

L'intérêt scientifique des satellites artificiels^(*)

Par E. Vassy

Aujourd'hui des satellites artificiels tournent autour de la Terre. Pourquoi en est-on arrivé là? Est-ce simplement un jeu de balisticiens? Aussi me contenterai-je de vous exposer les possibilités qu'offrent au géophysicien les satellites artificiels.

Il faut pour cela d'abord revenir aux fusées. Voici la courbe représentant en fonction du temps la trajectoire attendue de notre «Véronique» dont on espère tirer une série à partir d'octobre prochain (fig. 1). En abscisses, on a des secondes et on se rend compte que l'engin ne restera au-dessus de 100 kilomètres que pendant 350 à 400 secondes.

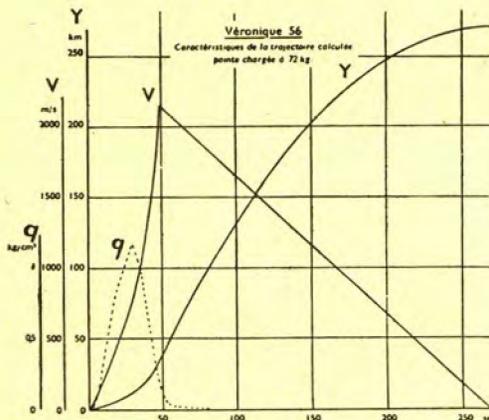


Fig. 1 — En fonction du temps: altitude Y (en km); vitesse V (en m/s); poussée q (en kg/cm²).

Voici d'ailleurs une autre figure sur laquelle sont traduits les temps pendant lesquels un engin dont l'altitude maximum est inscrite sur les courbes demeure au-dessus d'une altitude représentée en abscisses (fig. 2).

La fusée permet donc un sondage en altitude, à la verticale d'un point donné, pendant un temps relativement court. Pour avoir une vue d'ensemble sur un phénomène à l'échelle de la géophysique, il faudra effectuer la même opération en des points de latitudes différentes.

En outre, les phénomènes géophysiques varient en fonction du temps. Dans la haute atmosphère, il en est de nombreux liés à l'activité solaire. Pour lancer une fusée juste au moment intéressante, cela est bien difficile. Avec un satellite, qui tourne pendant

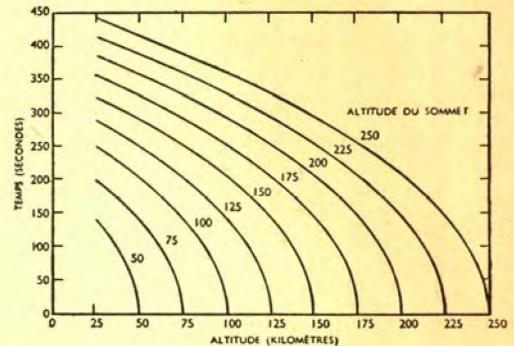


Fig. 2 — Temps passé par une fusée au-dessus d'une altitude donné pour différentes valeurs de l'altitude maximum atteinte.

plusieurs mois autour de la Terre, on aura non seulement la possibilité d'avoir une coupe du phénomène le long d'un méridien par exemple, mais d'en saisir toutes les variations dans le temps. Par contre, l'inconvénient du satellite est de n'explorer que le domaine d'altitudes compris entre le périhélie et l'apogée.

Nous allons maintenant passer en revue les différentes études possibles en nous plaçant

de ce point de vue de parent pauvre qui est le nôtre, c'est-à-dire en distinguant les études utilisant des instruments montés à bord du satellite de celles qui en sont indépendantes, c'est-à-dire que nous pouvons effectuer.

I. — Expériences utilisant des instruments montés à bord

Voyons d'abord les premières. Les photographies prises à bord de fusées nous ont déjà habitués à voire la Terre de haut et sur certains clichés les météorologistes ont fait d'intéressantes observations, mais se rapportant à une heure déterminée, sans qu'il soit possible de saisir une évolution dans le temps.

