

SATELLITES ET METEOROLOGIE

La Grande Presse nous tient au courant des exploits et progrès des Satellites US et Soviétiques et depuis quelques mois de l'utilisation de ces véhicules de l'espace à des fins météorologiques.

Il est intéressant que les météo militaires soient informés de cette nouvelle Technique et nous avons le plaisir de vous publier l'exposé paru dans le Bulletin de l'Organisation Météorologique Mondiale de Janvier 1960.

V. MARC

Il y a seulement un peu plus d'un siècle que des observations météorologiques ont été, pour la première fois, pointées sur une carte pour donner une image synoptique des phénomènes météorologiques. Ces premières cartes du temps ne couvraient qu'une superficie de quelques milliers de kilomètres carrés. A mesure que l'on se rendait mieux compte de l'utilité des cartes du temps pour la prévision et que les communications s'amélioraient, on a cherché à élargir progressivement les cartes de façon à couvrir de vastes étendues terrestres, des îles et des routes de navigation maritime. Mais ces premières cartes ne concernaient qu'une faible partie de la surface de la terre et étaient incapables d'indiquer ce qui se passait au-dessus de la surface, sauf ce que l'on pouvait deviner par déduction d'après les nuages et les précipitations.

Avec chaque progrès de l'observation aérologique depuis les ballons emportant un équipage jusqu'aux radio-sondes fixées à des ballons en passant par les cerfs-volants et les aéronefs, le météorologiste a pu repousser de plus en plus haut les limites de son domaine. L'apparition des grandes fusées a permis d'obtenir des renseignements sur la couche supérieure importante, représentant un pour-cent de la masse atmosphérique, à une altitude trop élevée pour que les ballons puissent l'atteindre. Toutefois, ce progrès considérable des techniques de sondage vertical ne s'est pas accompagné d'un développement parallèle de la densité des stations d'observation météorologiques, spécialement en ce qui concerne les vastes zones océaniques dépourvues d'îles, sauf sur le trajet des principales lignes de navigation aérienne et maritime. Moins d'un cinquième de la masse atmosphérique totale est actuellement exploré de façon satisfaisante à l'aide des techniques classiques de sondage météorologiques et pendant de longs jours de grands orages peuvent rester insoupçonnés au-dessus des zones désertiques, polaires et océaniques.

Les météorologistes disposent maintenant d'un véhicule et d'une plate-forme d'observation qui leur permettent d'avoir une

vue globale de l'atmosphère. Grâce aux satellites tournant autour de la terre, l'homme pourra observer d'en haut les nuages, ces manifestations merveilleuses et sans cesse changeantes des phénomènes atmosphériques qui peuvent servir à identifier et localiser les orages et les zones de beau temps. Avec une répartition appropriée de satellites météorologiques terrestres, il devrait être possible de suivre la trajectoire sur la terre de tous les orages importants, d'en noter la naissance et la disparition.

La contribution que les satellites apporteront à nos connaissances fondamentales de la physique atmosphérique, par exemple pour la mesure de la répartition totale de l'énergie rayonnante nette absorbée et émise par le système Terre-Atmosphère, a une importance qui ne le cède en rien aux avantages pratiques évidents qu'ils offrent pour la prévision du temps. Puisque "le temps" dépend des vents qui cherchent à uniformiser la répartition inégale de l'énergie rayonnante nette reçue du soleil, il importe d'avoir une image exacte de la répartition globale de l'énergie rayonnante de base qui actionne le moteur thermique de l'atmosphère. Ce bilan énergétique, s'il est dressé pour de longues périodes, non seulement sera utile pour interpréter les connaissances fondamentales des phénomènes atmosphériques, mais pourrait aussi faciliter l'élaboration d'un nouveau système de prévision à longue échéance et permettrait de prévoir les variations climatiques.

