

I^{ère} partie

L'observation du système climatique depuis l'espace

Robert KANDEL

1. Introduction

Par l'activité scientifique, l'Homme cherche à comprendre son environnement et à se comprendre soi-même. Mais cette possibilité de compréhension accélère le développement des technologies de toute nature, technologies qui tendent à donner à l'Homme la possibilité de maîtriser et non plus de subir l'environnement, ce qui permet de nouvelles avancées de la compréhension scientifique permettant à leur tour de nouveaux développements technologiques. D'où le lien étroit entre développement des sciences et devenir de l'Homme, d'où la notion d'une responsabilité du scientifique quant aux conséquences possibles de ses recherches, de ses découvertes, de la façon dont il conduit ses activités, alors que souvent, ces activités ont d'abord un intérêt ludique pour le scientifique.

L'espace est une aventure technologique, ayant son origine dans le rêve né avec

la révolution scientifique qui faisait de la Terre une planète -donc des planètes des terres- qui faisait du Soleil une étoile, donc des étoiles des soleils. Avec la mécanique newtonienne, on peut concevoir de mettre des hommes -ou des engins fabriqués par les hommes- dans l'espace. Ce rêve devenu réalité certes d'abord grâce aux développements militaires, est partagé par certains scientifiques ; dès 1920, bien avant les V2, Abbot conçoit l'observation du rayonnement solaire à partir de fusées ; avec les premiers satellites américains, le physicien Van Allen découvre les ceintures de particules chargées entourant la Terre. Dès 1960, trois ans seulement après Spoutnik, les américains lancent le premier d'une longue série de satellites météorologiques, TIROS-1 (Television Infra-Red Observational Satellite). L'espace civil est un outil de la science, non seulement pour l'astronomie et l'exploration lunaire et planétaire mais aussi pour l'observation de la Terre ; c'est aussi une affaire commerciale (notamment dans les télécommunications) et de toutes façons un enjeu politique et industriel. Mais si l'on comprend l'utilité de l'espace pour s'approcher de la Lune et des planètes, pour sortir de l'atmosphère afin de mieux observer l'univers lointain, pourquoi observer la Terre depuis l'espace ?

Evidemment il y a l'observation militaire -qui a joué un rôle crucial dans le maintien de la paix pendant la guerre froide- où les plates-formes spatiales permettent justement de ne pas respecter les frontières. Mais en examinant la notion de système climatique nous verrons des justifications civiles.

Les climats peuvent se définir par une description statistique de l'environnement physico-chimique de la vie sur notre planète : nous avons certes une météorologie avec des variations importantes, à premier abord aléatoires, mais ces variations restent généralement à l'intérieur de certaines fourchettes. Le climat correspond à l'aspect "permanent" de la météorologie, ce à quoi on peut s'attendre, évidemment en fonction de la latitude et de la région, avec des variations qui suivent -en moyenne- les cycles astronomiques réguliers de la répétition des saisons et de l'alternance entre jour et nuit. Le climat, les conditions de la vie sur notre planète, dépendent bien sûr de l'environnement cosmique comme Auguste Comte l'a rappelé, et il n'est donc pas si permanent que cela, puisque tout dans l'univers varie et évolue. E. Ribes nous parlera de la recherche difficile d'une influence solaire, A. Berger de ce que l'on sait sur le rôle d'autres variations astronomiques souvent connus sous le nom de cycles de Milankovitch. Mais le climat dépend aussi de facteurs terrestres, de l'atmosphère, des océans, glaces, et sols, modelés et modifiés par l'existence et

de l'évolution de la vie sur la Terre (seul astre où ce phénomène est observé), modifié depuis quelques millénaires par l'agriculture et l'élevage, depuis un ou deux siècles par les activités industrielles de l'Homme.

Le ou les climats ? Il y a beaucoup de climats, mais un système climatique. Pour l'énergie, il est ouvert : il fonctionne en absorbant une partie (70%) du rayonnement solaire incident sur la planète, c'est-à-dire en la transformant en chaleur: en redistribuant cette chaleur géographiquement ; et en l'évacuant sous forme dégradée de rayonnement thermique infrarouge vers l'espace. L'observation directe de ces échanges d'énergie entre le système climatique et son environnement cosmique ne peut se faire que depuis l'espace. Pour l'eau, le système climatique est essentiellement fermé ; et l'absorption et les redistributions de l'énergie d'origine solaire sont intimement liées au cycle de l'eau. Comprendre comment ce système climatique fonctionne nécessite une couverture globale et continue, car de manière générale il y a déséquilibre à l'échelle locale instantanée. L'outil spatial permet d'observer toute la Terre et non seulement les territoires des pays avancés, de l'observer avec une couverture uniforme, permanente s'il le faut, d'observer d'en dehors de l'atmosphère les flux de rayonnement et de matière qui baignent notre planète. Grâce aux leçons de l'observation spatiale, et à la progression formidable de nos moyens de calcul, on peut se risquer à des prévisions du temps à une semaine d'échéance, à raisonner sur les changements climatiques des prochaines décennies.

