

Le programme des séances d'exploration de l'univers spatial est engagé par l'Observatoire de l'Espace, le laboratoire culturel du CNES dans la perspective d'ouvrir de nouveaux champs d'inspiration ou de nourrir ceux abordés par les auteurs et artistes qui gravitent autour de l'Observatoire de l'Espace, et plus particulièrement les résidents du programme Création et imaginaire spatial. La sixième séance clôt le cycle des « formes et nécessités » des véhicules spatiaux. Après les ballons, les satellites et véhicules interplanétaires, cette séance a été consacrée aux robots, rovers et atterrisseurs planétaires, qui permettent l'exploration de corps célestes de notre Système Solaire. Comment sont déterminées leurs formes et leurs caractéristiques techniques ? En fonction de quelles contraintes de fabrication et de mise en œuvre, de quels objectifs scientifiques et technologiques ?

## Séances d'exploration de l'univers spatial

### Séance n°6 : Formes et nécessités des robots, rovers et atterrisseurs planétaires

Observatoire de l'Espace, laboratoire  
culturel du CNES

## Séances d'exploration de l'univers spatial

Dans la perspective d'ouvrir de nouveaux champs d'inspiration ou de nourrir ceux abordés par les auteurs et artistes qui gravitent autour de l'Observatoire de l'Espace, et plus particulièrement les résidents du programme Création et imaginaire spatial, l'Observatoire de l'Espace, le laboratoire culturel du CNES, a ouvert un programme triennal de séances d'exploration de l'univers spatial.

Chaque séance d'exploration aborde une notion qui revient régulièrement dans les projets d'artistes et d'écrivains du programme, afin de donner accès à un large savoir sur le thème évoqué. Témoignages d'acteurs du monde spatial, exposés de chercheurs en sciences exactes ou en sciences humaines, présentation de documents d'archives documentaires ou audiovisuelles composent le programme de chaque séance. Un temps d'échanges et de discussion est également réservé à la fin de chaque séance entre les participants et avec les intervenants.

Le premier cycle de séances d'exploration a été consacré à ce que l'Espace fait à l'homme en s'intéressant aussi bien aux effets sur le corps que sur l'esprit et aux moyens d'habiter cet espace.

Le deuxième cycle a traité des formes et nécessités des véhicules spatiaux. La sixième séance clôt cette thématique. Après les ballons, les satellites et véhicules interplanétaires, ce sont les robots, rovers et atterrisseurs planétaires qui permettent l'exploration de corps célestes de notre Système Solaire qui sont interrogés. Comment sont déterminées leurs formes et leurs caractéristiques techniques ? En fonction de quelles contraintes de fabrication et de mise en œuvre, de quels objectifs scientifiques et technologiques ?

Lionel d'Uston, planétologue ayant participé aux missions d'exploration de la surface martienne et Jean-Pierre Lebreton, planétologue qui a été responsable scientifique et technique de la mission Huygens pour l'exploration de la surface de Titan, ont proposé quelques éléments de réponse à ces questions.

Leurs interventions ont été introduites par des extraits d'archives et commentées par Emmanuel Grimaud, anthropologue chargé de recherche au CNRS, afin de mettre en perspective ce qui avait été énoncé et d'ouvrir le dialogue avec la salle.

Michel Viso, du Centre national d'études spatiales (CNES), a animé cette séance.

# Programme

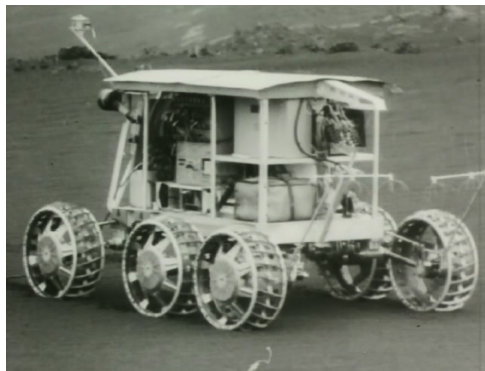
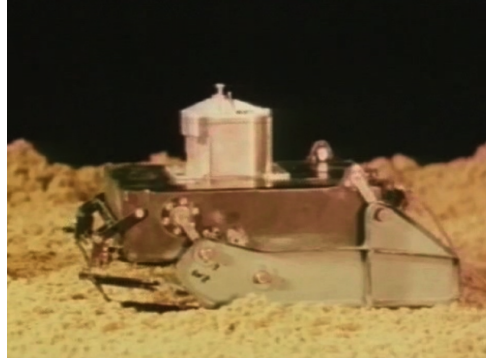
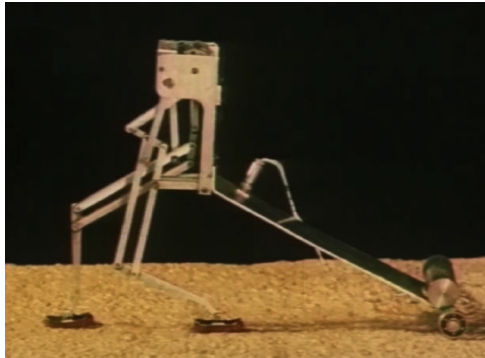
La séance s'est construite autour de deux moments :

- **Formes et nécessités des rovers** : Lionel d'Uston, planétologue, a évoqué les contraintes liées à la conception de rovers pour explorer une surface planétaire ou comment les formes évoluent en fonction des technologies et des objectifs. Il a contribué directement à plusieurs missions d'exploration *in situ* à la surface de Mars, en particulier *Spirit* et *Opportunity* ainsi que *Curiosity*. Il est actuellement impliqué dans la mise en œuvre de l'instrument CHEMCAM du rover *Curiosity*, en opération depuis août 2012.
- **Formes et nécessités des atterrisseurs** : Jean-Pierre Lebreton est planétologue. Dans le cadre de ses diverses responsabilités sur *Cassini-Huygens*, il a suivi depuis le début les différentes études de la sonde de Titan, Huygens, puis sa mise en œuvre. Cet engin était avant tout conçu comme une sonde capable de résister à l'entrée dans la haute atmosphère de Titan, puis de descente sous parachute. Comme la surface de Titan était alors complètement inconnue – il était impossible de déterminer si elle était solide ou liquide –, *Huygens* n'était pas conçue comme étant un atterrisseur. Mais sa survie pendant plusieurs heures après son arrivée dans le lit d'un lac asséché fut une très belle surprise. *Huygens* fut le premier engin conçu par les Européens à réussir l'atterrissage le plus lointain dans le système solaire jamais réalisé et le seul engin fabriqué par l'homme à se poser à la surface d'un satellite naturel du système solaire autre que la Lune.

# Interventions de Lionel d'Uston et Jean-Pierre Lebreton

## 1. Les astromobiles

### Archive



L'intervention a été précédée d'extraits d'archives vidéo du programme spatial soviétique. Il s'agit d'essais de différents rovers, certains réalisés d'autres restant à l'état de projet. Ils nous interpellent sur les difficultés rencontrées pour mettre au point un véhicule autonome pouvant franchir de nombreux obstacles sur le terrain. Les formes sont aussi diverses et variées que les possibilités de franchir ces obstacles.