Toutefois, le fait de disposer des données mondiales fournies par les satellites météorologiques ne supprimera pas la nécessité de connaître la microstructure de l'atmosphère et les chaînons importants reliant la couche supérieure de l'atmosphère aux couches plus denses situées au-dessous, éléments qu'il est possible d'étudier à l'aide de ballons et de radiosondes emportées par des fusées. Les ballons classiques atteignent une altitude d'environ trente kilomètres, mais la zone s'étendant jusqu'à 60 kilomètres au moins est extrêmement intéressante du point de vue météorologique, non seulement pour les prévisions destinées aux engins se déplaçant dans cette couche supérieure, mais aussi parce que cette couche crée peut-être un rapport entre les émissions solaires exceptionnelles et les conditions atmosphériques terrestres anormales. Les fusées de sondage à haute altitude, d'un prix de revient modeste, qui peuvent être lancées chaque jour en un certain nombre de points choisis du monde semblent constituer le moyen le plus prometteur de recueillir des données sur cette zone d'une importance capitale.

Observations météorologiques fournies par les satellites.

Il a été dit plus haut que les satellites permettront de mesurer la couche nuageuse et la répartition totale de l'énergie

rayonnante nette 1,2,3 \times . Les expériences dont ces deux sortes de mesures font l'objet sont déjà bien avancées et les premiers résultats obtenus sont actuellement à l'étude. La photographie reproduite sur le recto de la planche hors-texte ci-jointe, nous donne une idée du genre d'image de la couche nuageuse qu'il est possible d'obtenir. Cette photo est extraite d'un film qui a été récupéré d'une fusée ATLAS; elle représente une vue partielle du globe terrestre prise à une altitude d'environ 650km et nous montre les systèmes nuageux associés au front de l'Atlantique, aux ondes d'Est près de Cuba et au thalweg équatorial, ainsi que les allées de Cumulus au Sud du front révélant des vents de direction Ouest-Sud-Ouest. La trajectoire de la fusée, la zone couverte par la photographie et les principales caractéristiques synoptiques sont indiquées sur la carte au verso de la planche hors-texte.

Outre l'observation de la couche nuageuse et du rayonnement, des mesures plus difficiles sont envisagées qui portent notamment sur les précipitations globales, les profils verticaux de la température et la répartition verticale de la vapeur d'eau, de l'ozone et de l'anhydride carbonique. Certaines de ces mesures pourront être effectuées au cours de ces prochaines années, tandis que d'autres nécessiteront une dizaine d'années ou même davantage. Il faudra procéder à bien des recherches de base et des mises au point, aussi bien en laboratoire qu'à bord d'aéronefs et de ballons, avant que les instruments puissent fonctionner avec succès dans les satellites. Lorsqu'ils pourront emporter une charge utile plus grande, les satellites pourront être munis d'instruments plus lourds et plus complexes, y compris peut-être un dispositif de réduction préliminaire des données permettant de diminuer le travail exigé du système de transmission.

Hauteurs et orbites optimums.

Pour qu'il ne soit pas nécessaire de procéder à des corrections de hauteur, il semble souhaitable de placer les satellites météorologiques sur des orbites circulaires autour de la terre. Les orbites ayant une grande excentricité, qui sont tellement avantageuses pour d'autres types d'observations, devraient être évitées pour les satellites météorologiques.

Parmi l'infinie variété des orbites circulaires que l'on peut concevoir pour les satellites terrestres, il semble qu'il y en ait deux qui offrent à la météorologie des avantages exceptionnels: l'orbite polaire et l'orbite équatoriale.

Le satellite placé sur une orbite polaire survolera deux fois par jour la surface complète du globe, une fois en se dirigeant vers le Nord, ensuite en se déplaçant en direction du

\times Voir références, page 8.