2. Les systèmes d'observation spatiale.

Dans un système d'observation spatiale, le satellite, c'est la plate-forme des instruments d'observation, donc leur support, avec les systèmes permettant leur pointage, leurs sources de puissance électrique, des moyens de traitement et de mémorisation à bord, des antennes pour la réception des télécommandes et la transmission des données au sol. Les paramètres de son orbite déterminent où et quand on peut observer. Le système comprend en outre les installations d'étalonnage au sol des instruments, de réception et du traitement des données au sol. Le satellite peut non seulement observer, il peut aussi collecter et retransmettre vers des centres de traitement au sol, des données obtenues par des stations de mesure (généralement automatiques) au sol, en mer, dans les airs.

Comme la Lune, un satellite artificiel obéit aux lois de la mécanique céleste, avec la différence que d'une part sa trajectoire peut être modifiée par l'action de petites fusées prévues pour cela, d'autre part, surtout en orbite basse, il subit une force de traînée atmosphérique qui peut entraîner à terme la chute du satellite.

Pour observer la Terre, on utilise surtout des satellites en orbite circulaire soit entre 500 et 1300 km d'altitude, soit à 35.700 km. A cette dernière altitude (42.100 km du centre de la Terre), la période de l'orbite circulaire est égale à celle de la rotation de la Terre. Cette orbite géosynchrone est géostationnaire si le plan de l'orbite est celui de l'équateur de la Terre, le satellite reste alors fixe au-dessus d'un point de l'équateur. Chaque satellite de ce type couvre en permanence plus du quart de la Terre.

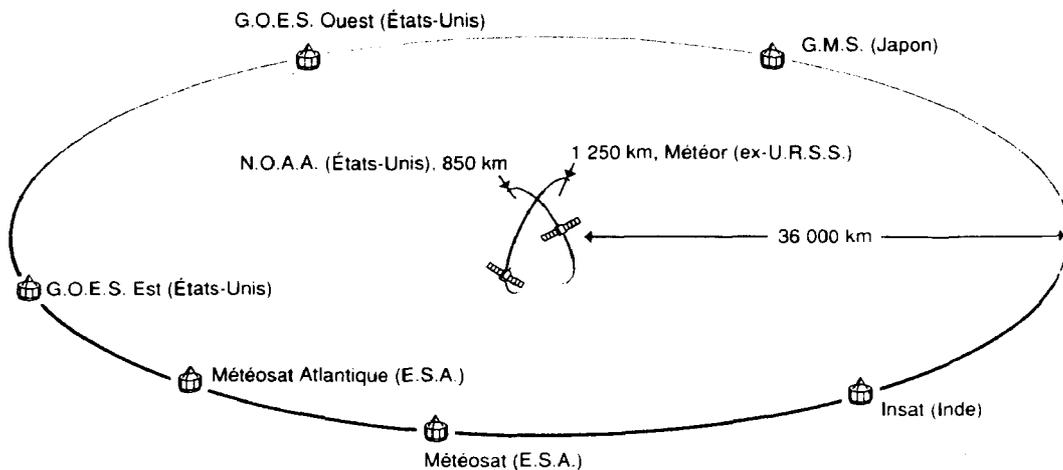
En orbite basse, l'étendue observable se limite à un millier de kilomètres de part et d'autre de la trajectoire du satellite. On utilise souvent les orbites très inclinées ("polaires") : le satellite passe près des pôles, la Terre tourne sous l'orbite (une seizième de tour au cours d'une orbite de période 90 minutes), le satellite observe toute la Terre deux fois en 24 heures. On utilise aussi les orbites à inclinaison intermédiaire (entre 20 et 60 ne permettant pas d'observer les latitudes élevées mais donnant une meilleure couverture des zones tropicales.

3. Observer l'atmosphère de la terre

Aujourd'hui, la surveillance de l'atmosphère est assurée par quelques dizaines de satellites - américains, russes, européens, japonais, chinois, indiens - placés soit en orbite polaire, soit en orbite géostationnaire. Ces satellites portent des instruments sensibles à la fois aux rayonnements solaires (visible, proche infrarouge) et thermiques (infrarouge, micro-ondes), respectivement réfléchis et émis par la Terre, l'atmosphère et les nuages. On obtient des images de la Terre dans différentes bandes de longueur d'onde dont on peut étudier la structure spatiale et l'évolution. Une analyse beaucoup plus fine du spectre de ces rayonnements peut aussi être effectuée.

