

# La sensibilité de la haute atmosphère de la Terre

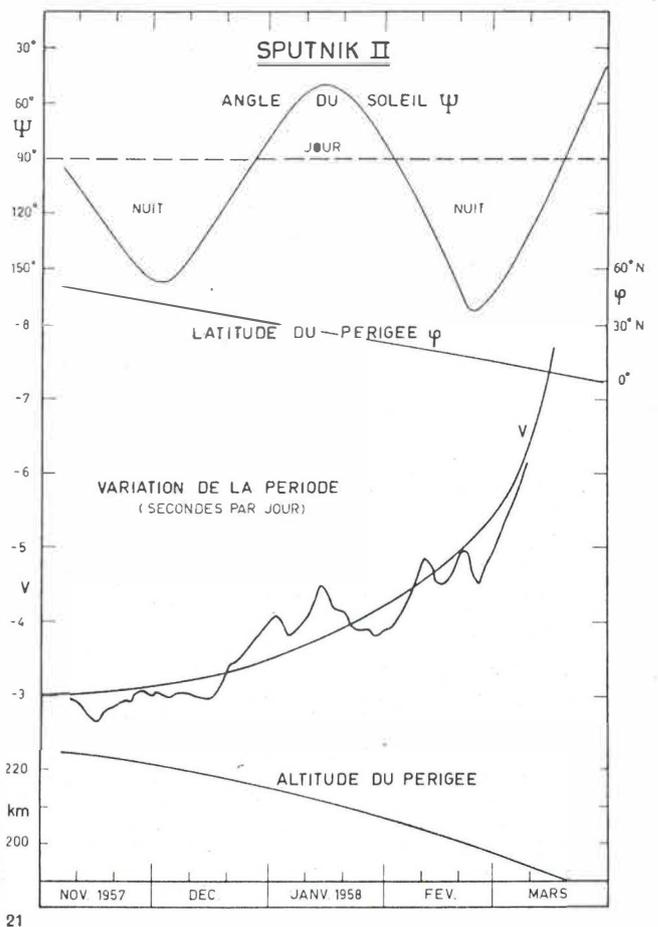
M. Nicolet

Directeur du Centre national belge des recherches spatiales

Les irrégularités qui se manifestent dans la variation de la période de rotation des satellites artificiels autour de la Terre sont essentiellement dues aux conditions physiques variables dans la haute atmosphère. Rappelons tout d'abord que le freinage d'un satellite dont les dimensions, la forme et la masse sont spécifiées (coefficient de freinage), dépend de la densité de l'atmosphère au voisinage du périgée de son orbite elliptique. Cependant, même si nous ne connaissons pas exactement le coefficient de freinage, nous pouvons, par comparaison des périodes orbitales, déduire les variations de la densité. Il suffit en effet de prendre le rapport de deux périodes pour trouver la variation de la densité. Par exemple, si d'un jour à l'autre la diminution de la période d'un satellite est passée de 1 seconde à 1 1/2 seconde, on peut dire que la densité a augmenté de 50 %. En principe, il suffit d'observer la variation de la période des satellites dont les périgées sont situés à diverses altitudes pour déterminer la variation de la densité en fonction du temps. On peut ainsi obtenir de véritables échelles de variation de la densité à diverses altitudes en déterminant la durée de période de satellites dont les périgées s'échelonnent à diverses hauteurs. Il s'agit donc de rechercher quelles sont les raisons de ces variations ou, en d'autres termes, de déterminer les conditions physiques associées à ces variations et d'explorer ainsi les nouveaux domaines que nous offre le sondage spatial.