## Intervention de Lionel d'Uston : formes et nécessités des rovers

### Catalogue des engins

Lionel d'Uston proposait à travers sa présentation d'établir un catalogue, ou au moins un inventaire, des engins qui se sont posés sur des objets solides du système solaire pour les explorer. Ces engins répondent à un besoin et un intérêt scientifique pour l'étude de la surface d'objets planétaires qui permet de voir la vie géologique de ces objets et donc leur formation. Cette exploration dévoile une page de la mémoire de l'histoire géologique de cet objet et par extension du système solaire. *In fine*, il s'agit d'étudier l'étendue du domaine possible pour la vie.

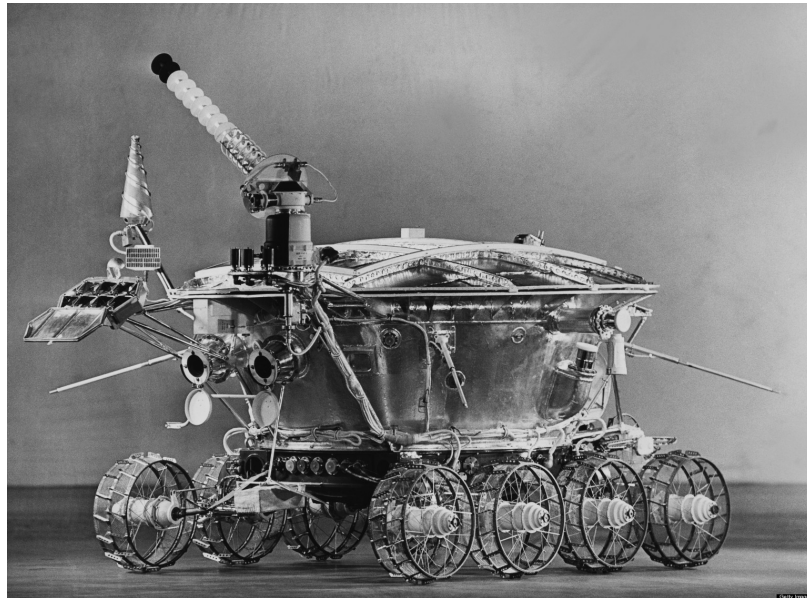
L'exploration planétaire s'est constituée par étapes d'observation, du plus loin au plus près : le télescope sur Terre, le survol de la planète par des sondes et la prise de photographies, les cartes et l'imagerie (infrarouge etc.) réalisées par des orbiteurs et enfin l'atterrisseur qui effectue la cartographie de la surface. L'avantage de l'orbiteur dans ce dispositif est qu'il permet des observations dans la durée et éventuellement la découverte de changements.

L'astromobile, ou rover, est un géologue, son objectif ultime est de ramener des échantillons pour les analyser avec les outils disponibles dans les laboratoires, mais



outre arpenter la surface pour la cartographier, il prélève également des échantillons qu'il analyse sur place.

La saga des astromobiles commence avec les engins mobiles conçus pour la Lune, d'abord par les soviétiques avec *Lunokhod 1* (cartes et trajets) puis 2 qui, après avoir été perdu en 1973, a été retrouvé par la sonde américaine *Lunar Reconnaissance Orbiter* en 2010. Il parcourut un total de 42 km en 4 mois et prit plus de 80 000 photographies en plus de la réalisation d'expériences scientifiques.



*Lunokhod 1 en configuration nuit*



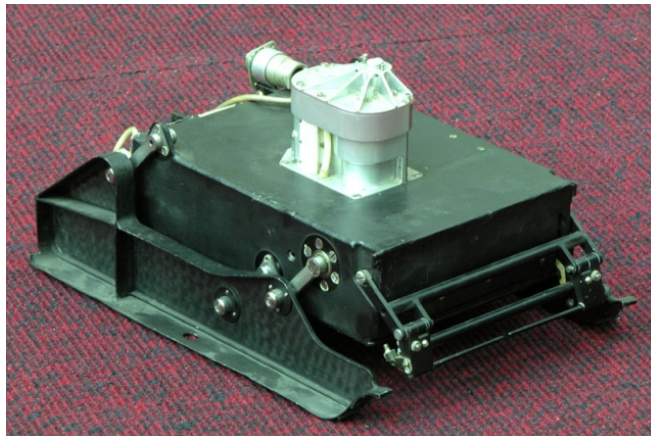
*Lunokhod 2 en configuration jour*

Ces deux images montrent la particularité des engins Lunokhod répondant à la contrainte des variations de températures entre jour et nuit lunaire. L'astromobile est doté d'un couvercle, à l'intérieur se trouvent les panneaux solaires qui peuvent se charger lorsque le couvercle est ouvert. Quand la température baisse, le couvercle se referme, préservant la chaleur emmagasinée, la perte étant encore réduite par une chaufferette en plutonium. Le véhicule dispose également de 8 roues pour passer les

obstacles du sol lunaire et d'un intérieur pressurisé pour permettre le bon fonctionnement de l'électronique.

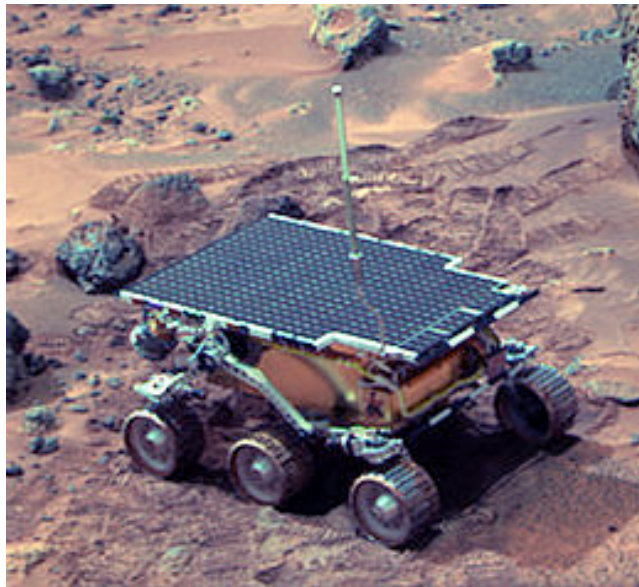
### Les rovers martiens

Le premier rover martien est *Prop-M* de la mission soviétique *Mars 3*, il pesait 4,5kg et se propulsait sur des skis. Son énergie était fournie par un câble le reliant à l'atterrisseur et il. Il disposait d'une certaine autonomie dans le choix de sa direction. Lancée avec succès le 28 mai 1971, l'atterrisseur effectue sa descente vers la surface martienne le 2 décembre de la même année. Après l'atterrissage, il transmet un signal durant une vingtaine de secondes puis le signal est définitivement perdu. La raison de ce silence radio reste inexpliquée. L'atterrisseur devait ensuite placer le petit automobile sur la surface martienne à l'aide d'un bras manipulateur. Il était conçu pour parcourir environ 15 m en effectuant des mesures du sol tous les 1,5 m, les traces laissées par le déplacement de l'automobile sur le sol devaient être photographiées pour être analysées.



