Paper 3 – **FRENCH AND GERMAN**

Exploring Mars with… Curiosity!

Le 6 août 2012, la grue de la mission scientifique d'étude de Mars initia la descente du robot « Curiosity » à la surface de la planète rouge. Cette opération conclut un voyage de plus de huit mois. Elle a été lancée à Cap Canaveral (Floride, USA) en novembre 2011.

En réalité, les ingénieurs et scientifiques ont perdu tout contact avec la navette spatiale quelques minutes avant son entrée dans l'atmosphère martienne. La connexion fut rétablie seulement au bout de « 7 terribles minutes » pour faire le constat que la navette avait automatiquement suivi les plans prévus :

- Réduire sa vitesse.
- Descendre vers le site cible (cratère Gale).
- Abandonner les protections thermiques.
- Démarrer les moteurs de la grue.
- Charger le robot.
- Le déposer doucement et sûrement sur la surface de la planète rouge, prêt à commencer ses opérations d'exploration de Mars.

Tout à coup, la salle de contrôle à Pasadena (Californie, USA) fut parcourue par une vague d'applaudissements et de hourras. Le robot « Curiosity » était intact sur la surface de Mars. D'ailleurs, il envoya rapidement ses premières données avec ses premières photos !

Ce moment de bonheur fut le point de départ de nombreux travaux des ingénieurs et des scientifiques. Ils dirigeaient et pilotaient le robot à distance afin d'étudier la géologie du cratère Gale, situé sur l'équateur martien. Depuis lors (il y a 2 ans), le véhicule a parcouru de nombreux kilomètres, s'arrêtant ici et là pour prendre des photos, analyser des échantillons, réaliser des mesures de divers paramètres environnementaux et des carottages dans les roches tout au long de son parcours.

Figure 1. Le cratère Gale, Photo prise par Curiosity. Avec l'aimable autorisation de MSL/JPL/NASA.

1. Les photos de Curiosity, comme celle de la figure 1, confirment les observations réalisées par les missions antérieures (orbiteurs, atterrisseurs et robots) : Mars est un désert. À ce titre, parmi les objets géologiques suivants, que vous attendez-vous à observer sur les clichés pris par Curiosity ?
   a) Des dunes.
   b) Des cônes alluviaux.
   c) Des bassins de déflation.
   d) Des moraines.

2. Cependant, Mars est un désert froid. Les températures moyennes sont inférieures à 0°C et, dans les faits, la température minimale de l'air qu'ont pu mesurer les instruments à bord de Curiosity était de – 80°C. Sachant que la pression régnant à la surface de Mars est de 600 Pa, déduisez-en les états stables possibles de l'eau sur Mars.

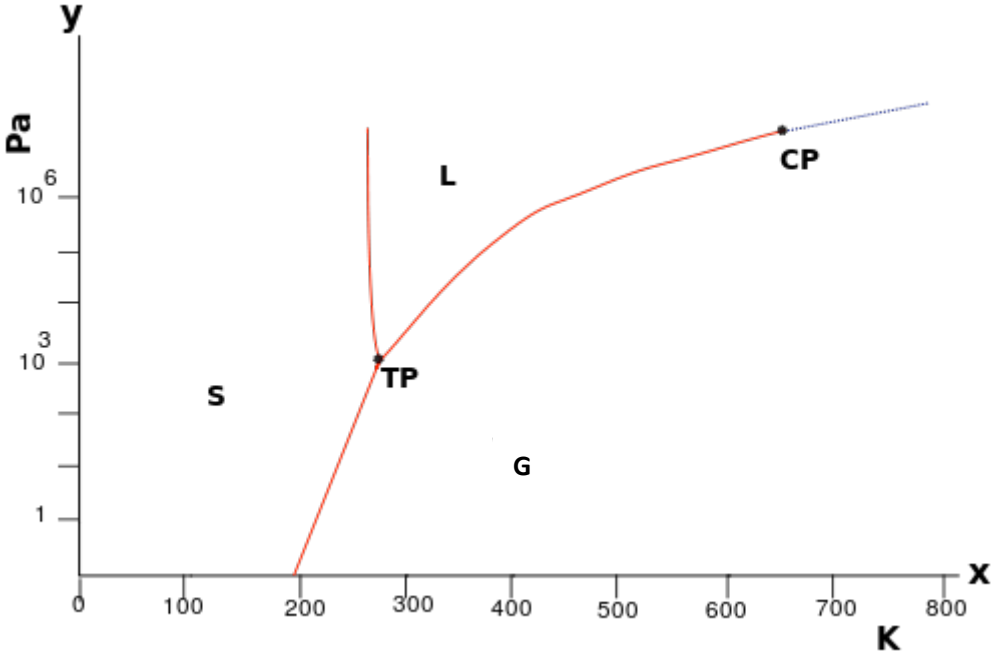

Figure 2. EruricoZimbres in http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Water_phase_diagram.svg

