POP' SCIENCES
Université de Lyon

POP'SCIENCES
MAG #18 - NOVEMBRE 2026

ESPACE : EXPLORER SANS LIMITES ?



1 MAGAZINE + 1 PORTAIL WEB POUR PARTAGER LES SAVOIRS
popsciences.universite-lyon.fr

ASTROPHYSIQUE
À la recherche des plus lointaines origines de l'Univers

GENÈSE
Aux origines de la vie : le mystère du passage au vivant

EXPLORATION
Conquête spatiale : de nouvelles ambitions à l'épreuve du réel

GÉOPOLITIQUE
Dans l'espace, une compétition aux confins du visible

CULTURE
Du ciel à l'Univers : entre imaginaires et sciences

ÉDITO

Source de fascination, d'interrogation, d'imagination mais aussi d'inquiétude, l'espace a toujours captivé les scientifiques, les inventeurs, les penseurs, les décideurs et les observateurs curieux.

Du lancement de télescopes de plus en plus perfectionnés à l'étude des confins de l'Univers, en passant par la mise en orbite de milliers de satellites, l'exploration et la conquête spatiales ne cessent de s'amplifier. L'année 2026 a notamment été riche en évènements : mission Artemis II, départ de la française Sophie Adenot dans la station spatiale internationale, premier sommet international sur l'espace…

À l'heure du dérèglement climatique, de crises géopolitiques de plus en plus nombreuses, de la raréfaction de nos ressources, quels nouveaux défis, quelles opportunités et limites sont attachés à l'exploration de l'espace ? Quels impacts auront sur nos vies les recherches qui y sont conduites ? Quels enjeux de société y sont associés ? Devons-nous réguler et encadrer les usages de l'espace et les activités qui y sont menées ?

Astronomie, philosophie, géologie, droit, ingénierie, géopolitique… grâce au croisement de l'expertise des scientifiques de ces disciplines, notamment issus du site universitaire Lyon Saint-Étienne, nous vous proposons un éclairage de ces enjeux spatiaux, à fort ancrage terrestre.

Je vous souhaite une très bonne lecture de ce Pop'Sciences Mag !

Nathalie Dompnier
Présidente de la ComUE Université de Lyon

Ce numéro a été réalisé grâce à la contribution de scientifiques issus des établissements et instituts suivants :

Lyon 1 Université, Université Lumière Lyon 2, Université Jean Moulin Lyon 3, Université Jean Monnet Saint-Étienne, Université Gustave Eiffel, Université Côte d'Azur, Université de Bordeaux, École normale supérieure de Lyon (ENS de Lyon), Sciences Po Lyon, École des hautes études en sciences sociales (EHESS), Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Centre national d'études spatiales (CNES), Collège de France, Fondation pour la recherche stratégique, Institut d'études de stratégies et de défense de Lyon, Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (ISAE-SUPAERO), Muséum national d'histoire naturelle, Société française d'astronomie et d'astrophysique.

SOMMAIRE

04
ASTROPHYSIQUE
À LA RECHERCHE DES PLUS LOINTAINES ORIGINES DE L'UNIVERS



02
EN UN CLIN D'ŒIL
QUAND LE PROGRÈS SPATIAL S'INVITE DANS NOTRE QUOTIDIEN





18
FOCUS
PAS SI SEUL SUR MARS : LYON EN LIAISON DIRECTE AVEC LE ROVER PERSEVERANCE

12
GENÈSE
AUX ORIGINES DE LA VIE : LE MYSTÈRE DU PASSAGE AU VIVANT



20
EXPLORATION
CONQUÊTE SPATIALE : DE NOUVELLES AMBITIONS À L'ÉPREUVE DU RÉEL ?



26
EN UN CLIN D'ŒIL
QUELLE PRÉSENCE HUMAINE DANS L'UNIVERS ?



28
FOCUS
QUELLE GESTION POUR NOS DÉBRIS SPATIAUX ?



36
CULTURE
DU CIEL À L'UNIVERS : ENTRE IMAGINAIRES ET SCIENCES





30
GÉOPOLITIQUE
DANS L'ESPACE, UNE COMPÉTITION AUX CONFINS DU VISIBLE

QUAND LE PROGRÈS SPATIAL S'INVITE DANS NOTRE QUOTIDIEN

Quelles avancées technologiques et scientifiques concrètes ont été rendues possibles, pour le Terrien, par les progrès de l'exploration spatiale ? Quelles applications et utilisations en ont découlé pour nos sociétés ? Zoom sur quelques procédés et objets qui améliorent notre confort, notre santé, nos capacités de prévision et d'étude et que nous devons à l'espace...



ÉTUDE DE LA MÉTÉO ET DU CLIMAT



Grâce aux satellites, de précieuses données sont recueillies permettant aux spécialistes de réaliser des prévisions météorologiques, mais également de suivre et étudier le dérèglement climatique. Les données spatiales permettent, notamment, de calculer la température moyenne, mesurer les gaz à effet de serre, observer les nuages et les courants océaniques. Des outils indispensables pour évaluer les effets de nos activités sur notre planète.



3,7 mm/an : vitesse de la hausse du niveau des mers depuis 2006, observée grâce à des satellites d'altimétrie, dont la précision inégalée a révolutionné la connaissance des océans.

PHOTOGRAPHIE NUMÉRIQUE : LES



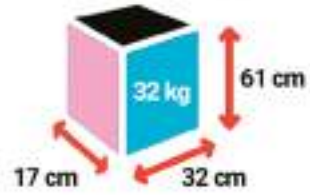
Les CCD, des capteurs photographiques, ont révolutionné l'observation astronomique. Inventés en 1969, ils sont à l'origine de la photographie numérique. Ils permettent d'obtenir une image beaucoup plus précise en un temps nettement plus court. Par la suite, une équipe d'ingénieurs de la NASA et de l'Université Caltech a amélioré cette



ORDINATEUR À CIRCUIT INTÉGRÉ

Le projet spatial Apollo de la NASA a permis l'envoi d'hommes sur la Lune de 1961 à 1972. La clé de son succès fut l'ordinateur de navigation et de pilotage à la puissance inédite, l'Apollo Guidance Computer, embarqué à bord des vaisseaux. Sa miniaturisation a été possible grâce au procédé du circuit intégré. Appelé aussi puce électronique, ce composant basé sur un semi-conducteur reproduit des fonctions électroniques dans un volume réduit (une petite plaque). Cette avancée fut décisive pour les développements ultérieurs en matière de programmation informatique.

En 1969, un ordinateur classique occupait un espace comparable à celui d'une grande pièce.



Ci-dessus, les dimensions du 1er ordinateur à circuit intégré.

GÉOLOCALISATION PAR SATELLITES

Le 4 octobre 1957 est lancé le tout premier satellite artificiel : Spoutnik 1. Moins d'un an plus tard, George Weiffenbach et William Guier, physiciens à l'Université John Hopkins aux États-Unis, découvrent qu'il est possible de déterminer la position exacte du satellite grâce au signal qu'il émet. Ils décident alors de travailler sur le phénomène inverse : localiser un point sur Terre grâce aux satellites. Naît ainsi le concept de géolocalisation par satellites nous permettant de trouver aujourd'hui notre chemin sans la moindre difficulté.

En 2025, près de 140 satellites de positionnement tournent autour de la Terre.

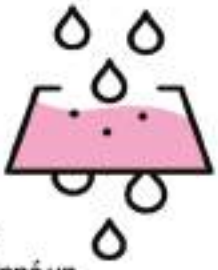
CAPTEURS CCD ET CMOS



technologie et a donné naissance aux capteurs CMOS dans les années 1990. Des capteurs présents aujourd'hui sur tous nos smartphones.

En 1990, le télescope spatial Hubble est lancé, avec à son bord 2 caméras à capteurs CCD.

PURIFICATEUR D'EAU



Les technologies de filtration d'eau existent depuis plusieurs siècles, mais certaines de leurs versions modernes sont héritées des travaux de la NASA. Pour sa mission Apollo 11 de 1969, elle a développé un purificateur d'eau, à base d'ions argent pour détruire les bactéries. Une méthode sans chlore, qui a été brevetée, et a trouvé de nombreux débouchés pour le traitement de l'eau des piscines, des fontaines ou encore des étangs.



Le premier appareil de purification d'eau ne pesait que 255 mg.

MOUSSE À MÉMOIRE DE FORME



Dans le but d'atténuer les chocs ressentis par les astronautes, lors du décollage et de l'atterrissage des fusées, la NASA a créé, dans les années 1960, un matériau capable d'absorber et de répartir uniformément la pression pour améliorer le confort de leurs sièges. Sa matière, à base de latex, est à la fois visqueuse et élastique et épouse la morphologie du corps. Elle est largement répandue aujourd'hui dans la fabrication des articles de literie (matelas, oreillers).

THERMOMÈTRE INFRAROUGE

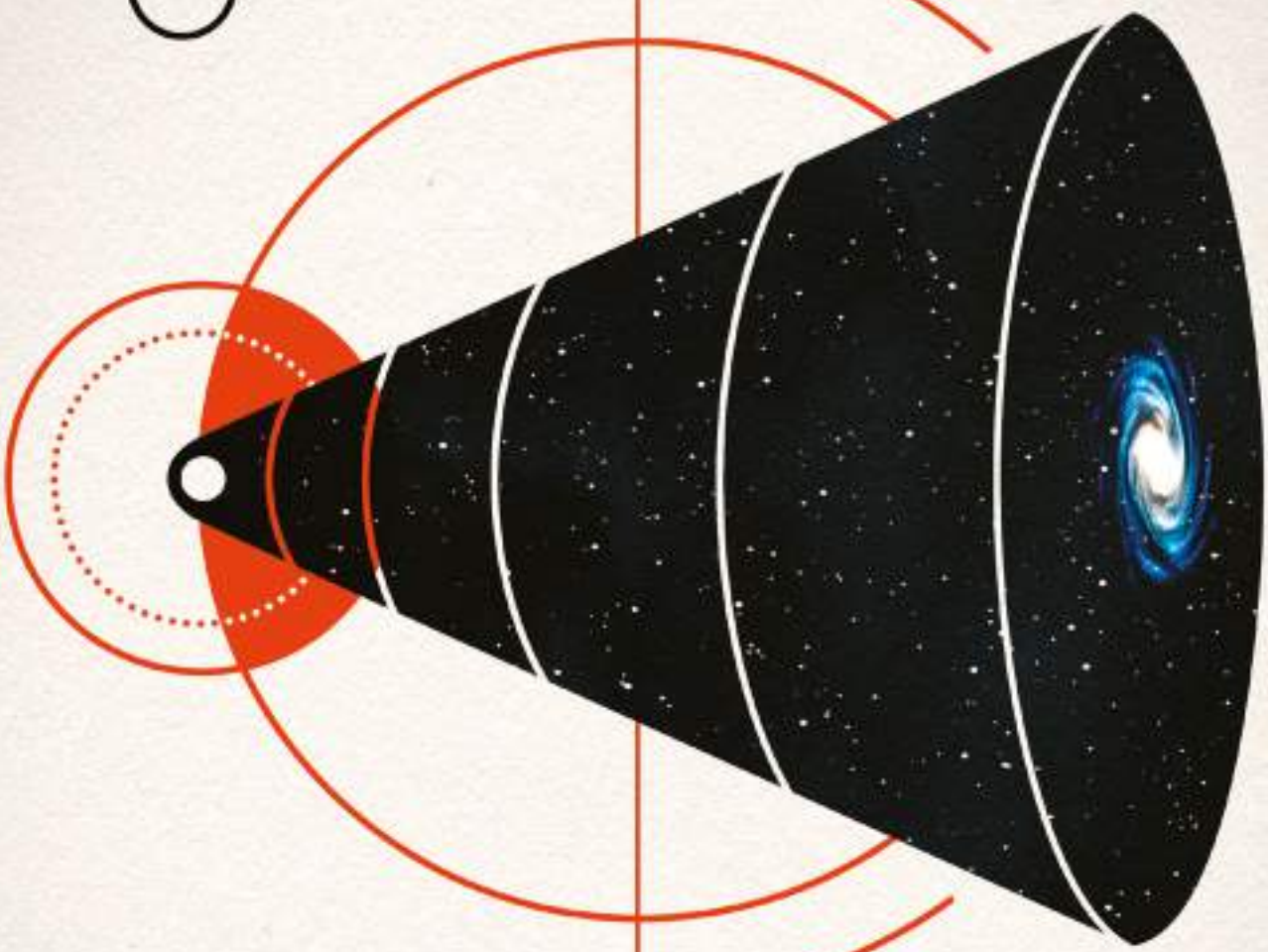


De la température des étoiles à celle de l'homme, il n'y a qu'un pas. Et c'est ce qu'a fait la NASA en 1991. Elle développe un thermomètre auriculaire à infrarouge capable de détecter le rayonnement thermique d'un objet ou d'un corps. Un procédé utilisé à l'origine en astronomie pour mesurer la température des étoiles et planètes lointaines. Ces thermomètres permettent alors de limiter la transmission de germes ou pathogènes, en évitant les contacts.

COUVERTURE DE SURVIE



La NASA a développé en 1964 un matériau isolant afin de protéger les équipements des cosmonautes de la surchauffe et des variations de température dans l'espace : les couvertures dites « isothermes », maintiennent la température du corps à 37 degrés avec deux faces métalliques, l'une dorée, l'autre argentée. La face dorée est placée vers l'extérieur pour protéger la personne de l'humidité et du froid ou vers l'intérieur pour empêcher le coup de chaud. Son usage fut étendu dans les armées, les hôpitaux, chez les ambulanciers et les pompiers.



04

ASTROPHYSIQUE

À LA RECHERCHE DES PLUS LOINTAINES ORIGINES DE L'UNIVERS

Par Caroline Depecker, journaliste

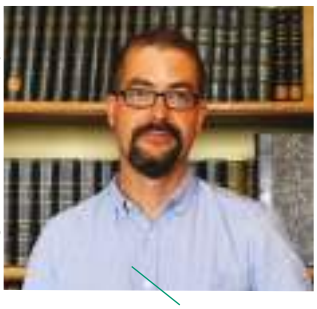
Bien qu'étudié depuis des millénaires, l'Univers recèle encore bien des secrets. Nos connaissances sur sa formation sont en constante évolution, grâce à des instruments d'observation de plus en plus performants. Les récentes informations livrées par le télescope spatial James Webb bouleversent notamment la façon dont nous concevons la formation des galaxies et des amas d'étoiles.

Objectifs braqués sur les étoiles, une vingtaine de télescopes spatiaux et des dizaines de grands observatoires terrestres sondent actuellement le cosmos à la recherche d'indices permettant de mieux comprendre sa composition et son histoire. Lancé en 2021, le James Webb Space Telescope (JWST)[1] est l'un des derniers outils d'observation spatiale à avoir été mis en orbite. Révélés à partir de juillet 2022, ses premiers clichés confirment les performances techniques de l'appareil. Doté d'une sensibilité inédite, le télescope livre des images d'une résolution bien supérieure à ce que produisaient alors les outils d'observation équivalents. Sous les yeux des scientifiques, des détails apparaissent qui, masqués jusque-là, renferment de nouvelles informations sur le cosmos.

Que sait-on de lui ? D'après le modèle standard de la cosmologie, plus connu sous le nom du modèle du Big Bang, l'Univers est né il y a 13,8 milliards d'années. Pas plus grand qu'une tête d'épingle mais extrêmement dense et chaud, il « enfle » de manière extraordinaire en une infime fraction de seconde. Sa dilatation débute, ainsi que la formation des premières particules de matière. Celles-ci s'agencent pour former, par la suite, des étoiles et des galaxies. Sous l'effet de l'expansion de l'Univers, un phénomène démontré en 1929, les galaxies s'éloignent les unes des autres.

Des « galaxies-loupes » pour observer le plus lointain

Les galaxies les plus lointaines sont celles qui sont apparues le plus tôt dans l'histoire de l'Univers[2]. « *Or, plus une galaxie est loin, moins la lumière qu'elle émet et qui nous parvient est énergétique, plus sa couleur se décale vers le rouge*, explique Johan Richard, Astronome au Centre de recherche astrophysique de Lyon (CRAL). *Capté par le JWST, leur rayonnement se situe dans l'infrarouge.* »



© A.Rigaud-Observatoire de Lyon

« Plus une galaxie est loin, moins la lumière qu'elle émet et qui nous parvient est énergétique. »

Johan Richard

Astronome au Centre de recherche astrophysique de Lyon.

1 > Le JWST a été développé par la NASA avec la participation de l'Agence spatiale européenne (ESA) et de l'Agence spatiale canadienne (ASC). Ses réserves permettraient son exploitation pendant 20 ans.

2 > Ne pouvant voyager plus vite que la vitesse de la lumière, les faisceaux lumineux en provenance des étoiles mettent du temps avant de nous parvenir. Ainsi lorsque les instruments d'observation forment l'image d'une galaxie lointaine, on sait que cette image est issue du passé. Ce qui revient à remonter le temps.



© ESA/Webb, NASA & CSA, H. Atek, M. Zamani

L'image la plus profonde de l'Univers obtenue par le JWST en mai 2025.

› En mai 2025, une observation majeure est faite : le JWST capture la vue la plus profonde de l'Univers. En d'autres termes, il photographie les galaxies les plus distantes jamais observées. Des galaxies datant de 240 millions d'années après le Big Bang. On n'est jamais remonté aussi tôt dans le temps ! Mais les astronomes sont perplexes : ces galaxies brillent trop.