Les instruments «imageurs» utilisent des lentilles ou des miroirs pour focaliser le rayonnement sur des surfaces sensibles qui produisent un courant électrique en

fonction du flux reçu, séparant ainsi les différentes bandes du spectre au moyen de filtres ou de détecteurs à sensibilité sélective. Mais les images dans le visible ou le proche infrarouge ne sont utilisables que le jour. Pour observer de nuit comme de jour, il faut se servir des bandes situées dans la «fenêtre» atmosphérique infrarouge entre 8 et 13 micromètres (μm) de longueur d'onde. Comme l'intensité dépend de la température, en surface ou au sommet de la couche nuageuse, et que la température de l'air diminue avec l'altitude, les sommets des nuages élevés et moyens apparaissent moins brillants dans l'infrarouge que la surface, plus chaude.



Deux familles de satellites météorologiques.

Les différents satellites météorologiques se regroupent en deux systèmes complémentaires : les satellites géostationnaires et les satellites en orbite basse circulaire passant par les pôles, encore appelés satellites de défilement.

Les satellites géostationnaires évoluent sur une orbite située à 36.000 km d'altitude au-dessus de l'équateur. Possédant la même rotation que la Terre ils restent donc fixes par rapport à un point terrestre donné ; ils peuvent ainsi fournir à tout instant des images d'une même et unique région. Couvrant environ 140° de longitude jusqu'à 70° de latitude nord et sud. En couronne autour de la Terre, ces satellites permettent une couverture météorologique continue des grandes parties du monde : l'Europe, l'Afrique et l'Atlantique par les Météosat européens ; les Amériques et la Pacifique est par le G.O.E.S Est et G.O.E.S Ouest américains ; l'Extrême-Orient, la Pacifique ouest et l'Océanie par le G.M.S japonais, et l'océan Indien et la partie centrale et occidentale de l'Asie par l'Insat indien.

Les satellites à défilement tournent autour de la Terre, sur des orbites fortement inclinées (donc passant près des pôles) à des altitudes assez basses (de 500 à 1.300 km). La période orbitale correspondante étant de l'ordre de 90 minutes et la Terre tournant d'environ 15° sous l'orbite pendant ce temps, le satellite finit par couvrir tout le globe terrestre, observant chaque région au moins deux fois par 24 heures et jusqu'à quatorze fois les régions polaires qui échappent aux satellites géostationnaires.

R. KANDEL

Les satellites météorologiques géostationnaires (par exemple le satellite européen Météosat) fournissent des images toutes les demi-heures. On peut alors déterminer la direction et la force du vent à partir des déplacements des nuages, suivre l'évolution des cyclones tropicaux (ouragans, typhons) ou le développement d'orages violents sur les continents. Cinq satellites géostationnaires assurent ainsi une couverture complète en longitude. L'Europe, les Etats-Unis, le Japon contribuent efficacement à ce système, mais la position de 75 degrés est au-dessus de l'Asie reste mal utilisée car le satellite indien Insat, destiné principalement aux télécommunications, ne fournit que peu de données.