Légende : S : Solide / L : Liquide / G : Gaz / TP : Point triple / CP : Point critique

a) Liquide et gazeux.
b) Liquide et solide.
c) Solide et gazeux.
d) Solide, liquide et gazeux.

3. Les clichés de ce désert froid (du moins à ce jour) montrent que la surface de Mars a une couleur rougeâtre, parfois orange. Parmi les minéraux suivants, le(s)quel(s) permet(tent) d'expliquer cette couleur de la surface martienne ?
   a) Le soufre pur.
   b) La pyrite.
   c) L'olivine.
   d) La magnétite.
   e) L'hématite.
   f) Le quartz.

4. Les dépôts éoliens ne recouvrent pas toute la surface de la planète. Des affleurements rocheux sont souvent visibles sur les photos prises par les nombreux appareils du robot, certaines d'entre elles présentant des structures géologiques évidentes. En vous aidant de ces observations, identifiez le type de roche sur la figure 3 (la largeur de la photo couvre environ 1 mètre).

   a) Du basalte.
   b) De la mylonite.
   c) Du grès.
   d) De la dolérite.

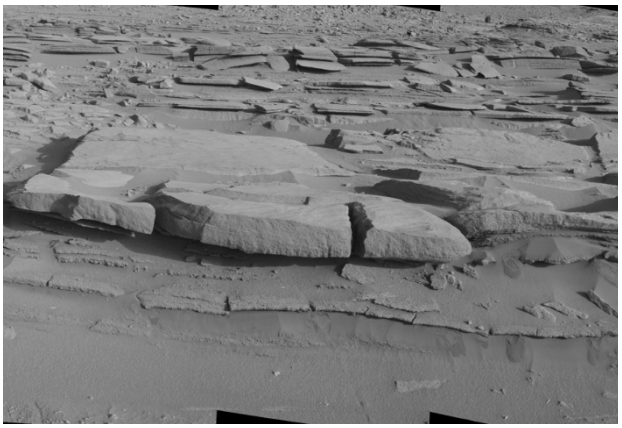

Figure 4. Le cratère Gale. Photo prise par Curiosity. Avec l'aimable autorisation de MSL/JPL/NASA.

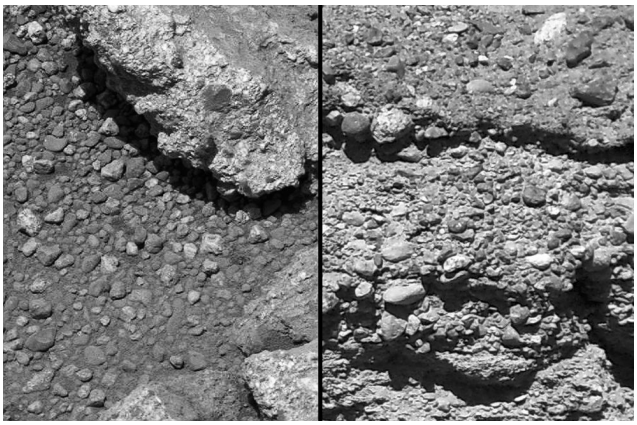

Figure 3. Le cratère Gale. Photo prise par Curiosity. Avec l'aimable autorisation de MSL/JPL/NASA.

5. Cependant, les matériaux présents dans le cratère Gale semblent très largement érodés et altérés. Des photos détaillées des appareils de Curiosity fournissent des images qui font penser à des roches terrestres (figure 4, droite). Identifiez ce type de roche (la largeur de la photo couvre environ 1 mètre).
   a) Un carbonate.
   b) Une ardoise.
   c) Un conglomérat.
   d) Une quartzite.
   e) Un marbre.
   f) Un basalte.
   g) Un grès.

6. La photo présentée dans la figure 5 montre des structures pouvant constituer des preuves de la présence d'eaux de surface dans l'histoire de cette région. Quel type de réseau fluviatile décrit le mieux le modèle de la figure 5 ?

   a) Parallèle.
   b) Radial.
   c) Réticulaire.
   d) Angulaire.
   e) Tressé.
   f) Dendritique.

