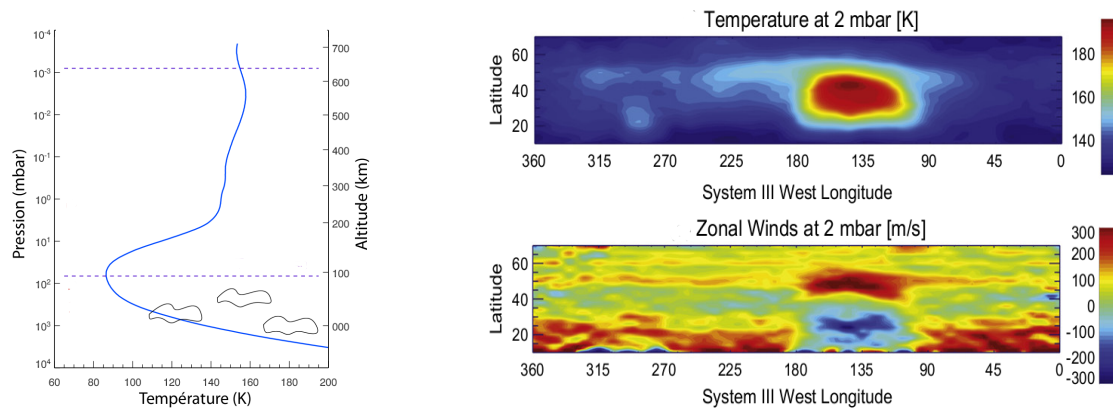


Les questions sont relativement indépendantes. Les réponses doivent être formulées avec concision et rigueur. P représente la pression atmosphérique, T la température, ρ la masse volumique, z l'altitude, ϕ la latitude, u v w les composantes zonale/méridienne/verticale du vent. La constante de Stefan-Boltzman vaut $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

	Saturne	Terre	description
a (km)	58232	6378	rayon planétaire moyen
g (m s^{-2})	10.44	9.81	accélération de la gravité
Ω (10^{-5} s^{-1})	16.38	7.3	taux de rotation
\mathcal{F}_s (W m^{-2})	14.9	1367	constante solaire
A_b	0.342	0.31	albedo bolométrique (intégré)
c_p ($\text{J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)	11500	1000	capacité calorifique massique à p constante
R ($\text{J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)	4017	287	constante des gaz massique



Les variations verticales de la température atmosphérique mesurées sur Saturne sont données sur la figure gauche [FG]. La sonde Cassini a permis d'obtenir une coupe horizontale de la température atmosphérique sur Saturne à 2 mbar lors de la grande tempête de 2010 [figure droite, FD]. On rappelle l'équation du mouvement sur l'axe méridien (gauche) et le vent thermique pour l'équilibre *vent gradient* sur les coordonnées x, y, P (droite) :

$$\frac{dv}{dt} + \frac{u^2 \tan \phi}{a} + \frac{wu}{a} = -2\Omega u \sin \phi - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad 2\Omega \sin \phi \frac{\partial u}{\partial P} + 2u \frac{\partial u}{\partial P} \frac{\tan \phi}{a} = -\frac{R}{P} \frac{\partial T}{\partial y}$$

1. La loi des gaz parfaits est valable lorsque la masse volumique du gaz est inférieure à 1/10 de celle de l'eau. Déterminer la pression P_{lim} correspondante sur Saturne et conclure sur le bien-fondé de cette loi.
2. Exprimer la température équivalente T_e en fonction de A_b , \mathcal{F}_s et σ et calculer sa valeur sur Saturne. Expliquer quel sont les phénomènes pouvant expliquer les différences constatées avec les observations.
3. Nommer les couches atmosphériques présentes sur la figure FG et justifier la réponse. Discuter de la stabilité de la couche entre 100 et 1 mbar. Conclure sur les mouvements verticaux dans cette couche.
4. Le chauffage à 100 – 1 mbar résulte de l'absorption visible et proche-infrarouge des photons solaires par le méthane. Expliquer comment modifier le modèle à deux faisceaux pour prendre en compte cet effet.
5. Calculer la décroissance de la température en K km^{-1} entre les niveaux 5 bars et 1 bar. Comparer au gradient adiabatique sec. Conclure sur les facteurs y contrôlant les variations verticales de température.
6. Les nuages sur la figure FG sont formés d'ammoniac et d'hydrosulfure d'ammonium. Les nuages de glace d'eau se forment plutôt autour de 10 bars : quels facteurs limitent la formation de ces nuages au-dessus ?
7. Des cristaux d'eau ont été détectés aussi haut que 0.1 bar lors de la grande tempête de 2010. Estimer son extension en altitude. Estimer la vitesse verticale d'une parcelle 1 K plus chaude que son environnement.
8. La tempête de 2010 cause une anomalie de température chaude (figure FD). Dessiner les isobares autour de cette perturbation sur un repère altitude-latitude. Déduire qu'elle s'associe à une zone de haute pression.
9. Justifier que les vents associés à la perturbation vont dans le sens horaire. Calculer le vent zonal u associé.
10. La zone équatoriale de Saturne est soumise à des vents progrades (dans le sens de rotation de la planète) de 450 m s^{-1} . Déterminer si ce phénomène est causé par les circulations axisymétriques ou non-axisymétriques.

Sources utilisées : Sandrine Guerlet, thèse (2010); Fletcher et al. Icarus (2012); Sanchez-Lavega et al. Nature (2011).