

Antenne de réception au Centre d'Étude
de Météo Spatiale de Lannion, en
Bretagne (France).

Qu'est-ce
que le
climat ?



SURVEILLER LE TEMPS

les satellites météorologiques.

A. Villeveille
R. Lasbleiz (*)

On a pu considérer l'atmosphère comme l'addition d'un certain nombre d'événements locaux et, en quelque sorte compartimentés. Mais à partir du moment où on le perçoit comme un ensemble de phénomènes reliés, littéralement comme une machinerie fonctionnant à l'échelle de la planète, la connaissance du climat doit s'appuyer sur des moyens d'observation eux-mêmes à l'échelle de la planète. En complément du réseau traditionnel d'observation à partir de la terre, dont l'extension est forcément limitée (ne serait-ce que sur les mers, où les lacunes resteront considérables), le satellite répond bien au problème posé.

Le satellite est, par essence « planétaire ». Il est capable, en suivant des orbites variées, de surveiller toute la surface du globe, de façon régulière, sans hiatus, avec une sorte de don d'ubiquité, qui donne une réalité concrète et quotidienne au vieux rêve des météorologistes, la « vision synoptique ».

Le satellite à également, et ce n'est pas la moindre de ses qualités, l'avantage de pratiquer une observation homogène, égale à elle-même en tous lieux, indépendante des facteurs géopolitiques qui affectent les observations du « réseau » classique.

Orbite haute : 36.000 km d'altitude

Les diverses fonctions du satellite, et notamment les fonctions sensorielles, pourront être sensiblement différentes suivant le type d'orbite. On distingue essentiellement les orbites « basses » et les orbites « hautes ».

Pour les orbites basses, l'altitude se situe typiquement entre 800 et 1.600 km. En règle générale, le satellite passe au voisinage des deux pôles ; c'est alternativement de jour et de nuit qu'il survole une région donnée du globe, à nos latitudes.

En ce qui concerne les orbites hautes, l'altitude est alors très exactement fixée à 36.000 km, de telle sorte que par les lois de la mécanique céleste, le satellite, placé dans un plan équatorial, tourne autour de l'axe des pôles à la même vitesse que la terre ; autrement dit il reste stationnaire par rapport à celle-ci.

Situation évidemment privilégiée : de ce balcon d'observation céleste, on peut suivre au fil du temps le mouvement et l'évolution des grandes perturbations qui se déplacent d'Ouest en Est à nos latitudes, ou des cyclones qui migrent d'Est en Ouest aux latitudes équatoriales.

Mais aussi, le satellite géostationnaire a ses infirmités : lorsqu'il s'agit, par exemple, de radiométrie fine (pour l'obtention du profil vertical de température et d'humidité), il ne peut prétendre aux performances du satellite bas, qui travaille plus près de la « cible » terrestre ; ou encore, lorsqu'il s'agit de localiser des stations météorologiques mobiles (le plus souvent : des bouées), le géostationnaire offre beaucoup moins de commodité — toujours par l'effet de la distance — que le satellite défilant.

Il y a donc un certain nombre de missions — et de missions importantes — qui appartiennent logiquement au satellite d'orbite basse.

