

Un entretien avec André Brahic sur Jupiter et ses satellites ainsi que sur la planétologie

le cadre André Brahic vient de terminer son cours. Nous nous installons dans son petit bureau de l'Observatoire de Paris à Meudon : des dossiers par dizaines, des piles de livres ; au mur, des photos et des cartes du ciel, quelques affichettes rapportées des USA et dont le ton convient à l'hôte de ce bureau, telle celle-ci "No help wanted... we make enough mistakes on our own." On pourrait croire que règne ici un certain désordre. Non, rayons de livres et bureau bien rempli sont à l'image des journées d'André Brahic. Nous installons le magnétophone à 18 h, il tournera encore à 21 h 30. J'ai tenté, pour les lecteurs des C.C., de reproduire l'essentiel de cet entretien à bâtons rompus, riche de l'enthousiasme et de la science d'André. Le texte a été relu et corrigé par lui. Qu'il en soit remercié au nom de tous.

les circonstances L'Agence Spatiale Européenne (ASE ou, en anglais ESA) étudie divers projets. Le coût d'une expérience spatiale, un milliard de francs, ne représente pas, par habitant, une contribution excessive. Mais il faut choisir : ou bien apporter la contribution de l'ASE à des projets de la NASA ou bien réaliser des projets ASE proprement dits; ensuite choisir les missions, par exemple envoyer simultanément plusieurs sondes autour de la Terre pour faire un modèle plus précis de l'atmosphère et de la magnétosphère, envoyer un satellite autour de la Lune en survolant ses pôles pour détecter des éléments volatils éventuels et faire simultanément une bonne gravimétrie et une bonne analyse chimique de la Lune. Un projet ASE consiste à envoyer une sonde en direction des astéroïdes (grâce à une fusée Ariane), passer tout près de plusieurs d'entre eux, 3 ou 7 selon le jour de lancement, et découvrir ces objets qu'on ne peut résoudre depuis la Terre (diamètre apparent inférieur à 1").

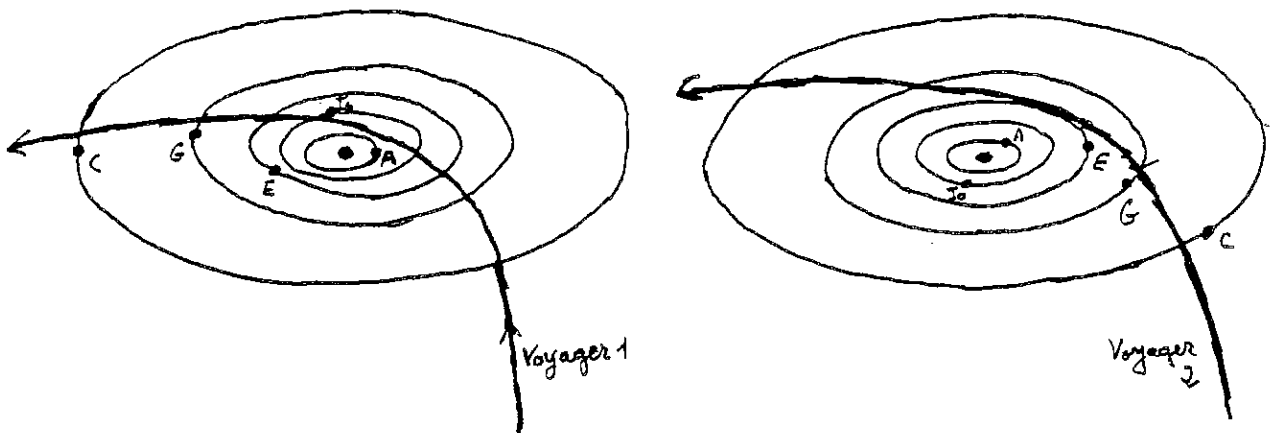
André Brahic étant rapporteur de ce projet fut envoyé par l'ASE à un colloque sur les astéroïdes, en Californie, le 5 mars 1979. C'était justement à cette date que la sonde Voyager 1, envoyée vers Jupiter à la fin de l'été 1977, arrivait à destination et envoyait photos et mesures vers le Jet Propulsion Laboratory de Pasadena. Brahic eut le chance de suivre avec les astronomes américains cet extraordinaire

afflux d'informations qu'il faudra des années de travail pour interpréter complètement. D'autant qu'une deuxième sonde Voyager 2 vint confirmer et compléter les découvertes de Voyager 1, quatre mois plus tard, la comparaison des données recueillies dans les deux cas étant également instructive.

