

EXTRAITS DU RAPPORT DE LA DEUXIEME SESSION DU GROUPE D'EXPERTS  
DES SATELLITES ARTIFICIELS

"TIROS I et II

TIROS I, le premier satellite d'observation des nuages muni d'un dispositif de télévision, qui a été lancé le 1er Avril 1960, a pris environ 23.000 photographies de la surface terrestre au cours des 78 jours de sa "vie utile"; 60% de ces images sont des photographies de nuages, de bonne qualité, utiles pour l'analyse, la prévision et la recherche météorologiques. Ces photographies ont presque immédiatement révélé deux phénomènes importants: des formations nuageuses circulaires dont le diamètre peut atteindre 1500 km et de vastes zones couvertes de cellules nuageuses en forme de croissant ou de collette, d'un diamètre de 50 à 80 km. De nombreux nuages circulaires ont une structure en bandes bien définie et sont associés à des perturbations cycloniques. Il n'y a pas deux systèmes de nuages cycloniques absolument identiques. Les nuages cellulaires moins étendus sont apparemment d'origine convective; ils sont trop grands pour pouvoir être vus en entier par l'oeil humain et trop petits pour être identifiés sur les cartes météorologiques classiques. Les cellules convectives révélées par ces nuages de 50 à 80 km de diamètre jouent probablement un rôle important dans le transfert de la chaleur, de la vapeur d'eau et de l'énergie cinétique de la surface terrestre vers les couches inférieures de l'atmosphère.

TIROS I a également fourni d'autres renseignements intéressants: les nuages en bandes spirales d'un cyclone tropical au Nord de la Nouvelle-Zélande, de minces bandes de Cirrus associées au courant-jet au-dessus du Sud des Andes, des nuages à double tourbillon dans des perturbations cycloniques qui ne possèdent apparemment qu'un seul centre de basse pression, des "rues" de Cumulus dans les tropiques, un ruban nuageux, long et mince, d'une largeur de 8 km environ et d'une longueur de plusieurs centaines de km à l'Est de la Floride (probablement la traînée de condensation d'un avion) et le phénomène inverse, près de Madagascar, une longue et mince bande sans nuages au milieu d'un ciel par ailleurs couvert d'une couche continue de nuages, le dessin irrégulier de glaces en mer dans le golfe du St. Laurent, des champs de neige dans l'Himalaya et dans les Alpes. Grâce à une série de photographies prises pendant 5 passages au-dessus de la partie Sud de l'Océan Indien vers la fin du mois d'Avril 1960, il a été possible de construire pour cette zone, une carte synoptique des nuages qui comprend 4 principaux centres cycloniques. Cette situation a été décrite dans un additif à notre précédent rapport. Par la suite, une de ces perturbations s'est déplacée vers l'Australie du Sud, provoquant une période prolongée de précipitations.

Le satellite météorologique TIROS II, qui contient deux caméras de télévision et la série d'instruments de mesure du rayonnement décrits ci-dessous, a été placé sur son orbite le 23 Novembre 1960. A la date du 15 Janvier 1961, il avait pris 12.571 images avec un objectif de courte focale et 894 images avec un objectif de longue focale. Les photos à grand champ ne sont pas aussi claires que celles prises par TIROS I, mais sont cependant très utiles. Quant aux photos à champ réduit, elles sont excellentes.

TIROS II a également recueilli des données sur le rayonnement pendant plus de 400 révolutions. Il contient un radiomètre comportant un groupe de 5 éléments sensibles dont l'axe optique a une inclinaison de  $45^\circ$  par rapport à l'axe de rotation du satellite. Chaque élément sensible a un champ de vision de 5 degrés, embrassant une zone d'environ  $50 \times 50$  km. La rotation et le mouvement de TIROS sur son orbite déterminent le mouvement d'exploration des instruments. Ceux-ci sont sensibles aux bandes suivantes du spectre:

1) 6 à 6,5 microns. Pour mesurer la température moyenne de la couche supérieure de l'atmosphère qui contient environ 0,3mm d'eau précipitable;

2) 8 à 12 microns. Pour mesurer la température approximative de la surface terrestre ou du sommet du nuage le plus élevé ayant une épaisseur appréciable;

3) 0,2 à 6 microns. Permet de mesurer l'énergie du rayonnement solaire réfléchi;

4) 8 à 30 microns. Permet de mesurer l'énergie du rayonnement terrestre;

5) 0,55 à 0,75 microns. C'est la région de sensibilité maximale de la caméra de télévision.

