

TD - M1 Géomorphologie Planétaire

M. Turbet, A. Spiga, A. Lucas et F. Lemonnier

2017-2018

Note 1: Vous devez rendre un compte-rendu écrit à la fin du TP. Ce compte-rendu sera noté.

Note 2: Se connecter sur l'environnement **OPEN SUSE**.

I. Étude du relief topographique des planètes

La topographie d'une planète correspond à la manière dont les reliefs (montagnes, mers, cratères ...) sont distribués à sa surface. Cet exercice vous propose d'explorer comment la topographie varie d'une planète du Système Solaire à une autre. Nous adoptons une approche de géomorphologie quantitative basée sur l'allure des distributions topographiques. Pour fabriquer un histogramme, vous allez directement récupérer les scripts dédiés, écrits avec le langage de programmation `python` sur http://www.lmd.jussieu.fr/~mturbet/TD_geomorphologie, puis les exécuter en ligne de commande une fois les fichiers de données de topographie téléchargés.

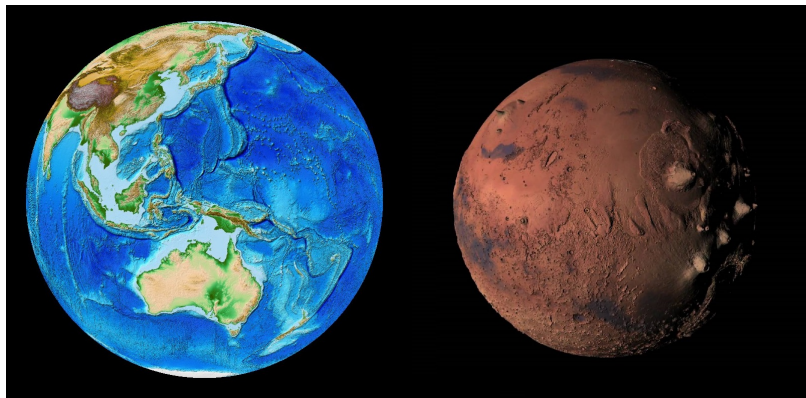


Figure 1: Cartes topographiques de la Terre (à gauche) et de Mars (à droite). Reliefs volontairement exagérés.

1. Par quel(s) moyen(s) les scientifiques sont ils capables de collecter des informations sur la topographie de la Terre et des autres objets du Système Solaire ?
 2. Récupérer les données topographiques de la Terre sur le site de la NOAA <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/relief/ETOP05/ETOPO5/ETOPO5/ETOPO5.DAT>. A partir de ces données, tracer l'histogramme de la distribution de l'élévation de la surface. Interpréter et commenter le résultat.
 3. La NASA met à disposition tous les résultats de ses missions spatiales vers le Système Solaire sur le site PDS <http://pds-geosciences.wustl.edu>. Récupérer les fichiers topographiques correspondant respectivement à la Lune, Vénus et Mars
 - Vénus \Rightarrow Altimetry Experiment Data Record \Rightarrow Spherical Harmonic, Topo and Gravity \Rightarrow topo directory \Rightarrow `topogrd.dat`
 - Mars \Rightarrow Mars Global Surveyor \Rightarrow MOLA \Rightarrow Mission Experiment Gridded Data Records \Rightarrow MEG004 \Rightarrow `megt90n000cb.img`
- Donner quelques éléments (deux phrases) décrivant les missions spatiales ayant mesuré les champs topographiques des deux corps.
4. Tracer les histogrammes de distribution de l'élévation de la surface de Venus et Mars. Comparer et commenter.
 5. Question Bonus: Selon vous, à quoi ressemble (qualitativement) l'histogramme pour Titan ? pour la Lune ?

II. Bassins versants

Qu'ils soient composés de lave en fusion, d'hydrocarbures ou bien d'eau, les écoulements liquides laissent (et ont laissé) de nombreuses traces à la surface de la Terre, Mars, Venus, Titan ... Dans cet exercice, nous explorons différents types d'écoulements fluviaux qui ont pu avoir lieu, jadis, sur Mars la planète rouge.

