PAS SI SIMPLE

Bac to basics
SATURNE P. 91

QUESTIONS DE LECTEURS P. 95

Comment ça marche ?
LA TÉLÉVISION NUMÉRIQUE TERRESTRE P. 96

W^xyz
TÉLÉPHONIE CELLULAIRE P. 98

Chercher jouer trouver
LES SURPRISES DU DROIT P. 102

BAC TO BASICS

La planète aux anneaux, avec ses quarante-sept satellites répertoriés, ressemble à un système planétaire en miniature. Depuis 2004, la sonde Cassini l'ausculte sous toutes les coutures. Pour au moins quatre ans.

Saturne

Saturne est-elle la seule planète à anneaux ?

Non, les quatre planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune) en possèdent. Ceux de Saturne sont les plus développés, les mieux visibles, les premiers observés… et les plus étudiés. Ce sont aussi les plus massifs. Leur masse est un milliard de fois plus grande que celle de l'unique anneau de Jupiter. Elle est aussi dix millions de fois plus grande que celle des anneaux de Neptune, surtout concentrés dans quatre arcs, alors qu'elle équivaut à cent mille fois la masse des fins anneaux d'Uranus.

Invisibles à l'œil nu, les anneaux de Saturne furent notés par Galilée en 1610 comme une fluctuation de la lumière provenant de chaque côté de la planète. En 1655, le Néerlandais Christiaan Huygens ne vit plus d'excroissance près de la planète et imagina que cette variabilité provenait de la position de la Terre par rapport au plan d'un disque équatorial entourant Saturne. Cette explication fut confirmée en 1659, quand l'inclinaison du plan des anneaux fut de nouveau suffisante pour qu'ils réfléchissent assez de lumière solaire vers la Terre.

Par Jacques-Olivier Baruch,
journaliste scientifique,
avec la collaboration de

Sébastien Charnoz,
maître de conférences à l'université Paris-VII, membre de l'équipe AIM (Université Paris-VII-CEA-CNRS), et de

Philippe Zarka,
directeur de recherche au CNRS, laboratoire Lesia, Observatoire de Paris-Meudon.

Il publia sa découverte en écrivant ce texte énigmatique : AAAAAAA CCCCC D EEEEE G H IIIIIII LLL MM NNNNNNNNN OOOO PP Q RR S TTTTT UUUUU, une anagramme, comme c'était l'usage à l'époque, de *Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato* (« Il est ceint d'un anneau fin, plat, qui ne le touche nulle part et est incliné sur l'écliptique »).

Pourquoi parle-t-on de saturnisme ?

En moyenne à 1,427 milliard de kilomètres du Soleil, Saturne est la plus lointaine planète visible à l'œil nu. Elle parcourt son orbite presque circulaire (excentricité de 0,056) en 29,46 ans, un rythme si lent que les Romains lui ont donné ce nom du père de Jupiter qui, dans la mythologie grecque, est le dieu Chronos. Même idée chez les Chinois qui la nommait la « planète sempiternelle ».

La planète était donc associée au temps, mais aussi au froid, au vu de son éloignement du Soleil. C'est pourquoi les alchimistes et les astrologues du Moyen Âge appelaient le plomb, un métal froid et sombre, le saturne. Le terme « saturnisme », maladie neurologique, hématologique et rénale due à l'intoxication par le plomb, a été utilisé pour la première fois en 1877.

Quant aux saturnales, il s'agit de fêtes païennes romaines, en l'honneur de Saturne, dieu de l'agriculture, entre mi-décembre et les calendes de janvier, afin de rendre le sol fertile. L'une de ces fêtes célébrait la nativité… du Soleil, en cette période suivant le solstice d'hiver.

Quelle est la composition de la planète ?

Saturne est la petite sœur de Jupiter. Son rayon équatorial est un peu plus petit (60 268 kilomètres contre 71 492 pour celui de Jupiter). Sa rapide rotation a produit un aplatissement des pôles mesuré pour la première fois par William Herschel en 1789. Il est d'environ 9 %, le plus fort dans le système solaire (il vaut 0,3 % pour la Terre et 6,5 % pour Jupiter).