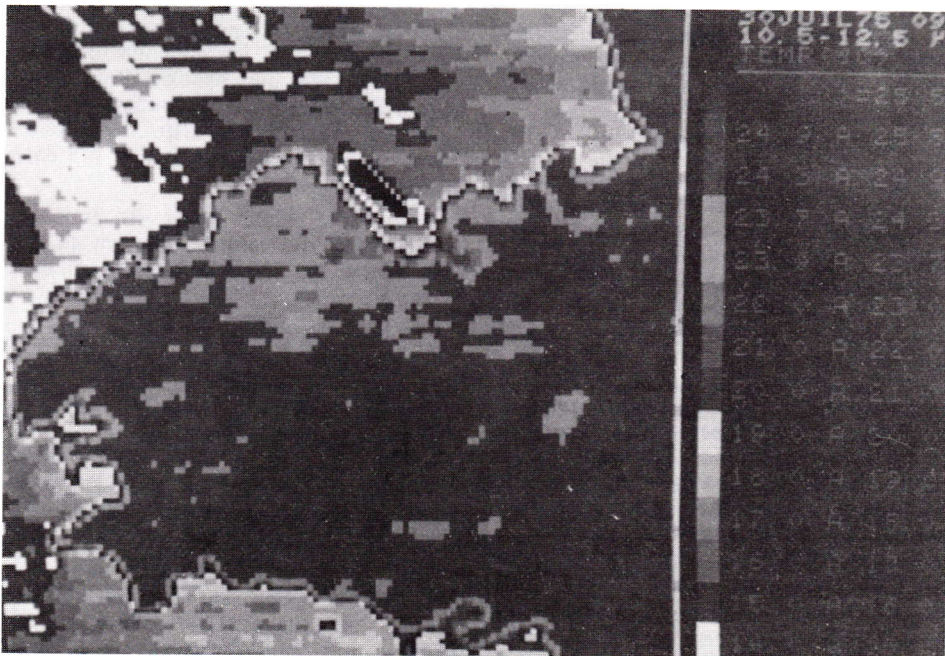
En fait, les réseaux de satellites actuellement prévus comportent un dosage judicieux entre les deux types d'engins,

Un cas particulier de tempête : le cyclone tropical, représente encore le plus meurtrier des phénomènes météorologiques. Les cyclones sont désormais suivis avec beaucoup de précision par les satellites, relayés, à distance des sites menacés, par des avions de reconnaissance spécialisés. Ainsi, les techniques d'alerte des cyclones ont-elles progressé notablement au cours de la décennie écoulée et sauvé de nombreuses vies humaines.

Le satellite et la pêche

Une autre application, assez inattendue, de ces mêmes satellites est liée à l'obtention des températures de mer, par radiométrie infra-rouge.

Là où les nuages s'écartent (car les nuages occultent le rayonnement infra-rouge du sol), le satellite peut ainsi dessiner la carte thermique de la surface de



travaillant à l'étage bas et à l'étage haut de notre environnement spatial. (1)

Surveiller tempêtes et cyclones

La première application des satellites météorologiques, « opérationnelle » depuis plus de dix ans, concerne la surveillance du temps, c'est-à-dire l'ensemble des « météores » nuageux et de leurs associations les plus violentes, les tempêtes.