Certes, dès sa mise en service, le télescope spatial James Webb a repéré des galaxies brillantes, mais elles étaient peu représentatives des toutes premières structures cosmiques. Pour remonter aux débuts de l'ère stellaire, il lui a fallu observer des galaxies beaucoup plus faibles en luminosité, quasi-invisibles. Or, l'espace offre une ressource utilisée depuis peu par les astronomes : des amas massifs de galaxies jouant le rôle de lentilles gravitationnelles. *« Lorsque des masses galactiques importantes déforment l'espace, le trajet de la lumière en provenance d'objets situés derrière elles est dévié de façon similaire à ce qui se produit à travers les lentilles d'un télescope. On dispose en quelque sorte d'une loupe naturelle qui nous permet de mieux observer »*, précise Johan Richard. Avec pour objectif la capture d'images issues de l'Univers primordial, le programme GLIMPSE, auquel collaborent des chercheurs du CRAL, combine cet effet de loupe avec les capacités du JWST.

Les galaxies les plus distantes, vues précédemment par le télescope Hubble, datent de quelque 800 millions d'années après le Big Bang. Le nouveau record établi par le télescope spatial James Webb permet aux astronomes d'explorer une fenêtre de temps inconnue avec, en guise de boussole, les modèles mathématiques construits à partir de celui, théorique, du Big Bang. En théorie, les galaxies se forment de manière hiérarchique : les petites structures apparaissent en premier, puis fusionnent sous l'effet de la gravité pour créer des objets de plus en plus grands et massifs, comme les grandes galaxies. Mais d'après ce scénario, à la date de 240 millions d'années après le Big Bang, les simulations informatiques ne prévoient pas autant de galaxies massives brillantes – et donc contenant beaucoup d'étoiles – tel qu'observé. Où est l'erreur ?

© NASA, ESA & L. Calçada

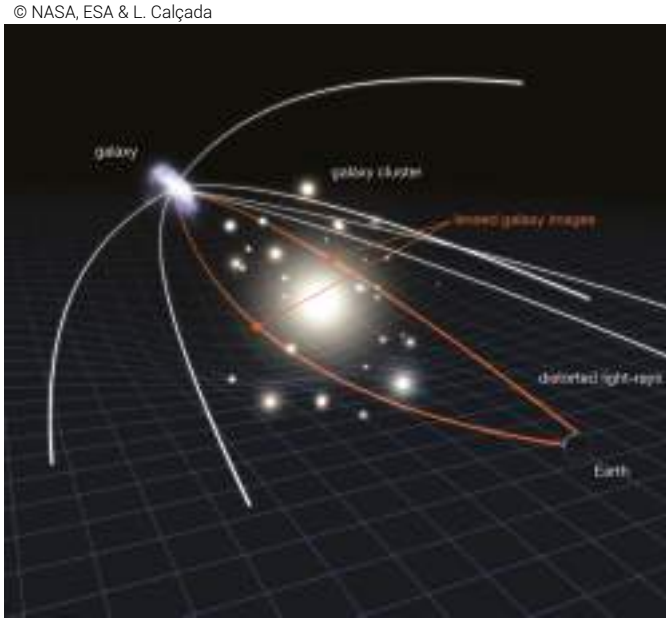


Schéma explicitant l'effet de loupe gravitationnelle : les traits rouges représentent le trajet de la lumière en provenance de la galaxie observée (en haut à gauche), qui est déviée par une importante masse galactique (au centre), et arrive jusqu'à la Terre (en bas à droite).

Le mystère de très anciennes étoiles survivantes

Sans remettre en question les fondamentaux actuels du Big Bang, *« il s'agit de voir comment nous pouvons modifier nos modèles numériques permettant de simuler l'évolution de l'Univers pour tenir compte de cette observation spatiale,* commente Johan Richard. *Mais aussi, et sans doute, que nous révisions la façon dont nous concevons la formation stellaire »*. Une idée nouvelle a pris forme au sein de la communauté scientifique : au lieu d'être continue, la production d'étoiles pourrait être quelque peu aléatoire et donner lieu à des pics d'intensité. Ce qui rendrait les galaxies concernées par cette activité intense très brillantes. Un phénomène observé aux premiers instants de l'Univers en tous cas. *« Nos instruments de mesure détecteraient alors ces vagues de formation stellaires de façon préférentielle car on les voit mieux »*, précise l'astronome.

Couplée à l'exploitation de l'effet de lentille gravitationnelle, la puissance de résolution du JWST a, par ailleurs, permis aux astronomes de lever un coin de voile sur un mystère qui les taraude depuis longtemps : l'existence d'amas d'étoiles vieux d'une dizaine de milliards d'années dans la Voie lactée. De quoi parle-t-on ? *« Les amas d'étoiles sont des étoiles qui, nées au sein d'une même nébuleuse[3], forment une structure compacte maintenue par la gravité,* explique Adélaïde Claeyssens, chercheuse en astronomie à l'observatoire lyonnais. *De nombreux phénomènes cosmiques, comme, par exemple, des explosions de supernovae ou des collisions de galaxies, concourent à la disparition de ces amas d'étoiles en général. »* Or, dès la fin des années 1950, les astronomes identifient de telles structures vieilles de 11 à 13 milliards d'années, appelées « amas globulaires » en raison de leur forme sphérique, à la périphérie de notre galaxie. Ils se questionnent alors : comment ces amas globulaires ont-ils réussi à survivre de sorte à ce qu'on puisse encore les détecter ?

Grâce à Hubble, les scientifiques ont collecté des informations détaillées concernant des amas globulaires observés dans des galaxies peu éloignées de la Terre. De quoi initier des premiers modèles mathématiques visant à expliquer leur évolution. *« Mais les simulations numériques ne permettaient pas de reproduire le fait que ces amas ne disparaissent pas,* indique la chercheuse. *Pour ce faire, il nous manquait des informations sur ces objets stellaires dans des galaxies distantes et formées tôt dans l'histoire de l'Univers. »* Ce qu'a pourvu le télescope spatial James Webb il y a deux ans. Fin 2024, des chercheurs du Wellesley College (États-Unis) font paraître dans la revue *Nature* leurs travaux concernant *Firefly Sparkle* (scintillement d'étoiles en anglais), une galaxie née quelque 600 millions d'années seulement après le Big Bang.

3 > Les étoiles naissent au cœur des nébuleuses, de gigantesques nuages de gaz froid et de poussière dans l'espace. Sous l'effet de la gravité, une partie de ce nuage se contracte, s'échauffe et déclenche une réaction nucléaire qui fait briller la ou les nouvelles étoiles.



Exemple d'amas (d'étoiles) globulaire : l'amas M3 photographié par le télescope Hubble.

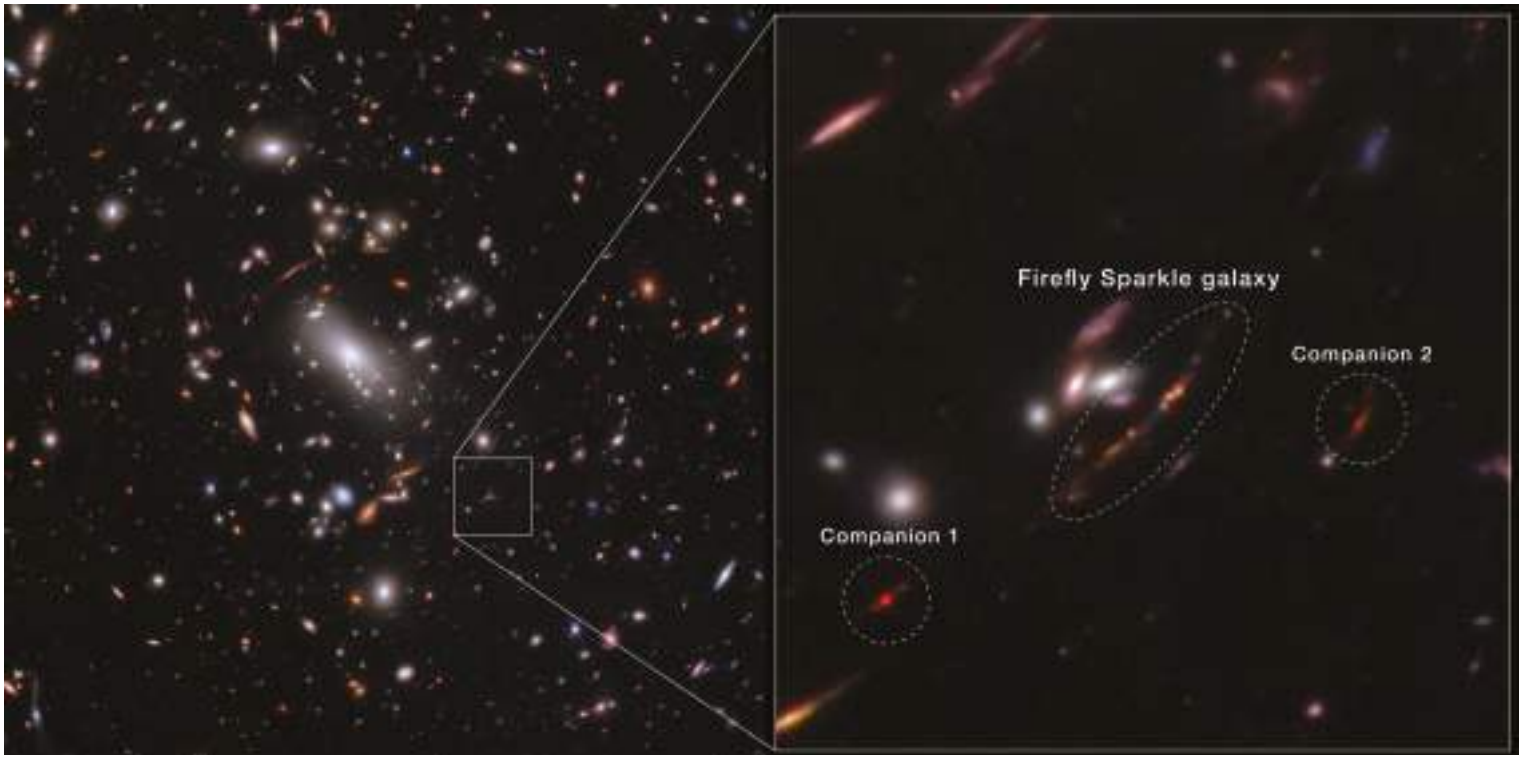
© ESA/Hubble & NASA, G. Piotto *et al.*

De nouveaux modèles à venir

Sur les pourtours de cette galaxie en forme de goutte de pluie, les images résolues par le JWST montrent une dizaine d'amas d'étoiles très denses et étincelants. De couleurs différentes, ces amas globulaires ne sont pas du même âge. Ils trahissent le fait que la galaxie *Firefly Sparkle* s'est créée en plusieurs fois : elle a donc vécu plusieurs cataclysmes cosmiques. D'après Adélaïde Claeyssens, ces informations sont autant d'indices qui permettent le raisonnement suivant : « *Lorsque deux galaxies fusionnent, on peut penser que le processus de fusion éjecte les amas d'étoiles en cours de formation et les envoie aux confins du système galactique. Les amas se retrouvent alors hors de portée des processus gravitationnels liés au centre de la nouvelle galaxie. Cette position semble une condition importante pour que les étoiles des amas continuent leur petite vie en restant groupées* ». Cette idée nouvelle n'est pas la seule hypothèse formulée par les spécialistes au sujet des amas d'étoiles globulaires. Passant au crible de façon systématique les amas de galaxies qu'ils détectent afin d'étudier finement les groupes d'étoiles qui pourraient s'y cacher, les astronomes espèrent y voir plus clair. Depuis janvier 2026, ils auraient identifié près de 200 amas stellaires nouveaux, de quoi poursuivre leurs recherches en ce sens.

Le ciel, tel que nous l'observons, est le fruit d'une histoire. Trop brillantes, certaines jeunes galaxies témoignent qu'en leur sein la formation d'étoiles est plus intense que prévue. Ce qui nécessite d'en repenser les étapes. Regroupées en amas, de vieilles étoiles, quant à elles, semblent avoir fait l'objet d'un traitement particulier en étant rejetées en périphérie de leur galaxie.

Ces informations inédites sont loin d'être les seules révélations faites par le télescope spatial James Webb. Dans la moisson de données collectées à ce jour par celui-ci, certaines indiquent l'existence d'un grand nombre de trous noirs supermassifs. Pour Johan Richard et ses confrères, « *ce type de trous noirs devenus brillants, tellement ils engloutissent de matière et de gaz, ne devrait pas être aussi présent dès les premiers instants de l'Univers* ». Le mystère reste entier… pour l'instant.



© NASA, ESA, CSA, STScI, C. Willott, L. Mowla, K. Iyer.

Observation de la galaxie *Firefly Sparkle* avec le JWST.

EXPANSION DE L'UNIVERS : D'OÙ VIENT SON ACCÉLÉRATION ?

Par Caroline Depecker, journaliste

C'est un fait connu depuis la fin des années 1920 et les travaux du belge Georges Lemaître, l'Univers est en expansion : il ne cesse « d'enfler ». Comme les raisins secs d'un gâteau gonflant au four, les astres s'éloignent les uns des autres. À l'époque, pour les astronomes, il s'agit d'une révolution conceptuelle ! L'Univers n'est pas statique, figé… comme on le pensait jusqu'alors. Envisager l'expansion de l'Univers signifie que son passé est différent de son présent et que les physiciens peuvent reconstituer son histoire. La cosmologie était née.

Puis *« en 1998, des physiciens américains démontrent que cette expansion est accélérée*[1] *grâce à une méthode exploitant la luminosité des supernovæ et permettant de calculer avec quelle vitesse a lieu l'expansion »,* indique Mickaël Rigault, chercheur au sein de l'équipe Cosmo de l'Institut de physique des deux infinis de Lyon. Les supernovæ sont des explosions titanesques par lesquelles se conclut la mort de certaines étoiles, l'astrophysicien lyonnais en a fait sa spécialité.

Comment expliquer l'accélération cosmique ? C'est un mystère. Pour l'élucider, les scientifiques ont modifié leur façon de décrire l'Univers en imaginant un nouvel ingrédient responsable de cette accélération : l'énergie noire. Et, pour refléter son action, ils lui ont attribué une description mathématique, autrement dit un paramètre, baptisée « constante cosmologique ». La représentant ainsi, ils ont fait l'hypothèse que l'énergie noire est identique en tout point du cosmos, et à travers le temps. Mais est-ce bien le cas ?

« Combinés à des mesures récentes faites à partir de supernovæ, les derniers relevés de DESI, le spectromètre installé sur le télescope Mayal en Arizona, semblent indiquer que ce n'est pas vrai », explique Mickaël Rigault. L'énergie noire connaîtrait des variations, petites mais significatives, au cours des temps cosmologiques, *« ce qui suggérerait qu'il faille ajouter à nos calculs* "quelque chose" *en plus ou à la place de la constante cosmologique ».*

Cette conclusion agite fortement la communauté scientifique depuis trois ans. Afin de la conforter – ou de l'infirmer –, il s'agit de réitérer les calculs avec de nouvelles données. Une tâche dévolue à Mickaël Rigault qui exploite des informations collectées depuis juillet dernier par l'observatoire Vera C. Rubin situé au Chili. Doté d'un champ d'observation très large, ce télescope balaie la totalité du ciel plusieurs fois par semaine à la recherche notamment de phénomènes astronomiques transitoires, comme les supernovæ.



© Vincent Noclin

« En 1998, des physiciens américains démontrent que l'expansion [de l'Univers] est accélérée. »

Mickaël Rigault

Chercheur au sein de l'équipe Cosmo de l'Institut de physique des deux infinis de Lyon.

1 > Cette découverte révolutionnaire a valu à Perlmutter, Riess et Schmidt le prix Nobel de physique en 2011.

Bibliographie

Les premières images du JWST analysées, conférence de l'observatoire de Lyon (2022).

4MOST : CAPTER LA LUMIÈRE POUR MESURER L'UNIVERS

Par Caroline Depecker, journaliste

4MOST[1] a commencé à sonder le ciel en septembre dernier, une fois les derniers réglages dédiés à son automatisation effectués. Installé sur le télescope VISTA de l'Observatoire européen austral, situé dans le désert d'Atacama au Chili, cet instrument scientifique ne prend pas de photos du ciel : c'est un outil de spectrométrie. Son principe de fonctionnement ? Capturant la lumière des objets célestes, il reproduit l'ensemble des longueurs d'onde – les couleurs – contenues dans celle-ci avec leur intensité relative, ce qui fournit *in fine* des informations sur les sources lumineuses. L'acquisition de ces données repose sur l'utilisation conjointe de trois spectrographes en partie développés au Centre de recherche en astrophysique de Lyon (CRAL). Grâce à ses fibres optiques indépendantes, 4MOST observe simultanément 2 436 sources lumineuses différentes – dont des étoiles, des galaxies et des trous noirs supermassifs – dans 18 000 longueurs d'onde. L'analyse des spectres obtenus toutes les 10 à 20 minutes permet de référencer les températures, compositions chimiques, déplacements et distances de dizaines de millions d'astres dans le ciel de l'hémisphère sud. L'instrument devrait livrer des données à près de 700 scientifiques à travers le monde pendant 15 ans. À cette idée, Johan Richard , astronome au CRAL, est enthousiaste : *« Grâce aux catalogues de spectres auxquels nous aurons bientôt accès, nous allons pouvoir mesurer le taux d'expansion de l'Univers à travers son histoire »*. De quoi faire bouillonner le cerveau des passionnés de cosmologie.



© ESO-Y. Beletsky

Un ciel dégagé : Parce que son atmosphère est calme et sèche, le plateau de l'Atacama permet au télescope VISTA sur lequel se trouve 4MOST, à 2 635 mètres d'altitude, de réaliser des mesures d'une grande précision.



© ESO-Y. Beletsky

Dans le dôme : Enfermés dans de grands coffres noirs, les spectrographes sont logés en dessous du télescope VISTA. Leurs fibres optiques récupèrent la lumière des étoiles captée par son miroir.



