

5.6 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur C : Sujet et commentaires

1. Présentation de l'épreuve

Le sujet de TP de contre option pour les candidats des secteurs A et B portait sur l'étude de structures géologiques de la planète Mars. Trois parties successives pour ce TP permettant de caractériser un cratère, d'étudier les roches le constituant et de la date en faisant appel à des techniques de datation spécifiques.

2. Sujet commenté

**AGRÉGATION DE SCIENCES DE LA VIE -
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2017

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE OPTION DU SECTEUR C

CANDIDATS DES SECTEURS A ET B

Durée totale : 2 heures

Titre :

Le cratère Gale, Mars

Certaines parties nécessitent des réalisations, prévoyez donc votre organisation en conséquence.

| | |
|--|---------|
| Partie I : Contexte géologique, le cratère Gale | page 2 |
| <i>Durée conseillée : 20 min– barème : 14/74</i> | |
| Partie II : Les roches du cratère Gale | page 5 |
| <i>Durée conseillée : 60 min– barème : 38/74</i> | |
| Partie III : L'âge du cratère | page 13 |
| <i>Durée conseillée : 40 min– barème : 22/74</i> | |

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet.

N'oubliez pas d'appeler les correcteurs lorsque cela est demandé.

AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE TOUS LES DOCUMENTS.

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

Partie I : Contexte géologique : le cratère Gale

I- Contexte géologique du cratère Gale

I.A- Localisation et dimension du cratère

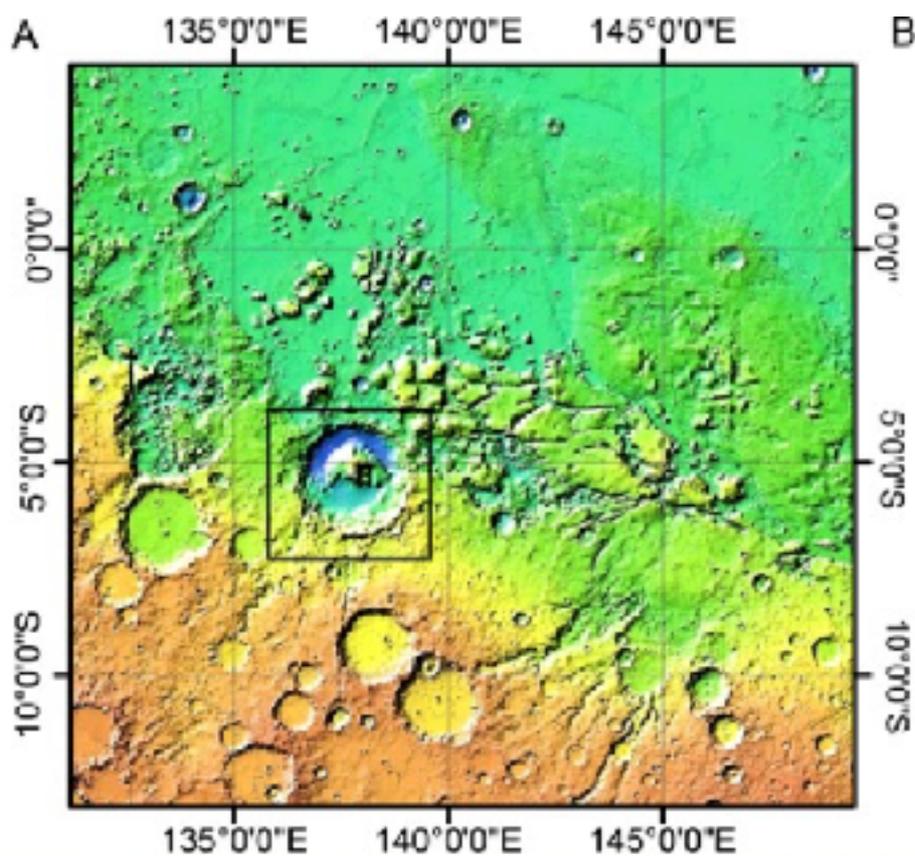


Figure 1 : Le cratère Gale (encadré) localisé sur un fond topographique de Mars (MOLA/NASA).

Question I-A : Sachant que le rayon de Mars est de 3390 km, à l'aide de la figure 1 estimer le diamètre du cratère Gale (détailler le calcul) (2 points).

Réponse à la question I-A

La circonférence de Mars est $2 \times \pi \times R = 21360$ km. Le diamètre du cratère fait environ 2.5 degré en longitude (ne pas utiliser la latitude, car la circonférence des parallèles change avec la latitude). Sachant que la circonférence de Mars fait 360° , une règle de 3 nous donne un diamètre de 150 km environ.

Beaucoup d'erreurs car l'équation de la circonférence d'un cercle (ou de la longueur d'un arc de cercle) n'ai pas connue.