les sondes et l'imagerie

Les sondes Voyager avaient des missions multiples ; prendre des photos mais aussi de nombreuses mesures. Ces dernières, à certains égards et en particulier pour beaucoup d'Astrophysiciens, sont l'essentiel. Prendre des photos et les transmettre exige un lourd appareillage qui limite en conséquence les instruments de mesure embarqués sur le satellite. La réalisation de l'imagerie a pourtant une grande importance : pour le grand public qui finance les réalisations de la NASA par ses impôts, elle est facilement compréhensible ; pour les astronomes, théoriciens compris, les images donnent une vision globale des objets qui est instructive. C'est grâce aux images que fut découvert l'anneau...

Un coup d'oeil sur les trajectoires. Celle de Voyager 1 était la plus hasardeuse, passant entre Jupiter et l'orbite de Io, dans la zone où les radiations sont les plus intenses. Voyager 1 frôla Jupiter à la distance minima de 280 000 km (rayon de Jupiter 71 400 km ; demi grands axes des orbites d'Amalthée 180 000 km, de Io 422 000 km). Auparavant il avait pu photographier Amalthée ; avant de s'éloigner vers Saturne (rendez-vous le 13 novembre 1980), il photographia de près Io, de plus loin Europe, de plus près Ganymède et Callisto.



La trajectoire de Voyager 2 lui a permis de frôler Callisto, puis Ganymède et Europe, de photographier de plus loin Io et Amalthée avant de survoler Jupiter de 645 000 km pour se diriger enfin vers Saturne (rendez-vous le 27 août 1981) puis vers Uranus (le 30 janvier 1986). Il put ainsi photographier les satellites (qui, comme la Lune vis à vis de la Terre, tournent toujours la même face vers Jupiter) et réaliser une couverture presque complète (90%) pour certains d'entre eux.

Les deux missions étaient donc complémentaires, les sondes traversant le système jovien sous des angles différents. Les deux satellites disparurent durant deux heures environ derrière la planète, hors de vue du Soleil et de la Terre ; ils purent ainsi prendre des mesures et quelques photos du côté sombre de la planète (la nuit sur Jupiter).

Chaque sonde a pris environ 20 000 photos au moment de la rencontre. Chaque photo est tramée par une fine maille de 500 lignes de 500 points ; sur chacun des 250 000 points, 64 niveaux d'intégration photométrique sont transmis par 8 bits soit 2 mégabits par image ; des photos prises avec filtre rouge, bleu ou vert permettent d'obtenir des images en couleurs. La transmission de la sonde au JPL de Pasadena exigeait 38 mn en mars (Jupiter avait été en opposition le 24 janvier), 52 minutes en juillet. Les données, emmagasinées au JPL et dépouillées par des équipes sélectionnées par la NASA qui en conservent l'exclusivité pendant environ huit mois, sont mises à la disposition des chercheurs qui, grâce à un code, peuvent recevoir sur des écrans les images ou les données désirées.

Pour André Brahic, le souvenir de ces journées de mars 79 au JPL de Pasadena est exaltant : s'être trouvé au milieu des astronomes concernés par ces recherches alors que chaque jour apportait de nouvelles découvertes. L'effet global de tous ces résultats est impressionnant. Les avoir vus s'accumuler au fil des heures représente pour Brahic et tous ceux qui l'ont vécue une expérience unique...

les sondes et les mesures Les mesures prises par les Voyager sont plus difficiles à vulgariser. Citons seulement quelques exemples. En infra-rouge, des mesures de température et de densité à la surface de Jupiter ont augmenté considérablement

en précision nos connaissances antérieures. L'étude des spectres (plus de 30 000 ont été enregistrés) fournira des renseignements précieux sur la composition de l'atmosphère. Affiner nos connaissances sur le rapport hydrogène-hélium permettrait de s'assurer si la composition de Jupiter est ou n'est pas primitive. Si, comme on le pense actuellement, elle l'est, alors elle représente la composition du système solaire à l'époque de sa formation ; on comprend l'intérêt cosmologique du problème.