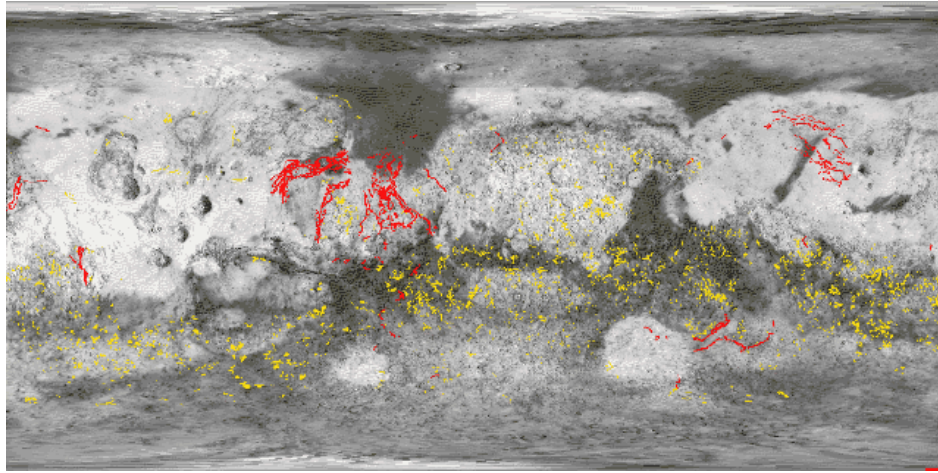


Figure 2: Cartes de répartition des vallées de débacle (rouge) et des réseaux de rivière (jaune)

II.1. Les vallées de débacle ou “outflow channels”

Ouvrez le logiciel Google Earth, et choisissez l'option planète Mars. Dirigez vous vers le lieu-dit “Kasei Valles” (coordonnées 22°Nord, 67°Ouest). Vous pouvez ensuite utiliser la carte “Colorized Terrain” - qui correspond au calque de la carte topographique (données MOLA - Mars Orbiter Laser Altimeter) - pour vous aider dans votre tâche. Pour faire une coupe, utiliser l'outil “ajouter un trajet” (en choisissant judicieusement les bonnes options). Puis, afficher le dénivelé du trajet pour obtenir la coupe.

1. Décrire en deux phrases la localisation et le contexte morphologique du site Kasei Valles.
2. Obtenir une coupe de la vallée fluviale. Estimer ensuite grossièrement la largeur et la hauteur caractéristique de l'écoulement.
3. Faites une estimation approximative de la pente moyenne de la vallée fluviale.
4. En déduire le débit caractéristique de l'écoulement. Pour cela, vous pouvez utiliser l'équation de Darcy-Weisbach, vue précédemment en cours.
5. Le débit moyen de la Seine est de $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Comparer avec vos résultats et commenter.

II.2. Les réseaux de rivières ou “valley networks”

Pointez maintenant dans la direction du lieu-dit “Warrego Valles” (coordonnées 42°Sud, 93°Ouest). On pourra cette fois utiliser le calque des images “Visible Imagery” ou “Daytime Infrared” (images THEMIS).

1. Décrire en deux phrases la localisation et le contexte morphologique du site Warrego Valles.
2. Calculer le rapport de confluence (“bifurcation ratio” - le ratio entre le nombre de rivières d'ordre $n+1$ et n), la densité de drainage (la longueur totale cumulée du réseau de rivières divisée par l'aire totale de la zone de drainage) et le rapport de longueur (“length ratio” - rapport de longueur entre les rivières d'ordre n et $n+1$) du réseau de rivières de Warrego Valles.
3. Comment la résolution spatiale des images utilisées influence-t-elle vos résultats ? Est-ce la seule limite de votre calcul ?
4. Comparer la nature de Warrego Valles et de Kasei Valles. Commenter.
5. Utiliser maintenant Google Earth et explorer le Sud du Yemen. Commenter.

