures de réglementation de zonage relatives à la hauteur des constructions immobilières. Les droits aériens donnent au propriétaire immobilier l'autorisation de construire jusqu'à une hauteur maximale autorisée.

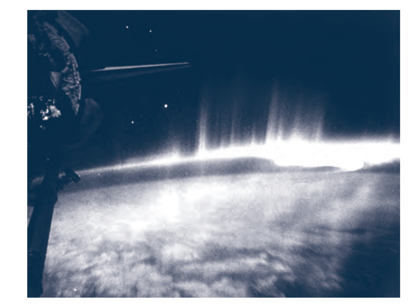
Si toutefois un bâtiment n'atteint pas la hauteur maximale autorisée, la différence peut être vendue ou cédée à un autre propriétaire, lui donnant ainsi la possibilité de dépasser la réglementation de zonage de cette même différence, sous réserve d'une autorisation préalable.

SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE



LES SONS DE LA MÉTÉOROLOGIE SPATIALE

Stephen P. McGreevy enregistre depuis le début des années 1990 des ondes électromagnétiques (radio) à très basse fréquence (VLF – Very Low Frequency) et à extrêmement basse fréquence (ELF – Extremely Low Frequency) dans des zones isolées. « Contrairement aux ondes sonores, définies par les vibrations des molécules d'air naturellement détectées par nos oreilles, les ondes radio naturelles sont des vibrations d'énergie d'origine électrique et magnétique qui, bien qu'elles se manifestent à la même fréquence que le son, ne peuvent être entendues par l'oreille humaine sans un récepteur radio qui convertit les signaux radio naturels en sons », explique McGreevy. Il possède une collection considérable d'enregistrements archivés sur le site aurorachorus.com. Parmi ces enregistrements, les sons d'aurores polaires, de pluies de météores et de « sifflements » à très basse fréquence – qu'il définit comme « une explosion d'ondes ELF/VLF provoquée par la foudre qui s'abat ». Sur la photo ci-dessus, McGreevy explique que « l'écoute des sifflements en plein milieu du désert enfumé de Lee Flat ce matin-là, paraissait complètement surréaliste – d'habitude, nous avons une très bonne visibilité dans le désert – mais cette fois-ci la fumée donnait une véritable impression de fin du monde… ».

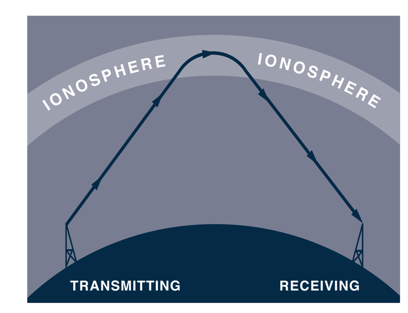


AURORES

Les aurores sont des phénomènes lumineux qui se manifestent dans la partie supérieure de l'atmosphère entre 100 et 300 km au-dessus des régions polaires. Elles ressemblent à des arcs transparents ou à des rideaux en suspension qui passent du rouge au vert et se déplacent en ondulant à travers le ciel. Le champ magnétique de la Terre est beaucoup plus fort au niveau des pôles magnétiques nord et sud, ce qui attire des particules chargées en énergie et fait des pôles terrestres des endroits privilégiés pour l'observation des aurores.

La luminescence des aurores polaires vient des particules à haute énergie qui émanent du Soleil et qui, par l'intermédiaire des vents solaires, entrent en collision avec l'atmosphère terrestre. C'est à ce moment qu'elles se heurtent aux atomes d'oxygène, les excitent et les ionisent. C'est la force du vent solaire qui détermine l'intensité de l'aurore. Les aurores polaires rouges (au-delà de 150 km) se situent au-dessus des aurores polaires vertes (100-150 km).

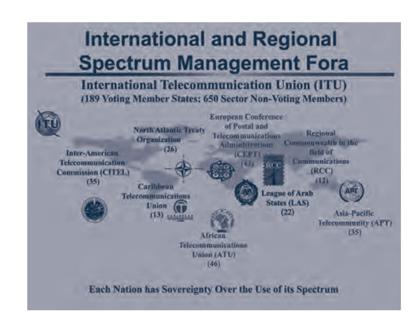
L'Institut de géophysique de l'université de l'Alaska à Fairbanks fournit quotidiennement des prévisions sur l'activité géomagnétique.



PROPAGATION IONOSPHÉRIQUE (SKYWAVE)

Essentielle à la communication radio en ondes courtes, l'ionosphère renvoie des ondes radio HF qui permettent à un éventuel destinataire de capter des signaux éloignés sans l'intermédiaire de satellites ou de toute autre infrastructure. Les signaux radio de haute fréquence (HF) transmis depuis le niveau de la mer se déplacent jusque dans l'ionosphère où ils sont ensuite réfléchis vers la Terre, rendant ainsi possible la communication par-delà l'horizon et sur de longues distances.