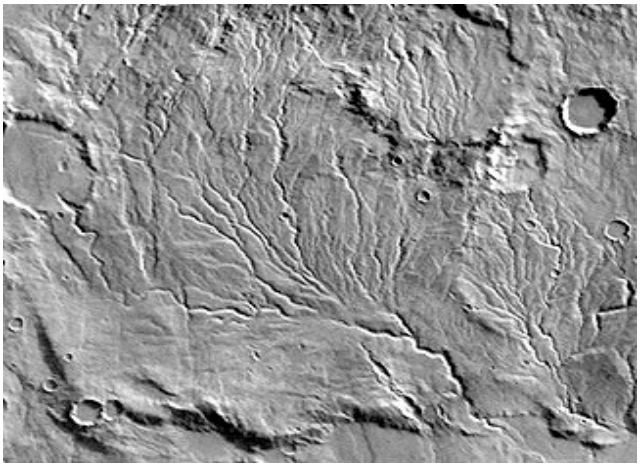

Figure 5. WarregoValles. Courtesy of Viking/JPL/NASA.

7. Calculez l'indice de sinuosité (SI pour sinuosity index) de ce lit de rivière illustré dans la figure 6 et classez-le en fonction du résultat que vous obtiendrez. Faites appel à votre imagination et concevez votre propre démarche de résolution de ce problème (comme c'est souvent le cas dans la recherche actuelle).

   a) SI < 1,05 : presque droit.
   b) 1,05 ≤ SI < 1,25 : enroulé.
   c) 1,25 ≤ SI < 1,50: sinueux.
   d) 1,50 ≤ SI: méandreux.

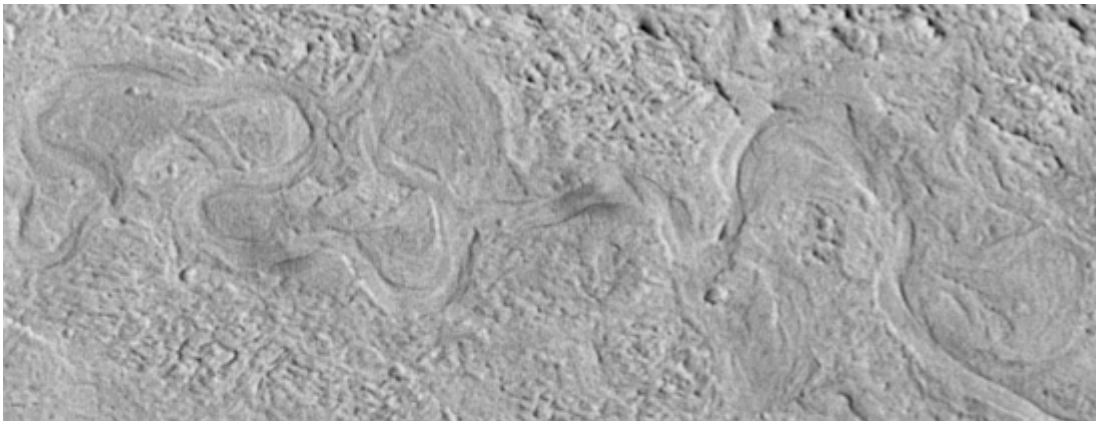

Figure 6. Chenal sans nom sur Mars. Avec l'aimable autorisation de THEMIS/JPL/NASA.