III. Processus gravitaires

Dans cet exercice, nous nous proposons de retrouver un des grands principes relatif à l'angle de décrochage sur une pente. On considère un objet de masse m , au repos sur un plan incliné d'un angle θ .

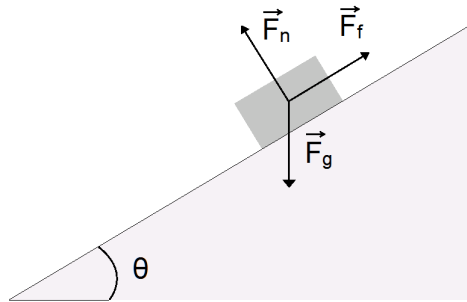


Figure 3: Schéma représentant le bilan des forces s'exerçant sur un objet positionné sur un plan incliné. \vec{F}_g , \vec{F}_f et \vec{F}_n indiquent respectivement la force de gravité, de frottement et de réaction du support.

1. Exprimer le bilan des forces exercées sur l'objet au repos.
2. Calculer l'angle critique θ_c à partir duquel l'objet décroche. On rappelle la loi de Coulomb du frottement statique, correspondant à la condition du décrochage : $|\vec{F}_f| \leq \mu_s |\vec{F}_n|$, avec μ_s le coefficient de frottement statique qui dépend des matériaux en contact.
3. Comment varie l'angle de décrochage sur Terre ($g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$), Mars ($g = 3.72 \text{ m.s}^{-2}$) et la Lune ($g = 1.62 \text{ m.s}^{-2}$) ? Commenter.
4. Des glissements de terrain ont eu lieu sur la comète 67P-Churyumov-Gerassimenko. Est-ce en raison de la faible gravité de l'objet ? Quel peut être la cause de mouvements de terrain sur une comète ?

IV. Glaciologie

L'eau compte parmi les espèces volatiles les plus abondantes dans le Système Solaire. On en trouve en abondance sur Terre, mais aussi sur Mars, Titan, Pluton, Ceres ... En mars 2015, la sonde spatiale américaine Dawn s'insère en orbite autour de la planète naine Cérès, située dans la ceinture d'astéroïde entre Mars et Jupiter. La sonde révèle alors la présence de cryovolcans – littéralement, un volcan constitué de glace d'eau, cf. Figure 4. Cet exercice propose d'étudier en détail le cryovolcan Ahuna Mons découvert en 2015 sur Cérès, en faisant un bilan énergétique où conduction et radiation thermique interviennent.

1. Décrire en deux-trois phrases les principales caractéristiques de Cérès.
2. A partir de l'équation de la chaleur 1, estimer le temps caractéristique τ_{diff} de diffusion de la chaleur par conduction. Calculer alors le temps nécessaire pour que le cryovolcan Ahuana Mons évacue sa chaleur initiale par diffusion thermique.
3. A partir de l'équation de Planck 2, estimer le temps caractéristique τ_{rad} radiatif nécessaire pour évacuer la chaleur initiale du cryovolcan par radiation thermique (on prendra $T=230 \text{ K}$). La température de surface moyenne de Cérès est de $\sim 150 \text{ K}$.
4. A partir des résultats précédents, donner l'ordre de grandeur de la durée de l'écoulement qui a conduit à la formation de Ahuna Mons.
5. La technique de datation par comptage de cratères (cf exercice suivant) indique que le cryovolcan Ahuna Mons s'est formé il y a $\sim 210 \pm 30$ millions d'années. Commenter.

