

VARIATIONS DES DENSITES ATMOSPHERIQUES ENTRE 140 ET 200 KM

C.JAECK, C.MEYER

Observatoire de Paris, Meudon, France

J.L.PIEPLU

Division Mathématique du C.N.E.S., Paris, France

J.VERCHEVAL

Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

Abstract: Decaying satellite observations (66.51.B – 66.51.C) have permitted the determination of a lot of densities, their comparison with solar activity. Every geomagnetic event is correlated with a density variation about fifteen per cent greater than the predicted one. Though it is not easy to separate solar flux risings off other effects and, though some anomalies have been pointed out in some cases, the correlations exist and are valued by the model at about ten per cent under the reality. The semi-annual effect exists at 160 km high and remains important. Density curves and Jacchia's bring together at the epoch of minimum and deviate regularly till the maximum of the effect. Comparisons are made with other author's densities.

1. Introduction

Au cours du Cospar 1967, nous avons présenté une première étude sur le satellite 66.51 C. Depuis, nous avons pu obtenir des observations journalières corrigées de certaines erreurs systématiques pour ce satellite ainsi que de nouvelles observations pour 66.51 B sur les périodes 25 Octobre 1966 – 12 mars 1967 et 18 mai 1967 – 6 juillet 1967.

D'autre part, J.Vercheval a bien voulu reprendre nos déterminations de densités et en faire l'analyse parallèlement à nous-mêmes. Nous le remercions et nous présenterons ici l'ensemble des travaux.

Dans le dépouillement de ces observations, nous nous sommes fixé comme but l'étude des variations de densités entre 140 et 200 km, ainsi que la comparaison de nos résultats avec ceux fournis par les modèles Jacchia 1965 et 1968. Pour cela nous avons défini un facteur multiplicatif à apporter aux densités données par ces modèles pris comme référence. L'analyse des résidus obtenus permet de tirer des conclusions au point de vue corrections des effets géomagnétiques, flux solaire, semi-annuel et des effets de latitude, jour-nuit et de saison.

Sur les courbes ci-jointes nous avons porté: les valeurs de flux solaire sur 10,7 cm; les valeurs des indices géomagnétiques journaliers; les valeurs des densités réduites à une altitude constante de 180 km; les valeurs du facteur multiplicatif.

2. Résultats

2.1. Evénements géomagnétiques

Comme l'indique la figure 1, les corrélations avec l'activité géomagnétique existent et sont sous-estimées par le modèle. Les rapports des densités observées aux instants des maxima et des minima des événements et ceux des densités déduites du modèle aux mêmes instants présentent des écarts de l'ordre de 10 à 15%. Ce résultat confirme celui que nous avons déjà donné il y a deux ans [1].

Date	Rapport théorique	Rapport observé
30,3 - 10 - 66	1,09	1,17
1,6 - 11 - 66		
27,5 - 11 - 66	0,98	1,13
30,1 - 11 - 66		
23,5 - 05 - 67	0,88	1,24
26,5 - 05 - 67		
28,5 - 05 - 67	0,95	1,10
29,5 - 05 - 67		
04,5 - 06 - 67	0,99	1,25
06,4 - 06 - 67		

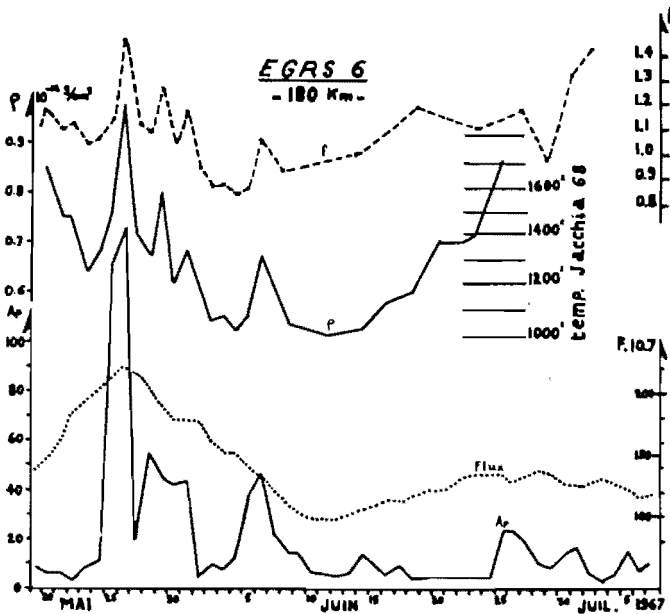


Fig. 1.

