

# CNES MAG

FR  
EN

ESPACE • INNOVATION • SOCIÉTÉ

#80  
Mai 2019

**EXPLORATION SPATIALE**

CAP SUR LE SYSTÈME SOLAIRE



**cnes**  
CENTRE NATIONAL  
D'ÉTUDES SPATIALES



## SOMMAIRE



### 05 ÉDITORIAL

#### 06 L'ESSENTIEL

Mercury, Venus, Mars, Jupiter...  
Le point sur les corps célestes  
les plus étudiés du moment

#### 12 #COMMUNAUTÉ

Les followers du CNES relaient  
les grands moments de  
la conquête du Système solaire

#### 13 GRAND ORAL

François Forget, astrophysicien  
et planétologue de renom,  
dévoile pour nous les enjeux très  
concrets de l'exploration  
spatiale

### 16 EN IMAGES

Mascot le robot et Seis  
le sismomètre : les héros  
du moment

#### 18 EN CHIFFRES

Missions d'exploration spatiale :  
des données qui en disent long

#### 19 LE CNES EN ACTIONS

Saga lunaire

#### 27 MATIÈRE

Piège à gaz extraterrestres

#### 28 INSTANTS T

Les échantillons les plus  
attendus de la décennie à venir

### 30 RENCONTRES

• Athéna Coustenis, directrice de  
recherche CNRS au Laboratoire  
d'études spatiales et  
d'instrumentation en astrophysique  
• Philippe Achilleas, directeur  
de l'Institut du droit de l'espace  
et des télécommunications  
• Michel Viso, responsable de  
l'exobiologie et de la protection  
planétaire au CNES

#### 33 ESPACE ÉTHIQUE

La Lune m'a dit..., par Jacques  
Arnould

#### 34 EN VUE

Les événements, les expos et  
les ouvrages à ne pas manquer

#### 36 TRANSFERT

La puissance du recyclage

## PARTENAIRES

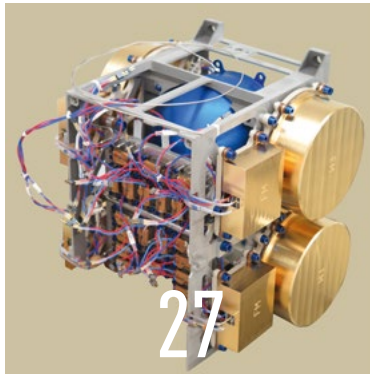
Sont cités dans ce numéro : p. 8-10-18-24-26-29-30 Agence spatiale européenne (ESA); p. 10 Airbus Defence and Space (ADS); p. 14 Laboratoire de météorologie dynamique (LMD); p. 9-15-18-20-26-29-30 Agence spatiale américaine (NASA); p. 18 Institut national des sciences de l'Univers (Insu); p. 21 Institut de physique du globe (IPGP); p. 25 Agence spatiale chinoise (CNSA); p. 26 Agence spatiale indienne (ISRO); p. 27 Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques (Lisa-Upec); p. 30 Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique du CNRS; p. 31 Institut du droit de l'espace et des télécommunications (Idest); p. 35 Laboratoire d'astrophysique de Marseille (LAM); p. 35 Cité de l'espace.



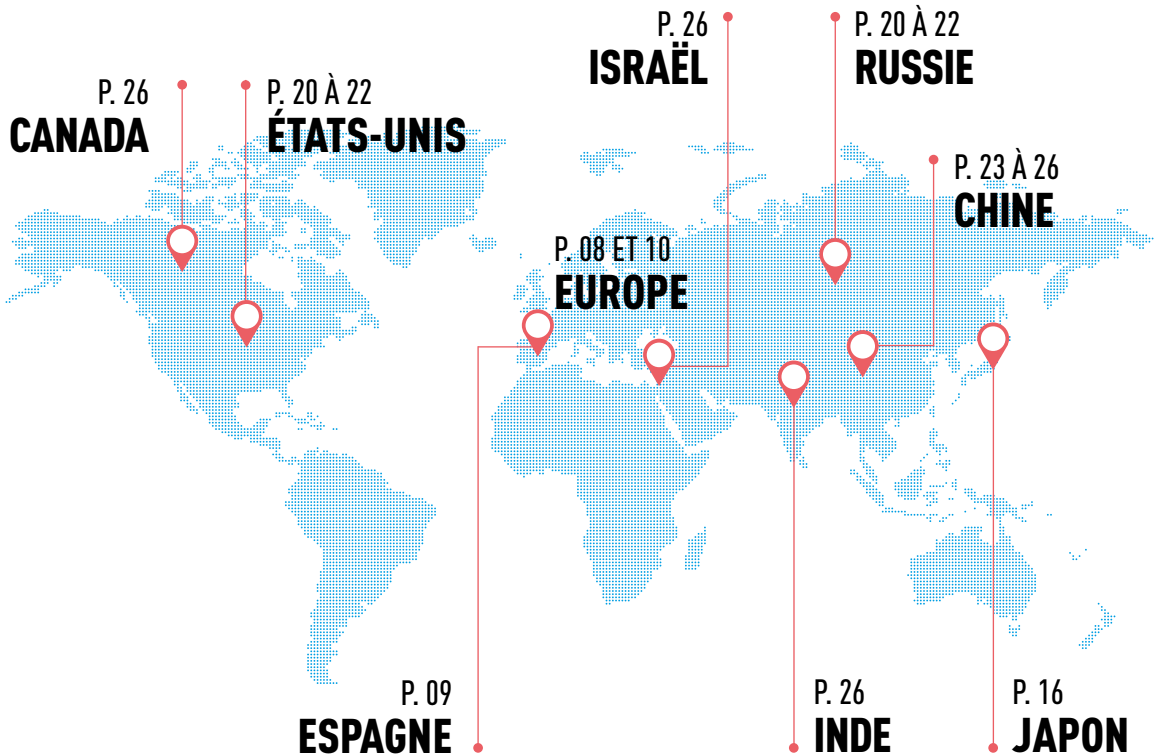
Découvrez les contenus en  
ligne de ce nouveau numéro  
sur [cnes.fr/cnesmag](http://cnes.fr/cnesmag)

WWW.CNES.FR





## SYSTÈME SOLAIRE : UNE CONQUÊTE MONDIALE





## CONTRIBUTEURS



### FRANCIS ROCARD

**Astrophysicien, Francis Rocard est aussi expert des programmes Système solaire au CNES. De la décision initiale à l'analyse des résultats, il est de toutes les missions de la planétologie française. En contact permanent avec les équipes scientifiques et techniques, il a nous expliqué l'intérêt d'étudier les autres planètes pour mieux comprendre la nôtre.**



### JEAN BLOUVAC

**À la direction de l'Innovation, des applications et de la science du CNES, Jean Blouvac coordonne les activités du programme Exploration et vols habités. Délégué par la France dans diverses organisations européennes et internationales en sciences de l'Univers, il a décodé pour nous les enjeux géopolitiques de la nouvelle course effrénée vers la Lune.**



### OLIVIER PASCAUD

**Altruiste et empathique, Olivier Pascaud aime les gens. La photographie, c'est le moyen pour lui de faire des rencontres passionnantes. En captant un regard, une expression ou une attitude, ce portraitiste révèle la nature profonde de son sujet.**

Après Pacôme Revillon, il a su saisir le sourire tout en subtilité de François Forget.



### TINO

**La couverture de ce magazine est née de la créativité de Tino. Cet illustrateur au style bien reconnaissable intervient aussi bien dans la presse que pour des institutions publiques ou des entreprises. Pour ce numéro, il a accepté de modifier sa signature graphique habituelle pour épouser la rondeur et le mouvement des astres du Système solaire.**

## CNES MAG

**CNESmag**, le magazine d'information du Centre national d'études spatiales, 2 place Maurice Quentin. 75039 Paris cedex 01. Adresse postale pour toute correspondance : 18 avenue Édouard Belin. 31401 Toulouse cedex 9. Tél. : +33 (0)5 61 27 40 68. Internet : <http://www.cnes.fr>. Cette revue est adhérente à Communication&Entreprises. Abonnement : <https://cnes.fr/reabonnement-cnesmag> **Directeur de la publication** : Jean-Yves Le Gall. **Directrice éditoriale** : Marie-Claude Salomé. **Rédactrice en chef** : Brigitte Alonzo-Thomas. **Secrétaire générale de la rédaction** : Céline Arnaud. **Rédaction** : Brigitte Alonzo-Thomas, Karol Barthélémy, Liliane Feuillerat. **Photothèque (recherche iconographique)** : Marie-Claire Fontebasso. **Responsable photo** : Nicolas Tronquart. **Crédits photo** : p. 4 CNES/H. Piraud - CNES/N. Tronquart - O. Pascaud - Tino ; p. 5 CNES/S. Godefroy ; p. 6 NASA ; p. 7 ESO (haut) - NASA (bas) ; p. 8 NASA (bas) ; p. 10 ESA/NASA (haut droite) - CNES/JPL-Caltech (bas) ; p. 11 NASA/JPL-Caltech (haut), ESA/NASA (bas) ; p. 13-14 CNES/O. Pascaud ; p. 16 CNES/D. Ducros ; p. 17 NASA/JPL-Caltech ; p. 18 ESO ; p. 19 CNES/Distribution Airbus DS ; p. 20-21-22-23 NASA ; p. 24 NASA/GSFC/Arizona State University ; p. 25 XINHUA/CNSA ; p. 26 CNES/D. Ducros ; p. 27 LISA/N. Grand ; p. 33 J. Arnould ; p. 34 Ensaama ; p. 36 FIRMUS. **Illustrations** : David Ducros (p. 16), François Foyard (p. 7-8), Jean-Marc Pau (p. 30 à 32), Robin Sarian (Idix) (p. 28-29). **Web master** : Sylvain Charrier, Mélanie Ramel. **Réseaux sociaux** : Mathilde de Vos. **Traduction** : Boyd Vincent. **Conception, conseil et réalisation** : Citizen Press - Camille Aulas, David Corvaisier, Mathilde Gayet, Fabienne Laurent, Alexandra Roy. **Impression** : Ménard. ISSN 1283-9817. **Ont participé à ce numéro** : Laurence Amen, Kader Amsif, Jean Blouvac, Pierre Bousquet, Rodolphe Clédassou, Philippe Collot, Emeline Deseez, Claire Dramas, Nicolas Durfourg, Gabrielle Fournier, Noël Grand, Philippe Laudet, Olivier La Marle, Carole Larigauderie, Jean-Louis Monin, Aurélie Moussi, Frederic Paillet, Jean-Gabriel Parly, Francis Rocard, Florence Seroussi, Michel Viso.



## ÉDITORIAL



**50 ans ! Le 21 juillet 2019, on fêtera les 50 ans des premiers pas de l'homme sur la Lune !** L'anniversaire de ce qui reste à ce jour, la plus extraordinaire mission spatiale de tous les temps, va être célébré alors que partout dans le monde, se multiplient les projets d'exploration de notre système solaire. Avec des sondes automatiques, pour approfondir notre connaissance de la Lune, de Mercure, de Mars, des astéroïdes, de Jupiter, de Saturne et de leurs satellites. Mais aussi avec des vaisseaux habités, pour apprendre à séjourner de plus en plus longtemps dans l'espace et pour retourner sur la Lune avec comme objectif ultime, la mission habitée vers Mars au cours de la décennie 2030...

Cet engouement pour l'exploration est la conséquence des avancées de la technologie, qui rendent possibles des missions qui étaient impossibles il y a encore quelques années. C'est aussi une façon pour les puissances spatiales d'affirmer leur souveraineté en réalisant des « premières » toujours plus spectaculaires. C'est enfin un moyen de susciter l'intérêt des populations qui ont fini par se lasser de « l'espace utile » et qui veulent que les rêves véhiculés par les « blockbusters » d'Hollywood deviennent réalité !