Sud. S'il est lancé en direction du Nord à l'heure locale de midi, il traversera toutes les latitudes à cette même heure locale jusqu'au moment où il atteindra le pôle Nord, point à partir duquel il se déplacera vers le Sud en traversant toutes les latitudes à l'heure locale de minuit. Toutefois, en raison du mouvement de la terre autour du soleil, l'heure locale de passage du satellite à chaque latitude avancera chaque jour de quatre minutes. Il serait avantageux de supprimer les effets diurnes en corrigeant ce déplacement quotidien de quatre minutes. Pour un satellite ayant une altitude de 500 kilomètres environ, on peut obtenir ce résultat en ne lançant pas directement le satellite en direction du pôle, mais selon une trajectoire faisant un angle de 97° avec le plan de l'équateur (0° étant placé à l'Est) de façon que la précession de l'orbite compense ce déplacement de quatre minutes. De cette manière, le satellite polaire verrait toujours la terre à la même heure locale lorsqu'il se déplacerait vers le Nord et à la même heure locale, mais avec douze heures d'écart, lorsqu'il se dirigerait vers le Sud. Sans vouloir dire que les effets diurnes sont négligeables, on simplifierait l'interprétation des données fournies par les satellites si l'on avait un satellite midi-minuit, un autre satellite 4 heures du matin-4 heures du soir, etc.

On peut concevoir un système de satellites météorologiques parcourant chacun en 4 heures une orbite circulaire quasi-polaire, à 6.500 kilomètres d'altitude, selon des méridiens séparés de 60° , trois d'entre eux étant des satellites de jour se déplaçant en direction du Nord à 8 heures du matin, midi et 4 heures de l'après-midi, et trois étant des satellites de nuit se déplaçant en direction du Sud de l'autre côté de la terre à 8 heures du soir, minuit et 4 heures du matin. A un moment donné, les satellites de jour se trouveraient tous à la même latitude Nord, par exemple, tandis que les satellites de nuit se trouveraient tous à la même latitude Sud. Grâce à un système de ce genre et à la grande étendue des zones observées à un moment donné, aucune formation nuageuse importante n'échapperait à l'observation pour plus d'une heure. En choisissant le méridien de Greenwich pour le satellite de midi ou de minuit, les données fournies par chacun des six satellites dont les trajectoires seraient séparées de 60° de longitude pourraient être combinées de façon à donner une carte mondiale presque complète pour chacune des quatre heures d'observation synoptique quotidienne.

Bien qu'avantageux pour l'ensemble de la Météorologie, l'identification et la détermination de la trajectoire des formations atmosphériques à grande échelle, un tel système de satellites de haute altitude ne serait peut-être pas le moyen le plus approprié d'obtenir les détails relatifs à la microstructure qui sont utiles pour l'identification des phénomènes moins importants tels que les fronts, les lignes de grains, les orages et même les vents (en suivant le mouvement des nuages identifiables). Il semble que des satellites de faible altitude placés sur une orbite à plusieurs centaines de kilomètres seraient

