

KIT PEDAGOGIQUE

EXPLORE MARS



Document d'accompagnement

Le kit est composé :

- du présent **document d'accompagnement**, qui associe à chaque élément d'exposition...
- ...des **documents** et/ou **activités pédagogiques**

Sommaire

Présentation de l'exposition.....	2
Description.....	2
Objectifs pédagogiques	3
Plan de l'exposition	4
Fiches manipes	5
Espaces d'exposition.....	5
Planète Rouge, Planète Bleue	5
GLOBES MARS ET TERRE	5
PESEZ MARS	8
ROVER SUR TERRE, ROVER SUR MARS.....	10
VENT MARTIEN	12
EVOLUTIONS COMPAREES	14
FRESQUE MARTIENNE	17
Roulez Rovers !	20
SOJOURNER/PATHFINDER	20
SPIRIT ET OPPORTUNITY	21
CURIOSITY	24
MARS EXPRESS.....	27
LES VRAIS COULEURS DE MARS	30
Ateliers/animations.....	32
Labo Mars.....	32
Pour aller plus loin.....	33

Présentation de l'exposition

Description

Une mission d'exploration spatiale...

Mars, surnommée « la planète rouge » est la 4^{ème} planète de notre Système solaire en partant du Soleil. Située après la Terre, Mars a un diamètre presque deux fois plus petit et est environ neuf fois moins massive que notre planète ! Elle met près de deux ans pour faire le tour du Soleil. Une journée terrestre est comparable à une journée martienne, de 24h40min. La planète rouge se trouve en zone habitable. En astronomie, c'est une région de l'espace où les conditions sont favorables à l'apparition de la vie, telle qu'elle est sur Terre. Pourtant, Mars est considérée comme une planète morte. Qu'avons-nous réellement en commun avec elle ?



L'exploration martienne en plusieurs étapes

Pour explorer la planète Mars, les premières sondes spatiales sont envoyées par les soviétiques dès les années 1960. Les missions consistent tout d'abord à *survoler* Mars. Les soviétiques échouent à atteindre la planète rouge. Mariner 4, lancée par la NASA (agence spatiale américaine), réalise cet exploit et prend des images inédites de la planète rouge le 14 juillet 1965. Mars est révélée pour la toute première fois. Après les missions de survol, l'objectif est la mise en *orbite* autour de Mars, pour l'observer plus précisément sur une longue durée. Le 14 novembre 1971, la sonde Mariner 9 est une pionnière en la matière. Simultanément, le but poursuivi est de faire *atterrir* un engin terrestre sur Mars. L'atterrisseur soviétique Mars 3 est le premier à se poser en douceur le 2 décembre 1971.

Coup de projecteur sur les rovers



Une vingtaine d'années plus tard, d'incroyables véhicules robotisés capables d'évoluer dans des conditions extrêmes sont conçus. Véritables laboratoires *mobiles*, les rovers ont pour mission d'analyser l'environnement martien. Le 4 juillet 1997, le premier robot d'exploration de la NASA Sojourner roule sur Mars. Il précède toute une série de rovers. Le 6 août 2012, le rover américain Curiosity se pose avec succès sur la planète rouge après 8 mois de voyage spatial. L'évènement est retransmis mondialement. Depuis, de nouvelles informations nous parviennent chaque jour et nous aident à mieux découvrir cette planète mythique.

Les orbiteurs, qui survolent de grandes zones en peu de temps, coexistent avec les rovers pour l'étude approfondie de Mars. Par exemple, la sonde Mars Express de l'Agence

Spatiale Européenne (ESA), mise en orbite autour de Mars le 25 décembre 2003, détecte l'existence d'eau, présente ou passée, à certains endroits précis. Le site d'atterrissage et d'exploration des rovers est choisi en fonction de ces résultats. Dans l'avenir, l'exploration martienne pourrait s'envisager avec des Hommes et non plus exclusivement des robots.

...Au cœur d'une exposition animée

Le parcours de l'exposition mêle à la fois **expériences participatives, démonstrations inédites, rovers tailles réelles et résultats scientifiques**. L'exposition Explore Mars invite à une découverte conviviale, ludique et pédagogique de la planète Mars.

Un parcours qui s'articule **autour de trois espaces** :

- Planète Rouge, Planète Bleue permet de découvrir les grandes caractéristiques de Mars en les comparant avec celles de la Terre. Les publics se livrent à des expériences proposées par des éléments manipulateurs.
- Roulez Rovers ! présente à l'échelle 1 la totalité des véhicules ayant roulé sur la planète Mars. Une table interactive permet de comprendre comment se forment les images de Mars. Une maquette suspendue de la sonde Mars Express à l'échelle ¼ permet de rappeler que les missions martiennes restent principalement des missions « autour » de Mars, complémentaires aux rovers.
- Labo Mars propose des démonstrations interactives sur l'environnement martien, animées par un médiateur scientifique.

Objectifs pédagogiques

Le principal objectif de l'exposition Explore Mars est de **plonger les visiteurs dans une mission d'exploration spatiale**. Leur faire comprendre les enjeux liés à l'étude de la planète Mars, notamment sur l'existence d'une vie passée !

En comparant la planète Mars à la Terre, les publics découvrent les caractéristiques de la planète rouge : la composition de son sol, de son atmosphère, sa densité, sa température... Il s'agit de **s'intéresser à ce qui différencie Mars de la Terre**.

L'exposition propose aussi de **suivre l'évolution de la planète Mars au cours du temps**. Dans le passé, Mars était active et possédait une atmosphère dense, comme la Terre aujourd'hui. Y a-t-il eu de l'eau liquide sur Mars ? Est-ce que la vie existait ?

Les maquettes de robots ayant roulé sur Mars permettent d'**aborder les missions d'exploration martienne et la complexité de leur mise en œuvre**. Les maquettes tailles réelles des rovers martiens interpellent et mettent en avant la technologie de leurs instruments.

La Labo Mars fait **découvrir aux publics l'environnement martien à travers des démonstrations interactives**. Un médiateur scientifique échange avec les visiteurs autour de questions liées à l'atmosphère, au sol, à la glace... Sur Mars.

L'exposition présente dans son ensemble la planète Mars et les missions d'exploration effectuées afin de mieux la connaître. Ceci à travers la **participation des publics** au moyen de systèmes interactifs et diverses animations.

Plan de l'exposition

Fiches manipes

Chaque élément de l'exposition Explore Mars est décrit puis associé aux documents et/ou activités du kit pédagogique.

Espaces d'exposition

Planète Rouge, Planète Bleue

GLOBES MARS ET TERRE

Objectifs :

- Se rendre compte des différentes particularités de la Terre et de Mars
- Comparer les années et les jours martiens et terrestres



Les visiteurs peuvent faire tourner les globes de la Terre et de Mars sur leurs axes de rotation. Ils observent alors les principales caractéristiques physiques des deux planètes telluriques (composées de roches et de métaux) : tailles, volcans, cratères... Elles sont présentées à la même échelle. Les inclinaisons des axes de rotation sont fidèlement reproduites.

Un visuel accompagne les globes et compare les durées de l'année et du jour des deux planètes. Mars met presque deux années terrestres à faire le tour du Soleil !