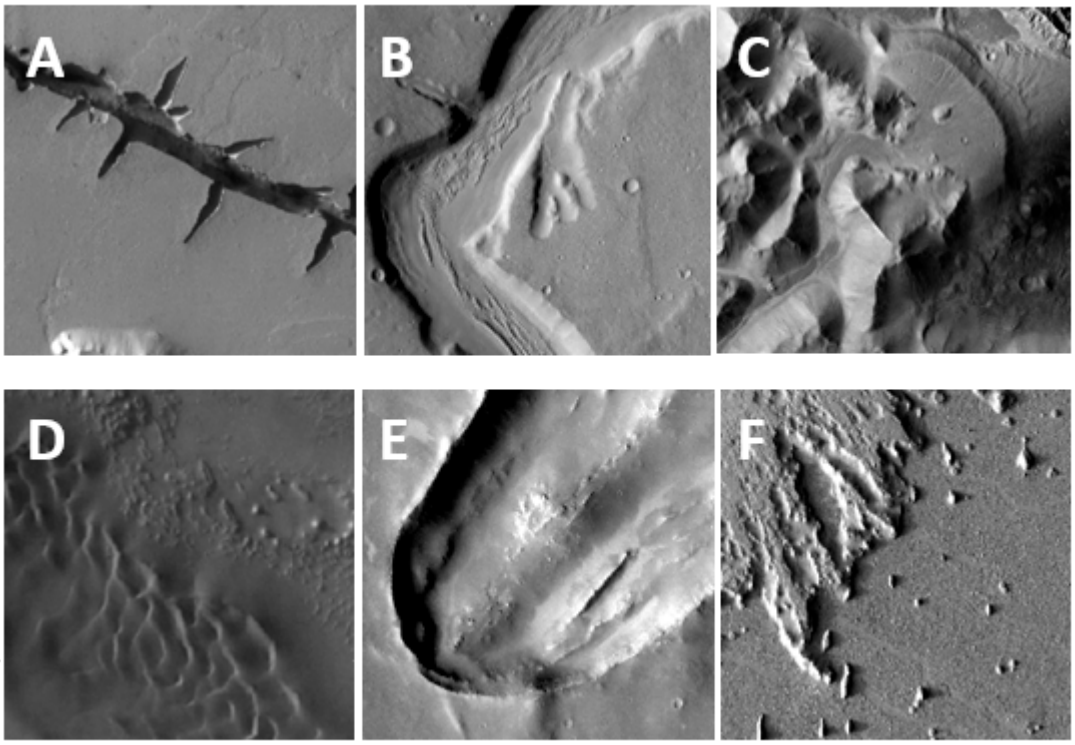

Figure 7. Photos de Mars. Avec l'aimable autorisation de THEMIS/JPL/NASA.

Les questions 8, 9 et 10 se réfèrent à la figure 7.

8. Laquelle de ces photos représente un objet géologique correspondant très probablement à une faille ?
   [Choisissez parmi les lettres a à f sur votre feuille réponse.]

9. Laquelle de ces photos représente un objet géologique correspondant très probablement à un cours d'eau ?
   [Choisissez parmi les lettres a à f sur votre feuille réponse.]

10. Laquelle de ces photos représente un objet géologique correspondant très probablement à un champ de dunes ?
    [Choisissez parmi les lettres a à f sur votre feuille réponse.]

11. Par le passé, Mars n'avait pas seulement des cours d'eau et des océans, mais a aussi connu des âges glaciaires ; les glaciers recouvraient alors une grande partie de la planète, de l'Équateur aux hautes latitudes. Quel(s) phénomène(s) permettrai(en)t d'expliquer l'existence de ces épisodes glaciaires sur Mars ?

    a) La diminution de l'énergie solaire incidente.
    b) La diminution de l'activité volcanique.
    c) La modification de l'angle de l'axe de rotation de la planète.
    d) La diminution de la distance au Soleil.

12. L'atmosphère martienne est pauvre en vapeur d'eau, mais riche en CO_2, un important gaz à effet de serre. Parmi les phénomènes suivants, identifiez celui (ceux) qui pourraient contribuer à une augmentation naturelle de la teneur en gaz à effet de serre dans l'atmosphère martienne (de la même façon que sur Terre).

    a) L'absence de vie.
    b) Les matériaux d'oxydation.
    c) Les éruptions volcaniques.
    d) Les tempêtes solaires.

13. Des clichés du ciel de Mars révèlent la présence de nuages. Connaissant la classification des nuages terrestres, quel type de nuages est photographié sur la figure 10 ?

    a) Des cumulus.
    b) Des stratus.
    c) Des nimbostratus.
    d) Des cirrus.

