

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 32 (1974)  
**Heft:** 145

**Artikel:** Rapport spécial de la N.A.S.A. du 10 septembre 1974 sur les résultats obtenus par la mission Pioneer 10  
**Autor:** Panagakos, Nicholas / Waller, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-899674>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Rapport spécial de la N. A. S. A. du 10 septembre 1974 sur les résultats obtenus par la mission Pioneer 10.

par NICHOLAS PANAGAKOS et PETER WALLER

## *Les découvertes de Pioneer nous dépeignent un nouvel aspect de Jupiter*

Les renseignements que nous a envoyés Pioneer 10 semblent renforcer la théorie que la plus grande planète du système solaire est une boule d'hydrogène liquide, sans surface solide détectable. Au mieux, Jupiter aurait un petit noyau rocheux, à quelques milliers de miles au-dessous de son atmosphère chargée de nuages. Et sa mystérieuse Tache Rouge est probablement le tourbillon d'un gigantesque ouragan qui fait rage sur 40 000 km de front depuis au moins 700 ans.

Nombre des informations nouvelles obtenues contredisent les théories anciennes sur la nature de Jupiter, qui semble présenter les caractéristiques suivantes :

1. Jupiter paraît être presque entièrement liquide, sans aucune surface solide.
2. L'intérieur de Jupiter semble être turbulent, et beaucoup plus chaud que prévu.
3. Le champ magnétique de Jupiter est beaucoup plus important que nombre de modèles proposés, et ses ceintures de radiations sont de loin plus intenses qu'on ne le prévoyait.
4. Jupiter apparaît comme une source émettant des particules de haute énergie, la seule d'ailleurs du système solaire, le Soleil mis à part. Certaines de ces particules pourraient être détectables depuis la Terre.
5. A sa naissance, il y a  $4\frac{1}{2}$  billions d'années, le géant du système solaire était beaucoup plus chaud que les savants ne le supposaient jusqu'ici.
6. Le modèle de la circulation atmosphérique de Jupiter est très différent de celui de la Terre. Par exemple, les habituels cyclones et anticyclones circulaires de la Terre s'étendent, sur Jupiter, sur tout le pourtour de la planète. Cela est dû probablement aux effets des radiations calorifiques de l'intérieur de Jupiter, ainsi qu'à sa vitesse de rotation de 35 200 km/h. Cette amplification explique la présence des bandes de nuages alternativement brun-rouge et gris clair, ceinturant la planète.
7. Les photographies prises par Pioneer 10 montrent des formations nuageuses énormes qui indiquent de puissants jaillissements atmosphériques.
8. La densité des 4 principaux satellites est indirectement proportionnelle à leur distance à la planète. Elle décroît de la densité de la roche pour les plus proches, Io et Europa, à celle d'un mélange de glace et de roche pour les plus éloignés,

Ganymède et Callisto. Cette décroissance vers l'extérieur est due probablement à la grande quantité de chaleur irradiée par la planète lors de sa formation.

9. Io a une atmosphère ténue, contenant peut-être de l'hydrogène, de l'azote et du sodium. On sait que Ganymède a une atmosphère, et les deux autres satellites en ont probablement une aussi. Les photographies de Ganymède prises par Pioneer 10 sont en cours d'étude, mais semblent montrer des «mers» et des terres élevées, dans le genre de celles de la Lune ou de Mars.
10. Quoique les découvertes de Pioneer 10 n'expliquent pas entièrement la Grande Tache Rouge, elles indiquent que cette dernière est le vortex d'un immense ouragan, datant de plusieurs centaines d'années, quelque chose comme une masse nuageuse tourbillonnante de 25 000 miles de longueur, surplombant de 8 km le plafond de nuages environnant.
11. Pioneer 10 a montré que les zones claires de Jupiter sont la crête des nuages d'une atmosphère s'élevant autour de la planète et apparaissant 20 km au-dessus des bandes sombres, lesquelles représentent des creux formés par les nuages d'une atmosphère descendante d'une vingtaine de kilomètres d'épaisseur probablement. Certaines formations nuageuses individualisées vues pour la première fois par Pioneer montrent bien ce modèle de circulation atmosphérique ascendante et descendante.