I.B- Réalisation d'un profil topographique du cratère

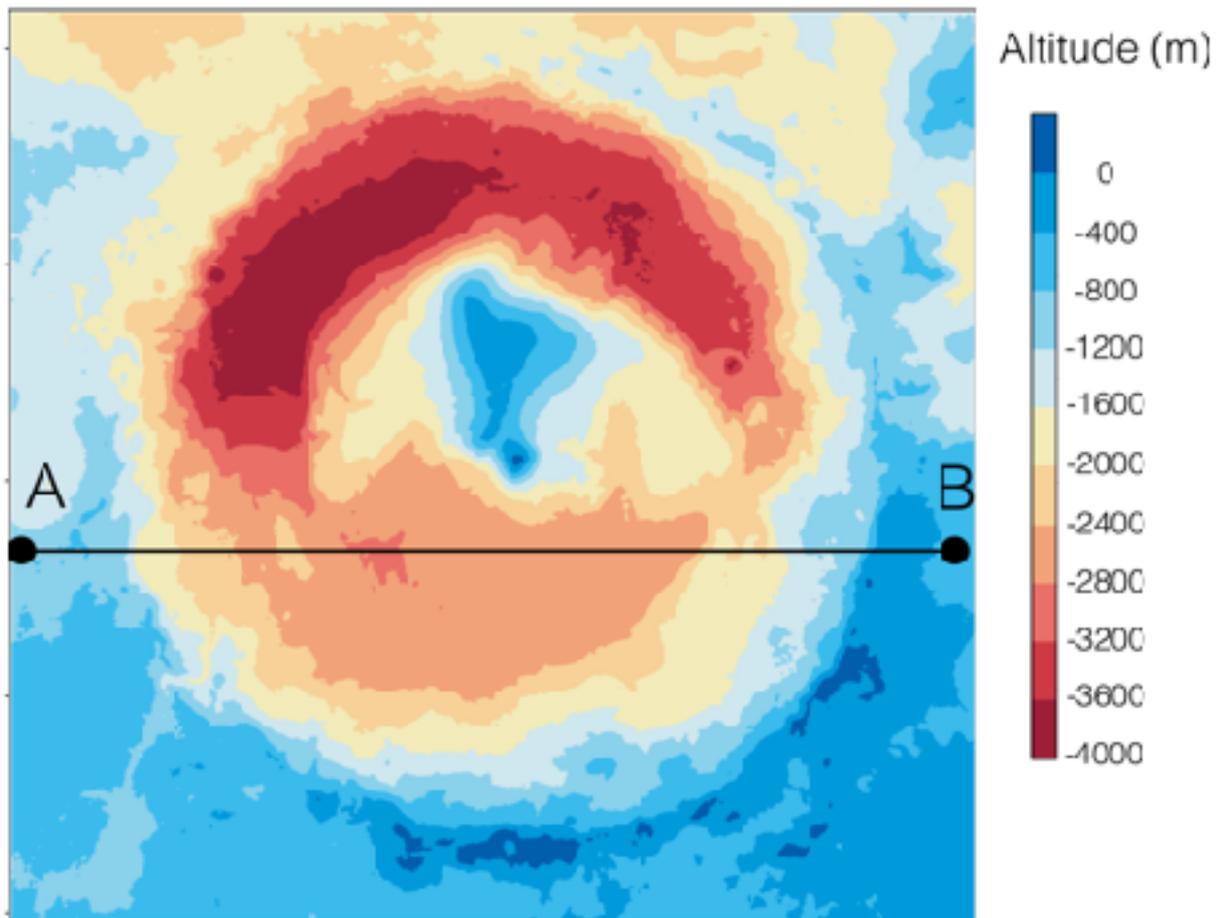
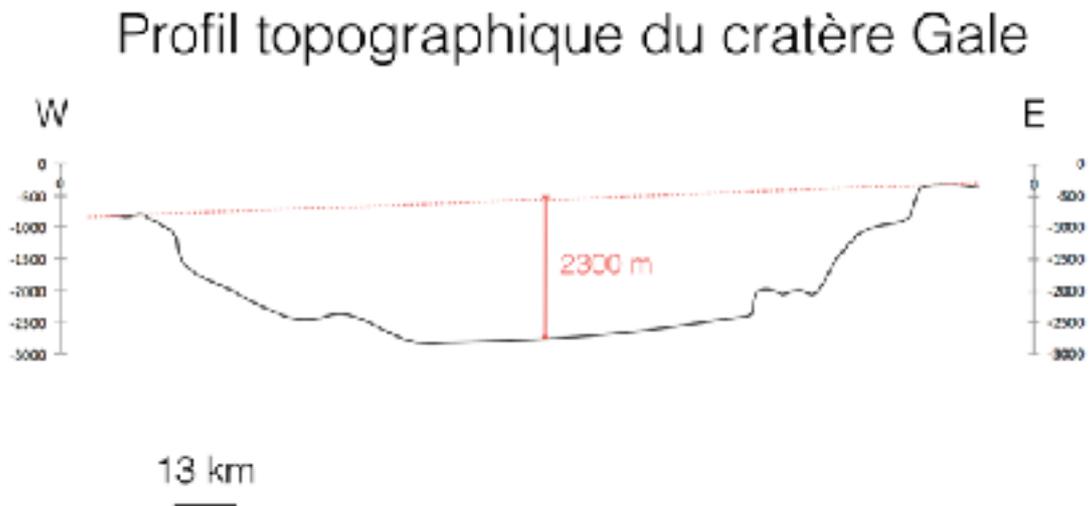


Figure 2 : Topographie du cratère Gale d'après l'instrument MOLA (échelle 1 : 1 3



00 000)

Question I.B Réaliser sur une feuille de papier millimétrée fournie et que vous joindrez à votre copie un profil topographique du cratère entre les points A et B de la figure 2. (8 points).

Les candidats sont en général arrivés à réaliser le profil. Ce qui a fait perdre des points :

- Des exagérations verticales trop importantes (profil recouvrant toute la feuille A4 en format portrait).
- Le tirage de droite parfaite entre les points du profil.
- Le manque de soin apporté au profil.
- L'absence d'échelle verticale et horizontale.

I.C- Profondeur du cratère mesurée

On définit la profondeur du cratère comme la différence d'altitude entre le bord et le fond du cratère.

Question I-C A partir de votre profil topographique, estimer la profondeur du cratère (1 points).

Réponse à la question I-C

Une lecture sur le profile donne une valeur d'environ 2300 m.

Les valeurs dans la gamme 2000-3000 ont été acceptées.