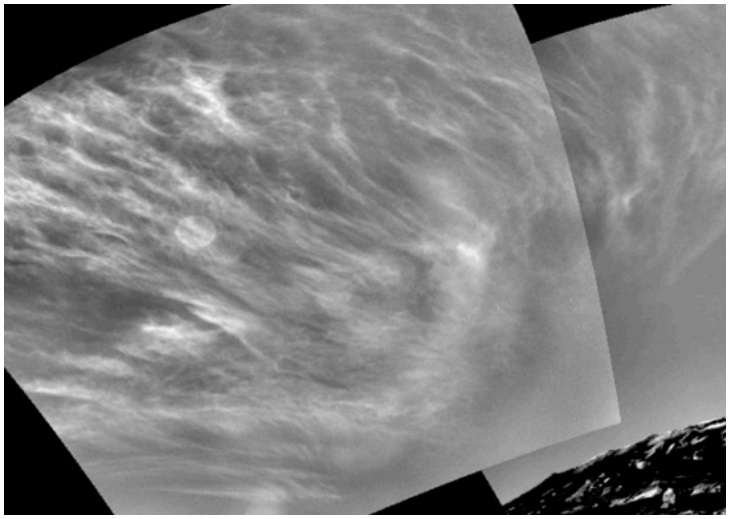

Figure 8. Le ciel vu de la surface solide de Mars. Avec l'aimable autorisation de MSL/JPL/NASA.

14. Le taux atmosphérique de O_2 sur Mars est d'environ 0,15 %, très inférieur à celui de la Terre (approximativement 21 %). Quelle explication est la plus répandue pour expliquer ce faible taux atmosphérique de O_2 sur Mars ?

    a) L'absence de vie.
    b) Les matériaux d'oxydation.
    c) Les éruptions volcaniques.
    d) Les tempêtes solaires.

15. La figure 11 montre la structure thermique verticale (variation de la température en fonction de l'altitude) des atmosphères terrestre et martienne. Identifiez la structure thermique de la Terre et de Mars.

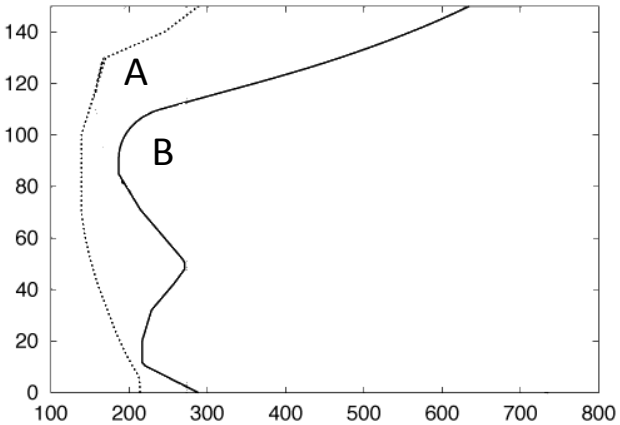

Figure 9. Structure thernique de l'atmosphère des deux planets. X =Température (K),Y = Altitude (km).

a) La courbe A représente l'atmosphère de la Terre et la courbe B celle de Mars.
b) La courbe B représente l'atmosphère de la Terre et la courbe A celle de Mars.
c) Les courbes A et B représentent l'atmosphère terrestre à différentes périodes.
d) Les courbes A et B représentent l'atmosphère de Mars à différentes périodes.

16. Mars, tout comme la Terre, présente différentes saisons au cours de l'année (été, automne, hiver et printemps). Lequel des paramètres suivants permettait le mieux d'expliquer l'existence de saisons sur Mars ?

a) L'ellipticité.
b) La distance au Soleil.
c) L'angle de l'axe de rotation.
d) La précession.
e) L'existence de deux lunes.
f) La durée de l'année.

17. La station météorologique à bord de Curiosity mesure des radiations UV. Les premiers résultats révèlent un haut niveau de ces radiations à la surface, relativement plus élevé que celui mesuré à la surface de la Terre. Que pouvez-vous en déduire quant à l'atmosphère martienne par rapport à l'atmosphère terrestre ?

a) Elle est 5 fois plus épaisse.
b) Il n'y a pas de champ magnétique.
c) Elle contient moins de diazote.
d) Elle contient moins d'ozone.
e) Elle est 10 fois plus mince.

18. Curiosity est le premier robot capable de fournir l'âge absolu d'une roche en dehors de la Terre. Cependant, les planétologues ont confronté les observations de roches des précédentes missions planétaires aux principes de base de la géologie afin de dater relativement ces roches. Choisissez les principes de base qui peuvent être utilisés pour réaliser une datation relative sur Mars et sur Terre.

a) La décroissance radioactive.
b) La verticalité d'origine
c) La vitesse de refroidissement.
d) Le principe de superposition.
e) Le principe de recoupement.
f) Les rayons cosmiques.