Dans certains cas, Pioneer 10 a confirmé les théories existantes, dans d'autres, il nous a appris des choses complètement nouvelles. Dans tous les cas, il nous a donné la première idée claire de ce que doit être Jupiter, a dit le Dr JOHN WOLFE, l'organisateur scientifique du projet Pioneer.

C'est le 5 décembre 1973 que Pioneer 10 a passé à 81 000 miles de la «surface» de Jupiter. Son successeur, Pioneer 11, lancé le 6 avril 1973, doit passer à 46 400 km de Jupiter le 3 décembre 1974, et continuera sur Saturne.

## *Le nouvel aspect de Jupiter*

*L'intérieur de Jupiter.* Jupiter est presque certainement une planète liquide, car elle est trop chaude pour se solidifier, même avec son énorme pression interne de millions d'atmosphères. Température et pression s'accroissent avec la profondeur. A la limite de la partie liquide, à 1 000 km au-dessous de la surface de l'atmosphère, on a calculé que la température est de 2 000 °C. A 3 000 km, elle est de 5 500 °C, et la



pression est de 90 000 atmosphères terrestres. A cet endroit, le poids de l'atmosphère jovienne a comprimé l'hydrogène en un liquide d'une densité du quart de celle de l'eau. A 25 000 km, la température atteint 11 000 °C, et la pression est de 3 millions d'atmosphères. A ce niveau, l'hydrogène liquide se transforme en hydrogène métallique liquide.

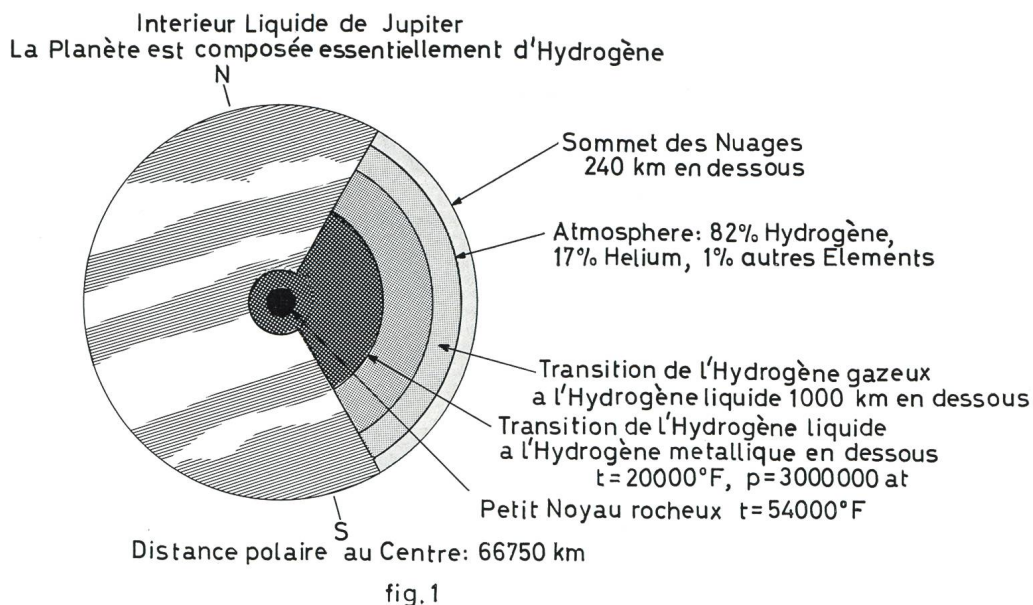
Les mesures de gravité montrent que, contrairement à la Terre, Jupiter n'a pas de concentrations de masses telles que croûte rigide ou autres aires solides. Ces mesures montrent que Jupiter est en équilibre hydrostatique. Au centre il pourrait y avoir un petit noyau rocheux, contenant peut-être du fer. L'analyse de la gravité, qui n'est pas terminée, doit pouvoir révéler ce petit noyau.

