

## Spirit & Opportunity :

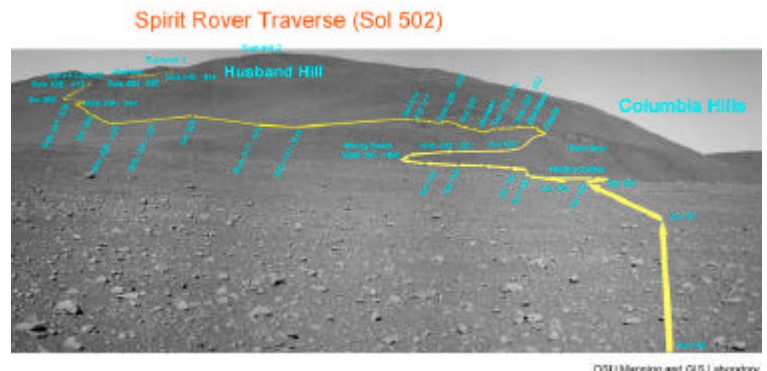
### « Trouver des preuves d'eau liquide »

#### Pourquoi deux robots géologues ont déambulé sur Mars pendant plus de 4 ans ?

Pour la NASA, le principal objectif de l'exploration était, et est toujours, de déterminer si la Vie a pu émerger sur Mars. La vie

telle que nous la connaissons exige de l'eau et les missions qui ont précédé les rovers Spirit et Opportunity nous avaient plutôt montré une planète désertique ! Pour en être sûr et également pour sonder le passé de Mars, des rovers géologues permettraient de dire si les sols et les roches ont subi des transformations dues à l'eau. Si c'est le cas, des hypothèses précises seront faites pour l'éventuelle émergence de la vie au cours de son histoire de la planète.

Ayons à l'esprit les objectifs généraux d'exploration de Mars pour la NASA afin de comprendre quelle est la contribution particulière attendue avec les rovers géologues Spirit et Opportunity.



Objectifs généraux de la NASA pour l'exploration de Mars (pas seulement avec les rovers)	Objectifs scientifiques assignés spécifiquement aux rovers Spirit et Opportunity	
1. Y a-t-il eu de la Vie sur Mars ? 2. Décrire le climat de Mars et son histoire 3. Décrire la géologie de Mars 4. Préparer l'exploration humaine	1	Recenser et caractériser des sols et roches variés présentant des indices de l'activité passée de l'eau
	2	Déterminer la distribution et la composition des minéraux, roches et sols des sites environnants
	3	Déterminer les processus géologiques ayant façonné le terrain et influencé la chimie
	4	Réaliser des mesures sur le terrain pour calibrer les instruments d'observation en orbite
	5	Identifier et quantifier les proportions de minéraux, notamment ferreux, caractérisant la présence d'eau
	6	Déterminer les processus de formation des roches et sols à partir de leur minéralogie et leurs textures
	7	Chercher des indices géologiques des environnements de l'époque où l'eau était présente et établir des hypothèses sur la capacité de ces environnements à faire émerger de la vie.

Le premier objectif de la NASA n'est pas spécifique aux rovers Spirit et Opportunity, mais les rovers sont une étape majeure d'exploration. La question de la vie sur Mars est si complexe qu'il faut procéder par étapes : ainsi en 2003, il est décidé d'envoyer des rovers géologues plutôt que de tenter une détection directe de traces de vie passée. En effet, quelles traces de vie aurait-il fallu chercher ? Sous quelle forme (avec quelles technologies d'analyse) et à quel endroit ? Autre arbitrage : les rovers se limiteront à des analyses en surface, ils n'auront donc pas d'outil pour creuser (comme sur Phoenix) mais par contre ils pourront se déplacer pour atteindre des zones variées.