1 — La Terre, vue du satellite : Intérêt météorologique

La météorologie synoptique porte un intérêt certain au satellite. Ainsi une caméra de télévision à une altitude de 1.000 kilomètres verra une étendue de surface terrestre allant du Cap Nord à l'Afrique du Nord. Sans même chercher à utiliser son déplacement sur l'orbite et la possibilité de voir l'ensemble d'une zone autour de la Terre, le dessin des masses nuageuses permettra au météorologiste de distinguer le développement des orages et d'une manière plus générale, l'évolution du temps. En effet, les nuages sont la traduction de processus physiques se déroulant dans la basse atmosphère, où interviennent les conditions de température, d'humidité, les mouvements aux différentes altitudes. La distribution des masses nuageuses sur la Terre doit être liée aux masses d'air typiques et aux systèmes frontaux. Les quelques photographies prises en haute altitude par les fusées et qui se rapportent toutes à un instant relativement court (moins d'une minute) étaient très encourageants à cet égard. L'exploitation systématique des images transmises par une caméra de télévision tournant autour de la

Terre mettrait sans doute le météorologiste sur la voie de nouvelles méthodes de prévision.

De nombreuses questions de thermodynamique de l'atmosphère (bilan thermique notamment) et de cyclogenèse pourraient être résolues à la suite de la mesure à bord d'un satellite du rayonnement solaire incident et de l'albedo (facteur de réflexion diffuse) de la Terre.

Jusqu'ici l'albedo n'a été déterminé que par la méthode de DANJON utilisant la lumière cendrée (clair de Terre sur Lune) et par FRITZ d'après une sommation des surfaces couvertes de forêts, de neige, de mers, de nuages, etc., en tenant compte de leurs albedos respectifs.

Stroud et Nordberg ont imaginé un dispositif avec trois cellules photoélectriques (détecteur Kodak Ektron). Elles sont arrangées de telle sorte qu'à 500 kilomètres d'altitude, il y en a toujours une qui regarde la Terre. Si le satellite tourne sur lui-même, chaque cellule peut balayer un certain parcours sur la surface terrestre. On mesurera le nombre de rotations de l'engin sur lui-même par la fréquence de répétition des signaux des cellules, et le problème le plus difficile sera de déterminer quelle région de la Terre est explorée. Il sera résolu en déterminant l'orientation du satellite par rapport à la Terre directement d'après les impulsions enregistrées par les cellules.

2 — Pression, densité, température

J'ai montré dans mon cours de cette année toute la difficulté qu'il y a à connaître la pression et la densité au-dessus de l'altitude de 100 kilomètres, ou le libre parcours moyen dépasse la dimension des jauges susceptibles d'être utilisées. J'ai exposé les travaux récents de HOROWITZ et LA GOW qui, utilisant la jauge PHILIPS (jauge à ionisation dont l'espace parcouru par les ions est accru par la présence d'un champ magnétique) pour

mesurer la variation de pression lorsque l'engin tourne sur lui-même, arrivent au prix d'hypothèses nombreuses et osées à déduire une courbe notablement différente de celle admise jusqu'ici. Et de plus, la présence des gaz résiduels fausse considérablement la mesure. Pour en tenir compte, il faut se livrer à une discrimination manquant vraiment de sûreté.

a) *Pression et densité.* — 1° La jauge PHILIPS, ne permettant pas de descendre au-dessous de 10^{-8} mm de Hg, et les pressions attendues entre 400 et 900 kilomètres étant comprises entre 10^{-8} et 10^{-10} mm de Hg, SICINSKI, SPENCER et BOGGESS, de l'Université de Michigan, ont proposé l'usage d'un dispositif, qu'ils appellent le «Synchromètre», susceptible de mesurer de telles pressions.

Le principe de son fonctionnement est identique à celui du cyclotron. Un faisceau de particules ionisantes est émis parallèlement à un champ magnétique, produisant une ionisation locale le long de ce faisceau. Les ions sont alors accélérés entre deux plaques parallèles par un champ électrique alternatif de haute fréquence. Comme dans le cyclotron, quand la valeur de la fréquence est égale à $\frac{eH}{m}$, les ions de masse m et de charge e sont accélérés sur des orbites de dimensions croissantes (spirales d'Archimède) et peuvent alors frapper un collecteur d'ions. Le courant dans le collecteur mesure la pression partielle du gaz dont le rapport est e/m . On a ainsi une jauge à résonance.

Une instrumentation légère est techniquement possible.

2° JONES et BARTMAN ont proposé un accéléromètre d'un type nouveau pour mesurer le ralentissement instantané (décélération). Il se compose essentiellement de deux sphères concentriques ou plus exactement avec des positions remplissant des conditions déterminées. Les détails communiqués jusqu'ici

sont insuffisants pour juger de l'efficacité du procédé.