Au total, c'est cette surprenante alliance entre la technologie, la souveraineté et le cinéma, qui constitue aujourd'hui la feuille de route de l'exploration spatiale. Un peu comme il y a 50 ans, lorsque pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, on a marché sur la Lune !

**JEAN-YVES LE GALL**

PRÉSIDENT DU CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

Photographie prise par le commandant Neil Armstrong du spationaute Buzz Aldrin foulant le sol lunaire à proximité du module Eagle, le 21 juillet 1969.

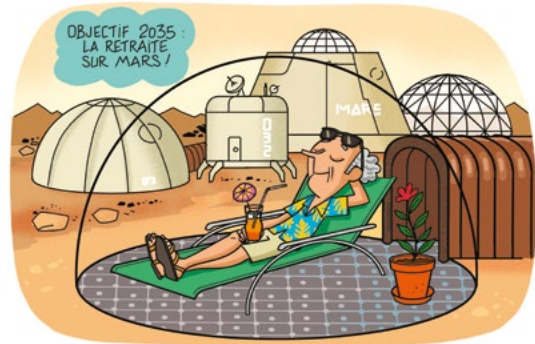
## 50<sup>E</sup> ANNIVERSAIRE

### L'inoubliable pas

21h 36 exactement. À l'échelle de l'Univers, la durée du séjour de Neil Armstrong et Buzz Aldrin sur la Lune est insignifiante. Et pourtant, le 21 juillet 1969, c'est l'histoire des sciences et de l'humanité qui en a été bouleversée. Pour la première fois, l'homme sur Terre a vu l'homme sur la Lune. Pour la première fois aussi, l'homme a vu sa Terre de loin et pris conscience de sa fragilité. Au même instant, 650 millions de Terriens ébahis ont partagé la même émotion. À l'heure du retour en force des missions lunaires (cf. p. 22-26), ce 50<sup>e</sup> anniversaire de la mission Apollo 11 prend un relief particulier. De nombreux événements le célébreront, auxquels le CNES sera bien sûr associé. Des rendez-vous à ne pas manquer!



## L'ESSENTIEL



### INSTANCE LE COMITÉ DES PROGRAMMES SCIENTIFIQUES



excellence est au cœur du programme scientifique du CNES. C'est pourquoi son Conseil

d'administration s'appuie sur un collègue d'experts pour arbitrer et choisir : le Comité des programmes scientifiques (CPS). Issus d'horizons différents, ces douze conseillers (6 femmes et 6 hommes pour assurer la parité) font tous autorité dans leur domaine. Nommés pour cinq ans par les ministères de tutelle (Enseignement supérieur et Armées) sur proposition du président du CNES, ils apportent un avis éclairé sur les projets de recherche, leur intérêt scientifique, leurs incidences. Recueillir un « avis favorable » du CPS est d'ailleurs une condition nécessaire à la réalisation d'un projet. En février 2019, sa dernière réunion a mis en lumière la longue liste des succès enregistrés en 2018 (Seis sur InSight, Gaia et son catalogue de corps célestes, le couple Hayabusa-2/Mascot, BepiColombo, SuperCam sur Mars2020, etc.). Un bilan remarquable qui confirme la pertinence des recommandations émises.

### PROSPECTIVE DESSINER LE FUTUR DE LA SCIENCE



Pour la science, qui se pense à long terme, la prospective est fondamentale. Tous les quatre ou cinq ans, le CNES invite donc la communauté scientifique française à se rassembler pour définir les lignes stratégiques des programmes spatiaux. Du 8 au 10 octobre, au Havre, les propositions de recherche pour la période 2025-2035 seront étudiées, toutes thématiques confondues. Riches des dernières découvertes sur Mars, la Lune ou encore les astéroïdes, elles feront émerger les projets de demain en lien avec l'origine de l'Univers, la recherche de traces de vie et l'habitabilité des « exomondes ». Les conclusions des différents groupes thématiques seront, *in fine*, examinées par le Comité des programmes scientifiques (CPS) (voir ci-contre), qui conseillera le CNES en vue d'une sélection définitive.



## 45 TONNES

*Avant le programme Apollo, les fusées ne dépassaient pas l'atmosphère terrestre. Pour atteindre la Lune, les Américains ont développé un moteur à oxygène et hydrogène liquide capable de propulser le lanceur Saturn V. Pesant 45 tonnes, la charge utile Apollo 11 comprenait trois vaisseaux : le module lunaire, le module de service et le module de commande.*



## L'ESSENTIEL



### BEPICOLOMBO

## FAIRE CONNAISSANCE AVEC MERCURE

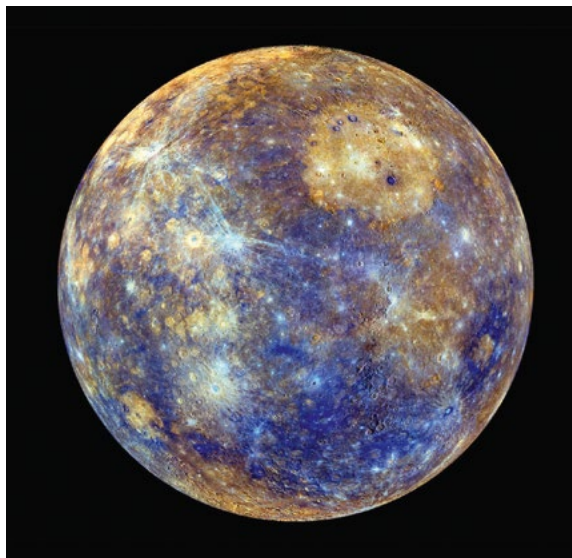
**T**rop proche du Soleil, la plus petite planète du Système solaire n'a pas encore été apprivoisée. On connaît seulement sa température capricieuse qui présente des variations de + 430 °C à l'équateur côté jour à - 180 °C sur la face nocturne. Difficile de concevoir une instrumentation résistant à ces conditions! Pourtant la mission euro-japonaise BepiColombo, lancée le 19 octobre 2018 avec succès, devra relever le défi grâce à ces deux sondes embarquées. Après sept ans de « croisière » à sensations fortes (18 révolutions autour du Soleil, 1 survol de la Terre, 2 de Vénus et 6 de Mercure), elle arrivera à destination fin 2025 et passera une année à explorer Mercure. Objectif : « faire connaissance », c'est-à-dire établir une cartographie de la planète, étudier sa composition et sa structure interne, analyser son champ magnétique et son interaction avec le vent solaire. Avec ces données, les scientifiques pourront mieux comprendre la formation et l'évolution des planètes qui, comme Mercure et la Terre, se situent près de leur étoile.

### AU SOMMET

## SPACE19+ SERA ANDALOUSE

**L**a Space19+ – réunion des ministres européens du spatial – se déroulera en novembre 2019 à Séville.

Objectif : passer au crible tous les domaines couverts par le spatial. Mais les ministres devraient aussi s'engager à « faire de l'Europe un acteur incontournable des nouvelles initiatives mondiales d'exploration spatiale à destination de la Lune et de Mars, en collaboration avec des partenaires actuels, comme les États-Unis, ou nouveaux, comme la Chine. » Cette orientation fait sens au vu de l'explosion du nombre des missions annoncées sur la Lune dans un paysage mondial bouleversé. Elle s'inscrit aussi dans la logique portée par les instances scientifiques et les groupes de travail européens auprès du Comité des programmes scientifiques du CNES.





## ENVISION

### SUIVRE L'ÉTOILE DU BERGER

**S**a ressemblance avec la Terre est si troublante que Vénus a éveillé la curiosité des scientifiques. En 2006, la mission européenne Venus Express a collecté des données sur sa structure et sa chimie. Elle a mis en évidence du dioxyde de soufre dans sa haute atmosphère et confirmé l'existence d'un double vortex nuageux au-dessus du pôle Sud. Prolongée quatre fois, Venus Express a pris fin en 2014. Avec EnVision, l'ESA veut poursuivre l'exploration, découvrir si la géologie de la planète est encore active, connaître son histoire passée, les processus d'érosion à l'œuvre et observer les liens entre l'intérieur, la surface et l'atmosphère. Soutenus par le CNES, huit laboratoires français seront impliqués dans cette mission. La maîtrise d'œuvre de la contribution française a été confiée au Latmos<sup>1</sup>. Pressentie pour être la 5<sup>e</sup> mission de classe moyenne du programme européen Cosmic Vision, EnVision devra attendre 2021 pour être définitivement sélectionnée. Elle pourrait alors voler en 2032.

1. Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales.

# 827 000

## NOMS

Grâce à l'initiative de la NASA, des Terriens ont pu « envoyer leur nom sur Mars » ! 827 000 noms ont ainsi été gravés sur deux micropuces embarquées par InSight. Une jolie manière de trouver sa place dans l'aventure !

# 217 594

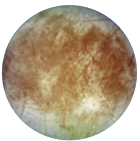
C'est le nombre d'images prises par le robot Opportunity qui ont été mises à la disposition du public sur Internet. Le rover aura parcouru un total de 45,16 km sur Mars, un record face aux 35 km du rover lunaire de la mission Apollo 17.

# 48 ENGINES

En 2016, 48 engins spatiaux, sondes, orbiteurs et atterrisseurs, avaient été envoyés vers Mars depuis le début des années 1960. Toutes les fenêtres de tir ou presque ont été utilisées.

## VOYAGES VERS LES LUNES DU SYSTÈME SOLAIRE

### EUROPE



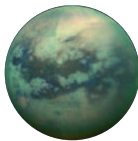
La 4<sup>e</sup> plus grosse lune de Jupiter recèle un océan d'eau liquide sous sa surface glacée. La mission Europa Clipper prévoit un survol en 2023 pour repérer les sites où la glace est la plus fine.

### GANYMÈDE



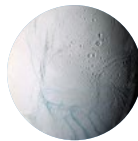
7<sup>e</sup> lune de Jupiter, elle a été scrutée entre autres par les sondes Pioneer 10, Galileo et Voyager. En 2022, Juice l'étudiera plus précisément.

### TITAN



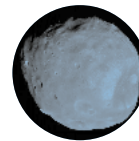
Lune de Saturne, elle présente des analogies avec la Terre. Après Cassini-Huygens (2004-2017), la nouvelle mission Titan Saturn System Mission (TSSM) l'explorera vers 2030 après 10 ans de voyage.

### ENCELADE



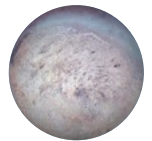
Cette lune de Saturne a été aperçue par Voyager 1 et 2. La mission Dragonfly combinera l'étude de Titan et d'Encelade à l'horizon 2025 dans le cadre d'un projet d'exploration privé.

### PHOBOS



Le plus grand des deux satellites naturels de Mars est au cœur de plusieurs missions : Padme (Phobos And Deimos & Mars Environment) en 2020 et MMX (Mars Moons Explorer) à l'horizon 2031 (cf. p. 26-27).

### TRITON



Plus gros satellite de Neptune, Triton est, au même titre que sa planète, peu connu. Voyager 2 l'a survolé en 1989. Une mission pourrait y être envoyée dans les années 2028-2030.