I.D- Profondeur du cratère théorique

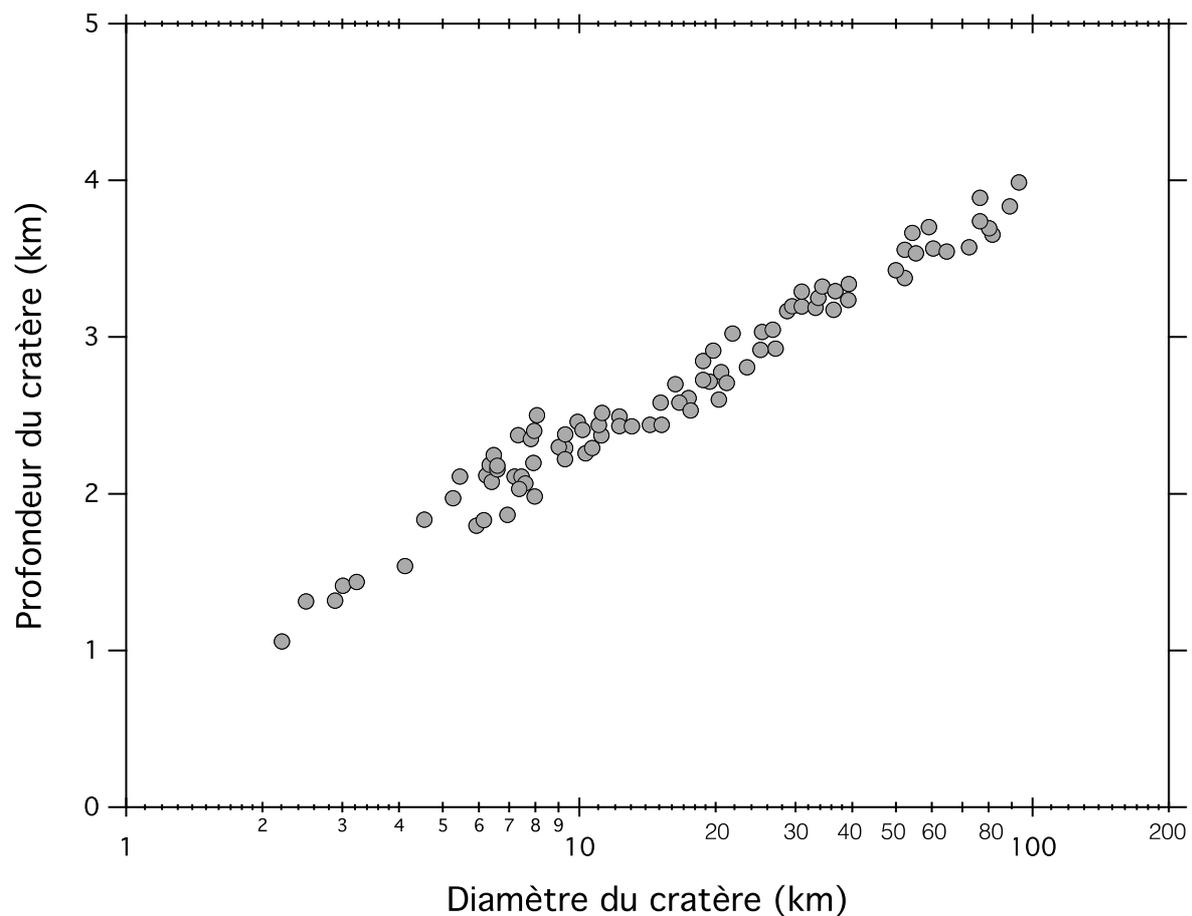


Figure 3 : Lien entre taille et profondeur pour des cratères frais sur Mars (d'après Tornabene et al., 2018)

Question I-D A partir de votre estimation du diamètre du cratère Gale, déterminer sa profondeur théorique à l'aide de la figure 3. Comparer aux résultats de la question précédente (I-C) et commenter. (3 points).

Réponse à la question I-D

La profondeur théorique devrait être bien supérieure (environ 4 km pour un cratère de 150 km de diamètre).

Les explications possibles sont une érosion des bords, un remplissage sédimentaire, ou un réajustement isostatique du fond.

Partie II : Arrivée dans le cratère

II- Arrivée dans le cratère

II.A- Géomorphologie locale

La figure 4 (Page 6) représente le site d'atterrissage du rover Curiosity (MSL/NASA), dans la partie nord-ouest du cratère Gale. Depuis, l'orbite un système hydrographique est observé, le réseau de *Peace Vallis*.

Question II-A A l'aide d'un papier calque quadrillé fourni, dessiner ce système hydrographique et le joindre à votre copie (4 points). Décrire le système (2 points), estimer la surface du bassin versant et celle des dépôts sédimentaires associés (en km²) (4 points).

Réponse à la question II.A

Le cône de déjection a une surface d'environ 2,5 km² alors que le bassin a une superficie de 4 km².

Les candidats ont eu du mal à dessiner les bassins versants et le cône de déjection. La notion de bassin versant semble mal maîtrisée.

II.B- Epaisseur des dépôts du système hydrographique de *Peace Vallis*

L'étude du profil topographique des chenaux de *Peace Vallis* permet d'estimer une érosion moyenne de 50 cm sur le bassin versant.

Question II-B Quelle doit-être l'épaisseur moyenne des dépôts du système sédimentaire de *Peace Vallis* ? (2 points). Le fonctionnement de ce système hydrographique peut-il expliquer les résultats de la question I-D ? (2 points).

Réponse à la question II.B

Une règle de trois permet d'estimer une épaisseur moyenne du delta de 80 cm.

Cette épaisseur est très petite devant l'écart à la profondeur théorique de la question I-D. Le fonctionnement de ce système hydrographique ne permet pas d'expliquer le remplissage du cratère.

Comme peu de candidats ont réussi à mesurer les surfaces en question II.A, peu ont réussi à répondre à cette question.

Dans le cas où l'estimation de surface était fautive dans la question II.A mais le raisonnement était juste à la question II.B, la moitié des points a été accordée.