3° SPITZER a proposé de mesurer le changement d'orientation produit par le freinage de l'air sur un satellite dont le centre de gravité ne coïncide pas avec le centre de pression. Soit un satellite ayant la forme d'une haltère, dont l'une des sphères pèserait 10 fois plus que l'autre. Si le satellite est mis en mouvement sans rotation avec son axe perpendiculaire à la direction du mouvement, le freinage de l'air produira un déplacement de la sphère la plus légère par rapport à la sphère la plus lourde.

Pour déterminer la rotation, on utilisera le système mis au point au Naval Research Laboratory: cellule photoélectrique recevant la lumière solaire directe dans un grand angle et la lumière diffusée par la Terre dans un angle plus petit.

Mais ce ne sont là que des possibilités, qui n'ont pas encore fait l'objet de réalisations connues.

b) Quant à la *température de l'air*, on a fait appel pour la mesurer à la sonde de LANGMUIR, déjà utilisée à bord des fusées. Si chaque couche de l'ionosphère peut être considérée comme étant en équilibre thermique, toutes les particules présentent des distributions maxwelliennes de l'énergie. Cette hypothèse est satisfaisante si les durées de vie de toutes les particules sont très longues comparativement aux libres parcours moyens. La température d'équilibre est obtenue d'après la pente de la courbe obtenue en portant le logarithme du courant dans la sonde, dans l'intervalle où les électrons atteignent le collecteur en traversant un champ retardateur.

c) S'il s'agit de la *température du satellite*, elle résultera d'un équilibre entre le rayonnement reçu, le rayonnement émis et l'énergie empruntée au milieu ambiant. Un corps noir à 300° K rayonne 40 milliwatts par centi-

mètre carré; si toute l'énergie cinétique des molécules rencontrées à l'altitude de 300 kilomètres était absorbée, l'énergie entrant en moyenne sur la surface serait de 0,01 milliwatt par centimètre carré.

La Gow a calculé que la température d'équilibre serait pendant la nuit de -35°C , pendant le jour de 30 à 70°C , suivant le rapport de l'émissivité de l'infra-rouge à celle du visible. Pour la mesure, on emploie des thermistors montés à différents emplacements sur le satellite et reliés à la télémessure.

Poussant l'étude du problème plus loin, GAST distingue dans l'énergie reçue par le satellite, celle provenant directement du Soleil, celle provenant du Soleil mais diffusée par la Terre ou les nuages et une troisième source constituée par le rayonnement de la Terre (250°K). Tenant compte des caractéristiques du satellite (coefficient d'absorption et albedo de sa surface, forme, masse, chaleur spécifique) et de celles de son orbite, cet auteur a déterminé les températures maxima et minima auxquelles on peut s'attendre. Les courbes montrent que la pauvre chienne a dû être soumise à une succession de chauds et froids. Il serait intéressant de connaître les températures effectivement mesurées à l'intérieur du satellite et si la concordance avec les calculs n'est pas bonne, il faudra revoir les donnés. La valeur absolue de la température mesurée et l'amplitude de la variation quand l'engin passe de l'ombre au Soleil mettront sur la voie pour identifier les donnés erronées. Et pour améliorer celles-ci des mesures seront nécessaires.

3. — Composition de l'atmosphère

Il serait intéressant de reprendre à bord du satellite les mesures effectuées à bord des fusées à l'aide d'un spectrographe de masse, lesquelles permettent de connaître la masse atomique ou moléculaire des constituantes de l'atmosphère. On verrait ainsi comment va-

rient ces constituants entre le jour et la nuit et surtout les répercussions des éruptions solaires.

La question de la teneur en hydrogène présente un aspect particulier. Elle peut être abordée, comme nous le verrons plus loin, par l'étude d'une radiation émise par l'atmosphère terrestre.

Il y a aussi celle des poussières météoriques, importante non seulement pour la géophysique, mais aussi pour l'astrophysique et l'astronautique.

Il y a déjà l'expérience acquise avec les V_2 et les Aerobee avec une technique acoustique, l'énergie étant détectée par un microphone, puis amplifiée dans la bande 30-60 Kc /s.

M. DUBIN a envisagé aussi pour les grosses particules de détecter les impulsions transmises à un accéléromètre placé à bord du satellite.

Les impacts météoriques qui, avec les fusées se sont révélés en assez petit nombre mériteraient d'être étudiés lorsque l'orbite de la Terre traverse des essaims tels que les Persaïdes ou les Aquarides où le Radar met en évidence des trajectoires très nombreuses.