Des meilleures mesures de la masse de Jupiter ont été effectuées. D'où de meilleures idées sur la composition interne de la planète et, par ailleurs, un perfectionnement des calculs en mécanique céleste.

Voici la liste des recherches ou expériences "embarquées" sur les Voyager, en plus de la caméra photographique : 1) étude des radiations infra-rouge, (composition des atmosphères, propriétés thermiques) ; 2) Photopolarimétrie (aérosols atmosphériques) ; 3) propagation radio (structure ionosphérique) ; 4) spectroscopie en ultra-violet (composition de la haute atmosphère, aurores boréales) ; 5) champs magnétiques ; 6) plasma et particules ; 7) radioastronomie planétaire ; 8) particules chargées basse énergie ; 9) rayons cosmiques.

Sans pouvoir insister ici sur ces mesures (des résultats ont déjà été publiés dans un numéro spécial de la revue américaine Science, le 1er juin 79 et bien d'autres suivront), il ne faut pas en sous estimer l'importance sous le pré-texte que l'imagerie a un effet immédiatement publicitaire (influence sur le Sénat américain dispensateur des crédits, succès auprès du grand public avide de comprendre un peu ce que font les chercheurs).

les étapes de l'exploration spatiale Le programme de l'exploration spatiale comporte toujours les phases suivantes :

- 1) survol rapide de l'objet à explorer ;
- 2) rendez-vous plus prolongé ; par exemple mise en orbite autour de l'objet ;
- 3) se poser sur l'objet ;
- 4) rapporter des échantillons prélevés sur l'objet.

Rappelons que pour la Lune, les quatre phases ont été

réalisées successivement en moins de dix ans.

Mercurure a été survolée ; on a photographié un sol mouvementé avec de très nombreux impacts de projectiles comme sur la Lune. Sur Vénus deux sondes se sont posées et ont pris des photos et des mesures pendant les 90 minutes durant lesquelles elles ont pu résister aux conditions ambiantes.

Sur Mars, les sondes Viking se sont posées, ont gratté le sol, n'ont pas trouvé trace de vie ; toutes les expériences ont bien fonctionné sauf l'un des deux séismomètres (et il en faut deux pour localiser les séismes - il est vrai que ceux-ci sont rares sur Mars dont la croûte est très épaisse.

Avec l'exploration de Jupiter et des autres grosses planètes, on passe à des conditions très différentes : pas de sol solide, un système de nombreux satellites, la taille de certains ce ceux-ci étant voisine de celle des planètes telluriques (Titan est plus gros que Mars, Io est de la taille de la Lune). La distinction entre planète et satellite, quant à la taille et à la physique des objets, n'est plus significative.

de Pioneer à Voyager La sonde Pioneer 11 qui a pris en septembre 1979 d'admirables photos des anneaux de Saturne avait survolé Jupiter en 1974 ; Pioneer 10 en 73. Expéditions de pionniers (d'où leur nom) avec des sondes beaucoup plus simples (200 kg au lieu de 800) qui n'étaient pas stabilisées : tournant sur elles-mêmes alors qu'elles défilaient devant la planète à des vitesses de l'ordre de 20 km/s, les photos étaient obtenues par balayages successifs et les images reconstituées restaient floues. Le gain dans la résolution était pourtant déjà appréciable : alors que de la Terre les plus petits détails visibles sur Jupiter sont de l'ordre de 1000 km, avec Pioneer on gagnait un facteur 10 ; des objets de 200 à 100 km devenaient visibles, des turbulences dans l'atmosphère de Jupiter avaient pu être mises en évidence.