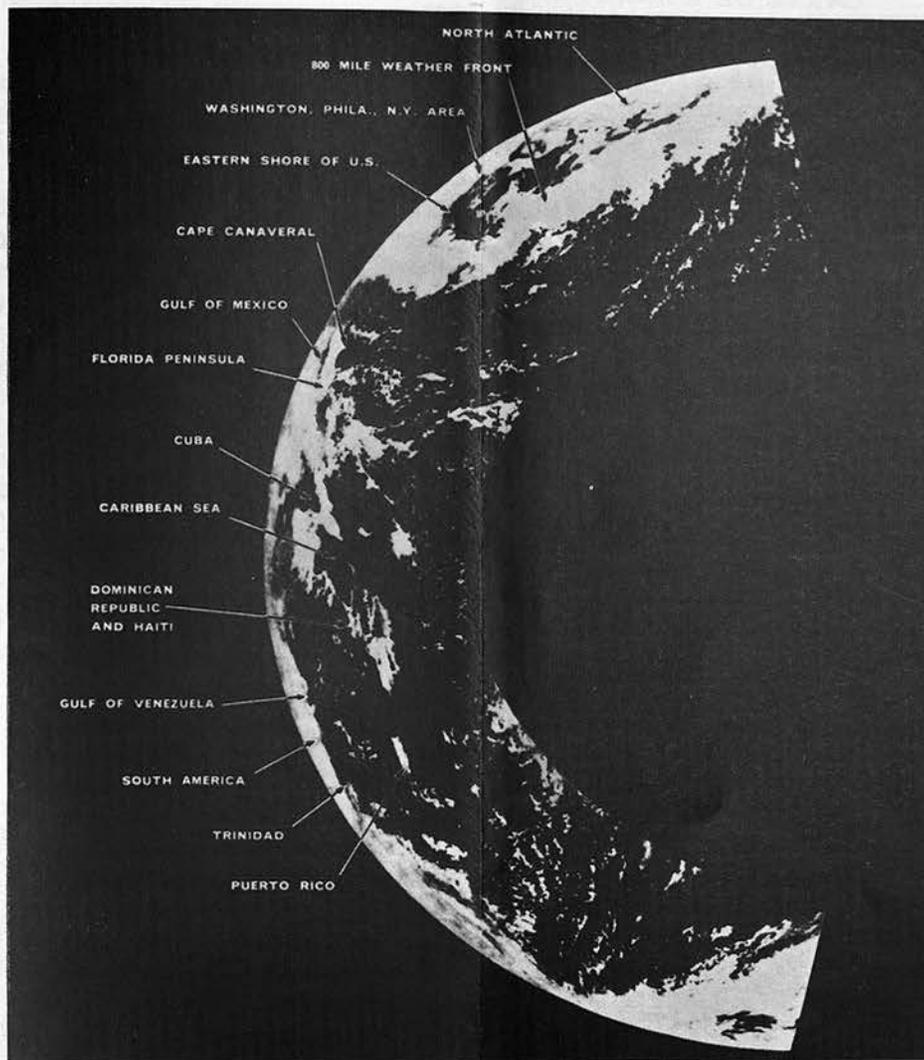
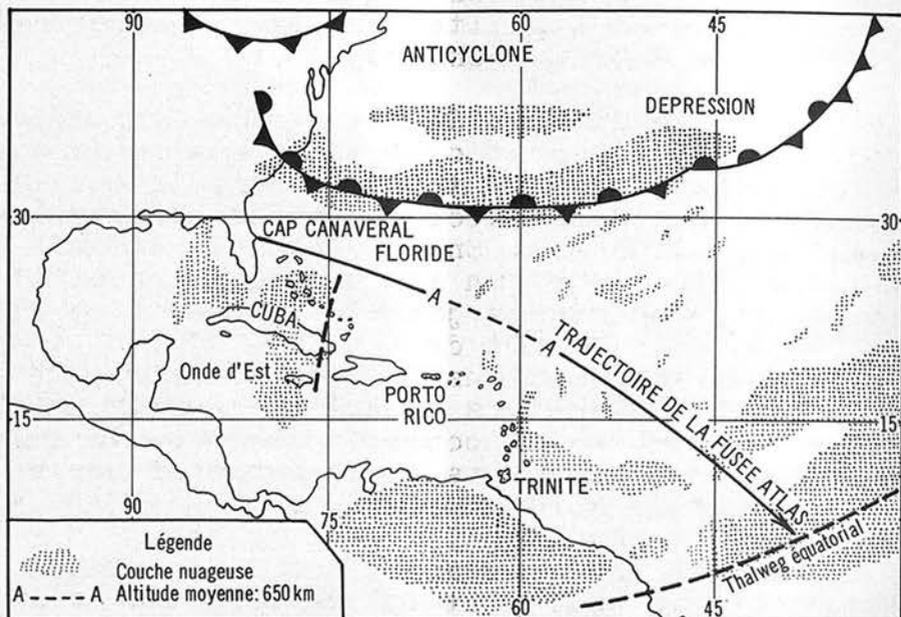


