

**Les implications des caractéristiques orbitales
du projet européen Kepler**

par J. VERCHEVAL (*)
Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

1. INTRODUCTION

Avec pour objectif la satellisation d'une sonde autour de la planète Mars, le projet Kepler, s'il devait être approuvé définitivement par l'Agence Spatiale Européenne, constituerait une contribution majeure de l'Europe à l'exploration planétaire.

L'objet de la mission pressentie est d'étudier la structure de l'atmosphère et de l'ionosphère de Mars, son bilan énergétique global, son champ gravitationnel, son champ magnétique et sa topographie plus particulièrement dans les régions polaires. La charge utile comporterait notamment des spectromètres de masse pour mesurer les gaz neutres et ionisés, un sondeur infrarouge, un magnétomètre, des détecteurs de particules et un altimètre-radar.

À la demande de l'Agence Spatiale Européenne, des études préliminaires ont déjà été entreprises en vue de définir la mission aux niveaux scientifique, technique et financier. Plusieurs groupes de chercheurs belges appartenant à l'Institut d'Aéronomie Spatiale, à l'Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège et à la Vrije Universiteit Brussel ont apporté leur contribution en proposant une série d'expériences. L'une d'elles consisterait à effectuer des mesures des constituants minoritaires de l'atmosphère martienne par spectrométrie d'absorption, dans le domaine visible, avec le soleil comme source. Cette note a pour objet de décrire les caractéristiques orbitales de la mission ainsi que leurs implications sur les conditions de déroulement

(*) Présenté par M. M. NICOLET.

des observations, plus particulièrement celles liées aux mesures spectrométriques projetées.

2. PROFIL DE LA MISSION

Sous la réserve d'un renoncement de l'ESA, la sonde Kepler sera lancée le 17 juillet 1988. L'insertion sur une première orbite aréocentrique interviendra le 9 janvier 1989 (fig. 1). L'orbite nominale aura une inclinaison de 92° par rapport au plan équatorial de la planète, avec un péricentre à 1000 km d'altitude et un apocentre à 33 250 km. La sonde séjournera 10 jours sur cette orbite, période nécessaire pour une détermination précise des éléments orbitaux.