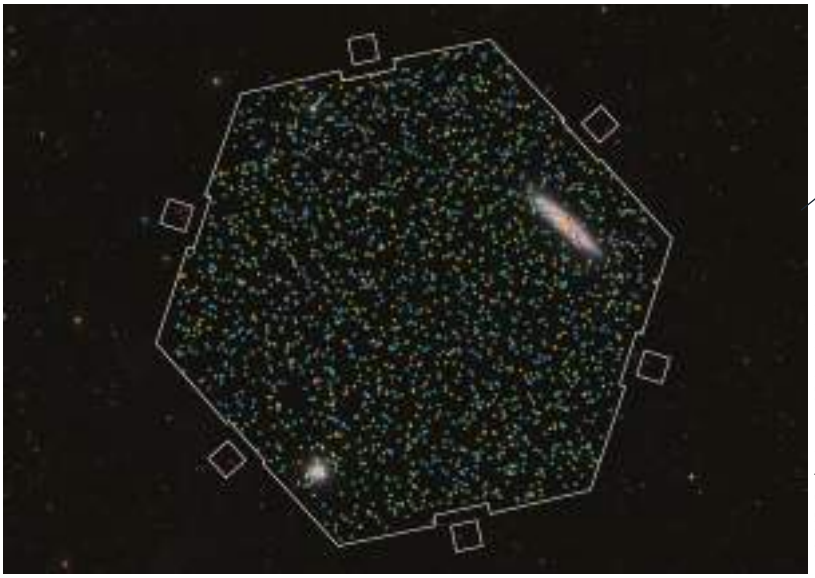
© F. Laurent - CRAL.

Un projet de longue haleine : Un des deux spectrographes dont le développement a occupé les équipes du CRAL pendant 15 ans.



À un cheveu près : Les 800 fibres optiques, situées à l'entrée de chaque spectrographe, sont mobiles. Aussi fines que des cheveux, elles sont positionnées avec beaucoup de justesse afin que chacune capte la lumière d'un astre en particulier.

1 > 4MOST : l'appellation renvoie au fait que le télescope possède un miroir de 4 mètres de diamètre et qu'il réalise de la spectroscopie multi-objet (4-Metre Multi-Object Spectroscopic Telescope), c'est-à-dire qu'il est capable d'enregistrer les spectres de différentes sources lumineuses en même temps.



© AIP-R. de Jong _ CRAL-J.-K. Krogager

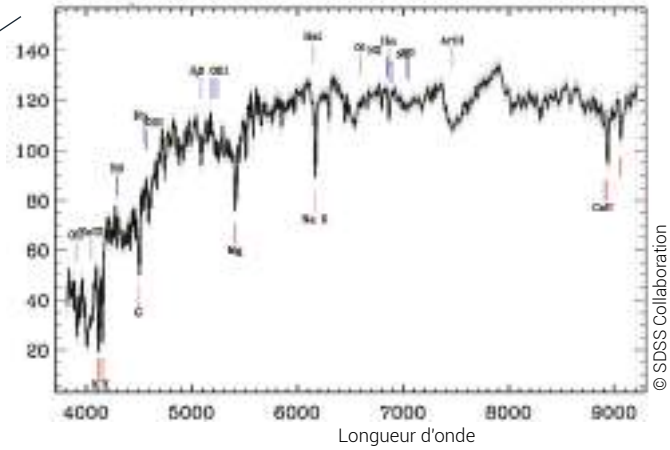
Plusieurs cibles en mêmes temps : Large comme cinq pleines lunes, le champ de vue de 4MOST englobe – ici – la galaxie du Sculpteur (à droite) et l'amas stellaire globulaire NGC 288 (à gauche). Chaque point représente un objet du ciel dont la lumière a été captée par une fibre optique. En vert, ce sont des galaxies qui ont été pointées ; en rouge, des nébuleuses planétaires[2] ; en jaune, des étoiles brillantes.



Forêts de pics : En capturant la lumière des astres, les spectrographes de 4MOST permettent d'obtenir des spectres, tel que l'exemple présenté ici. Ils reproduisent les longueurs d'onde, contenues dans cette lumière, et caractérisent notamment les éléments chimiques qui composent les astres. Les spectres permettent ainsi d'identifier la nature des objets célestes. Ici, une galaxie rouge regroupe des étoiles anciennes qui fabriquent des éléments chimiques lourds dont les pics caractéristiques sont désignés par les traits rouges (C : carbone / Mg : magnésium / Na : sodium / etc.).

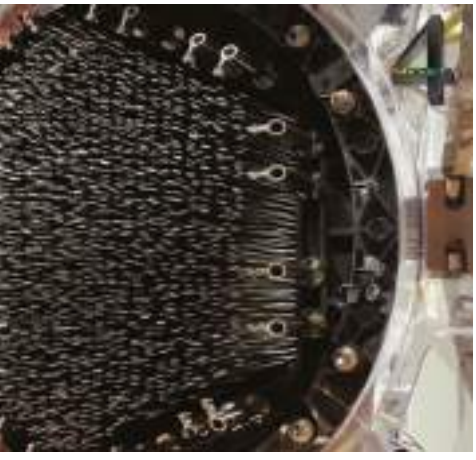
Spectre d'une galaxie rouge

Intensité de la lumière émise par la source astrale en fonction de la longueur d'onde



© SDSS Collaboration

Déceler l'invisible : En pointant une des fibres optiques de 4MOST dans la constellation du Sculpteur, les scientifiques ont mesuré le spectre représenté ici. Il a été placé sur une image représentant le ciel exploré, où l'on peut apercevoir la galaxie du Sculpteur en haut à droite. Le spectre est ici coloré en fonction de la progression des longueurs d'onde : en bleu, les longueurs d'onde sont petites et l'énergie émise est élevée ; en rouge, les longueurs d'onde sont grandes et l'énergie est basse. Dans son tracé, on repère certains pics qui révèlent la présence d'un trou noir supermassif engloutissant énormément de matières.



© AIP- A Savlauk, AIP- T Bergemann



© AIP-R. de Jong _ CRAL-J.-K. Krogager

2 > Une nébuleuse est un gigantesque nuage de gaz raréfié, de plasma et de poussières interstellaires situé dans l'espace.



12
GENÈSE

AUX ORIGINES DE LA VIE : LE MYSTÈRE DU PASSAGE AU VIVANT

Par Marie Privé, journaliste

De l'eau, de l'énergie, des molécules organiques : les chercheurs savent de mieux en mieux reconstituer les conditions qui ont pu précéder l'apparition de la vie. Mais la transition entre matière non vivante et émergence du vivant demeure inexpliquée. De la Terre primitive à Mars, ils tentent aujourd'hui d'en retracer les étapes.

Dans son laboratoire, Muriel Andreani, enseignante-chercheuse à Lyon 1 Université et membre du Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement (LGL-TPE) soumet eau, roche et carbone à des températures et des pressions pouvant atteindre 300 °C et 300 bars[1]. En faisant varier les minéraux, l'acidité ou les conditions physiques, elle tente de reproduire certaines des réactions qui ont pu se jouer sur la Terre primitive. Il y a plusieurs milliards d'années, la matière a, en effet, franchi un seuil que les scientifiques ne savent toujours pas expliquer : elle est devenue vivante. Aujourd'hui, les chercheurs parviennent à reproduire une partie de cette chimie et à former des molécules organiques à partir de matière non vivante. Mais jusqu'où ces molécules peuvent-elles se complexifier ? Isabelle Daniel, professeure à Lyon 1 Université et chercheuse au sein du même laboratoire, pointe le véritable verrou : « *Comment est-ce que ces molécules s'organisent ?* » Autrement dit, comment finissent-elles par former un système vivant ? « *Cela reste une question entièrement ouverte.* » C'est cette énigme que les chercheurs explorent aujourd'hui, en remontant jusqu'aux premiers âges de la Terre, mais aussi en inspectant Mars.



© DR

« La diversité organique que l'on peut faire sans vie est très grande. La vie utilise beaucoup moins de molécules. »

Isabelle Daniel

Professeure à Lyon 1 Université et chercheuse au Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement.

Avant la vie, une chimie foisonnante

De l'eau, une source d'énergie, des molécules capables de s'assembler et de s'allonger, mais aussi des compartiments délimités par des membranes : plusieurs conditions semblent nécessaires à l'émergence du vivant. Mais elles ne suffisent pas. À partir de quand parle-t-on alors de vie ? « *Il faut une intégrité cellulaire, que la cellule puisse vivre par elle-même, qu'elle puisse se diviser, et il faut*

1 > Un bar correspond approximativement à la pression atmosphérique au niveau de la mer. 300 bars représentent donc environ 300 fois cette pression.

2 > Minéral très présent dans certaines roches du manteau terrestre et susceptible de réagir avec l'eau.

qu'il y ait de l'évolution », résume Isabelle Daniel. La chimie abiotique, sans intervention du vivant, peut elle-même engendrer une profusion de molécules organiques, dont seule une petite partie est utilisée par le vivant terrestre. « *La diversité organique que l'on peut faire sans vie est très grande. La vie utilise beaucoup moins de molécules* », souligne-t-elle. Même leur forme interroge : une molécule peut exister sous deux formes symétriques, comparables à une main droite et une main gauche. La vie privilégie souvent une seule de ces deux formes « miroir », sans que l'on sache pourquoi.

Une molécule organique n'est donc pas, en soi, une trace de vie. Certaines peuvent, par exemple, se former lors de réactions entre eau et roche dans des systèmes hydrothermaux. Les briques du vivant sont donc loin d'être vivantes. Le mystère commence lorsqu'il faut les faire fonctionner ensemble. Mais avant de comprendre comment elles s'organisent, encore faut-il savoir comment une jeune planète peut les fabriquer et les rassembler.



© DR

« Si on a une source de carbone, on est théoriquement capable de former un certain nombre de molécules. »

Muriel Andreani

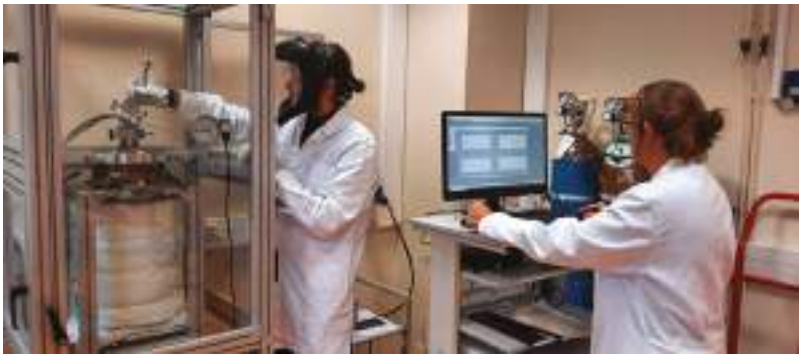
Enseignante-chercheuse à Lyon 1 Université.

Quand la géologie entre en jeu

L'environnement minéral pourrait avoir été bien plus qu'un simple décor dans l'émergence du vivant. Les systèmes hydrothermaux, où de l'eau circule à travers les roches, en offrent un bon exemple. En s'infiltrant dans leurs fractures, l'eau se réchauffe et réagit avec les minéraux. Au contact de roches riches en olivine[2], ces réactions peuvent produire de l'hydrogène, créant un environnement dit « réducteur », favorable à la transformation du carbone en molécules organiques. Ce carbone peut notamment provenir du CO_2 rejeté par les volcans. « *Si on a une source de carbone, on est théoriquement capable de former un certain nombre de molécules* », explique Muriel Andreani. La planète n'est donc peut-être pas seulement un support : son activité peut contribuer à créer la chimie qui précède la vie.

Encore faut-il que ces composés se rencontrent. Dans d'immenses volumes d'eau comme les océans, ces composés, trop dilués, ont peu de chances de s'assembler. « *Pendant longtemps, on imaginait que les composés étaient très dilués dans les fluides. Donc, ils ne se rencontraient pas. Mais en fait, les fluides circulaient dans la roche, dans de petites fractures* », poursuit la chercheuse. Là, ils peuvent se concentrer au contact des minéraux. Isabelle Daniel étudie justement ce qui se joue à leur surface : « *En fonction des configurations qui sont adoptées, est-ce que ça favorise ou défavorise la formation de molécules plus longues ?* » Certaines molécules peuvent s'y concentrer et s'y fixer dans des configurations qui laissent une partie d'entre elles libre de réagir, favorisant potentiellement la formation de molécules plus longues. Mais on ignore encore quel rôle ce mécanisme a pu jouer dans l'émergence du vivant.

Pour tester ces hypothèses, Muriel Andreani fait varier, dans son laboratoire, roches, minéraux, température, pression ou acidité. Ses travaux ont notamment révélé des composés organiques formés sans intervention du vivant dans de petites cavités de roches hydrothermales. « *On arrive à franchir les étapes petit à petit comme ça* », résume-t-elle. Mais aucun scénario ne



© Samuel Barbier

Un réacteur fonctionnant en conditions hydrothermales (300 °C - 300 bars). À gauche, Samuel Barbier, postdoctorant au Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement, échantillonne les fluides. À droite, la chercheuse Muriel Andeani est aux commandes de l'analyseur de gaz.

désigne encore le berceau de la vie. « *Il y a plusieurs écoles* », rappelle Isabelle Daniel. Certains chercheurs privilégient la surface, où les ultraviolets pourraient casser les molécules et permettre à d'autres de se reformer. « *Et il y a une autre école de pensée qui dit que c'est peut-être mieux de se mettre dans un milieu où on n'a pas trop d'influence des rayons UV* », poursuit-elle, évoquant notamment les sources hydrothermales[3] au fond des océans, davantage protégées de ces rayonnements. Produire des molécules, les concentrer, favoriser leur assemblage : la chimie peut donc aller étonnamment loin toute seule. Mais jusqu'où ?

Quand les briques commencent à s'organiser

Le cœur du problème se situe désormais ailleurs : dans l'organisation. Un système vivant doit pouvoir conserver et transmettre de l'information, se maintenir, se reproduire et évoluer. Plus la recherche montre jusqu'où la matière peut se complexifier sans vie, plus la question de son origine se déplace vers la manière dont toutes ces fonctions ont pu s'articuler. Une hypothèse majeure tente de combler une partie de ce fossé : celle du monde ARN. Proche de l'ADN, l'ARN peut porter de l'information génétique et certaines molécules d'ARN, les ribozymes, peuvent aussi catalyser des réactions, c'est-à-dire les accélérer. Cette double capacité, conserver de l'information et favoriser des réactions chimiques, explique pourquoi l'ARN occupe une place centrale dans certaines hypothèses sur l'origine de la vie.

D'où l'idée qu'un stade ancien centré sur l'ARN ait pu précéder le partage actuel des rôles entre ADN, ARN et protéines[4]. Mais le monde ARN ne constitue pas à lui seul un scénario complet de l'apparition de la vie : de nombreuses étapes restent à comprendre. Suffit-il alors qu'une planète réunisse eau, énergie et chimie favorable pour qu'elle devienne vivante ? Sur Terre, « *on ne connaît aucun endroit où il n'y a pas de vie. Partout où on en a cherché, on en a trouvé* », rappelle Isabelle Daniel. Difficile, dans ces conditions, d'isoler ce que la chimie pourrait accomplir seule. Pour tenter d'y voir plus clair, il faut changer de planète. Direction Mars.

DES MOLÉCULES VENUES D'AILLEURS ?

Certaines étapes de la chimie prébiotique, c'est-à-dire de la chimie qui précède le vivant, pourraient commencer avant même la formation des planètes. Des expériences montrent que des acides aminés, et même de petits peptides — de courtes chaînes d'acides aminés —, peuvent se former dans des conditions reproduisant celles de l'espace. Ces molécules ont, ensuite, pu être incorporées aux matériaux ayant formé les planètes, ou arriver plus tard sur Terre transportées par des météorites, des comètes ou des poussières cosmiques. Mais leur rôle réel dans l'émergence du vivant reste incertain. Pour Muriel Andreani, ces apports extraterrestres n'excluent pas une formation terrestre des composés organiques : « *Ce n'est pas incompatible* », souligne-t-elle, évoquant deux voies possibles « *à l'origine de la vie* ».

Mars : habitable. Mais habitée ?

Changer de planète, c'est aussi changer d'archives. Sur Terre, la tectonique des plaques a remanié une grande partie des roches les plus anciennes. Mars, elle, conserve des terrains remontant à près de quatre milliards d'années. « *Aller étudier Mars, c'est étudier une fenêtre sur nos origines* », résume Cathy Quantin-Nataf, professeure à Lyon 1 Université et géologue impliquée dans la mission Perseverance, le rover[5] de la NASA qui explore depuis 2021 le cratère Jezero à la recherche d'indices sur l'habitabilité passée de Mars et de potentielles traces de vie ancienne. Les missions martiennes ont accumulé les preuves de la présence passée d'eau liquide et identifié des environnements habitables selon nos critères terrestres.

3 > Andreani, M., *et al.*, The rocky road to organics needs drying, *Nature Communications*, 14, 347 (2023).

4 > Dans les cellules actuelles, l'ADN stocke l'information génétique ; l'ARN participe notamment à son expression ; les protéines assurent de nombreuses fonctions, dont la catalyse de réactions chimiques.

5 > Un rover est un véhicule robotisé conçu pour se déplacer sur le sol d'un astre afin d'y mener des explorations scientifques.



© Matthieu Volat

« Aller étudier Mars, c'est étudier une fenêtre sur nos origines. »

Cathy Quantin-Nataf

Professeure à Lyon 1 Université et chercheuse au Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement.

À LIRE
-› P. 18
Pas si seul sur Mars : Lyon en liaison directe avec le rover Perseverance

› Savoir si elle fut habitée est une tout autre affaire. *« Est-ce que la vie s'est développée ? Cela reste encore un grand mystère »*, souligne la chercheuse.

Perseverance en offre aujourd'hui une illustration saisissante. En 2024, le rover a repéré dans une roche baptisée Cheyava Falls d'étranges taches couleur « léopard », dont la chimie diffère de celle de la roche alentour. Elles renferment notamment du carbone organique et des minéraux associés à des réactions qui, sur Terre, peuvent impliquer des microbes. Mais *« il y a plein de carbone dans des choses inertes »*, rappelle Cathy Quantin-Nataf. Elle reste donc prudente : *« Sur Terre, dans les conditions que l'on connaît de Mars à l'époque, ces échanges chimiques se font avec des microbes. Mais peut-être que Mars avait des conditions de température et de pression exotiques que nous ne connaissons pas »*. Une biosignature potentielle n'est toujours pas une preuve de vie.