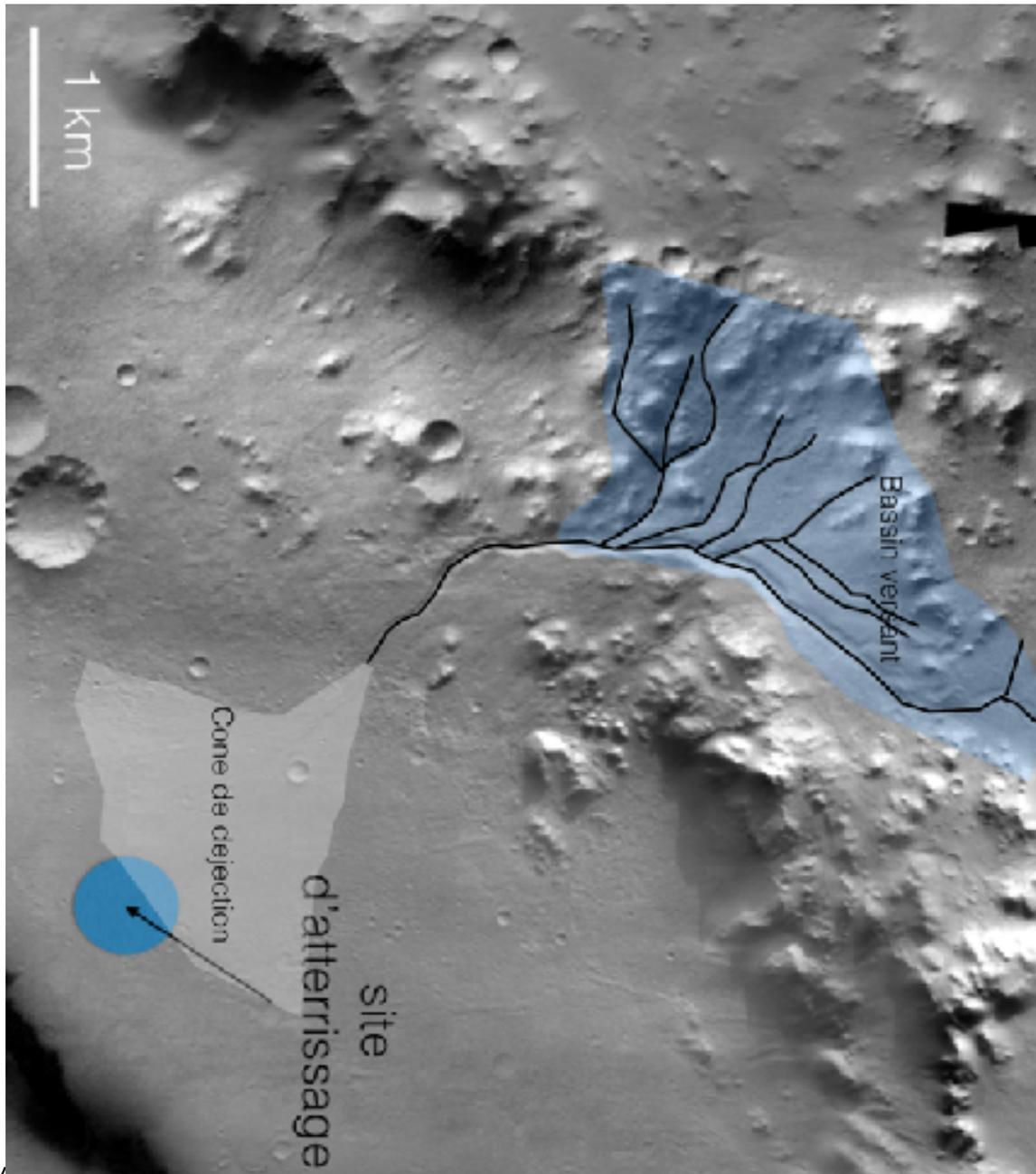


Figure 4 : Image du site d'atterrissage de Curiosity et du réseau hydrographique de Peace Vallis

II.C- Roches rencontrées par Curiosity dans le système sédimentaire de Peace Vallis

Curiosity a étudié les dépôts du système sédimentaire de Peace Vallis.



Figure 5 : Observation de dépôts par Curiosity (MSL/NASA)

Question II-C.1 Décrire les dépôts (3 points). Par quel processus se forme ce type de dépôt ? (1 points)

Réponse à la question II.C.1

On voit au centre une roche consolidée, constituée de fragments centimétriques de couleurs différentes et donc de minéralogie différentes, indurés dans une matrice claire semble t-il. On remarque aussi de nombreux galets de couleurs différentes issus de l'érosion de cette roche. La partie supérieure droite de l'affleurement est couverte de la poussière rouge typique de la surface de Mars.

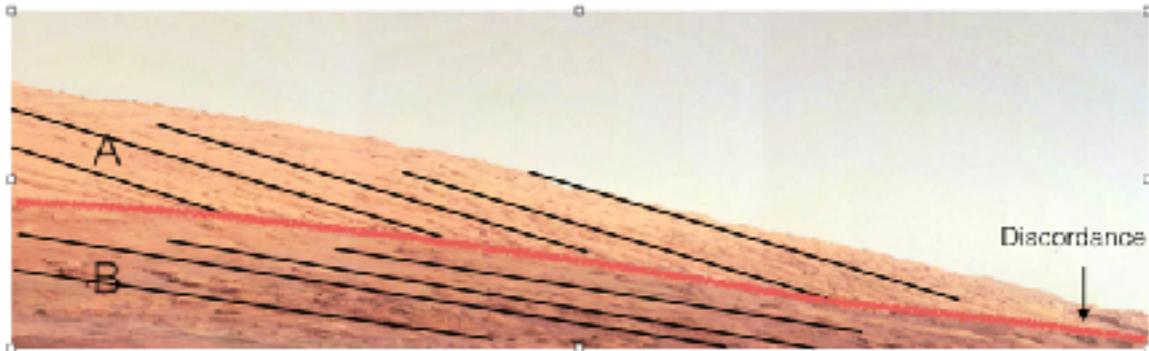
La présence de galets indurés suggère du transport et une formation au sein d'un milieu à fort hydrodynamisme permettant le transport d'objets lourds. Un transport alluvial peut être proposé.