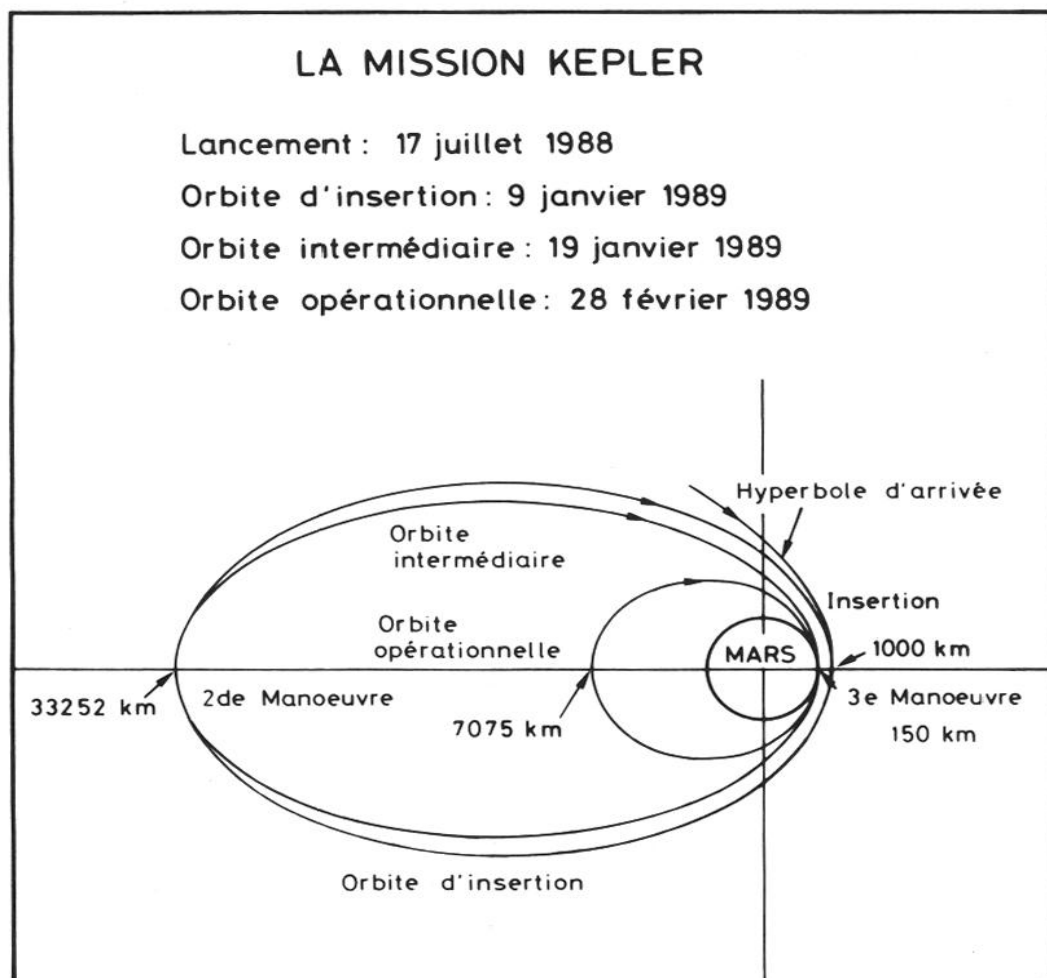


FIG. 1. — Profil de la satellisation de la sonde Kepler autour de Mars.

Le 19 janvier 1989, on procédera à l'abaissement de l'altitude du péricentre à environ 150 km. La nouvelle période orbitale sur cette orbite intermédiaire sera d'environ 24 heures, ce qui facilitera les opérations de poursuite à partir d'une même station terrestre. En réalité, l'importante excentricité de cette orbite conduira le péricentre à subir les effets des perturbations gravitationnelles solaires. Il conviendra d'en tenir compte pour obtenir un péricentre à l'altitude de 150 km en fin de séjour sur l'orbite intermédiaire. Par suite de la lente dérive du péricentre en latitude dû à l'aplatissement de la planète, quarante jours s'avèreront nécessaires pour entamer le début de la phase opérationnelle dans les conditions souhaitées, notamment en vue de permettre un passage du péricentre au-dessus du pôle Sud à l'époque des solstices.

Le 28 février 1989, par une rétro-manœuvre effectuée au péricentre, la sonde sera transférée sur l'orbite opérationnelle avec un péricentre maintenu à 150 km, un apocentre à 7075 km et une période orbitale de 298 minutes. La phase opérationnelle au cours de laquelle s'effectueront toutes les expériences aura une durée de l'ordre d'une période synodique de la planète (786 jours). Du fait que l'orbite sera soumise à diverses perturbations et notamment celles résultant de la résistance aérodynamique dans l'atmosphère martienne, plusieurs manœuvres s'avèreront nécessaires pour la maintenir dans les conditions nominales.

3. IMPLICATIONS GÉNÉRALES DE L'ORBITE NOMINALE

L'orbite opérationnelle adoptée donne lieu à des conditions expérimentales particulières que révèle l'examen de la figure 2 montrant les variations au cours de la mission du temps local au péricentre $(TL)_p$, de la déclinaison du Soleil δ_{\odot} et de la latitude du péricentre φ_p .

Les valeurs du temps local au péricentre sont approximativement centrées sur 6, 12, 18 et 24 heures. Les pentes quasi-verticales de la courbe $(TL)_p$ correspondent aux passages du péricentre aux pôles alors que les variations lentes autour des valeurs précitées sont dues essentiellement au mouvement du soleil en ascension droite, la précession du plan orbital étant très faible pour une inclinaison de 92° .

— Le mouvement du péricentre en latitude s'effectuera avec une période de 343,5 jours ; en d'autres termes, le péricentre accomplira

- deux révolutions autour de la planète au cours d'une année martienne de 687 jours.
- Les passages à l'équateur du péricentre surviendront à des temps locaux de 0 h, 6 h, 12 h et 18 h avec une tolérance de ± 1 heure dans le temps et de $\pm 15^\circ$ en latitude : il sera dès lors possible de procéder à des observations équatoriales susceptibles de mettre en évidence des effets diurnes pour des conditions saisonnières relativement similaires.
 - Les passages du péricentre au-dessus du pôle Sud auront lieu aux époques des solstices de sorte qu'une analyse des conditions y régnant aux saisons d'été et d'hiver sera permise.