Pour trancher, il faudrait pousser plus loin les analyses chimiques et isotopiques, qui étudient notamment les différentes formes d'un même élément pour mieux retracer l'origine et les processus de formation des composés. Les instruments de Perseverance sont remarquables, mais pas toujours assez précis pour distinguer une origine biologique d'un processus géologique. Sur Terre, les appareils capables d'aller plus loin *« sont énormes pour regarder des choses infiniment petites »*, sourit la géologue. D'où la valeur des échantillons prélevés par le rover, dont un morceau de Cheyava Falls. Le programme initial destiné à les ramener sur Terre est cependant en cours de clôture, après que l'administration Trump a proposé son annulation dans le budget 2026.

Mais la quête continue : le rover européen Rosalind Franklin doit être lancé fin 2028. Dédié à l'astrobiologie, il pourra forer jusqu'à deux mètres sous la surface martienne, où les molécules organiques sont davantage protégées des rayonnements qui les dégradent. Une mission au fort ancrage lyonnais : Cathy Quantin-Nataf et plusieurs chercheurs du LGL-TPE ont contribué à identifier et caractériser Oxia Planum, le site d'atterrissage choisi pour le rover. Mais réunir les bonnes conditions ne suffit toujours pas à expliquer l'émergence de la vie. Encore faut-il savoir si ces conditions persistent assez longtemps pour que la chimie ait le temps de basculer vers le vivant. Sur Mars, cette question de la durée est devenue centrale. *« Il y a eu des conditions habitables. Notre grande question, c'est : est-ce qu'elles étaient suffisamment longues pour permettre la vie ? »*, résume Cathy Quantin-Nataf. Sur Mars, l'habitabilité a peut-être été intermittente.

Au fond, l'origine de la vie ressemble moins à une recette qu'à une histoire, faite de conditions, de réactions et de circonstances. *« C'est de l'aléa et de la nécessité »*, résume Isabelle Daniel.



© NASA

Sur des roches martiennes baptisées Cheyava Falls, des taches claires, chacune entourée d'une bordure sombre, ont été découvertes par le rover Perseverance de la NASA, qui explore actuellement Mars.

FACE À L'INEXPLIQUÉ, ENQUÊTER SANS EXTRAPOLER

Par Marie Privé, journaliste

Lumières étranges, objets non identifiés, supposées soucoupes volantes : lorsqu'un phénomène aperçu dans le ciel résiste à une explication évidente, l'imaginaire extraterrestre n'est jamais loin. Au GEIPAN, pourtant, tout commence par une enquête méthodique.

Chaque année, le Groupe d'études et d'informations sur les phénomènes aérospatiaux non identifiés (GEIPAN), rattaché au CNES, reçoit près de 4 000 sollicitations de personnes confrontées à un phénomène qu'elles n'ont pas réussi à identifier. N'importe quel particulier peut ainsi signaler ce qu'il a observé, notamment via le site internet du GEIPAN. *« La mission, c'est la collecte, l'analyse, l'enquête et la publication des cas d'observation rapportés par des témoins qui ont vu quelque chose d'étrange qu'ils n'ont pas réussi à reconnaître »*, résume son responsable, Frédéric Courtade.

Photos, vidéos, enregistrements, heure et lieu précis : les enquêteurs rassemblent les éléments disponibles, puis cherchent à reconstituer ce qui s'est passé. Données aéronautiques, spatiales ou météorologiques, activités locales… tout est confronté à des phénomènes connus. *« On n'y était pas le jour de l'observation. Le témoin nous l'a raconté comme une histoire. Derrière, on va essayer de déterminer ce qu'il a vu avec le plus de précision possible. »*

Cette reconstitution passe aussi par la manière d'interroger le témoin. La petite équipe permanente du GEIPAN s'appuie sur une vingtaine d'enquêteurs bénévoles, formés à sa méthodologie et aux dimensions scientifiques et psychologiques de l'enquête. *« Il faut aussi s'adapter aux témoins. Il y a des gens qui sont coopératifs, d'autres qui ont peur »*, explique Frédéric Courtade. Il faut donc recueillir leur récit sans l'orienter, tout en obtenant des informations assez précises pour être vérifiées.

L'enquête peut durer plusieurs mois. Il raconte, par exemple, le cas d'une femme réveillée dans la nuit avec ses enfants, qui observe près d'une antenne des lumières semblant danser dans le ciel. L'enquête à distance ne permet pas de conclure. Sur place, il remarque des taches de peinture récentes. Quatre mois plus tard, un courrier de l'exploitant finit par confirmer que des cordistes étaient intervenus sur la structure la nuit même de l'observation : leurs lampes, en mouvement, avaient créé ces étranges jeux de lumière.

Mesurer l'étrangeté

Une fois l'enquête terminée, le GEIPAN évalue deux éléments : l'« étrangeté résiduelle », ce qui reste difficile à expliquer après confrontation avec les phénomènes connus, et la « consistance », liée à la quantité et à la fiabilité des informations recueillies. Leur croisement fait tomber le dossier dans quatre zones : A si le phénomène est parfaitement identifié, B s'il l'est probablement, C si les données sont insuffisantes, D s'il reste inexpliqué malgré l'enquête.

Mais qualifier un phénomène d'« inexpliqué » ne dit rien de sa nature. Les cas D, qui représentent environ 4 % des observations, ne constituent ni une preuve d'origine extraterrestre, ni la validation d'un phénomène paranormal : il signifie simplement qu'après enquête, les données disponibles ne permettent pas d'expliquer ce qui a été observé. Et savoir s'arrêter à ce constat fait pleinement partie de la démarche scientifique. *« Comme je le dis souvent, l'ignorance, c'est la première preuve d'intelligence »*, glisse-t-il.



Photo prise à Balma (Haute-Garonne) en 2016 : les témoins avaient observé deux objets lumineux finalement identifiés comme des lanternes thaïlandaises. Les trainées lumineuses sont dues au mouvement de l'appareil pendant la prise de vue.

© GEIPAN

PAS SI SEUL SUR MARS : LYON EN LIAISON DIRECTE AVEC LE ROVER PERSEVERANCE

Propos recueillis par
Anne Guinot-Delemarle

Qu'est-ce qui fait rouler Perseverance ? Loin d'être isolé, le rover[1] de la NASA, missionné sur Mars depuis 5 ans, est piloté et accompagné au quotidien par une centaine de scientifiques : quelles sont ses activités et ses liens avec les chercheurs à plus de 200 millions de kilomètres de distance ? Pour en savoir plus, nous avons interrogé la planétologue Cathy Quantin-Nataf, professeure à Lyon 1 Université, impliquée dans ce projet international.

1 > Un rover (ou astromobile) est un véhicule robotisé conçu pour se déplacer sur le sol d'un astre (comme la Lune ou Mars) afin d'y mener des explorations scientifiques.

Pouvez-vous présenter Perseverance ?

Cathy Quantin-Nataf : C'est un rover qui a pour mission de chercher des traces de vie ancienne sur Mars et de récolter des échantillons destinés à être renvoyés sur Terre. Il a décollé en mars 2020 et atterri sur la planète rouge en février 2021. Étant donné les difficultés qu'il a rencontrées (notamment un décollage en pleine pandémie Covid), il porte bien son nom !

Ce véhicule, qui mesure 3 mètres de long et pèse 1 tonne, est rapide comparé à ses congénères : depuis son arrivée dans le cratère Jezero situé dans un ancien lac, il a franchi une montagne, roulé sur 43 kilomètres, dépassant le rover Curiosity. Arrivé en 2012, ce dernier a moins parcouru, en 14 ans, que Perseverance en 5 ans. Ses équipements sont robustes pour surmonter des températures très basses (en moyenne autour de -70 degrés Celsius).

Comment s'organise votre travail en lien avec le rover ?

C.Q.-N. : Piloter un engin aussi lointain demande un fort investissement humain : l'envoi de son planning du lendemain nécessite 8 heures de travail mobilisant 100 personnes. Le rover est piloté depuis le Jet Propulsion Laboratory situé à l'université de Caltech en Californie avec 9 heures de décalage horaire. On commence à 17h jusqu'à minuit, plusieurs fois par mois.

Une quarantaine de scientifiques français œuvre à la mission Perseverance. La France a coconstruit l'un des 7 instruments du robot (sa caméra SuperCam qui analyse la composition chimique des roches à l'aide d'un tir laser). J'assure, depuis 3 ans, la fonction de *Long Term Planner*, au sein d'un groupe de 10 scientifiques qui décident au quotidien de ce que fait le rover, où il va aller, pendant combien de temps, etc. Étant géologue, mon travail consiste à récupérer et analyser les données qu'il a transmises.

La fenêtre de temps est très réduite entre le moment où l'on reçoit les informations sur ce que Perseverance a fait la veille et les consignes transmises pour le lendemain. D'abord, on regarde comment il se porte, s'il a commis une erreur, si chaque instrument est en bon état. Ensuite, nous étudions les priorités scientifiques. Notre communication avec lui dépend des passages de satellites. Nous sommes très contraints par les capacités électriques et le volume de données transmises par Perseverance (images, chiffres, mesures, analyses chimiques…).

Quel est l'emploi du temps du rover sur une journée martienne ?

C.Q.-N. : Sur Mars, on parle de sol pour mesurer un jour solaire. Un sol dure 24 heures, 39 minutes et 35 secondes. La dernière fois que le rover a roulé, c'était au sol 1913, soit au 1913e sol après l'atterrissage.

On effectue les activités scientifiques le matin. Puis, si on doit faire rouler le rover, on le fait plutôt dans l'après-midi. Car quand il roule, on ne sait pas où l'on se trouve, on est « aveugle ». C'est la dernière tâche après toutes les autres. Certains instruments, comme les capteurs météo, travaillent aussi la nuit.

Perseverance est quasiment toujours actif, y compris pour vérifier que ses instruments marchent bien. Ce qui est le cas, malgré la poussière omniprésente sur Mars. Ses seules limitations résident dans la puissance électrique disponible. Et pendant les périodes de conjonction solaire : quand le Soleil se place entre la Terre et Mars, on ne peut pas communiquer. C'est arrivé deux fois depuis le début de la mission. Cela dure trois semaines : des grandes vacances pour nous !

Qu'a-t-il accompli depuis son arrivée ?

C.Q.-N. : Il est conçu pour chercher des traces de vie et récolter des échantillons, mais la mission pour les ramener sur Terre est suspendue. Son objectif était de collecter une quarantaine de tubes de la taille d'un crayon à papier : il en a rempli déjà une trentaine. Au lieu de garder tous les échantillons avec le risque, en cas de panne, de ne jamais les récupérer, il a réalisé chaque échantillon en double exemplaire durant les deux premières années de la mission. Et comme le Petit Poucet, il a déposé les tubes en doublon dans un endroit facile d'accès avant de poursuivre sa récolte. À l'intérieur du rover, il reste 7 à 8 tubes attendant d'être collectés.

Grâce aux nombreuses images et données qu'il transmet, nous effectuons des observations scientifiques de cailloux. L'origine de la vie, sur Terre ou sur Mars, est, en effet, « piégée » dans les plus vieilles pierres qui sont nos seules archives. D'ailleurs, le rover a atterri dans le cratère Jezero car les roches qui s'y trouvent peuvent préserver des traces de vie.

Avez-vous fait des découvertes inattendues ?

C.Q.-N. : Oui, on a des surprises. On essaie d'interpréter les roches sur Mars en fonction de ce que l'on connait sur Terre. On a trouvé des roches présentes à plusieurs endroits à la surface de Mars, alors qu'elles sont censées se former en très grande profondeur sur Terre, sous les volcans. C'est une énigme toujours non résolue. Mais on a aussi récolté plusieurs échantillons intéressants. L'un d'entre eux, nommé « la tache léopard », est notre plus jolie potentielle signature de vie.

Quelle est la suite de sa mission ?

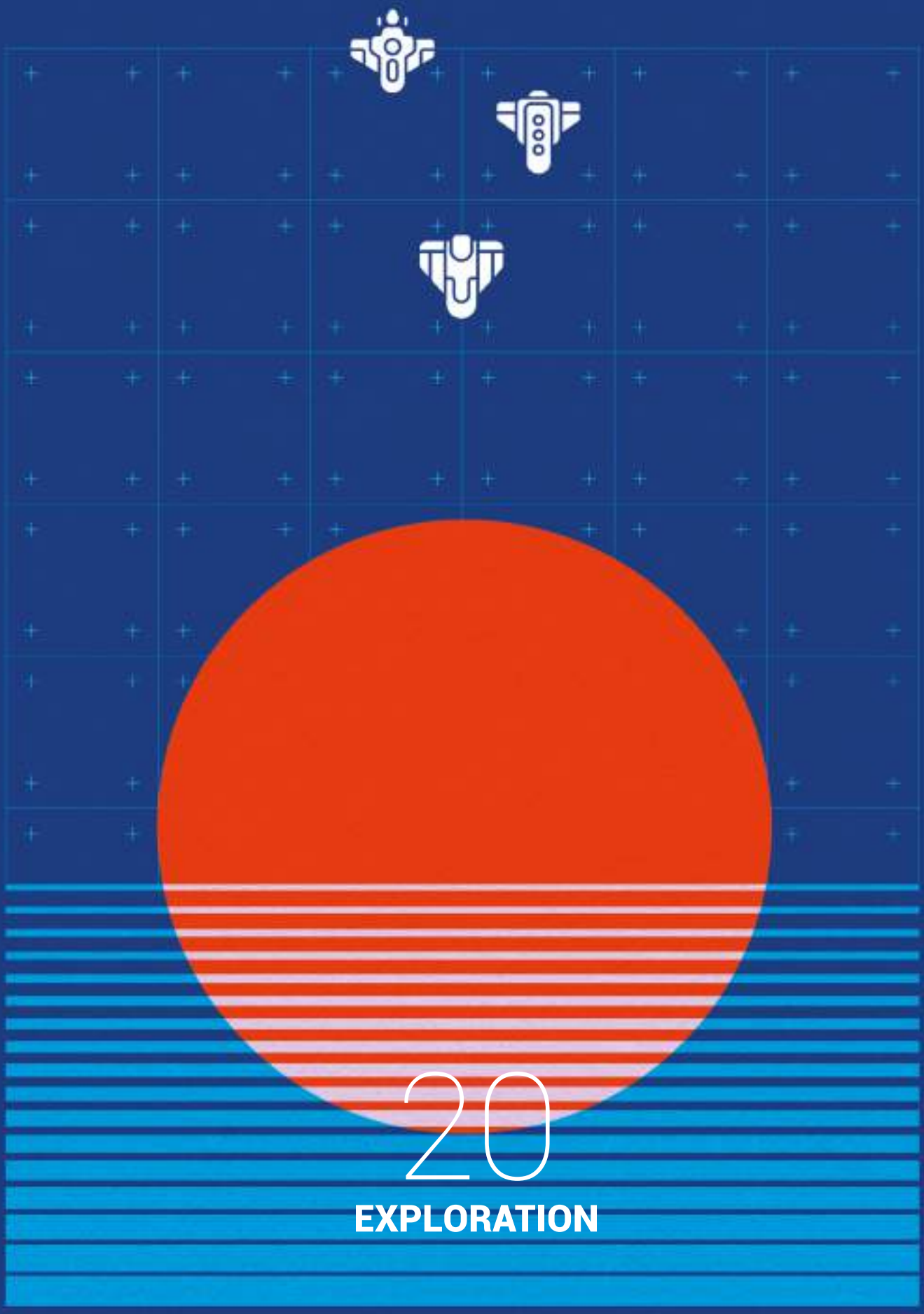
C.Q.-N. : Malgré la décision de suspension pour le retour des échantillons, on poursuit notre périple et notre récolte. On a repéré beaucoup de roches, d'unités géologiques inexplorées dans la région. Il y a, devant nous, plusieurs années de travail scientifique. Et l'on sait où aller, au sud essentiellement, pour explorer des roches repérées depuis les satellites.



Un des selfies les plus récents de Perseverance sur la planète rouge, publié en mai 2026. Dans sa progression au-delà du cratère Jezero, le rover observe un affleurement rocheux surnommé « Arathusa ».

© NASA/JPL-Caltech/MSSS

À LIRE
-› P. 12
Aux origines de la vie : le mystère du passage au vivant


20
EXPLORATION

CONQUÊTE SPATIALE : DE NOUVELLES AMBITIONS À L'ÉPREUVE DU RÉEL

Par Grégory Fléchet, journaliste

Passée au second plan depuis la fin du programme Apollo ayant permis à l'humain de se poser sur la Lune, l'engouement pour l'exploration d'autres corps célestes fait un retour en force depuis une quinzaine d'années. Sous l'impulsion de la Chine et des États-Unis, eux-mêmes épaulés par des géants américains de la Tech, les annonces de futures bases lunaires et de voyages vers Mars se multiplient. Mais qu'en est-il réellement de la crédibilité de tels projets et des enjeux qui y sont associés ?

Aux antipodes des innombrables blockbusters américains abordant avec emphase le thème de la conquête martienne, de *Total Recall* (1990) à *Seul sur Mars* (2015) pour ne citer que les plus emblématiques, le film *Approaching The Unknown* (2016) – « En approchant l'inconnu » en bon français, ndlr – offre, à certains égards, une vision plus réaliste des difficultés que rencontreront les premiers astronautes amenés à voyager vers la planète Mars. Au fil de ce long périple de 270 jours, l'unique passager du vaisseau spatial, un brillant scientifique incarné par l'acteur britannique Mark Strong, doit résoudre de multiples défis techniques tout en surmontant la solitude et l'ennui qui finiront malgré tout par le consumer.

