

## LES RADIO-PLANETES

---

I.-Quelques dates importantes dans l'histoire de la radioastronomie des planètes magnétisées.

- 1950

Shain observe un rayonnement radio à 18.3 MHz, mais il n'arrive pas à l'identifier.

- 1955

Burke et Franklin découvrent le rayonnement de Jupiter à 22.2 MHz. La température de brillance mesurée est très supérieure à celle d'un rayonnement thermique. On émet alors l'hypothèse d'un rayonnement non-thermique produit par des électrons de haute énergie piégés dans un champ magnétique.

- 1958

Découverte du rayonnement décimétrique de Jupiter.

Découverte des ceintures de Van Allen autour de la terre par les satellites Explorer 1 et 3.

- 1962

Confirmation de l'existence du vent solaire par Neugebauer et Snyder.

Concept de magnétosphère.

- 1964

Contrôle du rayonnement décamétrique par le satellite Io: Bigg montre que le nombre d'émissions de Jupiter dépend de la position du satellite Io sur son orbite.

- 1965

Découverte du rayonnement kilométrique terrestre par le satellite russe Electron-2.

- 1973

Mesure du champ magnétique de Jupiter avec la sonde Pioneer : intensité de 4 à 14 gauss.

Première détection du rayonnement de Jupiter à 1 Mhz par les satellites RAE et IMP-6.

Premières observations détaillées du rayonnement kilométrique terrestre par le satellite IMP-6.

- 1978

Observation du spectre complet de Jupiter avec le récepteur radio à bord des sondes Voyager (PRA-Voyager).

Découverte du tore de plasma le long de la trajectoire du satellite Io.

- 1980

Découverte du rayonnement kilométrique de Saturne (PRA-Voyager)

Observations d'aurores polaires sur Saturne.

- 1986

Découverte du rayonnement kilométrique d'Uranus (PRA-Voyager)

Observation d'aurores à un pôle magnétique d'Uranus.

- 1989

Découverte du rayonnement kilométrique de Neptune.(PRA- Voyager)

Observation d'aurores à un pôle magnétique.

## II.-Sources des émissions radioélectriques des planètes.

1. Le vent solaire est un jet continu de particules ionisées qui s'échappent du soleil à une vitesse de 400 à 800 km s<sup>-1</sup> et emportent une partie du champ magnétique du soleil. Toutes les planètes baignent dans ce vent solaire. Pour les planètes ne possédant pas de champ magnétique, le vent solaire va simplement contourner ces planètes.(Figure 1)

