

Caractérisation de l'atmosphère de Neptune

Documents et calculatrices autorisés. Les questions sont indépendantes autant que possible. Les réponses doivent être formulées avec concision et rigueur. La constante de Stefan-Boltzman vaut $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. La constante des gaz parfaits vaut $R^* = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, la version massique étant notée $R = R^*/M$ où M est la masse molaire en g mol^{-1} qui dépend de la composition atmosphérique. P représente la pression atmosphérique, T la température, ρ la masse volumique, z l'altitude, ϕ la latitude, u v w les composantes zonale/méridienne/verticale du vent. Les paramètres planétaires utiles sont donnés dans le tableau suivant.

Planet	Radius R_p (m)	Stellar flux \mathcal{F}_s (W m^{-2})	Rotation rate Ω (s^{-1})	Albedo A_b	Gravity g (m s^{-2})	Heat capacity c_p ($\text{J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)	Gas "constant" R ($\text{J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)
Earth	6.371×10^6	1368	7.272×10^{-5}	0.306	9.798	1004	288.7
Neptune	2.462×10^7	1.53	0.000 108 3	0.29	11.15	1.15×10^4	4157

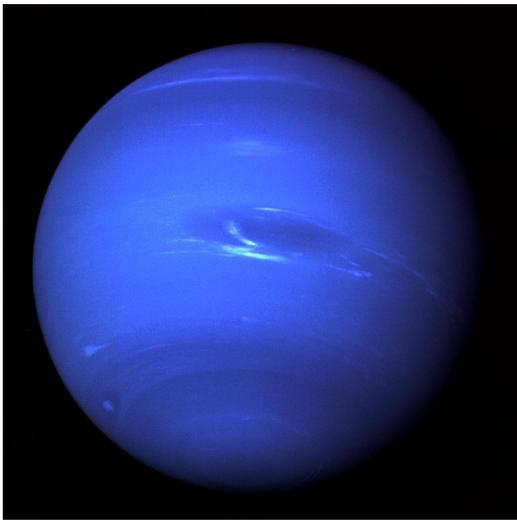


Figure 1: Il y a trente ans, en 1989, Voyager 2 survolait Neptune. La sonde a capturé cette image de la couche atmosphérique visible de Neptune située à environ 1 bar (10^5 Pa). Depuis, les études de cette planète géante gazeuse à l'atmosphère encore mystérieuse se basent sur des observations par télescopes, au sol ou spatiaux, dont les progrès présents et futurs s'accroissent. Une mission orbitale dédiée pourrait voir le jour à la décennie 2030.

Bilan énergétique et structure verticale Sur Neptune, le flux de chaleur interne (reste de contraction gravitationnelle lors de la formation planétaire) est F_{int} vaut 0.43 W m^{-2} . Sur les planètes géantes comme Neptune, la pression plutôt que l'altitude est utilisée comme coordonnée verticale en raison de l'absence de surface.

Q1 Calculer le flux de rayonnement infrarouge sortant OLR de l'atmosphère de Neptune en W m^{-2} en supposant l'équilibre TOA (*Top-Of-Atmosphere*) vérifié. Commenter en comparant à F_{int} .

0.27

Q2 Expliquer ce que l'échelle de hauteur H représente. Calculer sa valeur pour Neptune avec $T_0 = 65 \text{ K}$.

24

Q3 Expliquer comment le profil vertical de température pour Neptune à l'équilibre radiatif peut être obtenu et pourquoi l'information sur la présence d'une surface n'est pas nécessaire pour ce calcul.

Saisons sur Neptune La durée d'une année Neptune est 165 années terrestres. La constante de temps radiative τ est le temps caractéristique que met une couche atmosphérique à évacuer une perturbation de température par rayonnement infrarouge. Pour une couche d'épaisseur $h = H/10$ (avec H l'échelle de hauteur) considérée à une pression P , elle peut s'exprimer simplement par

$$\tau = \frac{c_p (P/R) h}{OLR}$$

La constante de temps radiative τ peut être considérée comme l'équivalent atmosphérique de l'inertie thermique.

- Q4 Calculer la constante de temps radiative pour Neptune au niveau visible $P = 10^5$ Pa (1 bar). Comparer à la durée d'une année Neptune et conclure sur la possibilité de variations saisonnières.

78 années terrestres

- Q5 Expliquer pourquoi cette situation de constante de temps radiative relativement élevée pour Neptune indique que les cellules de Hadley sur Neptune se comportent vraisemblablement comme sur Terre.

Nuages Les taches blanches visibles sur les images de Neptune sont des orages formés de particules de glace d'eau et d'ammoniac (NH_3). Ils sont le signe de la présence d'une épaisse couche de nuages d'eau située à une pression de 100 bars, ainsi que d'une couche de nuages d'ammoniac située à une pression de 10 bars.

- Q6 Détailler quels mécanismes contrôlent la formation de particules nuageuses.
- Q7 Expliquer comment est modifié le gradient vertical de température dans la troposphère de Neptune en présence de nuages d'eau et en quoi cela peut favoriser de puissants orages.

Dynamique atmosphérique Neptune est une planète à rotation rapide. La circulation atmosphérique de Neptune est dominée entre 45°S et 45°N par un grand courant-jet zonal vers l'ouest (rétrograde) d'une vitesse typique de 400 m s^{-1} et deux courants-jets vers l'est (prograde) présentant un maximum de vitesse de 200 m s^{-1} aux latitudes 60°N et 60°S . Les images Voyager 2 de Neptune indiquent par ailleurs la présence d'un *Great Dark Spot*, zone de haute pression à la latitude 20°S .

- Q8 Justifier que Neptune suit en bonne approximation l'équilibre géostrophique. Indiquer le sens de rotation des vents dans le Great Dark Spot de Neptune.

Rossby = 7×10^{-2}

- Q9 Expliquer par un argument de dynamique atmosphérique (différent donc de celui en Q5) que les cellules de Hadley sur Neptune sont vraisemblablement confinées aux tropiques.

- Q10 Expliquer sous quelles conditions le moment cinétique axial

$$\mathcal{M} = R_p \cos \varphi (\Omega R_p \cos \varphi + u)$$

se conserve. Justifier qu'une circulation des tropiques vers l'équateur devrait donner naissance à un courant-jet vers l'ouest (rétrograde) proche de l'équateur.

- Q11 Calculer la vitesse du courant rétrograde équatorial considérant une parcelle initialement de vitesse zonale $u_0 = 0$ à la latitude $\varphi_0 = 30^\circ\text{N}$ se dirigeant vers l'équateur. Commenter le résultat.

$u = 8 \times 10^2$

- Q12 Détailler comment estimer la variation verticale du vent zonal u , à partir du vent zonal et du champ horizontal de température mesurés à une altitude donnée (par exemple sur la couche visible de Neptune).

- Q13 Expliquer pourquoi la présence du Great Dark Spot proche de l'équateur implique l'émission d'ondes de Rossby. Expliquer graphiquement la propagation vers l'ouest de ces ondes.

- Q14 Justifier pourquoi ces ondes pourraient expliquer les différences entre le calcul Q11 et les observations.

Références: LeBeau & Dowling (Icarus 1998), Ouvrage Sanchez-Lavega (CRC Press 2011).