2.2. Evénements de flux solaire

Ces événements sont beaucoup plus délicats à analyser. En effet, il n'est pas aisé de les isoler d'autres phénomènes qui peuvent se superposer à eux: activité géomagnétique, effet jour-nuit, effet semi-annuel. Il sera donc nécessaire d'accumuler d'autres données pour généraliser les conclusions obtenues au cours de cette étude. Nous pouvons cependant faire certaines remarques.

Sur la figure 1 nous observons mi-juin 67 une nette augmentation du facteur multiplicatif corrélée avec une montée du flux solaire. Le même phénomène se retrouve début mars pour 66 51.C (fig. 2).

Dans ces deux cas nous devons noter que l'activité géomagnétique est très faible. L'écart avec le modèle est d'environ 10%.

Date	Rapport théorique	Rapport observé
25,3 - 02 - 67	0,90	1,24
4,8 - 03 - 67		
11,7 - 06 - 67	1,27	1,43
23,6 - 06 - 67		

Toutefois entre le 25 février 1967 et le 5 mars 1967, le satellite était en voie de chute; les valeurs des densités présentent des variations aléatoires rendant difficiles les études. Au lieu des valeurs instantanées nous avons donc pris des valeurs lissées des densités. D'autre part, entre le 11 juin 1967 et le 25 juin 1967, il ne faut pas perdre de vue que l'angle géocentrique péricée-soleil passe de 100° à 40° , d'où une augmentation prévisible de la densité.

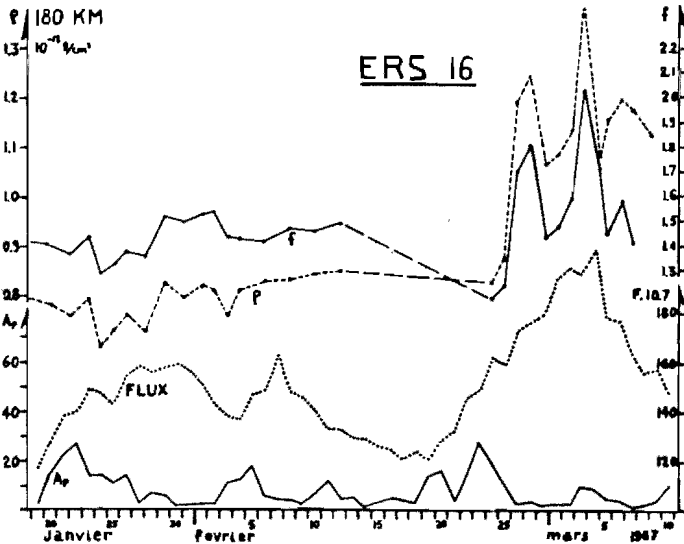


Fig. 2.

Enfin l'analyse d'autres événements montre que la réalité paraît plus complexe. Ainsi, fin mai 1967 (fig. 1) l'événement présente une particularité intéressante: les densités décroissent très sensiblement ($0,125 \times 10^{-11}$ à $0,107 \times 10^{-11}$) alors que le flux varie en 7 jours de 145 à 219. Pour cette même période les valeurs du rayonnement X sur 1–8 et 8–20 Å subissent également une forte augmentation. Nous ne pouvons pourtant pas affirmer qu'il n'y a pas de corrélation avec le flux solaire. En effet, l'absorption du rayonnement X corrélée avec le flux solaire se fait aux environs de 110–150 km et par conséquent modifie les conditions de l'atmosphère. Mais il est possible que les mécanismes d'action soient différents et ne modifient pas les densités comme prévu (il ne peut y avoir variation que de certains paramètres de l'atmosphère). D'autre part, les effets peuvent se trouver en opposition de phase avec d'autres mécanismes qui les cachent, comme l'effet semi-annuel.

2.3. Effet semi-annuel

Cet effet s'observe parfaitement sur les satellites à périgée très bas comme cela a déjà été indiqué par plusieurs auteurs (par exemple King-Hele et Kingston, réf. [2]). La densité décroît régulièrement à partir de la fin d'octobre jusqu'en décembre (alors que le flux subit une augmentation non négligeable). Elle diminue d'environ 40% (fig. 3). L'effet jour-nuit ne doit pas jouer un rôle essentiel puisque l'angle géocentrique ψ soleil-périgée, varie peu et reste compris entre 120 et 150°. Entre le 12 décembre 1966 et la mi-janvier 1967, la densité remonte ce qui est en sens inverse de l'effet semi-annuel, mais l'angle ψ est aux environs de 35° et le flux solaire est passé de 125 à 140. La courbe lissée des densités passe par un minimum vers les 24–25 janvier, puis la densité augmente à nouveau bien que le flux solaire demeure constant et que l'angle ψ croit de 35 à 95. On peut donc penser que cette variation reflète l'effet semi-annuel.