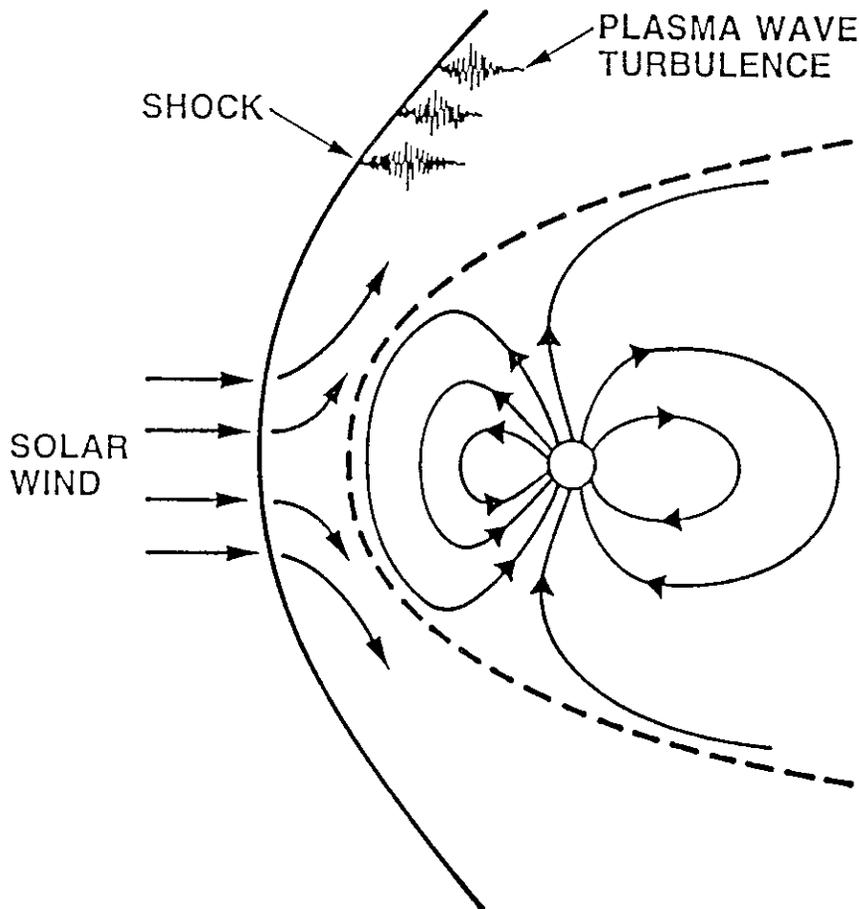


figure 1. - Le Soleil émet un jet continu de particules ionisées qui se déplacent à une vitesse de 400 à 800 kms<sup>-1</sup>. Toutes les planètes baignent dans ce vent solaire.

2. le champ magnétique planétaire : Pour les planètes avec champ magnétique, les particules chargées qui se trouvent à une altitude supérieure à l'ionosphère (quelques centaines de kilomètres pour la terre) vont subir l'influence du champ : leur mouvement va décrire des spirales autour des lignes de force du champ et elles vont rester piégées dans le champ magnétique de la planète. C'est l'explication de l'origine des ceintures de Van Allen. Le champ magnétique planétaire a la même structure, en première approximation, que celle d'un barreau aimanté: c'est un champ dipolaire. (Figures 2 et 3)

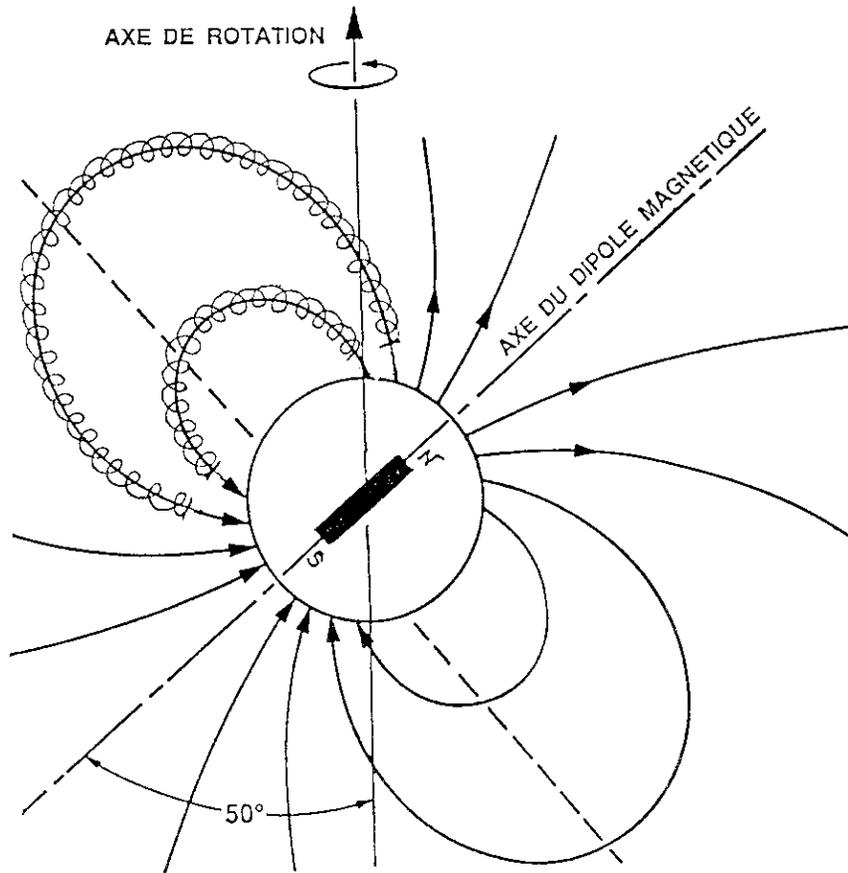


Figure 2. - Champ magnétique planétaire :  
il a la même structure, en première approximation, que celle d'un barreau aimanté. Les particules ionisées vont être piégées dans ce champ et former les "Ceintures de VAN ALLEN"