19. En général, les planétologues utilisent le principe de recoupement pour déterminer quelles roches sont les plus âgées ou les plus récentes. Parmi les séquences suivantes, laquelle est la plus vraisemblable pour classer les unités A, B et C visibles sur la figure 12 de la plus ancienne à la plus récente ?

a) A-B-C
b) C-B-A
c) A-C-B
d) B-C-A
e) C-A-B
f) B-A-C

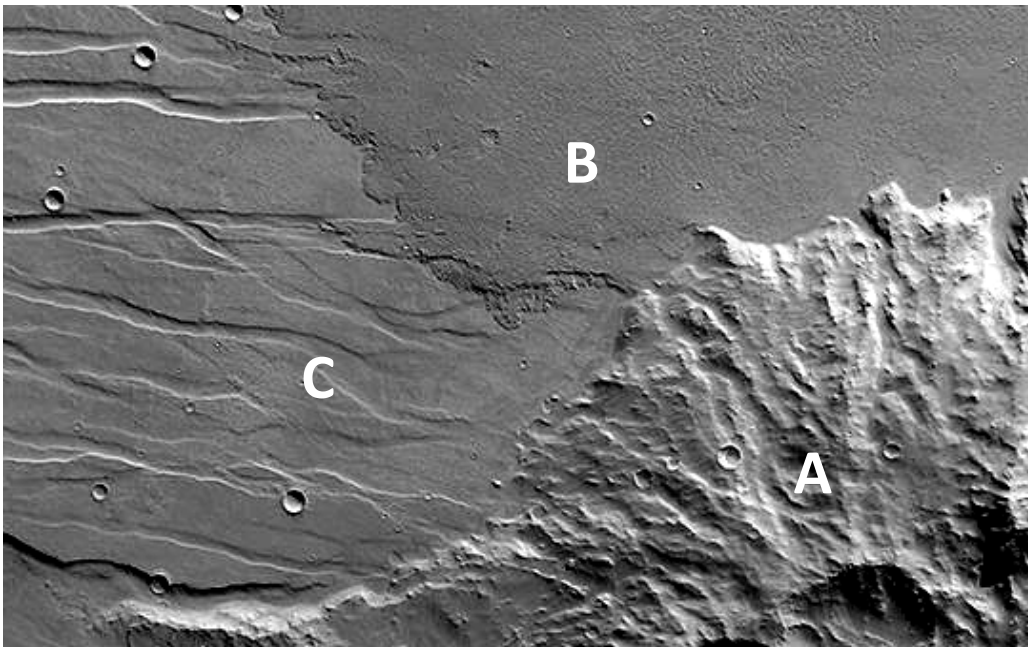

Figure 10. Claritas Fossae. Avec l'aimable autorisation de HRSC/MEx/ESA.

20. Les affleurements révèlent d'importantes informations sur les conditions environnementales les plus récentes. Quelle pourrait être l'origine la plus vraisemblable des structures observées sur la figure 13 ? Tenez compte du fait que la largeur de la roue avant gauche du robot visible sur la photo est d'environ 50 cm.

a) La tectonique des plaques.
b) Des terrains polygonaux.
c) L'érosion glaciaire.
d) L'érosion fluviatile.
e) Des fentes de dessiccation.
f) Un clivage métamorphique.

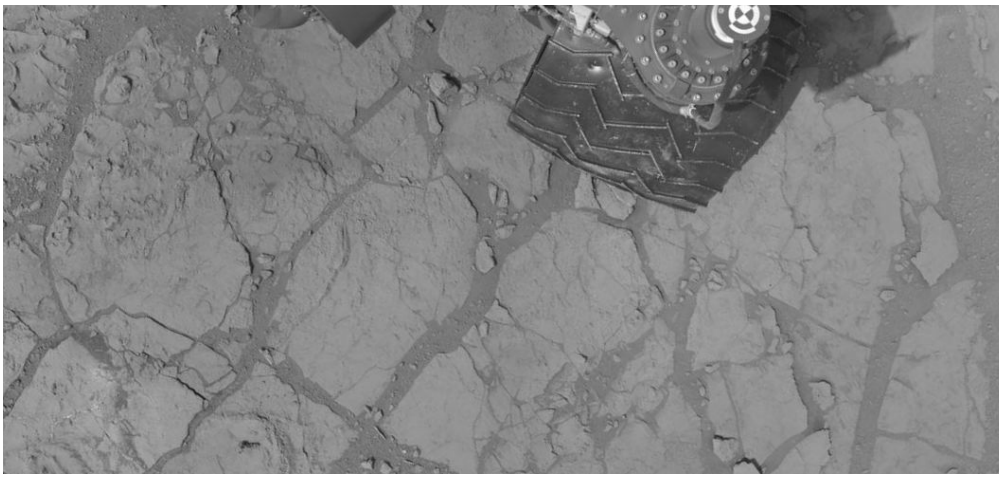

Figure 11. Le cratère Gale. Avec l'aimable autorisation de MSL/JPL/NASA.