4. — Ionisation

La composition de l'atmosphère mérite d'être examinée du point de vue de ses charges électriques. Les fusées ont déjà apporté pas mal de résultats à la connaissance de l'ionosphère. L'investigation directe qui a permis de distinguer les électrons des ions positifs et négatifs a de considérables avantages sur la classique méthode des échos, base des sondages ionosphériques.

On a déjà utilisé à bord des fusées la sonde classique de LANGMUIR. HOK qui en a l'expérience, propose de placer quatre sondes à bord du satellite, aux sommets d'un tétraèdre, de telle manière qu'il y en ait toujours une près de l'équateur de l'engin.

Ce dispositif serait précieux non seulement pour l'étude de l'ionosphère en temps normal, mais il permettrait de saisir le mécanisme des perturbations ionosphériques, qu'il s'agisse de perturbations à début brusque ou d'orages liés aux orages magnétiques. Opérant dans la partie supérieure de l'ionosphère où les phénomènes sont plus simples par suite du moins grand nombre de chocs qu'aux altitudes plus basses, on pourrait ainsi espérer se faire une idée exacte du mécanisme suivant lequel agit le Soleil.

5 — Rayonnement solaire et atmosphérique

Ce travail serait d'ailleurs facilité par l'étude du rayonnement solaire responsable de l'ionisation.

a) *Rayonnement électromagnétique.* — Les radiations de l'extrême ultraviolet sont très efficaces : elles produisent l'ionisation des gaz, affectent l'état solide en produisant l'effet photoélectrique. (On peut en passant se demander quel sera le résultant d'une exposition prolongée des métaux constituant l'enveloppe du satellite à l'extrême ultraviolet solaire avec l'intensité qu'on lui connaît d'après les mesures effectuées à bord de fusées).

Il y a l'importante question de la raie $L\alpha$ de l'hydrogène (1215 \AA) émise par le Soleil. Il sera non seulement possible de déterminer la variation de l'intensité de cette radiation en fonction de l'altitude (altitudes comprises entre le périégée et l'apogée), mais le satellite tournant un certain temps autour de la Terre, on aura ainsi le temps de voir comment se manifeste l'activité solaire, avec les éruptions, les sursauts, la nature des centres actifs, etc., quant à l'émission de $L\alpha$. Pour cela on dispose des tubes photo-compteurs à oxyde nitrique gazeux enfermé dans une ampoule à fenêtre de fluorure de lithium opaque aux radiations $< 1.110 \text{ \AA}$. L'oxyde nitrique s'ionisant au-dessous de 1.340 \AA

seulement, on a donc un détecteur très convenable pour $L\alpha$.

Une fusée lancée un jour où il y avait une légère activité solaire ayant montré un renforcement important du rayonnement X solaire, il importe d'étudier le comportement de l'émission solaire dans ce domaine spectral.

L'atmosphère terrestre émet aussi un certain nombre de radiations, soit pendant la nuit, soit au crépuscule. On connaît bien les raies rouges (6.300 \AA), vert (5.577 \AA) de l'atome d'oxygène neutre, la raie de résonance du sodium, etc. On connaît ces radiations parce qu'on peut les déceler de la surface terrestre. Or tout ce qui est émis dans l'ultraviolet au-dessous de 3.000 \AA nous échappe. Tandis qu'avec une fusée, il est difficile d'obtenir un résultat, avec un satellite on aura des chances de mettre en évidence les variations de cette émission reçue par le dessus de l'atmosphère, en fonction de la latitude.

CHUBB, FRIEDMAN et KUPPERIAN ont proposé de mesurer en même temps que la radiation $L\alpha$ (1215 \AA) provenant directement

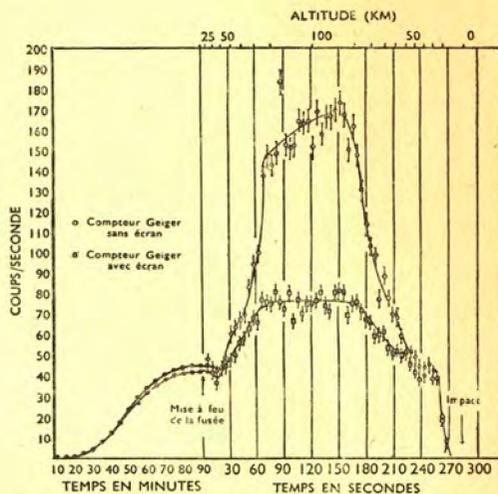


Fig. 3. — Rayonnement en fonction du temps et de l'altitude.