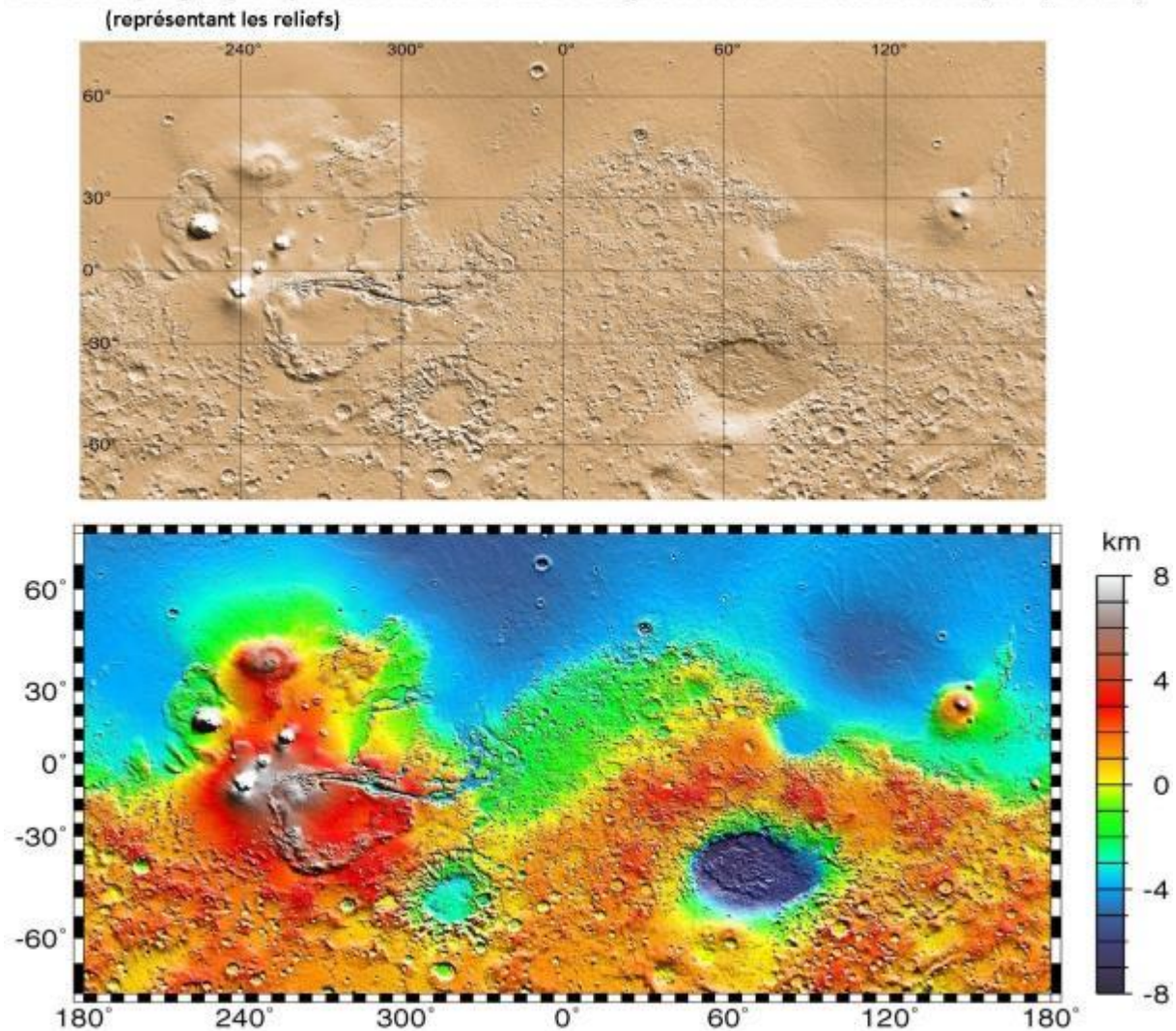
Que voit-on sur la surface de Mars ?

En observant le globe de Mars à côté du globe terrestre, nous sommes directement confrontés à l'aspect désertique de la planète rouge. Apparemment, elle ne présente pas d'étendue d'eau contrairement à notre planète bleue, ni de végétation. Cependant, sa surface n'est pas toute lisse : des volcans, des failles, des plaines, des cratères sont visibles. Mars, aujourd'hui considérée comme une planète morte (pas d'activité tectonique) était active autrefois.

Dès 1965, avec la sonde spatiale américaine Mariner 4, les missions de mise en orbite autour de la planète Mars ont permis de cartographier (établir une carte de) celle-ci. Après diverses analyses et

interprétations, il est possible d'identifier et expliquer les différentes formations rocheuses à la surface de Mars.

Carte topographique de Mars élaborée par Mars Global Surveyor (NASA)



Différence entre hémisphères nord et sud (appelée dichotomie martienne). L'hémisphère nord est une vaste plaine basse dépourvue de relief alors que l'hémisphère sud est élevée, très cratérisée et dispose d'une grande variété de terrains. La croûte de l'hémisphère sud (datant d'il y a 4,5 à 3,7 milliards d'années) est plus épaisse et ancienne que celle du Nord (âgée de 3,2 milliards d'années maximum). Cette dichotomie serait expliquée par la tectonique des plaques à l'ère où Mars était active ou bien de grands impacts juste après la formation de la planète (il y a 4,6 milliards d'années). La lave aurait recouvert tout l'hémisphère nord et comblé les cratères et autres marques antécédentes. Ce qui donnerait une plaine gigantesque occupant le tiers de la planète.

Cratères et bassins d'impact. De nombreux cratères jonchent la croûte ancienne de l'hémisphère sud. En effet, un bombardement intense a eu lieu il y a environ 4 milliards d'années (ère du Noachien pour Mars). Des cratères datant de la même période sont recouverts de façon homogène (grande plaine) au Nord. Le bassin d'impact Hellas Planitia est particulièrement visible, par sa grande profondeur (presque 10 km) dans l'hémisphère sud (42,7° S et 70° E sur la carte). Un bassin d'impact résulte de la collision avec un corps, qui perce l'écorce martienne et où des épanchements

magmatiques comblent le fond du cratère (ce qui implique que ces bassins datent de l'ère où Mars était active).

Formations volcaniques et tectoniques. Tharsis est la plus grande région volcanique de Mars. Elle traverse l'équateur et est composée de quatre volcans principaux : Arsia Mons, Pavonis Mons, Ascraeus Mons (du Sud au Nord, formant la chaîne de volcans Tharsis Montes) et Olympus Mons (à l'Ouest de Tharsis Montes) le plus grand volcan du Système solaire culminant à 27 km d'altitude. Valles Marineris, dédale de canyons longeant l'équateur à l'Est de Tharsis, est aussi visible. Résultant de processus tectoniques (étirements entre le Nord et le Sud) le réseau de failles s'étend sur près de 4000 km et possède par endroits une profondeur de 10 km.

Calottes polaires. Sur le globe martien, il est facile d'observer la calotte polaire boréale (Nord) qui fait environ 1000 km de diamètre. Mars possède aussi une calotte polaire australe (Sud) plus petite (près de 300 km de diamètre). Les calottes polaires, d'une épaisseur avoisinant les 3 km, sont constituées de glace de dioxyde de carbone (85%) et de glace d'eau (15%). Comme sur Terre, leurs surfaces diminuent en été quand la température s'élève et augmentent en hiver. Sauf que sur Mars, la glace est sublimée (passe directement à l'état gazeux) à cause de la pression extrêmement faible exercée par son atmosphère très ténue. (Voir « le rôle de l'atmosphère martienne » page 12.)

Contenus supplémentaires

Dans le dossier « DESCRIPTIF » deux **fiches pédagogiques décrivant Mars** et un **document du CNRS comprenant 7 questions sur Mars**.

Dans le dossier « EXPLORATION » la **présentation du climat martien de François Forget du CNRS**.

La **page Internet d'un site dédié à Mars, sur sa géologie** :

<http://www.nirgal.net/geologie.html>

Activité supplémentaire

Dans le dossier « GEOLOGIE », le **globe de Mars en papier à construire soi-même**.

PESEZ MARS

Objectifs :

- Comparer les masses de la Terre et de Mars
- Aborder les notions de diamètre, volume et densité autour des deux planètes



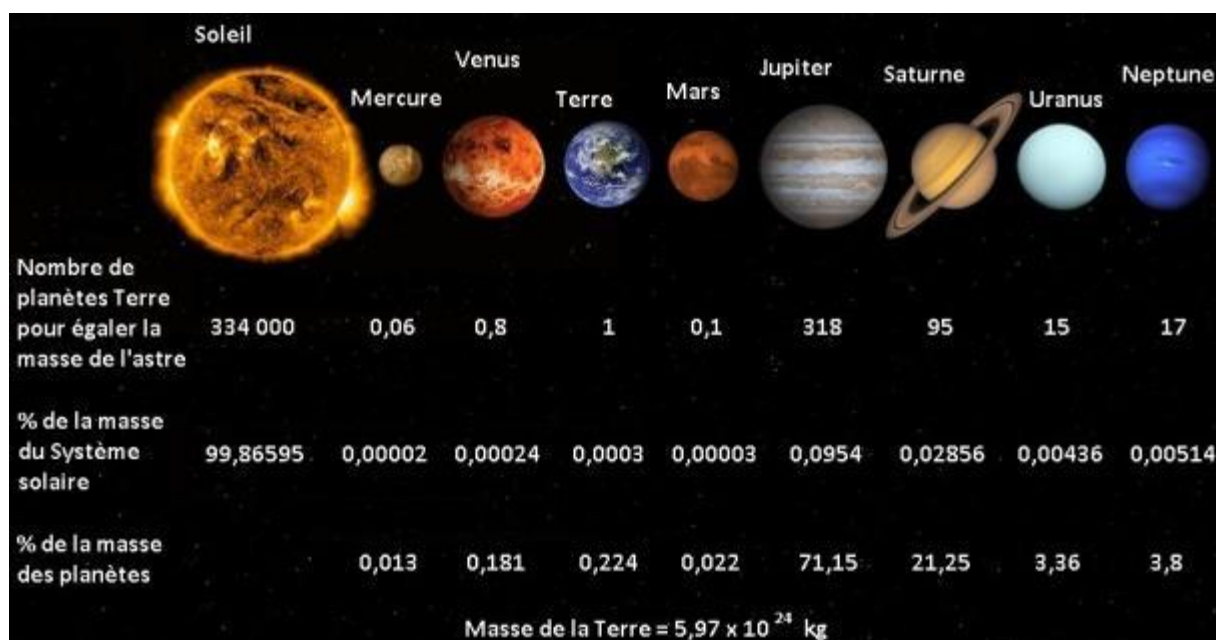
Un jeu de manipulation ludique sous forme de balance permet de comparer les masses de la Terre et de Mars. Le but est de trouver combien il faut de planètes Mars pour égaler la masse totale de la Terre.