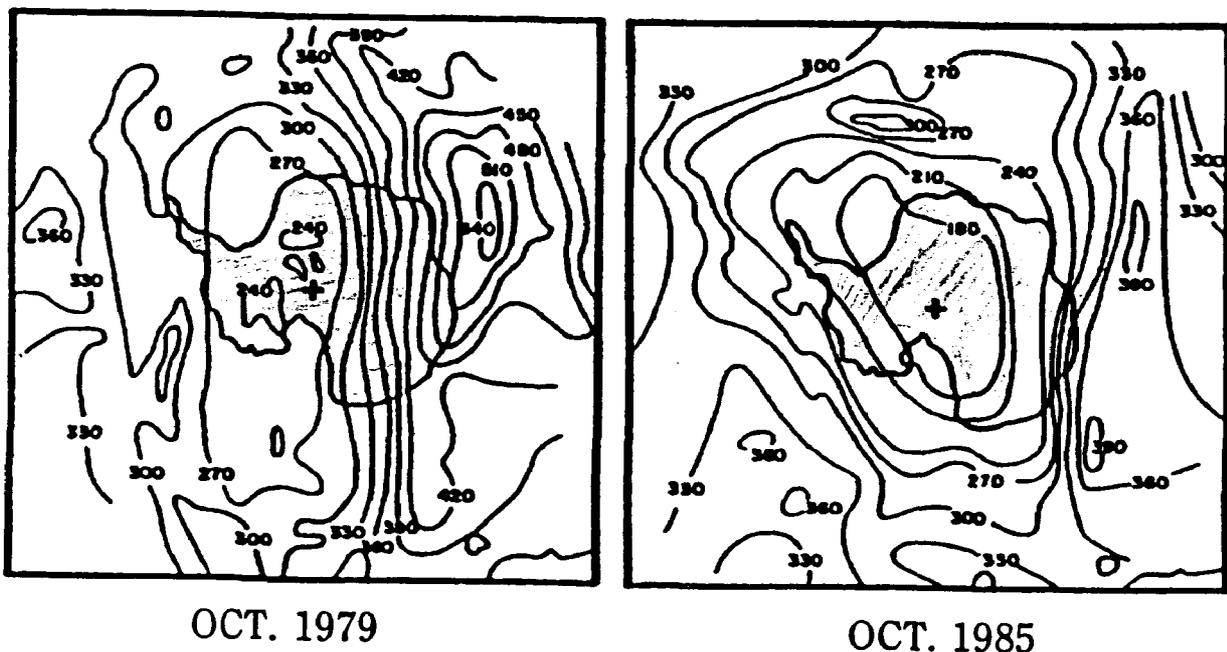
Les satellites polaires, évoluant généralement à moins de 1 300 kilomètres d'altitude, permettent une résolution spatiale assez fine (de l'ordre du kilomètre) avec des instruments de taille modeste. En plus de leurs imageurs, ces satellites portent des «sondeurs», efficaces dans des bandes très étroites du rayonnement thermique - bandes absorbées notamment par la vapeur d'eau, par le dioxyde de carbone et par l'ozone atmosphériques. Ces données n'étant complètes que par ciel clair, on utilise différentes bandes du rayonnement thermique dans le domaine des micro-ondes (de 0,1 à 100 cm de longueur d'onde) pour «voir» à travers les nuages. L'analyse de l'ensemble des données fournit deux fois par jour les champs de température et d'humidité en fonction de l'altitude sur toute la planète. La prévision numérique du temps exige la connaissance de ces champs à l'échelle globale.

D'autres informations importantes sont extraites des images satellitaires. On utilise celles qui sont en infrarouge pour estimer la température de la surface de la mer, et les images du visible avec les données des micro-ondes permettent de suivre les limites de la banquise et les icebergs de grande surface. On surveille aussi le développement de la végétation en comparant les images dans le visible (0,5-0,7 μm), car la végétation en pleine croissance possède une forte réflectivité dans le proche infrarouge.

Le flux de rayonnement solaire - ce que l'on appelle la «constante» solaire - a été mesuré avec une précision de plus en plus grande par différents instruments portés par des satellites américains; ici, le problème essentiel réside dans l'étalonnage absolu afin de s'assurer que tout changement du signal transmis par le satellite provient réellement du Soleil et non de l'instrument qui varie, et que les 1 368 watts par mètre carré mesurés dans l'espace obéissent à la même échelle qu'en laboratoire

au sol. On affronte les mêmes difficultés lorsqu'on cherche à déterminer le bilan radiatif, c'est-à-dire à établir les cartes du flux solaire réfléchi et du flux thermique émis par la Terre.

Pour tracer la carte de l'ozone, on utilise l'instrument T.O.M.S. (total ozone mapping spectrometer) de la N.A.S.A., embarqué sur le satellite Nimbus-7 depuis 1978 et sur un satellite Météor-3 de l'Hydrométéorologie russe depuis août 1991. Il compare le rayonnement proche ultraviolet solaire réfléchi dans une bande où l'ozone absorbe et dans une autre où il n'absorbe pas. L'analyse des données T.O.M.S. montre que le «trou» de l'ozone, découvert en 1985 à partir de données obtenues au sol, avait en fait commencé à se creuser au printemps austral dès 1980, et se maintient depuis lors, voire s'aggrave.



Répartition géographique de l'OZONE
 au-dessus de l'Antarctique en octobre :

données TOMS du satellite Nimbus-7, exprimées en unités Dobson (centièmes de millimètre d'ozone). Alors qu'il y avait partout au moins 240 Dobson en octobre 1979, le minimum du "trou" est descendu en dessous de 180 Dobson sur une grande partie de l'Antarctique en octobre 1985, et ce phénomène se renforce à chaque printemps austral.