Cette forme d'isolement extrême que retranscrit parfaitement ce huis clos cinématographique est loin d'être la seule difficulté que devront affronter les pionniers de l'exploration martienne. *« Avec un voyage aller-retour censé durer plus d'un an et un séjour sur place d'une année supplémentaire loin de l'atmosphère protectrice de la Terre, un être humain serait exposé à un niveau de radiations cent fois supérieur à celui que reçoit un travailleur du nucléaire au cours de sa vie*, prévient Patrick Thollot, professeur agrégé de sciences de la Terre et de l'Univers à l'ENS de Lyon. *Après avoir passé six mois en apesanteur dans leur vaisseau, les premiers hommes qui débarqueront sur Mars devront, en outre, être immédiatement opérationnels sans avoir la possibilité de recourir à une*



© Melania Avanzato

« [Lors d'un voyage vers Mars], *un être humain serait exposé à un niveau de radiations cent fois supérieur à celui que reçoit un travailleur du nucléaire au cours de sa vie.* »

Patrick Thollot

Professeur agrégé de sciences de la Terre et de l'Univers à l'ENS de Lyon.

1 > Minéraux produits par l'altération des roches basaltiques en présence d'eau et de gaz carbonique (CO_2).

2 > Dans les années 1990, cet écrivain américain publie *La Trilogie de Mars*, une série de trois romans de science-fiction faisant le récit détaillé et argumenté de la colonisation et de la terraformation de la planète Mars.

quelconque aide extérieure. Or, on sait qu'un astronaute de retour sur Terre, après un séjour prolongé dans la station spatiale internationale, a déjà du mal à simplement se tenir debout dans les heures suivant son atterrissage. » Se pose aussi la question de la logistique nécessaire pour acheminer une quantité de nourriture, d'eau et de matériel sans équivalent dans l'histoire de la conquête spatiale. Les capacités de chargement des plus puissantes fusées actuelles ne permettent pas encore de l'envisager.

Le risque d'un voyage sans retour

Faisant fi de toutes ces contraintes, l'entrepreneur Elon Musk assure, pour sa part, que sa société SpaceX déposera les premiers humains sur Mars d'ici quinze ans à l'aide de son imposant lanceur spatial Starship. Le controversé multimilliardaire reste toutefois peu disert quant aux modalités de retour sur Terre des membres d'une telle expédition. *« Acheminer un équipage sur Mars constitue déjà un défi considérable mais organiser son retour devrait s'avérer bien plus délicat. Car contrairement à la Lune, cette planète possède une gravité significative et une atmosphère, certes ténue, mais qui complique considérablement les opérations de décollage depuis sa surface* », explique Franck Selsis, directeur de recherche CNRS au Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux et spécialiste de l'atmosphère des exoplanètes.

À LIRE -› P. 18
Pas si seul sur Mars : Lyon en liaison directe avec le rover Perseverance

À travers le programme Perseverance, lancé en 2020, la NASA a, de son côté, démontré qu'il était possible de faire atterrir sans encombre sur le sol martien un engin motorisé de plus d'une tonne – ce qui reste malgré tout très en deçà des 100 tonnes du vaisseau Starship censé déposer un premier équipage sur Mars dans un futur proche. En janvier 2026, l'agence spatiale américaine a, en revanche, fini par renoncer à rapatrier sur Terre les échantillons géologiques collectés par ce même astromobile. Bien que cette décision résulte avant tout de coupes budgétaires décidées par l'administration Trump, l'opération s'annonçait malgré tout particulièrement ardue. *« Si ramener sur notre planète quelques centaines de grammes de roches martiennes stockées dans de petits cylindres de métal se révèle compliqué dans l'état actuel de nos capacités technologiques, le retour d'un équipage humain devrait rester hors de portée pour de nombreuses années encore* », estime le scientifique bordelais.

L'impossible terraformation martienne

Espérer revenir de Mars resterait-il hautement improbable dans les décennies à venir ? Dans ce cas, pourquoi ne pas modifier l'environnement de la planète pour la rendre plus habitable ? Basée sur des scénarios élaborés dans les années 1990 par le planétologue américain Christopher MacKay, cette démarche de terraformation fait alors le postulat que la Planète rouge possède d'importants réservoirs de dioxyde de carbone (CO_2) emprisonnés dans des carbonates[1] ainsi que de l'eau solide en abondance enfouie dans son sous-sol. En s'appuyant sur des procédés de géo-ingénierie tels que l'injection de puissants gaz à effet de serre ou la mise en orbite de miroirs géants destinés à augmenter la chaleur du corps céleste, de célèbres auteurs de science-fiction, à l'image de Kim Stanley Robinson[2], imaginent pouvoir libérer en quelques siècles, voire décennies, ce CO_2 et cette eau de façon à recréer une atmosphère plus épaisse.



© NASA

Vue d'artiste d'une base installée sur la planète Mars telle que l'imaginait la NASA en 2019.

Or si l'atmosphère devient plus dense, la pression à la surface de Mars, qui est 160 fois inférieure à celle de la Terre, devrait finir par augmenter suffisamment pour permettre aux futurs explorateurs de troquer leur encombrante combinaison spatiale contre un simple masque à oxygène. Les observations scientifiques de la planète, accumulées au cours des trente dernières années, viennent malheureusement contredire un tel espoir. *« Qu'il s'agisse des investigations menées à partir des missions évoluant en orbite autour de Mars ou des analyses géologiques effectuées par les rovers[3] déposés à sa surface, toutes tendent à confirmer que cette planète ne possède ni les quantités d'eau ni les stocks de carbonates espérés pour recréer une atmosphère plus propice à l'installation d'êtres humains »*, prévient Franck Selsis.

S'enterrer pour rester vivant

Dans ces circonstances, le projet d'implanter durablement des colonies humaines sur Mars, dont Elon Musk constitue l'un des plus fervents promoteurs, aux côtés de Richard Branson, P.-D.G. de Virgin Galactic, pourrait s'apparenter à un véritable sacerdoce pour les membres de ces expéditions. Au-delà de l'exposition permanente aux rayonnements cosmique et solaire à même de déclencher cataractes, cancers et autres atteintes cardiaques, le sol très oxydant de Mars s'avère non seulement impropre à toute forme d'agriculture, mais pourrait aussi constituer un danger en soi. L'épaisse couche de poussière qui recouvre sa surface présente, en effet, des risques toxiques majeurs pour la santé humaine. En raison de la finesse de ses particules, celle-ci serait capable de s'infiltrer dans les poumons puis le sang des astronautes.

En plus du fer qui donne la couleur rouge à la planète, la poussière martienne contient, par ailleurs, divers composés toxiques en quantité non négligeable, dont des minéraux lourds, susceptibles d'occasionner des perturbations du système hormonal et des fibroses pulmonaires. *« Dans de telles circonstances, les heureux élus de la colonisation martienne n'auront d'autre choix que de s'installer dans des refuges aménagés sous la surface de la planète ou dans des grottes naturelles les condamnant ainsi à mener une existence recluse et oisive dans la seule perspective de rester en vie »*, analyse, non sans une pointe d'ironie, Irénée Régnauld, doctorant en sociologie à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS).



© Laurent Villeret

3 > Véhicule robotisé d'exploration conçu pour se déplacer sur le sol d'un astre comme la Lune ou Mars.

« Les heureux élus de la colonisation martienne n'auront d'autre choix que de s'installer dans des refuges aménagés sous la surface de la planète ou dans des grottes naturelles. »

Irénée Régnauld

Doctorant en sociologie à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS).

Viser la Lune à l'horizon 2030

À la fois beaucoup plus proche et moins risquée à atteindre, la Lune pourrait voir des humains fouler à nouveau sa surface d'ici la fin de cette décennie. Le récent succès de la mission Artemis II a permis à quatre astronautes, embarqués à bord de la capsule Orion, de survoler notre satellite avant de rentrer sur Terre, ce qui n'était plus arrivé depuis la fin du programme Apollo en 1972. Les États-Unis ont ainsi franchi un premier palier important vers un futur alunissage. De son côté, la Chine a réalisé une première mondiale, en juin 2024, en ramenant sur Terre près de 2 kg de roches et de régolithe[4] récoltés sur la face cachée de la Lune dans le cadre de la mission robotisée Chang'e 6. Et la deuxième puissance spatiale mondiale ne compte pas en rester là, puisqu'elle envisage de déposer ses premiers astronautes au pôle Sud de notre satellite en 2029, afin de célébrer, en grande pompe, les 80 ans de la République populaire de Chine. *« Aujourd'hui, la Lune constitue tout autant un banc d'essai technologique pour des puissances spatiales, comme l'Inde ou la Chine, qu'un marchepied vers l'exploration lointaine. Les Américains envisagent par exemple d'y installer une station de ravitaillement en carburant*

4 > Couche de poussière très fine recouvrant la surface des planètes sans atmosphère et des satellites naturels.

5 > Le NewSpace désigne l'ouverture du secteur spatial à des entreprises privées, start-up et acteurs commerciaux.

› *pour leurs futures fusées à destination de Mars* », complète Florence Gaillard-Sborowsky, chercheuse en charge des questions spatiales à la Fondation pour la recherche stratégique (FRS).



© DR

« Aujourd'hui, la Lune constitue tout autant un banc d'essai technologique pour des puissances spatiales, comme l'Inde ou la Chine, qu'un marchepied vers l'exploration lointaine. »

Florence Gaillard-Sborowsky

Chercheuse en charge des questions spatiales à la Fondation pour la recherche stratégique (FRS).

6 > Application des logiques capitalistes aux activités spatiales se traduisant par une commercialisation de l'espace et sa domination par des entreprises privées.

7 > Selon un récent rapport du cabinet de conseil NovaSpace, les dépenses publiques mondiales dans le domaine spatial ont atteint 137 milliards de dollars en 2025, soit la plus importante enveloppe budgétaire jamais consacrée à ce secteur d'activité depuis 25 ans.

Disposer d'une base permanente sur la Lune, tel que l'ambitionne désormais la NASA d'ici cinq à dix ans, implique de multiplier les lancements en direction de notre satellite. Pour relever ce défi, l'agence spatiale entend s'appuyer sur les lanceurs des deux fleurons américains du NewSpace[5], à savoir Blue Origin qui appartient à Jeff Bezos, P.-D.G. d'Amazon, et l'incontournable SpaceX. Principale mission des deux entreprises : assurer près d'une trentaine de lancements entre 2029 et 2032, pour acheminer les 60 tonnes de fret nécessaires à l'établissement d'une première infrastructure lunaire. Reste qu'une telle montée en puissance ne sera pas dénuée d'impacts négatifs sur Terre.

Une exploration spatiale aux impacts terrestres

À Boca Chica, au sud du Texas, où est implanté depuis 2018 le site de lancement des fusées Starship, les effets délétères de cet astrocapitalisme[6], tel que le qualifie Irénée Régnauld, sont déjà une réalité : *« Ces dernières années, la plupart des représentants de la communauté autochtone qui vivaient à Boca Chica ont été expropriés sans ménagement par les autorités locales. Et les rares familles ayant refusé de partir vivent désormais avec la crainte des chutes de débris sur leurs maisons à chaque nouveau décollage de fusée »*. La faune sauvage paie, elle aussi, un lourd tribut à la montée en puissance des activités de SpaceX au Texas. En 2025, l'entreprise a, en effet, obtenu l'autorisation du gouvernement fédéral de multiplier par cinq la cadence de ses lancements depuis sa Starbase de Boca Chica, la portant ainsi à vingt-cinq par an. Or, la plage qui borde le pas de tir constitue un important site de reproduction pour la tortue de Kemp, l'une des plus menacées au monde. Cette zone lagunaire constitue également un point de passage obligé pour des centaines d'espèces d'oiseaux migrateurs qui risquent de s'en détourner pour fuir le bruit assourdissant qui accompagne chaque lancement de fusée. Sans véritables garde-fous destinés à mieux encadrer les activités de SpaceX et des autres acteurs du NewSpace, cette altération locale des écosystèmes et des conditions de vie sur Terre pourrait s'étendre à d'autres régions du globe dans les années à venir. Alors que les budgets consacrés à l'exploration spatiale ne cessent de croître[7], il est grand temps de s'interroger collectivement sur le prix que nous sommes prêts à payer pour satisfaire ces velléités expansionnistes.



© Alexander Hatley / Wikimédia

Deux fusées Starship de SpaceX (SN15 à gauche et SN16 à droite) sur le site de Boca Chica, au Texas.

Bibliographie

Arnould, J., *Des colonies dans l'espace - L'ultime utopie ?* Odile Jacob (2024).

Régnauld, I., Saint-Martin, A., *Une histoire de la conquête spatiale,* La Fabrique éditions (2024).

Chevrier, R., *Les saccageurs de l'espace,* Buchet/Chastel (2023).

Gaillard-Sborowsky, F., *Géopolitique de l'espace,* Le Cavalier bleu (2023).

Tognini, M., Courtois, H., *Explorateurs de l'espace,* Dunod (2019).

QUAND LE TOURISME SPATIAL STIMULE LA MARCHANDISATION DU COSMOS

Par Grégory Fléchet, journaliste

Longtemps réservé aux astronautes professionnels, l'espace s'ouvre peu à peu au grand public. Entre vols à la limite de l'atmosphère terrestre et séjours de longue durée en stations spatiales, cette activité touristique d'un genre nouveau se développe tous azimuts.

Sur Terre, les régions épargnées par le tourisme de masse se réduisent comme peau de chagrin. Qu'à cela ne tienne ! Il est désormais possible de quitter notre planète pour la contempler en apesanteur. Depuis l'homme d'affaires américain Dennis Tito, premier touriste à avoir séjourné dans la station spatiale internationale au début de ce siècle, le développement de l'activité touristique dans l'espace a connu un véritable coup d'accélérateur au cours de la décennie écoulée. Trois compagnies, toutes américaines, se partagent aujourd'hui ce marché : SpaceX, Blue Origin et Virgin Galactic. Chacune d'elles mise, pour cela, sur la même stratégie commerciale : atteindre la ligne de Kármán, cette frontière imaginaire entre l'atmosphère terrestre et l'espace située à 100 km d'altitude et permettre ainsi à leurs clients de contempler la courbure de la Terre.

Une activité vouée à rester élitiste

Pour vivre une telle expérience à bord du vaisseau New Shepard de Blue Origin, il vous faudra toutefois débourser entre 250 000 et 450 000 dollars. *« Si les acteurs du NewSpace ont envisagé de recourir à ce genre de prestations pour financer leurs expéditions lointaines comme la colonisation de Mars, le tourisme spatial semble voué à demeurer une activité de prestige réservée à une élite fortunée,* estime Florence Gaillard-Sborowsky, chercheuse en charge des questions spatiales à la Fondation pour la recherche stratégique. *Seule une révolution technologique capable de faire baisser drastiquement le prix du billet permettrait l'émergence d'un tourisme spatial de masse, mais ce dernier générerait alors trop peu de bénéfices par passager pour lui permettre de subvenir au financement de projets plus ambitieux. »* Inauguré en juin 2023 par l'entreprise Virgin Galactic, le vol suborbital[1] à visée commerciale a, depuis lors, séduit un peu plus de 120 personnes. À l'instar de la chanteuse Katy Perry ou de l'acteur William Shatner, qui incarnait le capitaine Kirk dans la série *Star Trek*, les trois quarts de ces touristes spatiaux ont voyagé avec la société Blue Origin qui domine désormais ce marché.

Astronaute reconverti en guide touristique

Passer une semaine de vacances dans une station spatiale ? C'est désormais possible. Bien que mettre un quidam en orbite autour de la Terre, à la manière des astronautes évoluant à 400 km d'altitude, constitue un défi autrement plus complexe qu'un simple vol suborbital d'une dizaine de minutes. Cela requiert, en effet, un entraînement intensif destiné à supporter la très forte poussée permettant au lanceur de s'affranchir de l'attraction terrestre. Les séjours commerciaux en orbite autour de la Terre totalisent, à ce jour, une petite quinzaine de clients. Si la quasi-totalité d'entre eux ont emprunté la capsule Crew Dragon de SpaceX pour rejoindre l'ISS, l'activité pourrait se diversifier dans les années à venir. *« Avec le démantèlement de l'ISS, prévu à l'horizon 2030, on devrait assister à la mise en orbite de stations spatiales privées qui feront encore un peu de recherche scientifique mais proposeront surtout des séjours de longue durée à ceux qui en ont les moyens[2] »*, anticipe le sociologue à l'École des hautes études en sciences sociales Irénée Régnauld. Portée par les sociétés Axiom Space et Vast, qui développent chacune de leur côté leur propre station spatiale, cette privatisation des vols orbitaux implique aussi de recruter des astronautes aguerris, à l'image de Thomas Pesquet qui vient d'être embauché par la société Vast. *« L'astrotourisme de demain passera nécessairement par la cooptation des astronautes des grandes agences spatiales, ceux-ci pouvant servir aussi bien de caution scientifique que de guide touristique aux compagnies du NewSpace »*, conclut Irénée Régnauld.



© NASA

L'homme d'affaires Dennis Tito (à gauche) dans la station spatiale internationale en 2001.

1 > Trajectoire de vol d'un engin spatial évoluant à plus de 100 km d'altitude et dont la vitesse reste inférieure à 28 000 km/h, ce qui est insuffisant pour se maintenir en orbite autour de la Terre.

2 > Un séjour de deux semaines en orbite à bord de la station spatiale internationale est facturé entre 55 et 65 millions de dollars par personne par la société Axiom Space qui supervise ce genre de prestations commerciales.

QUELLE PRÉSENCE HUMAINE DANS L'UNIVERS ?

Satellites, lanceurs de fusée, sondes d'exploration, débris... bien qu'insignifiantes à l'échelle de l'Univers, les traces laissées par l'homme dans le système solaire sont nombreuses et ne sont pas sans conséquences. Nous vous proposons un aperçu des différents artefacts d'origine humaine présents dans l'espace en octobre 2026.
Rendez-vous en salle de contrôle !