Un visuel détaille des mensurations des deux planètes. Il permet d'aborder les questions de taille (diamètre et volume) et de composition (expliquant la différence de densité entre la Terre et Mars).

Quelles sont les masses des planètes du Système solaire ?

Le Soleil possède à lui seul plus de 99% de la masse du Système solaire ! Les quatre planètes telluriques (rocheuses et métalliques) Mercure, Vénus, la Terre et Mars (par ordre d'éloignement croissant en partant du Soleil) sont bien moins massives que les quatre géantes gazeuses Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Jupiter représente plus de 70% de la masse des planètes du Système solaire. Mars a la deuxième plus petite masse du Système solaire, après Mercure.

La méthode la plus courante pour calculer la masse d'une planète est d'analyser la trajectoire d'un corps tournant autour de celle-ci. La force s'exerçant entre les deux astres dépend de leurs masses et de la distance entre les deux. En connaissant le temps que met l'objet à faire un tour de la planète (sa période) et la distance entre les deux, la masse peut être déduite. L'astronome Kepler (1571 – 1630) publie cette loi qui portera son nom (ou loi des périodes) en 1618.



Contenu supplémentaire

La **page du site Planet Terre** compare et classe les objets du Système solaire :

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/comparer-planetes-satellites-systeme-solaire.xml>

Activité supplémentaire

Dans le dossier « ACTIVITES SCOLAIRES » le **document pédagogique explorez Mars** permet de comparer Mars à la Terre.

ROVER SUR TERRE, ROVER SUR MARS

Objectifs :

- Savoir que le poids d'un objet varie d'une planète à une autre
- Comprendre la différence entre la masse et le poids



Le même rover pèse-t-il autant sur Mars que sur Terre ? Le visiteur peut en faire l'expérience en soulevant le petit robot Sojourner.

Deux maquettes identiques de Sojourner sont proposées aux publics. Une sur Terre, l'autre supposée sur Mars. D'une planète à l'autre la masse du rover de 10,6kg ne varie pas. Cependant, il pèse trois fois moins sur Mars ! Un visuel explique cette différence de poids.

Quelle sont les conséquences de cette différence de poids ?

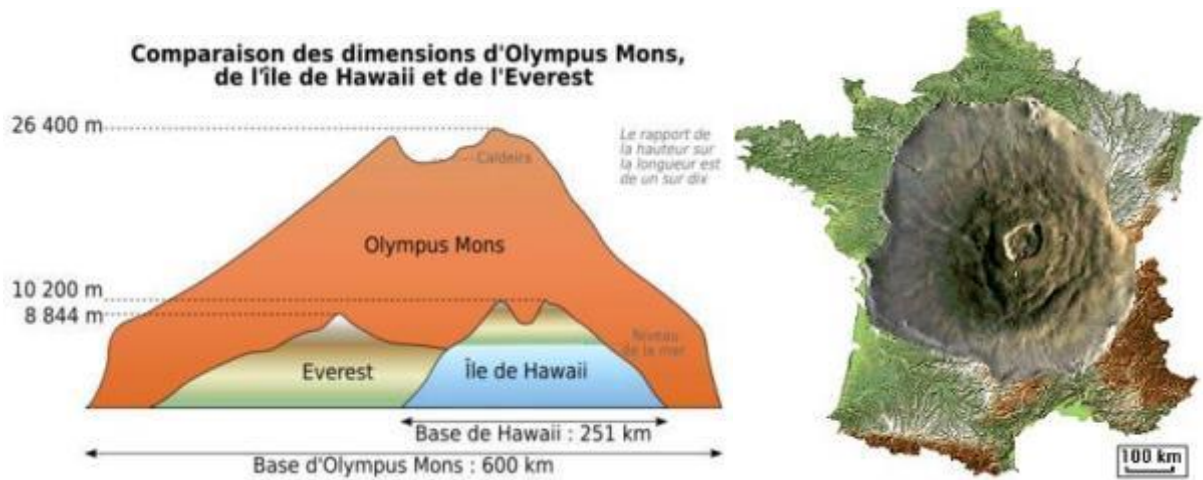
Le poids mesure la force avec laquelle un objet est attiré au sol. Cette force d'attraction, est la gravité (mot dérivé du latin « gravitas » qui signifie « poids »). Chaque objet de l'Univers attire n'importe quel autre objet de l'Univers avec une intensité qui ne dépend que de leurs masses et de leur distance.

Plus la distance entre deux objets augmente, plus l'attraction de la gravité diminue. Un alpiniste en haut du Mont Everest pèse un peu moins que lorsqu'il se trouve au niveau de la mer. Si une fusée s'éloigne suffisamment loin de la Terre, elle finira par sortir complètement de l'attraction terrestre.

Sur la surface de Mars, planète moins massive et plus petite que la Terre, la gravité est environ divisée par trois. Ainsi, ses formations géologiques telles que les volcans, soumis à une gravité bien plus faible sont moins attirés vers le sol que sur Terre. Les monts se développent jusqu'à de très hautes altitudes.

- Olympus Mons qui culmine à une altitude proche de 27 km est le plus haut volcan de Mars et du Système solaire ! Trois fois plus haut que le Mont Everest, volcan terrestre le plus élevé. La base d'Olympus Mons s'étend sur près de 600 km (distance équivalente à la largeur de la France, de La Rochelle à Genève).

- Valles Marineris est un dédale de canyons de 4 000 km de long (presque la largeur des Etats-Unis qui est de 4 500 km). Par endroits, le dénivelé (différence d'altitude du point le plus bas, au point le plus haut du canyon) peut atteindre près de 10 km.



Activité supplémentaire

Dans le dossier « ACTIVITES SCOLAIRES » le **document pédagogique explorez Mars** aborde la différence entre la masse et le poids par rapport au rover Sojourner.

VENT MARTIEN

Objectifs :

- Suivre l'évolution de la planète Mars
- Se rendre compte de l'atmosphère ténue (peu dense et fine) sur Mars aujourd'hui



Cette manipe génère un vent de 75km/h. Le visiteur le ressent en se positionnant devant l'une des deux sorties d'air : une sur Terre, une sur Mars. Des atmosphères différentes, des sensations différentes !

Un panneau explique l'évolution de l'atmosphère et de l'eau sur Mars. L'atmosphère martienne est aujourd'hui très ténue. Un vent de 75km/h paraît donc faible. Les océans de Mars quant à eux se sont en grande partie vaporisés dans l'espace.

Quel est le rôle de l'atmosphère martienne pour la présence d'eau liquide ?

Extrait du livre *Maxi fiches de Géologie - 3e édition : En 85 fiches* écrit par Laurent Emmanuel, Marc de Rafelis Saint Sauveur et Ariane Pasco, édité chez Dunod en 2014.

ATMOSPHÈRE MARTIENNE

	Composition (%)
Dioxyde de carbone CO ₂	95,32
Azote N ₂	2,7
Argon Ar	1,6
Oxygène O ₂	0,13
Monoxyde de carbone CO	0,07
Vapeur d'eau H ₂ O	0,03
Monoxyde d'azote NO	0,013

Figure 87.2 – Composition atmosphérique martienne

La pression atmosphérique est très faible (7,3 millibars) et varie de façon saisonnière selon la quantité de CO₂ précipitée au niveau des calottes polaires. Dans ces conditions de pression, l'eau sur Mars ne peut exister qu'à l'état de vapeur ou de glace (figure 87.3).

Paradoxalement, la richesse et la stabilité de la teneur en CO₂ est due à la présence d'eau dans l'atmosphère martienne. Une autre caractéristique de cette atmosphère est la présence d'importantes quantités de poussière, agitées par des tempêtes saisonnières. Ces tempêtes, qui peuvent durer plusieurs semaines et se ressentir jusqu'à 50 km d'altitude modifient sensiblement l'albedo, la quantité d'énergie reçue et donc la température au sol.

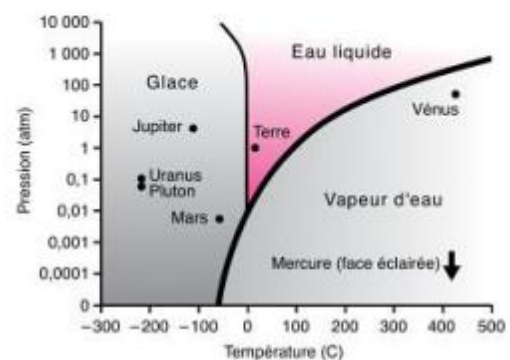


Figure 87.3 – Diagramme de phase de l'eau en fonction de la température et de la pression et position des différentes planètes du système solaire (Pomerol et al., 2005)

Voir « l'histoire de Mars » page 14 :

« Sans bouclier magnétique, Mars n'est pas protégée des rayonnements solaires : son atmosphère est soufflée progressivement. Moins il y a d'atmosphère, plus la pression chute. L'eau ne peut rester à l'état liquide, elle commence à s'évaporer ou s'infiltrer et geler dans le sol. »

Après avoir été soufflée presque en quasi-totalité, l'atmosphère de Mars est si ténue qu'il n'y a plus d'eau liquide à la fin du theiikien (- 3,6 milliards d'années). En effet, la pression exercée sur l'eau par l'atmosphère est si basse, que l'eau liquide ne peut plus être retenue, elle s'évapore. »

Quand les conditions de stabilité de l'état liquide ne sont plus réunies, parce que la pression atmosphérique est trop faible, des heures, des jours, parfois des semaines peuvent passer avant que l'eau ne se vaporise intégralement. Elle a le temps de dévaler des pentes, d'y creuser des sillons profonds, d'accumuler des dépôts de sulfates (preuve de la présence d'eau, pas forcément stable sur une longue période), tout en se vaporisant, sans alimenter d'étendues lacustres, marines ou océaniques.