## L'ESSENTIEL



### JUICE

## SONDER LES LUNES GLACÉES DE JUPITER

Les planètes du Système solaire sont loin d'avoir livré tous leurs secrets. Juice<sup>1</sup>, un programme européen, est donc parti « décoder » le fonctionnement de l'une d'entre elles : Jupiter. Avec ses lunes, c'est un véritable Système solaire miniature. Callisto, Europe et Ganymède sont supposées abriter des océans internes. Enfouis sous la glace, sont-ils pour autant des mondes habitables ? Pour le savoir, Juice les survolera au cours d'un voyage d'étude de trois ans. Il s'attardera particulièrement au-dessus de Ganymède. Seule lune à être protégée des radiations par un champ magnétique, elle abriterait un océan coincé entre deux couches de glace, un noyau métallique et un manteau rocheux, des caractéristiques uniques dans le système jovien. Décidé en 2004, le satellite Juice devrait être lancé en 2022 et arriver à destination en 2029. Fruit d'une collaboration mondiale exemplaire, le programme a mobilisé 80 entreprises européennes sous la houlette d'Airbus Defence and Space (ADS). Il embarque 10 instruments conçus par des scientifiques de 15 pays européens mais aussi du Japon, des États-Unis, du Canada, de la Russie et d'Israël. Le CNES est maître d'ouvrage de la contribution française.

1. Jupiter ICy moons Explorer.

### MARS

## FAIRE PARLER LA ROCHE

Depuis sept ans, le petit robot **Curiosity** atomise la roche martienne via sa caméra laser ChemCam. Après le cratère Gale, il roule depuis février 2019 sur les contreforts du mont Sharp pour atteindre la zone « Glen Torridon ». Son objectif : chercher des molécules organiques, les traces d'une habitabilité révolue. Récemment, il a repéré une source de méthane de surface et décelé des molécules organiques soufrées.

**Mars 2020** poursuivra la tâche. La mission partira en juillet 2020 pour un atterrissage sur la planète rouge en février 2021. Le rover explorera le cratère Jezero et préparera le retour d'échantillons martiens. Son atout : la caméra SuperCam, une version améliorée de ChemCam capable de sélectionner les échantillons et de les conditionner en vue de pouvoir un jour les ramener sur Terre.

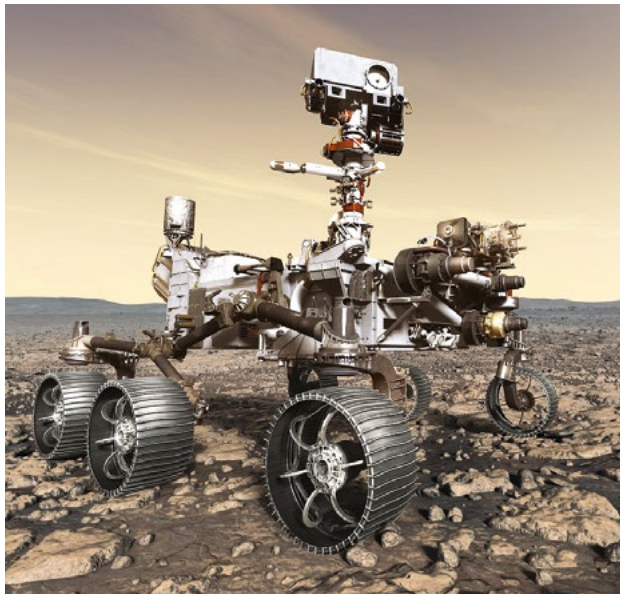
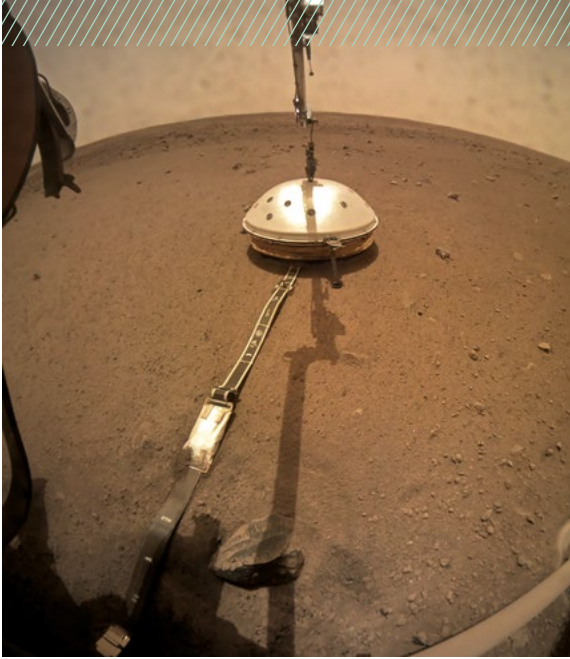


Illustration du rover Mars 2020.



Le bouclier de protection du sismomètre Seis a été déposé sur le sol martien le 2 février 2019 grâce au bras robotique de l'atterrisseur InSight.

## MARS

### MAÎTRISER DES PROCÉDURES COMPLEXES

P our comprendre la planète rouge, il faut aussi prendre son pouls, entendre battre son cœur. C'est le travail du sismomètre Seis supervisé par le CNES et embarqué par l'atterrisseur InSight. Le 19 décembre 2018, InSight a délicatement déposé Seis sur le sol martien. Depuis début février, il est recouvert d'un bouclier de protection contre le vent et les basses températures et d'une jupe de protection en cote de mailles pour « coller » au relief. Ultrasensible aux vibrations, sa mission est d'enregistrer les soubresauts de la planète : activité sismique, impacts de météorites. Et le 6 avril dernier, elle a vraiment démarré (cf. p. 17). En revanche, exit Schiaparelli! Le petit rover du programme ExoMars devait valider les techniques de rentrée atmosphérique pour un jour, enfin, voir revenir des échantillons. L'échec de son atterrissage en 2016 est venu rappeler l'extrême complexité des missions d'exploration spatiale. Mais Schiaparelli ne constituait que la première partie du programme. La deuxième mission partira en 2020. L'objectif est le même : repérer d'éventuelles traces de vie. Le mode opératoire, lui, est différent : une plateforme instrumentale russe déposera un véhicule européen à sa surface pour une année martienne de mesures. Le CNES et des laboratoires français ont la responsabilité de deux instruments du véhicule européen.

## SOLEIL

### CHAUD DEVANT !

E n surface, la température du Soleil avoisine les 3500 °C. Sa couronne, elle, atteint le million de degrés Celsius. Pourquoi une telle différence ? Partie le 12 août 2018, **Parker Solar Probe** va tenter de résoudre ce mystère. C'est la première mission à prendre des mesures au plus près du Soleil. En 2024, elle s'approchera à moins de 6 millions de kilomètres de notre étoile et affrontera pour cela les vents solaires, une déferlante d'ions et d'électrons expulsés à vitesse extrême. C'est à ce prix que l'on pourra comprendre son atmosphère pour mieux s'en protéger. La mission européenne **Solar Orbiter** partira, elle, en février 2020. En observant de plus loin les pôles et la face cachée du Soleil, elle devrait aider à comprendre les mécanismes impliqués dans la formation de la couronne et du vent solaire. Son atout ? Une résolution d'image encore jamais atteinte. Les scientifiques attendent beaucoup de ces deux missions complémentaires, et notamment du potentiel de leurs observations combinées.





## #COMMUNAUTÉ

Tous les jours, sur les réseaux sociaux, le CNES discute avec vous. Vous nous faites part de vos réflexions ou questions. Rejoignez la conversation!;)



**@FRANCESPACE96**

Élève Ingénieur @ISAE\_ENSMA // matériaux, aéronautique-spatiale, industrie // @3AF\_asso



Ariane 5 a parfaitement réussi le lancement de la mission européenne (coopération avec le Japon) BepiColombo qui atteindra Mercure dans 7 ans. Encore un magnifique succès en perspective pour l'exploration robotique européenne du Système solaire. 🌍----->🚀----->👤

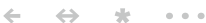


**@LCHAINESPATIALE**

Passionné du spatial et d'aviation !



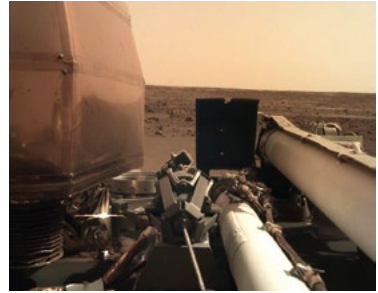
L'exploration du système solaire en une image.



**@NASAINSIGHT**

The InSight mission will study the early evolution of terrestrial planets. Launched May 5, 2018. Landed Nov. 26, 2018.

There's a quiet beauty here. Looking forward to exploring my new home. #MarsLanding



**@STEPHANIE24120**

Enquêtes paranormales : #jordanperrigaud , sport : #basicfit , réseaux sociaux, #netflix et #LGBT .. sont mon quotidien 🙌👍

🌍🚀 En route vers l'extérieur du Système solaire ! La sonde New Horizons de la NASA continue de voyager jusqu'aux confins de l'Univers. Ultima Thulé se trouve à presque 7 milliards de km de la Terre #NASANewHorizons @NASA #univers #systemesolaire #UltimaThulé #Terre #exploration





GRAND ORAL

# FRANÇOIS FORGET

ASTROPHYSICIEN, PLANÉTOLOGUE ET DIRECTEUR  
ADJOINT DU LABORATOIRE DE MÉTÉOROLOGIE  
DYNAMIQUE (LMD), François Forget lève le voile  
sur les enjeux très concrets de l'exploration spatiale.  
Avec simplicité, honnêteté et de nombreux  
exemples à l'appui.



## GRAND ORAL

### QUELS MYSTÈRES CHERCHONS-NOUS À PERCER EN EXPLORANT LE SYSTÈME SOLAIRE ?

**François Forget :** Pourquoi les hommes cherchent-ils à développer leur connaissance du Système solaire malgré les difficultés techniques et économiques que cela représente ? De même que l'on se penche sur les animaux pour comprendre le corps humain, les astrophysiciens étudient les autres planètes pour comprendre la Terre et les origines de la vie. L'exploration spatiale par l'homme en tant que telle peut cependant vite sembler irrationnelle au vu de son fort ratio coût/résultat.

### EN QUOI MARS REVÊT-ELLE UN INTÉRÊT PARTICULIER ?

**F. F. :** Mars est l'un des dix mondes (7 planètes, 2 lunes et une planète naine) dotés d'une atmosphère qui sont étudiés au Laboratoire de météorologie dynamique (LMD). C'est une sorte de petite Terre, avec des vents, des alizés, un jet-stream... Tester sur Mars notre modèle numérique de climat a, par exemple, permis de révéler des défauts et ainsi de mieux modéliser la mousson en Inde. Même si sa situation n'est pas propice à la vie actuellement, on y recherche des fossiles car, dans sa jeunesse, elle était couverte de lacs et de rivières. C'est donc l'endroit rêvé pour enquêter sur la chimie prébiotique et déceler les étapes séparant le pré-vivant du vivant. Par ailleurs, Mars est la seule planète assez hospitalière pour accueillir des astronautes en l'état actuel de la technologie. Il n'existe cependant aucun intérêt, ni philosophique ni



## FRANÇOIS FORGET

DIRECTEUR ADJOINT DU LABORATOIRE DE MÉTÉOROLOGIE DYNAMIQUE

« IL FAUT AUSSI ASSUMER L'EXPLORATION POUR LA CONNAISSANCE PURE. »

économique, à l'envisager comme une « planète de remplacement ». Son intérêt demeure donc exclusivement de nature scientifique. Évidemment, les autres planètes restent passionnantes. De même, les corps sans atmosphère comme Mercure, Europe, Ganymède ou encore Encelade intéressent aussi les agences spatiales.

