

**Travaux dirigés**  
**M2 Planétologie comparée**  
**« Système Mars-Phobos »**

1) Calculer le rapport  $C/Ma^2$  pour une planète de densité homogène  $\rho$ , de masse  $M$  et de rayon  $a$ .  $C$  est le moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation de la planète, supposée sphérique. Calculer ce même rapport pour une planète dont le manteau a une masse  $\rho_m$ , le noyau de masse  $\rho_c$  et le rayon du noyau est  $b$ . Quelle est la relation entre la densité moyenne  $\rho_0$ , de la planète  $a$ ,  $b$ ,  $\rho_m$  et  $\rho_c$ ? Exprimer  $\rho_m$  et  $\rho_c$  en fonction de  $a$ ,  $b$ ,  $\rho_0$  et  $C/Ma^2$ .

2) Expliquer comment  $\rho_0$  et  $C/Ma^2$  ont pu être d'abord mesurés pour le premier et extrapolé pour le second à partir des observations par télescope du système Mars-Phobos. Expliquez comment ces deux données ont été ensuite mesurées directement par les expériences de radio-science de Pathfinder et du satellite Mars Global Surveyor. Qu'apporte une mesure directe de  $C/Ma^2$  par rapport à son extrapolation à partir des données de gravité.

3) Dans le cas de Mars,  $C/Ma^2 = 0.366$ ,  $\rho_0 = 3940 \text{ kg/m}^3$  et  $a=3400 \text{ km}$ . Résoudre graphiquement les variations de  $\rho_m$  et  $\rho_c$  pour des valeurs de  $b$  variant entre 30% et 70% de  $a$ . Interpréter les résultats.

4) Estimez la pression à la base du manteau en fonction de la taille du noyau. On utilisera pour cela les résultats de la question 1. On calculera la gravité puis la pression dans le manteau à une distance  $r$  du centre, en fonction des densités du noyau, du manteau et de la taille du noyau, puis on en déduira la pression à la base du manteau. On tracera cette pression pour les modèles de Mars ayant un noyau variant entre 30% et 70% de  $a$ .

5) On détermine les domaines de stabilité de la transition de phase spinel-perovskite (Figure 1) et l'on suppose que la température du manteau Martien évolue comme indiqué sur la Figure 2. En déduire les conséquences sur l'évolution de la transition de phase. Si cette dernière existe au début, quelle est son évolution au cours du temps. Quel peut être l'impact de cette transition, sur le régime de convection de la planète.

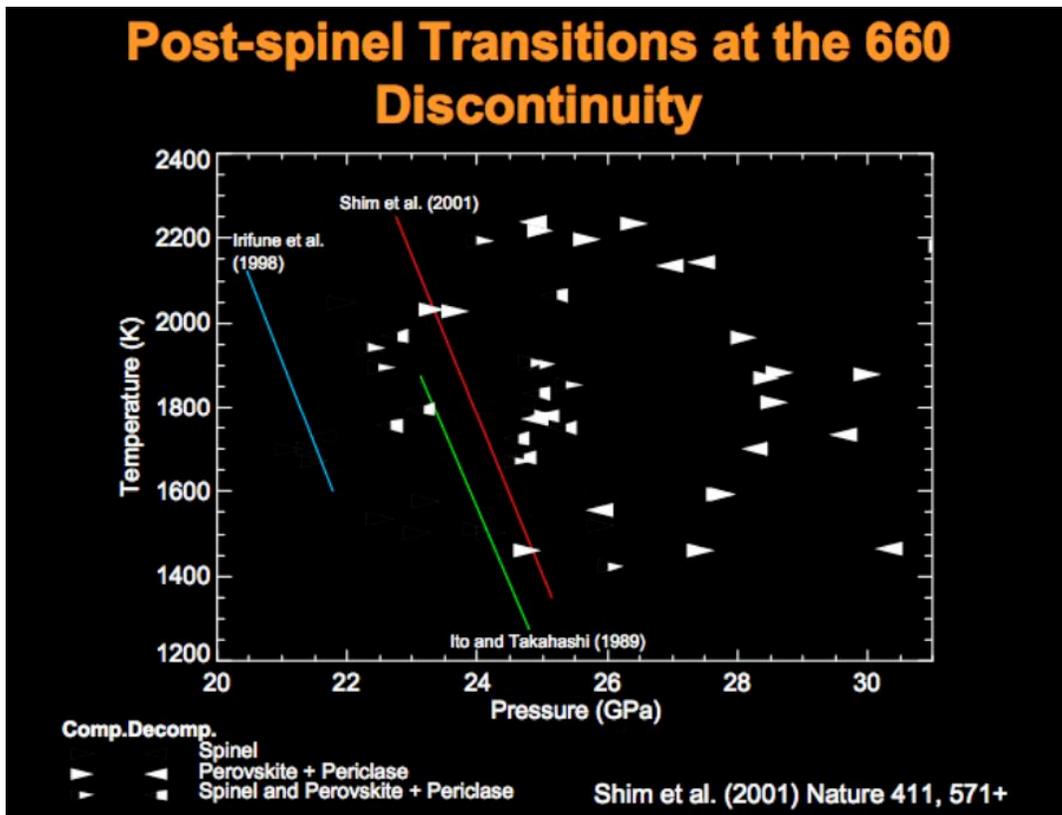
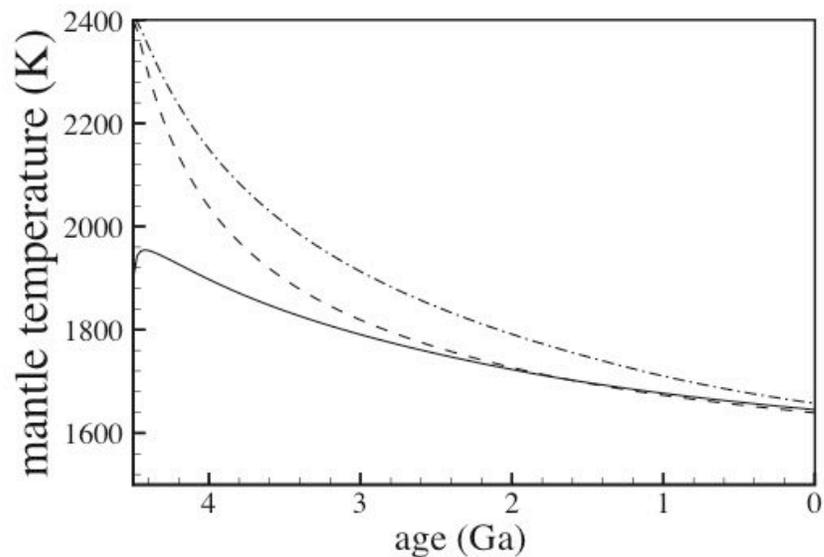