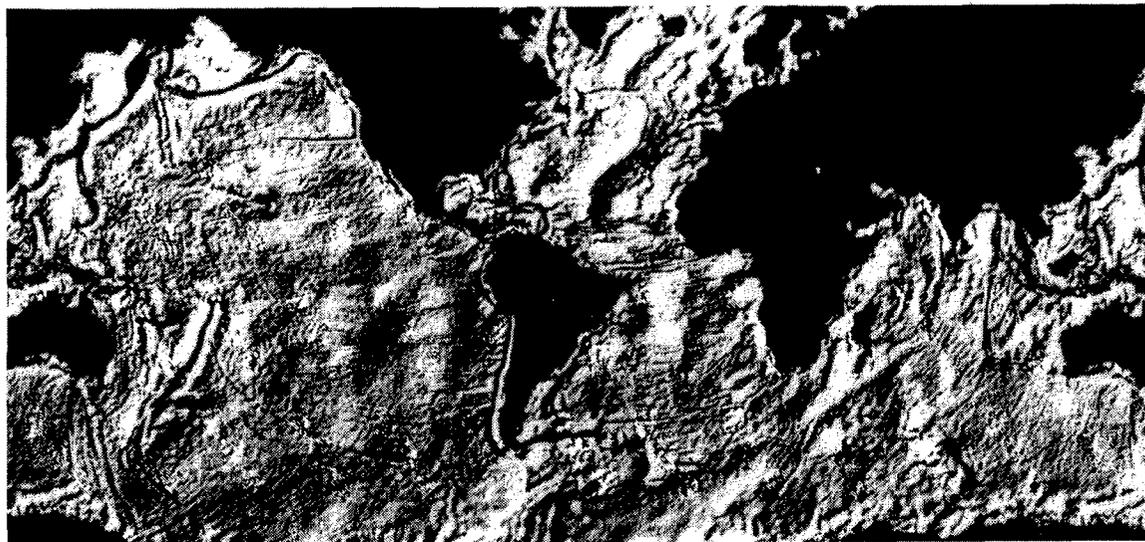
Cependant, pour mieux comprendre les processus qui régissent la formation et la destruction de l'ozone, il faut étudier de nombreuses autres espèces moléculaires: oxydes d'azote, d'hydrogène, de chlore, etc... On observe les raies et les bandes spectrales caractéristiques des différentes espèces, soit dans le rayonnement visible et proche infrarouge, soit dans l'infrarouge thermique émis par la Terre et son atmosphère. L'observation au limbe de la Terre dans le spectre du Soleil couchant ou levant filtré par les couches de la stratosphère permet de distinguer ce qui se passe à différentes altitudes. C'est ce que fait S.A.G.E. (stratospheric aerosol gas experiment) à bord du satellite E.R.B.S. (Earth Radiation Budget Satellite) de la N.A.S.A. En observant sur le disque, qu'il s'agisse du rayonnement solaire réfléchi ou du rayonnement infrarouge émis, on obtient des valeurs intégrées en altitude pour toute la Terre. Ces différents types d'instruments fonctionnent sur le satellite U.A.R.S. (Upper Atmosphere Research Satellite) lancé par la N.A.S.A. en 1991.

4. Observer les océans

Prévoir le temps à plus d'un jour d'échéance, comprendre le climat et prévoir ses fluctuations, évaluer le risque d'un changement climatique..., ces recherches exigent l'observation des océans et non plus seulement celle de l'atmosphère. Avec les données de la fenêtre infrarouge des imageurs et des sondeurs, complétées par celles des micro-ondes, on mesure la température de surface de la mer. Elle constitue un facteur important pour évaluer les flux d'énergie et de vapeur d'eau entre l'océan et l'atmosphère, et demeure l'élément clé des événements E.N.S.O. (El Nino Southern Oscillation) qui affectent tout le bassin du Pacifique lorsque le courant El Nino réchauffe de quelques degrés la mer au large du Pérou. On soupçonne d'ailleurs les migrations et les variations des tourbillons d'eaux chaude et froide de l'Atlantique nord d'avoir une influence sur le temps en Europe.

La mer héberge de nombreuses espèces vivantes, qui dépendent presque toutes d'une chaîne alimentaire commençant avec la lumière du Soleil. La photosynthèse du phytoplancton convertit du gaz carbonique (CO_2) atmosphérique en carbone organique dont se nourrit le zooplancton, une partie de ce carbone se déposant ensuite sur le fond sous forme de matière fécale ou de squelettes (carbonates de calcium) de zooplancton. Or la chlorophylle, qui fait fonctionner cette pompe biologique de

CO₂, réfléchit fortement certaines longueurs d'onde : c'est ce qui modifie la couleur de la mer. A partir de ces différences de couleur, on déduit la distribution de la chlorophylle marine ainsi que ses variations dans le temps selon la température de la mer, l'ensoleillement, la disponibilité en nutriments...