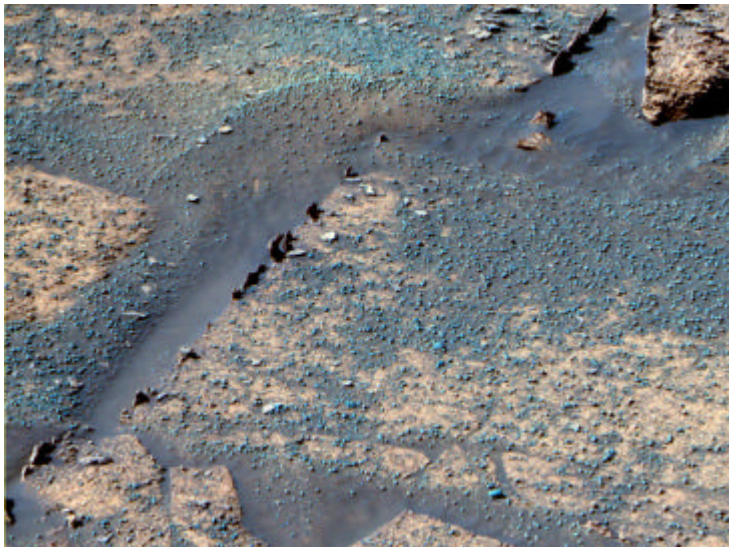
Deuxième objectif général de la NASA : Décrire le climat sur Mars et son histoire. Par exemple la planète entière se voile périodiquement et entièrement de poussière. Alors comment fonctionnent les saisons, les calottes polaires de glace carbonique et les échanges de vapeur d'eau, tout au long de l'année martienne qui fait 687 jours ? De plus, le climat a-t-il été semblable à celui de la Terre dans un passé lointain, et qu'est-ce qui l'a fait évoluer en un climat désertique et polaire tel que nous le voyons maintenant ?

Troisième objectif général : Décrire la géologie de Mars. Les rovers ont pour mission de rechercher des traces de l'action de l'eau sur des minéraux, avec une préférence pour ceux contenant du fer mais aussi ceux contenant des argiles, des carbonates ou des sels. Tous ces indices, avec l'âge des roches étudiées, éclaireront sur le rôle respectif des vents, de l'eau, des volcans et de la tectonique de Mars et donc autant sur l'intérieur de Mars (noyau, magma) que sur sa surface au cours du temps. De plus, les rovers contribuent à la calibration des satellites : le rover peut analyser sur le terrain certaines détections depuis l'orbite, ce qui permet de généraliser les résultats à toutes les détections analogues faites par les satellites depuis l'orbite !

Ce troisième objectif a plus particulièrement déterminé les équipements scientifiques : les rovers emportent des instruments que tout géologue rêverait de pouvoir utiliser sur le terrain.

Quatrième objectif général : Préparer l'exploration humaine. La priorité sera d'assurer le séjour en toute sécurité à la surface de Mars. Le problème des rayonnements UV est bien connu et toutes les missions martiennes rapportent des mesures, y compris les rovers. De plus, les rovers analysent si les sols peuvent servir à produire des carburants et de l'eau, si leur forage est possible et quels véhicules seront les mieux adaptés pour se déplacer

à la surface. Enfin, l'expérience accumulée servira à adoucir les phases d'entrée dans l'atmosphère et de contact avec le sol car un astronaute n'encaissera sûrement pas autant de « g » qu'un robot !



Quels sont les résultats obtenus avec ces rovers sur Mars ?

En 2008 il est désormais admis que l'eau a coulé abondamment et longtemps sur Mars. Mais n'oublions pas qu'en 2003 rien n'était aussi clair et que ces « certitudes » d'aujourd'hui viennent beaucoup du succès phénoménal des missions Spirit et Opportunity !