### QUELLES RETOMBÉES CONCRÈTES PEUT-ON ATTENDRE DES ÉTUDES SPATIALES ?

**F. F. :** Au-delà du GPS, dont l'utilité quotidienne n'est plus à démontrer, l'exploration spatiale permet d'approfondir notre compréhension de la Terre et de son avenir. Des phénomènes subtils sur Terre, mais beaucoup plus visibles ailleurs dans

l'Univers, sont utiles dans l'étude du changement climatique, la volcanologie, l'environnement... Par exemple, l'expérience acquise confirme que le doublement de la quantité de CO<sub>2</sub> sur Terre serait catastrophique. Autre exemple : lorsque le trou dans la couche d'ozone a été détecté, personne ne comprenait ce phénomène. Ce sont des travaux sur le chlore présent sur Vénus qui ont aidé à caractériser les réactions chimiques entre le chlore et l'ozone, et qui ont conduit à l'interdiction des chlorofluorocarbures, les CFC<sup>1</sup>. L'exploration robotique a aussi des retombées concrètes, ne serait-ce que parce qu'envoyer un rover sur une autre planète nous confronte à des problématiques inédites. Mais il faut aussi pouvoir assumer l'exploration pour la connaissance pure.

### QUELLES ONT ÉTÉ, SELON VOUS, LES DERNIÈRES GRANDES DÉCOUVERTES SUR LE SYSTÈME SOLAIRE ?

**F. F. :** La liste est longue ! Grâce aux missions Cassini puis Juno, on comprend mieux la complexité des planètes géantes comme Jupiter. Avec New Horizons, Pluton s'est révélé être un monde couvert de glaciers d'azote et de méthane solide, ainsi que de montagnes. Objet transneptunien très froid, ni planète, ni astéroïde, Ultima Thulé ne ressemble finalement à rien de connu. Autre découverte capitale : la démonstration que la plupart des autres étoiles sont elles aussi entourées de planètes. Parmi elles, Proxima B, située à 4 années-lumière, va pouvoir être caractérisée depuis le Chili grâce au télescope géant ELT. Quant au système



## GRAND ORAL

Trappist 1, qui se compose de sept planètes rocheuses, c'est une vraie merveille : le James Webb Telescope pourra observer leurs atmosphères lorsqu'elles passeront devant leur étoile.

### COMMENT LES MISSIONS SPATIALES ONT-ELLES ÉVOLUÉ DEPUIS CINQUANTE ANS ?

**F. F. :** Le programme Apollo reste un chef-d'œuvre absolu. La NASA disposait d'énormément de moyens et les ingénieurs des années 1960 ont tout inventé. D'ailleurs, les images d'Armstrong sur la Lune ressemblent encore aujourd'hui à de la science-fiction. On ne peut pas dire qu'une révolution se soit produite en cinquante ans. Le scaphandre de Thomas Pesquet est assez semblable à ceux des missions Apollo, les lanceurs et les moteurs ont finalement peu évolué, en dépit des espérances. La fusée qui enverra une station en orbite autour de la Lune ne devrait pas être tellement plus puissante que Saturn V. Le véritable bond se situe en réalité dans le domaine informatique.

### QUELS SONT LES FREINS ET LES LIMITES À L'EXPLORATION SPATIALE ?

**F. F. :** Avant tout les finances. Ce qui explique que cela fait

« L'EXPLORATION SPATIALE HUMAINE PEUT VITE SEMBLER IRRATIONNELLE AU VU DE SON FORT RATIO COÛT/RÉSULTAT. »

cinquante ans que l'on entend qu'on ira sur Mars dans vingt ans ! Côté exploration robotique, les appels à idées des agences spatiales rassemblent des propositions formidables, c'est très frustrant de n'en réaliser qu'une sur quinze. Mais les coûts limitent les projets. Par exemple, il est envisagé de bâtir une station permanente sur la Lune. Son coût serait tel que les missions vers Mars seraient retardées de dizaines d'années. Des problèmes technologiques se posent aussi. La conception d'un robot sous-marin qui s'aventurerait sous la glace d'un océan d'Europe est d'une complexité effarante. L'électronique d'un rover d'aujourd'hui ne supporterait pas la chaleur de Vénus. Les robots sur Mars restent très lents à piloter à cause de la distance avec la Terre. Ils gagneraient en efficacité s'ils étaient commandés en temps réel, par exemple depuis une mission humaine en orbite (en attendant de savoir se poser et redécoller, ce qui est à la fois cher et compliqué).

### LA COOPÉRATION EST-ELLE NÉCESSAIRE ?

**F. F. :** Dans le domaine spatial, la coopération est la règle, comme le montre l'existence de la Station spatiale internationale. Les projets menés par un pays isolé constituent des exceptions : l'Inde, qui a d'abord étudié Mars seule, souhaite à présent collaborer pour explorer Vénus. Même la Chine explore la face cachée de la Lune en association avec des Belges, des Néerlandais

et des Suédois. De fait, l'exploration humaine de Mars devrait aussi être réalisée par un consortium international mené par la NASA. Enfin, on assiste à une coopération public-privé, avec l'émergence du New Space<sup>2</sup>. Space X, en particulier, propose des solutions techniques à la NASA et a permis de lancer des fusées moins chères. Le futur lanceur lourd américain, SLS, sera peut-être plus cher que le Big Falcon Rocket de Space X ! Dernièrement, des cubesats de 14 kg ont accompagné la mission InSight et le sismomètre Seis, codéveloppé par le CNES, vers Mars. Ils ont pu relayer les premières images en temps réel de la planète rouge. Une démonstration technologique qui ouvre sans doute la voie à des missions d'exploration miniaturisées à moindre coût...

1. Un gaz CFC est un gaz fluoré, un dérivé d'hydrocarbure saturé.

2. New Space, ou Entrepreneurial Space, désigne le mouvement lié à l'émergence d'une industrie spatiale d'initiative privée.

### Profil

**1998-2010**  
Chargé de recherche au CNRS

**2004-2005**  
Chercheur à la NASA

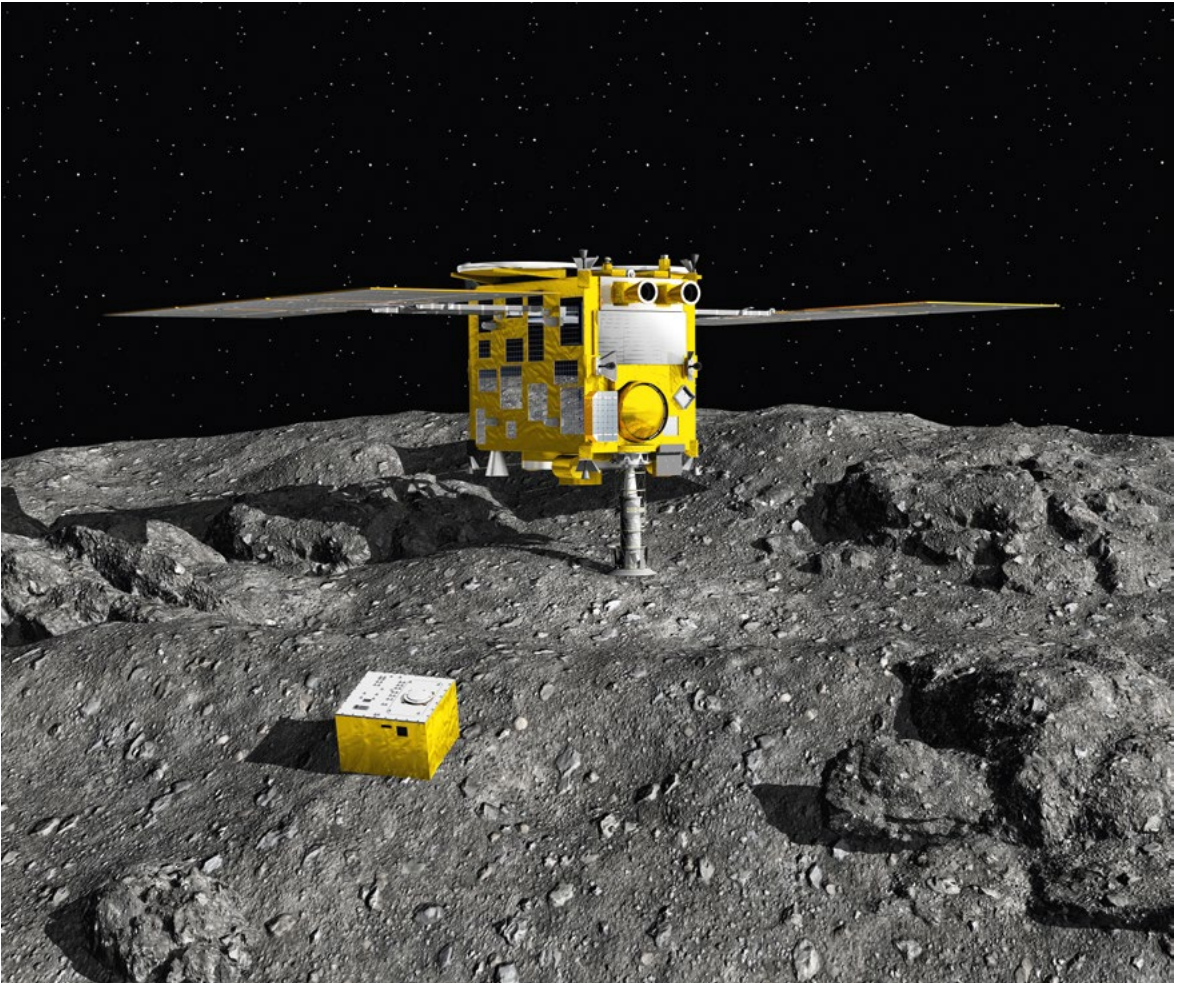
**Depuis 2010**  
Directeur de recherche au CNRS

**Depuis 2016**  
Directeur adjoint du LMD

**2017**  
Élu à l'Académie des sciences



EN IMAGES



## LA DESCENTE DE MASCOT

*3 octobre 2018. À 3 h 57 min et 25 s, la sonde Hayabusa-2 se sépare de Mascot. Le petit robot entreprend alors sa descente vers Ryugu. À 4 h 4 min, après quatre ans de voyage, il ancre ses modestes 10 kg sur l'astéroïde malgré les rochers et les cratères. Éclaireur pour Hayabusa-2, il a permis de réorienter la procédure de collecte d'échantillons et d'améliorer la précision de guidage du satellite, décalant l'atterrissage de la sonde sur Ryugu de quelques mois. Le 21 février 2019, la première collecte d'échantillons de Hayabusa-2 est un succès.*





EN IMAGES



## INSIGHT AUX PETITS SOINS DE SEIS

*La mission américaine InSight, avec à son bord le sismomètre français Seis, a atteint le sol martien le 26 novembre 2018. Le 2 février 2019, ce dernier se retrouve coiffé d'une cloche de protection méticuleusement déposée au-dessus de lui. Depuis, il s'applique à scruter les entrailles de la planète, attentif au moindre mouvement, à la moindre pulsation. Un premier succès a été enregistré le 6 avril avec la détection d'un signal sismique faible. Pendant ce temps, équipé d'une caméra, l'atterrisseur InSight profite de la meilleure exposition solaire pour immortaliser le travail du petit sismomètre.*



## EN CHIFFRES

# ET DE DEUX!

**Il a fait rêver le monde entier avec ses photos.** Prolixe en tweets pendant ses 200 jours dans la Station spatiale internationale, Thomas Pesquet a surtout mené les expériences scientifiques du programme Proxima. Ambassadeur convaincu de l'exploration spatiale humaine, il a été choisi en janvier 2019 par l'ESA pour un nouveau séjour dans l'espace...

## À 9 min de Mars

**LES NANOSATS ET LES CUBESATS** peuvent-ils appuyer les missions d'exploration spatiale? Pour le savoir, la NASA expérimente! Deux cubesats sont partis en 2018 vers Mars. Grâce au signal radio de Marco A et B, l'agence américaine a suivi l'arrivée d'InSight en direct, avec un décalage de seulement 9 minutes compte tenu de la distance entre Mars et la Terre.

# GAIA



**Partie en 2013, la mission Gaia a déjà fait parler 1,7 milliard d'étoiles** grâce à ses 500 millions de mesures par jour.