Les candidats ont en général bien répondu à cette question.

Question II-C.2 Donner un nom à la roche de la question II.C.1 (1 point)

Réponse à la question II.C.2

C'est un conglomérat polygénique (ou polymict). Les galets plutôt arrondis tendent à le classer dans le groupe des poudingues.



II.D- Panorama

La photographie ci-dessous représente l'environnement géologique du rover en regardant vers le centre du cratère. La dimension horizontale de la zone imagée est d'environ 3 km.

Figure 6 : Série de dépôts sédimentaires dans le cratère Gale.

Question II.D Décrire les structures observées (2 points). Faites un schéma correspondant à cette image dans le cadre ci-dessous (2 points).

Réponse à la question II.D

On observe des couches parallèles, des strates. La présence de strates suggère une nature sédimentaire pour ces dépôts. On observe deux groupes de dépôts via la présence de pendages différents des couches géologiques, l'un autour de 20° (A) et l'autre autour de 40° (B). On peut supposer la présence d'une discordance entre les dépôts A et B.

Beaucoup de candidats n'ont pas pris le temps de décrire les dépôts comme demandés et ont perdu des points.

II.E- Cyclicités des dépôts

A l'aide de simulations numériques, il est possible de contraindre l'évolution temporelle des paramètres orbitaux de Mars et de la Terre (Figure 7). On supposera que ces calculs sont représentatifs de l'évolution astronomique de ces planètes tout au long de leur histoire géologique (d'après Laskar *et al.*, 2004 et 2011).

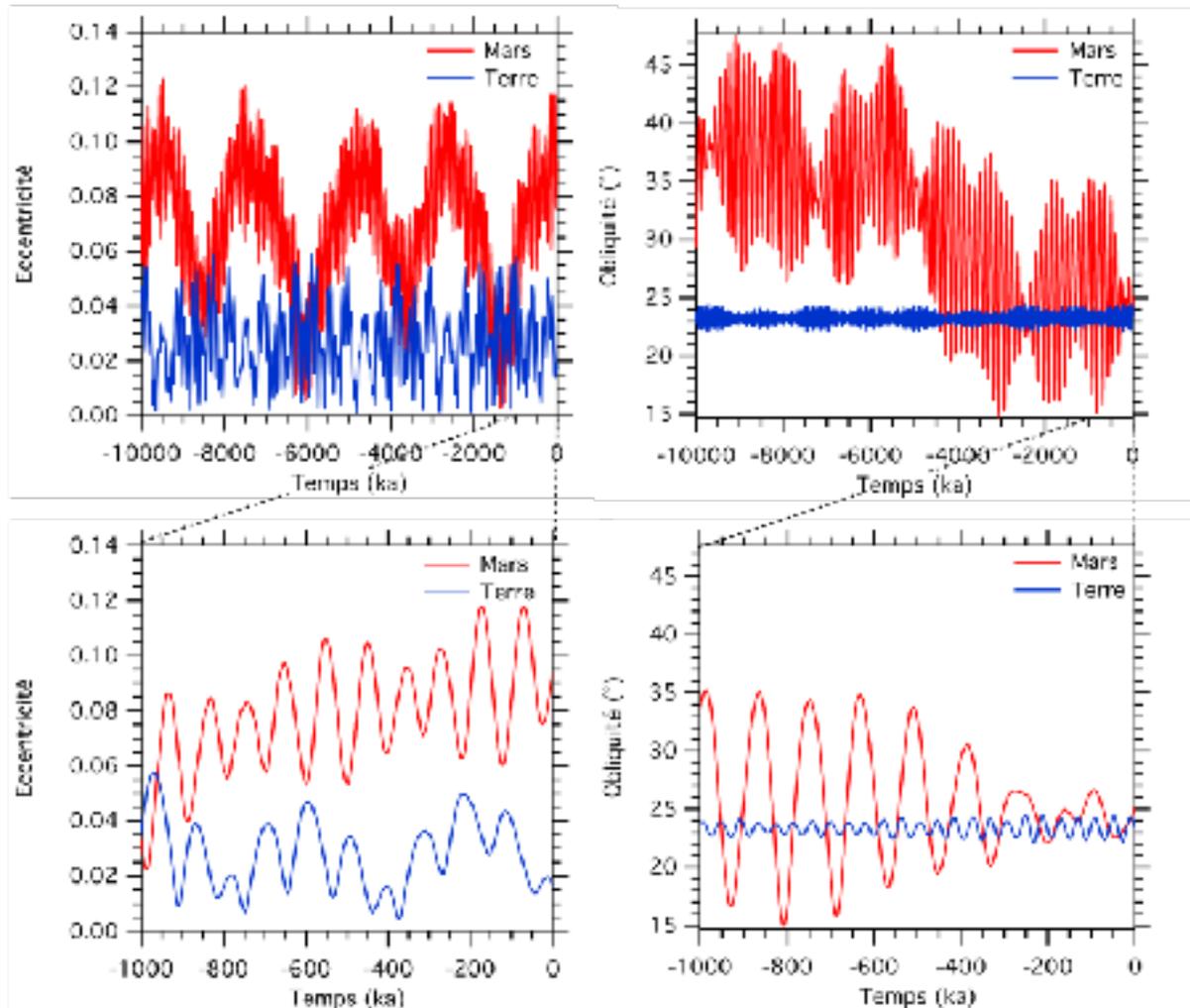


Figure 7: Evolution orbitale de Mars et de la Terre au cours d'1 et de 10 millions d'années

Question II-E.1 Comparez les évolutions orbitales de Mars et de la Terre (8 points).