Pour EGRS.6 nous notons une décroissance importante de la densité entre le 20 mai et le 14 juin (si l'on néglige les variations dues à l'activité géomagnétique) en phase avec l'effet semi-annuel. L'angle horaire varie peu au début mais la position du périgée passe de l'Equateur au Pôle Sud. L'angle ψ diminue rapidement au cours de cette période tout en restant supérieur à 110° (conditions nocturnes). L'anticorrélation avec le flux, observée fin mai, correspond à cette période de décroissance de l'effet semi-annuel. Elle peut s'expliquer par la prédominance de cet effet vis à vis des variations du flux moyen.

Par contre, du 14 au 25 juin on observe une remontée importante de la densité (de l'ordre de 45%) en opposition avec l'effet semi-annuel, tandis que le flux solaire monte légèrement et que l'angle ψ soleil-périgée, varie de 110 à 20°. L'amplitude de cette remontée paraît pouvoir être expliquée par ces deux phénomènes. Toutefois le 14 juin il y aurait peut-être un minimum secondaire (fait déjà mentionné par King-Hele) et une partie de la remontée pourrait être due à un mécanisme inconnu.

2.4. Effet jour-nuit, de latitude et de saison

Pour étudier ces effets, nous avons utilisé les valeurs de densités ramenées à une altitude constante de 170 km par J. Vercheval en adoptant des hauteurs d'échelle extraites d'un modèle de Nicolet pour des températures exosphériques comprises entre 900° et 1200°K. Pour les satellites étudiés, l'heure locale varie en général très peu sauf au Pôle où l'on observe une discontinuité. D'une façon imagée, on peut dire que le périgée monte ou

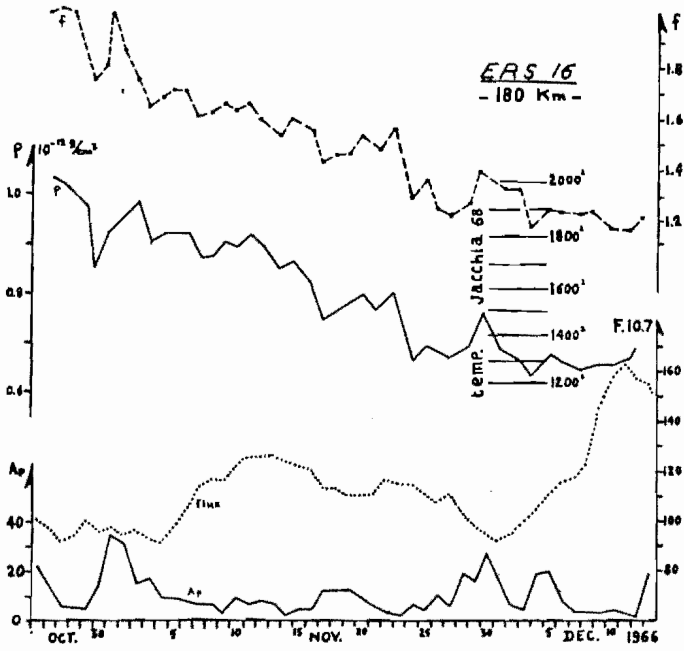


Fig. 3.

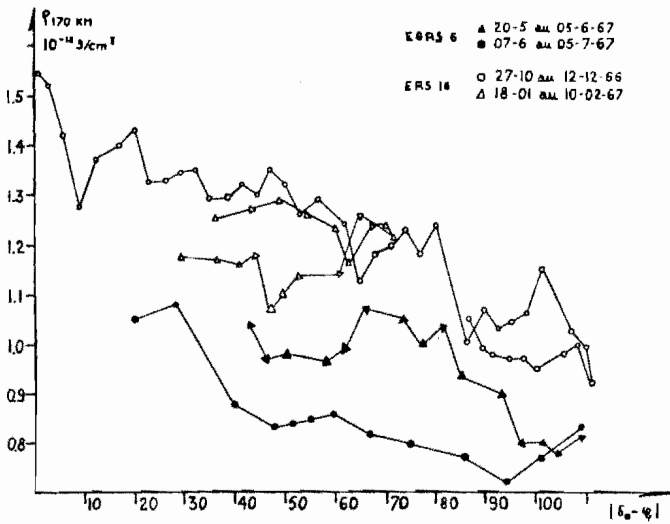


Fig. 4.