Un premier état des lieux avait été réalisé en 2016, puis complété par un deuxième catalogue publié en avril 2018. À force de passages répétés,

Gaia a pu répertorier des éléments de plus en plus précis comme la position, le mouvement et la composition des étoiles. Mais Gaia s'intéresse à tous les « objets » célestes, y compris ceux dont nous ignorons jusqu'à l'existence. Prévu pour 2020, le troisième catalogue sera donc encore plus complet.

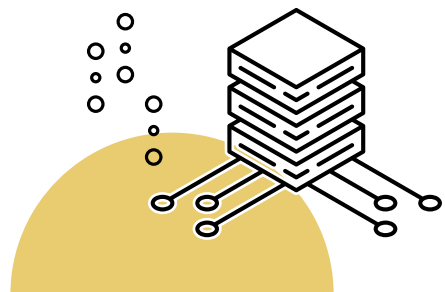
# 5 250

## JOURS D'ACTIVITÉ

Le rover martien Opportunity aura fonctionné 14 ans, 4 mois et 16 jours. Arrivé sur Mars le 25 janvier 2004, il a cessé d'émettre le 10 juin 2018.

## 7 millions de fichiers

**Les données scientifiques constituent un capital inestimable.** En 1999, l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU) et le CNES créent le Centre de données de la physique des plasmas (CDPP). Vingt ans plus tard, le stockage est robotisé et les diverses données du CDPP sont traitées pour être réinvesties dans de nombreux domaines : magnétosphère terrestre, planétologie, héliophysique ou météo de l'espace. Avec ses 7 millions de fichiers, ce centre est aujourd'hui en mesure de fournir des services à haute valeur ajoutée pour de nombreux besoins scientifiques. En 2018, il a accompagné plus de 300 utilisateurs.





LE CNES EN ACTIONS

# OBJECTIF LUNE

**LE 21 JUILLET 1969, L'ÉQUIPAGE D'APOLLO 11  
DÉCROCHAIT LA LUNE. CINQUANTE ANS PLUS TARD,  
LES MISSIONS LUNAIRES RETROUVENT LE DEVANT DE LA  
SCÈNE. PARTIE PRENANTE DES VOLS HABITÉS, EXPERT  
EN MÉCANIQUE ET ACTEUR VOLONTARISTE DE L'EUROPE  
SPATIALE, LE CNES SERA DE TOUTES LES EXPLORATIONS.  
AUJOURD'HUI LUNAIRE, DEMAIN MARTIENNE.  
AUJOURD'HUI ROBOTIQUE, DEMAIN HUMAINE.**

La Lune par le satellite Pléiades 1A. À l'abri des perturbations atmosphériques, la Lune est une « cible » parfaite pour calibrer finement l'instrument optique de Pléiades sur les mers et cratères lunaires.



## LE CNES EN ACTIONS

91

**Le 23 septembre 1958,**  
l'Union soviétique lançait une première mission robotique vers la Lune. Depuis cette date et jusqu'à début janvier 2019, on comptait 91 missions lunaires. 10 seraient en développement ou à l'étude d'ici à 2025.



L'emblématique cliché du lever de Terre pris depuis la Lune lors de la mission Apollo 8.



Le 21 juillet 1969, 650 millions de Terriens médusés assistent à l'invraisemblable : deux astronautes sont déposés sur le sol lunaire par la mission

Apollo 11. En janvier 1961, John Fitzgerald Kennedy a pris la présidence des États-Unis, se donnant une décennie pour poser un équipage sain et sauf sur l'astre sélène. Il n'aura fallu que 8 ans pour relever le défi. Dans cette motivation à toute épreuve, peu de place pour la science. C'est une riposte politique à l'URSS en pleine guerre froide. Il faut dire qu'en matière de conquête spatiale, les Russes ont un temps d'avance. Après Spoutnik et la chienne Laïka, envoyés dans l'espace dès 1957, ils ont survolé la Lune et pris les premières photographies de sa face cachée en 1959 avec la mission Luna 3. Deux ans plus tard, en 1961, le russe Youri Gagarine est le premier homme dans l'espace.

### BÉNÉFICES COLLATÉRAUX

Apollo 11 ne restera pas seulement dans les annales comme le succès américain qu'elle représente. Elle profitera également à la science, « *bénéfice collatéral du programme* » selon Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du Système solaire au CNES. En effet, la science lunaire est scindée en deux ères bien distinctes : il y a un avant et un après Apollo 11. Là où diverses hypothèses invérifiables planaient, la mission permet de trancher. Notre Lune a bien été formée à partir de la collision entre la Terre et une planète de la taille de Mars. Si l'eau y est globalement inexistante, il en subsiste des traces issues d'impacts de comètes probablement aux pôles. L'âge des roches des montagnes a pu être estimé à 4,4 milliards d'années, celui de certaines mers à 2 milliards d'années. Quant au manteau lunaire, il est constitué de quantités variables de silicates (olivine et pyroxène). Inconcevable avant Apollo 11, un océan de magma a même été mis au jour.

De nombreuses missions lunaires, tant robotiques qu'humaines, se succèdent entre les



## LE CNES EN ACTIONS

Le 31 juillet 1971, deux ans après l'alunissage historique d'Apollo 11, débarquait sur la Lune Apollo 15 avec à son bord les astronautes Jim Irwin et David Scott, ainsi que LRV (Lunar Roving Vehicle), le premier véhicule tout-terrain à rouler sur un autre corps céleste que la Terre.



6

années 1960 et 1970. Au total, 12 astronautes ont foulé le sol lunaire en l'espace de trois ans, 380 kg de roches et de régolithe ont été rapportées et un ensemble instrumental a été installé grâce à 5 missions consécutives pour recueillir de nouvelles données. Une partie des roches a été analysée par des milliers de scientifiques du monde entier. Ces échantillons ont éclairé la géologie lunaire : ses mers basaltiques, ses roches magnésiennes et alcalines, sa couverture de régolithe. Parmi les scientifiques ayant mené les analyses minéralogiques, de nombreux Français ont ainsi acquis un savoir-faire mondialement reconnu. Ces premières missions ont aussi permis de valider les technologies

### C'est le nombre

de missions d'exploration humaine menées par la NASA sur la Lune. Les derniers hommes à l'avoir foulée sont le scientifique Harrison Schmitt et l'astronaute Eugene Cernan dans le cadre de la mission Apollo 17, en décembre 1972.

d'alunissage et de sorties extra-véhiculaires, et de poser un premier diagnostic des incidences du vol habité sur les humains...

Le 15 juillet 1975, un rendez-vous orbital orchestré entre les vaisseaux Apollo et Soyouz marque un signe de détente entre Américains et Soviétiques. Les vols spatiaux habités sont désormais marqués du sceau de la fraternité; la coopération spatiale internationale est sur orbite.

### LA LUNE S'ÉCLIPSE

À son apogée dans les années 1970, l'exploration lunaire décline peu à peu pour des raisons plus terre à terre : une mission lunaire coûte cher, la guerre au Vietnam aussi. La



## LE CNES EN ACTIONS

réalité budgétaire ramène les États-Unis au pragmatisme. La réalité scientifique aussi : « En l'état des connaissances de l'époque, il n'y avait pas un grand intérêt scientifique à dépenser des milliards de dollars pour renvoyer un homme sur la Lune », commente Francis Rocard. D'autant que d'autres défis attendaient l'humanité et la communauté scientifique : Mars, Vénus, Mercure, Titan, les astéroïdes, les comètes... Autant d'illustres inconnus à appréhender. Dans le paysage spatial, la France, via le

CNES, a toujours fait preuve d'un grand volontarisme pour participer à l'aventure de l'exploration spatiale, avec les agences russes comme américaines. Aujourd'hui, dans le cadre de l'ESA ou par le biais d'accords bi ou multilatéraux, le CNES reste un partenaire central de missions à haut niveau scientifique comme Rosetta (comète Tchoury) ou Hayabusa-2 (astéroïde Ruygu). Il est aussi très engagé dans l'exploration de Mars avec des programmes toujours plus audacieux (Curiosity, InSight, Mars 2020, ExoMars, MMX, etc.).

### FRANCE

## LA LUNE : UN ENGAGEMENT CONSTANT

**Dans le domaine de l'exploration des planètes, le premier instrument français livré par le CNES aura été un réflecteur laser embarqué sur les Lunakhod soviétiques dans les années 1970.**

Cet instrument a été mis à profit pour développer une technologie naissante de tirs laser sur la Lune afin de mesurer, avec une précision centimétrique, non seulement la distance Terre-Lune mais aussi son éloignement progressif. Les missions Apollo ont ouvert d'autres voies comme l'analyse géochimique des échantillons lunaires.

Avec le soutien du CNES, c'est un savoir-faire sans précédent qui s'est développé en France. Ces progrès méthodologiques ont permis aux scientifiques français, dont ceux de l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP), de déterminer que l'intérieur de la Lune n'était pas homogène mais constitué d'une fine croûte, d'un épais manteau et d'un noyau dense (comme



celui de la Terre). En 1994, le CNES contribue à la mission américaine Clementine en élaborant un compresseur d'images qui a amélioré grandement les capacités de transmission des images de la sonde. Aujourd'hui, il reste un partenaire attentif et motivé. Dans l'optique de son séminaire de prospective scientifique de novembre 2019 (cf. p. 7), le

CNES a réuni le 1<sup>er</sup> mars à Paris l'ensemble de la communauté scientifique lunaire afin d'évaluer les perspectives actuelles d'étude de notre satellite naturel. Ce colloque a mis en évidence les zones d'ombre qui sont autant d'objectifs futurs pour les nombreuses missions prévues d'ici à 2030 par plusieurs pays.



## LE CNES EN ACTIONS



Illustration du projet de station spatiale en orbite lunaire, LOP-G.

# REVIREMENT LE RETOUR EN GRÂCE

*En ce début de XXI<sup>e</sup> siècle, le regain d'intérêt des missions lunaires est indiscutable mais peut étonner. Comment l'expliquer ? Quelles plus-values en attendre ? Encore une fois, la Lune concentre malgré elle de nombreux enjeux.*



Si Apollo a ouvert des brèches, la Lune présente plus que jamais un fort intérêt scientifique. « Depuis vingt ans, les méthodes d'analyse ont changé et les modèles de formation de la Lune ont évolué. On reconsidère aujourd'hui l'intérêt d'étudier la géologie lunaire pour mieux retracer son évolution, comprendre les évolutions Lune-Terre », explique Jean Blouvac, responsable du programme Exploration et vols habités au CNES. Dans un autre registre, sa face cachée est

protégée de la pollution électromagnétique de la Terre. Elle constitue de ce fait un excellent poste d'observation de l'Univers en radio-astronomie.

### LES BONNES RAISONS DE VISER LA LUNE

Mais comme souvent dans l'exploration spatiale, la science n'est pas la seule motivation. Et aujourd'hui, la Lune séduit aussi pour ses ressources. Dans la continuité logique de l'exploration spatiale, après l'orbite basse conquise par la Station spatiale internationale, la Lune semble être le passage obligé avant Mars. Car se poser un jour sur Mars n'est plus une utopie : « Techniquement, nous y sommes presque », estime Jean Blouvac. Et déjà, la perspective encore plus lointaine des astéroïdes géocroiseurs se dessine. Mais d'abord, il convient de caractériser les ressources lunaires pour déterminer si l'homme sera capable de les exploiter et de les utiliser. Si oui, la Lune peut servir de laboratoire, de banc de test. Elle pourrait même abriter une sphère d'activités et d'influences économiques au-delà de la Terre et de l'orbite basse.