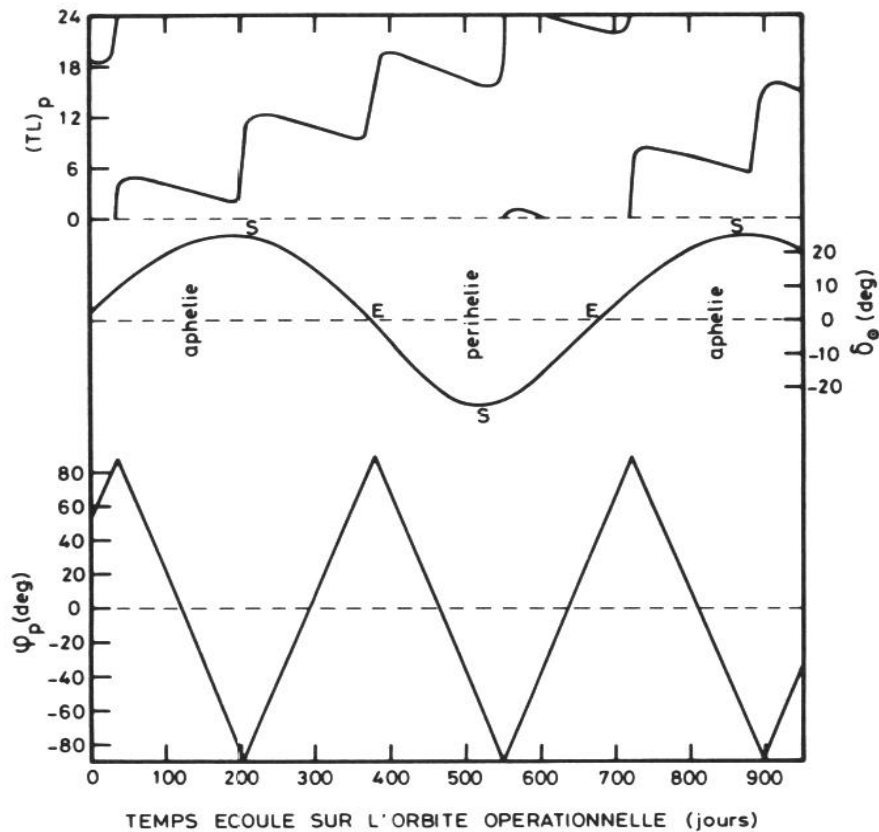
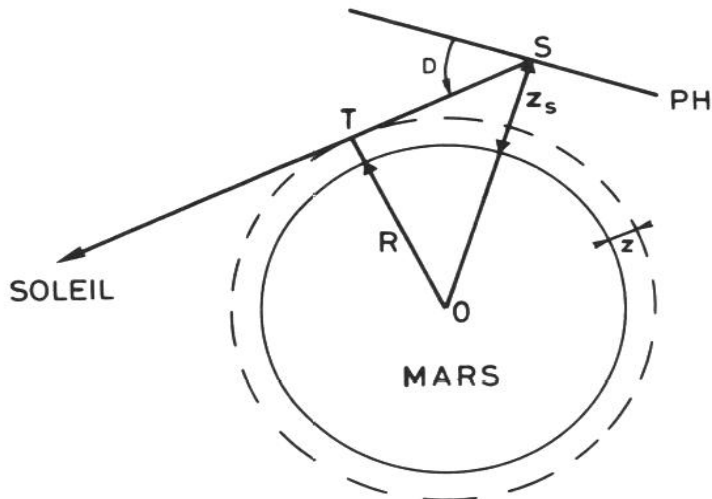


FIG. 2. — Variations, au cours de la mission, du temps local au péricentre $(TL)_p$, de la déclinaison du soleil δ_\odot et de la latitude du péricentre φ_p .

4. LES CONDITIONS GÉOMÉTRIQUES
LIÉES AUX OBSERVATIONS SPECTROMÉTRIQUES

Les mesures spectrométriques consisteront à viser le soleil au voisinage de la planète, c'est-à-dire aux moments de ses couchers et levers.