Les sondes Voyager sont stabilisées par rapport à trois axes, l'orientation permanente du satellite étant obtenue par repérage sur une étoile (dans le cas où l'étoile repère lui échapperait, un téléguidage à partir de la Terre lui permet de la retrouver). Les photos obtenues sont nettes et révèlent des détails de l'ordre du kilomètre (100 fois plus de détails

cu'avec Pioneer. On peut dire que les photos prises par Voyager nous donnent pour Jupiter ce que nos télescopes terrestres nous donnent pour la Lune. Pour les satellites galiléens, les télescopes terrestres ne permettaient de distinguer aucun détail (diamètre apparent inférieur à 1" et turbulence de notre atmosphère) ; les meilleurs observateurs distinguaient tout juste quelques différences d'albedo d'un satellite à l'autre. Quant aux petits satellites de Jupiter se pose la question de leur nombre : Leda et XIV découverts par C. Kowal en 1974 et 75 ! ["La question de savoir combien Jupiter possède de lunes est peut-être une simple question de sémantique" écrivait A. Brahic dans le tome 2 de l'Encyclopédie Scientifique de l'Univers , car la planète est probablement entourée de rochers de toutes tailles et de poussières.]

Voyager d'approche Suivons donc les images obtenues par les Voyager au cours de leurs périples. Une des premières photos a été prise le 18 septembre 1977 ; Voyager 1 était à 11,66 millions de km de la Terre ; il voyait simultanément un croissant de Terre et un croissant de Lune. Document saisissant ; avant notre époque, personne n'avait eu la vision de ces deux petites boules dont l'une, sous nos pieds, est si importante pour nous. D'un autre point de vue, le système Terre-Lune apparaît ainsi plus comme une planète double que comme une planète et un satellite (pour les grosses planètes, les satellites sont relativement beaucoup plus petits). Nous reviendrons plus loin sur cette remarque à propos de planétologie comparée.

Voyager 1 continue son périple ; le 9 janvier 1979, il est à 54 millions de km de Jupiter ; les photos révèlent nettement des turbulences autour de la tache rouge. Le 17 janvier, il s'est encore rapproché (il parcourt plus d'un million de km par jour) ; sur une photo, on voit Europe et Ganymède à côté de Jupiter ; sur Europe, une bande équatoriale sombre apparaît. Sur la photo prise le 5 février, à 28,4 millions de km de la planète, trois satellites sont visibles : Io sur le disque de Jupiter (on peut comparer son diamètre, un peu supérieur à celui de la Lune, à celui de la

tache rouge qui, lui est très supérieur à celui de la Terre), Europe, très brillant mais avec des taches sombres et Callisto deux fois plus brillant que notre Lune mais qui ici paraît pourtant sombre.

Le 13 février Voyager 1 n'est plus qu'à 20 millions de km ; il photographie Io de couleur rougeâtre qui se détache sur la tache rouge tandis que Europe se détache sur une région de nuages turbulents. Le 4 mars, à 1,8 million de km, une photo montre des nuages qui ont quelques km de large.