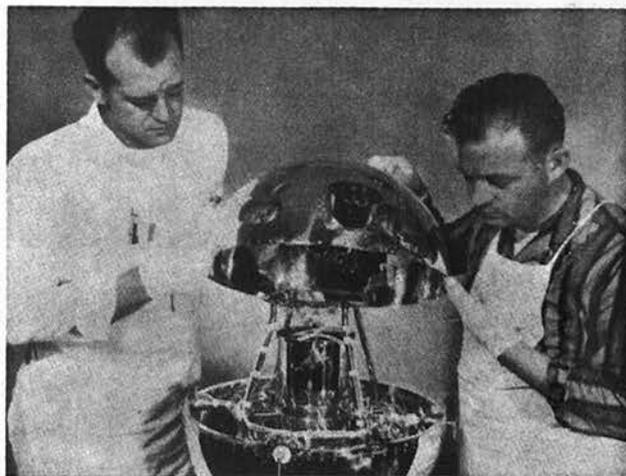
Photo du Bul. de l'O.M.M. Janv. 1960

Photographie extraite d'un film récupéré d'une fusée
ATLAS, elle représente une vue partielle de la Terre
prise à 650 km environ d'altitude

CARTE DE L'ANALYSE SYNOPTIQUE DU 24 AOUT 1959
(1800 TU) MONTRANT ÉGALEMENT LA COUCHE NUAGEUSE
QUE RÉVÈLENT LES PHOTOGRAPHIES PRISES A BORD DE
LA FUSÉE ATLAS, A L'ALTITUDE MOYENNE DE 650km



(D'après la carte de l'U.S. Weather Bureau)



(Photographie de l'U.S. Army)

Assemblage définitif du Vanguard II de l'AGI
lancé le 17 Février 1959: mise en place
de la moitié supérieure du satellite

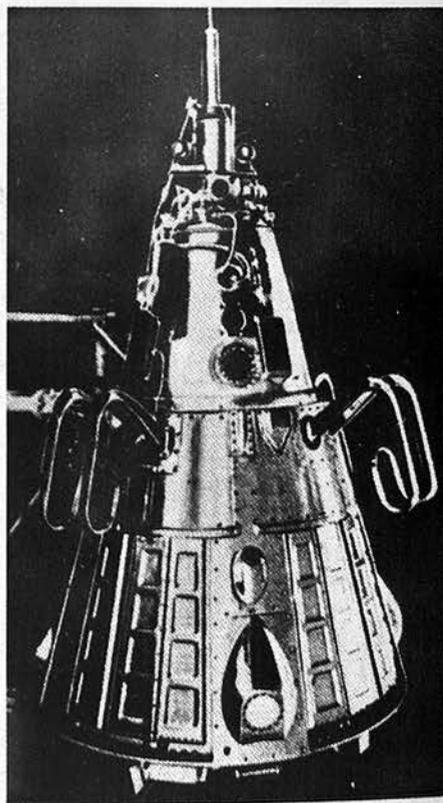


Photo Tass

Vue d'ensemble du
troisième satellite terrestre
artificiel soviétique

mieux à même de fournir des renseignements concernant les phénomènes météorologiques à petite échelle, si importants pour la prévision détaillée à brève échéance.

Bien que les satellites décrivant une orbite polaire puissent fournir des observations utiles aux nations de la zone tropicale lorsqu'ils traversent l'équateur, il semble qu'un satellite ayant une orbite équatoriale puisse offrir à ces pays des avantages exceptionnels. En se déplaçant d'Ouest en Est dans le plan de l'équateur, un tel satellite pourrait observer les conditions atmosphériques jusqu'à une certaine distance au Nord et au Sud qui dépendrait de son altitude, et transmettre successivement ces informations à chaque station. Un satellite se trouvant à 1.000 kilomètres d'altitude aurait une durée de révolution de 105 minutes et pourrait observer la surface d'une zone comprise entre deux points de tangence situés respectivement à 30° de latitude Nord et 30° de latitude Sud. En outre, les pays tropicaux bénéficieraient naturellement des observations effectuées par les six satellites polaires qui traverseraient l'équateur à 4 heures et 60° de longitude d'intervalle. Il est probable que les observations fournies par les satellites sur les formations nuageuses seraient particulièrement intéressantes dans la zone tropicale où les observations classiques et les techniques de prévision des latitudes supérieures sont appliquées avec un succès relatif.