Aujourd'hui, même si l'atmosphère de Mars est raréfiée, elle a une action visible sur la planète. Entre autre, elle rend le sol rouge par altération, balaye la surface, nettoie les roches, transporte et accumule des poussières pour former des dunes et forme des nuages de glace d'eau (appelés cirrus).

Contenus supplémentaires

Dans le dossier « EAU » un **communiqué de presse du CNRS** annonce que de l'eau liquide pérenne se trouvait sur Mars. Une **présentation montre les différents paysages martiens façonnés par l'eau liquide**. Un **document explique le cycle de l'eau martien**.

Activité supplémentaire

Dans le dossier « ACTIVITES SCOLAIRES » le **document pédagogique explorez Mars** traite de l'environnement martien dans lequel évoluent les rovers.

EVOLUTIONS COMPAREES

Objectifs :

- Suivre simultanément les évolutions de Mars, de la Terre et de la Lune
- Connaître les deux périodes où l'eau était liquide sur Mars : océan et écoulements catastrophiques
- Comprendre le lien entre l'eau et la vie



Le visiteur remonte le temps à l'aide d'une manette et découvre simultanément l'évolution de la Terre, de Mars et de la Lune. Leurs histoires sont bien différentes.

Un panneau détaille deux périodes marquées par la présence d'eau liquide sur la planète rouge. Mars océanique il y a très longtemps. Puis de brusques écoulements par la suite qui ont creusés lacs et canaux.

L'eau liquide sur longue période est essentielle à la vie. Des organismes auraient pu naître à cette époque reculée ?

Quelle est l'histoire de Mars ?

Extrait du livre *Maxi fiches de Géologie - 3e édition : En 85 fiches* écrit par Laurent Emmanuel, Marc de Rafelis Saint Sauveur et Ariane Pasco, édité chez Dunod en 2014.

HISTOIRE MARTIENNE

Éléments de datation

L'histoire martienne est marquée par trois époques bien distinctes. Deux échelles temporelles ont été bâties, l'une basée sur la fréquence des cratères d'impact (échelle de Hartmann, puis Hartmann & Neukumm) en extrapolant les chronologies lunaires. Une nouvelle échelle bâtie sur des données minéralogiques recueillies par l'équipe de J.P. Bibring montre aussi trois éons :

- le **Phyllosien** (présence de phyllosilicates formés en présence d'eau) – $4.2 \cdot 10^9$ a
- le **Theiikien** (présence de minéraux sulfurés d'origine volcanique) – $3,6 \cdot 10^9$ a
- le **Siderikien** (présence d'oxydes de fer anhydres)

Une période d'intenses bombardements de météorites (analogue au grand bombardement tardif LHB constaté sur la Lune) se situe entre le Phyllosien et le Theiikien.

Les deux échelles de datation ne correspondent pas et les datations obtenues ne sont pas très précises. Il faudrait pour cela des données de chronologie absolue, qui ne pourront être obtenues que sur des échantillons ramenés sur Terre.

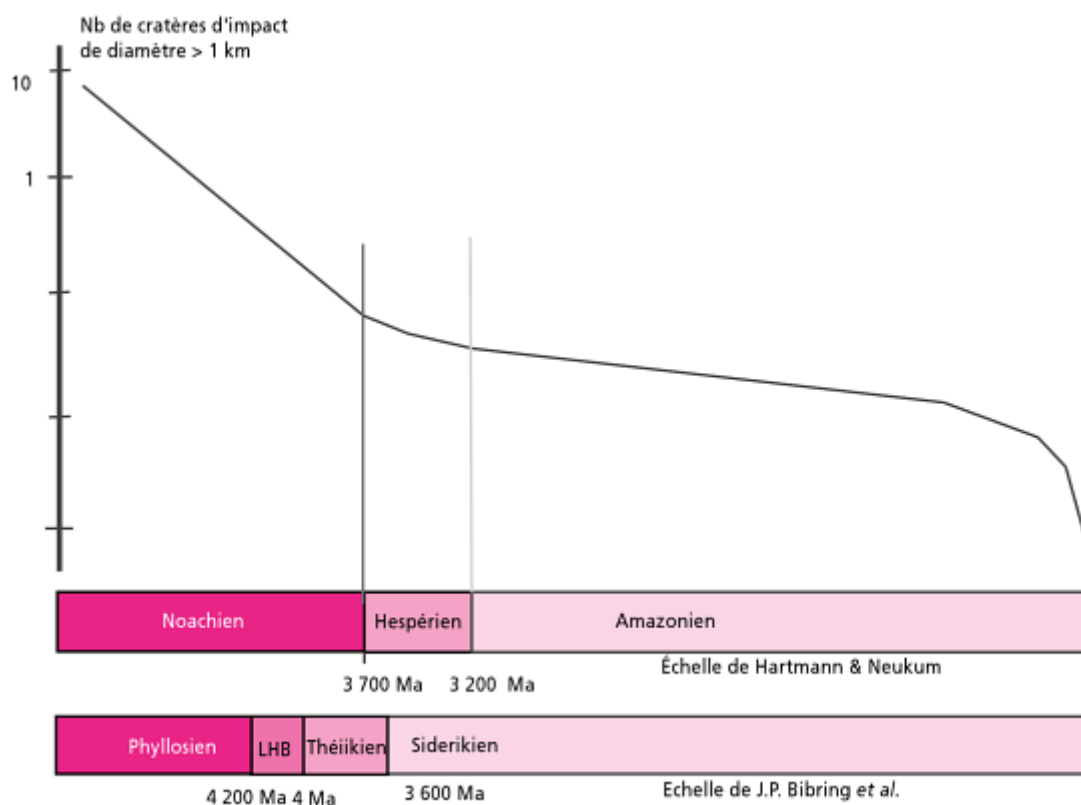


Figure 87.7 – Éléments de chronologie martienne

– 4,5 Ga (milliards d'années), Mars est une boule de magma qui subit le bombardement primordial de météorites et grossit par accréation (les météorites s'agglomèrent à la planète). – 4,4 Ga, la planète se solidifie et possède un champ magnétique. Ses roches conservent la trace de ce champ qui n'est plus détecté par la suite. La dynamo de Mars (qui génère son champ magnétique grâce au stock d'éléments radioactifs dans son noyau) s'arrête donc dès cette époque. Un bombardement tardif très intense a lieu de – 4,2 à – 4 Ga. La majorité des cratères de Mars en résulte.

Les terrains du Sud sont datés du phyllosien. Durant cette ère, l'eau liquide est présente et abondante sur toute la planète Mars. Seulement, sans bouclier magnétique, Mars n'est plus protégée des rayonnements solaires : son atmosphère est soufflée progressivement. Moins il y a d'atmosphère, plus la température et la pression chutent. L'eau ne peut rester à l'état liquide, elle commence à s'évaporer ou s'infiltrer et geler dans le sol.

DICHOTOMIE MARTIENNE

La dichotomie martienne résulterait d'un gigantesque impact sur l'hémisphère nord. La collision aurait pu arracher de la matière à la planète et ainsi, abaisser l'altitude de la zone. Cet événement aurait eu lieu après le bombardement primordial. Tous les cratères du bombardement primaire en seraient effacés car du magma aurait recouvert la surface endommagée. Plus bas que l'hémisphère sud, l'hémisphère nord aurait été sous une épaisse couche de glace d'eau. Cette glace aurait protégé la croûte martienne du bombardement tardif. Après que l'atmosphère soit soufflée par le vent solaire, la glace d'eau aurait été vaporisée ou serait restée gelée seulement dans le sol, et non plus à la surface de Mars. La croûte de l'hémisphère nord se serait ainsi retrouvée mise au jour. C'est pour cela qu'elle serait très peu cratérisée aujourd'hui.

Entre le Phyllosien et le Theiikien, Mars a subi un changement climatique global. Son environnement humide, favorable aux argiles est devenu sec et acide, permettant la formation des sulfates. Ce changement est attribué à une activité volcanique majeure qui a accompagné la construction du Mont Tharsis et le remplissage des plaines du Nord par de la lave (plus récente que celle qui a formé les terrains du Sud). Durant le Theiikien, l'eau liquide n'est plus stable mais épisodique : elle se vaporise en grande partie lors d'écoulements catastrophiques qui façonnent certains reliefs visibles aujourd'hui (des vallées profondes par exemple). Le volcanisme aurait joué un rôle important dans la remontée de l'eau présente dans le sol. Après avoir été soufflée presque en quasi-totalité (99,9% des constituants de l'atmosphère primordiale auraient disparu), l'atmosphère de Mars est si ténue qu'il n'y a plus d'eau liquide à la fin du Theiikien. En effet, la pression exercée sur l'eau par l'atmosphère est si basse, que l'eau liquide ne peut plus être retenue, elle s'échappe.