## TOTAL SURFACE FIELD INTENSITY OFFSET TILTED DIPOLE MODEL

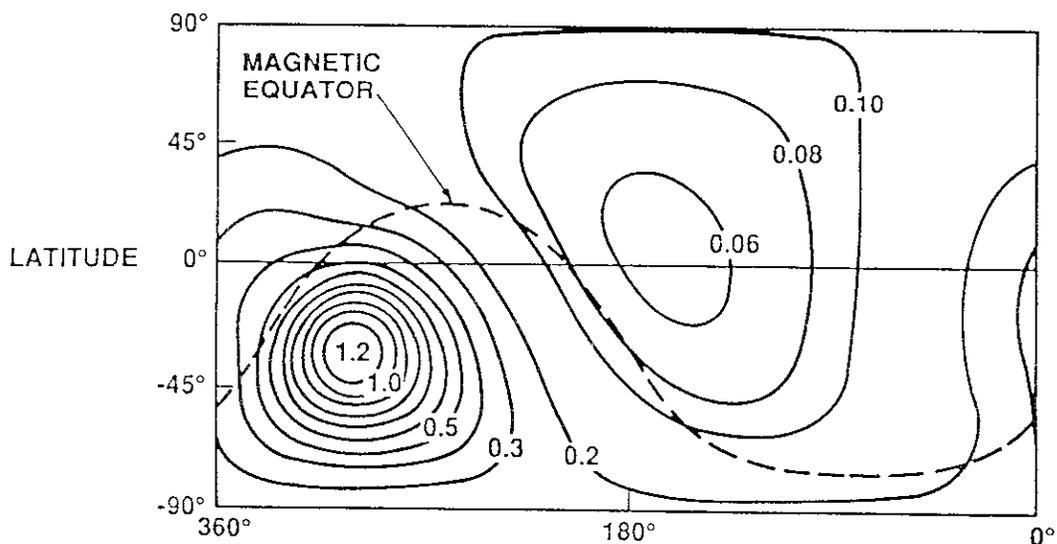


Figure 3. - A l'exception de Saturne, l'axe dipolaire du champ magnétique est incliné par rapport à l'axe de rotation, mais aussi décentré. Il en résulte que l'intensité du champ à la surface de la planète est tout à fait inhomogène, comme le montre cette figure où sont représentées les courbes d'égale intensité du champ magnétique à la surface de Neptune.

3. Interaction du vent solaire avec le champ magnétique planétaire : Le vent solaire et son champ magnétique interagissent avec le champ planétaire. Celui-ci va s'opposer au vent solaire et va l'empêcher de pénétrer jusqu'à la surface de la planète : il se forme ainsi une immense cavité autour de la planète, à l'intérieur de laquelle le champ magnétique de la planète domine. Cette cavité est appelée magnétosphère. (Figure 4)

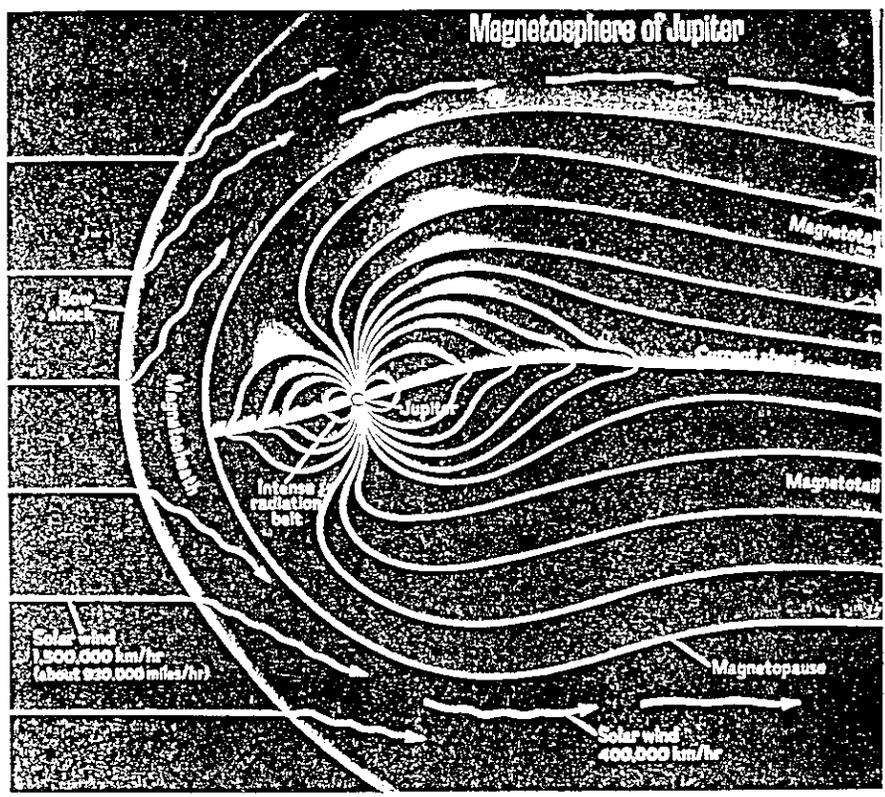


Figure 4. - Interaction du vent solaire avec le champ magnétique d'une planète : formation d'une magnétosphère.