Topographie moyenne du niveau de la mer
*(échelles inférieures à 2000 km), selon les données d'altimétrie radar
des satellites Seasat et Geosat-3 (document J.G. Marsh, NASA/GSFC)*

En plus des méthodes passives d'observation qui utilisent le rayonnement naturel, les méthodes actives (radars : radio detection and ranging), qui émettent le rayonnement qu'ils détectent après réflexion jouent depuis quelques années un rôle de plus en plus important pour l'observation des océans. Le retard mesuré entre l'émission de l'impulsion radar et la détection du signal de retour fournit la distance de la surface réfléchissante en fonction de l'altitude du satellite au-dessus de la surface de la mer. Déterminant par ailleurs avec précision l'orbite (par visées lasers sur des rétroreflecteurs montés sur le satellite), on mesure à quelques centimètres près les écarts de la surface de la mer par rapport au géoïde, c'est-à-dire la forme que prendrait la surface de la mer s'il n'y avait ni marées ni courants. On détermine ainsi les dénivelés associés aux grands courants marins (de 1 à 2 m pour le Gulf Stream) ainsi que leur variabilité (quelques dizaines de centimètres). Après la mission importante, quoique très courte, de Seasat (N.O.A.A./N.A.S.A.), des données de ce

type ont été fournies par Geosat (de la marine américaine) et depuis peu par le satellite européen E.R.S.-1 (Earth Remote Sensing Satellite). Le radar-altimètre fournit également des informations précieuses sur la topographie des calottes glaciaires au Groënland et en Antarctique.

Le «diffusiomètre» utilise un radar pour estimer le vent à la surface de la mer à partir de l'intensité du signal réfléchi. Celle-ci dépend de la hauteur des vagues, qui est elle-même fonction de la force du vent - la surface de la mer agissant plutôt comme un diffuseur que comme un miroir plan. La force de ces vents de surface, qui animent les grands courants marins, est mal estimée à partir des déplacements de nuages, et les îles perturbent les mesures in situ. Quant aux navires, ils ne fournissent des données que sur les voies maritimes bien fréquentées.

Le domaine des micro-ondes souffre d'une mauvaise résolution spatiale : les longueurs d'onde sont grandes, la taille des antennes utilisables dans l'espace est limitée. Avec les radars à synthèse d'ouverture (S.A.R. : synthetic aperture radar), on contourne cette difficulté en combinant des signaux émis et reçus à des instants successifs de l'orbite du satellite, puis on synthétise par calcul le signal qui serait obtenu par une antenne beaucoup plus grande. En plus du S.A.R. qui a d'abord fonctionné sur Seasat et de ceux qui ont été emportés pour des voyages courts sur les navettes spatiales américaines, les S.A.R. sur Almaz (russe) et sur E.R.S.-1 renvoient des données concernant des détails de la surface océanique et des glaces flottantes. Un autre type d'applications des S.A.R. concerne l'étude de l'humidité des sols et plus généralement des surfaces continentales par tout temps.

5. Les grands projets de l'an 2000

Pour l'avenir, il faut bien sûr maintenir les systèmes qui existent, mais également les améliorer à plusieurs niveaux : multiplier les bandes de travail des imageurs afin de pouvoir mieux distinguer les différents types de nuages, les aérosols et la végétation ; affiner les canaux de sondage dans l'infrarouge et surtout dans les micro-ondes pour une meilleure mesure de la répartition de l'eau dans l'atmosphère, sous ses formes gazeuse, liquide et solide. Les mesures du bilan radiatif de la Terre doivent se poursuivre avec les instruments ScaRaB (scanner radiationsnogo balansa: France-Russie-Allemagne, premier lancement sur un Météor-3 russe en décembre 1993) et C.E.R.E.S. (Clouds and the Earth's radiant energy system : N.A.S.A.),

lancements prévus à partir de 1997). De son côté, le Japon poursuit les mesures de la couleur de la mer afin de suivre la biomasse marine. Dans le même temps, on escompte d'importants progrès concernant les performances des instruments de recherche, en particulier celles des instruments actifs. La mission franco-américaine Topex-Poséidon (1992) emporte de nouveaux radars pour l'étude de la circulation océanique et de ses variations aussi bien régulière (marées) qu'irrégulières (événements E.N.S.O....) Avec T.R.M.M. (Tropical Rainfall Measuring Mission), le Japon et les Etats-Unis mettront en orbite un radar pour déterminer directement la répartition des pluies en zone tropicale, notamment sur les océans où les mesures sont insuffisantes.