Réponse à la question II.E.1

Excentricité

Sur le dernier million d'années on observe que les fréquences de variation de l'excentricité de Mars et de la Terre sont les mêmes autour de 100 ka et que les deux planètes sont en opposition de phase. L'excentricité de Mars est en moyenne beaucoup plus importante que celle de la Terre. Aux échelles de temps plus longues on observe des fluctuations de l'excentricité sur Mars bien plus importantes que sur Terre avec un cycle autour de 2 millions d'années.

Obliquité

L'obliquité de Mars et la Terre sont quasi-identiques aujourd'hui, mais cela est fortuit à la vue de l'évolution sur le long terme. L'obliquité de Mars fluctue énormément entre 15 et 50 ° alors que les fluctuations sont de l'ordre du degré sur Terre. Les fréquences sont différentes, avec un cycle court à 40 ka et un cycle long à 1 Ma sur Terre, alors que sur Mars le cycle court a une fréquence de 120 ka et une orbite qui semble très chaotique sur les longues échelles de temps. On remarque aussi un changement de l'obliquité moyenne aux alentours de 5 Ma pour Mars.

Synthèse :

L'orbite de Mars semble beaucoup moins stable que celle de la Terre en particulier dans le cas de l'obliquité. Ceci peut être à relier à sa plus petite masse et l'absence d'une Lune massive comme sur Terre jouant un rôle de balancier. Les valeurs très haute atteinte par l'excentricité suggère une saisonnalité très prononcée.

Beaucoup de candidats ont décrit le document mais n'ont pas comparé les évolutions orbitales comme il était demandé.

Question II-E.2 Proposez une explication à la série de dépôts observés en figure 6 à partir de l'évolution orbitale de l'obliquité de Mars (figure 7 en haut à droite) (2 points).

Réponse à la question II.E.2

Le changement d'obliquité à 5 Ma suggère que Mars possède deux états différents, l'un à faible et l'autre à haute obliquité. La bascule entre ces deux stades pourrait expliquer le changement.

Quelques grosses erreurs, ce n'est pas parce que l'obliquité change que l'angle de dépôt des couches changes...l'horizontale locale reste la même lorsque l'obliquité évolue.

II.F- Observation de structures sédimentaires dans le cratère Gale

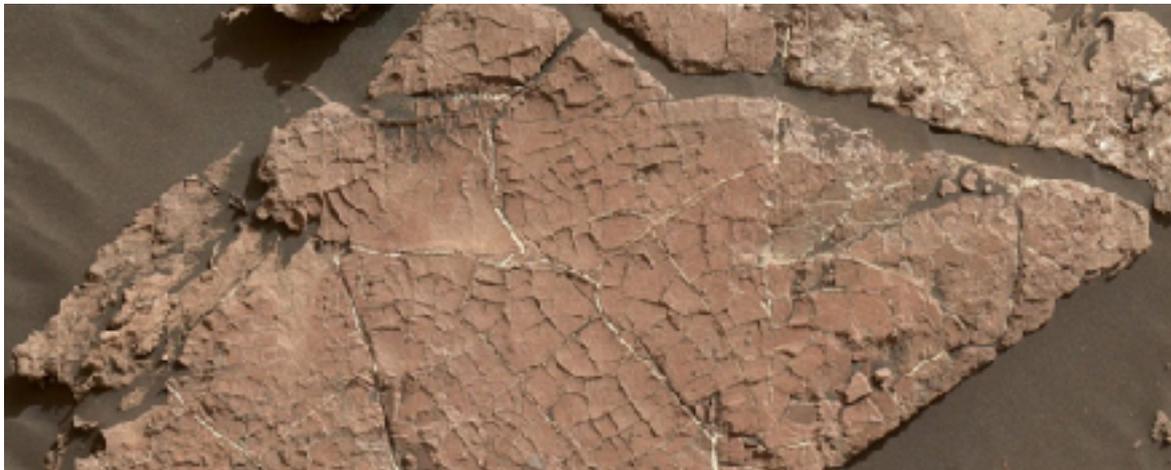


Figure 8: Dépôts observés par Curiosity

La photographie ci-dessus représente un affleurement observé par Curiosity. La taille de la scène est de 1 m environ.

Question II.F.1 Donner un nom à ces structures et proposez un environnement de dépôt (2 points).

Réponse à la question II.F.1

Il s'agit de fentes de dessiccation témoignant d'un environnement aride peu profond.

L'instrument ChemCam permet d'analyser les éléments chimiques présents dans une roche ou un minéral (l'intensité ou le nombre de pic ne sont pas proportionnels à l'abondance d'un élément chimique). Le minéral clair de la photographie précédente (figure 8) a été analysé par cet instrument.

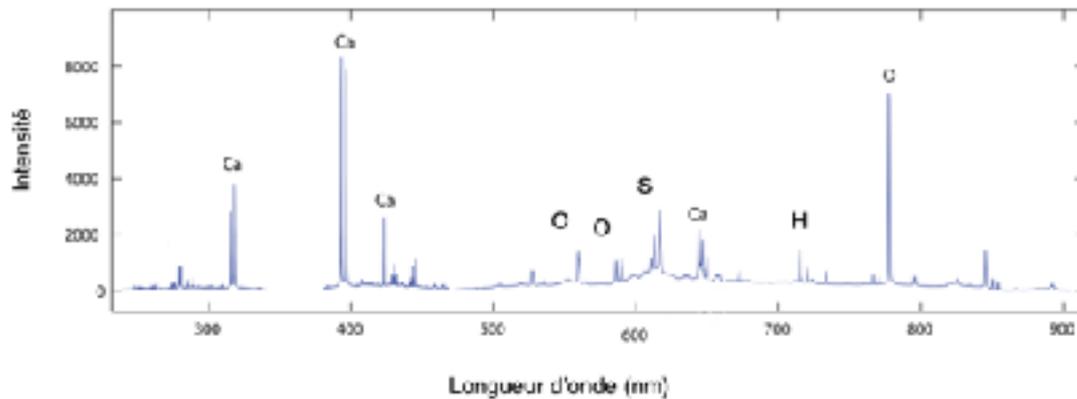


Figure 9: Analyse du minéral clair par méthode de ChemCam.