du Soleil, la même radiation provenant de l'effet de résonance sur l'hydrogène de la haute atmosphère éclairé par le Soleil. Il y a aussi une autre source possible de cette radiation: les atomes d'H sont ionisés par le rayonnement solaire de courte longueur d'onde (ultraviolet et X) ou sont éjectés du Soleil. Une fraction de ces protons se recombinaient en donnant un atome excité susceptible d'émettre un spectre continu autour de $L\alpha$.

En utilisant un tube photo-compteur beaucoup plus sensible que celui utilisé pour la lumière solaire directe, il sera possible de distinguer par l'étude de la corrélation des deux résultats au moment d'une éruption l'importance de la radiation de résonance par rapport à la radiation de recombinaison. L'équipe du Naval Research Laboratory a préparé un dispositif expérimental dans ce but.

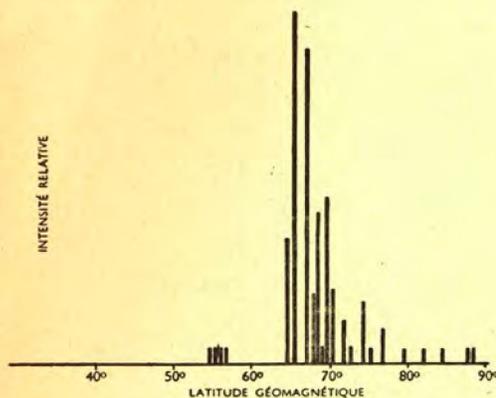


Fig. 4 — Intensités relatives de la radiation molle (mesurée au tube de Geiger sans écran), à haute altitude, en fonction de la latitude géomagnétique.

Il y a aussi le rayonnement mou découvert par J. VAN ALLEN et son groupe en 1953 en lançant dans les régions polaires des Rockoons équipés de compteurs de GEIGER (fig. 3). Ce rayonnement qui serait

un rayonnement X (d'une énergie de 10 à 100 Kev et d'une intensité de 10^4 photons/cm²/sec) est dû au bremmstrahlung des électrons auroraux. Comme on ne le rencontre qu'aux latitudes géomagnétiques voisines de 67° (fig. 4), il y a là toute une exploration à effectuer autour de la Terre, avec des orbites passant par les pôles. L'appareillage pourrait être tout à fait identique à celui utilisé à bord des Rockoons.

6 — Rayonnement corpusculaire

On sait que les observations spectroscopiques de MEINEL sur l'élargissement de la raie $H\alpha$ des aurores polaires a permis de mesurer l'énergie des protons incidents. Celle-ci serait de 0,5 Mev pour des protons atteignant 100 kilomètres, 2,5 Mev pour ceux atteignant 80 kilomètres. Au moment d'une aurore intense, on devrait s'attendre à rencontrer 10^8 protons/cm²/sec. Ces données ont permis à W. H. BENNETT de prévoir une chambre d'ionisation pour étudier la distribution du flux de protons autour du globe. Cette chambre serait disposée sur le bord du satellite; elle comporte une rangée de trous disposés en demi-cercle sur son extrémité hémisphérique. Un écran absorbant ayant la forme d'un demi-tore, en nichel, d'épaisseur variable, tourne de manière que l'absorption varie en dents de scie. Un émetteur de rayons α permet un étalonnage en vol et on obtient ainsi le nombre de protons capables de traverser l'absorbante en chaque point de la dent de scie.

Ce rayonnement corpusculaire nous amène au rayonnement cosmique.

7 — Rayonnement cosmique

Un des problèmes les plus intéressants à l'heure actuelle concernant le rayonnement primaire est de déterminer l'abondance relative des noyaux de lithium, beryllium et bore par rapport aux noyaux lourds. Il y a

en effet un désaccord flagrant entre les résultats spectroscopiques et ceux relatifs au rayonnement cosmique dans la haute atmosphère.

A bord des ballons, J. VAN ALLEN a déjà utilisé dans ce but le détecteur de CERENKOV (fig. 5), dont les résultats sont susceptibles d'être transmis par télémesure. Malheureusement le temps passé par les ballons dans la haute atmosphère était bien trop court pour avoir suffisamment de noyaux lourds.