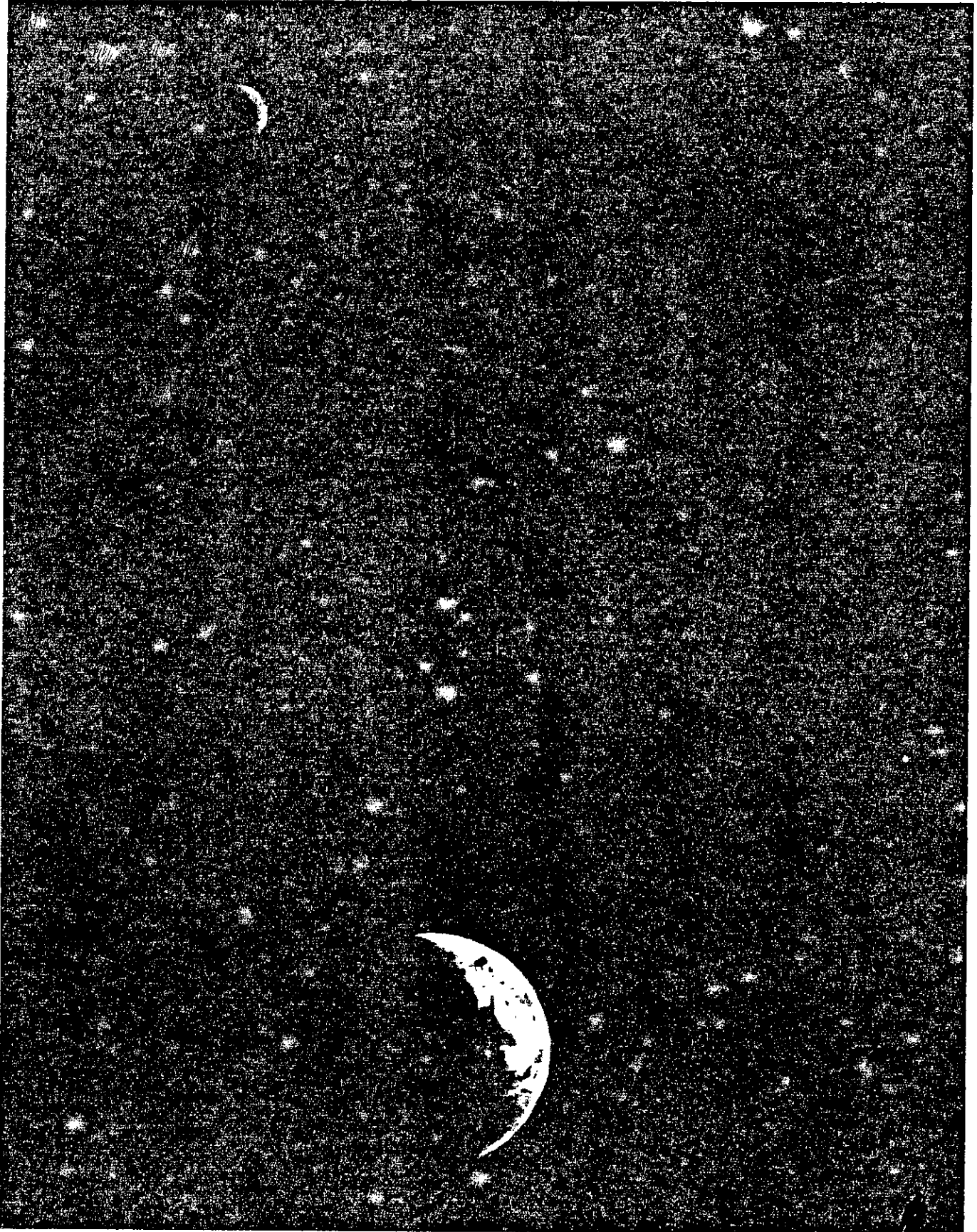
La comparaison avec les photos prises par Voyager 2 sera très instructive sur l'évolution de ces formes. La tache rouge apparaît comme un énorme tourbillon (un film réalisé par la NASA par montage d'images successives, fait apparaître cette rotation et l'agitation des régions voisines). Une question se pose : le diamètre de la tache paraît décroître mais comment un tel énorme tourbillon a-t-il pu ainsi persister pendant plus de cent ans ? [selon Pannekoek (p.382), il aurait été noté et dessiné depuis 1831 et serait devenu de moins en moins rouge.]

La mission de Voyager 1 pouvait être considérée alors comme terminée et comme parfaitement réussie. Les grandes surprises étaient pourtant encore à venir...