Objectifs généraux		Quelques contributions emblématiques de Spirit et Opportunity	
N°1	Y a-t-il eu de la Vie sur Mars ? → <i>en tout cas, il y a eu de l'eau liquide, beaucoup et longtemps</i>	Opportunity	« <u>blueberries</u> » ou myrtilles : petites billes d'hématite, minéral ferreux oxydé par une longue présence d'eau (du moins sur Terre). Mais aussi : roches et sédiments sculptés par différents niveaux d'eau et par des écoulements, perles de roche formées par des sédiments humides...  <u>Jarosite</u> : ce minéral composé de fer et de sulfure, ne se forme qu'en présence d'eau acide, milieu compatible avec certains microbes sur Terre (par exemple à <a href="#">Rio Tinto</a> <sup>1</sup> en Espagne)
		Spirit	<u>Silice pure</u> : elle pourrait traduire l'existence passée d'une niche « habitable » si elle résulte de sources chaudes ou de fumerolles qui sont associées sur Terre à de la vie microbienne.
N°2	Décrire le climat de Mars et son histoire → <i>Diabes et dunes, givre, cirrus et températures mesurés d'en bas</i>	Opportunity et Spirit	<u>Relevé de températures de la couche atmosphérique</u> : impossibles à réaliser depuis l'orbite, des mesures tout au long de l'année ont été faites depuis le sol. <u>Spectroscopie de l'atmosphère</u> : densité et composition de la poussière et de la glace d'eau, mesure de l'obscurcissement solaire tout au long de l'année

Objectifs généraux		Quelques contributions emblématiques de Spirit et Opportunity	
		Opportunity	<u>Nuages de vapeur d'eau</u> : cirrus de haute altitude, vus en début d'hiver  <u>Formation d'une couche de givre</u> : observée par la caméra sur les propres instruments du rover
		Spirit	<u>Diabes de poussière</u> : nombreuses observations de « dust devils » qui apparaissent au printemps et en été aux heures les plus « chaudes » (ou plutôt les moins froides)
N°3	Décrire la géologie de Mars → <i>mesures sur le terrain utilisées par les laboratoires</i>	Opportunity et Spirit	<u>Résumé de l'histoire</u> : Planète riche en sulfates et modelée par des impacts de météorites et des éruptions volcaniques massives. Du sable a été réparti par les vents sur toute la surface et de l'eau a coulé et même imbibé le sol en abondance (hématite, jarosite, goethite). Certaines des conditions nécessaires à la vie ont été présentes.
N°4	Préparer l'exploration humaine → <i>ajustement des spécifications des futures missions</i>	Opportunity et Spirit	<u>Futurs véhicules et combinaisons</u> : manœuvres et mesures pour prévoir les futurs équipements, retour d'expérience irremplaçable sur la manœuvrabilité et sur les équipements à prévoir (combinaisons d'astronautes)  <u>Production de ressources sur place</u> : la connaissance de la nature et du contenu des sols alimente les études de faisabilité. Il y a de l'eau, alors peut-on y accéder et l'exploiter ?

Mais les résultats ne s'arrêtent pas à ces quelques découvertes qui ont parfois fait la une des journaux grand public. En effet, la moisson de résultats a été beaucoup plus importante qu'espérée car les rovers ont fonctionné plusieurs années au lieu des quelques semaines exigées lors des études de définition. Beaucoup de résultats font donc encore l'objet d'analyses par la communauté scientifique et n'ont pas toujours conduit à des articles de vulgarisation.

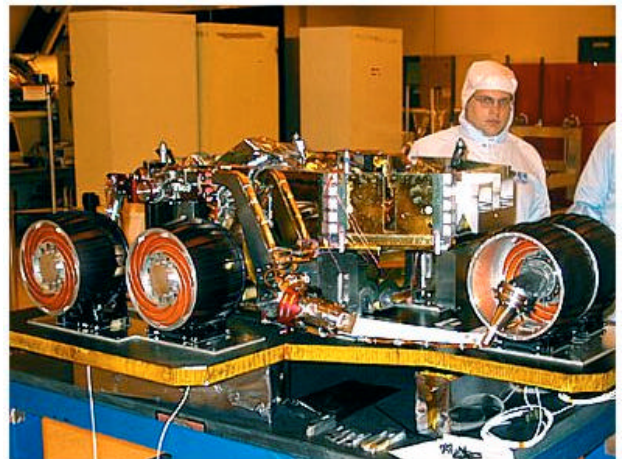
De plus, comme à chaque exploration spatiale, des niveaux technologiques considérables ont été franchis : nature et précision des instruments, miniaturisation et longévité en environnements extrêmes, autonomie des robots et ingénierie logicielle, télécommunications, matériaux... autant de progrès aux multiples retombées industrielles !