Les mesures de Pioneer 10 indiquent que Jupiter rayonne 2 ou 3 fois plus de chaleur qu'il n'en reçoit du Soleil. Cela signifie qu'il perd de la chaleur à une cadence très rapide. Le Dr HUBBARD a calculé que la température du centre doit être d'environ 30 000 °C

(six fois celle de la surface du Soleil). Du centre à la surface, les températures décroissent régulièrement jusqu'à 17 °C au-dessus de 0 à un niveau situé quelque peu au-dessous du sommet des nuages.

Les expériences du Dr ANDERSON sur la gravité montrent que la planète est beaucoup plus aplatie aux pôles que ne le font croire les mesures visuelles: son diamètre polaire a 9280 km de moins que son diamètre équatorial (133 516 km contre 142 796 km). Jupiter est 10 fois plus aplati que la Terre en raison de sa grande vitesse de rotation. Sa masse exacte est de 317,8 fois celle de la Terre, une masse lunaire de plus qu'on ne croyait.

L'atmosphère de Jupiter, de 1000 km d'épaisseur, consiste essentiellement en hydrogène et en hélium. Pioneer 10 a trouvé qu'elle forme le 1% de la masse totale de Jupiter. Il y a 80% d'hydrogène, 20% d'hélium, et moins de 1% d'autres éléments, ce qui est semblable au pourcentage des éléments dans le Soleil.



#### Les nuages et l'équilibre thermique de Jupiter

Les couches nuageuses forment l'essentiel de l'atmosphère d'hydrogène et d'hélium de la planète. Les cristaux d'ammoniac, détectés depuis la Terre, sont considérés comme formant le sommet des nuages de Jupiter. En dessous se trouvent les nuages rouge-brun, probablement formés de cristaux de sulfure d'ammonium hydraté, et encore plus bas, des cristaux de glace. En dessous encore, il doit y avoir des gouttelettes d'eau contenant de l'ammoniac en solution (l'eau n'a jamais été observée).

Ce qu'est exactement le «temps» dans ces basses couches, nous ne le savons pas. Il doit y avoir des éclairs, une activité orageuse et d'autres phénomènes, car il y a sur Jupiter une grande quantité d'énergie et une atmosphère très agitée.

Le Dr GUIDO MUNCH place le sommet de la couche nuageuse formée de cristaux de glace d'ammoniac à un niveau où la pression doit être de 700 millibars, et la température de -120 °C. (combinaison de température et de pression où l'ammoniac se condense). L'atmosphère transparente qui se trouve au-dessus des nuages contient, selon le Dr MUNCH, de l'ammoniac et du méthane.

Quatorze kilomètres au-dessus du sommet des nuages, à une pression de 300 millibars, la température tombe à -145 °C. Plus haut, il pourrait y avoir une vapeur de cristaux d'ammoniac, s'étendant jusqu'à un niveau où la chaleur solaire est absorbée par le méthane atmosphérique. Cela devrait produire une couche d'inversion où l'atmosphère est plus chaude, et qui doit se situer à 35 km au-dessus des nuages