Question II.F.2 Proposez un nom pour ce minéral (2 points). Ce minéral est-il en accord avec l'environnement de dépôt proposé en II.F.1 ? (1 point)

Réponse à la question II.F.2

La présence de S, O, H et Ca suggère un sulfate de calcium hydraté ; gypse ou basanite.

Ce minéral est souvent rencontré au sein de séquences évaporitiques, donc c'est en accord.

Beaucoup de candidats ont proposé le gypse avec une formule structurale plus ou moins maîtrisée (même si la formule n'était pas demandée).

Partie III : Datations

III- Datations

III.A- Datation du cratère Gale par comptage de cratère

La photographie ci-dessous (figure 10) montre un certain nombre de structures circulaires. Ces structures sont des cratères d'impact qui permettent de dater les surfaces planétaires. La méthode consiste à dénombrer les cratères dans une gamme de taille donnée. La photographie de la figure 10 des dépôts du fond du cratère va être utilisée.

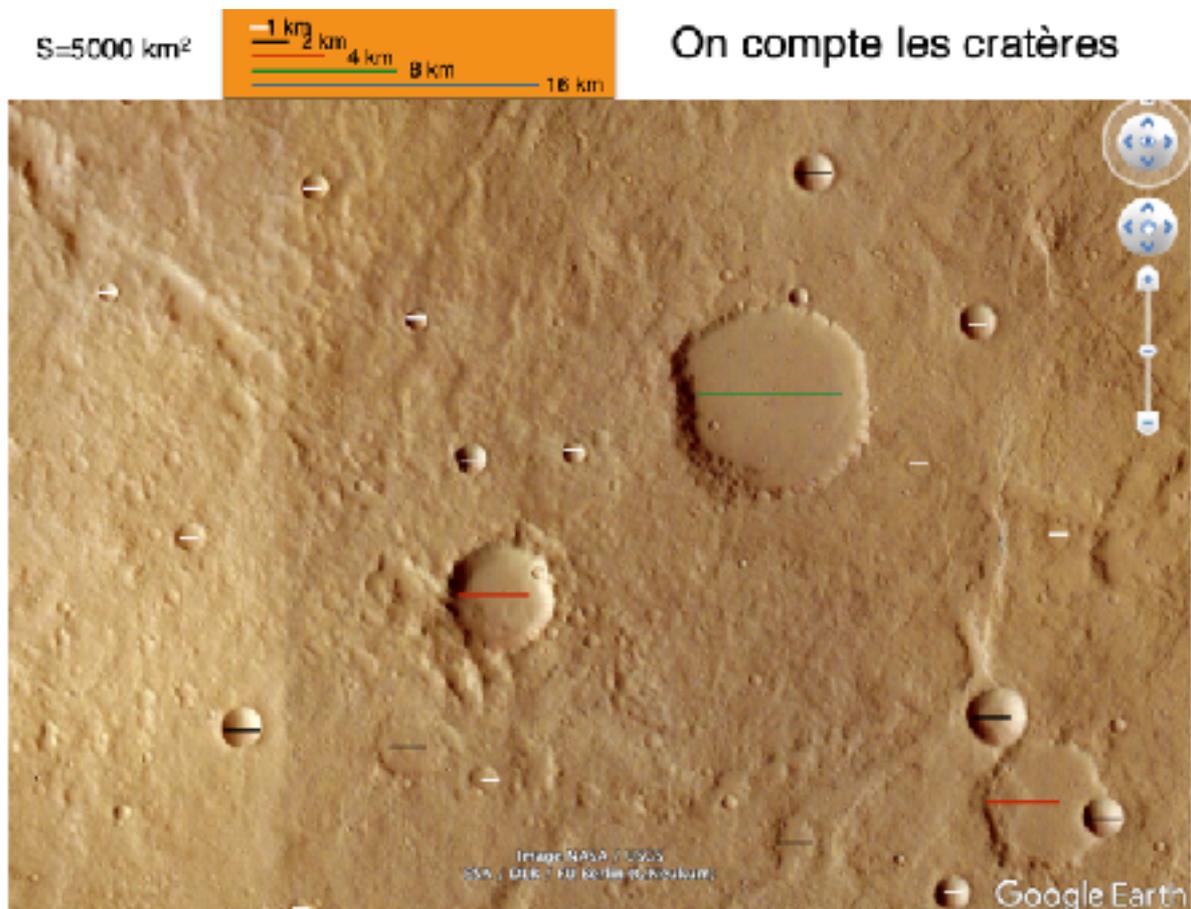


Figure 10: Photographie de terrains géologiques au sein du cratère Gale

Question III.A.1 Sachant que la surface de l'image est de 5000 km², remplir le tableau ci-dessous. (8 points).

| | Nombre de cratère dans l'image | Nombre de cratère dans l'image par km ² |
|-------------------------|--------------------------------|--|
| 1 km < diamètre < 2 km | 12 | 0.0024 |
| 2 km < diamètre < 4 km | 6 | 0.0012 |
| 4 km < diamètre < 8 km | 2 | 0.004 |
| 8 km < diamètre < 16 km | 1 | 0.002 |

Reporter les valeurs de la dernière colonne dans l'abaque ci-dessous.