La figure 3 montre le rayonnement solaire capté par l'instrument et rasant la planète en un point T d'altitude z . Pour une valeur donnée de l'élévation solaire, le nombre de molécules atmosphériques absorbantes le long de l'axe de visée est déterminé à partir de l'absorption observée sur des raies spectrales caractéristiques du gaz étudié. Au lever ou au coucher du soleil, le trajet optique dans l'atmosphère est très long et la méthode atteint sa sensibilité maximale.



$$D = \arccos \left(\frac{R+z}{R+z_s} \right)$$

$$R = 3397 \text{ km}$$

$$0 < z < 200 \text{ km}$$

$$150 \text{ km} < z_s < 7075 \text{ km}$$

FIG. 3. — Géométrie liée aux mesures spectrométriques.

En admettant que Mars soit une planète sphérique de rayon R , la dépression solaire D sous le plan horizontal local est donnée par $D = \arccos \left(\frac{R+z}{R+z_s} \right)$ où $(R+z)$ et $(R+z_s)$ sont les distances aréo-centriques du point de tangence T et de la sonde S . Pour un balayage

de l'atmosphère entre 0 et 200 kilomètres ($0 < z < 200$ km), la dépression D prend les valeurs situées entre les deux courbes représentées à la figure 4. Ainsi, lorsque la sonde se trouve à proximité de son péri-centre, D varie entre 0 et 20° . Il convient de remarquer qu'une mesure à 200 km s'avère impossible quand la sonde se trouve à une altitude inférieure à cette valeur. Pour une altitude de plus en plus élevée, la dépression croît mais son domaine de variation se rétrécit.

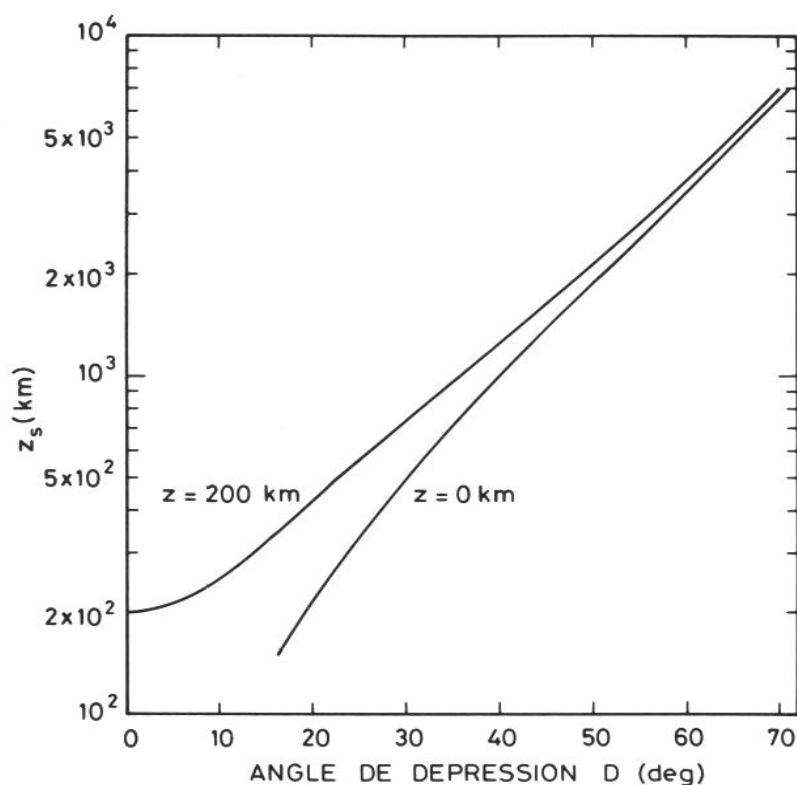


FIG. 4. — Variations de la dépression solaire D en fonction de l'altitude z_s de la sonde pour des observations se rapportant au niveau du sol ($z = 0$) et à une altitude $z = 200$ km.