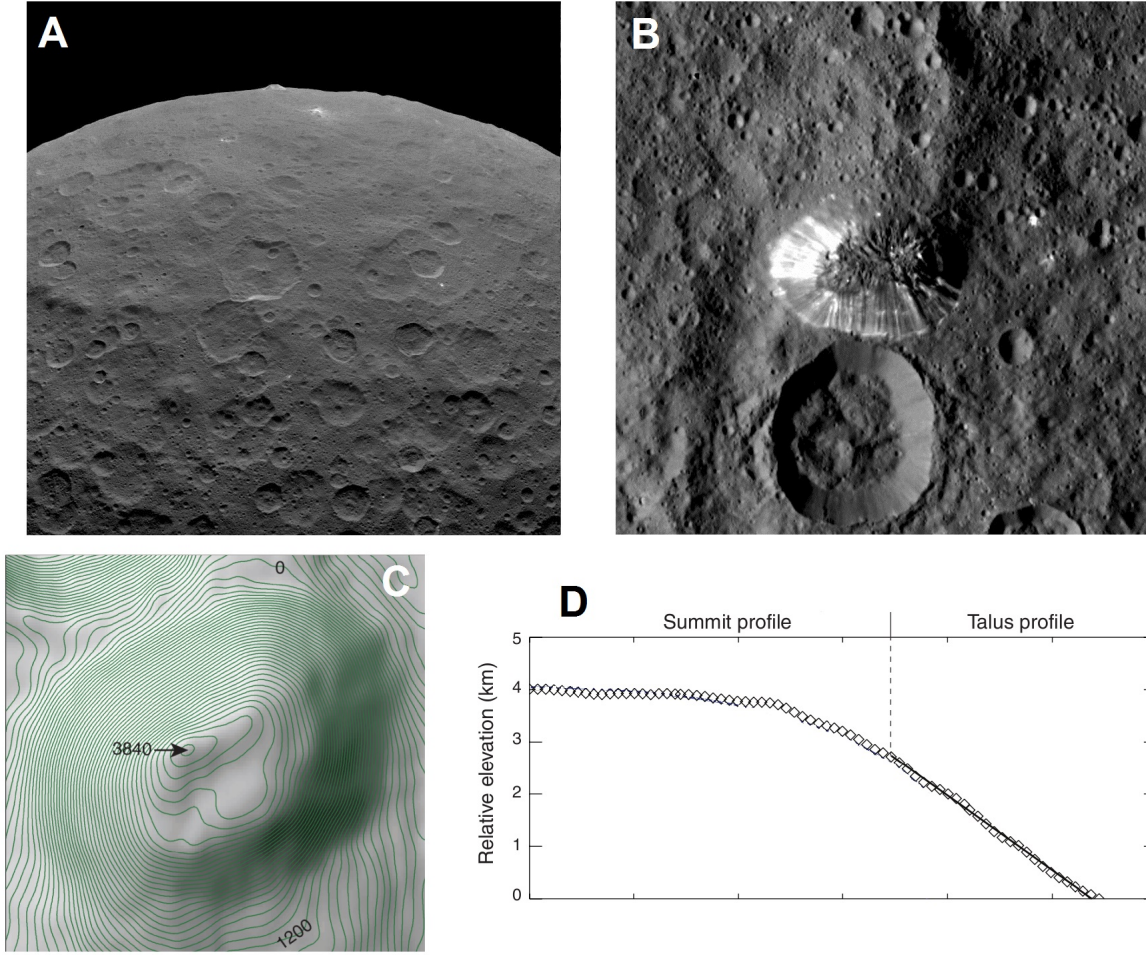


Figure 4: A) Image globale de Cérès. (B) Zoom sur le cryovolcan Ahuna Mons. (C) Carte topographique de Ahuna Mons. (D) Coupe topographique de Ahuna Mons. Source: Russell et al. (2016) et Ruesch et al. (2016).

- **Equation de la chaleur à une dimension spatiale**

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\kappa}{\rho C_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

avec T la température, t le temps, κ le coefficient de diffusion thermique, ρ la masse volumique, C_p la capacité thermique et x la dimension spatiale. Pour un cryovolcan, on prendra $\kappa=1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, $\rho=1950 \text{ kg.m}^{-3}$ et $C_p=1242 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, résultant d'un mélange entre de la glace d'eau et des silicates.