L'Observatoire astrophysique de la Smithsonian Institution à Cambridge (Massachusetts), a publié<sup>1</sup> des données sur les orbites de la plupart des satellites lancés depuis 1957, et on

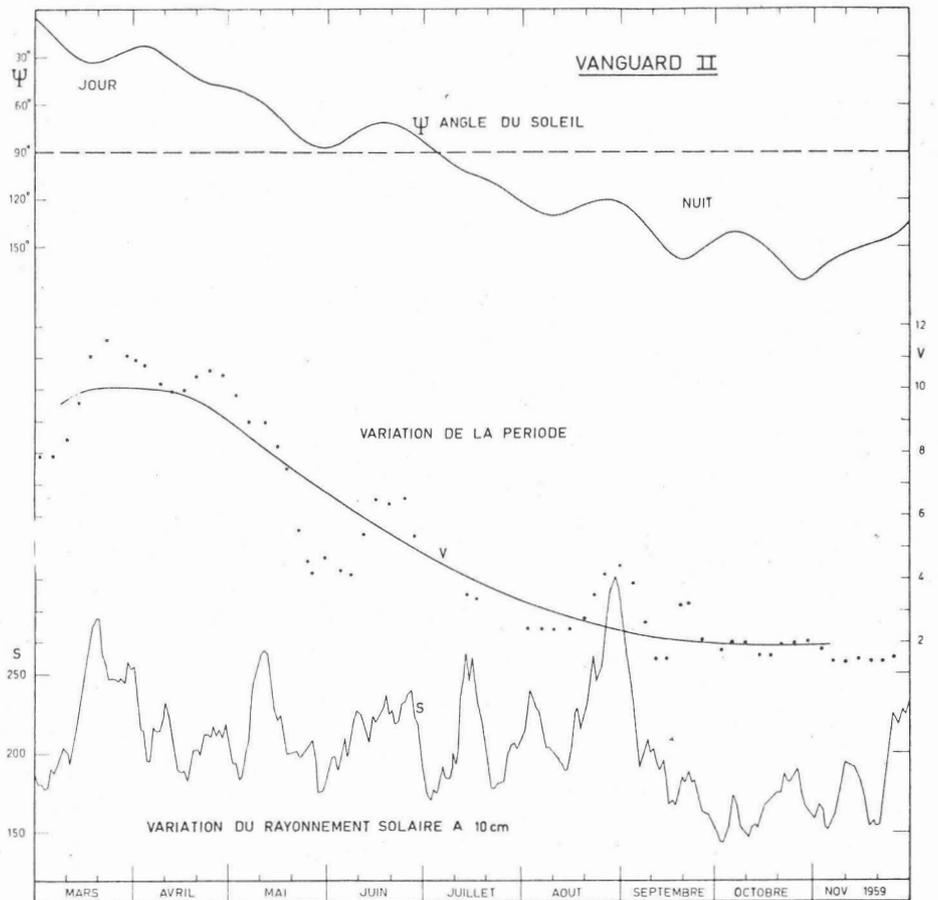
<sup>1</sup> Smithsonian Institution, Astrophysical Observatory, Research in Space Science, Special Reports.



peut trouver dans ces publications tous les exemples de variations que subit la haute atmosphère.

Si nous considérons en premier lieu le Spoutnik II (satellite 1957  $\beta$ ) lancé en novembre 1957 et retombé en avril 1958, nous voyons, par la figure 21, que son périgée, de l'ordre de 225 km au début de novembre, a diminué de manière continue pour atteindre moins de 190 km à la fin du mois de mars. Cette descente se manifeste par la variation de la période, diminuant de 3 secondes par jour en 1957 jusqu'à plus de 7 secondes à partir du 15 mars 1958. Cette diminution de la période correspond à l'accroissement de la densité de l'atmosphère lorsqu'on passe de 225 km à 190 km. Elle traduit également l'effet de latitude du périgée se rapprochant de la Terre lorsqu'on passe de 60° nord à l'équateur, puisque la Terre a une forme ellipsoïdale en première approximation. Cependant, la variation de la période représentée sur la figure 21 montre qu'il y a des fluctuations de part et d'autre d'une courbe continue. En considérant qu'au cours des 5 mois envisagés, le périgée passe d'une atmosphère nocturne à une atmosphère éclairée par le Soleil pour revenir à l'atmosphère nocturne, on a nettement l'impression que l'atmosphère est plus dense pendant le jour que pendant la nuit. Cet effet diurne se manifeste clairement lorsqu'on envisage des satellites dont le périgée est situé à plus haute altitude.