Les périodes au cours desquelles les observations spectrométriques s'avèrent possibles sont apparentes à la figure 5 où sont reportées, en fonction du temps écoulé sur l'orbite opérationnelle, les altitudes correspondantes z_s de la sonde de part et d'autre du péri-centre, les dispersions associées résultant d'un balayage de l'atmosphère entre 0 et 200 km. On y distingue les observations effectuées aux couchers du soleil et celles relatives à ses levers. Il apparaît que la grande majorité des observations s'effectueront à partir d'une altitude z_s inférieure à 2000 km. La même figure montre quelques valeurs discrètes de la

durée des mesures Δt nécessaire pour un balayage de 0 à 200 km ; ayant adopté un pas de 14 jours, il apparaît que la répartition des valeurs n'est pas régulière au fil du temps ; dans certains cas, en effet, le balayage de l'atmosphère n'est que partiel, le domaine d'altitude entre 0 et 200 km ne pouvant être entièrement couvert par les observations.

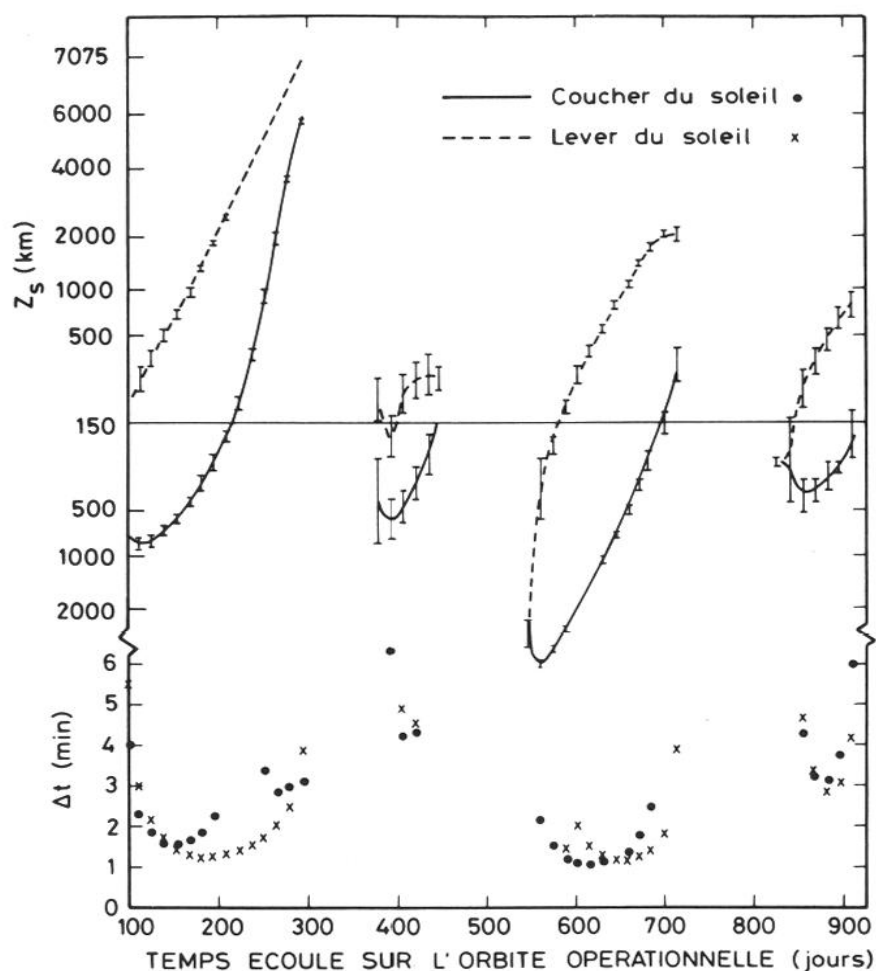


FIG. 5. — Altitudes de la sonde z_s , au cours des périodes propices aux observations spectrométriques et durées des mesures Δt pour un balayage de l'atmosphère entre 0 et 200 km.