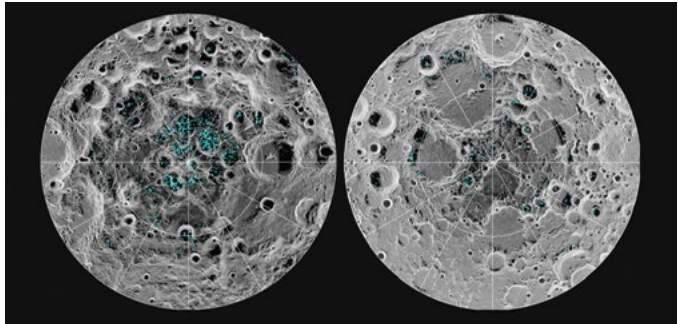
## LE CNES EN ACTIONS

### L'EAU COMME FACTEUR LIMITANT

Sans pouvoir la quantifier, la sonde américaine LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) a détecté en 2009 de la glace au fond de cratères froids situés aux pôles. L'eau est aussi très présente, de même que l'oxygène, dans le régolithe qui recouvre le sol lunaire. Or en matière de ressources lunaires, l'eau et l'oxygène sont les priorités. En cause : le coût de l'acheminement dans l'espace de ces ressources de première nécessité pour l'exploration spatiale. Ravitailler une future station spatiale lunaire depuis la Lune, plutôt que depuis la Terre, représenterait probablement une réduction des coûts. Par électrolyse, cette eau pourrait aussi fournir de l'oxygène et de l'hydrogène pour la fabrication d'ergols pour la propulsion. En orbite lunaire, à partir de ces ressources, une sorte de « station de ravitaillement » pour les vaisseaux spatiaux pourrait ainsi voir le jour... une solution plus rentable que de les ravitailler depuis la Terre. Par ailleurs, la Lune abrite aussi des ressources minières qui pourraient servir de matériau de construction. Dans un scénario sophistiqué, la roche lunaire (régolithe) pourrait être utilisée pour bâtir, en impression 3D, des structures habitables. Utopie d'hier, ce concept est sérieusement étudié aujourd'hui.

### PROSPECTION TOUS AZIMUTS

La phase de prospection a déjà commencé. Reste à s'aventurer plus avant vers les zones

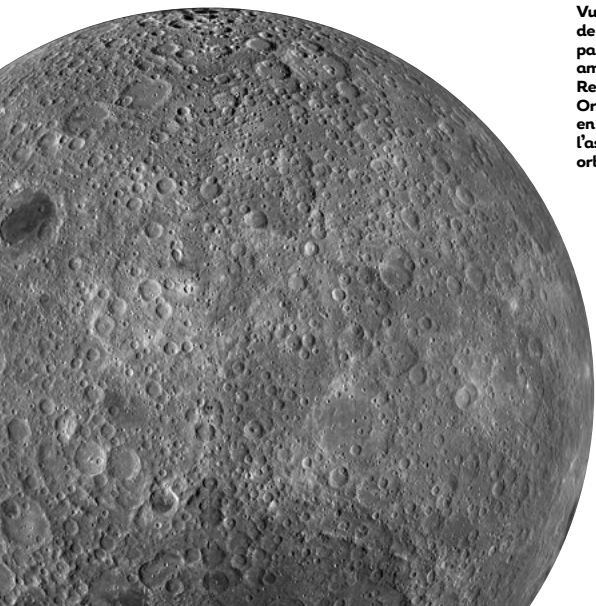


Répartition de la glace de surface au pôle Sud de la Lune (à gauche) et au pôle Nord (à droite), détectée par l'instrument américain Moon Mineralogy Mapper.

peu connues de la Lune comme les pôles et la face cachée, sur laquelle la Chine a déposé le rover Chang'e-4 en janvier 2019. Ramener des échantillons de ces nouveaux emplacements donnerait de nouvelles clés de compréhension aux quelque 400 kg prélevés sur une zone assez restreinte par les missions Apollo.

Les Américains multiplient les programmes prospectifs. Le projet de station lunaire LOP-G (Lunar Orbital Platform - Gateway), par exemple, va permettre à de nouveaux robots, mais aussi aux humains, de faire leur grand retour sur la Lune. Les nouvelles missions habitées permettront aux hommes d'apprendre à vivre et à bâtir en espace lointain. La station LOP-G est conçue comme une tête de pont pour fabriquer, par exemple, les véhicules appelés à aller, plus tard, sur Mars. Elle servira aussi de point de contrôle d'utilisation pour les ressources extraites, de « laboratoire intégré » pour analyser les répercussions des radiations sur les hommes, voire de base de secours pour les missions de surface lunaire. Située à quelques jours de la Terre – au lieu de quelques heures dans le cas de l'ISS –, elle augmentera le niveau d'autonomie de ces nouveaux pionniers, les rendant de moins en moins dépendants des commandes sol. Un passage obligé puisqu'à plus long terme, pour s'éloigner vers Mars avec des durées de missions de plusieurs années, les hommes devront apprendre à « décider et agir seuls. » Évidemment, les étapes restant à franchir sont encore nombreuses et très complexes, et mériteront un réajustement constant.

Vue de la face cachée de la Lune prise par la sonde américaine Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO), lancée en 2009, qui étudie l'astre depuis son orbite.





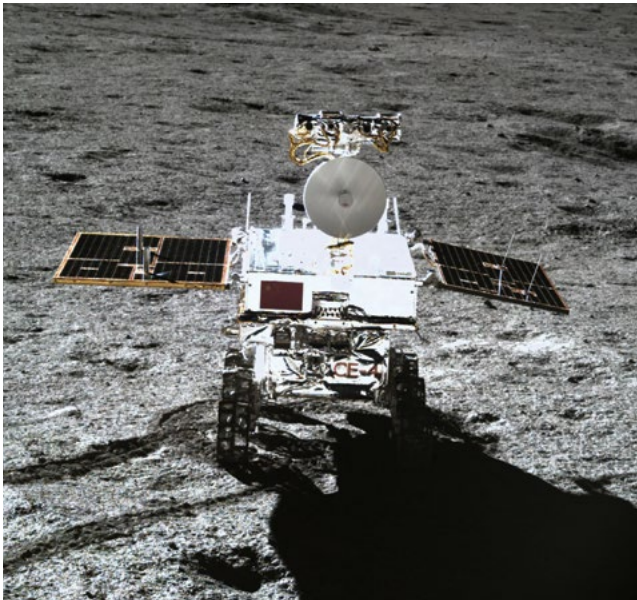


# TOUR D'HORIZON À L'ASSAUT DE L'ASTRE SÉLÈNE

*Pour les années à venir, plusieurs missions lunaires de grande envergure sont annoncées. Si la nécessité d'explorer fait consensus, les motivations, elles, diffèrent. Pour plus de robustesse à moindre coût, des synergies se développent néanmoins.*



Chang'e-1 et 2 ont orbité autour de la Lune, Chang'e-3 a déposé un premier rover à sa surface. Le 3 janvier 2019, en posant Chang'e-4 sur sa face cachée, les Chinois ont surpris le monde entier. Avec le programme Chang'e,



Pris par la sonde Chang'e-4 le 11 janvier 2019, le rover chinois Yutu-2 explore la face cachée de la Lune.

l'agence spatiale chinoise (CNSA) vise à lever un à un les obstacles à l'exploration de l'espace lointain : la complexité des technologies (comme l'autonomie de l'atterrissage lunaire), les communications longue distance mais aussi les contraintes thermiques particulièrement sévères.

## DU DÉFI TECHNOLOGIQUE...

Avec Chang'e-5, planifié pour fin 2019, l'agence spatiale chinoise testera le retour d'une capsule d'échantillons sur Terre. Chang'e-6 rapportera également des échantillons, mais cette fois depuis le pôle Sud de la Lune. Le 25 mars 2019, Jean-Yves Le Gall signait avec son homologue chinois un accord de coopération pour embarquer 15 kg d'expériences françaises sur cette mission : une première ! L'étape suivante, la dernière du programme, est déjà annoncée : Chang'e-8 testera des technologies clés pour la construction d'une base lunaire automatique. Dans moins de vingt ans, la Chine entend aussi envoyer un taïkonaute sur la Lune. En parallèle de son appétit lunaire, la CNSA veut aussi pousser plus loin les investigations vers Mars, Vénus et Jupiter.

Du côté indien, dix ans après avoir tourné autour de la Lune avec Chandrayaan 1, son agence spatiale (ISRO) envisage d'y retourner avec Chandrayaan 2 pour y déposer un orbiteur, un atterrisseur et un rover. Comme pour la Chine, il s'agit d'un programme d'ordre plus technologique que scientifique. Repoussé à trois reprises, son lancement devrait malgré tout avoir lieu cette année.

À son tour, le 22 février 2019, Israël est entré dans la danse. L'atterrisseur israélien Beresheet est parti pour la Lune. Fabriqué par une entreprise privée, SpacelL, l'engin spatial était conçu pour une durée de vie de deux jours sur la surface de la Lune... Il s'est malheureusement écrasé à l'alunissage le 11 avril. Beresheet était avant tout, pour Israël, une mission de prestige. Ce qui ne l'a pas empêché de nouer un accord avec la NASA pour contribuer à un service commercial d'emport de charges utiles sur la Lune.



## LE CNES EN ACTIONS



L'exploitation de la Lune permettrait de tester de nouvelles technologies en prélude à l'établissement de colonies sur Mars.

### ... À L'OCCUPATION DURABLE

Les projets les plus ambitieux viennent, logiquement, d'outre-Atlantique. En 2017, la NASA s'est engagée dans la réalisation d'une station spatiale en orbite lunaire baptisée LOP-G (cf. p. 24). Pour la desservir, l'agence américaine développe un lanceur lourd SLS (*Space Launch System*) et un vaisseau de transport d'équipage, Orion. Cette infrastructure orbitale pourrait être le « passage obligé » vers de nouvelles destinations lointaines, Mars bien sûr, et au-delà. Elle serait aussi dotée de modules de services. Dans ses fonctions, on retrouve un fort héritage de l'ISS. Et comme pour cette dernière, la conception fera appel à des collaborations internationales. Le Japon devrait par exemple participer de manière active au projet. L'agence spatiale russe, elle, a déjà signé un premier engagement en 2017. En mars 2019, le Canada (ASC) a également annoncé qu'il développerait le

bras robotique de la station et s'impliquerait dans des développements technologiques. L'Europe sera évidemment de la partie. Forte de l'expérience acquise sur l'ATV (les cinq véhicules automatiques de transport à destination de la Station spatiale internationale contrôlés depuis le CNES, à Toulouse), elle s'investit dans le développement des modules de service d'Orion. En novembre 2018, elle a livré le premier d'entre eux, ESM 1 (*European Service Module*). Il couvrira les besoins en énergie, en propulsion, en régulation thermique, en air et en eau d'Orion. L'ESA a aussi mis à l'étude deux modules pressurisés (I-HAB et Esprit) que la conférence ministérielle Space19+ (cf. p. 9) validera ou non. Le cas échéant, la construction pourrait débuter dans les années 2020 et Gateway pourrait être achevée en 2027. Quoi qu'il en soit et quels que soient les partenaires, le CNES fera partie de l'aventure lunaire.