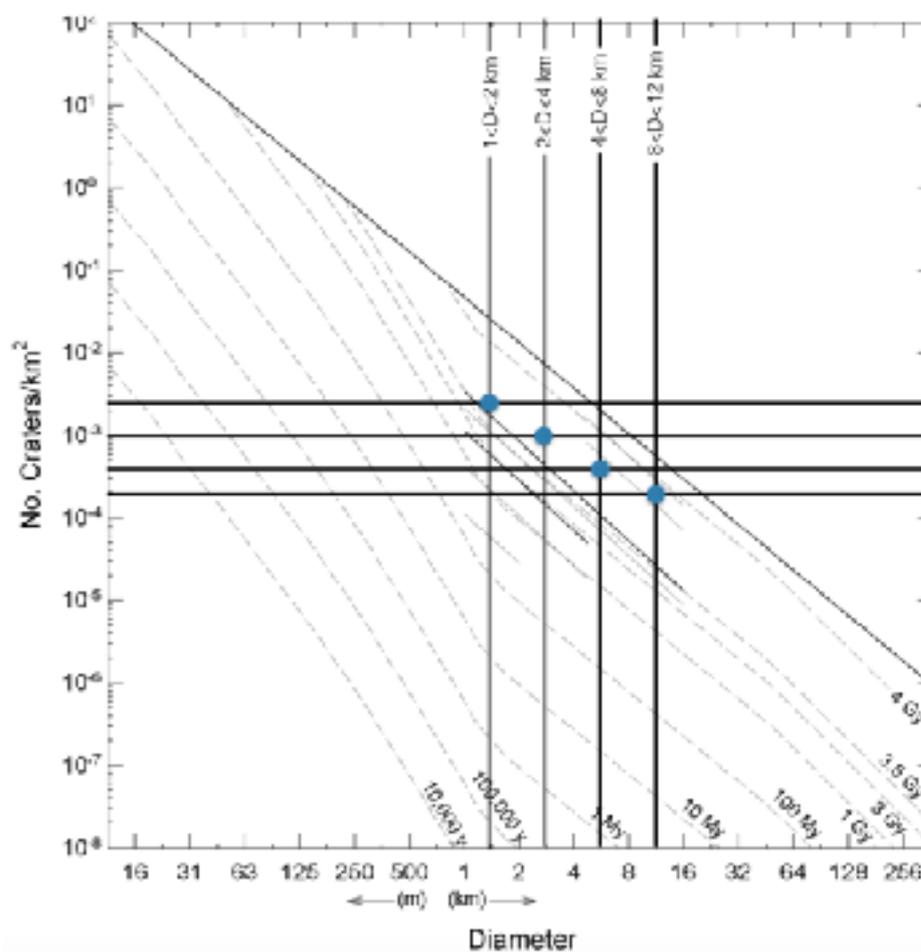


Figure 11 Abaque permettant de déterminer l'âge d'une surface sur Mars à partir d'une distribution en taille de cratères (A partir des travaux de *Neukum* et *Hartmann*).

Question III.A.2 Estimer une gamme d'âge possible pour le cratère (2 point).

Réponse à la question III.A.2

Entre 3.5 et 4 Ga.

Beaucoup de candidats ont réussi l'exercice.

Les erreurs portaient sur le comptage mais aussi très souvent sur le report des valeurs sur le graphique.

Les diagrammes logarithmiques sont parfois mal maîtrisés.

III.B- Datation par Méthode K-Ar

Le système K-Ar est basé sur la désintégration de ^{40}K en ^{40}Ar avec une demi-vie de 1.248 milliards d'années. Un âge peut être déterminé en utilisant la formule suivante

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \ln \left(1 + \frac{[\text{}^{40}\text{Ar}]}{0.109[\text{}^{40}\text{K}]} \right)$$

mol/g

Le rover Curiosity a pu mesurer dans une roche du fond du cratère la teneur en potassium ($\text{K}_2\text{O} = 5.10^{-3}$ g/g) et la quantité de ^{40}Ar : $[\text{}^{40}\text{Ar}] = 11.9510^{-9}$ mol/g. On donne la masse molaire de K_2O : $m_{\text{K}_2\text{O}} = 96$ g/mol. On donne aussi la proportion de l'isotope 40 du potassium par rapport au potassium total : $[\text{}^{40}\text{K}] = 0.000117$ [K]

Question III.B Calculer l'âge K/Ar de la roche (6 points) et comparer aux résultats par comptage de cratère.. Quelle méthode vous semble la plus fiable et pourquoi ? (2 points)

Réponse à la question III.B

$$[\text{}^{40}\text{K}] = 0.000117 \cdot 2 \cdot \text{K}_2\text{O} / m_{\text{K}_2\text{O}} = 1,22 \cdot 10^{-8} \text{ mol/g}$$

$$[\text{}^{40}\text{Ar}] = 1,20 \cdot 10^{-8} \text{ mol/g}$$

$$t = [1.248 / \ln(2)] \times \ln(1 + 1,2 / (0,109 \times 1,24)) = 4,2 \text{ Ga}$$

Cet âge est probablement plus fiable car l'échelle chrono-stratigraphique martienne n'a pas été calibrée de façon absolue comme pour la Lune.

Moins de 5 candidats ont réussi le calcul. Une des difficultés était de penser qu'une mole de K_2O contient deux moles de K.

III.C- Datation du système hydrographique de Peace Vallis

Question III.C.1 Comment dateriez vous l'activité du système hydrographique de Peace Vallis ? (2 points)

On pourrait compter les petits cratères sur le delta alluvial.

Question III.C.2 L'activité du système hydrographique de Peace Vallis a été datée à 2.4 Ga. Commenter. (2 points).

C'est un système très tardif, et découplé du remplissage global du cratère.