Au centre de la figure 6, des traits horizontaux indiquent l'étendue des périodes propices aux mesures. On y montre également la courbe des variations de l'angle β , défini comme l'angle entre le rayon vecteur du soleil et le plan de l'orbite, et de l'angle γ représentant la

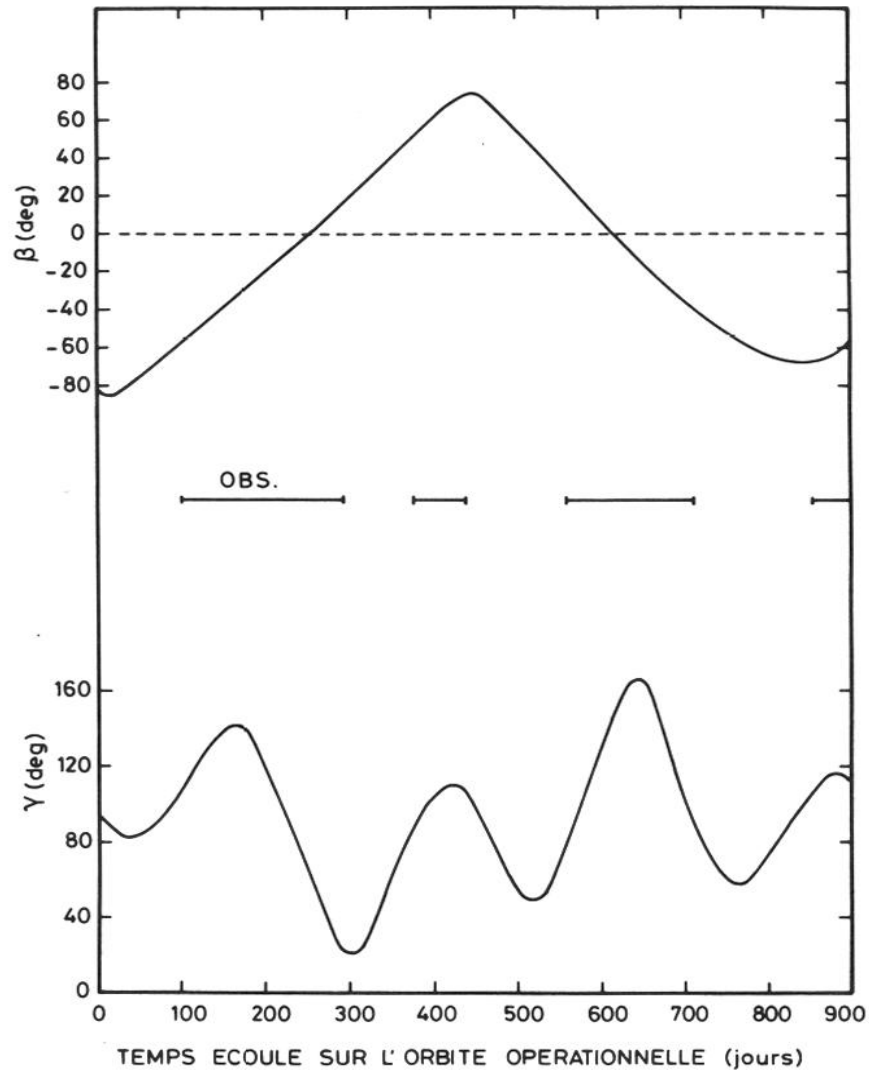


FIG. 6. — Variations, au cours de la mission, de l'angle β entre le rayon vecteur du soleil et le plan de l'orbite, et de l'angle γ entre le péricentre et le soleil.

distance angulaire aréocentrique entre le péricentre de l'orbite et le soleil. Pour une orbite circulaire (condition rencontrée lors du premier vol de Spacelab au cours duquel une expérience similaire sera conduite), la condition pour obtenir une observation sous une dépression D dépend exclusivement de β et s'exprime sous la forme $|\beta| < 90^\circ - D$. Il est intéressant de remarquer que dans le cas traité, cette condition ne s'avère plus suffisante. Les périodes d'observations sont centrées sur un événement particulier, en l'occurrence le passage du péricentre de l'orbite à une distance angulaire aréocentrique maxi-

male par rapport au soleil. L'influence de l'angle γ modifie donc sensiblement le critère lié aux possibilités d'occultation. Ainsi, une occultation peut ne pas survenir pour une faible valeur de β si l'angle γ est lui-même très petit (par exemple en $t = 300$ jours). Un angle γ petit implique que les observations soient effectuées à proximité de l'apocentre. Dans ce cas, le diamètre angulaire de la planète vue du satellite est petit et son effet d'écran s'en trouve considérablement réduit.