Mais le problème le plus important est celui de la distribution dans l'espace et dans le temps du rayonnement cosmique. Une approche déjà sérieuse en a été faite par J. VAN ALLEN avec ses rockoons tirés en des points de latitude élevée. Ses résultats sont résumés sur la figure 6. L'appareillage n'est pas compliqué: un simple compteur tubulaire de Geiger dont les indications sont

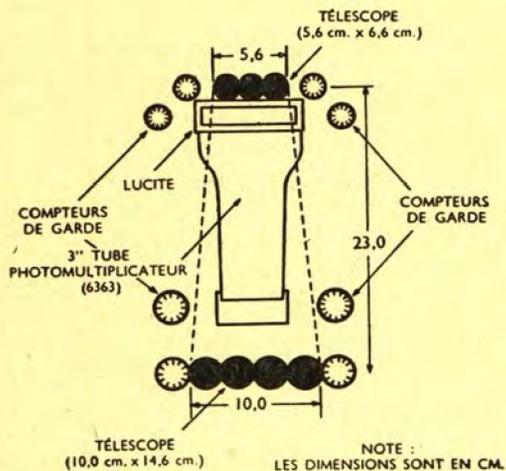


Fig. 5 — Détecteur de Cerenkov pour mesurer en altitude l'intensité des noyaux lourds.

transmises par télémesure. On pourra ainsi enregistrer les fluctuations de l'intensité du rayonnement cosmique, plus importantes en altitude qu'au sol. On verra comment ces fluctuations dépendent de la latitude géoma-

gnétique et à quels autres phénomènes géophysiques et solaires elles sont liées.

On espère ainsi déceler les zones d'impact solaire sur la Terre. Et la simple dépendance de la latitude de la fraction fluctuante donnera une mesure du spectre de rigidité des particules responsables de la fluctuation.

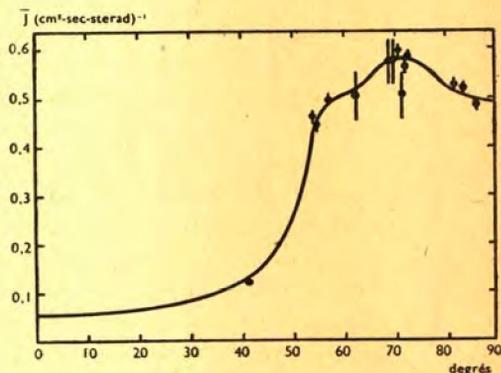


Fig. 6 — Intensité des rayons cosmiques au dessus de l'atmosphère en fonction de la latitude géomagnétique.

Non seulement il sera possible d'interpréter les nombreux résultats recueillis au sol pendant l'A. G. I., mais la radiation primaire sera beaucoup mieux connue.

8 — Camp magnétique terrestre

Il faudra mesurer parallèlement le champ magnétique terrestre, et cela permettra d'expliquer le rôle de spectrographe de masse que joue la Terre vis-à-vis des rayons cosmiques chargés.

Jusqu'ici on n'avait mesuré le champ en altitude qu'à bord d'un Aerobee et trouvé qu'à condition de tenir compte des anomalies de surface, il y avait accord avec la loi de l'inverse cube.

Les mesures du champ magnétique total au-dessus des régions fortement ionisées de la haute atmosphère présentent un intérêt certain. Elles permettent de répondre aux questions concernant les orages magnéti-

ques et autres perturbations, certaines théories malgré le grand renom de leurs auteurs étant encore controversées.

J'ai eu déjà l'occasion de décrire plusieurs fois le magnétomètre à résonance magnétique nucléaire déjà utilisé à bord d'Aerobees.

A bord d'un satellite, cet instrument permettrait d'obtenir la distribution spatiale du champ magnétique à l'intérieur de l'ionosphère et de l'exosphère, d'estimer la distribution spatiale et l'altitude des systèmes de courants électriques qui circulent à travers l'ionosphère et au delà, par comparaison avec les résultats des mesures au sol. Il est difficile d'exposer les travaux possibles dans ce domaine à partir de la connaissance complète de la distribution spatiale et dans le temps, du champ magnétique en altitude. Nous avons jusqu'ici bâti des représentations des phénomènes à partir de nos seules connaissances à l'altitude zéro : nous devons nous attendre à des surprises.

Qu'il s'agisse des mesures dans le domaine du magnétisme, des rayons cosmiques, etc, on aperçoit l'intérêt qu'il y a à avoir une trajectoire du satellite passant par les pôles géomagnétiques.