Composée essentiellement d'hydrogène (88 %) et d'hélium (10 %) avec quelques traces de méthane et d'ammoniac, sa densité de 0,69 gramme par centimètre cube est moindre que celle de l'eau (1 gramme par centimètre cube) et de Jupiter (1,33 gramme par ⇨

© ILLUSTRATIONS : JEAN-PIERRE CAGNAT

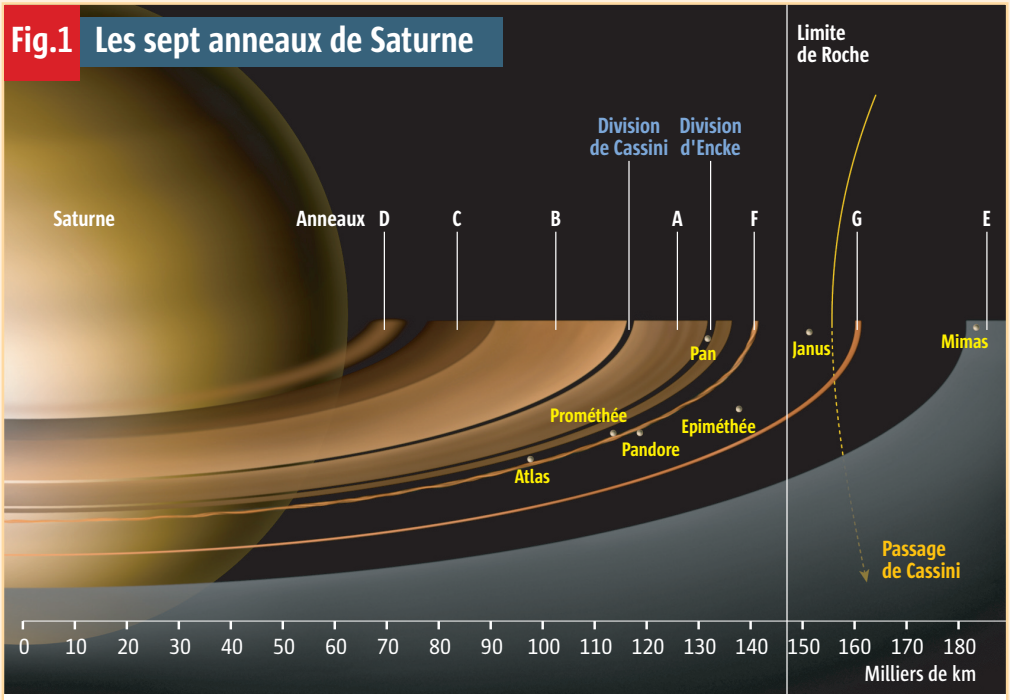
Saturne

⇨ centimètre cube). Comme les autres planètes géantes, elle ne possède pas de sol solide, mais la pression s'accroît tellement quand on plonge dans ses nuages qu'on doit rencontrer assez vite une zone où l'hydrogène devient métallique puis liquide. Le centre est occupé par un noyau rocheux deux fois plus gros que celui de la Terre.

Comme Jupiter, Saturne émet plus d'énergie qu'elle n'en reçoit du Soleil. Mais alors que l'énergie rayonnée par Jupiter provient de sa contraction gravitationnelle encore inachevée, celle de Saturne est sans doute due à la condensation de l'hélium et à sa chute vers le cœur de la planète.

Dans la haute atmosphère, des orages, semble-t-il liés aux saisons saturniennes, se développent à différentes latitudes dans de gros nuages convectifs. Le plus puissant jamais observé fut la « Tempête du Dragon », observée en septembre 2004 par la sonde américaine Cassini lors de ses premières révolutions autour de la planète aux anneaux.

Fig.1 Les sept anneaux de Saturne



LES PRINCIPAUX ANNEAUX D, C, A ET B sont très fins et proches de Saturne. Ils sont séparés par des zones plus vides, les divisions, dans lesquelles gravitent de petits satellites, tels Pan, Atlas, Pandore et Prométhée. Les minces anneaux F et G, l'anneau diffus E sont plus éloignés, de même que les gros satellites. © SYLVIE DESSERT

Quelle est la durée de sa rotation ?