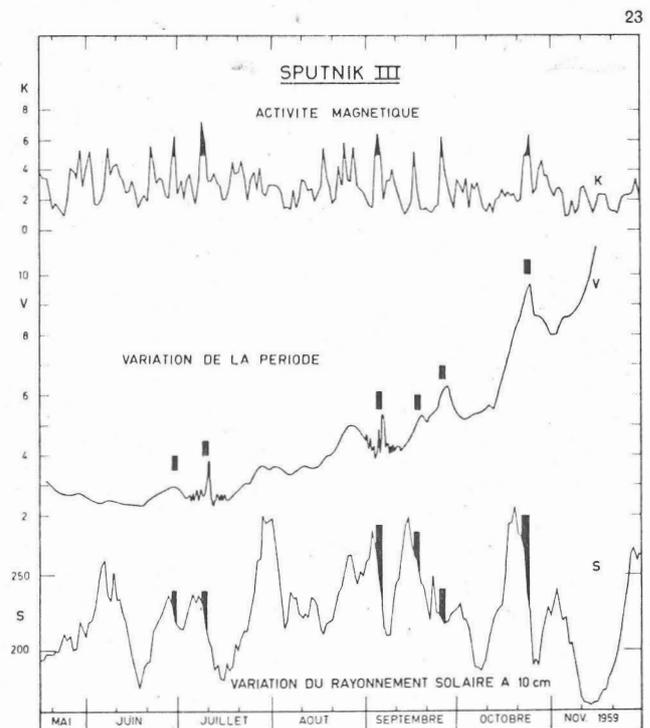
Le Vanguard II (satellite 1959  $\alpha_1$ ), dont le périgée s'est maintenu aux environs de 550 km de mars à novembre 1959, démontre qu'il existe un effet diurne très important. La variation de la période représentée sur la figure 22 a diminué d'un facteur 4, au moins, de mars-avril à septembre-octobre, tandis que le périgée est passé de l'atmosphère éclairée par



22

le Soleil à l'atmosphère nocturne. Ceci signifie que la densité de la haute atmosphère au-delà de 500 km peut, au cours de la nuit, être réduite à moins d'un quart de sa valeur diurne. On notera toutefois que des fluctuations par rapport à une courbe continue apparaissent très nettement. Lorsque parallèlement on compare ces fluctuations à celles subies par le rayonnement solaire et concrétisées sur la figure 22 par le rayonnement émis à 10 cm, on s'aperçoit de la similarité des variations. Les maxima du rayonnement solaire peuvent être assimilés aux maxima de la variation orbitale du satellite. On découvre ainsi une autre variation de la densité de la haute atmosphère, liée cette fois à l'activité propre du Soleil. Ces deux effets sur la densité de l'atmosphère au-delà de 200 km, à savoir l'effet diurne et l'effet se manifestant d'un jour à l'autre, traduisent les conséquences directes du chauffage par rayonnement solaire ultraviolet, et sa variation. En premier lieu, le chauffage par le Soleil de la partie de l'atmosphère qu'il éclaire provoque une augmentation de la température, qui redescend au cours de la nuit. En second lieu, le degré d'échauffement dépend essentiellement de l'activité du Soleil, que l'on peut repérer par différents indices comme ses taches ou son émission décimétrique. Afin de clore, pour cet article, la description des observations des variations de la période des satellites artificiels de la Terre, rappelons les observations du Spoutnik III (satellite 1958  $\delta_1$ ), que la figure 23 représente. On retrouve encore les variations de la période du satellite et celles du rayonnement solaire comme aux figures précédentes. Cependant, on peut noter des maxima caractéristiques très prononcés en juillet et en août 1958, par suite d'une résolution très poussée dans les observations. Ces maxima doivent encore être associés à un effet

de chauffage par le Soleil. La courbe d'activité magnétique représentée par un indice, appelé indice K par les géomagnéticiens, traduit les perturbations se manifestant dans le champ magnétique terrestre lorsque des particules sont



23

expulsées du Soleil. Le résultat pour l'atmosphère est un chauffage anormal de ses hautes couches et, par suite, un accroissement de la densité dû à une augmentation anormale de la température.