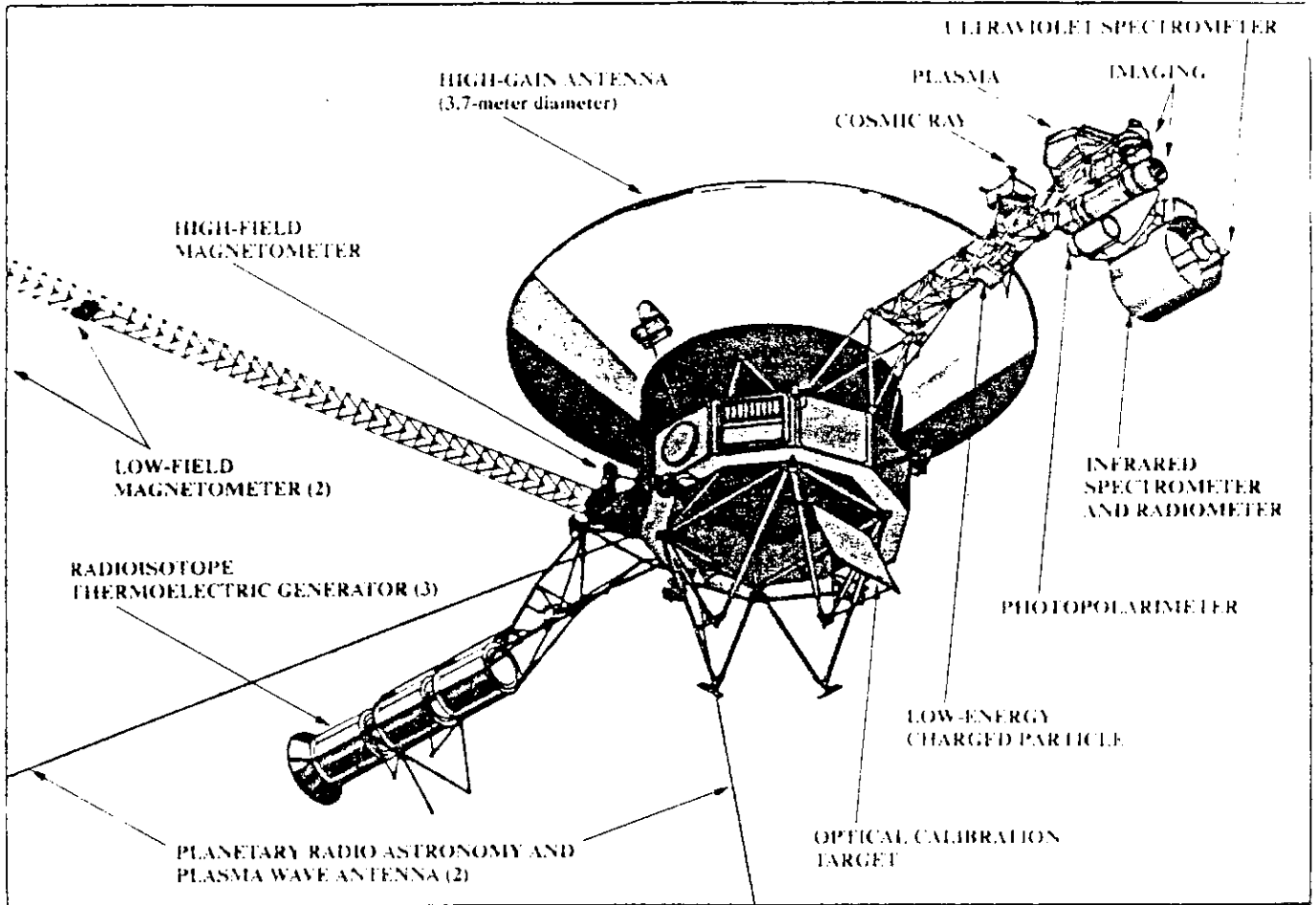
(La suite de l'entretien dans notre prochain numéro)
rédaction G.W.

P.-S. Illustrer l'exposé d'André Brahic nous a paru indispensable. Malheureusement, nos moyens d'impression sont limités ; les admirables documents de la NASA ont souffert de la reproduction. Nos lecteurs voudront bien nous en excuser.

- [1] La Terre et la Lune vues de Voyager 1 le 770918 ; le satellite se trouvait alors à 11,66 millions de km de nous.
- [2] Schéma d'une sonde Voyager ; à droite la camera (imaging).
- [3] Photo prise par Voyager 1, le 790124, à 40 millions de km de la planète. Comparez avec la suivante...
- [4] prise le 790509 par Voyager 2, à 28,7 millions de km de Jupiter.
- [5] Le 790205, Voyager 1 est à 28,4 millions de km de Jupiter ; sur l'original on voit trois satellites ; ici on aperçoit Io sur la planète et, à droite Europe ; Ganymède n'apparaît pas sur cette reproduction.