Le rover *Prop-M*

Le premier réel succès d'un rover martien date de 1997 avec la mission de la Nasa *Mars Pathfinder*. Le rover *Sojourner* pèse 11,5 kg et a 6 petites roues, il est alimenté par des panneaux solaires qui lui permettent de se déplacer jusqu'à 500 mètres de l'atterrisseur, à une vitesse de 1 cm/s et mesure 65 cm de long, 48 de large et 30 de haut. Son objectif était de permettre au contrôle sol d'apprendre à piloter à distance et d'estimer la composition chimique des roches martiennes – en cela il avait été précédé par la station fixe au sol *Viking* en 1996. En effet, téléguidé par la terre depuis l'atterrisseur (qui lui sert donc de relais), *Sojourner* a la capacité, grâce à un système de rayon laser, de se déplacer de manière autonome dès lors qu'il s'agit de stopper devant un obstacle ou de le contourner. Cette relative autonomie est censée permettre à l'équipe au sol d'analyser plus de roches que ne lui permettrait un rover intégralement télécommandé.



**Le rover Sojourner**

À la suite de ces succès, la Nasa a tenté de développer de plus gros robots en subissant quatre échecs successifs. Ces programmes coûtent très cher, 15 millions de dollars par jour, il faut donc les rentabiliser, notamment dans la durée, en faisant durer la mission au moins trois mois. Les recherches finissent par aboutir en 2003 à la mission *Mars Exploration Rover* (MER) qui comporte deux rovers *Spirit* et *Opportunity*. Qualifiés de robots géologues, ils ont pour objectif d'étudier la géologie de la planète Mars et en particulier le rôle joué par l'eau dans l'histoire de la planète. Les deux robots ont été lancés au début de l'été 2003 et se sont posés en janvier 2004 sur deux sites martiens susceptibles d'avoir conservé des traces de l'action de l'eau dans leur sol. Chaque rover ou astromobile, piloté par un opérateur depuis la Terre, a alors entamé un périple en utilisant une batterie d'instruments embarqués pour analyser les roches les plus intéressantes. Chaque rover pèse environ 185 kg et se déplace sur six roues mues par l'énergie électrique fournie par des panneaux solaires. Il est équipé de trois paires de caméras utilisées pour la navigation et de plusieurs instruments scientifiques : une caméra panoramique située sur un mât à 1,5 mètre de hauteur, un outil pour abraser la surface des roches porté par un bras articulé sur lequel se trouvent également un spectromètre à rayons X, un spectromètre Mössbauer et une caméra microscope. Enfin, un spectromètre infrarouge est utilisé pour l'analyse des roches et de l'atmosphère. Les rovers possèdent six caméras dites techniques réunies par paires pour voir en relief qui permettent de voir ce qu'il y a devant les roues pour le pilotage. L'outil d'abrasion des roches pose un problème car la poussière qu'il crée vient se déposer sur les panneaux solaires et les cacher. Les ingénieurs du programme pensaient donc que *Spirit* et *Opportunity* ne supporteraient pas le froid de l'hiver martien et qu'ils s'arrêteraient. Cependant, les tourbillons de vent fréquents sur Mars ont nettoyé la poussière des panneaux solaires ce qui a permis d'ordonner aux rovers de se mettre en hibernation sur une pente au soleil avec une activité très réduite. Les deux véhicules ont ainsi largement dépassé leurs objectifs : parcourir 600 mètres et rester opérationnel durant 90 jours martiens.

*Spirit*, a passé deux hivers mais est tombé dans des sables mouvants lors du 3<sup>ème</sup> hiver, il a pu parcourir 7,7 kilomètres et a transmis ses dernières données scientifiques le 22 mars 2010. *Spirit* a exploré des reliefs formés en milieu aqueux et a révélé une

surprise : lorsqu'une de ses roues a été bloquée, il l'a tirée à plusieurs reprises vers lui et a ainsi révélé de la silice sous la surface du sol martien.

*Opportunity* a lui aussi été ensablé mais les pilotes ont réussi à l'en sortir, il est donc toujours opérationnel même s'il ne fonctionne plus très bien à cause de ses articulations raides et de sa mémoire abîmée. *Opportunity* a découvert dans une cuvette des strates de sédiments déposés par l'eau. Après avoir progressé de 45,16 kilomètres et avoir tourné longtemps autour, il se trouve aujourd'hui à mi-chemin de sa descente dans le cratère *Endeavour* par la *Perseverance Valley*.

La grande problématique des rovers martiens tient à la trajectoire qui doit être programmée à l'avance. En effet, le délai de communication avec Mars ne permet pas d'intervenir pour rectifier une trajectoire une fois le robot lancé (il faudrait environ 1h avant que l'ordre ne soit exécuté). Tout doit donc être prévu à l'avance, chaque jour on télécharge le programme de la journée suivante qui contient tous les déplacements et actions à effectuer. La communication avec les rovers se fait par transmission directe ou par relais satellite mais on dialogue avec un seul à la fois.