Tout dépend de quelle région on parle. L'atmosphère ne tourne pas sur elle-même d'un seul bloc. Ses nuages circulent d'autant plus vite qu'ils sont près de l'équateur. C'est pour cela que les astronomes ont longtemps discuté de la durée du jour saturnien. En 1790, William Herschel l'évalua à 10 heures 16 minutes. En décembre 1876, une tache brillante, visible pendant plus d'un mois près de l'équateur et observée par Asaph Hall à Washington, tourna selon une période de 10 heures 14 minutes 24 secondes. En 1903, une autre apparition de taches, observée notamment par Edward Barnard, conduisit à la valeur de 10 heures 38 minutes.

Quant à son cœur, on pensait avoir mesuré sa rotation de 10 heures 39 minutes avec Voyager, par l'intermédiaire des ondes radio liées aux aurores et produites près de ses pôles magnétiques. Si cette méthode fournit une grande précision dans le cas de Jupiter, les mesures, deux décennies plus tard, de la sonde européano-américaine Ulysse et de Cassini, ont révélé que la période radio de Saturne variait d'au moins 1 %. Sa valeur actuelle est 10 heures 45 minutes… et elle bouge encore ! Il semble que cette variation provienne d'un « glissement » des sources d'ondes radio par rapport au champ magnétique, sous la pression variable du vent solaire.

Possède-t-elle un champ magnétique ?

Oui, comme la Terre et Jupiter, Saturne possède un champ magnétique qui est celui d'un dipôle. Son moment est 36 fois plus petit que celui de Jupiter. Il est aussi 540 fois plus grand que celui de la Terre, bien que comparable en intensité de surface du fait de la plus grande taille de Saturne. Son origine provient des courants électriques qui parcourent la couche d'hydrogène métallique interne. Particularité : l'axe du dipôle est incliné de moins de 1° par rapport à l'axe de rotation de la planète (contre 10° environ pour la Terre et Jupiter).

La magnétosphère de Saturne ressemble, en vingt fois plus grand, à celle de la Terre. Son interaction avec le vent solaire produit une onde de choc qui se déploie à environ 1,2 million de kilomètres de la planète dans la direction du Soleil. À l'arrière, sa queue a une forme régulière par suite de la coïncidence de l'axe magnétique et de l'axe de rotation de la planète.

La magnétosphère interne est quasi dépourvue de ceintures de radiations car les anneaux absorbent les particules chargées. Cassini a tout de même découvert une petite ceinture, où sont piégés les électrons, à l'intérieur de l'anneau D, le plus proche de la planète.

Quel est le nombre de ses satellites ?

Tout dépend comment on les compte et à quelle taille on s'arrête. La liste n'est pas près d'être close car les anneaux sont constitués de milliards de rochers en orbite. Chacun d'entre eux pourrait être considéré comme un satellite. C'est Huygens qui découvrit en 1655 le premier d'entre eux, Titan, qui, avec ses 5 150 kilomètres de diamètre, est presque la plus grande lune du

système solaire. Il est dépassé uniquement par Ganymède, le plus gros satellite de Jupiter. Jean-Dominique Cassini allongea la liste à 5 en rajoutant Rhéa, Japet, Dioné et Téthys. Avant l'ère spatiale et le survol du monde saturnien par les sondes américaines Pioneer 11 et Voyager 1 et 2, la liste comportait 9 noms alors qu'elle en contient aujourd'hui 47. Certains ont été vus presque par hasard en analysant les données. D'autres, tel le petit Pan, ont été prédits par la théorie. Un modèle stipulait que si un satellite se trouvait près du bord d'un anneau, ce dernier serait ondulé, un peu comme le sillage d'un bateau. Une telle ondulation fut observée en 2004 dans la division d'Encke, à l'intérieur de l'anneau A. Le satellite fut alors recherché, et Pan fut découvert.