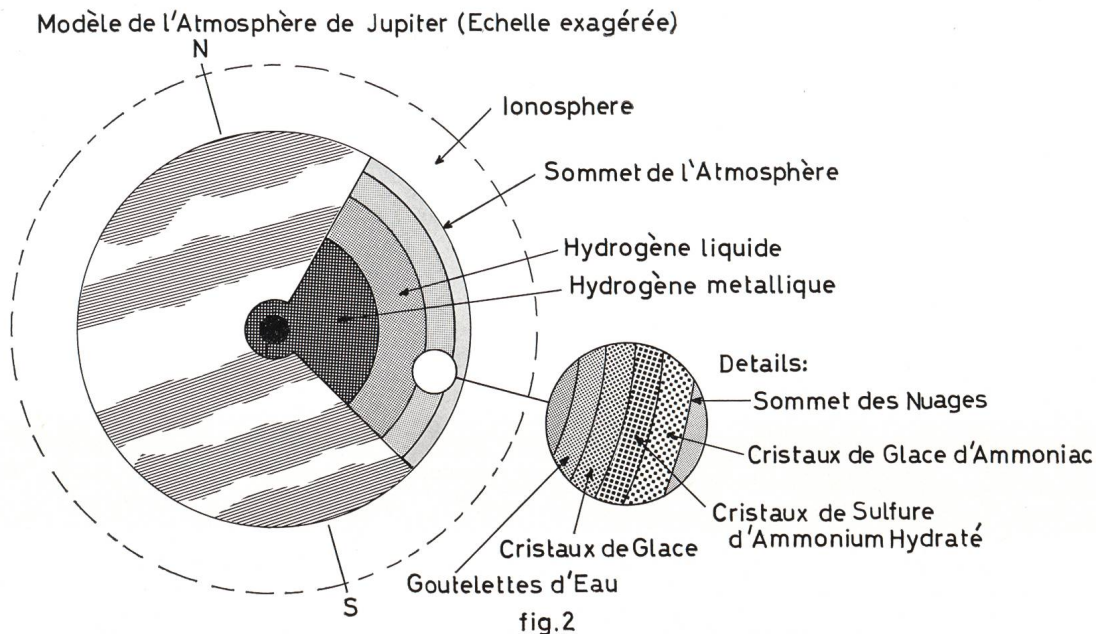


visibles, où la pression est de 100 millibars (1/10e de l'atmosphère terrestre) et la température de  $-155^{\circ}\text{C}$ . Encore plus haut, il y aurait une couche d'aérosols (gouttelettes) et d'hydrocarbures, qui absorberaient la lumière et la chaleur solaires.

Pioneer 10 a indiqué que l'atmosphère jovienne était quelque peu plus chaude près de l'équateur que près des pôles. Jupiter a la même température dans l'hémisphère nord et dans l'hémisphère sud, ainsi que

de jour et de nuit.

Pioneer 10 a aussi trouvé que les particules des nuages sommitaux ont tendance à devenir très petites (quelques dixièmes de micron), aussi bien dans les bandes sombres que dans les zones claires. Ces particules sont plus fines que celles des strato-cumulus terrestres. Leur albedo est très élevé, ce qui pourrait indiquer que ce sont des particules de glace ou des gouttelettes brillantes.



*Le temps sur Jupiter.* Les 17 bandes et zones de Jupiter, relativement permanentes, paraissent comparables aux cyclones et anticyclones des zones tempérées terrestres. Sur les deux planètes, ces phénomènes sont d'importantes régions où les gaz atmosphériques montent ou descendent, sous l'influence du Soleil (et sur Jupiter, sous l'influence aussi des sources calorifiques internes). Sur Terre, des masses énormes de gaz chauds et légers montent vers les hautes altitudes, se refroidissent, deviennent plus lourds, et redescendent le long de nouvelles colonnes montantes de gaz. La direction générale de cet écoulement atmosphérique va des tropiques vers les pôles. Les forces de CORIOLIS (produites par la rotation de la planète) obligent les gaz descendants, qui devraient normalement se diriger vers le nord ou le sud, à s'écouler de l'ouest à l'est. Cependant, sur Terre, un écoulement instable convertit ce mouvement en ces énormes spirales connues sous le nom de cyclones et anticyclones.

Sur Jupiter, à cause de la grande vitesse de rotation (22000 miles/h) les forces de CORIOLIS sont très puissantes. En raison d'instabilités semblables à celles notées sur Terre, les écoulements devraient former de plus violentes spirales que chez nous. Mais plusieurs facteurs semblent avoir un effet calmant, de sorte que le mouvement est le plus souvent linéaire.

Ces facteurs sont: les sources calorifiques internes, l'absence de surface solide, et le caractère liquide de la planète. De sorte que la combinaison du mouvement de convection dû aux chaleurs solaire et interne et de l'effet de CORIOLIS dû à la rotation rapide étend les effets des mouvements atmosphériques à tout le tour de la planète, formant les bandes et les zones.