De – 3,6 Ga à aujourd'hui, l'ère du Sidérikien, une très lente altération atmosphérique est à l'origine du sol ferrique rouge de Mars. Ce n'est pas l'eau qui rouille Mars mais son atmosphère ténue. En particulier la faible teneur en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) autrement dit, l'eau oxygénée. La couche d'altération est très mince. Mars sera définitivement rouge dans quelques milliards d'années. L'activité volcanique se prolonge en perdant de son intensité. Le dernier épisode date d'environ 100 millions d'années. En quelques milliards d'années, la pression atmosphérique se stabilise à environ 0,006 atmosphère (presque 170 fois moins que sur Terre où la pression est égale à 1 atmosphère). La variation chaotique de l'obliquité (inclinaison de l'axe de rotation) de Mars conduit à la condensation de glaces d'eau en des zones spécifiques puis à la rapide sublimation de ces reliefs glaciaires. Cette sublimation produit des structures spectaculaires. En plus des glaces aux pôles, de l'eau gelée est restée piégée dans le sol martien et du givre est présent en hiver, sublimé dès le printemps.

Contenus supplémentaires

Dans le dossier « GEOLOGIE » l'**article sur l'histoire de Mars écrit par Jean-Pierre Bibring et Yves Langevin.**

Dans le dossier « EXPLORATION » la **vidéo de la conférence de Jean-Pierre Bibring sur l'exploration de Mars.**

Activités supplémentaires

Dans le dossier « ACTIVITES SCOLAIRES » le **document pédagogique sur les évolutions comparées de la Terre et de Mars** et le **document pédagogique explorez Mars** qui permet de retracer l'histoire de Mars.

FRESQUE MARTIENNE

Objectifs :

- Se rendre compte que Mars est observée depuis l'antiquité
- Retracer l'histoire de Mars à travers les observations humaines
- Prendre conscience des futures missions envisagées vers la planète Mars



Une fresque composée de huit panneaux retrace les rapports que l'humanité entretient avec Mars de l'antiquité (– 3 000 au Ve siècle en Europe) à nos jours.

La planète rouge est appelée Mars, dieu de la guerre, par les romains. Dans un premier temps, elle est observée à l'aide de lunettes astronomiques puis par des télescopes. La question de la vie martienne naît dans la seconde moitié du XIXe siècle. Des missions de survol par des sondes sont entreprises dès les années 1960. Viking 1 atterrit sur Mars en 1976. Considérée comme planète morte, Mars est aujourd'hui explorée par des rovers à la recherche de traces de vie passée. Des missions visant à envoyer des humains sur Mars sont envisagées. Seront-elles bientôt réalisées ?

Pourquoi Mars nous intéresse-t-elle aujourd'hui ?

- **Pour mieux comprendre la formation du Système solaire**

Aujourd'hui, Mars garde en mémoire les différentes périodes qu'elle a traversées depuis sa formation il y a 4,5 milliards d'années. Comme par exemple les cratères du bombardement tardif par des corps à travers tout le Système solaire, il y a 4 milliards d'années. L'activité de la Terre ne permet pas d'observer un passé si éloigné ! En effet, les processus géologiques sur Terre tels que la tectonique des plaques et le volcanisme effacent les traces des époques antérieures. Mars, inactive très tôt après sa formation, est en quelque sorte un livre de mémoire du Système solaire : toutes les époques sont préservées.

En étudiant Mars, les scientifiques étudient aussi l'histoire de la Terre. A l'époque de leur formation, la Terre et Mars, planètes telluriques (rocheuses et métalliques), évoluent de manière identique. Notamment au niveau des processus mis en cause dans leur développement primaire qui sont :

- L'agglomération de petits corps célestes pour les former. Leurs compositions sont donc grandement similaires vu qu'elles sont issues des mêmes petits corps.
- La radioactivité au cœur des noyaux qui permet une activité magmatique et un bouclier magnétique protégeant leurs atmosphères des rayonnements solaires.
- Le rayonnement de leurs surfaces pour évacuer la chaleur emmagasinée en profondeur.

Cependant, la Terre et Mars sont différentes dans la manière dont ces processus se sont déroulés au cours du temps. Les deux planètes ont d'abord une évolution semblable, puis leurs histoires divergent.

- **Pour étudier les conditions d'habitabilité vers une possible apparition de la vie**

A présent, le but principal des missions spatiales envoyées sur Mars est de détecter des molécules du vivant. De nombreuses questions sont posées quant à l'époque et aux régions les plus favorables pour trouver ces molécules.

Mars a-t-elle été habitable, habitée ? Quels sont les terrains les plus propices à l'habitabilité ? Est-ce qu'entre sa formation et le bombardement tardif il y a eu une période de vie ? L'eau, indispensable à la vie sur Terre, était-elle pérenne à un moment sur Mars ?

L'étude des roches donne accès à l'histoire, à la dynamique de la planète, en racontant son passé. Les minéraux et argiles peuvent être des traceurs de la présence d'eau liquide à un temps précis. Des terrains très anciens contiennent ces traceurs.

« 30 ans après les missions Viking, l'exploration martienne contemporaine a mis en évidence des sites ayant préservé la mémoire d'une ère durant laquelle Mars a peut être abrité les conditions d'émergence de la vie. Ces sites ont été identifiés principalement par leur minéralogie. Si la vie est créée ailleurs que sur Terre, dans le Système solaire, ces sites sont les plus favorables pour en avoir préservé la trace. » Jean-Pierre Bibring, astrophysicien responsable de programmes d'exploration de Mars.

Contenu supplémentaire

Dans le dossier « EXPLORATION » l'**infographie sur les missions d'exploration de Mars** dresse un historique de l'exploration spatiale de la planète rouge.

Activité supplémentaire

Dans le dossier « ACTIVITES SCOLAIRES » le **document pédagogique explorez Mars** fait le point sur les explorations spatiales vers Mars.

.

Roulez Rovers

SOJOURNER/PATHFINDER

Objectifs :

- Se rendre compte des tailles réelles du robot Sojourner et de sa plateforme Pathfinder
- Visualiser et comprendre les objectifs de leur mission
- Voir et nommer leurs instruments de mesure
- Evaluer la complexité de poser le premier robot d'exploration sur le sol martien



Les maquettes des deux engins spatiaux Sojourner et Pathfinder sont présentées en taille réelle.

Lancé en décembre 1996 par la sonde américaine Pathfinder, le petit rover Sojourner de 10,6kg seulement, est le premier robot à rouler sur Mars ! Sa mission : analyser des échantillons de roches et le sol. Pathfinder, véritable station météorologique posée sur Mars, est aussi la plateforme de débarquement de Sojourner. Durant les 3 mois de mission, Sojourner parcourt 100 mètres.

Un écran montre les objectifs et le suivi de la mission : du lancement, à l'atterrissage sur Mars, jusqu'aux résultats. Des images réelles défilent.

Deux cartels rappellent les objectifs de leur mission, détaillent les dates et chiffres clés et les instruments des deux appareils.

Activité supplémentaire

Dans le dossier « EXPLORATION » la **maquette en papier du rover Sojourner**.

SPIRIT ET OPPORTUNITY

Objectifs :

- Se rendre compte de la taille réelle du rover Opportunity (et de son jumeau Spirit)
- Visualiser et comprendre les objectifs de leur mission
- Voir et nommer leurs instruments de mesure



Une maquette grandeur nature d'Opportunity est présentée.

Lancés en 2003 dans le cadre du projet « Mars Exploration Rover - M.E.R », les deux rovers jumeaux Spirit et Opportunity se sont posés en 2004 sur Mars. Le contact avec Spirit est perdu en mars 2010. Opportunity poursuit encore ses recherches en 2015. Leur durée de vie, initialement prévue à 90 sols (un sol est un jour martien, d'environ 24 h 40 min) soit 3 mois terrestres, est grandement dépassée. Ces robots d'exploration ont pour mission d'analyser l'action de l'eau sur les roches et le sol martien. Opportunity est le premier à trouver des traces de l'existence passée d'eau liquide sur Mars.

Un écran montre les objectifs et le suivi de la mission : du lancement, à l'atterrissage sur Mars, jusqu'aux résultats. Des images réelles défilent.

Un cartel rappelle les objectifs de la mission, détaille les dates et chiffres clés et les instruments de mesure des rovers jumeaux.

Quelles sont les traces caractéristiques de la présence d'eau que recherchent Spirit et Opportunity ?

Spirit et Opportunity sont avant tout des géologues de terrain. Leur objectif principal est le décryptage du passé climatique de la planète Mars, avec en toile de fond la problématique de l'eau. Ils atterrissent en janvier 2004, sur des terrains choisis parce qu'ils auraient été travaillés par l'eau liquide. Le site de Spirit est sélectionné par rapport à des critères visuels : des étendues d'eau par le passé sont suspectées (même morphologie que sur Terre) dans le cratère d'impact Gusev. Opportunity est envoyé sur des lieux où de l'hématite aurait été repérée par la sonde américaine Mars Global Surveyor. L'hématite est un minéral ferreux oxydé par une longue présence d'eau.