- **Equation de Planck**

$$F = \sigma T^4 \times S, \quad (2)$$

avec F le flux (en W) irradié par un objet de surface S , T sa température et σ la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$).

V. Impacts et datation

Les cratères d'impact sont omniprésents sur la grande majorité des objets du Système Solaire ayant une surface solide. Le nombre de cratères d'impact sur une surface exposée à l'espace augmente indubitablement avec le temps. C'est sur la base de cette propriété fondamentale que les planétologues sont capables par exemple d'estimer quand les rivières et lacs se sont formés sur Mars. Cet exercice propose de mesurer l'âge de structures fluviales martiennes déjà discutées dans l'exercice 2.

1. En utilisant le logiciel Google Earth, compter le nombre de cratères dans la région de Kasei Valles (voir partie II.1) de diamètre entre 1-8 km, 8-16 km, 16-32 km, 32-64 km, etc. On pourra compter les cratères dans une région qui s'étend à ± 500 km autour du point d'intérêt. Pour compter les cratères, on pourra utiliser la règle proposée par le logiciel.
2. Placer vos résultats sur l'isochrone (Figure 5 en page suivante). On prendra soin d'utiliser les bonnes unités.
3. Répéter maintenant l'opération pour le lieu-dit "Warrego Valles" (voir partie II.2). Commenter.
4. Selon vous, quelles sont les sources d'erreur les plus importantes dans vos estimations d'âges.
5. Que signifie l'inscription "saturation" sur la Figure 5 ?
6. Estimer le nombre total de cratères d'impact $>$ à 1 km reçus sur Mars en 4 milliards d'années.
7. La superficie de la France est d'environ 6×10^5 km². Utiliser Google Earth pour compter le nombre de cratères d'impact en France. La liste des cratères terrestres est également disponible sur <http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/Europe.html>. Réagir.

References

- Hartmann, W. K. (2005). Martian cratering 8: Isochron refinement and the chronology of Mars. *Icarus*, 174:294–320.
- Ruesch, O., Platz, T., Schenk, P., McFadden, L. A., Castillo-Rogez, J. C., Quick, L. C., Byrne, S., Preusker, F., O'Brien, D. P., Schmedemann, N., Williams, D. A., Li, J.-Y., Bland, M. T., Hiesinger, H., Kneissl, T., Neesemann, A., Schaefer, M., Pasckert, J. H., Schmidt, B. E., Buczkowski, D. L., Sykes, M. V., Nathues, A., Roatsch, T., Hoffmann, M., Raymond, C. A., and Russell, C. T. (2016). Cryovolcanism on Ceres. *Science*, 353:aaf4286.
- Russell, C. T., Raymond, C. A., Ammannito, E., Buczkowski, D. L., De Sanctis, M. C., Hiesinger, H., Jaumann, R., Konopliv, A. S., McSween, H. Y., Nathues, A., Park, R. S., Pieters, C. M., Prettyman, T. H., McCord, T. B., McFadden, L. A., Mottola, S., Zuber, M. T., Joy, S. P., Polanskey, C., Rayman, M. D., Castillo-Rogez, J. C., Chi, P. J., Combe, J. P., Ermakov, A., Fu, R. R., Hoffmann, M., Jia, Y. D., King, S. D., Lawrence, D. J., Li, J.-Y., Marchi, S., Preusker, F., Roatsch, T., Ruesch, O., Schenk, P., Villarreal, M. N., and Yamashita, N. (2016). Dawn arrives at Ceres: Exploration of a small, volatile-rich world. *Science*, 353:1008–1010.