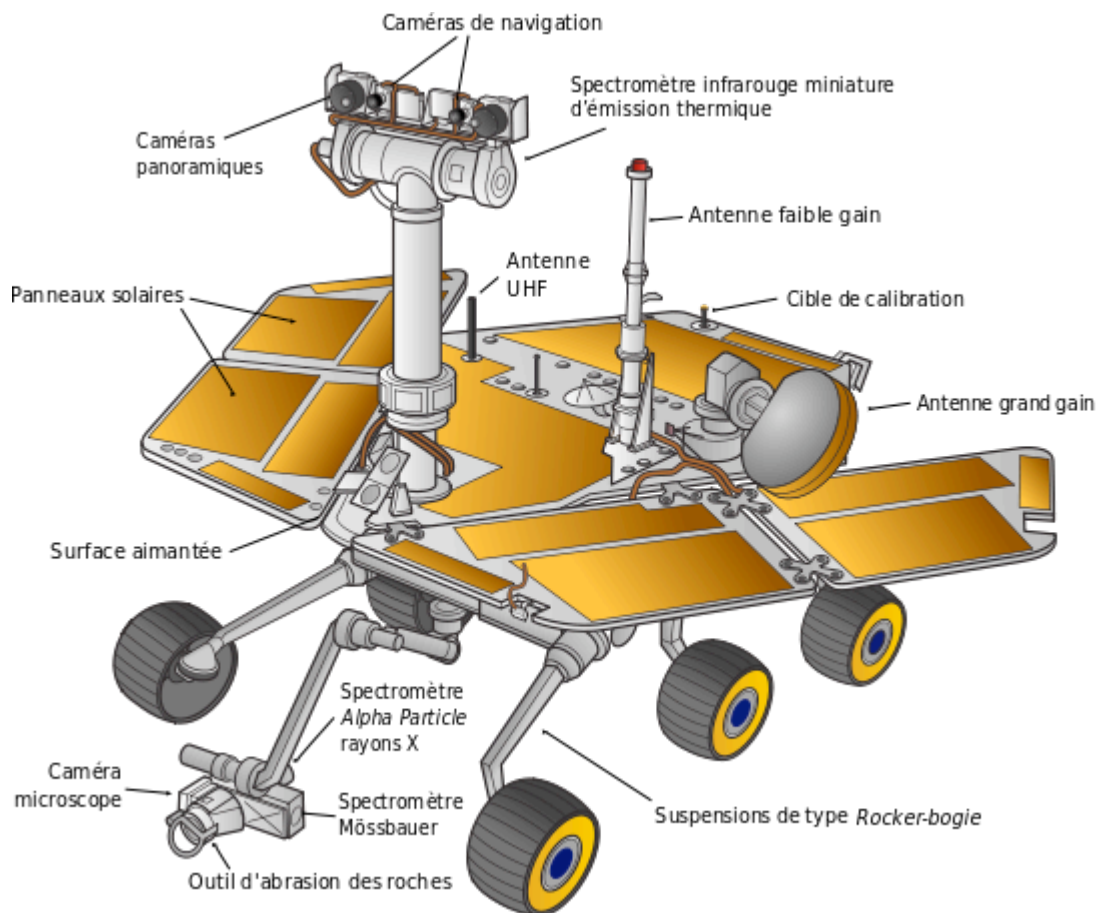
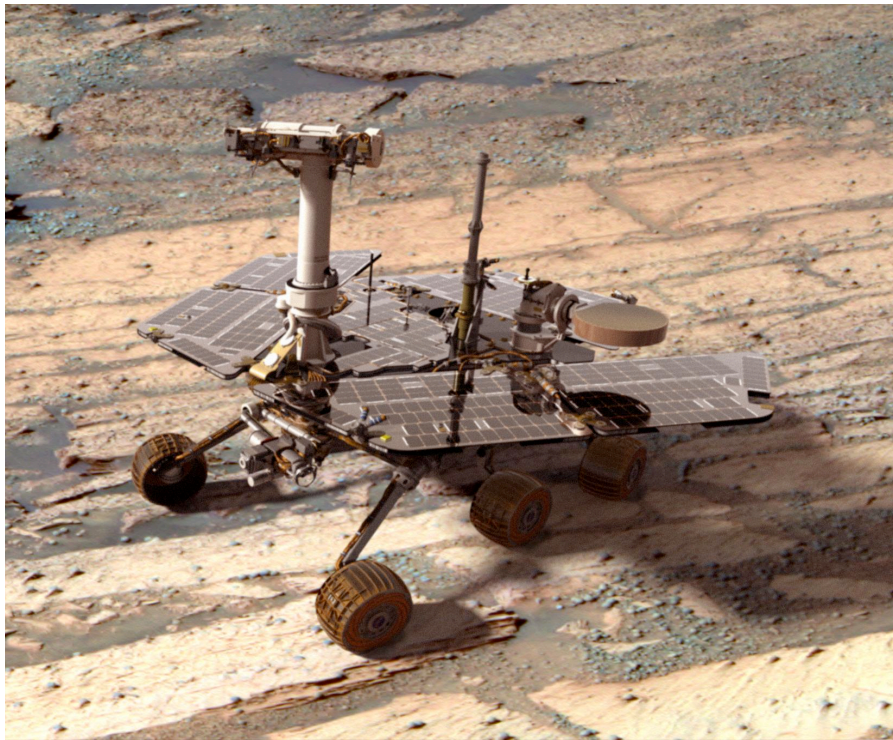


Schéma d'un rover MER





Le rover *Opportunity*

Après la mission MER, la Nasa a lancé une nouvelle mission martienne, le *Mars Science Laboratory* qui a emporté le rover *Curiosity*. La sonde spatiale le transportant s'est posée le 6 août 2012 dans le cratère *Gale*. Celui-ci présente dans un périmètre restreint, donc compatible avec l'autonomie du rover, des formations reflétant les principales périodes géologiques de la planète dont celle — le Noachien — qui aurait pu permettre l'apparition d'organismes vivants. Au cours de sa mission *Curiosity* va rechercher si un environnement favorable à l'apparition de la vie a existé, analyser la composition minéralogique, étudier la géologie de la zone explorée et collecter des données sur la météorologie et les radiations qui atteignent le sol de la planète. La durée de la mission est fixée initialement à une année martienne soit environ 669 sols (jours solaires martiens) ou 687 jours (solaires) terrestres.

Le rover *Curiosity* est cinq fois plus lourd que ses prédécesseurs, les *Mars Exploration Rovers* (MER), il pèse environ 500 kg, ce qui l'autorise à emporter 75 kg de matériel scientifique, dont deux mini-laboratoires permettant d'analyser les composants organiques et minéraux ainsi qu'un système d'identification à distance de la composition des roches reposant sur l'action d'un laser. Les laboratoires embarqués sont alimentés par un système sophistiqué de prélèvement et de conditionnement d'échantillons comprenant une foreuse. Pour répondre aux besoins accrus d'énergie et s'affranchir des contraintes de l'hiver martien et des périodes nocturnes, le rover utilise un générateur thermoélectrique à plutonium qui remplace les panneaux solaires mis en œuvre par les précédentes missions et lui garantit une durée de vie de 20 ans. Le rover est conçu pour parcourir 20 km et peut gravir des pentes de 45° grâce à ses six roues. Un de ses bras possède un instrument scientifique de 60 kg qui ne peut être manipulé sur Terre à cause de son poids mais devient opérationnel sur Mars où la gravité est moindre. Le rover analyse à la fois des échantillons au sol et l'atmosphère

gazeuse. Il a trouvé une argile qui se forme dans l'eau, nouvelle preuve de la présence passée de grandes étendues d'eau sur Mars.