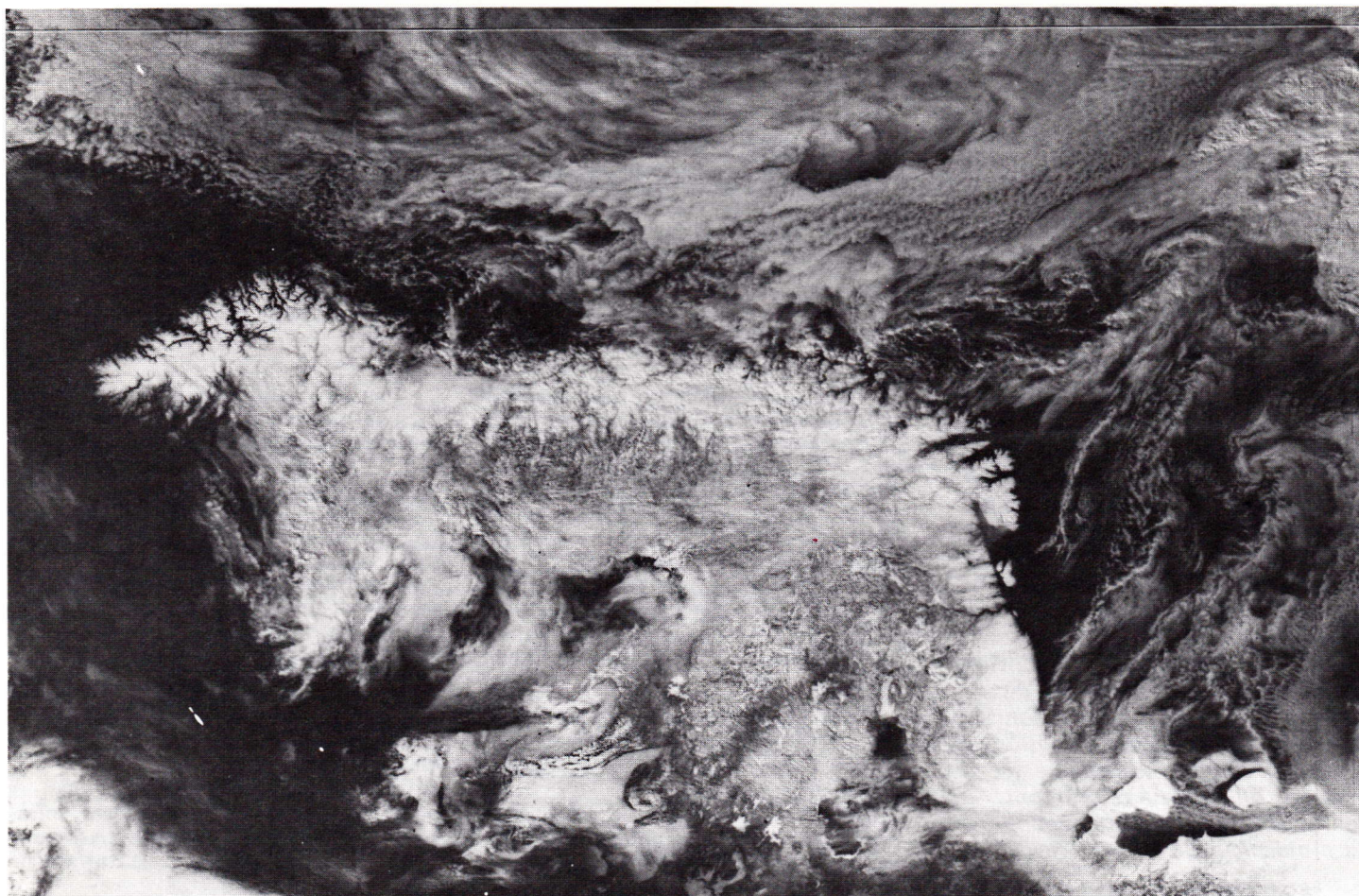
Les stations d'écoute réparties à travers le globe sont aujourd'hui tout à fait armées pour détecter les zones de tempêtes. Celles-ci s'identifient facilement sur les images satellitaires à partir des tourbillons nuageux, ou « vortex », qui les accompagnent.

Thermographie de la Bretagne à partir d'une radiométrie infrarouge des satellites NOAA.

l'océan. Il y reconnaît, aux hautes latitudes, les glaces polaires. Il y reconnaît à d'autres latitudes, et notamment aux latitudes intertropicales, les gradients localement élevés, qui correspondent à un habitat particulièrement favorable pour certaines espèces de poissons, comme le thon.

(*) Chef du Centre d'Etudes de Météorologie Spatiale — Lannion (France).

(1) Les plans actuels prévoient cinq satellites géostationnaires en couronne circumterrestre et deux ou trois satellites polaires bas.



On accède de la sorte à un renseignement utile pour la pêche ; on ne saurait, naturellement, le manier sans précautions.

Les satellites météo : demain

Dans toutes les disciplines spatiales, le développement est rapide et continu. Mais peut-être la palme revient-elle, à certains égards, à la météorologie spatiale. Cela tient évidemment à l'existence d'un besoin très fort, qui correspond à la meilleure gestion de notre environnement atmosphérique.

Dans une première étape, qui a coïncidé avec la décennie 1960 (le premier satellite météorologique — américain — a été effectivement lancé en 1960), on a cherché à poser les bases de la technique nouvelle : des satellites fournissant une plate-forme stable pour des capteurs d'imagerie superficielle ; des moyens d'acquisition adaptés au sol.

La décennie présente cherche à développer plus avant ces premiers acquis, dans le sens de la radiométrie multi-spectrale, qui se traduit concrètement par une information sur tout ce qui se passe dans « l'épaisseur » de l'atmosphère.

La décennie 1980 marquera, selon toute vraisemblance, le passage à l'emploi généralisé du satellite, en complémentarité des réseaux d'observation au sol.

Des plans sont actuellement établis à cet effet dans le cadre de la Veille Météorologique Mondiale (*). Le mot « veille », équivalant à « surveillance », marque bien la destination d'un tel système.