PROCHE DE LA TERRE

ORBITE BASSE (LEO) : située entre 300 km et 3 000 km d'altitude, on y trouve 17 401 satellites en activité et plus de 11 000 débris.

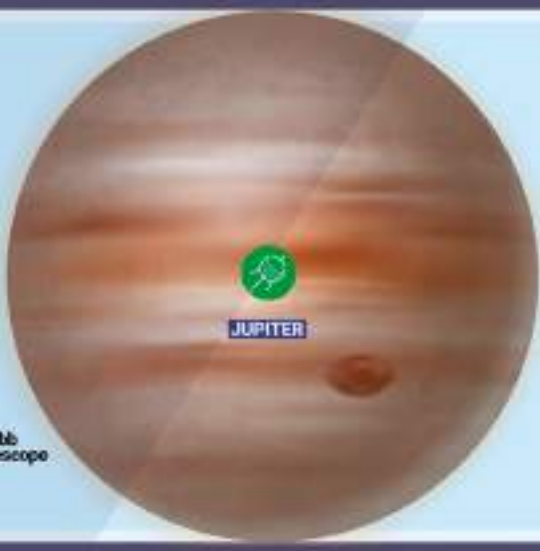
ORBITE MOYENNE (MEO) : située entre 2 000 km et 36 0000 km d'altitude, on y trouve 530 satellites en activité et plus de 11 000 débris.

ORBITE GÉOSTATIONNAIRE (GEO) : située à une altitude fixe d'environ 35 880 km, on y trouve 795 satellites en activité et moins de 200 débris.

DANS LE SYSTÈME SOLAIRE

Depuis les années 1950, de nombreux instruments ont été envoyés dans le système solaire pour étudier les astres qui le composent : des télescopes spatiaux, des sondes en orbite et dans l'atmosphère des planètes, des instruments à leur surface, comme des rovers (des véhicules robotisés).





HORS DU SYSTÈME SOLAIRE



DISTANCES CONNUES PAR RAPPORT À LA TERRE

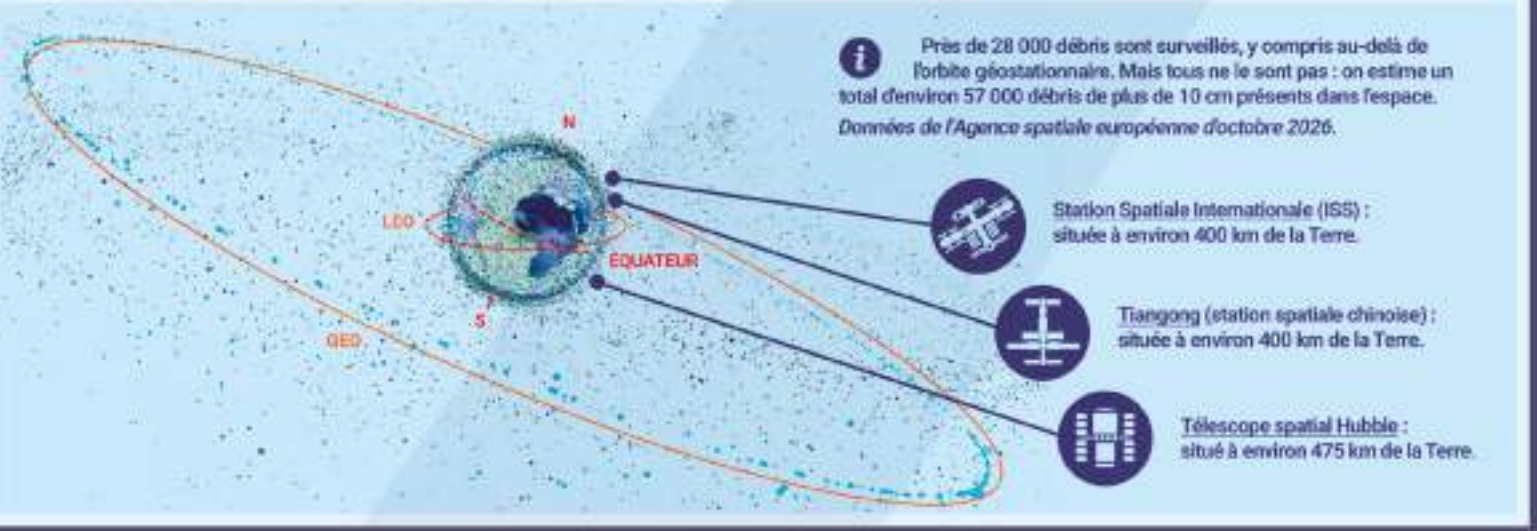
PIONEER 11 : à 97,59 ua en 2017 (contact perdu)

VOYAGER 2 : à 116,17 ua en 2017

PIONEER 10 : à 118,82 ua en 2017 (contact perdu)

VOYAGER 1 : à 146,7 ua en 2024





Près de 28 000 débris sont surveillés, y compris au-delà de l'orbite géostationnaire. Mais tous ne le sont pas : on estime un total d'environ 57 000 débris de plus de 10 cm présents dans l'espace.

Données de l'Agence spatiale européenne d'octobre 2026.

Station Spatiale Internationale (ISS) : située à environ 400 km de la Terre.

Tiangong (station spatiale chinoise) : située à environ 400 km de la Terre.

Télescope spatial Hubble : situé à environ 475 km de la Terre.



Bien que non représentés ici, de nombreux appareils ont également été déployés autour d'astéroïdes et de comètes.



QUELLE GESTION POUR NOS DÉBRIS SPATIAUX ?

Par Samantha Dizier, journaliste

Depuis sa première incursion dans l'espace en 1957, l'humanité n'a cessé de l'occuper en y envoyant des objets spatiaux, de plus en plus abondants, et en laissant derrière elle de très nombreux débris. À l'heure où ce sujet suscite de vives inquiétudes, quelles solutions sont envisageables et durables ?

Plus de 141 millions d'objets gravitent autour de notre planète bleue : tous issus de l'usage de l'espace par l'humain[1]. Parmi ceux-ci, certains sont encore en fonction, comme les 16 000 satellites qui, pour bon nombre d'entre eux, sont essentiels à notre quotidien : internet, GPS, météo… Mais, la majorité de ces objets spatiaux sont des débris, non-fonctionnels, allant de fragments de quelques millimètres – issus notamment de l'usure d'engins spatiaux – jusqu'à des entités massives comme des vieux satellites ou des étages de fusée.

Quels dangers représentent alors ces millions de débris ? « *Ils ne sont pas contrôlables et risquent de rentrer en collision avec des engins spatiaux,* explique Stéphanie Lizy-Destrez, professeure en ingénierie des systèmes spatiaux à l'ISAE-SUPAERO. *Cela peut provoquer, dans certains cas, la fragmentation complète de l'appareil.* » Une telle collision pourrait entraîner un effet cascade, théorisé sous la notion de syndrome de Kessler. Une explosion d'un satellite générerait une énorme quantité de fragments qui partiraient dans toutes les directions, risquant de déclencher de nouvelles collisions avec d'autres engins spatiaux. Une réaction en chaîne alors inarrêtable.

« *Cela change énormément la façon de prévoir les missions spatiales* », alerte Stéphanie Lizy-Destrez. Le nombre d'objets dans l'espace augmente de manière exponentielle, qu'ils soient envoyés depuis la Terre ou issus de collision entre appareils en orbite. « *Ces débris et objets sont une vraie source de danger pour l'envoi de missions spatiales. Nous allons un jour devoir slalomer entre ceux-ci, un peu comme le personnage de Han Solo dans la saga* Star Wars*, quand il doit traverser une ceinture d'astéroïdes.* » En outre, des débris peuvent également pénétrer dans notre atmosphère, et parfois atteindre la surface de notre planète.

Une régulation internationale

Le sujet des débris n'est pourtant pas neuf et l'alerte a déjà été donnée depuis des dizaines d'années. « *La priorité serait de mettre en place une gouvernance internationale pour, par exemple, réguler les envois de nouveaux satellites, qui ne cessent de croître* », suggère Stéphanie Lizy-Destrez. Aujourd'hui, l'autorisation d'envoi de satellites n'est pas soumise aux mêmes règles selon les États. Leurs normes sont extrêmement variables, certaines étant très strictes et d'autres ne nécessitant presque aucun contrôle. Autre obligation qui serait bénéfique : gérer la fin de vie des satellites, notamment en vidant les réservoirs ou en éteignant les batteries, pour éviter des explosions. La France l'impose, par exemple, avec sa Loi relative aux opérations spatiales adoptée en 2008.

« *Une gouvernance mondiale ne semble pas à l'ordre du jour,* déplore la chercheuse. *Les États ont tendance à se recentrer sur eux-mêmes, à mener leurs propres missions, à se protéger individuellement, sans avoir une vision globale.* » La gestion de ces débris se concentre aujourd'hui autour de leur surveillance : leur identification et leur suivi. Les États et organismes de recherche se dotent ainsi de réseaux dédiés. L'objectif : repérer les débris pour éviter toute collision avec leurs appareils spatiaux.

Des solutions de nettoyage sont, en outre, envisagées : attraper les débris avec un bras robotique ou un filet pour les ramener sur Terre ou alors les placer sur une orbite cimetière[2]. Cette dernière solution ne faisant que léguer ce fardeau aux générations futures.

1 > Ces données sont issues d'estimations réalisées régulièrement par l'Agence spatiale européenne. Celles-ci datent du 31 juillet 2026.

À LIRE -› P. 30
Dans l'espace, une compétition aux confins du visible

2 > Une orbite cimetière est une orbite sans présence d'activités et où peuvent être placés les satellites hors service, afin de prévenir tout risque de collision avec des équipements fonctionnels.

Réparer et recycler

Pour une gestion plus durable de ces objets spatiaux, l'économie circulaire peut prendre toute sa place. *« Actuellement, une fois qu'un satellite a atteint sa fin de vie, on l'enlève et on le remplace,* rapporte Stéphanie Lizy-Destrez. *Alors qu'on pourrait envisager de venir prolonger son activité, en rajoutant du carburant, en réparant des équipements. »* Et pour les engins qui ne seraient plus opérationnels, pourquoi ne pas les recycler ?

C'est là qu'entre en jeu le projet de l'équipe de la chercheuse : le Recycleur. *« Il y a des ressources directement disponibles sur place : tous les débris et satellites non-opérationnels. On a alors théorisé une usine de l'espace similaire aux usines de recyclage terrestres. »* Imaginez une usine composée d'un dépôt de carburant pour ravitailler les satellites, d'un atelier pour la maintenance et le recyclage, et pour finir, d'un entrepôt de stockage. Y seraient associée une flotte de véhicules pour se rendre jusqu'aux engins en orbite, afin de récupérer les composants à recycler, mais aussi réaliser des maintenances sur place et, enfin, pour emmener ce qu'il en reste sur l'orbite cimetière. L'usine serait alimentée par des panneaux solaires et principalement automatisée, avec seulement quelques visites de maintenance par des équipes humaines.



© ESA

Cette modélisation de l'Agence spatiale européenne représente les millions de débris qui entourent la Terre. Ce modèle représente la situation en août 2024 et montre les débris colorés selon leurs tailles (en jaune, orange et rouge), ainsi que les objets encore en activité (en bleu).

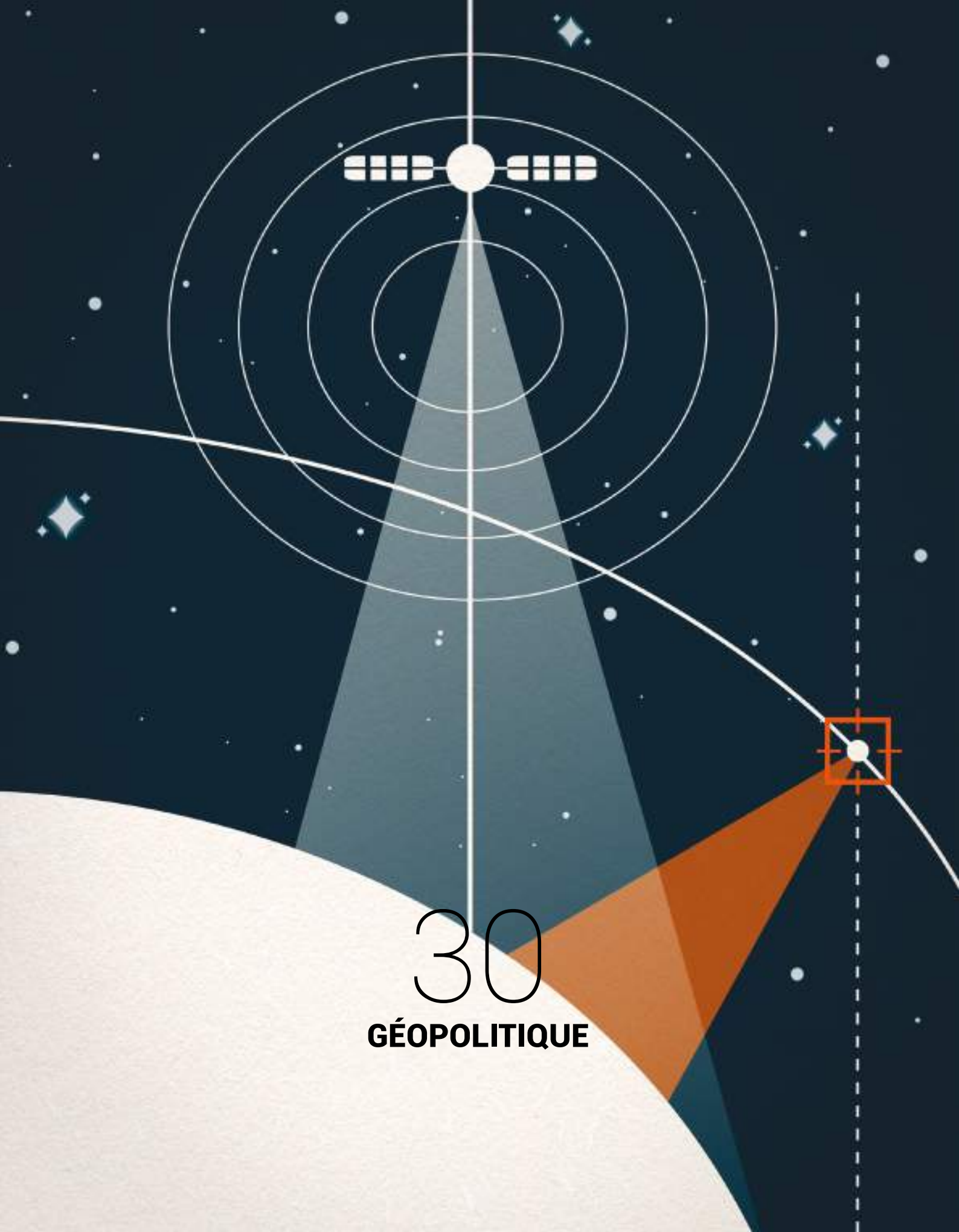
« Techniquement, ce projet est envisageable, résume Stéphanie Lizy-Destrez. *Mais pour qu'il se réalise concrètement, il faudrait une gouvernance internationale. Car il nécessite un gros investissement initial, qu'une entreprise ou un État ne pourra entreprendre seul. Cela doit relever du collectif. Ce qui n'est pas l'état d'esprit général à l'heure actuelle. »*

La scientifique reste, néanmoins, optimiste, grâce à l'apparition de programmes ou projets pour pallier cette problématique des débris. L'Agence spatiale européenne a, par exemple, lancé la Charte Zéro Débris, dont l'objectif est de ne plus lancer de nouveaux satellites composés de matériaux pouvant générer des débris. Elle a été signée par douze nations. *« Au vu de notre dépendance aux données satellitaires, nous allons devoir agir. Car si nous ne faisons rien, un jour, pas si lointain, nous ne pourrons plus accéder à l'espace »*, conclut Stéphanie Lizy-Destrez.



© NASA

Vue du module lunaire de la mission Apollo 17, envoyé en 1972. Les points blancs entourant le module sont des débris issus de la séparation du module avec son lanceur.



30

GÉOPOLITIQUE

DANS L'ESPACE, UNE COMPÉTITION AUX CONFINS DU VISIBLE

Par Clémentine Vignon, journaliste

Depuis le début des activités spatiales, à la fin des années 1950, l'espace se révèle un secteur stratégique où les intérêts civils et militaires coexistent. S'il n'est pas, aujourd'hui, le théâtre d'une guerre ouverte ni d'affrontements directs, il est néanmoins au cœur d'une course aux armements alimentée par une culture du secret bien ancrée. Pour les États, et plus encore pour les grandes puissances spatiales comme les États-Unis et la Chine, tout l'enjeu consiste à trouver un équilibre entre coopération et compétition.

À la fois intriguant et vertigineux, familier et inaccessible, l'espace suscite des sentiments contradictoires. Pour nous repérer, communiquer ou accéder à l'information, nous utilisons chaque jour les services offerts par les satellites en orbite autour de la Terre, au point d'en oublier leur présence. Les activités spatiales sont devenues indispensables à nos sociétés, mais elles ont aussi une dimension plus discrète, celle de la défense et des opérations militaires. Ces mêmes satellites, qui surveillent les océans, mesurent la fonte des glaces ou permettent de prévoir la météo, peuvent également être utilisés pour suivre l'évolution d'une ligne de front. *« La nature duale des satellites, qui servent à la fois des intérêts civils et militaires, est vraiment l'une des spécificités du domaine spatial »*, souligne Mireille Couston, professeure émérite de droit international à l'Université Jean Moulin Lyon 3.

Cette dimension militaire est présente depuis les débuts de l'ère spatiale, à la fin des années 1950. La fusée utilisée pour lancer le premier satellite Spoutnik 1[1], en 1957, était dérivée d'un missile balistique intercontinental soviétique. Quant aux astronautes du programme Apollo[2], parmi lesquels Neil Armstrong, premier homme à avoir posé le pied sur la Lune en 1969, la plupart étaient d'anciens pilotes de l'armée américaine.