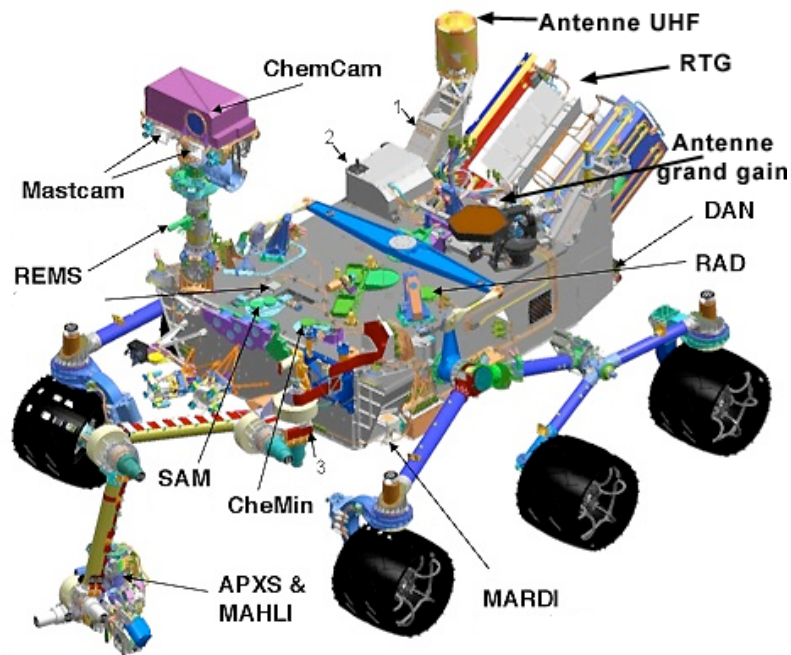


Schéma du rover *Curiosity*



Autoportrait du rover *Curiosity*

Au fur et à mesure des missions martiennes, l'incertitude baisse ; pour *Curiosity* par exemple, l'expérience de *Spirit* et *Opportunity* a été d'une grande aide. L'architecture et le design des rovers a été validée pour le type de missions à effectuer et a permis des



améliorations et des choix technologiques comme la pile plutonium à la place des panneaux solaires pour garantir la chaleur et l'activité du rover.



Les rovers *MER (Opportunity)* (2003), *Sojourner* (1996) et *MSL (Curiosity)* (2011)



## 2. Formes et nécessités des atterrisseurs, le duo d'exploration sonde - atterrisseur

### Archive

L'intervention de Jean-Pierre Lebreton était précédée par l'écoute d'un extrait audio de l'émission d'Orson Welles, *La Guerre des Mondes*, interprétée par la troupe du *Mercury Theatre* et diffusée le 30 octobre 1938 sur le réseau CBS aux États-Unis. Écrite et racontée par Orson Welles, c'est une adaptation du roman du même nom de l'écrivain H. G. Wells.

La mémoire collective a retenu que l'émission aurait causé un vent de panique à travers les États-Unis, des dizaines de milliers d'auditeurs croyant qu'il s'agissait d'un bulletin d'informations et qu'une attaque extraterrestre était en cours. Mais il s'agit d'une légende forgée par les journaux de l'époque et encore davantage exagérée au fil du temps. A l'écoute de cette émission, on peut essayer d'imaginer le point de vue de l'extraterrestre qui voit débarquer sur sa planète nos atterrisseurs d'exploration.

(L'émission est écoutable en entier à l'adresse :

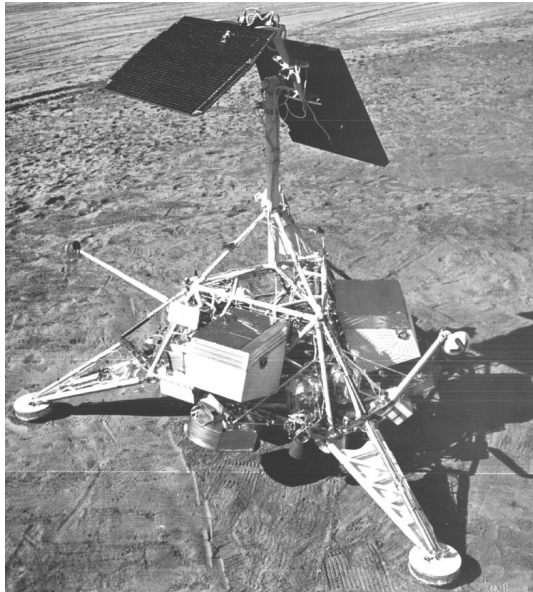
<https://www.youtube.com/watch?v=WnXwJS6MMfA> )



### Intervention de Jean-Pierre Lebreton : formes et nécessités des atterrisseurs

#### Le cas particulier de la sonde Huygens

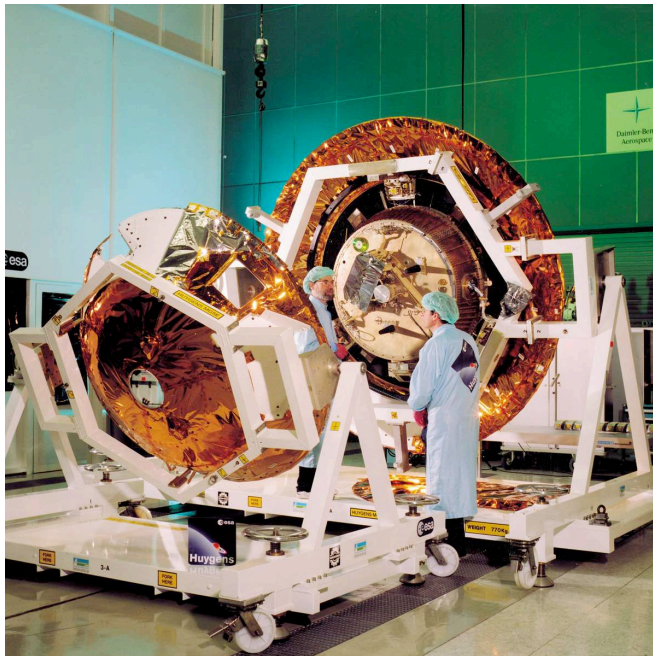
*Huygens* n'était pas un atterrisseur à l'origine mais une sonde de rentrée dans l'atmosphère, elle n'est devenue un atterrisseur que par la force des choses. Voilà pourquoi contrairement aux autres engins spatiaux de ce type, elle n'a pas de pattes. C'est un cylindre.



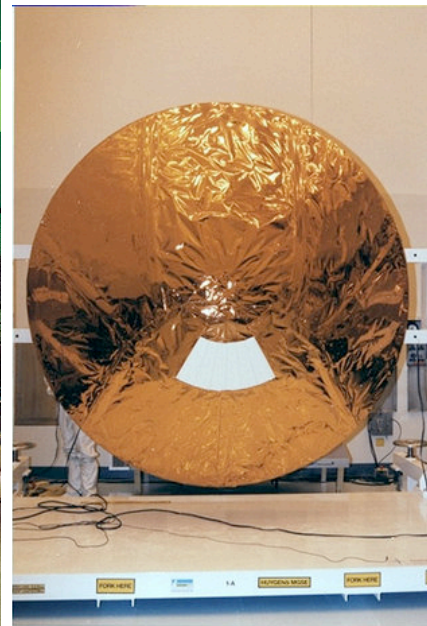
Sonde lunaire Nasa Surveyor



Atterrisseur Nasa martien Viking



Sonde Huygens et son bouclier protecteur



*Huygens* est une petite sonde spatiale de 350 kilogrammes développée par l'Agence spatiale européenne (ESA) dans le cadre de la mission *Cassini-Huygens* pour recueillir des données sur l'atmosphère et la surface de Titan, un des satellites de Saturne (cette lune est le seul corps céleste du système solaire à disposer d'une atmosphère dont les processus sont proches de ceux de la Terre). Transportée jusqu'aux abords de Saturne par l'orbiteur *Cassini* de la NASA lancé en 1997, elle a été larguée en décembre 2004 après un transit de près de sept ans à proximité de son objectif. *Huygens* a atteint Titan le 14 janvier 2005. Après avoir pénétré à environ 20 000 km/h dans l'atmosphère dense du satellite protégé par un bouclier thermique, elle a déployé successivement à compter de l'altitude de 180 kilomètres plusieurs parachutes avant d'effectuer un

