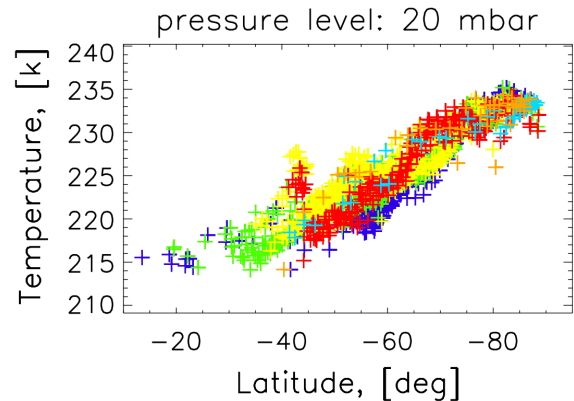
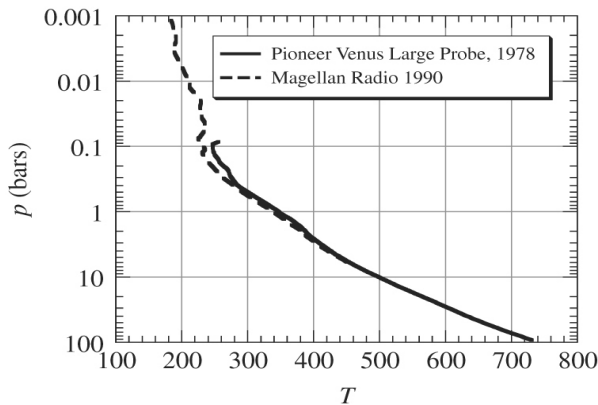


Les questions sont relativement indépendantes. Les réponses doivent être formulées avec concision et rigueur. Dans l'énoncé,  $p$  représente la pression atmosphérique,  $T$  la température,  $\rho$  la densité,  $z$  l'altitude,  $\phi$  la latitude,  $u$   $v$   $w$  les composantes zonale/méridienne/verticale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

	Vénus	Terre	description
$a$ (km)	6052	6378	rayon planétaire moyen
$g$ ( $\text{m s}^{-2}$ )	8.86	9.81	accélération de la gravité
$T_s$ (K)	730	288	température de surface
$\Omega$ ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )	0.03	7.3	taux de rotation
$\mathcal{F}_s$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	2614	1367	constante solaire
$A_b$	0.75	0.31	albedo bolométrique (intégré)
$p_0$ (bar)	90	1	pression de référence à la surface
$c_p$ ( $\text{J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ )	850	1000	capacité calorifique massique à $p$ constante
$R$ ( $\text{J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ )	196	287	constante des gaz massique



Considérons les variations verticales de la température atmosphérique sur Vénus. Les courbes de la figure de gauche sont issues de mesures in-situ par la sonde *Pioneer* et via occultations radio par l'orbiteur *Magellan*.

1. Nommer les couches atmosphériques présentes sur la courbe et justifier la réponse. Discuter de la stabilité de la couche située entre les pressions  $10^{-1}$  et  $10^{-3}$  bar.
2. Résumer quels facteurs contrôlent la présence de nuages d'acide sulfurique autour de l'altitude  $10^{-1}$  bar.
3. Rappeler en vertu de quelle loi la pression peut être utilisée comme coordonnée d'altitude. Exprimer la variation relative de pression  $dp/p$  en fonction de la variation d'altitude  $dz$  et de la température  $T(z)$ .
4. Estimer le gradient vertical de température  $dT/dz$  observé entre les pressions 1 et 100 bar.
5. Expliquer les causes possibles de différence avec la valeur du gradient adiabatique sec  $-g/c_p$ .
6. Exprimer la température équivalente  $T_e$  en fonction de  $A_b$ ,  $\mathcal{F}_s$  et  $\sigma$  et calculer sa valeur sur Vénus.
7. Expliquer le phénomène qui provoque une telle différence entre  $T_e$  et  $T_s$  sur Vénus. Indiquer quelles sont les caractéristiques particulières de l'altitude à laquelle  $T = T_e$ .

Considérons sur la figure de droite les variations latitudinales de température mesurées à 20 mbar par le spectromètre VIRTIS sur *Venus Express*. L'équation du mouvement horizontal selon l'axe méridien s'écrit :

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

8. Indiquer quels termes définissent l'équilibre géostrophique et l'équilibre cyclostrophique. Expliquer lequel de ces deux équilibres est vérifié sur Vénus.
9. Utiliser l'équilibre cyclostrophique pour exprimer le vent zonal  $u$  en fonction du gradient méridien de température  $\frac{\partial T}{\partial \phi}$  (NB : négliger les variations méridiennes de densité).
10. Calculer un ordre de grandeur du vent zonal  $u$  au niveau 20 mbar sur Vénus (sommet de la couche nuageuse). Commenter à partir de vos connaissances sur les vents dans l'atmosphère de Vénus.

Sources des figures : Pierrehumbert Principles of Planetary Climate CUP 2010 (gauche) Piccialli et al. JGR 2008 (droite)