Un des aspects de cet «effet calmant» est que la chaleur irradiée du centre de Jupiter atteint toutes les régions de la surface en quantités égales. Au contraire, la chaleur reçue du Soleil par la Terre est reçue en grande partie sur les tropiques et circule en direction des pôles.

Pioneer 10 a trouvé que le sommet des zones claires de Jupiter est plus froid de  $9^{\circ}\text{C}$  et de 20 km plus élevé que celui des bandes sombres. Ceci confirme le modèle de circulation sur toute la planète. Les zones claires sont chaudes, repoussant vers le haut des masses atmosphériques, dont les sommets se composent vraisemblablement de nuages de cristaux d'ammoniac. Les bandes sont plus froides, composées de masses atmosphériques descendantes, que l'on croit être des nuages de cristaux de sulfure d'ammonium hydraté. Le sommet des nuages clairs, chauds, légers et ascendants, s'écoule du centre vers les bords. La matière nuageuse des bandes, plus froide et plus lourde, descend des bords de ces bandes vers le centre. En



raison des forces décrites plus haut, cela produit des courants atmosphériques le long des bandes, allant en direction opposée sur chacun des bords de chaque zone, avec la plus grande vitesse à la limite de la zone.

Ce mécanisme indique que les bandes sont des courants atmosphériques dont la vitesse d'écoulement peut différer de 600 km à l'heure. Lorsqu'un courant a une plus grande vitesse relative qu'un autre, il en résulte des tourbillons d'un diamètre de milliers de miles, visibles sur les clichés pris par Pioneer 10. En général, ces courants sont plus rapides près de l'équateur. Les mêmes forces qui créent les courants forment également des tourbillons thermiques tels que la Tache Rouge et autres objets similaires.

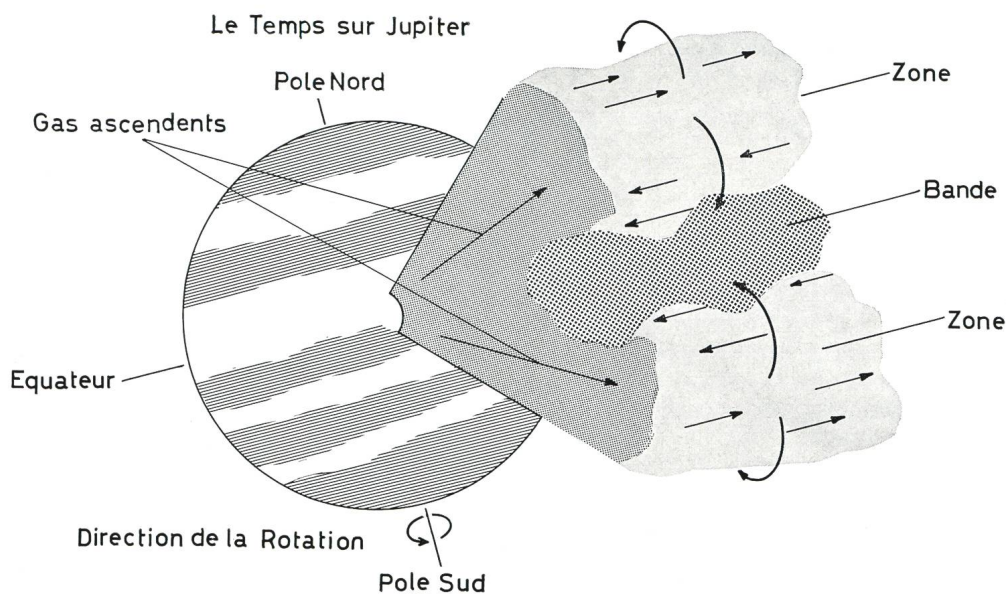


fig.3

Une seconde tache rouge, du tiers environ de la grande, apparaît sur les clichés de Pioneer 10. Elle est située sur le bord nord de la zone de l'hémisphère sud contenant la grande Tache Rouge. Elle est également plus froide que les nuages environnants, et s'élève, croit-on, à la même altitude que la grande. Elle confirme l'idée que ces taches rouges sont des phénomènes météorologiques occasionnels sur Jupiter, que l'on trouve au milieu des zones claires de la planète, où l'atmosphère s'élève, selon le Dr ANDREW INGERSOLL.