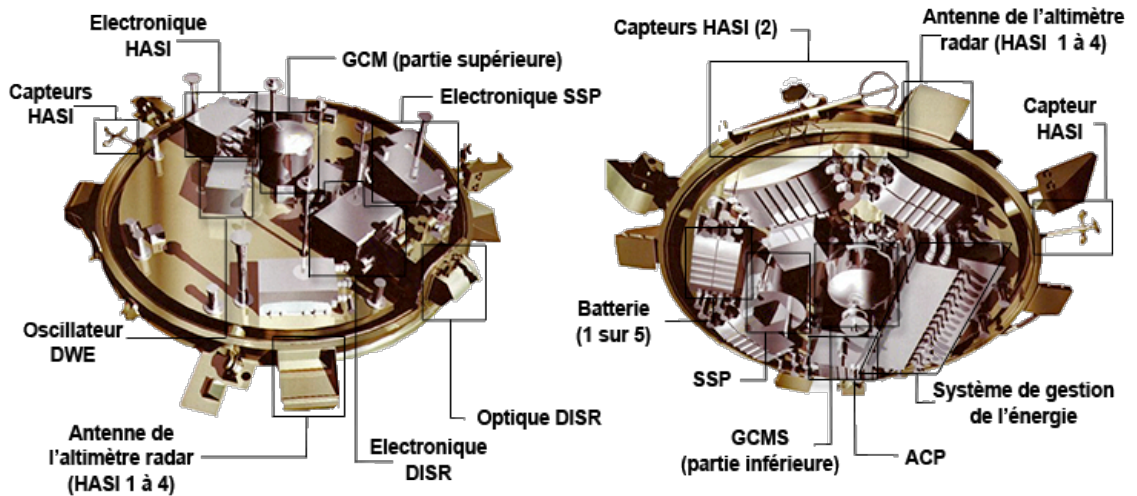
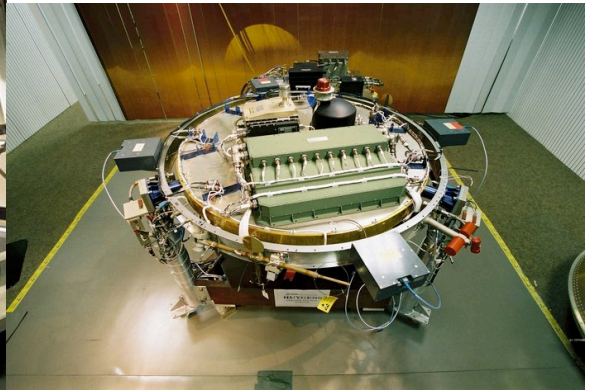
atterrissage en douceur sur le sol. L'exploration de cette atmosphère par un objet volant (ballon, hélicoptère, avion etc.) est facilitée par sa pression permettant une bonne descente en parachute. Huygens possède six sources d'électricité au plutonium avec des batteries.

La mission de *Huygens* a pour objectif de réunir des informations sur la composition de l'atmosphère de Titan, mesurer les vents et les températures, déterminer la nature du sol du satellite et sa topographie. À cet effet la sonde dispose de six instruments mis en œuvre durant la phase de descente d'une durée de deux heures et continuant, si possible, leurs mesures durant un laps de temps équivalent après l'atterrissage jusqu'à l'épuisement des batteries. La sonde ne possède que trois heures d'autonomie électrique procurée par des batteries, dont la plus grande partie doit être utilisée pendant la descente. Les concepteurs n'espéraient pas plus de trente minutes de données après l'arrivée sur le sol.

Cette mission a révélé une grande surprise : le sol de Titan. Jusqu'à présent, les observatoires qui avaient tourné leur regard vers cette lune de Saturne avaient déduit que sa surface était recouverte d'un océan (cf. Séance d'exploration 5). La sonde avait donc été conçue pour venir flotter sur une surface liquide, d'où l'absence de pattes ou pieds, elle devait pouvoir atteindre une surface inconnue liquide, solide ou sableuse. Un autre problème à la conception de la sonde était le délai de communication avec Titan : 82mn. Il était donc impossible d'avoir une interaction avec elle, elle devait être entièrement autonome et programmée.

La descente s'est effectuée avec trois parachutes successifs et a duré environ 2h20 pendant lesquelles la sonde a fait des prélèvements gazeux et a photographié la surface de Titan, données transmises à la sonde *Cassini* en orbite autour de Titan. Elle a ensuite atterri et a continué à fonctionner pendant 1h12 à la surface. Elle réalise ainsi une grande première : l'atterrissage le plus lointain effectué dans le système solaire sur une autre Lune. *Huygens* a permis de découvrir Titan avec une caméra tournante qui avait pour objectif de prendre des photos pour faire un panorama de la surface. Elle a montré des collines sans doute composées de glace d'eau et traversées de « rivières » formées de composés organiques. Des signes d'érosion sont visibles, indiquant une possible activité fluviale. La surface est composée d'un mélange d'eau et de glace d'hydrocarbures. Les données préliminaires confirment que la région visée était située près du littoral d'un océan liquide. Les photos montrent l'existence de chenaux de drainage près du continent et ce qui apparaît être un océan de méthane avec ses îles et sa côte enveloppée de brume. Des indices laissent supposer l'existence de morceaux de glace d'eau épars sur une surface orange, en grande partie recouverte d'une brume de méthane. Les détecteurs ont révélé un nuage dense ou un brouillard épais de 18 à 20 km d'altitude qui représente probablement la majeure partie du méthane en surface. La surface se présente comme une argile, un matériau de consistance uniforme recouvert d'une fine croûte.