4. Magnétosphère : la forme et les dimensions dépendent de l'intensité du champ magnétique, de la pression du vent solaire (donc de la distance du soleil à la planète) et de ses fluctuations, de l'orientation du dipole magnétique de la planète par rapport à l'axe de rotation et au plan de l'écliptique, des satellites à l'intérieur de la magnétosphère et enfin de la période de rotation de la planète. (Tableau 1)

PLANETES MAGNETISEES

	TERRE	JUPITER	SATURNE	URANUS	NEPTUNE
Rayon (Km)	6500	71000	60000	24000	24781
Distance au Soleil (UA)	1	5.2	9.5	19.2	30
Moment magnétique (Gauss)	0.3	4	0.2	0.2	0.2
Angle entre axe magnétique et axe rotation	11.5°	9.8°	0°	60°	50°
Période de rotation	23:56	9:55	10:39	17:24	16:05
Distance magnétopause	10 $R_T$	50-100 $R_J$	20-50 $R_S$	18 $R_U$	22-29 $R_N$

Tableau 1

Comparaison des champs magnétiques des planètes, de leur période de rotation (en heures) et de la distance de la magnétopause au centre de la planète ( $R_T = 1$  rayon terrestre,  $R_J = 1$  rayon Jupiter,  $R_S = 1$  rayon Saturne,  $R_U = 1$  rayon Uranus,  $R_N = 1$  rayon Neptune).

Une magnétosphère comprend plusieurs régions distinctes :

- l'onde choc, c'est la région où s'opposent et s'équilibrent l'énergie cinétique du vent solaire et l'énergie magnétique de la planète.
- La magnétogaine dans laquelle se trouve un gaz de particules ionisées très turbulent.
- La magnétopause est la limite du champ planétaire. La zone est comprimée du côté soleil, et très étirée du côté opposé au soleil (queue magnétosphérique). Dans la queue magnétosphérique et loin de l'équateur magnétique de la planète, les lignes de force du champ magnétique sont "ouvertes". Au voisinage de l'équateur magnétique, les lignes de force sont "fermées". Les deux zones comprises entre ces deux régions s'appellent "carnets" polaires. C'est dans ces régions que pénètrent les particules du vent solaire. Dans le plan de l'équateur

magnétique, un feuillet de plasma neutre qui à grande distance s'infléchit pour devenir parallèle au plan équatorial de la planète.

A la surface de la planète on peut distinguer les régions correspondant aux pieds des lignes de champ fermées, et celles correspondant aux pieds des lignes de force ouvertes. La limite entre lignes fermées et ouvertes constitue les zones aurorales qui se trouvent le long d'un cercle ou d'un ovale autour des pôles magnétiques de la planète.(Figure 5)