[1]



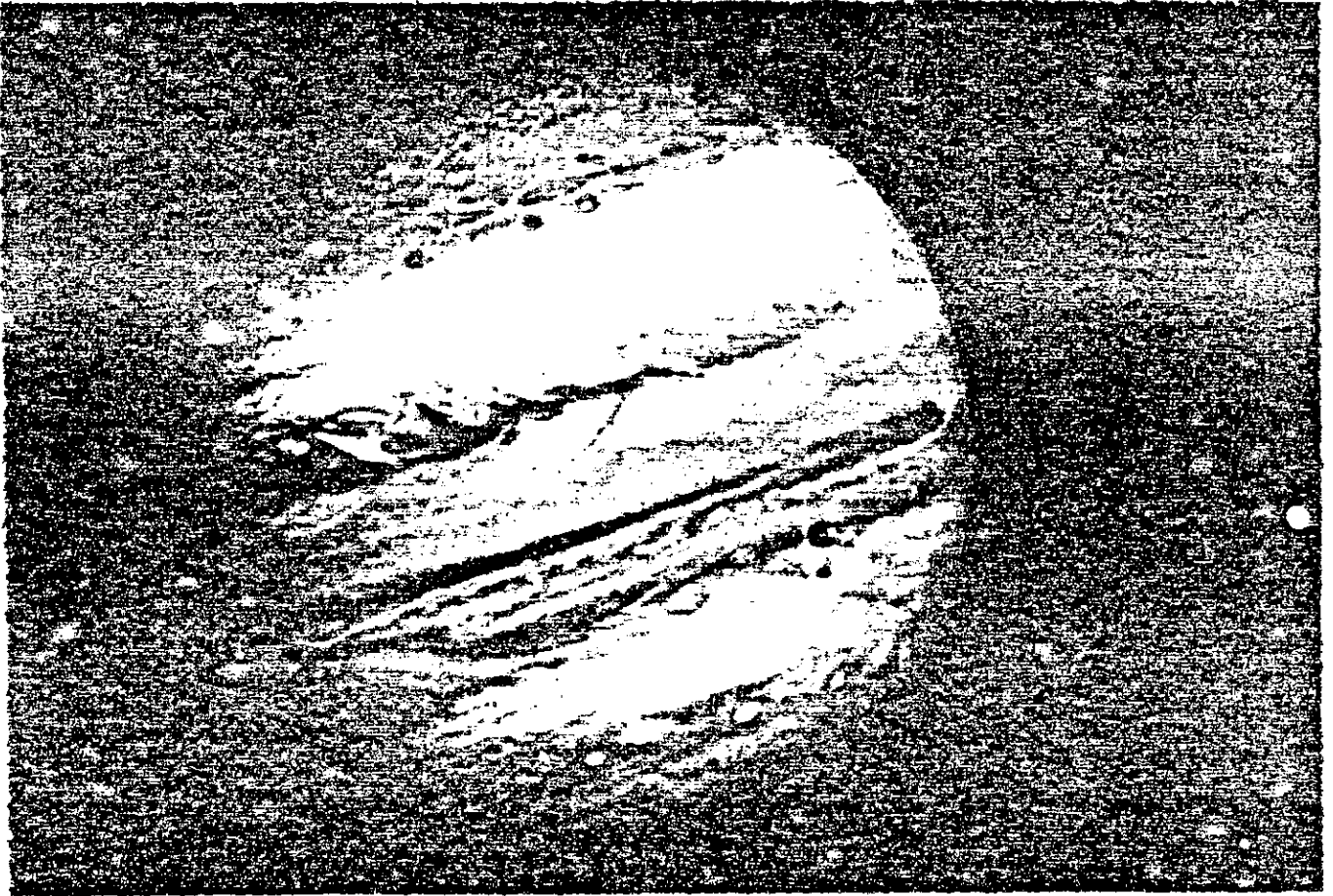
[2]



[3]