Concernant les résultats scientifiques eux-mêmes, la NASA publie périodiquement une liste des « papiers » produits grâce aux missions des rovers. Pour avoir un aperçu du foisonnement des résultats, on pourra parcourir cette liste dont certaines publications sont accessibles sur le Web :

- Catalogue des publications : [ici](#)<sup>2</sup>
- Exemple en Géologie (en attendant un futur papier sur le scénario géologique global?) : [Synthèse](#)<sup>3</sup> sur la géologie du site de Gusev, site d'arrivée du rover Spirit
- ... puis exploitation en 2006 vers d'autres domaines des sciences : chapitre « Two years of Mars Exploration Rover Science » dans ce [rapport](#)<sup>4</sup> ARES (autour du thème des météorites)
- Autour de l'atmosphère martienne, exemple [d'analyse](#)<sup>5</sup> des propriétés des « Dust devils » →
- Exemple pour préparer les futures missions : un [bilan](#)<sup>6</sup> sur l'autonomie robotique des rovers, et bien d'autres [analyses](#)<sup>7</sup> pour de futures missions

Enfin gardons à l'esprit que les rovers Spirit et Opportunity ne sont que des étapes : l'exploration continue et s'appuie sur l'expérience acquise par ces missions. Les résultats obtenus préparent l'avenir de l'exploration de Mars :

- Avec les sondes déjà en orbite MGS, Mars Odyssey (de la NASA) et Mars Express (de l'ESA)



- pour les missions arrivées sur Mars depuis Spirit et Opportunity, à savoir la sonde MRO (en orbite depuis 2006) avec une capacité d'imagerie décuplée, et l'atterrisseur PHOENIX arrivé en Mai 2008 qui poursuit directement le travail des rovers en approfondissant la question du cycle de l'eau sur Mars
- et pour les futures missions : MSL (2010) nouveau rover de la NASA ciblé sur la vie microbologique, ExoMars (2014) rover européen de l'ESA spécialisé en exobiologie
- et même plus loin « Beyond 2009 » (Scout missions, MSR... missions non encore décidées)

## Des objectifs aux résultats : l'aventure humaine et technologique

La conception des rovers découle directement des 7 objectifs scientifiques ci-dessus qui, eux-mêmes, déclinent de manière concrète pour Spirit et Opportunity les 4 grands objectifs généraux. Par exemple quelles capacités de mouvement sont nécessaires ? Progressivement le profil complet de la mission est déterminé, depuis le départ de la Terre jusqu'à la diffusion des résultats au sein de la communauté scientifique, en passant par la phase critique d'arrivée sur les sites retenus.

Tout commence donc par le choix des instruments scientifiques, ceux chargés de conduire sur place les analyses proprement dites : c'est la boîte à outils du robot géologue. Ils sont présentés en détail et en images [ici](#)<sup>8</sup>.