La grande nouveauté des années 2000 devrait être la «spatialisation» des lidars. Le lidar (light detection and ranging) est la transposition au domaine optique de la méthode radar : un laser émet des impulsions de lumière dans une bande très étroite de longueur d'onde, dans un faisceau extrêmement fin. Les signaux renvoyés - réflexions des impulsions lumineuses - sont recueillis au foyer d'un télescope, puis détectés, amplifiés et analysés. En fonction du retard du signal et de la distribution de son intensité, on en déduit la distance des réflecteurs ainsi que leur distribution. Si les réflecteurs sont les molécules atmosphériques (N_2 , O_2), on en déduit la variation de la densité et de la température avec l'altitude. Ils peuvent être des aérosols d'origine volcanique dans la stratosphère, des cirrus ou des aérosols de basse altitude révélant l'intensité des échanges turbulents entre sol (ou mer) et atmosphère.

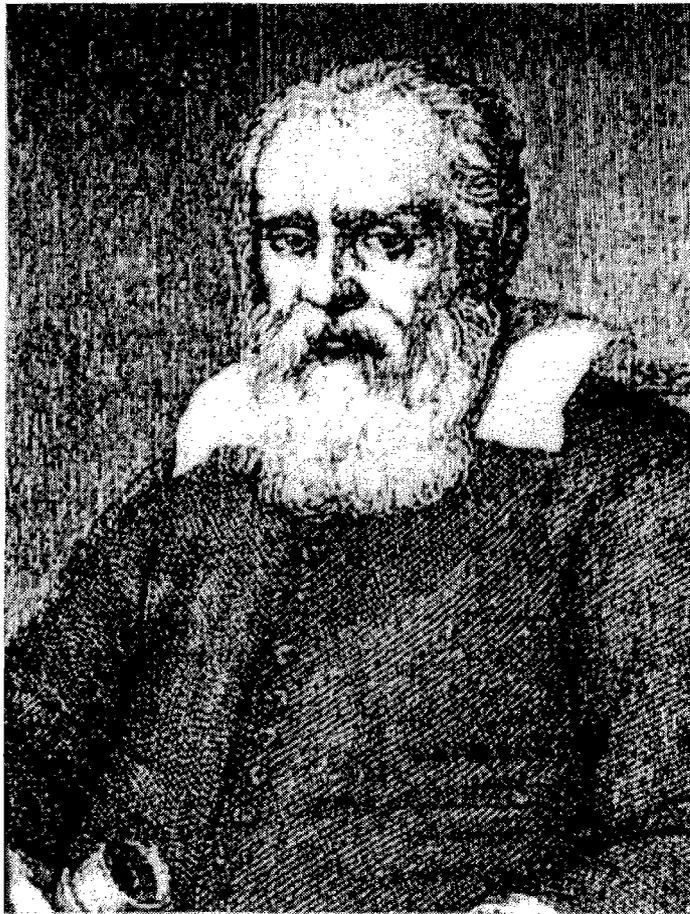
Des lidars fonctionnent déjà dans de nombreuses stations au sol et à bord d'avions de recherche ; le premier lidar spatial pour l'observation de l'atmosphère sera peut-être le système franco-russe Alissa qui doit être embarqué sur la station spatiale Mir. Plus ambitieux encore sont les projets d'utilisation d'un lidar spatial pour mesurer le vent (projet L.A.W.S. (laser atmospheric wind sounder) de la N.A.S.A. auquel coopère la France) : la longueur d'onde du signal réfléchi par les aérosols atmosphériques se décale selon l'effet Doppler-Fizeau, donc selon les vitesses du vent et du satellite, et selon les angles de visée. Avec deux visées du même point, il est possible de démêler les variables et d'estimer le vent là où il n'y a pas de nuages à suivre.

Ces développements vont de pair avec celui du système international d'observation de la Terre (E.O.S., Earth Observing System). On attend beaucoup de