II — Expériences indépendantes des instruments de bord

1 — Détermination de la densité de l'air

L'étude du mouvement du satellite permet d'atteindre la densité du milieu dans lequel il se propage. En effet, la force retardatrice qu'oppose l'air de densité ρ à un satellite de section efficace A , se déplaçant à la vitesse v est :

$$F = \rho \cdot A \cdot v^2$$

Considérons d'abord le cas le plus simple d'une *orbite circulaire*. La trajectoire sera une spirale. La variation d'énergie pendant une révolution est donnée par :

$$\Delta W = -2\pi r F$$

r étant le rayon de l'orbite.

Si la masse du satellite est M , l'énergie totale = $\frac{1}{2} M v^2$.

On peut calculer la variation relative de période pour une révolution, on trouve que :

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{3 \Delta W}{2W} = \frac{6\pi r A \rho}{M}$$

Si l'on prend un satellite de 10 kilogrammes, dont la section efficace soit 3.10^5 centimètres carrés se déplaçant à une altitude de 300 kilomètres et si l'on prend la valeur la plus probable de ρ : $4,10^{-15}$ g/cm³, on trouve pour une seule révolution $\frac{\Delta P}{P} = 1,7 \cdot 10^{-5}$.

Si on effectue un calcul d'erreurs, on voit que si la précision relative, obtenue après 10 révolutions sur la mesure de P est 10^{-6} , la densité moyenne sera déterminée à quelques p. 100 près. Il sera même possible de mettre en évidence des fluctuations de densité de l'ordre de 10 p. 100.

Si l'on considère le cas réel d'une *orbite elliptique*, on pourra utiliser deux méthodes :

1° examiner la perturbation de l'orbite pendant une seule révolution ;

2° procéder comme ci-dessus.

Pour la première méthode, il faudrait disposer d'observations astronomiques, suffisamment précises, ce qui est tout à fait possible.

Quant à la deuxième méthode, L. SPITZER a donné les calculs qui à partir des variations du grand axe et de l'excentricité, permettent de déterminer la densité entre le périégée et l'apogée. Ils sont un peu compliqués pour être exposés ici.

Pour être complet, je dois signaler que JASTROW et PEARSE ont montré que le ralentissement du satellite provient non seulement des collisions avec les atomes ou

molécules, mais aussi des pertes électrostatiques dues au passage d'une sphère chargée dans un milieu ionisé. Les deux effets sont à peu près du même ordre de grandeur à l'altitude de 500 kilomètres.

2. — Distribution ionique

Le Ballistic Research Laboratory a développé un radiothéodolite qui permet si le satellite émet une onde sinusoidale pure de déterminer sa trajectoire. Deux récepteurs sont situés à chaque extrémité d'une base. Les deux récepteurs mesurent la différence de phase entre les deux ondes reçues. Si la fréquence est suffisamment élevée pour ne pas être affectée par l'ionosphère, cette différence de phase est fonction de l'azimut et de la hauteur de l'émetteur. Quatre récepteurs placés aux 4 coins d'un carré fournissent à la fois l'azimut et la hauteur de l'émetteur.

Deux carrés disposés à chaque extrémité d'une base suffisamment longue donnent 4 angles, c'est-à-dire une surabondance de données pour déterminer la trajectoire par rapport à la base.

Deux sortes d'informations peuvent être obtenues : les données sur la phase fournissent la position du satellite. Mais l'installation d'un émetteur de référence au sol permet d'atteindre la vitesse radiale par la mesure de l'effet DOPPLER. (Il faut pour cela un filtrage après détection et opérer sur une bande très étroite: 1 c/s). Pour l'effet DOPPLER des filtres à bande relativement large sont nécessaires.

Si maintenant la fréquence de l'émetteur est telle qu'elle soit affectée par l'ionosphère, la vitesse de phase est modifiée, si bien que l'effet DOPPLER mesuré différera de celui obtenu en l'absence d'ionosphère ou avec une fréquence non affectée par l'ionosphère.

L'importance de cette différence dépend de la vitesse radiale, de la fréquence de

l'émetteur et de la distribution des charges électriques dans l'ionosphère. Si donc on connaît la vitesse radiale, en utilisant la fréquence non affectée par l'ionosphère, il est possible de déduire la distribution électronique.

Une méthode complète de calcul a été mise au point par W. BERNING.