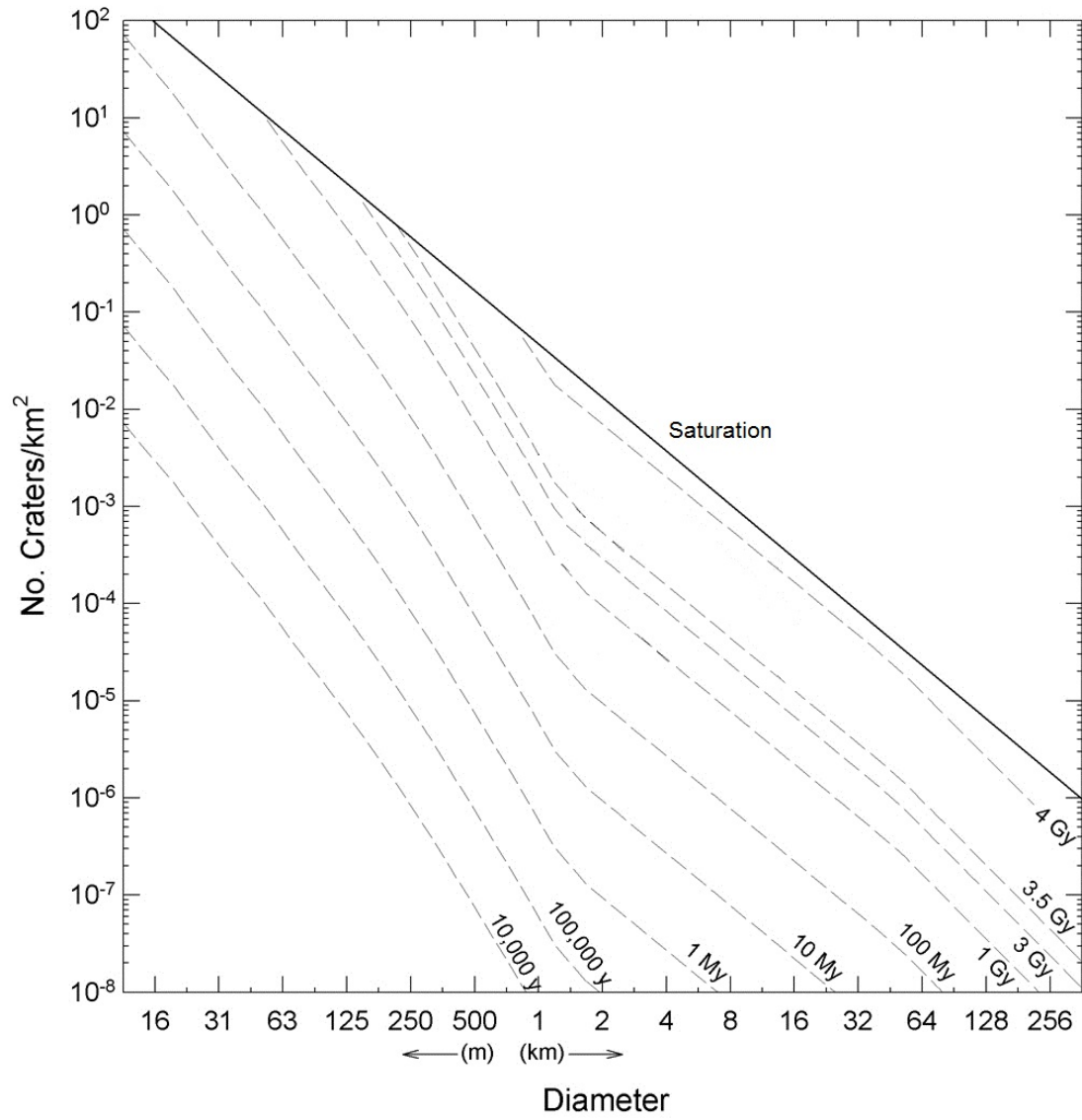


Figure 5: Isochrones des populations de cratères martiens, pour différents ages (de 10000 ans à 4 milliards d'années). Extrait de Hartmann (2005).