L'exploration et l'utilisation de l'espace s'accompagnent depuis toujours du développement des capacités militaires des États, sur fond de rivalités géopolitiques. Marqué par la Guerre froide, le début des activités spatiales a été dirigé par les deux grandes puissances de l'époque qu'étaient les États-Unis et l'URSS[3]. Aujourd'hui, près d'une centaine d'États disposent de satellites en orbite. Certains pays se sont engagés plus fortement dans le domaine spatial, comme la Chine, unique nation à disposer d'une station spatiale nationale en orbite, Tiangong, qu'elle a construite seule. La station spatiale internationale (ISS), quant à elle, réunit plusieurs États : les États-Unis, le Canada, les pays européens membres de l'Agence spatiale européenne (ESA), la Russie et le Japon. Vieillissante, l'ISS devrait par ailleurs être démantelée d'ici quelques années. Malgré les rivalités, les activités

1 > Lancé le 4 octobre 1957 par l'Union soviétique, Spoutnik 1 est le premier satellite artificiel de l'histoire. Surnommé « la petite Lune », il marque le début de l'ère spatiale.

2 > Annoncé par le président John F. Kennedy le 25 mai 1961 et confié à la NASA, l'agence spatiale américaine, le programme Apollo avait pour objectif de poser un homme sur la Lune avant la fin de la décennie. Ce fut chose faite lors de la mission Apollo 11 : le 20 juillet 1969, Neil Armstrong et Buzz Aldrin deviennent les premiers humains à marcher sur la Lune.

3 > Union des républiques socialistes soviétiques : ancien État fédéral transcontinental à régime communiste (1922-1991).

4 > Loi numéro 2008-518 du 3 juin 2008 relative aux opérations spatiales (LOS).

spatiales sont toutefois encadrées. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, l'espace n'est pas une zone de non-droit.

Un traité international à l'épreuve du temps

Sur le plan international, le Traité de l'espace, adopté en 1967, dix ans après le lancement de Spoutnik, fixe les grands principes du droit de l'espace, qui restent aujourd'hui au fondement du droit spatial international. Négocié dans le contexte de la Guerre froide, notamment par les États-Unis et l'URSS qui sont parvenus à trouver un terrain d'entente, il a dès le début recueilli l'adhésion d'un grand nombre de pays. À ce jour, 117 États l'ont ratifié, dont toutes les grandes nations spatiales. *« C'est un traité très complet qui est d'une intelligence diplomatique assez exceptionnelle,* remarque Mireille Couston. *Chaque mot a été minutieusement choisi afin de poser un cadre tout en veillant à laisser une marge d'interprétation. »*

Parmi les principes fondateurs figurent la liberté d'explorer et d'utiliser l'espace, la non-appropriation nationale d'une partie du cosmos ou des corps célestes, l'interdiction de placer des armes de destruction massive dans l'espace, l'aide et l'assistance aux astronautes en détresse ou encore la responsabilité des États. *« Ce traité prévoit la responsabilité des États pour toutes les activités spatiales, qu'elles soient publiques ou privées. Ce parapluie étatique est certainement ce qui a favorisé le développement rapide des activités commerciales dans l'espace »,* souligne Mireille Couston. En effet, le risque financier pour les entreprises reste limité puisque, en cas de dommages dans l'espace ou sur Terre liés à leurs activités, c'est l'État (et non l'entreprise privée) qui est tenu d'indemniser les victimes. En contrepartie de cette couverture, les entreprises ont l'obligation d'obtenir l'autorisation de l'État pour exercer leurs activités.

Au-delà du droit international, les États se sont progressivement dotés de leur propre législation nationale pour encadrer les opérateurs présents sur leur territoire. Aux États-Unis, le National Aeronautics and Space Act de 1958 constitue l'un des premiers grands textes nationaux consacrés aux activités spatiales. En France, il faut attendre 2008 pour voir adopter une législation spécifique[4].

Près de soixante ans ont passé depuis l'adoption du Traité de l'espace, mais aucun État ne semble aujourd'hui vouloir le remettre ouvertement en question. Les intérêts sont trop importants pour prendre le risque de se fermer des portes en désavouant un texte à vocation universelle. Dans un monde instable, les principes encadrant l'utilisation pacifique de l'espace, bien que largement permissifs, ont aussi un parfum rassurant. Mais l'espace n'en reste pas moins un secteur stratégique, où alternent coopération et compétition.

Entre collaborations et démonstrations de puissance

« Les grandes puissances, même antagonistes, ont toujours coopéré en matière spatiale. Il y a cette conscience que l'espace est un milieu hostile qui nécessite de mobiliser toutes les compétences possibles », indique Mireille Couston. Entre les grandes agences spatiales, mais aussi entre les scientifiques, se sont nouées des relations fondées sur le respect mutuel et la solidarité, qui transcendent les conflits géopolitiques.



© DR

« Les grandes puissances, même antagonistes, ont toujours coopéré en matière spatiale. Il y a cette conscience que l'espace est un milieu hostile qui nécessite de mobiliser toutes les compétences possibles. »

Mireille Couston

Professeure émérite de droit international à l'Université Jean Moulin Lyon 3.

Pour les États, la coopération internationale est une manière de partager les coûts et les technologies pour mener à bien des projets spatiaux ambitieux. Mais la coopération peut aussi être stratégique. Dans sa thèse, Brian Kalafatian, chercheur en science politique à l'Institut d'études de stratégies et de défense de Lyon, avance l'idée qu'elle viserait également à limiter le développement des capacités spatiales des autres nations. « *Il y a une stratégie assumée des États-Unis de créer des dépendances, en saturant le marché, en proposant des solutions compétitives, ou en incluant ses capacités stratégiques dans le cadre d'enjeux plus larges* », soutient-il. D'après le chercheur, les États-Unis n'ont pas particulièrement bien accueilli le lancement du programme Ariane par le CNES[5], en 1973. Celui-ci avait notamment pour objectif de doter la France, et plus largement l'Europe, de ses propres lanceurs de satellites, afin de ne pas dépendre des autres puissances spatiales, en particulier des États-Unis.

Derrière le vernis de la coopération, les intérêts stratégiques des États restent prépondérants. Dans l'espace se jouent surtout des rapports de force entre grandes puissances. Certes, il n'y a pas de guerre ouverte déclarée dans l'espace. Et pour cause, cela nuirait aux activités spatiales de tous les pays sans exception. Cependant, la multiplication des démonstrations de puissance installe un climat de méfiance. Ainsi, plusieurs pays ont mené des essais antisatellites contre leurs propres satellites pour démontrer leur capacité à les neutraliser. En 2007, la Chine a détruit l'un de ses vieux satellites à l'aide d'un missile tiré depuis la Terre. Elle a été suivie par les États-Unis l'année suivante, puis par l'Inde en 2019 et la Russie en novembre 2021, quatre mois avant le début de l'offensive russe en Ukraine. « *Avec le recul, cet essai antisatellite russe peut être interprété comme un avertissement frappant l'ensemble des capacités spatiales concurrentes* », estime Brian Kalafatian. C'est dans ce contexte que la France a créé, en 2019, son Commandement de l'espace, afin de se doter d'une « défense spatiale renforcée », notamment dans les domaines de la surveillance et du renseignement, pour mieux protéger ses intérêts spatiaux.

Chacun de leur côté, les États se préparent à un potentiel affrontement, mais s'attachent à rester discrets sur cette course aux armements. Dans sa thèse, Brian Kalafatian émet l'hypothèse de l'existence d'un « tabou extra-atmosphérique » qui empêcherait les États de franchir le pas d'une déclaration de guerre dans l'espace. Il le compare au tabou entourant l'arme nucléaire, un concept théorisé par la politologue américaine Nina Tannenwald, selon lequel une norme implicite dissuaderait les nations de recourir à l'arme ultime.

5 > Créé en 1961, le Centre national d'études spatiales (CNES) est l'agence spatiale française, qui participe notamment à définir la stratégie spatiale nationale. Il dispose de plusieurs centres situés à Paris, Toulouse et Kourou, en Guyane française.



Un exemple célèbre de coopération des grandes puissances en matière spatiale : l'astronaute Donald K. Slayton et le cosmonaute Aleksey A. Leonov ensemble dans le module orbital Soyouz, lors de la mission conjointe de rendez-vous et d'amarrage « Apollo-Soyouz » entre les États-Unis et l'URSS, en orbite terrestre (1975).

© NASA

À LIRE -› P. 28
Quelle gestion pour nos débris spatiaux ?

› Une culture du secret

Pour illustrer ce tabou, Brian Kalafatian revient sur les débuts de l'invasion russe en Ukraine, en février 2022. Le conflit commence aussi dans l'espace : aux premières heures de l'invasion, le réseau de communication civilo-militaire utilisé par l'Ukraine est brutalement perturbé. Une cyberattaque visant le réseau satellitaire et ses terminaux au sol est rapidement mise en cause et attribuée à la Russie, qui n'a pas reconnu son implication. « *Pourquoi la Russie n'a-t-elle jamais revendiqué cette opération alors même qu'elle envahit un pays au vu et au su du monde ?* », s'interroge le chercheur. La véritable force des opérations militaires dans l'espace résiderait-elle, justement, dans leur capacité à dissimuler leurs intentions et leurs auteurs ?



© DR

« Les États se retrouvent face à un dilemme de sécurité. Ils sont obligés de renforcer leurs capacités pour rester dans la course face à de potentielles menaces, mais en deviennent menaçants à leur tour. »

Brian Kalafatian

Chercheur en science politique à l'Institut d'études de stratégies et de défense de Lyon.

Plutôt qu'une guerre ouverte, c'est une bataille de satellites qui s'opère, loin des regards. Espionnage, cyberattaques, brouillage de communications, aveuglement par lasers : les technologies pour neutraliser les satellites et porter atteinte aux capacités spatiales des armées sur Terre connaissent des progrès fulgurants. Pour déjouer de potentielles attaques, les États s'empressent de développer des satellites de surveillance. « *Les États se retrouvent face à un dilemme de sécurité. Ils sont obligés de renforcer leurs capacités pour rester dans la course face à de potentielles menaces, mais en deviennent menaçants à leur tour* », résume Brian Kalafatian.

Le Traité de l'espace interdit de placer des armes nucléaires et autres armes de destruction massive en orbite, mais n'interdit pas les armes conventionnelles. Or, dans l'espace, presque tout objet peut devenir une arme. Le moindre débris de satellite, aussi petit soit-il, est susceptible de provoquer des dommages. « *Ce qui est certain, c'est que les États agiront toujours en fonction de leurs intérêts. Si le bénéfice d'une attaque paraît insuffisant par rapport aux investissements, ils y renonceront* », indique Mireille Couston. Dans l'espace, les inconvénients d'une guerre seront, espérons-le, toujours supérieurs aux avantages.

© CNES/OLLIER Alexandre, 2023





© CNES/OLLIER Alexandre, 2023

L'espace demeure le théâtre de démonstrations de puissance où chaque État doit protéger ses intérêts : en témoignent ces photos prises en 2023 montrant un exercice spatial militaire français pour s'entraîner à répondre efficacement aux menaces spatiales.

CONQUÉRIR LA LUNE, UN PROJET LUNAIRE ?

Par Clémentine Vignon, journaliste

Le rêve de domination spatiale des grandes puissances, qui se traduit par une volonté renouvelée de conquérir la Lune, se heurte désormais à des préoccupations plus terre à terre.



© NASA

Le 1er février 2026, la Lune brille au-dessus du vaisseau spatial Orion, installé sur la plateforme de lancement mobile du Centre spatial Kennedy de la NASA, en Floride, pour s'exercer aux procédures du lancement de la mission Artemis II.

Jusqu'à présent, les activités spatiales se concentraient avant tout dans l'espace proche de la Terre, généralement à quelques centaines de kilomètres, et jusqu'à environ 36 000 km pour l'orbite géostationnaire. Mais, plus de 50 ans après la fin du programme Apollo, la volonté de retourner sur la Lune, seul satellite naturel de la Terre situé à plus de 300 000 km, ouvre de nouvelles perspectives.

Le programme Artemis de la NASA, qui a officiellement débuté le 16 novembre 2022 avec le lancement réussi d'un vaisseau inhabité autour de la Lune, prévoit non seulement d'envoyer des humains sur la Lune, mais également d'établir une base permanente à sa surface. *« La création de bases lunaires pourrait engendrer des problématiques d'implantation encore jamais vues dans l'espace, et menacer le principe fondamental de sa non-appropriation »*, estime Isabelle Sourbès-Verger, géographe et directrice de recherche au CNRS (Centre Alexandre-Koyré), spécialisée dans l'étude des politiques spatiales et les modes d'occupation de l'espace.

Cette volonté de retourner sur la Lune, qui s'appuie notamment sur la perspective d'une exploitation commerciale de ses ressources, relève aussi d'une logique de prestige et de démonstration de supériorité. Entre les États-Unis, d'un côté, et la Chine, de l'autre, se joue une véritable course à la Lune. *« L'objectif, pour les États-Unis, est de recréer une sorte de bloc, à l'image de celui formé pendant la Guerre froide, en amenant un maximum d'États dans son giron, notamment ceux aux aspirations incertaines »*, souligne Brian Kalafatian, chercheur en science politique à l'Institut d'études de stratégies et de défense de Lyon. Coincée au milieu, l'Europe se trouve dans une position délicate. La majorité des États membres, dont la France en 2022, ont néanmoins choisi de rejoindre les Accords Artemis, qui fixent les grands principes de coopération internationale en matière d'exploration spatiale et d'utilisation des ressources dans le cadre du programme lunaire américain.

Légitimité contestée

« La démonstration de puissance qui se joue entre les États-Unis et la Chine, et leurs alliés, est peut-être le seul intérêt à court terme du programme lunaire en tant que tel », considère Brian Kalafatian. L'exploitation des ressources présentes sur la Lune ne suffit pas à justifier l'existence d'un programme dont le montant était estimé, en 2025, à 93 milliards de dollars. Bien trop coûteuses à ramener sur Terre, ces ressources seraient avant tout destinées à être utilisées dans l'espace. *« L'intérêt de ces grands programmes, notamment lunaires, est aussi de fédérer la population dans l'objectif qu'elle consente à des investissements massifs dans le spatial et dans le militaire »*, suggère Brian Kalafatian. Mais on ne s'émerveille plus aujourd'hui comme dans les années 1960. La mission Artemis II, qui a envoyé quatre astronautes survoler la Lune pendant près de 10 jours en avril 2026, n'a pas suscité l'engouement populaire qui avait accompagné les missions Apollo. Il s'agissait pourtant du premier vol habité au-delà de l'orbite terrestre basse depuis Apollo 17 en 1972. *« Les programmes lunaires se heurtent aujourd'hui aux préoccupations terrestres,* souligne Isabelle Sourbès-Verger. *Les budgets consacrés au spatial seront de plus en plus confrontés à ceux alloués à la transition climatique et à la préservation de notre planète. »*



36
CULTURE

DU CIEL À L'UNIVERS : ENTRE IMAGINAIRES ET SCIENCES

Par Ludovic Viévard, rédacteur

Les pieds rivés au sol, les humains ne se meuvent que dans le plan de la Terre. Et pourtant, une vaste dimension se déploie au-dessus d'eux : le ciel, l'espace, l'Univers… Ces termes évoquent un territoire qui nous attire et nous inspire. Mais derrière leur synonymie apparente se cachent des imaginaires distincts qui disent la richesse de nos représentations et de nos savoirs. De la voûte céleste à l'Univers infini, ce sont des cultures différentes qui se sont progressivement construites dans le temps et déterminent notre rapport d'étonnement à cette étrange dimension.

Projeter et lire dans le ciel les récits terrestres est une pratique aussi ancienne que l'humanité. Chez le peuple Nara (Erythrée), dont le nom signifie « Ciel céleste », le Soleil est un rhinocéros qui traverse le firmament. Lorsqu'il baisse à l'horizon, il est piégé par les peuples de l'Ouest qui le mangent avant de jeter son omoplate à l'Est où l'animal se reconstitue. Ainsi le Soleil peut-il reprendre sa course dans un cycle sans fin. Julien d'Huy, historien et mythologue au Laboratoire d'anthropologie sociale du Collège de France, rapporte ce mythe qu'il rattache à une série de récits d'origine paléolithique dits du Soleil chassé ou piégé, produite il y a sans doute plus de 30 000 ans par les *Homo sapiens* d'Afrique[1].

Le ciel, miroir des hommes

Il s'agit d'expliquer l'ordre du ciel et de la Terre. La constellation de la Grande Ourse en est un bel exemple. Dans *Un ours dans les étoiles*[2], Julien d'Huy souligne qu'*« en Eurasie et en Amérique du Nord, les étoiles formant le bras de la constellation dite de la Casserole sont souvent interprétées comme des chasseurs, et la casserole elle-même comme un cervidé ou un ours, poursuivi ou tué par ces assaillants »*. Remontant à plus de 15 000 ans, ce mythe appartient à un groupe de récits dits de Chasse Cosmique dont les formes se sont différenciées au fil des migrations humaines. Dans la grotte de Lascaux, on retrouve ce qui pourrait en être l'une de ses plus anciennes représentations. Mais la plus connue est sans doute celle, contée par Homère (8e siècle av. J.-C.), de la nymphe Callisto, suivante d'Artémis, déesse de la chasse. Dans la version, du poète latin, Ovide (43 av. J.-C. - ±18 ap. J.-C.), Callisto est changée en ourse à la suite de son viol par Jupiter. C'est sous cette forme qu'elle croise son fils parti chasser. Ne la reconnaissant pas, il la met en joue et l'aurait tuée sans l'intervention de Jupiter qui les change en constellations : la Grande et la Petite Ourse. Si le mythe évoque la transgression et la punition, Alessandra Scaccuto, docteure en langues et littératures anciennes (Université Côte d'Azur), souligne, dans *Callisto et Arcas*, que derrière la diversité des versions, il y a *« toujours une histoire de maternité inaccomplie :* [celle de] *la métamorphose d'une jeune vierge, belle et séduisante malgré elle, enceinte contre son gré, mère qui ne choisit pas de l'être,*

1 > D'Huy, J., Le Soleil est un mammifère. Origine africaine d'un motif mythologique, *Cahiers d'études africaines*, 244 (2021).