21. Si la tectonique des plaques existait sur Mars, le(s)quel(s) des objets géologiques suivants vous attendez-vous à trouver à la surface de cette planète ?

a) Des chaînes de montagnes.
b) Que des terrains âgés.
c) Des dépressions allongées.
d) Aucune faille.
e) Des alignements d'édifices volcaniques.

22. Afin d'en apprendre plus sur la structure interne de Mars, les missions futures embarqueront des sismomètres. En attendant, imaginez qu'on enregistre des ondes sismiques de périodes 1, 10 et 100 s et de longueurs d'onde respectives de 5, 50 et 500 km. Quelle devrait être la vitesse de propagation des ondes sismiques ?

a) 2.5 km/h
b) 5 km/h
c) 10 km/h
d) 2.5 m/h
e) 5 m/s
f) 2.5 km/s
g) 5 km/s
h) 10 km/s

23. Tharsis and Elysium sont deux immenses provinces volcaniques de Mars, de plus de 2000 kilomètres de diamètre chacune. Comme nous ne disposons d'aucun indice de tectonique des plaques sur Mars, quel(s) phénomène(s) pourrai(en)t le mieux expliquer l'existence de ces importantes régions volcaniques ?

a) Des cratères d'impact.
b) Des points chauds.
c) De la subduction.
d) Des batholithes.
e) Du diapirisme.
f) De la cristallisation magmatique.
g) Des tempêtes solaires.

24. Certains volcans martiens ont été actifs il y a environ 350 Ma. À quelle période géologique de l'histoire de la Terre cet âge correspond-il ?

a) Dévonien supérieur.
b) Trias moyen.
c) Cambrien inférieur.
d) Carbonifère supérieur.
e) Cambrien moyen.
f) Crétacé inférieur.
g) Jurassique supérieur.
h) Silurien moyen.
i) Holocène inférieur.

25. Aucun des robots précédents n'a jamais détecté, sur Mars, le moindre fossile ou la moindre trace de vie, même en atterrissant sur les fonds de l'ancien océan martien. Sur Terre, parmi les propositions suivantes, laquelle (lesquelles) constitue(nt) un indice de la présence de vie dans les océans passés ?

a) Bélemnite.
b) Calamites.
c) Equus.
d) Hyperion.
e) Mammouth.
f) Stromatolites.
g) Tyrannosaurus.
h) Crinoïde.
i) Sigillaria.

26. Pendant son voyage sur la surface martienne, Curiosity a photographié la roche présentée sur la figure 15, interprétée par l'équipe scientifique comme une météorite. Quelle est son origine la plus probable ?

a) La Lune.
b) La Terre.
c) La ceinture d'astéroïdes.
d) Le nuage d'Oort.
e) Mercure.
f) Jupiter.
g) Le Soleil.
h) Titan.

Figure 12. Le cratère Gake. Courtesy of MSL/JPL/NASA.

27. Dans la mesure où il n'est pas possible d'utiliser une boussole ou un GPS pour localiser et suivre les déplacements des robots sur Mars, les ingénieurs contournent cette difficulté en utilisant les positions des étoiles. L'étoile principale dans le ciel martien est le Soleil, distant de la planète rouge de 1,5 UA. Sur Terre, le Soleil a un diamètre angulaire de 0,5°. Quel est le diamètre angulaire du Soleil dans le ciel de Mars ?

a) 40'
b) 30'
c) 20'
d) 10'
e) 5'
f) 1'
g) 0,4°
h) 0,5°
i) 0,6°

Lisez le texte suivant et étudiez soigneusement la figure 16.

« En juin 2014, les scientifiques ont utilisé la caméra chimique (ChemCam) du robot Curiosity de la NASA pour analyser une roche martienne en forme de « coquille » de 2 à 3 centimètres de dimension, incluse dans un substrat fin et remplie de poussières. La figure 16 associe une photo de l'objet étudié, baptisé « Winnipesaukee », avec les résultats de l'analyse spectrographique d'une ligne de points incluant la roche, la matrice qui l'entoure et le matériau de remplissage, réalisée avec la caméra chimique. »
(Crédit : NASA/JPL-Caltech/LANL/CNES/IRAP/LPGNantes/CNRS/IAS/MSSS).

