

► Planète, montre nous ton cœur !

Sources

Mass-radius curve for extrasolar Earth-like planets and ocean planets

C. Sotin, O. Grasset, A. Mocquet
Icarus, 2007

Notes

Action gravitationnelle :

Selon la loi d'attraction des corps découverte par Isaac Newton en 1687, les masses s'attirent les unes les autres en proportion de leur masse respective et en proportion inverse de la distance, élevée au carré, séparant leurs centres de gravité. C'est ainsi que tous les objets terrestres sont attirés vers le sol, c'est aussi pourquoi les planètes tournent autour du soleil. Lorsque deux corps sont en rotation, ils constituent un système et ils agissent l'un sur l'autre. C'est ainsi que dans certaines conditions il est possible de calculer qu'une étoile est accompagnée d'une ou de plusieurs planètes.

Moment d'inertie :

Le moment d'inertie quantifie la résistance d'un corps soumis à une mise en rotation. Le moment d'inertie d'un point est égal au produit de sa masse par le carré de sa distance à l'axe de rotation. La somme de ces moments élémentaires fournit le moment d'inertie total du corps considéré.

Equation d'état :

L'équation d'état d'un matériau est la relation qui lie les différentes fonctions d'état Pression, Volume, Température. Il en existe de toutes sortes suivant la nature des phases (solide, liquide, gaz) et les

Depuis 1995, plus de deux cent dix planètes ont été découvertes autour d'autres étoiles que le Soleil. Ces exoplanètes n'ont pratiquement jamais été observées mais leur présence est déduite des effets de [l'action gravitationnelle](#) qu'elles exercent sur leur étoile. Selon la méthode de détection utilisée, il est possible d'estimer leur masse ou bien leur taille, mais rarement les deux à la fois. Les planètes découvertes jusqu'à présent sont très différentes des planètes de notre système solaire.

Les auteurs de l'article ont mis au point un modèle théorique qui décrit la structure interne probable des planètes et des satellites. Avec ce modèle, le rayon et [le moment d'inertie](#) d'une planète se déduisent de la masse du corps concerné, en supposant que sa composition globale en éléments lourds est similaire à celle de son étoile. Ce modèle calcule la position, les profils de pression et de densité des différentes couches qui composent ce corps. Avant d'étendre ces calculs aux exoplanètes de toute nature et de toute taille, les auteurs ont vérifié la validité du modèle en l'appliquant à de nombreux corps du système solaire.

Décrire la structure interne d'une planète, c'est distinguer les différentes couches qui la composent et en situer les interfaces. Ces caractéristiques internes n'ont pu être mesurées directement que pour la Terre et pour la Lune. En effet, l'enregistrement des ondes avec des sismomètres fournit des indications sur la nature et l'épaisseur des différentes couches. L'analyse géochimique des météorites et des minéraux terrestres provenant du manteau profond donne la composition des silicates qui ont formé la Terre.

En première hypothèse, pour l'ensemble des planètes solaires et extrasolaires, les principaux composants s'arrangeraient autour d'un noyau de fer, d'un manteau silicaté, d'une hydrosphère, puis d'une atmosphère. L'abondance, la composition chimique exacte et l'état physique de chaque couche restent très mal connues pour l'ensemble des planètes. L'atmosphère de certains corps très variables en épaisseur et en composition est un peu mieux définie.

Les huit planètes du système solaire sont classiquement rangées dans deux grandes familles : les planètes telluriques (Mercure, Vénus, la Terre et Mars) et les planètes géantes (Jupiter, Saturne, Neptune et Uranus). Les planètes telluriques sont principalement constituées de silicates et de fer. Les planètes géantes contiennent surtout de l'hydrogène et de l'hélium. Cette distinction simple ne rend pas compte de toute la diversité de ces objets.

En réalité, ce sont cinq familles de planètes qui peuvent être distinguées. Mercure doit être classée à part des autres planètes telluriques. Elle possède une quantité de fer, rapportée aux silicates, très largement supérieure à celle de Mars, Vénus ou de la Terre. Parmi les planètes géantes, Jupiter et

► Manteau et enveloppes

Notes

ordres de grandeurs considérés pour la pression et la température. Dans le contexte des intérieurs planétaires, les équations les plus couramment utilisées pour les matériaux solides en dessous de 500 Giga Pascal sont celles de Birch-Mürhughan et de Mie-Grüneisen-Debye.