Le principal objectif de Spirit et d'Opportunity est d'étudier une grande variété de roches et de sols en vue d'identifier des indicateurs de la présence d'eau dans un passé plus ou moins lointain. Les minéraux hydratés (renfermant de l'eau) et ceux déposés par précipitation, évaporation, ou liés à une activité hydrothermale (eau chaude souterraine) constituent des cibles prioritaires. Les minéraux contenant du fer sont aussi analysés pour déterminer l'état d'oxydation (lié à la rouille) de ce dernier.



Opportunity trouve les petites billes d'hématite (surnommées « myrtilles » pour leur forme sphérique et leur couleur bleue sombre). De la jarosite est aussi découverte. C'est un minéral composé de fer et de sulfure qui ne se forme qu'en présence d'eau acide. Opportunity observe des roches et des sédiments sculptés par différents niveaux d'eau et par des écoulements.

L'étude des reliefs et des roches raconte l'histoire de Mars

Aujourd'hui

L'eau observée sur Mars est glacée. Elle se trouve dans les calottes polaires, le sol ou même certains nuages appelés cirrus. Pendant l'hiver martien, du givre composé d'eau se forme à la surface de la planète rouge.

- 3,5 milliards d'années

Des écoulements violents d'eau liquide dévalent des pentes, creusent des sillons profonds et accumulent des dépôts, tout en se vaporisant (à cause de la basse pression atmosphérique de Mars) sans alimenter d'étendues lacustres, marines ou océaniques.

- 4,5 milliards d'années

Avant que ne se produisent ces écoulements catastrophiques, Mars est recouverte d'eau liquide stable. Les argiles situées dans les terrains cratérisés très anciens le prouvent. L'hématite et la jarosite montrent que de l'eau a coulé et même imbibé le sol en abondance. De l'eau liquide stable pendant longtemps et en grande quantité est une condition nécessaire à la vie.

Contenus supplémentaires

Dans le dossier « SPIRIT_OPPORTUNITY » un **article de Boris Segret sur les preuves d'eau liquide sur Mars** et un autre **article de Futura Sciences sur les traces d'une eau propice à la vie**. Une **présentation des missions de Spirit et Opportunity** permet de découvrir l'environnement martien et les questions s'y rapportant.

Un **site de la NASA** traite le sujet des « myrtilles » martiennes :

<http://science.nasa.gov/missions/mars-rovers/>

Activités supplémentaires

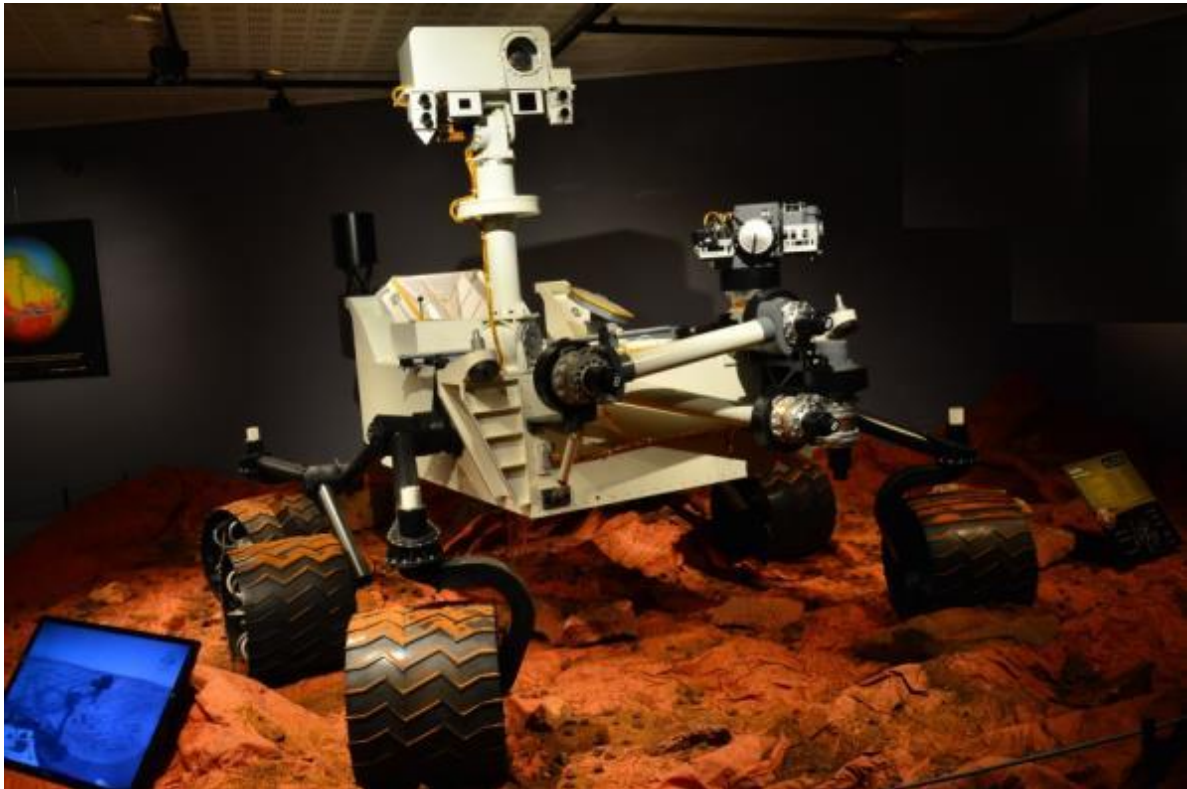
Dans le dossier « ACTIVITES SCOLAIRES » la **fiche pédagogique sur le rover Spirit**.

Dans le dossier « SPIRIT_OPPORTUNITY » la **maquette en papier des rovers Spirit/Opportunity**.

CURIOSITY

Objectifs :

- Se rendre compte de la taille réelle du rover Curiosity
- Visualiser et comprendre les objectifs de sa mission
- Voir et nommer ses instruments de mesure
- Prendre conscience de l'exploit de poser un rover d'une telle envergure sur Mars



La maquette taille réelle du robot d'exploration Curiosity est présentée.

Au terme d'un voyage de 570 millions de kilomètres (presque quatre fois la distance Terre-Soleil !) qui dure plus de 8 mois, le rover américain Curiosity se pose sur la planète Mars le 6 août 2012. Avec ses 900 kg dont 80 kg d'équipements scientifiques, Curiosity est encore en 2015 le plus gros rover envoyé sur Mars.

L'objectif de sa mission est de recenser la présence d'éléments chimiques nécessaires à la vie, identifier d'éventuelles traces d'activité biologique présente ou passée et analyser l'action passée de l'eau sur les roches et le sol.

Curiosity dispose d'un générateur nucléaire qui lui permet de fonctionner à tout moment, contrairement aux rovers le précédant, équipés de panneaux solaires (Sojourner, Spirit, Opportunity).

Un écran montre les objectifs et le suivi de la mission : du lancement, à l'atterrissage sur Mars, jusqu'aux résultats. Des images réelles défilent.

Un cartel rappelle les objectifs de la mission, détaille les dates et chiffres clés et les instruments de mesure de Curiosity.

Quels sont les principaux résultats de Curiosity ?

Un environnement fluvio-lacustre (relatif aux rivières et aux lacs) habitable, localisé dans le cratère d'impact Gale (publié dans Science le 24 janvier 2014) :

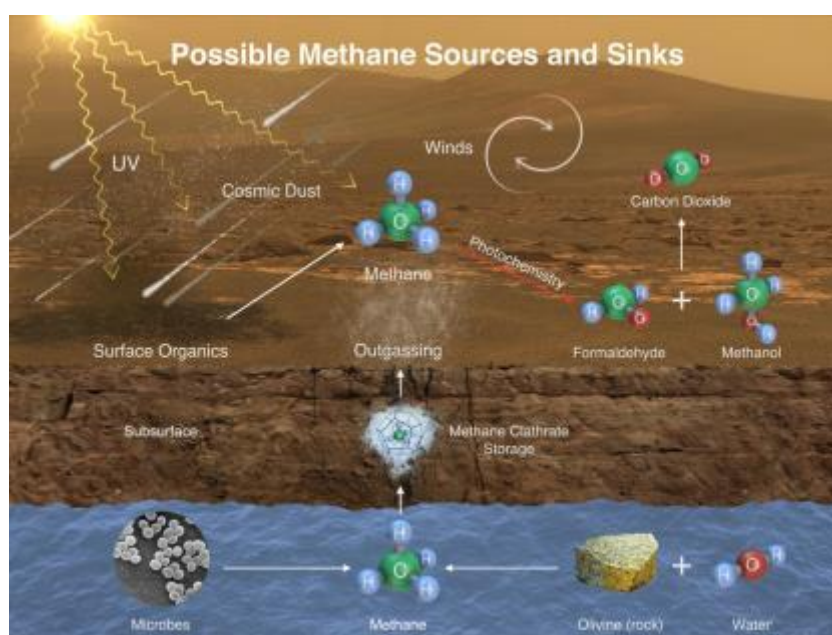
Curiosity a observé des roches dont la finesse des grains indique qu'il s'agit d'anciens dépôts au fond d'un lac. Après diverses analyses dans ces dépôts, Curiosity trouve des éléments clés constituant les organismes vivants (carbone, hydrogène, oxygène, soufre, azote et phosphore). Les conditions favorables à l'émergence de la vie pourraient avoir perduré de quelques dizaines à quelques centaines de millions d'années. Les échantillons révèlent également que l'eau était douce.