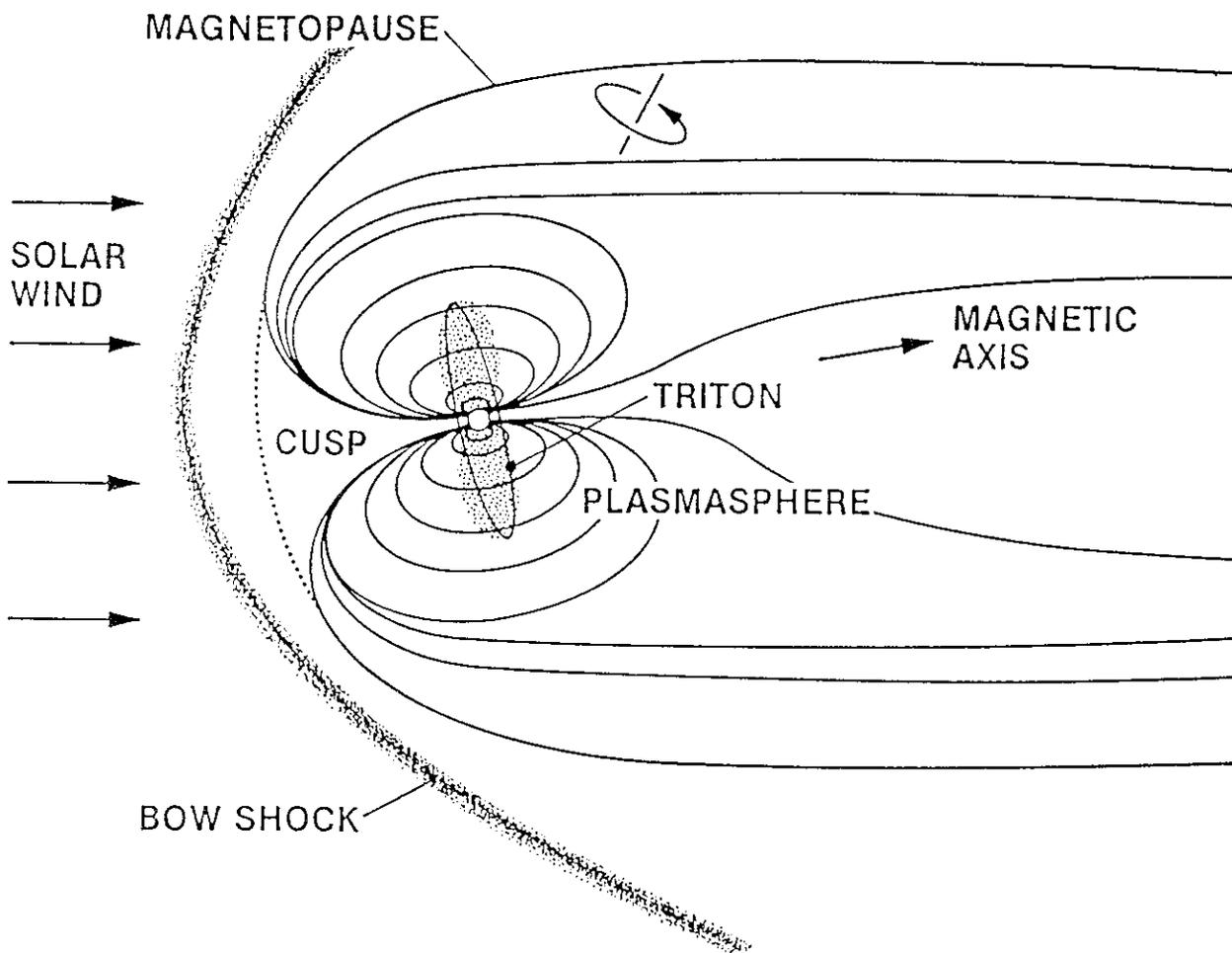


Figure 5. -

Magnétosphère de Neptune. Le champ magnétique de Neptune est incliné de  $50^\circ$  par rapport à l'axe de rotation de la planète.

A l'intérieur de la magnétosphère, on distingue des ceintures de particules piégées ; le nombre et l'énergie de ces particules varient selon les planètes. Dans la magnétosphère de Jupiter on compte un flux de 10000 électrons ayant une énergie de 50 keV. Ce sont ces électrons qui sont à l'origine du rayonnement décimétrique découvert en 1958. Dans les autres magnétosphères ce flux d'électrons est trop faible ( $< 100$ ) pour produire une émission décimétrique (rayonnement synchrotron).

## 5. Emission radioélectrique des planètes.

Les sources des émissions radioélectriques se trouvent dans les zones aurorales. Ce sont des régions où les particules vont se précipiter le long des lignes de force vers les hautes latitudes magnétiques et provoquer des émissions radioélectriques et des aurores polaires.(Figure 6)