*L'ionosphère de Jupiter.* Elle s'élève à 3000 km au-dessus du niveau de 1/10 de millibar. Elle est dix fois plus épaisse et cinq fois plus chaude que prévu. Sa température moyenne est d'environ 1000°C. Elle a trois couches bien définies de densités différentes, et son épaisseur inattendue est due à la diffusion de ses gaz ionisés par les hautes températures. Sa température élevée est due, croit-on, à l'impact de particules de haute énergie, et aux ondes hydromagnétiques de la magnétosphère de Jupiter.

*La Grande Tache Rouge.* Bien que Pioneer 10 n'ait pas complètement expliqué la Tache Rouge, elle paraît être le tourbillon d'un violent ouragan datant de plusieurs centaines d'années et d'une dimension de 40000 km, ainsi que, le premier, l'avait prévu le Dr GÉRARD P. KUIPER. La tache domine de 8 km les nuages environnants. Cela est démontré par le fait que les nuages situés au sommet de la tache ont moins d'atmosphère au-dessus d'eux et sont plus froids que les nuages environnants, selon le Dr GEHRELS.

Les photographies de Pioneer 10 montrent que la structure interne de la tache forme un tourbillon dont la rapidité de rotation lui donne une rigidité suffisante pour écarter vers le nord les nuages de la zone tropicale sud.

*Les satellites.* Des quatre principaux satellites, le plus proche, Io, a une densité de 3,5 fois celle de l'eau, le suivant, Europa, 3,14 fois, puis Ganymède 1,94 fois et enfin Callisto, 1,62 fois.

Ainsi, les deux satellites intérieurs, ayant respectivement une densité un peu supérieure et un peu inférieure à celle de notre Lune, doivent être rocheux. Les autres doivent être composés en grande partie de glace.

Leurs masses sont les suivantes: Io, 1,22 fois celle de la Lune, Europa, 0,67, Ganymède 2,02 et Callisto 1,44.

Ganymède est plus grand que Mercure, Callisto l'égale, Io et Europa sont un peu plus petits. La moyenne de leur température, sur l'hémisphère exposé au Soleil, est de -145°C.

Une photographie de Ganymède, donnant une résolution de 400 km et qui nécessitera encore d'autres examens, montre cependant une «mer» polaire sud et une autre «mer» centrale de 800 km de diamètre, de nombreux cratères météoriques et une région polaire nord claire, selon le Dr GEHRELS.



Io, le satellite le plus proche, qui serait de 23% plus lourd que prévu, a une atmosphère ténue. Il a également une ionosphère étendue, presque aussi dense que celle de Vénus, atteignant 700 km du côté du Soleil. Cette densité indique un mélange inusuel de gaz, et le Dr ARVIDAS KLIORE dit qu'une ionosphère présentant de telles caractéristiques pourrait indiquer la présence d'éléments tels que le sodium, l'hydrogène et l'azote.

Lorsque Io émerge de l'ombre de Jupiter, c'est, pendant une dizaine de minutes, l'objet dont l'albedo est le plus élevé du système solaire. Puis sa couleur passe du blanc à un orange prononcé. Apparemment, durant les 21 heures passées dans la nuit jovienne glacée, les flocons de neige de méthane qui s'étaient formés s'évaporent une fois le Soleil revenu. Il semble donc qu'il y ait assez d'atmosphère pour qu'un tel fait puisse se produire, selon le Dr KLIORE.

Les expériences faites par occultation radio ont permis de trouver une densité de 60 000 électrons par  $\text{cm}^3$  dans l'ionosphère de Io sur l'hémisphère éclairé, contre 9 000 sur l'hémisphère non éclairé. Pioneer 10 a encore découvert qu'Io est enfoui dans un nuage d'hydrogène s'étendant sur 1/3 de son orbite, phénomène entièrement nouveau et inattendu.