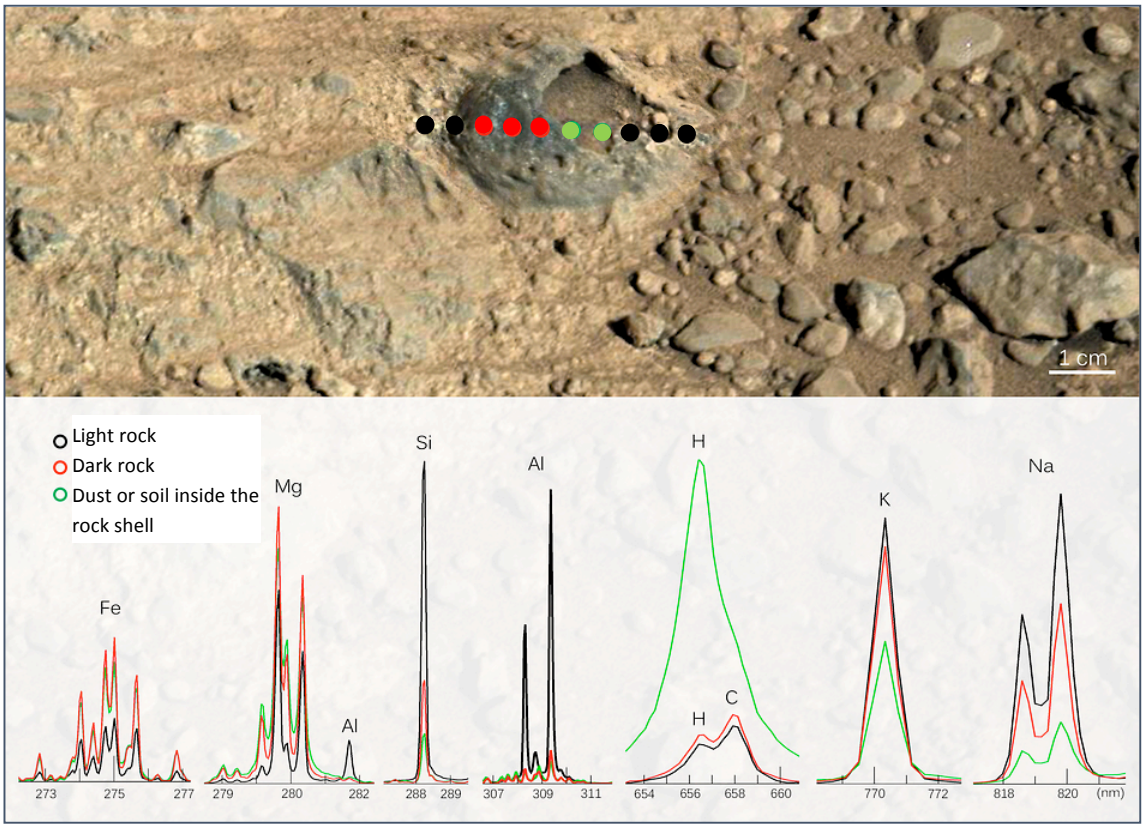

Figure 13. Image ChemCam et analyse. Crédit: NASA/JPL-Caltech/LANL/CNES/IRAP/LPGNantes/CNRS/IAS/MSSS.

28. Quelle(s) roche(s) terrestre(s) possède(nt) une forte concentration en Mg et en Fe ainsi qu'une couleur sombre, comme celle visible sur cette image ?

a) Le basalte.
b) La biotite.
c) Un conglomérat.
d) Une argile.
e) Un granite.
f) Un gabbro.
g) Un gneiss.
h) Un grès.

Comme nous pouvons le constater, la planète Mars présente des caractéristiques similaires ou équivalentes à celles que les géologues appréhendent sur Terre. Grâce aux robots et aux navettes spatiales envoyés sur Mars, nous disposons déjà de connaissances intéressantes quant à l'origine, à l'évolution et aux principales caractéristiques de la planète rouge.
Toutefois, les mécanismes de formation et les origines de beaucoup des éléments observés n'ont pas encore été découverts ; de nombreuses questions précises restent à l'heure actuelle sans réponse.
Et si vous deveniez planétologue pour percer les mystères de Mars et des autres planètes ?