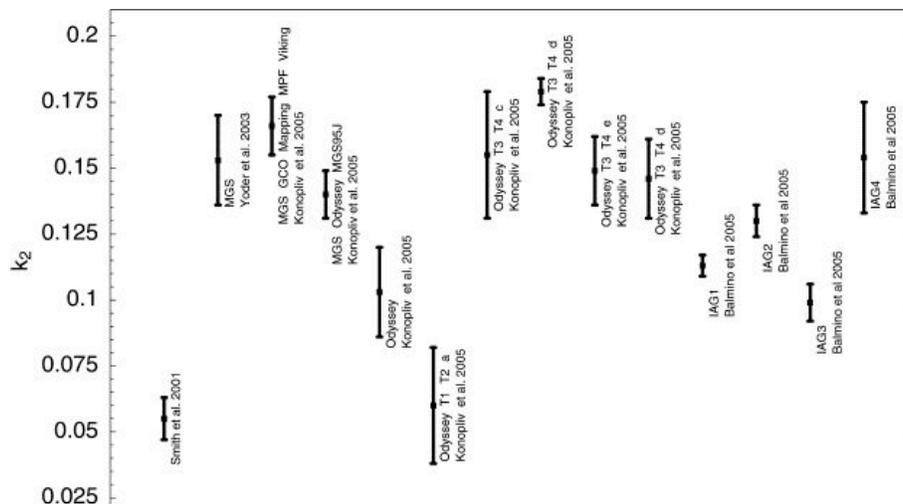
Figure 1



**Fig. 17.** Martian mantle temperature as function of time according to Breuer et al. (1993). Models have been calculated with an initial temperature of 1900 K (solid line) and 2400 K (dashed and dash-dotted lines). A model with an early depletion of 80% of the radioactive elements in the mantle (dash-dotted line) and two models without an early depletion (solid and dashed lines) are shown.

Mars a deux satellites, Phobos et Deïmos. On supposera que les deux satellites sont dans le plan équatorial.

- 1) Où se lèvent Phobos et Deïmos dans le ciel martien (à l'ouest ou à l'est ?) On prendra soin de bien calculer les périodes de rotation des satellites par rapport à Mars en composant les vitesses de rotation des satellites par rapport à celle de Mars
- 2) Retrouver, à partir des lois de Kepler, les périodes de révolution sidérales des deux satellites de Mars. (on démontrera la troisième loi de Kepler en supposant l'orbite circulaire).
- 3) En supposant que Mars est un fluide parfait et en négligeant la marée de Deimos, estimer la déformation induite par la marée.
- 4) Mars se comporte en fait comme un solide, avec un coefficient de marée solide  $k_2$ . Quel est le couple exercé par Mars sur Phobos? Calculer ce couple en supposant que l'atténuation de la marée induit un déphasage de  $2\epsilon = 1/Q$ , avec  $Q=80$ .
- 5) En utilisant la conservation du moment cinétique de l'ensemble, trouver l'équation différentielle qui régit l'évolution du demi grand axe de Phobos au cours du temps. Intégrer cette équation et estimez le temps avant l'impact de Phobos sur Mars
- 5) Estimer la vitesse d'impact de Phobos et la durée de rotation de Mars après l'impact



Valeurs de  $k_2$  publiées.

### 6) Limite de Roche :

Calculer la gravité de Phobos. En utilisant les données de la limite de Roche (voir cours), estimer le rayon de l'orbite lorsque Phobos se brisera.

#### Données:

Les révolution et rotation sidérales sont par rapport à un référentiel fixe, lié aux étoiles.

	Mars	Phobos	Deimos
Période de révolution sidérale		0.319 jour	1.262 jour
Période de Rotation sidérale	1,039		
Rayon moyen (km)	3397	11	6
Densité moyenne	3.94	2	2
Demi grand axe de l'orbite (km)		9380	23480
Exentricité de l'orbite		0.017	0.003