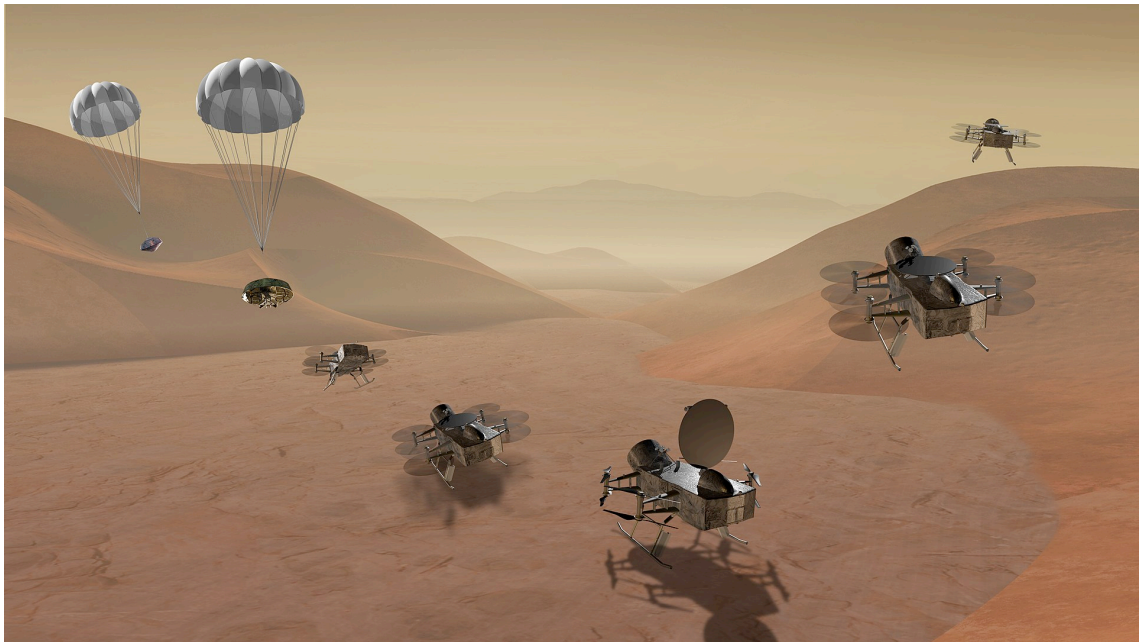




**Bouclier protecteur et structure interne de la sonde spatiale Huygens**

L'avenir des orbiteurs et atterrisseurs pour les objets célestes à atmosphère dense comme Titan ou Venus pourrait se voir sous forme de ballons pressurisés ou à air chaud car ils peuvent rester en vol très longtemps dans ce type d'atmosphère et permettre de récolter de nombreuses données en altitude. On pourrait imaginer aussi des radeaux se posant à la surface de lacs d'hydrocarbures ou des robots ailés à pile de plutonium qui pourraient voler des années et donc explorer une grande surface en ayant l'opportunité de se poser pour effectuer des prélèvements. Le plus probable reste cependant le modèle du rover *Curiosity* auquel on adjoindrait des rotors à la place des roues, c'est le projet *Dragonfly*, sorte de drone pour l'exploration de Titan,

un des deux finalistes retenus en décembre 2017 pour la quatrième mission du programme *New Frontiers* qui regroupe des missions d'exploration du système solaire dont le coût est plafonné à un milliard de dollars. La sélection finale interviendra en 2019.



*Dragonfly à la surface de Titan*

### Questions de formes

Une personnification forte de *Cassini* et de *Huygens* a eu lieu puisqu'on leur a associé les sens de l'homme pour les rendre plus familiers.

*Huygens* a pris quatre formes différentes, la première est sa forme attachée à l'orbiteur, la deuxième sous le bouclier pour freiner à la rentrée dans l'atmosphère, la troisième sous parachute et la quatrième est lorsqu'elle est à la surface.

La forme de capsule de rentrée dans l'atmosphère devait faire face à une inconnue : les réactions d'une atmosphère composée de méthane, gaz inflammable. Elle prend en compte les paramètres de stabilité, de flux de chaleur, de bouclier, le choix du matériau est par conséquent primordial. Il y a eu beaucoup de simulations avec des calculs perfectionnés pour les flux de chaleur, la principale contrainte du véhicule.

Pour la forme sous parachute, la problématique était de faire tourner la sonde, or, elle n'a pas tourné dans le sens prévu. Les scientifiques et ingénieurs sont toujours en train de chercher la raison de ce mauvais fonctionnement. On étudie une maquette dans la soufflerie du Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace d'Orléans (LPC2E) pour comprendre l'effet des appendices de la sonde à la sortie du bouclier.

La sonde a aussi emporté sur Titan un CD-ROM contenant des messages enregistrés sur le net.

## Commentaire d'Emmanuel Grimaud

Le côté bestiaire donné au début par les images d'archives soviétiques relayées dans le panorama que vous avez montré m'a beaucoup fait penser au philosophe Jacques Lafitte qui a écrit dans les années 1930 le livre *Réflexions sur la science des machines*. Puisque la source la plus banale d'inspiration pour développer des fonctions diverses dans les machines était le monde animal, sa thèse était que pour bien comprendre l'histoire des machines, il fallait faire de la zoologie et de l'histoire naturelle. Son idée était de décrire une évolution des machines à l'image de *L'origine des espèces* de Darwin. Il avait pointé un problème : lorsqu'on se met à mimer des fonctions animales de perception il y a un moment où cette fonction nous échappe dans ses capacités de préhension ou de perception, c'est-à-dire qu'on a affaire à un organe différent de celui d'un être humain et donc dont les résultats nous sont inaccessibles.

Un autre point important dans ces machines est que leur idéal est d'être un géologue et non un alpiniste ou un serpent qui rampe avec un maximum d'adhérence. Donc c'est de pouvoir collecter un maximum de données tout en ayant une sorte d'adhérence totale à cet environnement, être tout-terrain, avoir une sorte de perception totale en ce qui concerne la vision ou le sentir. On a alors l'impression que le toucher, l'haptique, la possibilité de caresser, est un peu oublié dans cette histoire, la main du géologue est curieusement absente.

Il y a également une question d'histoire du design qui m'interroge. Tout est beaucoup inspiré de formes animales, ça a commencé avec la roue puis après il y a eu un stade un peu chimérique avec une explosion de formes qui, sur le plan des fonctions de la machine la fait passer à quelque chose de beaucoup plus complexe, elle devient un véritable laboratoire sur pattes. Ce n'est plus seulement le regard humain ou l'explorateur humain qu'on essaye d'externaliser ou de reproduire mais véritablement un laboratoire chimérique puisque ce qui est reproduit comme fonction n'a pas d'équivalent dans le monde animal.

On est alors très curieux de vous voir piloter ces engins en temps réel... mais c'est un autre sujet ! Dans son livre *Seeing like a rover*, Janet Vertesi décrit un moment où les pilotes de rover doivent imiter quelque part physiquement la position du rover pour bien comprendre à quelle distance ils sont du sol etc. comme s'il fallait se mettre à la place du rover. La sonde Huygens a d'ailleurs été personnifiée bien qu'on ne parle pas de son vécu. Il faut dire que pendant cette descente sur Titan, j'ai eu l'impression d'être totalement désorienté, une vraie expérience limite du point de vue perceptif et technologique ce qui est tout à fait intéressant.

Je suis finalement ravi de savoir que les ballons et les radeaux sont des formes d'avenir !