Application des observations effectuées à l'aide de satellites.

Il ressort clairement de ce qui précède que les observations météorologiques effectuées à l'aide de satellites, notamment celles de la couche nuageuse, pourraient bien trouver d'importantes applications pratiques dans un avenir assez rapproché. Comme lors de l'introduction d'une nouvelle technique d'observation, l'Organisation météorologique mondiale sera appelée à coordonner l'échange de ces données d'observation au moyen de méthodes et de codes internationaux. Un seul satellite peut fournir une quantité énorme de données; aussi l'OMM devra-t-elle faire un choix des données dont l'échange offrira le plus d'utilité en vue d'une application pratique immédiate.

Les observations effectuées à l'aide des satellites risquent de surcharger les circuits de télécommunications météorologiques déjà encombrés, mais d'autre part on s'attend que dans un avenir plus éloigné, les transmissions mondiales seront facilitées par l'existence de satellites de transmission, ensemble de véhicules se déplaçant à haute altitude (à 35.000 kilomètres environ de la surface de la terre) qui survoleront un point fixe de l'équateur terrestre et serviront de relais pour la transmission radioélectrique en ligne directe. Un tel système assurera à tous les services météorologiques du monde une transmission rapide de tous les types de données météorologi-

ques, de sorte que les météorologistes pourront réaliser leur rêve, à savoir tenir sans cesse à jour une carte du temps réellement universelle. Accessoirement, ces satellites pourraient servir à surveiller constamment les nuages situés au-dessous d'eux.

Données des satellites pour les recherches météorologiques

Les observations des satellites sur les nuages, une fois qu'elles auront été utilisées immédiatement pour les prévisions, seront précieuses pour les recherches météorologiques. C'est ainsi qu'elles pourront servir à établir pour la première fois un recensement vraiment global des nuages, à élaborer des cartes moyennes mondiales des formations nuageuses, portant sur un mois ou sur une autre période, et à noter les variations à long terme de ces formations en ce qui concerne leur quantité et leur répartition.

Les observations des satellites sur le rayonnement solaire direct, rayonnement solaire réfléchi ou rayonnement nocturne, pourront être utilisées pour étudier l'évolution du temps et les mouvements des perturbations atmosphériques par rapport au bilan radiatif, et à calculer les apports et les pertes de rayonnement au-dessus de la terre. On sait que le transfert d'énergie excédentaire des tropiques vers le pôle peut varier dans une large mesure^{4*}. C'est ainsi qu'en Février 1951 le transfert d'énergie vers le pôle à travers le parallèle de 30° a varié de $+140,10^{13}$ cal sec⁻¹ à $140,10^{13}$ cal sec⁻¹; de la mi-janvier à la mi-février le transfert d'énergie vers le pôle à travers le parallèle de 15° est passé de 18% à 141% de la moyenne d'Octobre 1950 à Avril 1951. Lorsque les vents souffleront en prédominance d'Ouest ou d'Est, le transfert d'énergie des tropiques aux pôles se trouvera réduit et l'énergie pourra s'accumuler aux tropiques. Toutefois, lorsque la configuration de base de la circulation cesse d'être zonale pour devenir méridienne et est alors caractérisée par des ondes de grande amplitude dans les courants d'Ouest et des anticyclones et cyclones quasi stationnaires, une bien plus grande quantité d'énergie peut provenir des tropiques. Ce changement de circulation à prédominance zonale, avec son transfert d'énergie vers le pôle assez peu important, en une circulation méridienne très importante associée à des ondes de grande amplitude et à des tourbillons cycloniques et anticycloniques est souvent difficile à prévoir bien qu'il affecte très sensiblement le temps à un endroit donné. Lorsque la configuration de base de la circulation change du type courant zonal ou à indice élevé en type courant méridien ou à indice faible et se maintient en cet état, il s'ensuit des périodes assez prolongées du même type de temps

* Voir références, page 8

général, telles que des périodes de beau temps, de sécheresse, d'inondations et d'orages en fonction de la position d'une région géographique particulière par rapport à la zone de temps stabilisé.