COROT :

COROT, satellite français, est doté d'un télescope afocal de 27 cm. Les quatre détecteurs CCD de la caméra sont extrêmement sensibles. COROT étudie, par une technique appelée sismologie stellaire, les phénomènes physiques se produisant à l'intérieur des étoiles. Il peut aussi détecter par photométrie les micro-éclipses périodiques que des planètes provoquent en passant devant leur étoile mère.

Kepler :

Cette mission de la NASA prévue pour 2008 utilisera aussi la photométrie pour détecter des exoplanètes.

Darwin :

Cette mission européenne prévue pour 2015 comportera quatre ou cinq satellites volant en formation. Elle détectera par interférométrie des planètes de taille comparable à la Terre. En décomposant, par spectrométrie, la lumière émise par chaque planète extrasolaire Darwin analysera les différents composants de l'atmosphère afin d'éventuellement y déceler des signatures chimiques de la vie.

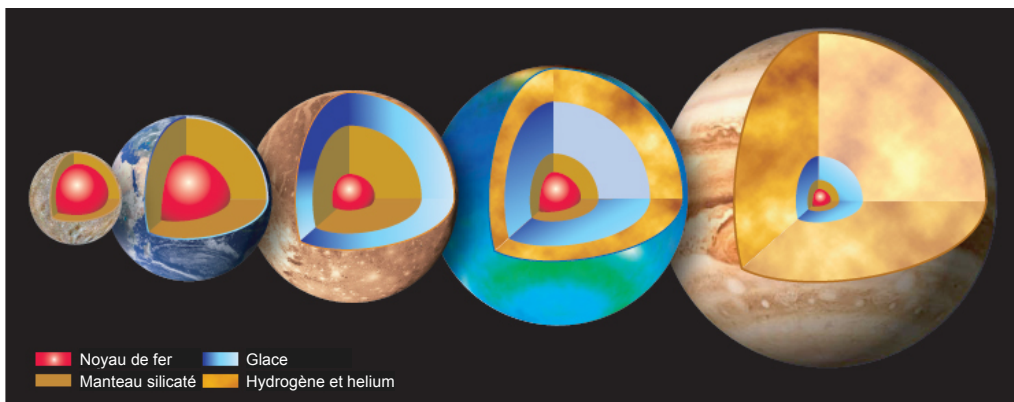


Fig 1 : Caractéristiques générales des principales familles de planètes envisagées. De gauche à droite : planètes de type Mercure, planètes de type Terre/Mars/Vénus, planètes océans (Europe), planètes intermédiaires (Uranus, Neptune) et géantes gazeuses (Saturne, Jupiter). Pour une masse donnée, l'ordre de grandeur de la taille relative des différentes couches dans chacune des familles est respecté. Par contre la taille relative des familles les unes par rapport aux autres est indicative.

Saturne se distingue d'Uranus et de Neptune. La partie solide de ces dernières serait majoritairement constituée de glace d'eau. Elles apparaissent donc comme des corps intermédiaires entre les planètes telluriques et les géantes gazeuses. Enfin les satellites glacés des planètes géantes qui sont constitués pour moitié (en masse) de glaces et pour moitié de silicates et de fer représentent une cinquième famille : celle des planètes-océans (voir fig. 1).

Le noyau de la Terre contient une importante proportion de fer, mais aussi une quantité non négligeable d'éléments plus légers dont la nature reste fortement débattue. La température, mal définie, demeure certainement inférieure à 5000° K au centre de la Terre.

La couche de silicates et le noyau sont constitués de huit éléments Silicium (Si), Magnésium (Mg), Fer (Fe), Oxygène (O), Calcium (Ca), Aluminium (Al), Nickel (Ni) et Soufre (S). Par ordre d'abondance, le quadruplet de tête (Si, Mg, Fe, O) fournit 95 % au moins de la masse totale du système silicates plus noyau. Les quatre éléments suivants fournissent 4,99 % de la masse restante. En première approximation, les négliger ne se traduit que par une erreur sur la masse totale inférieure à 1%.