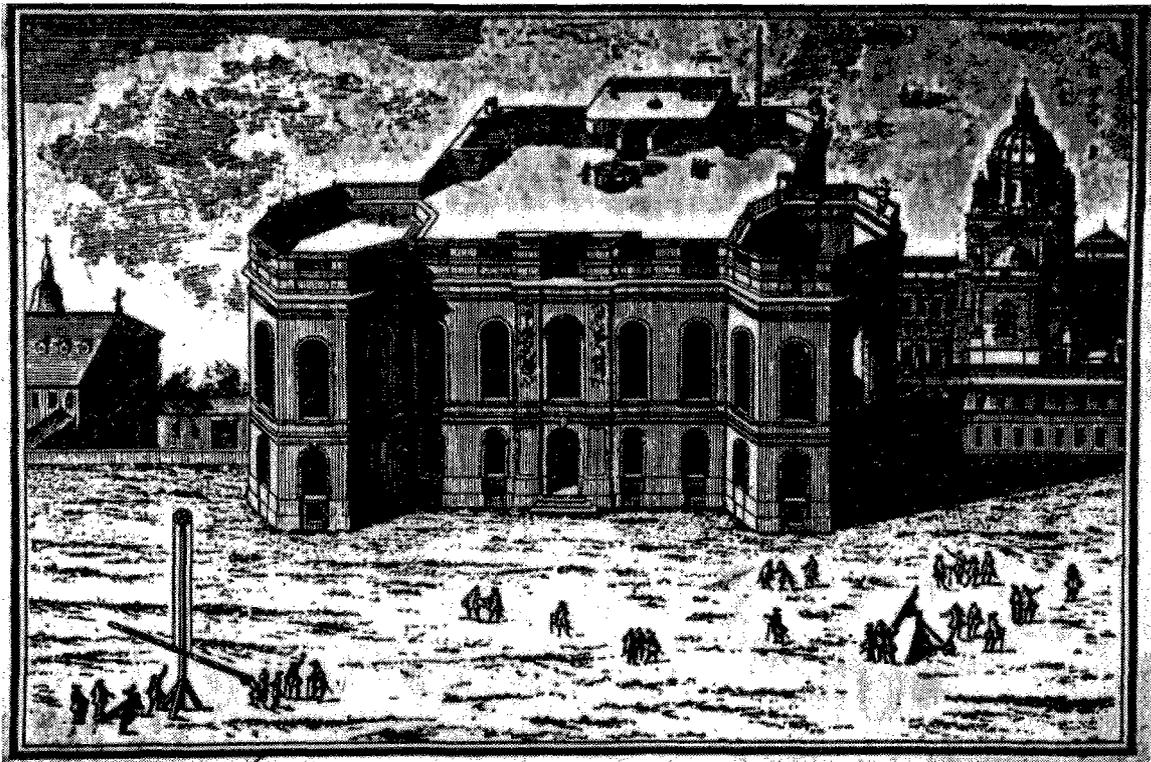
la «synergie» des différentes mesures obtenues simultanément à bord des plates-formes polaires : caractérisation très détaillée de la nébulosité accompagnant la mesure précise du bilan radiatif et celle de la répartition de température et de la vapeur d'eau. Placer toutes sortes d'instruments sur la même plate-forme pose cependant des problèmes d'interférences et de vulnérabilité aux retards. On risque alors de tout perdre en cas d'accident. Pour ces raisons comme pour des raisons budgétaires, la N.A.S.A. a décidé à la fin de 1991 d'abandonner ses très grandes plates-formes en faveur de satellites plus modestes. L'Agence Spatiale Européenne prévoit deux séries de plate-formes de taille moyenne, la première (ENVISAT) devant être lancée en 1997, la deuxième (METOP, pour la météorologie opérationnelle) à partir de 2000. EOS ne sera complet qu'après l'an 2000, il va de toute façon évoluer.

Et les vols habités ? Sans vouloir méconnaître le courage et l'habileté technique des astronautes, le talent des scientifiques qui ont investi leur temps et leur énergie à faire voler des instruments sur la navette spatiale américaine ou sur la station spatiale soviétique Mir, ces vols semblent peu apporter à nos connaissances. Leur surcoût (en argent, en ressources humaines) en fait une mauvaise affaire pour l'observation de la Terre, qui exige surtout de la durée : un vol de la navette fournissant au mieux une semaine de données coûte autant qu'un satellite avancé (comme U.A.R.S. avec lequel on peut espérer plusieurs années d'observation. En lançant des satellites-observatoires de plus en plus élaborés qui recueillent en permanence des données concernant notre planète, en transmettant ces données au sol où des milliers de chercheurs et de techniciens peuvent les explorer en détail avec les outils de l'informatique moderne, l'Homme a mis mieux que ses bras, il a mis son intelligence dans l'espace.

Robert KANDEL
Laboratoire de Météorologie Dynamique
CNRS - Palaiseau



Portrait de Galilée



Dessin de l'Observatoire Royal

"On peut dire que l'Astronomie a pour objet ce qu'il y a de plus grand dans l'Univers ; aussi a-t-elle eu toujours l'avantage de trouver accès auprès des plus grands monarques ; et Sa Majesté a bien voulu faire voir le soin particulier qu'elle prend pour l'avancement de cette noble science en faisant bâtir un observatoire qui, parmi les Arcs de triomphe et les trophées, demeurera comme une marque éternelle du règne heureux de Louis le Grand".

Picard (1671)