Une petite partie des données a été dépouillée. Des échantillons prélevés dans la "fenêtre" de vapeur d'eau atmosphérique, entre 8 et 12 microns, au-dessus des Etats-Unis, révèlent des températures apparentes de corps noir comprises entre 210 et 250° K au-dessus des zones nuageuses et d'environ 280° K au-dessus des régions sans nuages.

La bande de 6 à 6,5 microns montre une température apparente de corps noir comprise entre 220 et 250° K, enregistrée également au-dessus des Etats-Unis le jour du lancement de TIROS II. Le même jour, on a dépouillé les données provenant d'une région située entre l'Australie et la Nouvelle-Zélande. La carte ainsi obtenue indique le schéma des données de rayonnement qui résulte des mesures effectuées dans la bande de 8 à 12 microns. Des températures basses de 240° K semblent indiquer la présence de nuages élevés. Les températures maximales supérieures à 280° K, relevées au Nord de la Nouvelle-Zélande, sont un peu inférieures aux températures maritimes de cette région.

Un second radiomètre de TIROS II, à résolution beaucoup plus faible, donne des renseignements sur le bilan thermique au-dessus d'une région comprise dans le champ de vision de la caméra de télévision à objectif grand-angulaire. Deux thermistors, un noir et un blanc, installés dans le nez d'un cône ayant un coefficient de réflexion élevé, servent de détecteurs. Les mesures du détecteur noir sont comprises dans la gamme des valeurs prévues. Par contre, le détecteur blanc semble agir comme un élément gris moyen, les différences de température entre les deux thermistors étant plus faibles que prévues. Les zones nuageuses et les zones d'atmosphère claire déduites des cartes en surface semblent concorder avec les données recueillies grâce au radiomètre.

### EXPLORER VII

EXPLORER VII a été lancé le 13 Octobre 1959 et continue à transmettre des renseignements. Il est muni de deux éléments sensibles destinés à absorber respectivement le rayonnement solaire et le rayonnement terrestre. En principe, on peut calculer, d'après les températures mesurées à distance par ces instruments, le rayonnement solaire réfléchi et le rayonnement terrestre d'une région de la terre ayant un diamètre de 800 à 1600 km. Nous avons pu prendre connaissance des résultats de certains calculs. Il s'agissait notamment de cartes synoptiques de la température radiative effective d'une vaste région de l'Amérique du Nord qui indiquaient une relation nette entre cet élément et les systèmes de haute et de basse pressions figurant sur les cartes météorologiques; les estimations préliminaires de la variation en latitude du rayonnement terrestre pendant des périodes d'une semaine en Décembre et en Avril étaient plutôt plus élevées que les valeurs admises précédemment.

On prévoit que les données recueillies par EXPLORER VII pourront être obtenues par tous les intéressés, éventuellement sur bande magnétique. Ces données comprendront probablement les températures mesurées par les éléments sensibles, ainsi que tous les autres renseignements nécessaires au calcul des valeurs du rayonnement.

### Obtention des données

Les images de nuages transmises par les satellites TIROS et captées par les stations d'écoute ont été projetées sur un écran de télévision et simultanément enregistrées sur bande magnétique. Une caméra de 35 mm photographiait l'écran de télévision en produisant un négatif noir et blanc de chaque image télévisée. Ce cliché type, dont des copies peuvent être tirées pour distribution et analyse, sera conservé en permanence au National Weather Records Center (NWRC) du Weather Bureau, Asheville, North Carolina, U.S.A.

On prépare actuellement un catalogue qui contiendra une carte des trajectoires pour chaque séquence d'images, ainsi que des renseignements chiffrés sur le numéro d'ordre de l'orbite, la date, l'heure du début de la séquence et quelques remarques brèves sur les points de repère et caractéristiques nuageuses visibles. Ce catalogue sera publié dans la série Key to Meteorological Records Documentation du Weather Bureau des Etats-Unis et pourra ensuite être obtenu par tous les intéressés qui devront s'adresser au: United States Superintendent of Documents, Washington 25, D.C. (U.S.A.).

### Exploitation

#### Utilisations des données de TIROS I et de TIROS II pour l'analyse et la prévision courantes.

Les satellites TIROS ont été placés sur leur orbite principalement à des fins de recherches. Ils offrent un moyen absolument nouveau d'observer la distribution des nuages. De nombreuses photographies de TIROS I ont révélé des formations nuageuses qui étaient manifestement associées à une circulation cyclonique, tandis que d'autres montraient des bandes de nuages manifestement associées à des fronts. Les photographies de TIROS II, bien qu'elles aient été prises avec un objectif grand-angulaire qui n'était pas parfaitement mis au point, ont également révélé des formations nuageuses pouvant, dans de nombreux cas, être associées à des caractéristiques synoptiques.