Des molécules organiques présentes dans les roches de Mars (publié dans Science le 9 décembre 2013) :

Les molécules organiques sont les blocs de construction de la vie. Curiosity en a découvert sur Mars dans un échantillon de roche du cratère Gale. Ce résultat ne signifie pas nécessairement qu'il y a eu une vie passée sur Mars. Cela montre que des matières premières ont existé et que la vie a pu commencer à un moment. De plus, l'étude et l'identification de ces anciens matériaux organiques témoignent de leur conservation au cours du temps.

Le méthane présent et actif dans l'atmosphère martienne (publié dans Science le 23 janvier 2015) :

Un certain niveau de méthane est constamment détecté dans l'atmosphère de Mars. Une augmentation brève de ce taux a été relevée à quatre reprises sur vingt mois de mesures. A chaque fois, le volume de méthane dans l'atmosphère martienne est multiplié par dix, sur une période de deux mois. Le méthane peut être produit par des organismes vivants ou par des réactions chimiques entre les roches et l'eau. Il est possible qu'il soit généré actuellement ou bien qu'il l'ait été dans le passé puis stocké dans un « réservoir » qui permet sa libération occasionnelle aujourd'hui. Mars produit donc épisodiquement du méthane à partir d'une source encore inconnue.



Contenus supplémentaires

Dans le dossier « CURIOSITY » une **présentation de Jean-Baptiste Sirven du CEA** aborde le suivi des opérations de Curiosity sur Mars. Le **dossier de presse de l'année martienne de Curiosity** dresse le bilan de la mission. Une **vidéo de la conférence de Sylvestre Maurice à la Cité de l'Espace** parle de Curiosity et Mars.

Une **page du site du CNES** sur l'actualité de Curiosity :

https://msl-curiosity.cnes.fr/fr/MSL/Fr/GP_actualites.htm

Une **page du site de la NASA** sur les résultats de la mission Mars Science Laboratory :

<http://mars.jpl.nasa.gov/msl/mission/science/results/>

Activités supplémentaires

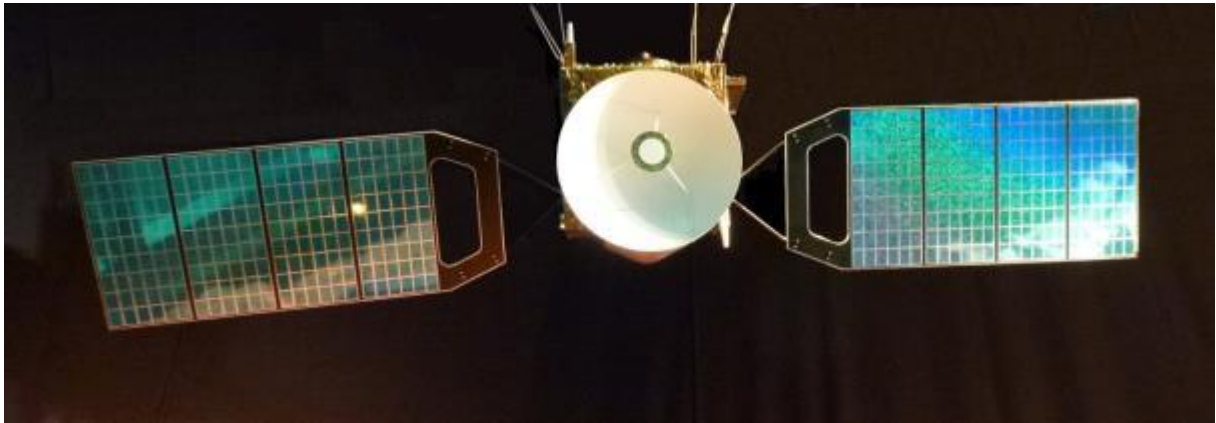
Dans le dossier « CURIOSITY » une **maquette papier du rover Curiosity**.

Dans le dossier « ACTIVITES SCOLAIRES » le **document pédagogique rovers martiens**.

MARS EXPRESS

Objectifs :

- Se rendre compte de la taille de la sonde Mars Express
- Comprendre les objectifs de la mission et la complémentarité de la sonde avec les rovers
- Voir et nommer ses divers instruments scientifiques



La maquette échelle $\frac{1}{4}$ de la sonde Mars Express est suspendue. Si la maquette était grandeur nature, environ 14 mètres séparent les deux extrémités des panneaux solaires !

Lancée en 2003, Mars Express est une sonde de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) placée en orbite autour de Mars. Il s'agit de la première mission de l'ESA à destination d'une autre planète du Système solaire que la Terre.

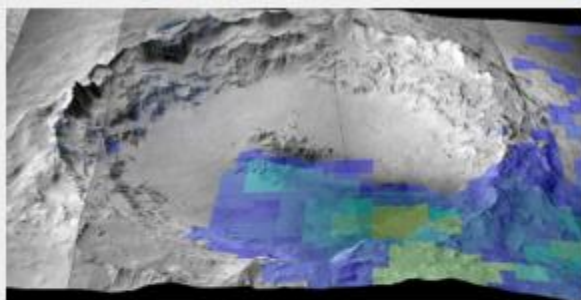
Les images récoltées permettent encore aujourd'hui de mieux comprendre l'histoire géologique de la planète rouge. Mars Express a identifié les principales réserves d'eau martienne dans des lieux que les rovers ne peuvent atteindre.

Un visuel « Qui est Mars Express ? » rappelle les objectifs de la mission, détaille les dates et chiffres clés et les instruments de mesure de la sonde. L'image de l'une de ses découvertes est présente : un cratère rempli de glace d'eau.

Quels sont les principaux résultats de Mars Express ?

Identification du cratère source de météorites (petits corps célestes atterrissant sur le sol terrestre) martiennes (publié dans Science le 14 mars 2014)

Une récente étude a permis d'identifier le cratère qui est certainement la source du plus grand échantillon de météorites martiennes. La région source de ces météorites est le cratère Mojave probablement formé il y a environ 3 millions d'années qui se situe proche de l'équateur de Mars. Les météorites ont terminé leur voyage sur Terre il y a quelques milliers d'années. La détermination précise de l'emplacement de ces roches



Cratère Mojave formé il y a quelques millions d'années et identifié comme étant la source du plus grand groupe de météorites martiennes (les shergottites). Les pixels colorés montrent la présence de minéraux mafiques (pyroxène et olivine) identifiés par OMEGA et CRISM, et qu'on trouve également dans les météorites martiennes à partir d'analyses en laboratoire.

martiennes permet de replacer notre connaissance et l'âge de celles-ci dans un contexte planétaire. Initialement estimé à moins de 600 millions d'années, leur âge est réévalué à plus de 4 milliards d'années. Ces nouvelles contraintes sur l'origine de ces météorites devraient permettre de mieux comprendre les informations qu'elles fournissent sur la composition de Mars et mieux préparer la sélection des futurs retours d'échantillons martiens, cette fois-ci robotisés.

L'abondance relative de l'eau liquide à la surface de Mars à travers les âges, ainsi que l'histoire de son climat, ont été déduites de l'analyse de roches (de nombreuses publications dans diverses revues scientifiques https://mars-express.cnes.fr/fr/MEX/Fr/publis_res_scie1.htm)

La découverte d'argiles et de la présence de sulfates hydratés permettent de réécrire l'histoire de l'évolution de la planète. Durant la période dite Phyllosienne (depuis la formation de Mars jusqu'à environ 4 milliards d'année) l'eau liquide est présente de façon stable et en abondance. Cette période s'interrompt par un changement climatique global, probablement lié à la perte du champ magnétique interne. S'en suit l'ère du Theiakien correspondant aux dépôts de sulfates. L'eau n'est présente qu'occasionnellement et sous forme très acide. Ensuite, les 3,5 milliards d'années qui suivent correspondent à une période anhydre (sans eau libre) où Mars doit avoir un climat similaire à ce que nous connaissons aujourd'hui.

La nature des calottes polaires a été identifiée (publié dans Nature le 8 avril 2004) :

Très tôt dans la mission, la cartographie et l'analyse de la calotte pérenne (en été) du pôle sud ont permis de comprendre sa nature. Celle-ci est constituée d'un important glacier d'eau de 2 à 3 km d'épaisseur, recouvert l'été d'une fine couche de glace carbonique de quelques mètres d'épaisseur seulement. Quantitativement, ce résultat signifie que la calotte polaire sud (mais c'est également valable pour la calotte nord) constitue un important réservoir d'eau et à l'inverse ne constitue pas un réservoir de CO₂.