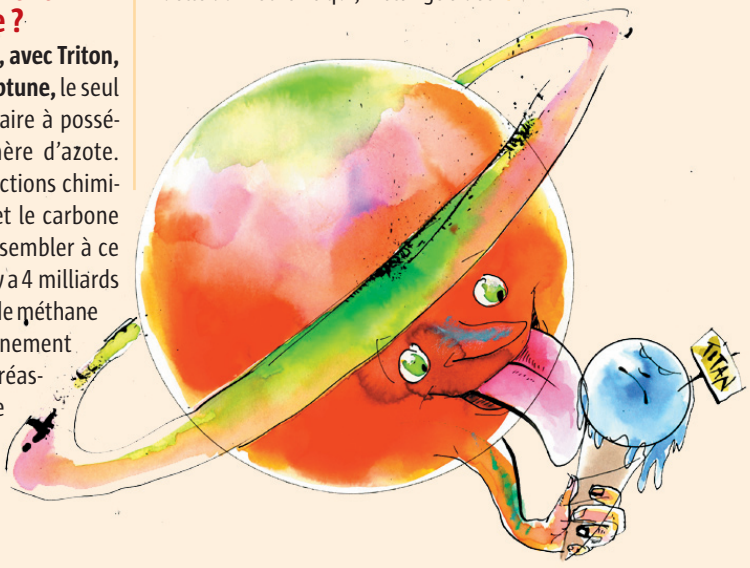
Dix-huit nouveaux membres ont été découverts récemment. Une série de 12 satellites irréguliers ont été détectés en 2004 à l'aide des télescopes géants installés à Hawaï. Avec leurs orbites inclinées, excentriques et loin de la planète, ils ont sûrement été capturés par celle-ci. De son côté, depuis juillet 2004, la sonde Cassini en a dévoilé au moins quatre qui gravitent au voisinage de l'anneau F. Au début juillet 2005, trois d'entre eux avaient été nommés officiellement par le groupe de l'Union astronomique internationale chargé de la nomenclature des corps planétaires. Ils se nomment Methone, Pallène et Polydeuce.

Titan est-il vraiment une Terre congelée ?

Plus ou moins. Titan est, avec Triton, la principale lune de Neptune, le seul satellite du système solaire à posséder une riche atmosphère d'azote. Comme la Terre. Les réactions chimiques avec l'hydrogène et le carbone du méthane doivent ressembler à ce qui se passait sur Terre il y a 4 milliards d'années. Les molécules de méthane sont cassées par le rayonnement solaire, les atomes se réassociant sous forme de molécules complexes. Comme sur la Terre primitive, hormis la température : – 179 °Celsius. C'est donc un processus beaucoup plus lent qui se déroule là-bas. Avant la descente de la sonde européenne Huygens dans l'atmosphère de Titan, le 14 janvier 2005, on avait repéré de nombreuses molécules organiques complexes, tels l'acide cyanhydrique ou l'acétylène, des ingrédients de la chimie prébiotique.

Contrairement à la Terre, la pression et la température mesurées au sol ne permettent pas la présence d'eau liquide, mais sont compatibles avec les trois états (solide, liquide, gazeux) du méthane. Ce gaz, qui est facilement dissocié par le rayonnement solaire, doit être produit en permanence. Mais quelle en est la source ? Une évaporation de lacs ou de mers ? *A priori,* non : les données envoyées par Huygens lors de sa descente et par Cassini lors de ses passages rapprochés n'indiquent pas de grandes étendues de méthane liquide.

En revanche, les planétologues ont observé une structure en forme de dôme de 30 kilomètres de diamètre qui pourrait être un volcan de glace, un « cryovolcan ». Au vu de la température très basse du sol, la lave s'écoulant pour former le tertre volcanique – peut-être un mélange de méthane, d'ammoniac et de glace d'eau combiné à des glaces d'hydrocarbures – serait gelée, puis s'évaporerait. Une dernière possibilité serait l'évaporation continuelle du méthane qui, mélangé à des glaces d'eau dans le sol, forme une sorte de sable de glaces mouillé.



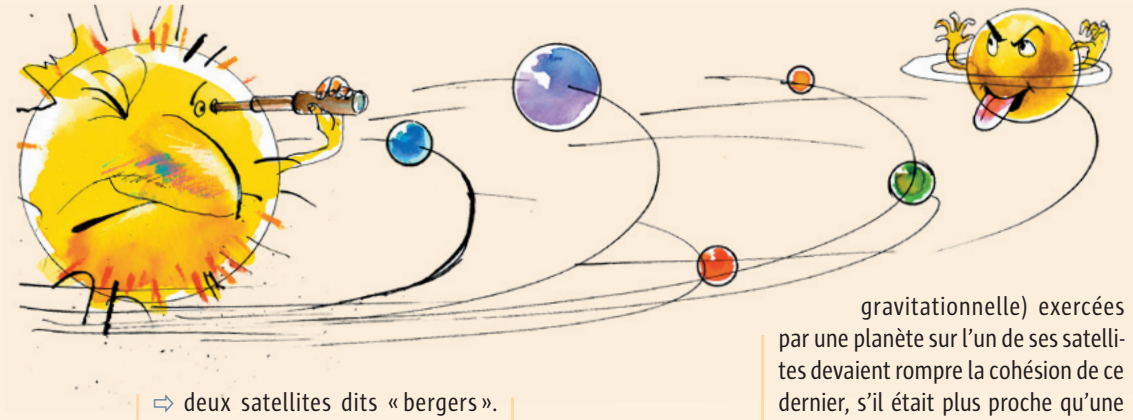
De quoi les anneaux sont-ils faits ?