# AURORAL ZONE PROCESSES AT NEPTUNE

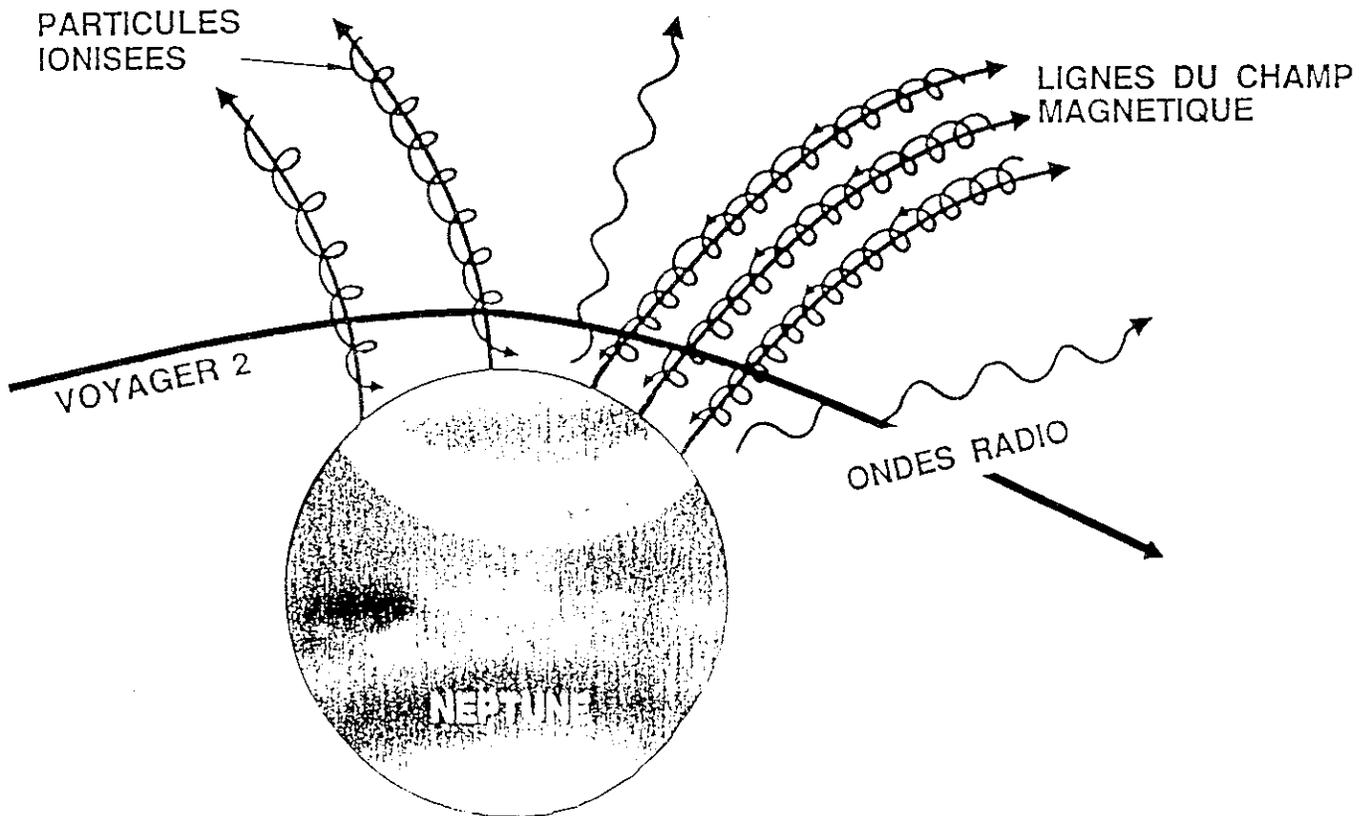


Figure 6. - Emissions radioélectriques des planètes : des particules sont précipitées le long des lignes de champ de la planète dans les zones aurorales. L'interaction avec l'ionosphère de la planète produit des aurores et des émissions radioélectriques.

### - Fréquences d'émission:

On a établi que le rayonnement est émis à une fréquence directement proportionnelle au champ magnétique de la planète

$$F(\text{MHz}) = 2.8 B(\text{gauss})$$

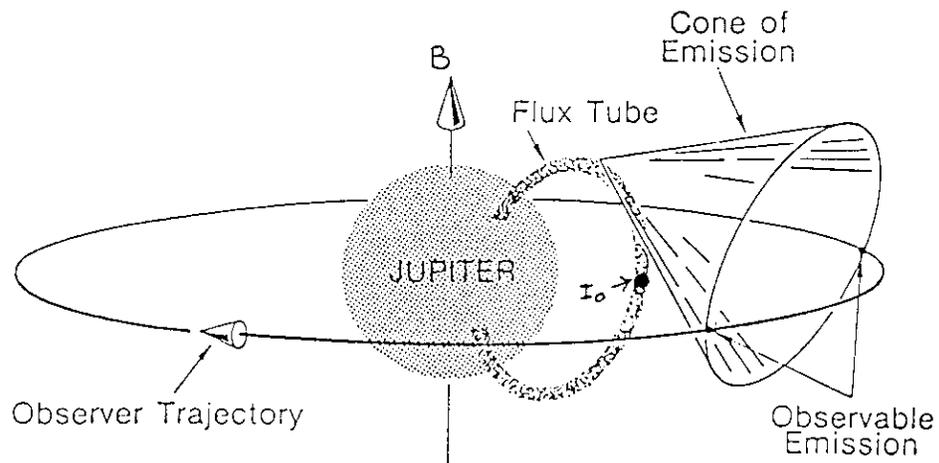
Pour Jupiter dont le champ magnétique maximum est de 14 gauss, la limite haute fréquence observée est de 39.5 MHz. Pour les autres planètes, dont le champ est de l'ordre de 0.2 gauss, la limite haute fréquence observée est de l'ordre de 1.4 MHz.