Contenu supplémentaire

Une **page du site du CNES** dédiée aux résultats de la mission Mars Express :

https://mars-express.cnes.fr/fr/MEX/Fr/A_res_scie.htm

Activité supplémentaire

Dans le dossier « EXPLORATION » une **maquette papier de la sonde européenne Mars Express**.

LES VRAIES COULEURS DE MARS

Objectifs :

- Découvrir le processus de traitement des images produites par les rovers martiens
- Observer un panorama martien
- Comprendre d'où vient la couleur rouge de Mars

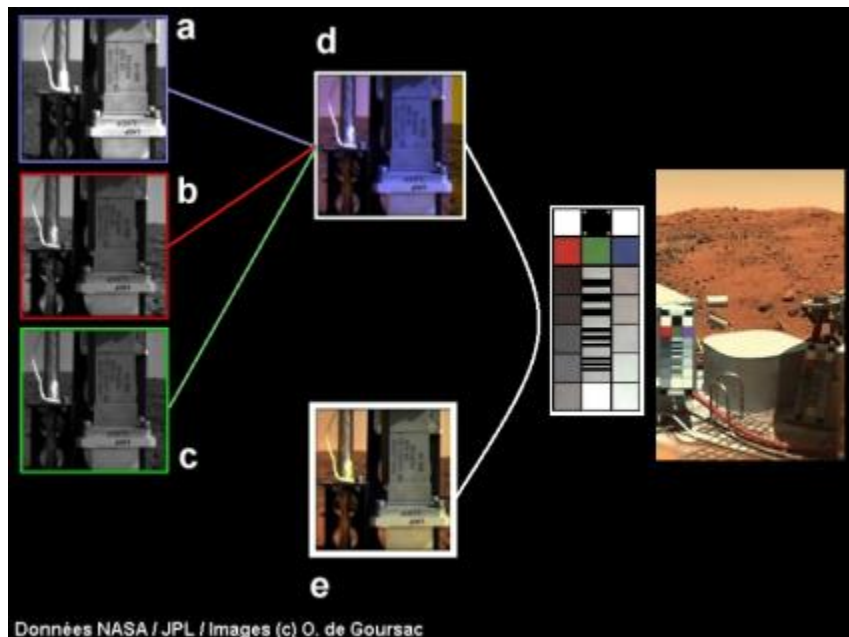


Une table interactive permet aux publics de retrouver les vraies couleurs de Mars et découvrir comment « voient » les rovers martiens. Le visiteur effectue les réglages en se mettant à la place du Rover !

Un visuel explique le fait que le sol et l'atmosphère de Mars soient rouges. De la poussière de « rouille » recouvre le sol et se trouve en suspension dans l'atmosphère martienne.

Quelle est la différence entre ce que l'on voit à l'image et ce que l'on verrait sur Mars ?

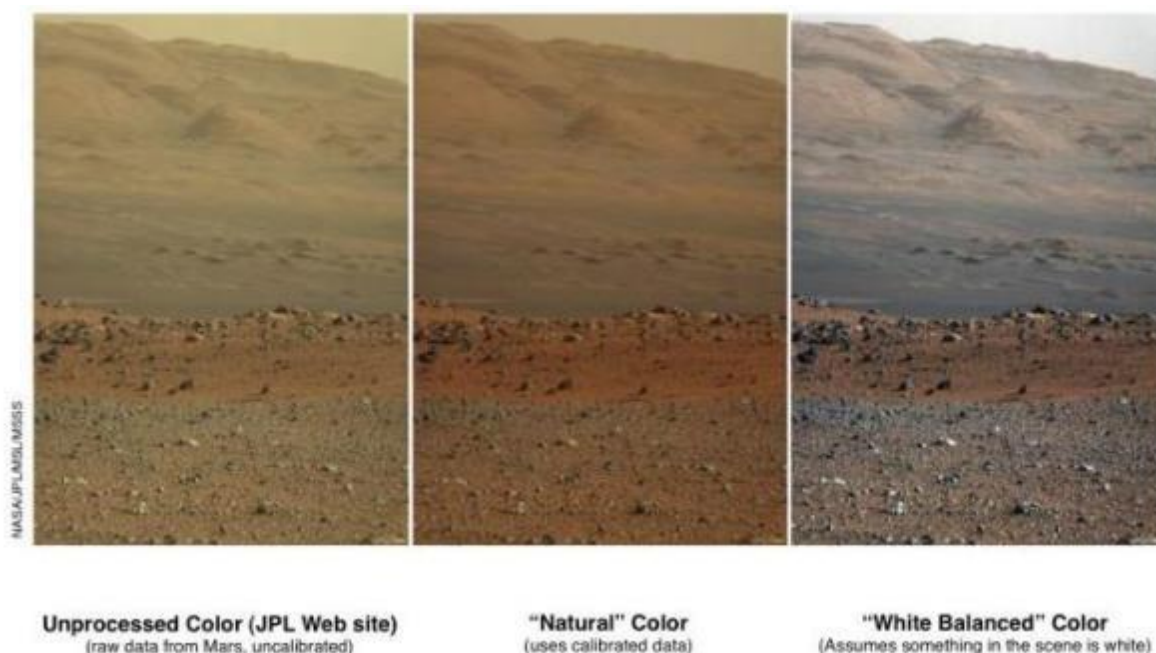
Avant qu'une image en couleur de Mars soit publiée, un traitement spécifique lui est appliqué. Trois clichés de la même vue sont pris par la caméra du rover, avec pour chacun d'entre eux, un filtre différent : rouge (a), vert (b) ou bleu (c). Ces trois images sont ensuite superposées pour donner une seule image en couleur (d). En effet, le rouge, le vert et le bleu suffisent à créer une image en couleur.



Des corrections de couleurs sont ensuite effectuées à partir de mires (grilles d'étalonnage) disposées sur le rover. La luminosité (clarté) et le contraste (différence entre la partie la plus claire et la plus foncée) sont aussi ajustés. Le but de ce traitement est de générer une image aux couleurs les plus

proches de l'environnement martien tel que nous le verrions si nous y étions (e). Il s'agit des « vrais » couleurs de Mars, bien qu'une part subjective et artistique intervienne.

D'autres photos peuvent être diffusées, avec un aspect beaucoup plus clair, comme si elles avaient été prises sur Terre dans de bonnes conditions d'ensoleillement. Ces images sont utiles dans l'étude des roches et du sol de Mars. En effet, les scientifiques ont l'habitude d'identifier des roches ou de caractériser des terrains en environnement terrestre. Une balance des blancs permet de créer cette atmosphère, la Terre bénéficiant de plus d'éclairage par le Soleil. Le ciel de Mars paraît être celui de la Terre.



Prise par Curiosity, l'image à gauche est issue de la superposition des trois filtres, sans autre traitement. Au centre, l'image a subi un étalonnage des couleurs, de la luminosité et du contraste, notamment grâce à des mires. Il s'agit des « vrais couleurs de Mars ». La photo de droite, après balance des blancs, montre l'environnement martien tel qu'il serait avec les mêmes conditions d'ensoleillement que sur Terre. En effet, Mars ne bénéficie que de 40% du flux solaire reçu à la surface de la Terre.

Contenu supplémentaire

Dans le dossier « EXPLORATION » un **article de Futura Sciences écrit par Olivier de Goursac sur les couleurs de Mars.**

Atelier/animations

Labo Mars

Objectifs :

- Découvrir l'environnement martien en participant à des démonstrations
- Interagir avec un médiateur scientifique pour en connaître plus sur Mars



L'animation fait pleinement partie de l'exposition ! Les publics interagissent et découvrent en s'amusant, tout l'environnement de la planète Mars.

Au travers du « Labo Mars », les visiteurs participent à des démonstrations sur l'environnement martien, animées par un médiateur scientifique. Des expériences originales et surprenantes sont proposées sur l'atmosphère martienne, le sol, le brouillard, la glace etc.

Pour aller plus loin

Jeunesse



Le site ESA Kids propose un dossier sur Mars

http://www.esa.int/esaKIDSfr/SEMFUWWJD1E_OurUniverse_0.html



Dans le dossier « EN PLUS » le livret EXPLORE MARS pour tout comprendre en s'amusant !

Tout public



Le site interactif Planet Four pour observer la surface de Mars

http://www.planetfour.org/?utm_source=Zooniverse%20Home&utm_medium=Web&utm_campaign=Homepage%20Catalogue



Enjoy Space, le site d'actualité spatiale de la Cité de l'espace

<http://www.enjoyspace.com/>



Le site du CNES qui aborde l'exploration de Mars

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/520-lexploration-de-mars.php>

Public averti



Le site de la NASA dédié à l'exploration de la planète Mars

<http://mars.nasa.gov/>



Dans le dossier « EN PLUS » un document du CEA explique comment le rover Curiosity analyse des roches à distance.



Dans le dossier « EN PLUS » un questionnaire sur l'exploration de Mars avec le rover Curiosity.