Contrairement à ce que Huygens proposait au XVIIe siècle, les anneaux ne sont pas formés d'un disque solide. Des milliards de particules, petits satellites dont la taille varie du micromètre au kilomètre (la majorité est de taille centimétrique), gravitent dans un même plan sur des orbites un peu excentriques. Ce sont des mélanges de glaces d'eau, de silicates et de composés organiques dont la température varie de 70 à 110 kelvins (d'environ – 200 °C à – 160 °C). Les cailloux s'entrechoquent en permanence, mais à des vitesses relatives très faibles, de l'ordre du millimètre par seconde. Dans l'anneau C, le moins dense, chaque particule en heurte une autre au pire tous les deux tours. L'anneau B en revanche est plus chaotique. Le nombre de chocs par particule et par tour s'élève à 10.

Les anneaux principaux sont séparés par des divisions, des zones dans lesquelles la matière est plus raréfiée, voire inexistante. Leur existence et leur persistance ne sont pas totalement expliquées. La formation d'un tel sillon dans un fluide de matière granulaire peut être due à la perturbation d'un gros corps, comme le satellite Pan dans la division d'Encke. Ce n'est pas le cas de la grande division de Cassini, où aucun objet important n'a été détecté. Elle est peut-être le résultat d'un phénomène de résonance gravitationnelle. Un caillou qui se trouverait sur le bord inférieur de cette division aurait une orbite très instable, car elle durerait exactement deux fois moins longtemps que celle du gros satellite Mimas. Le caillou serait perturbé de la même manière toutes ses deux orbites, une perturbation périodique qui l'éjecterait un peu plus loin.

À l'extérieur des anneaux principaux, l'origine du mince anneau F, très tortueux, est encore inconnue. Elle semble être due à la présence de ⇨

Saturne



⇨ deux satellites dits « bergers ». Prométhée (80 kilomètres de diamètre) et, dans une moindre mesure, Pandore (100 kilomètres) obligent la matière de l'anneau F à rester confinée dans cette petite zone orbitale.

Quand se sont-ils formés ?

On ne le sait pas. Certains suggèrent une formation très ancienne, remontant presque à la formation de la planète, soit environ 4 milliards d'années. Mais un tel disque de rochers et de grains en collisions perpétuelles devrait progressivement tomber sur la planète, ce qu'on n'observe pas. Y a-t-il des mécanismes de confinement que les théoriciens n'ont pas exploré ? Peut-être. D'autres pensent que les anneaux ne sont âgés que de 10 millions d'années, car c'est la durée maximale avant que les averses de météorites ne les dispersent. C'est aussi la durée pour qu'un fluide visqueux s'étale.

Cette dernière hypothèse est étayée par la modélisation des anneaux, qui pêche cependant par approximation. Par exemple, les anneaux ne sont pas un fluide visqueux auquel on peut appliquer certaines équations de mécanique des fluides. Ils ressemblent plutôt à une mer de sable baignant dans un bain de poussière, un fluide granulaire dont la physique n'est pas bien connue, surtout sur de très longues périodes de temps. Le mystère reste entier.

Quelle est leur origine ?

Ce que les mécaniciens célestes appellent « la limite de Roche » doit jouer un rôle. En 1849, Édouard-Albert Roche a calculé que les forces de marées (la différence d'attraction gravitationnelle) exercées par une planète sur l'un de ses satellites devaient rompre la cohésion de ce dernier, s'il était plus proche qu'une certaine orbite limite. Cette limite de Roche est évaluée à 2,45 fois le rayon de la planète, si le satellite et sa planète sont de densité égale. De fait, les anneaux se situent tous à l'intérieur de cette limite de Roche. Aucun satellite de grande taille n'a donc pu se former et résister, à ces distances, à la gravitation de Saturne. Pourtant l'accrétion y reste possible. Des satellites dits éphémères, imaginés par les théoriciens, peuvent s'y former, puis se désintégrer. C'est peut-être le cas de S/2004S3 et S/2004 S4, observés par Cassini en décembre 2004 et perdus de vue par la suite.