## Bibliographie

Sur les rovers martiens : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars\\_Exploration\\_Rover](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_Exploration_Rover)

Vertesi Janet, (2015) *Seeing Like a Rover – How Robots, Teams, and Images Craft Knowledge of Mars*, University of Chicago Press, 304p

Stanford Seminar - *Seeing Like a Rover: Visualization, Embodiment, and Teamwork on the Mars Rover* <https://www.youtube.com/watch?v=-m8ERGCbWTU>

Lafitte Jacques (1932 rééd. 2000) *Réflexions sur la science des machines*. Vrin - Varia 136 pages

L'atterrissage du module *Huygens* sur Titan le 14 janvier 2005. © Animation : Esa, C. Carreau, Schröder, Karkoschka et al. (2012) :

<https://www.youtube.com/watch?v=YErUVO0FSS8>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Huygens\\_\(sonde\\_spatiale\)#Objectifs](https://fr.wikipedia.org/wiki/Huygens_(sonde_spatiale)#Objectifs)



## Biographies

**Jean-Pierre Lebreton** est chercheur planétologue dans le domaine des environnements ionisés des objets du système solaire. Après avoir obtenu son doctorat à l'Université d'Orléans, il a été recruté en post-doc en 1978 à l'Agence Spatiale Européenne (ESTEC, Noordwijk, Pays-Bas), puis a exercé le métier de chercheur de 1980 à 2011. Depuis son retour en France en 2011, il est chercheur associé au LPC2E (CNRS-Université d'Orléans) et VLD au LESIA/Observatoire de Paris-Meudon. À l'ESA, à partir de 1984, il a travaillé sur la mission *Cassini-Huygens* en tant que *Cassini Study Scientist*. Suite à la sélection de *Huygens* par l'ESA en 1989, il a été nommé *Huygens Project Scientist*, puis en 2001, *Huygens Mission Manager*.

**Lionel d'Uston** est un chercheur planétologue retraité du CNRS ; il a fait ses travaux de recherche à l'IRAP - Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie - à Toulouse. Il a étudié les surfaces planétaires dans le système solaire, surtout celles des planètes telluriques telles Mercure, Venus, la Lune et principalement Mars qui appartiennent toutes à la même famille que la Terre. Pour cela, il a participé à de nombreuses missions spatiales d'exploration des corps solides (planètes telluriques, satellites naturels, comètes, astéroïdes) réalisées par les différentes agences spatiales françaises, européennes, multinationales ou encore japonaises et russes. (ESA, NASA, JAXA, ISRO, ROSCOSMOS) soit en orbite autour de ces objets, soit à la surface. Il a été membre de plusieurs groupes d'étude de faisabilité et de définition, de projet de mission en vue d'une possible programmation par une agence spatiale.

**Emmanuel Grimaud** est anthropologue, chercheur au CNRS (umr7186), coordinateur de l'atelier *Expérience-Limite* (UPN) et de la plateforme de projets arts-sciences Artmap. Auteur de plusieurs ouvrages dont *Le Jour où les robots mangeront des pommes* (2012) et *Low tech / Wild Tech* (2017), il a été aussi commissaire de l'exposition *Persona, étrangement humain* (Musée du Quai Branly, 2016) et conçu un robot qui permettait de se mettre à la place d'un dieu (*Ganesh Yourself*, 2016).

**Michel Viso** rejoint le CNES en 1985 comme candidat spationaute après avoir exercé pendant plusieurs années le métier de vétérinaire ; en 2004, il prend la responsabilité du domaine de la biologie et de la physiologie spatiale. À ce titre, il gère la participation française dans des projets européens ainsi que pour de futures missions d'explorations spatiales et est en charge des programmes d'exobiologie au CNES.

Pour plus d'informations sur les séances d'exploration rendez-vous sur le site de l'Observatoire de l'Espace du CNES :

[http://www.cnes-observatoire.fr/memoire/savoir\\_explorations/les-explorations.html](http://www.cnes-observatoire.fr/memoire/savoir_explorations/les-explorations.html)

### Chronologie de la descente et de l'atterrissage sur Titan

Heure (UTC)	Description
11h13	<i>Huygens</i> entre dans l'atmosphère rouge orangé de Titan, à 1 270 kilomètres d'altitude au-dessus de sa surface.
11h18	Déploiement du parachute pilote (2,6 mètres de diamètre) alors que la sonde, qui n'est plus qu'à 180 kilomètres de la surface, se déplace à 400 m/s (1 440 km/h). Une des fonctions de ce parachute est d'enlever la protection thermique arrière de la sonde. En 2,5 secondes, cette protection est enlevée et le parachute pilote est largué. Le parachute principal (8,3 mètres de diamètre) est alors déployé.
11h18	Largage du bouclier thermique avant à environ 160 kilomètres de la surface. Il était important d'éliminer ces deux boucliers car ils pouvaient être une source potentielle d' <b>exocontamination</b> à la surface de Titan. Ouverture des orifices d'entrée des instruments <b>GCMS</b> et <b>ACP</b> , 42 secondes après le déploiement du parachute pilote. Déploiement de perches pour exposer les <b>HASI</b> alors que le <b>DISR</b> photographie son premier panorama. Celui-ci continuera à prendre des images et des données spectrales tout au long de la descente. Mise en route du <b>SSP</b> afin de mesurer des propriétés de l'atmosphère. Début de la transmission de données vers la sonde <i>Cassini</i> , distante de 60 000 kilomètres.
11h34	Largage du parachute principal, déploiement d'un parachute secondaire plus petit (3 mètres de diamètre). À cette altitude (125 kilomètres), le parachute principal aurait trop ralenti la sonde et ses batteries n'auraient pas tenu assez longtemps pendant toute la descente.
11h49	À 60 kilomètres d'altitude, <i>Huygens</i> détermine elle-même son altitude en utilisant une paire d'altimètres radar. La sonde surveille en permanence sa propre rotation et son altitude.
12h57	Activation du <b>GCMS</b> , dernier des instruments à être mis en marche.
13h30	À l'approche de la surface de Titan, <i>Huygens</i> allume un projecteur pour éclairer la scène afin d'aider à déterminer la composition de la surface de Titan.
13h34	<i>Huygens</i> se pose sur Titan à une vitesse de 5 à 6 m/s (une vingtaine de km/h) après deux heures et 27 minutes de descente. La surface est solide mais souple. Le <b>SSP</b> continue à recueillir des informations après le contact. <i>Huygens</i> s'est posé aux coordonnées 10° 17' 37" S, 163° 10' 39" E .
14h44	1 heure et 10 minutes après l'atterrissage, la sonde spatiale <i>Cassini</i> passe sous l'horizon de Titan vu depuis <i>Huygens</i> . L'atterrisseur continue à collecter des données mais celles-ci ne peuvent plus être collectées par l'orbiteur.
16h24	Le Centre de contrôle de l'Agence spatiale européenne de Darmstadt, en Allemagne, reçoit les premières données envoyées par <i>Cassini</i> .
19h00	Fin de transmission des données recueillies par <i>Huygens</i> et transmises par <i>Cassini</i> .