MATIÈRE

# PIÈGES À GAZ

**L'EXPLORATION PLANÉTAIRE FOURNIT L'OCCASION DE RECHERCHER LES MOINDRES INDICES DE VIE PASSÉE TELS QUE CERTAINS GAZ PIÉGÉS À L'INTÉRIEUR D'ÉCHANTILLONS COLLECTÉS SUR PLACE.**

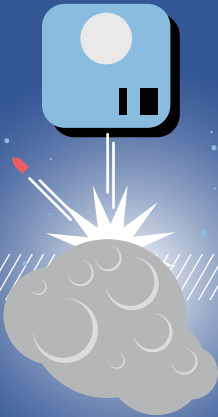
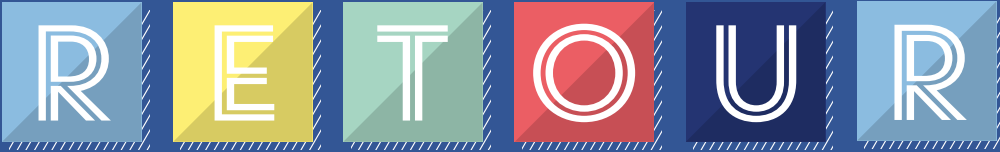
Les instruments Moma<sup>1</sup> pour ExoMars et pour Europa Lander emporteront des analyseurs de gaz déjà utilisés avec Rosetta. La séparation des composés est obtenue par leur vaporisation et l'injection des gaz dans des colonnes de chromatographie en phase gazeuse. Les gaz suivent un cheminement complexe jalonné de vannes dont le fonctionnement dépense de l'énergie. Le Lisa a conçu des microvannes de 10 g qui associent économie d'énergie, gain de masse et de place. En collaboration avec le CNES et les laboratoires, Air Liquide Advanced Technologies a fabriqué un prototype et des modèles de qualification.

Aujourd'hui qualifiées pour être placées dans des instruments scientifiques pour l'Espace, certifiées, ces microvannes pourront être utilisées dans des applications industrielles et dans tous les secteurs d'activité où des vannes de régulation sont nécessaires.

1. Mars Organic Matter Analyser, ensemble instrumental dont les éléments sont développés par le Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques (Lisa) et le Laboratoire Atmosphère Océan et Surface continentales (Latmos).

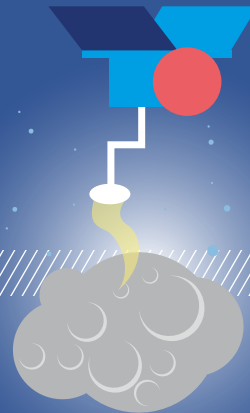


## INSTANTS T



### **FIN 2020** **POUSSIÈRES** **DE RYUGU**

*En octobre 2018, la sonde japonaise Hayabusa-2 larguait à la surface du petit astéroïde Ryugu trois rovers et le module franco-allemand Mascot. En février 2019, la sonde a réussi son premier prélèvement : elle n'a eu que quelques secondes pour lancer un projectile et prélever les poussières soulevées. L'objectif des 18 scientifiques de ce programme est de ramener 100 milligrammes de matière. Une nouvelle tentative pourrait avoir lieu si le contexte est favorable. En décembre 2019, Hayabusa-2 quittera l'astéroïde avec ses échantillons et entamera son retour sur Terre prévu pour la fin 2020.*



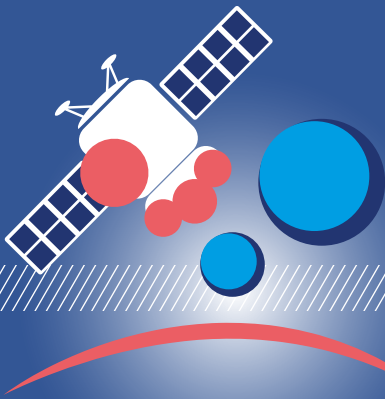
### **SEPTEMBRE 2023** **PARTICULES** **DE BENNU**

*Le 3 décembre 2018, la sonde américaine Osiris-Rex approchait Bennu, un astéroïde surveillé car son orbite pourrait couper celle de la Terre à la fin du XXII<sup>e</sup> siècle. Mais Bennu intéresse aussi pour ses minéraux hydratés. Défini comme corps céleste « carboné et primitif », il pourrait fournir de précieuses indications sur l'origine de la vie. L'objectif de la mission est de ramener entre 60 g et 2 kg de matière. Pour cela, la sonde utilisera une méthode innovante : un cylindre fixé au bout d'un bras « remuera » la surface et propulsera un jet d'azote pendant quelques secondes pour aspirer les poussières. Retour prévu en septembre 2023.*



## INSTANTS T

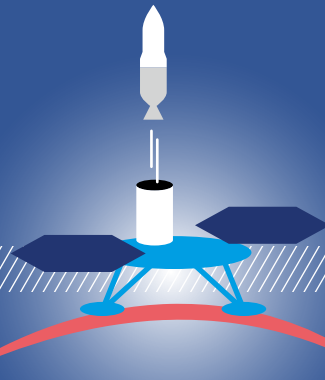
UNE FOIS PRÉLEVÉS SUR DES CORPS CÉLESTES, LES ÉCHANTILLONS ENTAMENT UN LONG VOYAGE POUR ÊTRE RAPATRIÉS SUR TERRE PUIS ANALYSÉS EN LABORATOIRE. PLUSIEURS DE CES ÉCHANTILLONS DEVRAIENT NOUS REVENIR DANS LES ANNÉES À VENIR. PATIENCE...



**2029**

### FRAGMENTS DE LUNES MARTIENNES

*Nouvelle preuve d'excellence de la collaboration franco-japonaise, la mission MMX (Martian Moons Exploration) accostera sur les lunes martiennes Deimos et, surtout, Phobos, qui pourrait renfermer des matériaux marqueurs de la formation du Système solaire. En seconde intention, les poussières et petits agrégats de Phobos pourraient aussi livrer des informations sur la planète rouge. Très investie dans les missions martiennes (Mars 2020, ExoMars, Mars Sample Return), la France fournira l'instrument de mesure minéralogique de la mission. Départ prévu en 2024 pour un retour d'échantillons envisagé en 2029.*



**2031**

### ÉCHANTILLONS MARTIENS

*Estampillée NASA-ESA, la mission Mars Sample Return doit ramener des échantillons martiens. Rien que ça ! En 2021, le rover Mars 2020 (cf. p. 10) devrait se poser sur Mars. Il stockera dans 31 tubes de la taille d'un stylo les échantillons que la caméra SuperCam aura sélectionnés. Ensuite, un autre rover viendra les récupérer pour les acheminer à un petit lanceur qui les placera en orbite martienne. Enfin, un orbiteur les capturera et ils seront ramenés vers la Terre, où une capsule traversera l'atmosphère pour les déposer dans l'Utah, vers 2030. Aujourd'hui, la première étape a débuté : depuis 2017, le rover Mars 2020 est en construction.*



RENCONTRES

# ATHÉNA COUSTENIS

Directrice de recherche CNRS au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation  
en astrophysique à l'Observatoire de Paris

« La Lune est un tremplin vers une exploration humaine de Mars »



D'une énergie peu commune, Athéna Coustenis doit tenir de l'Olympe de sa Grèce natale. « Je devrais aller sur Titan, où une journée dure dix-huit jours terrestres! » plaisante l'astrophysicienne. **Impliquée au quotidien dans plusieurs missions d'exploration spatiale, elle préside quatre grands comités dédiés à la question** pour la Fondation européenne de la science, l'ESA, le CNES et le Cospar (Committee on Space Research). Avec un rôle consultatif, ils réunissent les meilleurs experts scientifiques pour aider à statuer sur les missions à prendre en charge aux niveaux national et européen. Selon Athéna Coustenis, « l'irruption du secteur privé nous emmène au-delà de la

science, et les agences spatiales doivent s'adapter. Au Ceres – le Comité d'évaluation sur la recherche et l'exploration spatiales –, nous étudions 230 propositions de la communauté scientifique pour que le CNES puisse, en fin d'année, annoncer la nouvelle stratégie française. » **Car l'exploration spatiale vit une ère incroyable. « Avant, l'habitabilité s'arrêtait à Mars mais on se rend compte que le concept peut s'étendre beaucoup plus loin »,** explique l'astronome. Après la sonde Cassini-Huygens et ses révélations sur Titan, la lune de Saturne, elle travaille sur la mission Juice pour aller visiter celles de Jupiter. Cet orbiteur de l'ESA ira vers Ganymède et celui

de la NASA vers le satellite naturel Europe. « La collaboration est une nécessité. **Je suis heureuse de constater qu'il n'y aura pas de duplication mais des missions complémentaires, c'est un équilibre auquel nous sommes très attentifs dans les comités »,** précise l'observatrice. Dans ce contexte, le regain d'intérêt pour la Lune est une suite logique où l'Europe a toute sa place. Selon l'experte, « nous irons là-bas pour, un jour, installer une base mais aussi pour comprendre la formation de la Terre et, grâce à son environnement silencieux aux ondes radio, explorer l'Univers primitif. La Lune est un tremplin vers une exploration humaine de Mars, voire plus loin. »



RENCONTRES

# PHILIPPE ACHILLEAS

Directeur de l'Institut du droit de l'espace et des télécommunications (Idest)  
à l'université Paris Sud

« La solution sera, de toute façon, dans le droit international »



Diplômé en droit international, Philippe Achilleas planche sur sa thèse dédiée à la télévision par satellite lorsqu'il est « happé » par le spatial. Soutenu par le CNES, qui souhaite voir émerger un centre français de formation et de recherche en droit de l'espace, il fonde l'Idest en 2000.

**« Nous avons formé des étudiants de plus de 68 nationalités » se réjouit-il. Leur base de travail ? Le traité de l'Espace, ratifié en 1967.** L'article IV prévoit une utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique et l'article II rappelle la non-appropriation de l'espace et des corps célestes. **Mais récemment, les États-Unis et le Luxembourg ont adopté des lois nationales autori-**

**sant l'exploitation commerciale des ressources des corps célestes** (eau, métaux rares, etc.). S'il s'agit, pour l'instant, d'extraire des ressources en vue de missions spatiales, d'autres desseins se profilent. Si aucun pays ne proteste, c'est que tous ont des intérêts communs et besoin de l'appui du secteur privé. *« Nous nous dirigeons vers une exploitation des ressources, c'est un fait. Il est regrettable que certains États adoptent des politiques unilatérales sachant que la solution sera, de toute façon, à rechercher dans le droit international. »* Et de rappeler que le traité de l'Espace, signé durant la guerre froide, a été rédigé pour ne pas répéter dans l'es-

pace les mêmes erreurs que sur Terre, et ainsi éviter la course au profit et l'armement. *« Nous devons réhabiliter cet idéal pour trouver un équilibre entre la recherche du profit, la protection de l'environnement et le bien-être de tous »*, estime le juriste.

**Aujourd'hui, la seule institution légitime pour développer le droit de l'espace est l'ONU, qui compte déjà parmi ses rangs des étudiants de Philippe Achilleas.** Voyageur invétéré, le professeur emmène ses élèves au bout du monde pour « les ouvrir à d'autres cultures et les sortir de leur confort afin qu'ils réalisent l'importance et la grandeur du spatial ».