Il y a toutefois quelques difficultés. La fréquence de l'émetteur n'est peut-être pas suffisamment stabilisée. Aussi faut-il la déterminer par comparaison à la fréquence de référence aux instants où la vitesse radiale est nulle.

Cette méthode est donc applicable avec les deux fréquences 20 et 40 Mc/s émises par les «Spoutnik».

3. — Nombre total des charges

Il est possible de déterminer aussi la densité électronique intégrée le long du parcours satellite-observateur terrestre: nombre d'électrons contenus dans une colonne cylindrique de section droite unité.

On peut pour cela utiliser le fait suivant: une onde polarisée rectilignement, de fréquence suffisamment élevée qui traverse l'ionosphère se dédouble en deux ondes polarisées circulairement en sens opposés et qui se propagent avec des vitesses différentes. Ces deux ondes sont équivalentes à une onde polarisée rectilignement, dont le plan de polarisation tourne. HATANAKA a montré que la rotation θ est donnée par :

$$\theta = 2,97 \cdot 10^{-2} \cdot H \cdot f^{-2} \cos \theta \int N dr$$

où N est la densité ionique

dr l'élément de parcours

H le camp magnétique terrestre

θ l'angle du champ magnétique terrestre avec la direction de propagation

f la fréquence de l'onde transmise.

*Le tableau donne l'ordre de grandeur
de la rotation*

f	θ
200 Mc/s	6 rad.
400 —	86°
800 —	21°5

L'orientation du plan de polarisation du signal reçu peut être déterminé à l'aide de deux antennes de réception polarisées circulairement et d'un déphaseur permettant de faire varier d'une façon continue la phase des signaux captés par les deux antennes. On amène sur un oscillographe cathodique la sortie du détecteur sur les plaques verticales et le déphaseur sur le balayage horizontal. Cela permet un enregistrement photographique.

Pour un lieu donné du globe, il sera possible de déterminer le nombre d'ions par unité de surface compris entre le sol d'une part et d'autre part les altitudes allant du périégée à celle de l'apogée. Si on connaît par un sondeur classique utilisant la méthode des échos la distribution ionique en fonction de l'altitude jusqu'au maximum d'ionisation de F_2 , on aura ainsi le moyen d'atteindre les couches situées au-dessus de ce maximum, plafond habituel des méthodes classiques.

Conclusion

Je vais devoir m'arrêter là dans mon énumération des travaux possibles à l'aide des

satellites artificiels. On a même proposé d'étudier la distribution verticale de l'ozone qui est plus aisée avec des moyens moins puissants: un simple ballonsonde ou une fusée Monica. J'ai limité volontairement mon exposé aux utilisations géophysiques et encore n'ai-je pas parlé de la mesure de l'aplatissement de la Terre, étant seulement un spécialiste de l'atmosphère.

Mais au point de vue de la physiologie, l'intérêt est au dire des spécialistes très grand, ce qui expliquerait le sacrifice de Leika.

Et puis il y a l'intérêt astronautique, mais là c'est un domaine si vaste et si digne d'intérêt qu'il mériterait à lui seul toute une conférence.

Je me suis volontairement limité au point de vue de ma spécialité. S'il est une conclusion que l'on peut tirer, c'est que l'envoi d'un seul satellite mériterait que les scientifiques de toutes les nations participent aux études qu'ils peuvent faire, connaissant seulement les fréquences émises. Cela aurait été une belle tâche pour le Comité d'Organisation de l'A. G. I. de discuter des trajectoires, des lieux d'observation, de la mise en commun des résultats. Ce faisant les Spoutnik et autres Pamplemousse n'auraient plus pour conséquence de désunir les hommes, mais de les unir pour le plus grand bien de la science.

(*) No n.º 68-69 disse-se ser propósito da Gaz. de Mat. informar os Leitores, na medida do possível, sobre determinados problemas que surgiram recentemente relacionados com as realizações do Ano Geofísico Internacional. O presente artigo é a reprodução duma Conferência subordinada ao mesmo título, feita pelo Professor de Física da Atmosfera, da Universidade de Paris, ETIENNE VASSY, no Palais de la Découverte em Paris. Pelas démarches realizadas e facilidades concedidas para a presente reprodução, a Gaz. Mat. manifesta profundo reconhecimento a M. M. ANDRÉ LÉVEILLÉ, Director do Palais de la Découverte e ETIENNE VASSY.