Les signaux peuvent rebondir plusieurs fois entre la Terre et l'ionosphère dans un processus de propagation multiple. La force du signal et la longueur du rebond peuvent varier selon les interférences électromagnétiques et les changements qui se produisent dans l'ionosphère le jour et la nuit. Les couches inférieures de l'ionosphère se dissipent la nuit venue, rendant possible des propagations plus intenses sur de plus longues distances et permettant aux ondes radio AM et en ondes courtes d'être entendues à des distances éloignées. Les fréquences radio HF se situent entre 3 et 30 mégahertz (MHz).

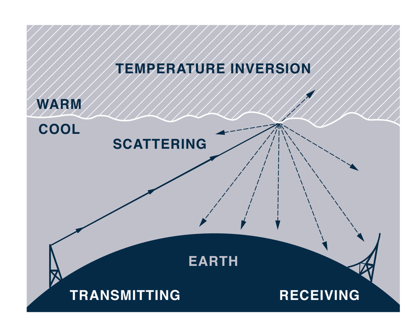


SPECTRE

Le spectre électromagnétique inclut toutes les fréquences de rayonnements électromagnétiques, des ondes radio aux micro-ondes, des rayonnements visibles et infrarouges aux ondes gamma.

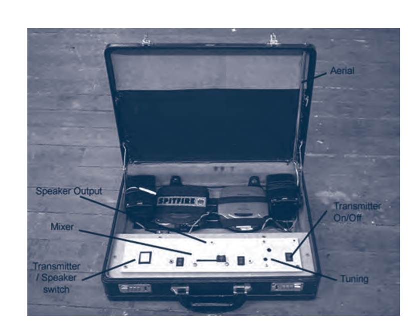
Au travers de la vente de permis qui autorisent l'utilisation exclusive d'une partie du spectre électromagnétique, la privatisation des bandes radio a converti le spectre en un objet de propriété et réduit la possibilité d'émettre des ondes radio et d'autres ondes électromagnétiques sur certaines fréquences.

Au contraire, des expérimentations valorisant davantage l'autonomie du spectre ont permis de positionner le satellite radioamateur russe ARISSat-1 en orbite terrestre basse (2011-2012) dans le cadre d'un projet éducatif. Il pourrait également servir de soutien au projet *Hackerspace Global Grid* (ayant pour objectif de créer un réseau de communication entièrement libre et non soumis à la censure gouvernementale ou des multinationales), non concrétisé à ce jour, dans le déploiement de stations au sol capables de suivre et de communiquer avec les satellites en orbite.



PROPAGATION TROPOSPHÉRIQUE

La diffusion troposphérique est un moyen de communiquer sur de longues distances en utilisant des micro-ondes radio. Elle se sert du phénomène de dispersion de la troposphère selon lequel un signal dirigé vers la tropopause, par l'intermédiaire d'un faisceau étroit, est réfléchi puis dispersé de façon aléatoire en passant au travers de la troposphère humide et turbulente. La plupart des informations émises se perdent au cours de cette dispersion. C'est pour cette raison qu'une antenne parabolique à gain élevé ou une antenne-panneau est utilisée pour la réception du signal. La diffusion troposphérique peut être utilisée pour des communications longues distances avec le soutien d'antennes relais fixes ou mobiles situées entre 290 et 480 km) de distance. Mais elle peut aussi causer des interférences. La diffusion troposphérique a été développée pendant la guerre froide pour des transmissions point à point de longue distance qui nécessitaient une compétence et une fiabilité élevées. Elle a largement été remplacée depuis par la communication satellite mais pourrait bien reprendre du service à cause de l'encombrement grandissant du spectre et de l'orbite.



RADIO PUBLIQUE

Taille : mallette
Fréquence : 100-108 FM
Sortie : mini-jack pour écouteurs ou haut-parleurs
Entrée : double lecteur CD et mixer ou micro
Antenne externe télescopique : 1-1,5 m
Alimentation : 9-14V

Sur la photo ci-dessus, on peut observer la radio pirate des « anarchitectes » britanniques, les Space Hijackers (un groupe de « pirates » créé au Royaume-Uni dont l'objectif est de se réapproprier l'espace urbain au travers de méthodes souvent décalées). Ils la décrivent comme « une radio pirate pas plus grande qu'une mallette. Pratique pour organiser des fêtes partout où ça vous chante ». Cet émetteur radio mobile comprend « une radio pirate parfaitement opérationnelle, équipée d'un double lecteur CD, d'un mixer, de haut-parleurs, d'un émetteur et d'une antenne ». Les Space Hijackers proposent également la veste radio pirate ou « la tenue incontournable des adeptes de la piraterie, amateurs de farces radiophoniques en tout genre ».