Les satellites doivent permettre l'observation de rayonnements solaires exceptionnels, des particules d'énergie et des poussières météoriques de l'espace, et l'étude de la corrélation entre ces phénomènes et certaines conditions météorologiques inhabituelles. Grâce aux cartes mondiales du temps fondées en partie sur les renseignements des satellites, il devrait être possible d'étudier les différences et les similitudes des configurations de circulation de l'hémisphère Nord et de l'hémisphère Sud, de voir si un hémisphère l'emporte sur l'autre quant aux configurations inhabituelles ou si l'un et l'autre réagissent simultanément à un facteur extérieur commun comme une activité solaire exceptionnelle ou des poussières météoriques.

Conclusions

Les indications qui précèdent offrent seulement quelques exemples des horizons nouveaux qui s'ouvriront à la recherche météorologique du fait qu'elle disposera de données globales sur les nuages, sur les radiations et sur d'autres phénomènes encore. En raison de la multiplicité des renseignements que fourniront les satellites et du nombre élevé des grands problèmes à la solution desquels ces renseignements pourront contribuer, il importe d'établir des relevés systématiques ou des cartes mondiales des éléments les plus importants et d'en assurer la communication aux équipes de recherche du monde entier. En ce qui concerne les données ainsi recueillies, l'OMM pourra utilement assumer, comme elle l'a fait pour les données recueillies au titre de l'AGI, le rôle de centre d'information sur les projets importants de dépouillement des données et contribuer par là à éviter d'onéreux chevauchements d'activités. L'OMM pourrait en outre, créer un centre de renseignements chargé de fournir, aux fins de la recherche, un certain nombre de données d'observation météorologique provenant des satellites.

Ainsi, au moment où l'homme franchit pour la première fois le seuil de l'espace, la vue d'ensemble qu'il peut désormais obtenir de la planète Terre ouvre de nouvelles possibilités pour l'observation, la prévision et la recherche météorologique. L'OMM, en collaboration avec d'autres organes tels que la Commission de la recherche spatiale (COSPAR) du Conseil international des Unions scientifiques, peut jouer un rôle important dans l'exploitation de la précieuse ressource que constitue cette nouvelle plate-forme d'observation.

Références:

- 1.- WEXLER, H. (1957). The satellite and meteorology. Journal of Astronautics, Vol. IV, No.1, pp. 1-6.
- 2.- STROUD, W.G., HANEL, R., NORBERG, W. et STAMPFL, R. (1958) Meteorological measurements from a satellite. Annals of the IGY, Vol. VI, pp. 340-345.
- 3.- SUOMI, V.E. (1958). The radiation balance of the earth from a satellite. Annals of the IGY, Vol.VI, pp. 331-340.
- 4.- VUORELA, L.A. (1957). On the observed zonal and meridional circulations at latitudes 15°N and 30°N in winter. Geophy-sica, Vol. 6, No.2, pp. 106-120.

Conclusions

Les indications qui précèdent offrent seulement quelques exemples des horizons nouveaux qui s'ouvrent à la recherche météorologique du fait qu'il est possible de disposer de données géophysiques sur les aurores, sur les radiations et sur d'autres phénomènes. En raison de la multiplicité des renseignements que nous pourrions obtenir des satellites et du nombre élevé des grandeurs mesurées à la hauteur de ces renseignements peuvent constituer un rapport d'état des lieux très importants et de grande portée scientifique. Les éléments les plus importants de ce rapport, par la communication aux équipes de recherche du monde entier, en ce qui concerne les données ainsi recueillies, l'OMM pourra utilement servir, comme elle l'a fait pour les données recueillies au titre de l'AGI, le rôle de centre d'information sur les projets importants de développement des données et contribuer par là à éviter d'importants chevauchements d'activités. L'OMM pourrait en outre, créer un centre de renseignements chargé de fournir, sur l'état de la recherche, un certain nombre de données d'observation météorologique provenant des satellites.