Le Meteorological Satellite Laboratory des Etats-Unis a publié quelques exposés en langage clair fondés sur des photographies de TIROS I. Grâce à l'expérience acquise avec TIROS I, des nephanalyses ont été préparées pour 371 des 576 orbites du programme de TIROS II entre le 23 Novembre 1960 et le 2 Février 1961. Ces nephanalyses indiquent les limites des images du satellite et celles des zones nuageuses. Des indications en langage clair ont également été données sur certaines caractéristiques telles que les tourbillons, les bandes spirales, etc. ainsi que sur la nature des zones nuageuses.

Les nephanalyses ont été transmises par fac-similé ou sous forme chiffrée, par circuit télétype, environ six heures après le passage du satellite".

o  
o o

Depuis la présentation de ce rapport, TIROS III a été placé sur son orbite au début de Juillet 1961. A partir du 19 Juillet, le Weather Bureau a diffusé sur les grandes liaisons télétypes internationales, des messages donnant la trajectoire

prévue du satellite dans les 2 à 5 jours à venir ainsi que des "NEPH ANALYSES" donnant, en code, la quantité des nuages observés, le type des nuages, leur description dans un ou plusieurs carrés de 1 degré.

Ces messages couvrent des bandes de 1000 km de largeur comprises entre 50° Nord et 50° Sud; ils sont transmis 7 à 8 fois par jour et concernent la situation observée 8 à 12 heures avant l'heure de diffusion.

La partie utile de ces messages est notamment reçue, déchiffrée et exploitée par le Service Central de Prévision du S.M.M.A.

o  
o o

L'intérêt de ces observations et des études qu'ils permettent d'entreprendre est précisé dans le document cité.

"Les images de nuages recueillies par TIROS contiennent un très grand nombre de renseignements dont une petite fraction seulement est utilisée par les météorologistes. L'ensemble étonnamment complexe de formations nuageuses linéaires, circulaires, cellulaires et en spirale, de dimensions très variées, est une manifestation frappante des mouvements et processus atmosphériques qui seraient passés inaperçus sans les satellites. L'interprétation de ces formations nuageuses serait facilitée par les mesures suivantes:

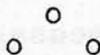
a) Compléter la documentation concernant les formations nuageuses observées par les satellites en effectuant des observations auxiliaires et en prenant des photographies du même système nuageux depuis des stations au sol, des aéronefs, des fusées, etc., et en procédant à des observations et sondages météorologiques classiques supplémentaires dans la même région.

b) Comparer les images des nuages avec d'autres caractéristiques météorologiques pour de nombreuses régions géographiques, pour une grande variété de régimes synoptiques et pour toutes les saisons.

c) Encourager l'analyse théorique de la convection fondée sur les travaux antérieurs de Rayleigh, Jeffreys, Pellew et Southwell, Malkus et Veronis, et Kuo. Ici, on rencontrera des problèmes extraordinairement difficiles du point de vue mathématique, mais l'existence de systèmes nuageux très vastes tels qu'ils sont révélés par les satellites, devraient stimuler les progrès théoriques.

d) Intensifier les travaux de laboratoire sur la convection commencés par Bénard, Avsec, Mal et autres.

L'étude des images de nuages obtenues par satellite, combinée avec l'étude des cartes synoptiques, les expériences de laboratoire et l'analyse théorique, devrait stimuler les recherches sur les phénomènes à plus petite échelle comme l'étude des cartes synoptiques, la théorie ondulatoire universelle et les expériences "en cuvette" l'ont fait pour les configurations d'ondes à grande échelle.



Le rapport du groupe d'experts des satellites artificiels de l'O.M.M. donne en outre des renseignements sur des mesures particulières que les satellites météorologiques doivent pouvoir assurer.

### Mesure du rayonnement par les satellites

Tout le monde reconnaît que, sans apport d'énergie externe, les mouvements atmosphériques s'épuiseraient rapidement et qu'il est donc nécessaire de mesurer les flux de rayonnement en direction et en provenance de notre planète. Maintenant que des satellites tournant autour de la terre ont commencé à mesurer le rayonnement solaire et terrestre, il faut trouver le moyen d'utiliser les données ainsi recueillies.