descend le long d'un méridien. La variation en latitude est par contre très importante et il s'en suit que l'angle géocentrique péricée-soleil varie beaucoup plus. L'effet jour-nuit semble se manifester au cours des deux périodes suivantes: du 12 décembre 1966 au 15 janvier 1967 et du 11 juin 1967 au 25 juin 1967. La figure 4 tracée par J.Vercheval tra-

duit, pensons nous, le fait de la décroissance de la densité le long d'un méridien lorsqu'on va de l'Equateur vers le Pôle. Par contre, nous ne pouvons mettre en évidence aucun phénomène saisonnier comme nous l'avons écrit dans un travail préliminaire [1]. Nous avons alors noté que la densité au Pôle hiver était très supérieure à celle du Pôle été. Cela était malheureusement dû à une erreur, dont nous nous excusons, sur l'altitude du périégée. Le fait était d'autant plus frappant que lorsque le satellite était au Pôle hiver, le flux solaire était seulement de 100 tandis qu'au Pôle été il était de 160. En réalité on observe, dans ce cas, qu'au Pôle hiver la densité est plus faible d'environ 10% qu'au Pôle été, mais comme le flux est beaucoup plus faible cela peut très bien s'expliquer en termes d'activité solaire. On ne peut donc rien conclure. Il est seulement possible de dire que l'effet de saison s'il existe ne doit pas être très important.

2.5. Relation densité température

Nous avons cherché quelle serait la température exosphérique, tirée des modèles de Jacchia [4,5], qui donnerait pour la date considérée la valeur de la densité observée. Les allures générales des courbes températures Jacchia 65 et 68 et températures déduites des densités observées sont identiques (fig. 5). Cependant nous devons remarquer que, pour interpréter l'amplitude des variations des densités observées ($0,5 \times 10^{-12}$ à $0,9 \times 10^{-12}$ par exemple) uniquement en terme de température exosphérique, il faudrait admettre des variations de l'ordre de 600 à 800°K. Ceci paraît physiquement impossible, même en période de grande activité solaire et géomagnétique, et en opposition avec les variations de densité aux altitudes supérieures à 250 km. Il paraît donc nécessaire d'utiliser des paramètres autres que la température exosphérique seule pour obtenir un modèle qui approche au plus près la réalité aux environs de 150 km.

2.6. Rotation de l'atmosphère

Les variations de l'inclinaison de l'orbite d'ERS.16, pendant les trois mois précédents sa chute, ont été utilisées pour donner une estimation de la rotation de l'atmosphère par

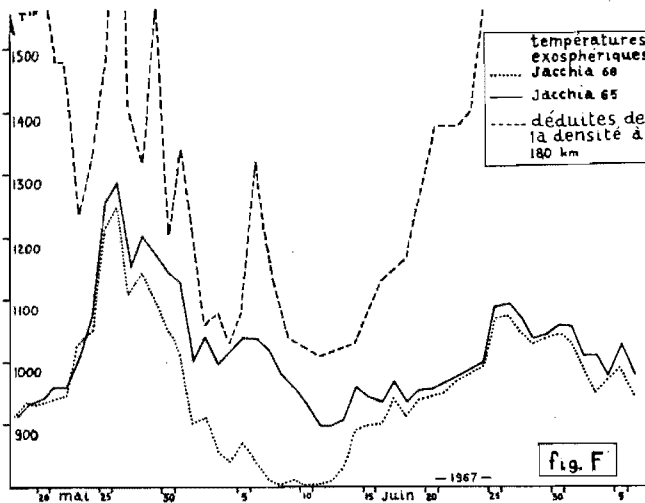


Fig. 5.

rapport à celle de la Terre. La méthode employée est celle décrite par King-Hele et Scott [3], elle fournit la valeur $1 \pm 0,1$ pour une altitude d'environ 170 km. Cette valeur est en bon accord avec celles données par King-Hele pour des altitudes comprises entre 150 et 200 km.

3. Conclusion

Il apparaît, en conclusion, que les modèles étudiés rendent compte de manière générale des réactions de l'atmosphère, mais les amplitudes des variations sont sous-estimées aux basses altitudes.

Bibliographie

- [1] F.Barlier and C.Meyer, (COSPAR, Londres, 1967).
- [2] D.G.King-Hele and J.Kingston, Air density at heights near 190 km in 1966 and 1967 from the orbit of Secor 6.
- [3] D.G.King-Hele and D.W.Scott, Planet. Space Sci. 14 (1966) 1339.
- [4] L.G.Jacchia, Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep. No. 170 (1965).
- [5] L.G.Jacchia, Modèle 1968.