Ainsi, en partant du centre vers la périphérie, une planète est schématiquement constituée d'un noyau de fer pur, auquel peut s'adjoindre du sulfure de fer (FeS). Le manteau silicaté peut être décrit à partir des quatre éléments O, Si, Fe, Mg. L'hydrosphère et la couche glacée, si elle existe, sont considérées comme constituées d'eau pure. L'enveloppe gazeuse des planètes intermédiaires et géantes est composée à 90%

► Planètes d'ailleurs

Contact chercheur

Olivier GRASSET

Laboratoire de Planétologie et
Géodynamique
Nantes

olivier.grasset@univ-nantes.fr

+ sur le web

[Laboratoire de
Planétologie et
Géodynamique](#)

[Mission COROT](#)

[Mission Darwin](#)

[Mission Kepler](#)

+ sur le CNES

[CNES](#)

[Missions scientifiques du
CNES](#)

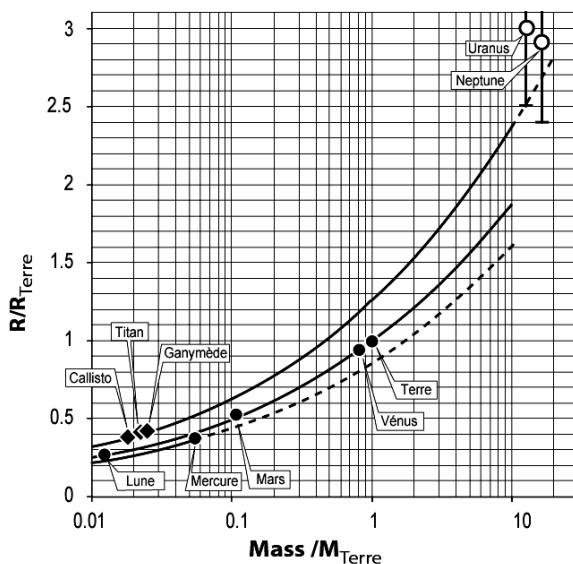


Fig. 2 : Relations Masse-Rayon pour les différentes familles de planètes solides. Les modèles reproduisent correctement les variations du rayon en fonction de la masse pour les principaux corps du système solaire. Une extrapolation à plus large masse est possible comme l'illustrent les positions des planètes Uranus et Neptune. Pour ces deux planètes, la position sur le diagramme correspond à la composante solide (hors atmosphère) selon les estimations de Hubbard et al. (1995). Courbe supérieure : Planètes océaniques ; courbe du milieu : super-Mercure

d'hydrogène et d'hélium. L'atmosphère des planètes telluriques, représente une masse négligeable et n'est pas considérée dans ce modèle.

En appliquant le modèle à la lueur de ces informations disponibles et en fixant les proportions des éléments (Si, Mg, Fe, O) en rapport avec les valeurs solaires, le rayon calculé pour une planète d'une masse équivalente à la Terre varie entre 6400 et 6478 km. Ces limites proviennent des hypothèses sur le profil thermique et les [équations d'état](#) utilisées. Ces valeurs sont à comparer au rayon mesuré de 6371 km. Pour des planètes de masse différente, mais en gardant une composition solaire, les prédictions du modèle sont en accord avec les observations et les calculs pour les principaux corps du système solaire (voir fig. 2).

Ce modèle étudiant les structures internes aidera au traitement des données de la mission spatiale [COROT](#) et prépare les futures missions [Kepler](#) et [Darwin](#). Le modèle est incomplet et les progrès dans la connaissance du comportement des matériaux sous très haute pression pourront améliorer sa précision. Dans les prochaines années, de nouvelles planètes seront découvertes et, éventuellement, de nouvelles familles seront étudiées comme celle des planètes riches en carbone.

E-Space&Science vous informe des résultats des expériences scientifiques soutenues par le CNES

Directeur de la publication : **Yannick d'Escatha** ■ Directeur de la rédaction : **Pierre Tréfouret** ■ Rédacteur en chef : **Michel Viso** ■ Secrétaire de rédaction : **Martine Degrave** ■ Diffusion du magazine : **INIST diffusion** ■

Abonnement

Envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Abonnement version Française](#)

ou à :

[Abonnement version Anglaise](#)

Désabonnement

Envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Désabonnement version Française](#)

ou à :

[Désabonnement version Anglaise](#)