On a établi des schémas du rayonnement émis par l'atmosphère et par la terre qui présentent une analogie remarquable avec les anticyclones et les cyclones, tant par leur dimension que par leur mouvement; cela est dû principalement à la présence ou à l'absence de nappes de nuages associées à ces systèmes.

Avec l'obtention d'autres données sur le rayonnement, en particulier grâce à des satellites à orbite polaire, les recherches suivantes seraient utiles:

a) Etablissement de cartes des zones d'accumulation d'énergie radiante - Corrélation avec les fluctuations de l'énergie potentielle et les processus à grande échelle, tels que l'évolution anticyclonique et cyclonique.

b) Mesure du bilan radiatif de certaines zones.

c) Etude des variations à long terme du bilan thermique de la Terre et des variations correspondantes de l'albédo terrestre. Ces recherches apporteraient une contribution unique à notre connaissance de la circulation générale et nous permettraient, par conséquent, de mieux comprendre les causes des changements à long terme observés dans le temps et le climat.

### Distribution de l'ozone

On nous a fait part de deux méthodes qui sont enseignées

pour mesurer la quantité et la répartition de l'ozone dans l'atmosphère. La première méthode, qui sera utilisée à bord du satellite SCOUT UK 2, mesure le rayonnement solaire dans la bande ultra-violette de l'ozone lorsque le satellite pénètre dans le cône d'ombre de la terre et lorsqu'il en sort. L'absorption totale et la distribution spectrale seront également mesurées. Cette méthode sera probablement la plus efficace à des altitudes au-dessus du niveau de concentration maximale d'ozone. La seconde méthode implique l'étude du rayonnement solaire diffusé. Ces projets pourraient accroître sensiblement notre connaissance de la variation de l'ozone dans le temps et dans l'espace et les résultats obtenus pourraient s'appliquer à l'étude du transfert d'énergie radiante et de la circulation générale.

### Nouveaux types de mesures

Les recherches se poursuivent en vue de mettre au point des techniques permettant d'effectuer de nouveaux types de mesures: détection des précipitations par radar, structure verticale de la température dans la stratosphère et dans les couches supérieures de la troposphère à l'aide d'un spectrophotomètre infra-rouge, distribution de l'ozone à l'aide d'un spectrophotomètre ultra-violet.

Il est souhaitable d'effectuer encore d'autres mesures à l'aide des satellites. On pourrait, par exemple, mesurer la pression en surface si l'on pouvait mettre au point une méthode permettant de déterminer la masse totale de la colonne d'air se trouvant au-dessous du satellite. Pour qu'une telle mesure soit utile, une précision de 5 mb au moins est jugée indispensable.

Si l'on trouvait un moyen de déterminer les vents à plusieurs niveaux et à une échelle globale, cela augmenterait sensiblement la valeur des observations effectuées par les satellites. On pourrait faire de telles mesures en utilisant le satellite pour préciser et enregistrer la position d'un certain nombre de ballons à niveau constant. Outre les problèmes techniques extrêmement difficiles posés par un tel système, il serait nécessaire d'obtenir une collaboration internationale pour le lancement, le vol etc., des ballons.

Pour progresser dans le domaine des observations de satellites météorologiques, les savants de tous les pays devraient être encouragés à mettre au point des techniques permettant de procéder à de nouvelles mesures à partir de ces postes d'observation uniques. Grâce à une coopération internationale, on pourrait probablement obtenir la réalisation technique des projets les plus prometteurs, même si les chercheurs individuels n'ont pas les moyens de résoudre ces problèmes techniques".

Ajoutons enfin que des observations synoptiques spéciales sont assurées au moment des passages du satellite au-dessus des régions dans lesquelles la Météorologie Nationale dispose de Stations d'observations.

Comme on peut en juger par l'ampleur des moyens mis en oeuvre et l'effort de coopération internationale entrepris pour tirer le maximum de profit de l'utilisation des satellites artificiels, la Météorologie commence à disposer de vues et de mesures nouvelles concernant l'atmosphère. Si les spécialistes, moins portés à l'enthousiasme inconsidéré que certains informateurs, ne s'attendent pas à une amélioration immédiate et spectaculaire de la prévision du temps grâce aux satellites artificiels, ils espèrent cependant en obtenir un nombre considérable de données nouvelles qui ne manqueront pas d'accroître dans une large mesure nos connaissances de l'atmosphère, avec toutes les conséquences heureuses que cela peut comporter.