### - Modulation du rayonnement:

Les émissions reçues sont modulées par la rotation de la planète, car l'axe dipolaire est incliné par rapport à l'axe de rotation de la planète, à l'exception de Saturne. Pour Saturne les 2 axes sont confondus, cependant l'émission radio a été trouvée modulée par la rotation de la planète, ce qui suppose une anomalie magnétique qui n'a pu être mesurée avec le magnétomètre à bord de la sonde Voyager. Cette modulation du rayonnement nous a permis de mesurer les périodes de rotation des planètes magnétiques avec précision .

- Directivité du rayonnement:

Généralement le rayonnement est émis le long des parois d'un cône très ouvert par rapport à la ligne de champ magnétique passant par son axe. Quand l'observateur rencontre l'une des parois du cône, il reçoit l'émission.(Figure 7)



A schematic, not to scale, showing emission from a point on an Io flux tube into a conical surface.

Figure 7. - Le rayonnement est émis le long des parois d'un cône dont l'axe passe par une ligne de champ magnétique.

- Position des sources:

Les sources sont localisées dans les régions aurorales mais généralement pas à toutes les longitudes. Elles sont souvent fixes par rapport au soleil. Pour la terre la source est située principalement côté nuit. Pour Saturne, la source est du côté jour. Pour Uranus on a localisé des sources côté nuit mais aussi côté jour. Pour Jupiter l'émission est beaucoup plus complexe. Cela est dû à la présence du tore de Io où les particules sont accélérées et précipitées dans les zones aurorales le long des tubes de flux passant par Io. On distingue les sources de rayonnement décamétriques près de la planète dans les zones aurorales, au pied des lignes de force du champ magnétique passant par Io ; les sources de rayonnement hectométriques situées à plus haute altitude, le long des lignes de force ouvertes; le rayonnement kilométrique de Jupiter est produit par des sources localisées dans le tore de Io. Pour Neptune des sources côté jour et côté nuit ont été mis en évidence.

- Influence du vent solaire et activité aurorale:

Les particules qui sont précipitées dans les zones aurorales sont directement associées aux fluctuations du vent solaire : variation de la pression et de la vitesse du vent solaire, variation de l'intensité du champ magnétique solaire. On doit donc s'attendre à ce que les émissions radioélectriques soient accompagnées d'auroras, et que ces émissions soient modulées par les fluctuations du vent solaire.(Tableau 2)

<u>PLANET</u>	<u>AURORAL POWER (WATTS)</u>
EARTH	$10^{11}$
JUPITER	$10^{14}$
SATURN	$10^{11}$
URANUS	$4 \times 10^{10}$
NEPTUNE	$> 10^6$

Tableau 2

Comparaison de la puissance des émissions aurorales pour les 5 planètes magnétisées.

Pour toutes les planètes magnétiques on a en effet observé des aurores polaires dont la position recouvre assez bien la position des sources radioélectriques.

De plus la corrélation des émissions radioélectriques avec le vent solaire a été mise en évidence pour toutes les planètes magnétiques ; cependant l'influence de vent solaire varie selon les planètes : elle est très forte pour l'émission radioélectrique de la Terre et de Saturne, modérée pour Jupiter et Uranus.

### III. Conclusion

La mission voyager a été l'une des missions les plus fructueuses pour la connaissance des planètes géantes en général, et pour la découverte de leur émission radioélectrique. C'est la première fois qu'un récepteur radio très sophistiqué et couvrant une très large bande de fréquences soit mis à bord d'une sonde. Il a permis de découvrir les émissions basse fréquence de Jupiter, les émissions radioélectriques de Saturne, d'Uranus et de Neptune, (Figure 8) et de déterminer les périodes de rotation de ces planètes. Les sondes Voyager avaient aussi à bord des expériences pour la mesure du champ magnétique et l'observation des particules de haute énergie, ce qui a fourni des éléments tout à fait nouveaux pour la connaissance des magnetosphères de ces planètes.