RENCONTRES

# MICHEL VISO

Responsable de l'exobiologie et de la protection planétaire au CNES

« Au moindre doute sur l'intégrité du boîtier d'échantillons, on le réoriente pour qu'il aille se perdre vers le Soleil »



« Les choses intéressantes ne se font pas avec des enfants sages! » C'est l'entrée en matière de Michel Viso, garçon justement « dissipé et rebelle », d'abord vétérinaire puis ingénieur de recherche avant d'être retenu comme spationaute de la mission Rhesus. Dans ce cadre, il prépare l'emport de singes en orbite. Ni l'homme ni les singes ne voleront finalement, mais **Michel Viso aura trouvé une nouvelle voie : l'exobiologie. Désormais, il traquera les formes de vie extraterrestres et cherchera à comprendre le rôle de la chimie interstellaire dans l'émergence de la vie sur Terre.** Règle n° 1 : pister l'eau liquide, présente partout dans le Système solaire. « Sur

Europe, satellite de Jupiter, l'épaisse croûte de glace dissimule un profond océan. La dynamique planétaire provoque un volcanisme sous-marin pouvant conduire à la formation de nombreux composés chimiques et à des réactions s'enchaînant jusqu'à initier un métabolisme. Plus loin, autour de Saturne, Encelade, qui éjecte des panaches de vapeur d'eau et des cristaux de glace contenant de la matière organique, est aussi une cible prioritaire pour l'exobiologie », raconte le spécialiste. **Assidûment étudiée, Mars, avec ses vestiges de rivières ou de mers, concentre l'intérêt des scientifiques. Rapporter des échantillons devient aujourd'hui indispensable.**

Afin de préserver la Terre du risque de propagation d'un éventuel micro-organisme martien, l'Europe et les États-Unis mettront en œuvre des mesures de « protection planétaire ». Notamment, un système de retour étanche. « Au moindre doute sur l'intégrité du boîtier d'échantillons, on le réoriente pour qu'il aille se perdre vers le Soleil. Pour protéger leurs caractéristiques originelles autant que la biosphère terrestre, les prélèvements sont stockés et étudiés dans des laboratoires de très haute sécurité biologique. **Nous sommes curieux mais conscients : nous prenons les précautions qu'impose notre manque de connaissances!** » conclut le chercheur de vie.



Historien des sciences  
et théologien,  
Jacques Arnould  
est chargé de mission  
pour les questions  
éthiques au CNES.



## ESPACE ÉTHIQUE



JACQUES ARNOULD

# LA LUNE **M'A DIT...**

*Jadis, les anciens considéraient la Lune comme le poste-frontière entre la Terre, notre « petit cachot » comme l'écrivait Pascal, et le cosmos à l'insupportable et inaccessible perfection. Il y a cinquante ans, des hommes y posaient le pied. Un acte sacrilège ou un geste sans conséquences ?*

**Q**uelle étrange relation entretenons-nous avec l'astre de nos nuits. Pendant des siècles, des millénaires peut-être, il n'a pas cessé de nous fasciner, d'attirer notre regard une fois le soleil disparu et de nous effrayer avec sa pâle figure. Mais une fois la Lune décrochée, une fois son sol empreint des pas d'Armstrong et d'Aldrin, nous nous en sommes comme détournés. Le bond prévu, prophétisé par le « premier homme », ne nous a pas menés au-delà de la mer de la Tranquillité. Comme si notre curiosité, nos intérêts nous avaient emportés ailleurs. Aurions-nous été déçus par celle qu'Aldrin décrivait comme une « magnifique désolation » ? Ne nous serions-nous pas plus vraisemblablement trompés dans nos attentes, dans nos demandes ? Les artistes d'Indochine ont peut-être raison : la Lune n'a pas l'habitude de s'occuper des cas comme le nôtre.

### INDIFFÉRENCE LUNAIRE

Quelques mois après l'exploit d'Apollo 11, Jacques Monod avait déjà tiré les leçons de l'apparente indifférence de la Lune et de l'Univers : il nous revient, à nous les humains de « choisir entre le Royaume et les ténèbres » ; nous ne pouvons plus reporter les responsabilités qui nous incombent sur d'autres épaulées, à d'autres consciences que les nôtres.

« J'ai demandé à la lune  
Si tu voulais encore de moi  
Elle m'a dit "j'ai pas l'habitude  
De m'occuper des cas comme ça". »

(Indochine, J'ai demandé à la Lune, 2002)

En réalisant l'un des plus anciens rêves de l'humanité, en dépassant bien des limites de nos connaissances et de nos compétences techniques, nous avons acquis un regard nouveau sur notre planète et, l'ayant découverte en danger, nous nous sentons plus responsables de son avenir comme de notre avenir.

Plus d'un demi-siècle d'aventure, d'entreprise spatiale, nous ramène en fin de compte à une forme de sagesse humaniste : aussi loin que nous mèneront nos pas, sur la Lune et un jour peut-être au-delà car nous sommes nés explorateurs, notre odyssee humaine continuera à avoir pour origine notre terrestre et humaine condition. Sans doute l'homme doit-il toujours chercher à dépasser l'homme, mais sans jamais perdre ni pied, ni raison.

#### À lire !

Jacques Arnould est l'auteur de *La Lune m'a dit. Cinquante ans après le premier homme sur la Lune*, Paris, Éditions du Cerf, 2019, 175 pages.



EN VUE

## EXPOSITIONS CORDES- SUR-CIEL

Lieu privilégié d'échanges et de rencontres entre le CNES et le grand public, l'événement « Le Ciel sur Cordes », en partenariat avec la municipalité, se déroulera mi-juillet. Pour l'occasion, une exposition retraçant l'aventure lunaire depuis Apollo 11 jusqu'à nos jours, voire au-delà, sera visible à la maison Fonpeyrouse. Ouvert à tous, un cycle de conférences sera animé le soir du 19 juillet sous la halle de 20 h 30 à 22 h 30. Quant aux plus jeunes, des ateliers ludiques et pédagogiques leur seront proposés durant toutes les festivités.

## PARIS

Après une exposition en 2007 à l'occasion des cinquante ans de la conquête spatiale, le CNES revient cet automne sur les grilles du jardin du Luxembourg avec une série de quatre-vingts images sur l'exploration spatiale, en cette année d'hommage aux cinquante ans de l'homme sur la Lune. De l'orbite basse aux corps célestes les plus mystérieux, c'est un grand voyage au cœur du Système solaire qui ornera les grilles. Exposition du 22 septembre 2019 au 15 janvier 2020.



## SALON DU BOURGET

Comme pour chaque édition, le CNES met un point d'honneur à présenter au public les activités spatiales françaises en mariant une qualité de contenus avec un angle original et attractif. D'un design résolument « rétro-futuriste », le pavillon du CNES valorise l'innovation, qu'il s'agisse de lanceurs, de satellites ou d'applications. Un espace-rencontre permettra de dialoguer tous les jours avec des experts sur une multitude de thématiques. Des écrans LED géants, un dispositif holographique et des maquettes inédites constitueront des points d'attraction, sans oublier un passage dans une mystérieuse salle pour une photographie... en impesanteur!



LES YEUX AU CIEL

# MERCURE EN TRANSIT

**Vous l'avez manqué le 7 mai 2003 et le 9 mai 2016, préparez-vous :**

Mercure passera entre la Terre et le Soleil le 11 novembre 2019. Un alignement parfait n'est ni régulier ni fréquent : il faudra d'ailleurs attendre novembre 2032 puis mai 2049 pour que le phénomène se reproduise. Pour apercevoir cette minuscule tête d'épingle en plein cœur du Soleil, il faudra se trouver en Amérique, en Afrique ou en Europe et disposer, bien sûr, d'un équipement de protection !



## BOUQUINS

### L'espace en tête

Des prouesses les plus extraordinaires aux usages les plus quotidiens, découvrez la grande épopée de l'histoire spatiale dans un livre inspiré des chroniques quotidiennes de Jean-Yves Le Gall, président du CNES, diffusées sur Europe 1 durant l'été 2018.

Editions Michel Lafon.



EN VUE

EUCLID

# INSPIRATIONS



En novembre, le séminaire Euclid<sup>1</sup> auscultait le « côté obscur » de l'Univers.

Mathilde Jallot, elle, en voyait l'aspect vibronnant, les mouvements convulsifs, la brillance de l'atmosphère. Elle en a fait une traduction particulièrement remarquée. Conçu comme une performance dans l'atelier « Laque », son « Théâtre de la matière noire » se décline en trois panneaux martelés de courbes esthétiques dupliquées à l'infini; l'énergie sombre a ici pris de belles

couleurs dans tout le nuancier des teintes chaudes. Réalisée dans le cadre d'un partenariat CNES-Ensaama<sup>2</sup>, cette œuvre était visible au Grand Palais lors du salon « Révélation », biennale des métiers d'art et création du 23 au 26 mai 2019. Artiste en résidence au Laboratoire d'astrophysique de Marseille (LAM), Caroline Corbasson a aussi exploré l'univers d'Euclid. Elle a fait son miel de tout, du technique comme de l'humain : collecte de matériaux, de données, de documents, prises de vues filmées et photographiques, prises de sons, captation de la méticulosité des hommes... De ces richesses amassées puis assemblées, elle a tiré le court-métrage « Le voyage avant le voyage ». Encensé par la critique, ce film sera présenté, ainsi qu'une installation spécifique, au Frac Provence-Alpes-Côte d'Azur du 28 juin au 22 septembre 2019.

1. Télescope spatial dont le lancement est planifié pour 2022.

2. École nationale supérieure des arts appliqués et des métiers d'arts.



## AGENDA

### AVRIL À NOVEMBRE

2019 : année Lune  
*Cité de l'espace, Toulouse*

### 17-23 JUIN

53<sup>e</sup> édition du Salon international de l'aéronautique et de l'espace  
*Le Bourget*

### 15 AU 19 JUILLET

Le Ciel sur Cordes  
*Cordes-sur-Ciel (81)*

### 8 AU 10 OCTOBRE

Séminaire de prospective  
*Le Havre*

### NOVEMBRE

Space19+  
*Séville (Espagne)*

## SITE WEB

### Tchoury comme vous ne l'avez jamais vue

Chaussez vos lunettes 3D et embarquez pour un voyage inédit. À l'initiative du CNES, le nouveau site Web [rosetta-3dcomet.cnes.fr](http://rosetta-3dcomet.cnes.fr) publie 1500 anaglyphes (images stéréoscopiques) de la surface de la comète Tchoury visitée par la sonde Rosetta entre 2014 et 2016. Falaises, cavités, plaines... découvrez l'immense variété des paysages façonnés par 4,5 milliards d'années passées à parcourir le Système solaire.



TRANSFERT

# PROCÉDÉ LA PUISSANCE DU RECYCLAGE

*Est-il cohérent d'utiliser de l'eau potable pour nos toilettes ? La société Firmus ne se contente pas de clamer sa désapprobation, mais propose une alternative. Conçu pour les vols spatiaux, son procédé de recyclage des eaux grises baptisé « FGWRS » peut s'appliquer à nos habitats.*

**D**ouche, lave-linge, piscine... Plus de la moitié de l'eau consommée par un foyer n'est que faiblement polluée. Le système « FGWRS » permet de réutiliser ces eaux dites grises pour les mêmes usages. Pour ce faire, un assemblage d'étages de filtration par membranes s'intercale entre deux réseaux de collecte (eaux grises et noires) et deux réseaux de distribution (eau potable et recyclée). Développé à la demande conjointe du CNES et de l'ESA, le système alimente depuis 2005 la station franco-italienne Concordia, où une quinzaine de scientifiques (soit l'équivalent d'un équipage de vol de longue durée) passent l'hiver polaire en totale autonomie.

## RÉPONDRE AUX ENJEUX DE DEMAIN

Capable de s'adapter au rythme et au volume des usages, Firmus souhaite désormais étendre son système aux habitations collectives dans un premier temps. Dans cette optique, l'entreprise s'est entourée de compétences complémentaires avec Sherpa Engineering (modélisation), MRI (traitements d'eau amont et aval) et Dalkia Smart Building (valorisation énergétique). « Investir aujourd'hui dans le recyclage des eaux grises, c'est permettre, demain, de lutter contre le stress hydrique et les effets du changement climatique pour préserver la ressource en eau potable. Ces technologies de recyclage ne sont pas autorisées en France mais Monaco nous a accueillis pour tester le procédé dans un hôtel. En complément des résultats très probants de Concordia, nous allons pouvoir démontrer qu'il n'y a aucun risque à réutiliser les eaux grises », défend Pierre Magnes, Directeur général de Firmus.

FR

> 80%

**des eaux  
grises**  
peuvent être recyclées  
avec une qualité parfaite  
grâce au procédé  
« FGWRS ».