Il s'agit de saisir, à tout moment, les données de l'atmosphère actuelle pour les injecter dans des modèles prévisionnels de différentes échelles, servis par les plus puissants ordinateurs disponibles.

Le satellite sera, de façon sans doute

prédominante, le pourvoyeur de ces données, soit qu'il les obtienne lui-même par les méthodes plus haut décrites de sondage à distance — ou télésondage —, soit qu'il les collecte à partir de « plate-formes » classiques immergées in situ dans l'atmosphère.

Parmi ces plate-formes, les bouées à vocation météo-océanique joueront un rôle particulièrement important, parce qu'elles permettront d'appréhender les indications d'interface Mer-Atmosphère.

Élargissant sa vocation, le satellite en viendra à la surveillance du climat, en contrôlant les données extérieures (2) qui peuvent modifier son évolution.

Ainsi, le soleil sera l'objet de mesures permanentes en vue d'apprécier les variations de son émission radiative globale (jusqu'ici appelée, improprement sans doute, la « constante solaire »).

Dans le même esprit, le satellite surveillera attentivement les deux « frontières » que sont l'hydrosphère (c'est-à-dire le milieu liquide et, notamment, la masse océanique), et la cryosphère, c'est-à-dire la couverture de neige et glaces de notre globe.

On voit, de la sorte, que loin de se confiner dans sa « spécialité », le satellite météorologique viendra se ranger auprès d'autres systèmes de mesure géophysique, et participera, pour une part croissante, à toute les opérations de télédétection de la surface terrestre.

R. L.

Le satellite pourvoyeur de données du lendemain.

La Scandinavie et la Finlande observées par balayage radiométrique.

(*) En anglais : WWW (World Weather Watch) Instituée par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale).

(2) L'évolution du climat est guidée, d'autre part, par l'autovariation à grande échelle de temps, du système atmosphérique.

Radiométrie et télémesure

Le premier problème technologique qui se pose pour les satellites météorologiques est évidemment celui des « senseurs ». Lorsque l'on cite les « images de l'atmosphère » prises par ces satellites, on ne doit pas entendre une image photographique, au sens classique du terme (encore que les premières séries, comme la série américaine TIROS dans la décennie 1960, aient employé des caméras vidicon de télévision lente).

En fait, il s'agit de radiomètres, à haute sensibilité (détecteurs quantiques), capables d'analyser l'énergie radiative contenue dans un pinceau optique très fin.

Ce pinceau est lui-même capté et focalisé par un télescope, que le satellite anime d'un mouvement de balayage dans deux directions orthogonales, pour couvrir toute la surface terrestre sous-jacente. A partir de ce balayage réalisé rapidement, on compose un signal de télémesure transporté par faisceau radioélectrique jusqu'aux antennes terrestres.

Au sol, un système de réception et traitement assure les opérations symétriques, qui permettent de remonter du signal

à l'image vraie du rayonnement terrestre.

Ce travail s'effectue, de manière parallèle, sur calculateurs et sur visualisateurs. Dans ce dernier domaine, très particulièrement, de gros progrès ont été accomplis récemment, tel le visualisateur à laser VIZIR (15.000 points sur 15.000 lignes en petit format) qui a été développé en France pour les besoins du Centre de Météorologie Spatiale (CMS) de Lannion.

Enfin, le satellite transporte lui-même son information, qu'il peut diffuser en peu de temps sur des zones géographiques étendues. Il joue alors un rôle d'agent de télécommunications spécialisé, d'autant plus précieux que le renseignement météorologique est une denrée rapidement périssable, c'est-à-dire dont l'intérêt diminue très vite avec le temps.

Il y a donc, à partir de ces facteurs, une convergence remarquable en faveur de l'utilisation du satellite en météorologie.

Mais il faut citer aussi ses limites et ses insuffisances. Certaines d'entr'elles tiennent à la géométrie orbitale (satellites bas « défilants » ; satellites hauts « géostationnaires ») ; d'autres proviennent de l'absence de

signature de certains événements météorologiques (ainsi du vent, que l'on ne sait pas mesurer « directement » depuis l'espace)...

De manière générale, la vision du satellite est gênée par l'opacité même de l'atmosphère terrestre, ou bien manque de finesse, par exemple, lorsqu'il s'agit d'apprécier les transferts à l'interface entre la terre et l'atmosphère.