*Le champ magnétique de Jupiter.* Pioneer 10 a découvert que la force du champ magnétique de Jupiter au niveau du sommet des nuages vaut plus de 10 fois celle du champ magnétique terrestre à la surface de la Terre. Le champ magnétique interne s'étend dans l'espace à 1 280 000 km du sommet des nuages, et le champ magnétique externe à 3,4 millions de km, parfois même jusqu'à 10,4 millions de km.

Les pôles de ce champ sont inversés par rapport à la Terre: une boussole sur Jupiter indiquerait le sud. Le centre du champ intérieur se situe à 1200 km au nord du centre géométrique de la planète, et comme ces deux centres ne coïncident pas, l'intensité du champ lorsqu'il émerge des nuages varie de 3 à 10 gauss. Et comme le champ magnétique est incliné de  $10^\circ$  par rapport à l'axe de rotation, il paraît vu de l'espace, basculer de  $20^\circ$  toutes les 10 heures, durée de rotation de la planète.

*Les ceintures de radiations de Jupiter.* Elles ont la plus grande intensité jamais mesurée dans l'espace, selon le Dr JAMES VAN ALLEN. L'énergie totale de leurs particules est de plusieurs millions de fois celle des ceintures terrestres. Trois des quatre principaux satellites orbitent à l'intérieur de ces ceintures. On a trouvé des électrons d'une énergie 100 fois plus intense que les protons les plus puissants.

La ceinture intérieure a de loin les intensités les plus fortes, et forme un anneau qui s'étend, comme le champ magnétique interne qui le contient, à 1 280 000 km au-dessus de l'ionosphère. La ceinture extérieure s'étend de 2,1 millions de km à 9,6 millions. Les particules de haute énergie sont surtout des électrons, qui sont cependant plusieurs centaines de fois inférieurs en intensité aux particules de la ceinture intérieure.

La plus grande intensité de radiations dans la ceinture intérieure coïncide avec le plan équatorial du champ magnétique. Elle décline ensuite régulièrement: trois fois moindre à  $20^\circ$  de latitude, 10 fois à  $40^\circ$ . On suppose que ces particules proviennent du vent solaire, ou de l'ionosphère, ou des deux à la fois.

*La Magnétosphère.* C'est la région de l'espace occupé par le champ magnétique de la planète. Elle est entièrement différente de la magnétosphère terrestre: 100 fois plus grande en diamètre, et un million de fois en volume. Elle est différente de toutes celles étudiées précédemment, et peut conduire à de nouveaux concepts en physique. Sa rotation rapide chasse constamment des particules ionisées au dehors, repoussant toujours plus loin la magnétosphère extérieure. Mais un vent solaire violent peut alors la repousser vers le bas, puis, lorsqu'il décline, les particules repartent vers l'extérieur, et le cycle recommence.

*Jupiter, source de radiations.* Des particules de haute énergie s'enroulent en spirale autour des lignes du champ magnétique. L'existence de ces particules est une découverte absolument nouvelle, qui fait de Jupiter la seconde source de radiations de particules de haute énergie du système solaire, après le Soleil.

Les ceintures extérieures de radiations de Jupiter, en rotation rapide, ont quelque analogie, dit le Dr VAN ALLEN, avec les pulsars.

Traduction résumée par E. ANTONINI, Le Cèdre, CH-1231 Conches/Genève.

## Volkshochschulkurse über Astronomie

Wir möchten unsern Lesern mitteilen, dass in diesem Wintersemester 1974/75 an drei schweizerischen Hochschulen Kurse über Astronomie abgehalten werden: An der Universität Zürich von Herrn Prof. Dr.

H. MÜLLER,  
an der Universität Bern von Herrn Oberassistent  
Dipl. Math. P. WILD und

an der Universität Basel von Herrn Prof. Dr. U. W. STEINLIN.

Spezielle Vorkenntnisse sind dafür nicht erforderlich, dagegen werden Amateure aus einem Besuch dieser Kurse erheblichen Gewinn ziehen können. Interessenten belieben die genauen Daten dieser Kurse bei der ihnen nächstgelegenen Universität zu erfragen.