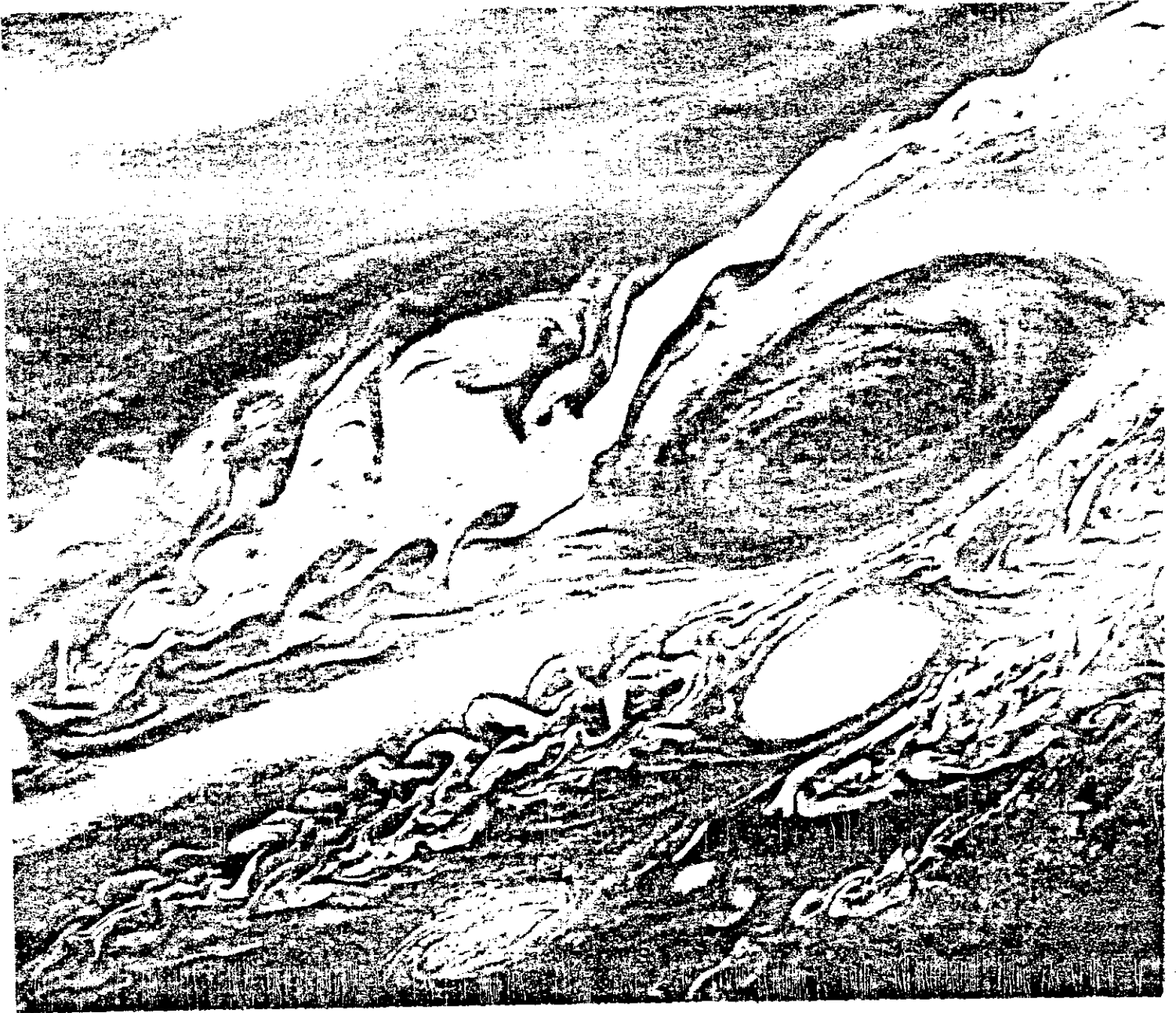
[4]



[5]



[6]



[7]

[6] et [7] Photos de la tache rouge prises respectivement par Voyager 1 le 790225 et par Voyager 2 le 790703. La première, de 9,2 millions de km, la seconde de 6 millions de km. Même sur ces reproductions en noir et blanc, on remarque, à quelques mois d'intervalle, d'importants changements dans les structures nuageuses turbulentes qui entourent la tache rouge.