Autre idée : la matière des anneaux pourrait aussi provenir de l'extérieur du système saturnien. Ils seraient la conséquence de la désintégration d'une comète ou d'un astéroïde qui se seraient trop approchés de Saturne, car la masse totale des anneaux ne dépasse pas celle d'une comète de moins de 100 kilomètres de diamètre. L'idée est séduisante, mais la chute de la comète Shoemaker-Levy 9 en juillet 1994 dans l'atmosphère de Jupiter n'a pas occasionné de formation d'anneaux. C'est un mauvais signe pour cette hypothèse.

POUR EN SAVOIR PLUS

▮ **http://cassini.univ-paris7.fr/**
Le site de l'équipe française d'imagerie de la sonde Cassini.

▮ **www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens/**
Celui de l'Agence spatiale européenne.

▮ **http://saturn.jpl.nasa.gov/home/index.cfm**
Celui de la NASA/JPL.

▮ **www.lesia.obspm.fr/~zarka/coursPZ.html**
Les pages personnelles de Philippe Zarka dont deux conférences sur le système de Saturne et les premiers résultats de Cassini.

▮ T. Encrenaz *et al.*, *Le Système solaire*, collection « savoirs actuels », EDP-Sciences/CNRS-Éditions, 2003.

Pourquoi sont-ils tous dans le même plan ?

C'est de la mécanique céleste. Dans un nuage de particules en rotation, l'équilibre entre la force d'attraction gravitationnelle (vers le centre) et la force centrifuge (vers l'extérieur) produit une force de rappel vers le plan équatorial. Sans collision, les particules oscillent de part et d'autre de ce plan. Mais les collisions dissipent de l'énergie. Le nuage s'aplatit progressivement dans le plan équatorial, seul lieu d'équilibre stable.

En plus d'être coplanaires, les anneaux forment la structure la plus fine de l'Univers. Leur épaisseur dépasse rarement la dizaine de mètres pour un diamètre de 300 000 kilomètres. C'est comparativement beaucoup plus fin qu'une lame de rasoir ! Les physiciens expliquent cette particularité en évoquant le grand âge du système. Les rochers se heurtant en moyenne à chaque tour, ils ont eu tout le temps de perdre leur énergie. Et ce, même si l'on considère l'hypothèse d'anneaux jeunes, créés il y a seulement 10 millions d'années. En effet, les particules ont alors parcouru environ 10 milliards d'orbites. C'est énorme. En comparaison, la Galaxie, pourtant vieille de 13 milliards d'années, est jeune, au sens dynamique, car les étoiles qui la composent n'en ont fait qu'environ cinquante fois le tour.

Quelle est la suite de l'exploration du monde de Saturne ?

Rien n'est prévu à l'heure actuelle pour le long terme. Saturne a été visitée par quatre sondes : Pioneer-11 en 1978, Voyager 1 en 1980, Voyager 2 en 1981 et Cassini-Huygens en ce moment. Cette dernière mission doit se poursuivre jusqu'au 1er juillet 2007. Cassini doit tourner soixante-quatorze fois autour de Saturne et s'approcher régulièrement de ses gros satellites. Titan sera ainsi ausculté quarante-quatre fois. Au terme de la mission, il est envisagé que la NASA poursuive le suivi des instruments et le recueil des données jusqu'en 2009.

L'expérience des autres missions planétaires suggère que c'est ce qui sera décidé à condition que les instruments fonctionnent bien et que la NASA obtienne le budget adéquat. Quoi qu'il en soit, les physiciens planétologues ont déjà de quoi alimenter leurs réflexions pour pas mal d'années. Pour comparaison, le dépouillement des images prises par les sondes Voyager a pris vingt ans. Or, c'est aujourd'hui tous les mois que les équipes de Cassini reçoivent l'équivalent de toute la mission Voyager. ▮▮