Malgré ses performances remarquables, le satellite doit donc être aidé par des moyens traditionnels, opérant au sein de l'atmosphère. Ces moyens pourront être mis en place sur des plate-formes spécialement conçues à cet effet, capables notamment de converser avec l'engin spatial, de répondre à ses demandes ou de l'alerter si un seuil de danger se trouve atteint. C'est là une fonction, éventuellement moins connue, à laquelle on donne le nom, peut-être insuffisamment évocateur de « collecte de données ».

Surveillance directe et collecte de données constituent, en définitive, les deux missions-clés du satellite météorologique.

Le satellite : un œil électronique

Lorsque nous regardons, depuis le sol, « l'état du ciel », notre champ de vision est étroitement limité (à quelques kilomètres ou à une dizaine de kilomètres, pour fixer les idées), et, de plus, toute une série de facteurs gênants (tels que brume ou précipitations) peuvent intervenir pour réduire ou déformer notre observation.

L'engin spatial bénéficie, par contre, d'un confort visuel à peu près total. Nul écran entre lui et ce qu'il est convenu d'appeler (désagréablement, mais assez justement) la « vase atmosphérique » ; et un champ d'observation prodigieusement élargi, puisque la portée visuelle dépasse 3.000 km dans le cas des satellites bas, tandis que le satellite géostationnaire découvre en permanence une scène égale au quart de la surface terrestre.

Le mot « visuel » apparaît presque instinctivement lorsque l'on parle de la fonction du satellite. Et il est significatif aussi que, par symétrie avec les instruments « capteurs » utilisés pour mesurer les paramètres météorologiques d'ambiance, on cite les instruments « senseurs » installés à bord du véhicule spatial.

C'est qu'en effet le satellite météorologique agit à la manière du système sensoriel

de l'œil humain, qui interprète les rayonnements transmis par les objets. L'œil satellitaire possède, en réalité, à mesure des progrès techniques, des avantages de plus en plus marqués par rapport à l'œil humain.

Sous le rapport de l'acuité visuelle, d'abord. Les satellites géostationnaires américains (SMS/GEOS) distinguent, depuis leur altitude de 36.000 km, une distance inférieure au kilomètre au sol. Le satellite géostationnaire européen (METEOSAT) qui sera lancé courant 77, marque de son côté, des points en matière de résolution infra-rouge, qui pourra aller jusqu'à 5 km.

Mais surtout sous le rapport de l'étendue du registre spectral : bien entendu, le rayonnement visible reste un domaine d'élection pour la radiométrie par satellite.

Mais les gains les plus spectaculaires sont aujourd'hui obtenus dans l'infra-rouge. On sait que le rayonnement infra-rouge « signe » la température du corps émetteur. Dans le cas qui nous occupe, l'émetteur n'est autre que la terre et l'atmosphère, ensemble. En mesurant les radiations du système Terre-Atmosphère dans des petits intervalles spectraux de la gamme infra-rouge, on parvient ainsi à retrouver, par des processus physico-mathématiques

assez inconfortables, le « profil » vertical des températures de l'atmosphère c'est-à-dire la 3^e dimension atmosphérique — en même temps que la température du sol, ou, à tout le moins, la température de la mer.

Une explication complémentaire est ici nécessaire. Pour mesurer le profil vertical de température, on utilise — schématiquement — l'étagement des niveaux d'émergence de différents rayonnements multi-spectraux, que l'on choisit pour ce faire dans une bande d'absorption forte de l'atmosphère. Inversement, pour mesurer la température de surface, il faut « percer » l'écran atmosphérique, et choisir, par conséquent, un rayonnement dans une « fenêtre de transparence », c'est-à-dire une zone spectrale de faible opacité.

L'infra-rouge aujourd'hui, les micro-ondes demain. Les ondes radio ont le défaut de se situer à l'extrême du spectre d'émission du milieu terre-atmosphère ; le niveau du signal est donc très faible. Mais, en revanche, ces mêmes ondes, que l'on peut amplifier notablement à la réception (procédé hétérodyne), ont la vertu de traverser les nuages — ce que ne peuvent faire les ondes infra-rouge — et d'y recueillir, au passage, des renseignements importants.