Voici récapitulés les « équipements scientifiques » :

- « Pancam » : l'instrument le plus célèbre car il nous fournit les images, en haute définition, en couleur (visible, infrarouge et ultraviolet) et en relief. Il peut recevoir différents filtres pour caractériser des minéraux particuliers ou observer le soleil à travers l'atmosphère martienne. Les images servent à repérer si l'eau a pu modeler les paysages, ou à cartographier la zone et à repérer des sols et des roches intéressants. Pour les connaisseurs en photo, c'est un 43 mm (vision humaine) avec une netteté de 1,5m à l'infini et une résolution de 4000 pixels en vertical sur 24000 pixels pour un panoramique complet de 360° (pour comparer avec un 24x36 numérique, ça donnerait 4000x6000 pixels soit 24Mpix !).
- « MI » : Microscope photographique capable d'observer la taille et la forme des grains dans les sédiments rocheux, et donc l'effet éventuel de l'eau. Placé au bout du bras robotique, il fournit des photos de 1Mpix (1024x1024) correspondant à des détails inférieurs au millimètre.
- « Mini-TES » : Spectromètre d'émission thermique. Il relève une « signature infrarouge », grâce à la manière dont la chaleur est émise par les objets observés. Par exemple selon qu'un terrain est fait de sable ou de roche, sa chaleur (lumière infrarouge) accumulée le jour puis réémise la nuit apparaîtra différemment. Le mini-TES peut ainsi révéler la présence de certains minéraux dont la signature infrarouge est caractéristique d'une présence passée de l'eau. Le rover sera alors guidé jusqu'au contact avec ces terrains. Et si le mini-TES regarde vers l'atmosphère, il peut faire des mesures sur la température, la présence de vapeur d'eau et la densité de poussière.
- « MB » : Spectromètre de Mössbauer. Il est chargé de détecter la composition et l'abondance des minéraux ferreux sur une roche ou un sol, ainsi que certaines propriétés magnétiques. La mesure prend 12 heures et se fait « au contact », par application de l'extrémité du bras du rover contre la surface à mesurer.
- « APXS » : Spectromètre d'analyse de la chimie élémentaire d'une roche ou d'un sol par l'utilisation de particules alpha et de rayons X. Le profil d'énergie réfléchi par le matériau traduit la nature et la quantité des atomes qui composent le matériau, ce qui renseigne sur la formation de la croûte planétaire et sur les climats qui se sont succédés. La mesure prend une dizaine d'heures et se fait également « au contact ».
- « RAT » : c'est une meuleuse de la taille d'une cannette aluminium ! Montée sur le bras robotique, elle peut abraser une roche sur 4.5 cm de diamètre. Les instruments peuvent alors accéder à l'intérieur de la roche, là où l'atmosphère n'a pas influencé le matériau. Par comparaison avec les mesures de surface, les mesures en profondeur renseignent sur la transformation récente (à l'échelle géologique) de la roche sous l'effet de son environnement (atmosphère, eau...)



- Trois jeux d'aimants sont aussi répartis sur le rover et collectent la poussière si celle-ci est chargée de particules magnétiques ou ferreuses. Un premier jeu est situé au-dessus du rover, le dépôt collecté est visible grâce à la Pancam. Un deuxième jeu est sur une face plutôt verticale de sorte que les particules non-magnétiques tombent, le dépôt est analysable avec les spectromètres MB et APXS. Il faut tout de même compter 15 à 30 « sols » (jours martiens) pour disposer d'une couche suffisante à analyser dans une même zone. Le troisième jeu est placé sur la meuleuse RAT pour collecter les poussières issues de l'abrasion d'une roche. Toutes ces collectes apportent des indices complémentaires sur la minéralogie et l'histoire géologique de Mars.



Ainsi conçus comme des laboratoires miniaturisés interplanétaires, les rovers ont alors été dotés de tous les équipements pour utiliser les instruments scientifiques dans l'environnement extrême de Mars : numérisation des mesures et transmission vers la Terre, réception des nouveaux ordres d'analyses ou de mouvement, fonctions mécaniques et logicielles pour déplacer le rover ou positionner son bras robotique, sans oublier les panneaux solaires ! Il a fallu ensuite assembler tous ces éléments et les faire tenir dans un atterrisseur amorti par « airbags » :

- Assemblages : [ici](#)<sup>9</sup>
- Essais des airbags : [ici](#)<sup>10</sup>

La conception de la sonde étant prête, chacun des deux exemplaires Spirit et Opportunity a été lancé par une fusée américaine Delta 2 à quelques jours d'intervalle et avec encore quelques inquiétudes, pour un voyage de 6 à 7 mois et une arrivée en Janvier 2004. L'histoire du lancement avec tous ses préparatifs est racontée [ici](#)<sup>11</sup>.