Si l'on tient compte des lois de la distribution des gaz dans le champ de la pesanteur, on peut déterminer la relation entre la température et la densité ou la pression, ainsi que l'indique l'article « Au fort des densités de l'atmosphère terrestre » publié dans le numéro 6 de *L'Homme et l'Espace*. Le résultat des calculs est présenté à la figure 24, où l'on voit comment la pression diminue avec l'altitude entre 150 km et 1500 km lorsque les températures atteintes dans l'atmosphère supérieure sont comprises entre 500 et 1850 degrés centigrades.

Tout d'abord, la première courbe *M* conduisant aux pressions les plus élevées représente l'atmosphère éclairée par le Soleil à un moment où son activité fut particulièrement forte, c'est-à-dire au cours du mois d'octobre 1958. A ce moment-là, la température de la haute atmosphère atteint 1850 degrés centigrades, et les accélérations de tous les satellites acquièrent d'ailleurs leurs valeurs maxima. On voit que les pressions maxima avaient les valeurs suivantes :  $10^{-7}$  mm de mercure à 400 km,  $10^{-9}$  à 1000 km et encore  $10^{-10}$  à 1500 km. Les conditions moyennes représentant une forte activité solaire pendant le jour peuvent être similaires à celles que fournit la courbe 1, correspondant à une température moyenne de 1500 à 1600 degrés centigrades. Les conditions correspondantes pendant la nuit sont fournies par la courbe 5, pour laquelle la température est de 1000°. On voit donc que le passage des conditions diurnes aux conditions nocturnes entraîne une diminution de température de l'ordre de 500°. Ceci se traduit par une variation prononcée de la pression entre le jour et la nuit d'environ un facteur dix vers 1000 km. Cette variation de la pression correspond à celle que traduit la variation de la période d'un satellite lorsque son périégée passe de l'atmosphère éclairée par le Soleil à l'atmosphère de nuit.

A la fin de 1960, l'activité solaire a fortement diminué, et les températures diurnes et nocturnes se sont abaissées par

rapport à celles de 1958. La courbe 3 peut être considérée comme typique des conditions de jour pour lesquelles la température est de l'ordre de 1150° à quelque 50 degrés près. Dans ce cas, les conditions nocturnes sont encore représentées par une forte diminution de la température, de l'ordre de 400°, c'est-à-dire par des pressions intermédiaires entre celles que représentent les courbes 7 et 8. On voit combien la pression a diminué dans toute la haute atmosphère au cours des deux dernières années. Cette diminution, relativement faible aux environs de 200 km s'accroît de plus en plus avec l'altitude.

Après avoir suivi les variations de la pression en fonction de la variation de l'activité solaire, tout en considérant l'importante variation diurne, on imagine aisément que toute perturbation solaire peut accroître le chauffage de l'atmosphère. C'est pourquoi l'accroissement de la pression lors des perturbations magnétiques explique l'augmentation brusque de la période des satellites.

S'il existe une diminution indubitable de la pression à partir du maximum de 1958, par suite de la décroissance générale de la température dans la haute atmosphère, on peut conclure que vers le minimum du cycle solaire, les températures et pressions seront relativement basses. C'est pourquoi l'on a tracé, à la figure 24, les courbes 10 et 11 qui prédisent les conditions auxquelles on devrait s'attendre en 1964-1965, prochain minimum prévu de l'activité solaire.

En terminant, l'on peut se poser diverses questions parmi lesquelles celle de l'origine des mécanismes du chauffage et du refroidissement de la haute atmosphère. On peut y répondre brièvement en indiquant que l'absorption de l'ultra-violet solaire règle le chauffage et que la conduction de la chaleur détermine le refroidissement. Toutefois, une explication détaillée exigerait de longs commentaires qui dépasseraient le cadre de ce bref article. Quant à la question relative aux autres planètes du système solaire, on peut dire qu'il n'est pas possible d'extrapoler simplement les résultats obtenus pour l'atmosphère terrestre, car la rotation et la composition chimique d'une planète déterminent les conditions physiques de son atmosphère.