Les émissions radioélectriques des planètes magnétiques ont plusieurs caractères communs. De plus, de telles émissions ont été observées en provenance du soleil et de certaines étoiles. Il apparaît maintenant que tous les corps célestes possédant un champ magnétique intrinsèque et une source d'électrons de haute énergie, sont de puissants émetteurs radioélectriques.

Yolande LEBLANC

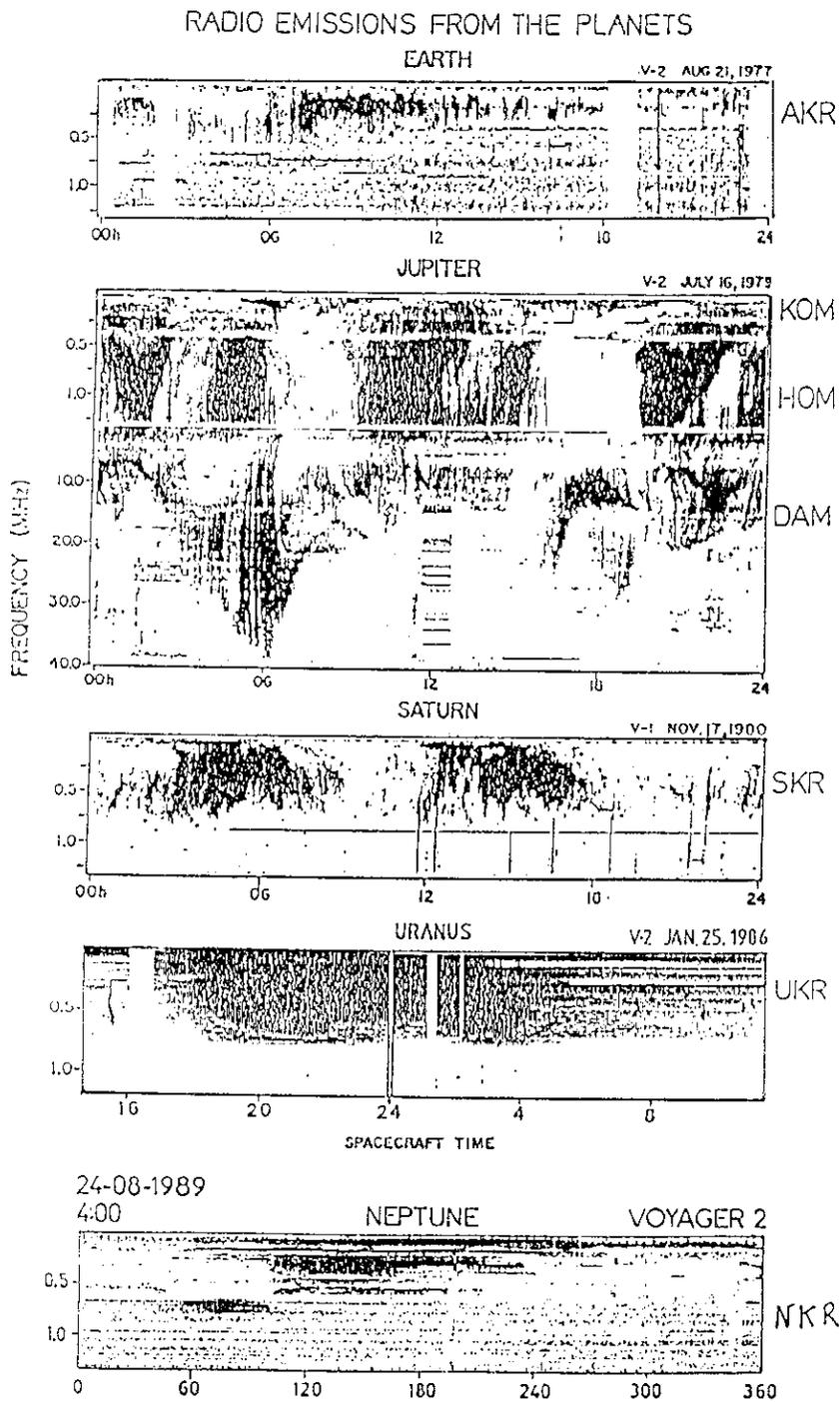


Figure 8. - Les émissions radioélectriques des planètes magnétisées. La limite haute fréquence des émissions est directement proportionnelle à l'intensité du champ magnétique à la surface de la planète. Pour Jupiter, la limite haute fréquence est de 39.5 MHz (le champ magnétique atteint 14 gauss à la surface d'une région limitée de la planète).