Quant à l'atterrissage, les sites pour Spirit et Opportunity avaient été choisis de part et d'autre de la planète. Spirit se posera ainsi dans le cratère Gusev : il semblait avoir été le déversoir d'un ancien fleuve. Opportunity se posera à Meridiani Planum qui présente une forte concentration d'un minéral intéressant.

- Choix des sites [d'atterrissage](#)<sup>12</sup>
- Atterrissage et premiers tours de roue : [ici](#)<sup>13</sup>
- [Résultats au quotidiens](#)<sup>14</sup> des équipes du JPL/NASA qui organisent le travail de chaque journée et résolvent les petits et grands problèmes des rovers explorateurs

Et même après 4 ans l'exploration continue ! Voici les rapports presque journaliers (en anglais) des équipes JPL/NASA chargées de l'exploration par Spirit et Opportunity :

- Rapports : [ici](#)<sup>15</sup>
- Et le « [journal officiel](#) »<sup>16</sup> des mesures réalisées par les rovers et rendues disponibles :

© Texte :

Boris SEGRET ( [bo.mars@free.fr](mailto:bo.mars@free.fr) ) pour Association Planète Mars

Utilisation libre, merci d'en notifier l'auteur. Commentaires et questions sont bienvenus en particulier si vous souhaitez voir abordé ou approfondi un aspect particulier, ou pour signaler une erreur.



<sup>1</sup> URL : , <http://marsrover.nasa.gov/science/images/Roll4025.jpg>

<sup>2</sup> URL : [http://marsrovers.jpl.nasa.gov/science/pdf/web\\_publist.pdf](http://marsrovers.jpl.nasa.gov/science/pdf/web_publist.pdf)

- 
- <sup>3</sup> URL : [www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2006/pdf/1424.pdf](http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2006/pdf/1424.pdf)
- <sup>4</sup> URL : <http://ares.jsc.nasa.gov/Organization/AnnualReport2006.pdf>
- <sup>5</sup> URL : <http://academy.grc.nasa.gov/media/2008/07/2007/research-projects/final-paper-arvanites-rebecca.pdf>
- <sup>6</sup> URL : [http://www-robotics.jpl.nasa.gov/publications/Mark\\_Maimone/mer\\_autonomy\\_icra\\_2007.pdf](http://www-robotics.jpl.nasa.gov/publications/Mark_Maimone/mer_autonomy_icra_2007.pdf)
- <sup>7</sup> URL : <http://www-robotics.jpl.nasa.gov/projects/projectPublications.cfm?Project=1>
- <sup>8</sup> URL : [http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/p\\_presentation.html](http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/p_presentation.html)
- <sup>9</sup> URL : <http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/construction/protos.html>
- <sup>10</sup> URL : <http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/construction/airbags.html>
- <sup>11</sup> URL : [http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/lancement/lancement\\_mer2.html](http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/lancement/lancement_mer2.html)
- <sup>12</sup> URL : [http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/choix\\_sites\\_att.html](http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/choix_sites_att.html)
- <sup>13</sup> URL : [http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/atterrissage/att\\_spirit.html](http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/atterrissage/att_spirit.html)
- <sup>14</sup> URL : [http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/p\\_presentation.html](http://www.planete-mars.com/missions2003/mer/p_presentation.html)
- <sup>15</sup> URL : <http://marsrover.nasa.gov/mission/status.html>
- <sup>16</sup> URL : <http://anserver1.eprsl.wustl.edu/>