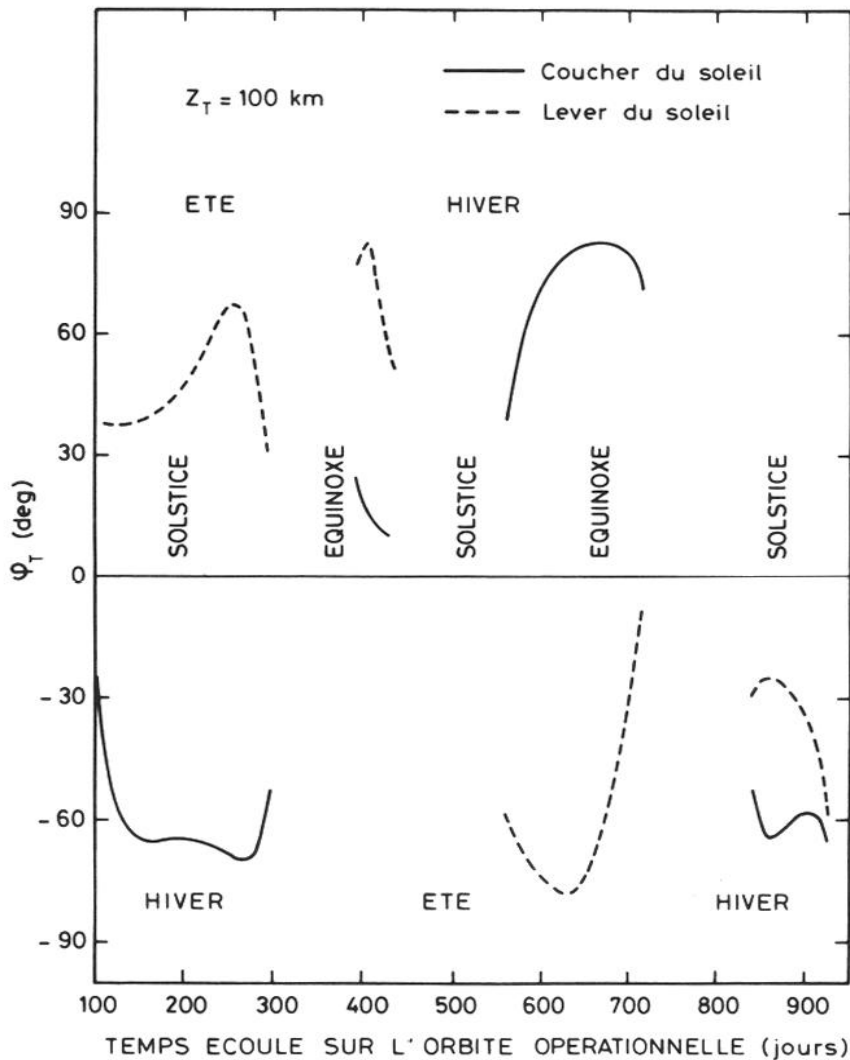


FIG. 7. — Couverture en latitude pour des observations à une altitude de 100 km.

La couverture des observations en latitude est également intéressante à connaître. Il s'agit en l'occurrence de la latitude des points de

tangence du rayonnement solaire avec les niveaux d'altitude répartis entre 0 et 200 km. La figure 7 montre la couverture en latitude pour un niveau moyen de 100 km. Il est permis de constater que les observations couvriront toutes les latitudes dans les deux hémisphères à l'exclusion des régions les plus proches des pôles et de l'équateur. Pour leur part, les latitudes modérées, entre 30° et 60°, pourraient être observées à trois ou quatre reprises au cours de la mission mais, toutefois, à différentes saisons.

5. CONCLUSIONS

Cette note montre que les caractéristiques orbitales de la mission « Kepler » telles qu'elles sont définies présentement dans le projet sont très favorables à une investigation à grande échelle de l'atmosphère martienne à partir d'observations spectrométriques réalisées à proximité du limbe de la planète. Le seul vœu à émettre à ce stade est l'adoption définitive du projet par les responsables européens.