2 > D'Huy, J., Un ours dans les étoiles : recherche phylogénétique sur un mythe Préhistorique, *Bulletin Préhistoire du Sud-Ouest*, 20 (2012).

3 > Scaccuto, A., Callisto et Arcas, ou la maternité inaccomplie de l'ourse, *Clio. Femmes, Genre, Histoire*, 55 (2022).

4 > Le laboratoire Triangle (Action, discours, pensée politique et économique) est une unité mixte de recherche créée en 2005, réunissant des chercheurs du CNRS, de l'ENS de Lyon, de l'Université Lumière Lyon 2, de Sciences Po Lyon et de l'Université Jean Monnet Saint-Étienne.

› *et qui, en tout cas, ne s'occupera pas de son enfant* »[3]. Avec la catastérisation, soit la transformation d'un être en constellation ou en étoile, cette histoire édifiante se manifeste à tous chaque nuit. La Grande Ourse rappelle la vulnérabilité des jeunes filles et l'injustice qui peut les frapper. La voûte céleste apparaît ainsi comme un livre où sont consignés les récits dont la morale ordonne le monde.

Le ciel, bien que lointain et inaccessible, est toujours relié à la Terre par un réseau de correspondances symboliques. C'est d'ailleurs cette relation qui fonde l'astrologie, pratique qui consiste à interpréter les signes donnés par la position des astres du ciel pour prévoir le déroulement des affaires terrestres. Développée dans de nombreuses cultures, en Chine, chez les Mayas ou en Mésopotamie, elle vise d'abord à prédire et anticiper le rythme des saisons avant de devenir un système de croyance interprétant l'influence supposée des astres et des planètes sur la personnalité et la vie des humains, et jusqu'à nos horoscopes modernes ! Longtemps, elle s'est appuyée sur les savoirs astronomiques. De fait, rappelle le philosophe Éric Guichard, chercheur associé au Laboratoire Triangle de Lyon[4], *« il faut se souvenir que* [l'astronome] *Kepler, connu pour avoir montré que les orbites des planètes sont elliptiques au début du 17e siècle, est aussi astrologue et publie des horoscopes ! »*

Des cultures du ciel aux sciences de l'espace

Dimension projective des histoires humaines, le ciel est aussi un espace de repères utiles pour la navigation. Dans *Sur le chemin des étoiles, navigation traditionnelle et peuplement des îles du Pacifique* (2023), l'archéologue Éric Conte rapporte que les Indonésiens utilisent les étoiles et les constellations pour s'orienter, probablement dès 3000 ans av. J.-C. Il ne s'agit pas de cartes, mais d'une sorte de compas mental qui permet de suivre un itinéraire – les quadrants de navigation n'apparaissant qu'au milieu du 15e siècle. Éric Guichard explique que l'on trouve *« des traces de descriptions du ciel, dès l'invention de l'écriture, à Sumer, Babylone ou chez les Grecs. Il s'agit de catalogues, comme celui de Ptolémée au 2e siècle, qui donne des angles à partir desquels situer tel ou tel objet du ciel. Mais on ne connaît pas de carte céleste avant le 7e siècle et l'idée même de carte paraît longtemps incongrue »*. L'avantage des catalogues est leur précision, ce qui est moins le cas des cartes, plus sujettes aux erreurs des copistes. La plus ancienne carte connue est celle de Dunhuang, dessinée entre 649 et 684. Mais il faut attendre le tournant du 16e siècle pour disposer du premier atlas complet, l'*Uranometria*, publié en 1603 par Johann Bayer.

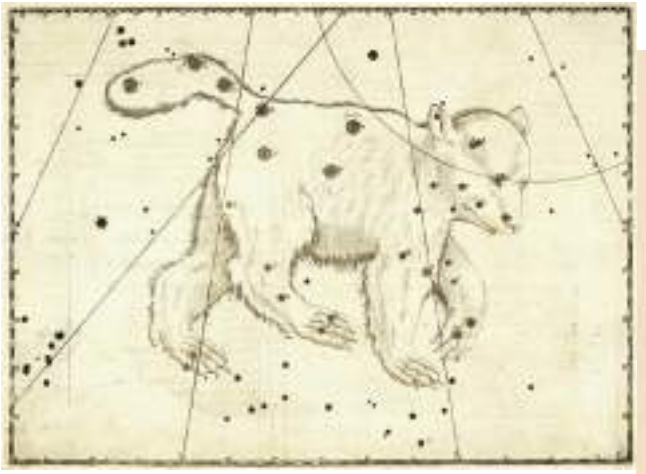


© Axelle Redon

« [On trouve] *des traces de descriptions du ciel, dès l'invention de l'écriture, à Sumer, Babylone ou chez les Grecs.* »

Éric Guichard

Chercheur associé au Laboratoire Triangle de Lyon.



La Grande Ourse (Ursa Mayor), dans *Uranometria* de Johann Bayer (1603).



Callisto devient l'astre de la Grande Ourse, anonyme (16e siècle).



L'astronome Copernic ou Conversations avec Dieu, huile sur toile de Jan Matejko (1873).

Le 16e siècle marque une rupture. Hugues Chabot, historien des sciences à Lyon 1 Université, explique qu'elle *« s'opère lorsque le monde scientifique abandonne le modèle anthropocentré d'Aristote, philosophe grec du 4e siècle av. J.-C. Celui-ci reposait sur une séparation entre l'espace supra-lunaire[5], réputé parfait et immuable, et la Terre. Au 16e siècle, des mathématiciens proposent un nouveau modèle astronomique, héliocentriste, qui décrit les mouvements des astres, et notamment le système solaire qui inclut la Terre »*. C'est ce que l'on appelle la Révolution astronomique. Elle s'ouvre avec l'astronome Copernic (1473-1543) qui défend l'idée que la Terre tourne autour du Soleil. Avec lui, Bruno (1548-1600), Galilée (1564-1642), Kepler (1571-1630)… les savants de l'époque changent le rapport des humains à l'espace : non seulement nous ne sommes pas le centre de l'Univers, mais rien ne distingue fondamentalement la Terre d'autres planètes. Avec eux, la voûte céleste s'est étirée, gagnant en profondeur, et l'espace intersidéral se déploie dans son infinité peuplée d'une *« quantité innombrable d'astres et de mondes identiques au nôtre »*, comme le dira Bruno. Le séisme est théologique et métaphysique, autant qu'astronomique, une science désormais distincte de l'astrologie.

Mais, étrangement, l'espace gagne en mystère avec l'essor de la science moderne. Certes, on peut mieux voir l'Univers grâce à l'invention de télescopes de plus en plus puissants. Certes, l'idée se diffuse qu'il est déchiffrable car, selon la formule de Galilée, écrit en langage mathématique. Pourtant, le rapport à l'espace demeure très théorique. *« Seule la fiction peut permettre de dépasser les limitations du réel observable pour trouver un point de vue nouveau d'où décrire le monde. Tel est le paradoxe : au 18e siècle, les textes les plus efficaces dans la transformation des représentations du cosmos sont des fictions »*, écrit l'historienne des sciences, Frédérique Aït-Touati dans *Contes de la Lune* (2011). Entre 1634 et 1657, l'astronome Kepler, les écrivains Francis Godwin et Savinien Cyrano de Bergerac publieront des textes littéraires puisant dans les sciences pour explorer ce nouvel espace infini, dont Copernic avait ouvert la possibilité théorique. Dans ces textes, ce sont des voyageurs stellaires qui rapportent ce que les astronomes théorisent. En 1686, Bernard de Fontenelle publie ses *Entretiens sur la pluralité des mondes*. Considéré comme le premier ouvrage de vulgarisation scientifique, il ouvre la voie aux mouvements de savoirs populaires, dont celui de l'*Astronomie populaire* qui, au 19e siècle, rend l'étude du ciel accessible à tous. Il est incarné par l'ouvrage éponyme de Camille Flammarion, publié en 1880, qui nourrit l'engouement du public pour les récits de science-fiction, dont ceux de Jules Verne qui inspireront les premiers films de cinéma.

5 > Dans la cosmologie d'Aristote, l'espace supra-lunaire désigne la partie du cosmos qui se trouve au-dessus de l'orbite de la Lune.

À LIRE -› P. 42
Cinéma et BD : nos mises en scène de l'espace



La marquise de G*** et le philosophe dans le jardin, frontispice des *Entretiens sur la pluralité des mondes* par Bernard de Fontenelle, édition de 1733.

6 > Hypothèse scientifique d'univers multiples coexistant avec le nôtre et formant d'autres dimensions.

7 > La matière noire (ou matière sombre) est une composante hypothétique de l'Univers qui n'émet, n'absorbe et ne réfléchit aucune lumière, la rendant totalement invisible.

À LIRE -› P. 05
À la recherche des plus lointaines origines de l'Univers

› L'Univers : vers l'infini et au-delà

Une autre révolution marque le rapport du public à l'espace. En 1924, Edwin Hubble découvre d'autres galaxies, extérieures à la nôtre et, surtout, que tous les corps célestes s'éloignent de nous. L'astronome et physicien Georges Lemaître en tirera la théorie d'un Univers en expansion constante et multidimensionnelle, issu d'un « atome primitif » dont l'explosion sera plus tard appelée Big Bang. Pour Hugues Chabot, *« cette découverte majeure redimensionne notre Univers. Il n'est pas immobile, mais se déforme, se dilate, s'étend… ce qui fait écho aux théories de l'espace-temps formulées par Einstein »*. Les découvertes s'accélèrent et la compréhension de l'Univers s'affine en même temps qu'elle ne cesse de se complexifier. Partout, l'Univers questionne notre finitude. Qu'il s'agisse de se représenter un avant le Big Bang, des multivers[6], des distances telles que l'on doive les compter en années-lumière, voire imaginer des trous de ver, ces raccourcis spatio-temporels, ou de la matière noire[7]… tout devient vertigineux pour la pensée. L'Univers du 20e siècle ne cesse de nous confronter aux limites humaines tout en incarnant « une nouvelle frontière », selon la formule de John Fitzgerald Kennedy en 1960, qui attire toutes les convoitises. *« Maintenant qu'on a fait le tour de la Terre,* résume Éric Guichard, *il reste à coloniser le ciel »*. Une ambivalence entre puissance et fragilité qui alimente les récits. On peut parcourir l'immensité stellaire à bord du vaisseau Enterprise, dans *Star Strek*, quand d'autres histoires, comme *2001, l'odyssée de l'espace, Gravity* ou *Arrival*, appellent à l'humilité. Avec *Interstellar*, par exemple, Christopher Nolan montre à quel point notre espèce est insignifiante face à la puissance des mécanismes fondamentaux de l'Univers. La démesure qui la caractérise souvent se heurte ici à l'immensité de l'espace et à l'infinité du temps. Certes l'humanité parvient à se frayer un chemin et se sauver d'une fin annoncée, mais elle doit accepter sa condition de poussière d'étoile et ne peut plus se prétendre maître et possesseur d'une nature qui la dépasse.



© DR

« L'espace est l'un des derniers pourvoyeurs de sublime contemporain. »

Irène Langlet

Professeure de littérature comparée à l'Université Gustave Eiffel.

Au fil des millénaires, nos récits de l'espace se transforment, évoluant au rythme des connaissances et des énigmes qui demeurent. Et si astrologie et astronomie font désormais routes séparées, l'Univers reste un endroit où semblent cohabiter science et mystère. Finalement, conclut Irène Langlet, professeure de littérature comparée à l'Université Gustave Eiffel, *« l'espace est l'un des derniers pourvoyeurs de sublime contemporain »*.

À LIRE -› P. 21
Conquête spatiale : de nouvelles ambitions à l'épreuve du réel

© NASA, ESA, M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team (STScI)



Cette photographie baptisée la Montagne Mystique montre une vaste nébuleuse où naissent des étoiles. La zone fait partie de la nébuleuse de la Carène à 7500 années-lumière de notre planète.

CINÉMA ET BD : NOS MISES EN SCÈNE DE L'ESPACE

Par Ludovic Viévard, rédacteur

Dès les premiers films de Georges Méliès, au 19e siècle, l'espace nourrit l'imaginaire de la science-fiction. D'abord proche et familier, il s'étend progressivement à l'espace infini des confins. Soucoupes et vaisseaux, paysages orbitaux, extraterrestres et mondes inconnus composent un univers visuel en perpétuelle réinvention. De la bande dessinée au cinéma, ces représentations font de l'espace un territoire de projection où explorer l'ailleurs aussi bien que nous-mêmes.



Affiche de *Le Voyage dans la Lune* de Georges Méliès (1902).

Explorer l'espace proche

Les astres sont représentés dès les débuts du cinéma. Inspiré d'un roman de Jules Verne, *Le Voyage dans la Lune* de Georges Méliès sort en 1902. Un groupe d'astronautes se propulse sur la Lune et y rencontre ses habitants, les Sélénites. D'autres œuvres de cette période, comme *Aelita* de Iakov Protazanov (1924) ou *La Femme sur la Lune* de Fritz Lang (1929), imaginent l'espace proche de la Terre, dans lequel il est alors plus facile de se projeter. Comme dans la plupart des œuvres de SF, situer le récit dans un cadre imaginaire permet d'explorer sans contrainte les comportements humains.

L'espace des confins

En 1963 sort *Ikarie XB-1*, de Jindřich Polák. *« Ce film qui inspirera* 2001, l'odyssée de l'espace, Alien *ou* Solaris, *est l'un des premiers à sortir du système solaire »*, explique Martin Barnier, professeur en études cinématographiques à l'Université Lumière Lyon 2. L'espace change d'échelle pour symboliser l'infini, théâtre d'une aventure humaine sans cesse renouvelée. Dans *Interstellar,* Kip Thorne, prix Nobel de physique, a aidé Christopher Nolan à représenter Gargantua, un trou noir autour duquel gravite la planète Miller. Le film illustre la démesure de l'effondrement d'une étoile sur elle-même.



Le trou noir Gargantua. Photogramme d'*Interstellar*, réalisé par Christopher Nolan, Paramount Pictures et Warner Bros. Pictures (2014). © Bettman/CORBIS



Photogramme de l'épisode 1 de la saison 1 de *Flash Gordon* de Frederick Stephani et Ray Taylor, produit par Universal Pictures (1936).

Le *Space Opera* : rendre l'espace familier

Sous-genre de la science-fiction, le *Space Opera* se développe en bande dessinée, à la télévision et au cinéma. Dès le milieu des années 1930, ce dernier l'explore à travers des films à épisodes, les *serials*, projetés en première partie de séance pour fidéliser les spectateurs. *Flash Gordon*, en 1936, est l'une des premières séries du genre et contribue à standardiser un imaginaire visuel de l'espace, toujours vivant dans des œuvres comme *Star Wars* (1977-2019) de Georges Lucas.

De la soucoupe volante au vaisseau spatial
Après la fusée en forme d'obus, la soucoupe volante s'impose dans l'imaginaire de la SF. En 1947, le pilote américain Kenneth Arnold rapporte la première observation d'une soucoupe volante ou « flying saucer », qui devient un marqueur des OVNI. Le vaisseau spatial évoque, lui, le monde maritime. Ce registre s'épanouit lors de la conquête spatiale des années 1960, précise Irène Langlet, professeure de littérature comparée à l'Université Gustave Eiffel, et fait de « *l'immensité des océans une référence féconde pour évoquer, par transposition, l'espace stellaire* ». C'est sans doute dans *Albator* que la référence à l'univers marin est la plus évidente. Sur l'image, on voit la carlingue métallique du vaisseau spatial surmontée de la cabine du capitaine. Elle arbore le célèbre drapeau corsaire et évoque les galions qui ont sillonné les mers entre le 16e et le 18e siècle.



L'Arcadia, vaisseau spatial du capitaine Albator. Photogramme d'*Albator 84 : L'Atlantis de ma jeunesse*, film d'animation de Tomoharu Katsumata, d'après l'œuvre de Leiji Matsumoto, Toei Animation (1982).



Vol orbital autour de la planète fictive Vinéa. Roger Leloup, *Yoko Tsuno*, tome 6, *Les Trois Soleils de Vinéa* (1976). © Dupuis

Le paysage orbital : brouiller nos repères
Comment représenter l'espace, étendue sans limite ? D'abord avec des points de vue spatiaux singuliers (galaxies, étoiles, etc.), notamment observés depuis un hublot de vaisseau. Autre procédé : le paysage orbital. Celui-ci maintient une familiarité avec nos paysages terrestres tout en installant une perturbation visuelle. Plusieurs soleils ou un anneau permettent ainsi de signifier l'ailleurs. « *Deux lunes, ou trois, plutôt qu'une, font également l'affaire* », précise Irène Langlet dans son article sur « Le paysage spatial dans la bande dessinée de science-fiction » (*ReS Futurae,* 14, 2019).



Photogramme de *Rencontres du troisième type (Close Encounters of the Third Kind)*, Steven Spielberg, Columbia Pictures Corporation (1977).



Lévitation (2006) © Jean Giraud Mœbius / Mœbius Production

BD et cinéma : des médias aux contraintes différentes
BD et cinéma se sont mutuellement influencés. Plusieurs auteurs français qui publient dans *Pilote* et *Métal Hurlant,* dans les années 1970, forment un courant graphique d'influence internationale, comme le reconnaîtront des cinéastes tels que Georges Lucas, James Cameron ou Ridley Scott. Mais s'il y a des circulations entre cinéma et BD, les modalités de narration diffèrent : « *L'image animée offre une dimension plus immersive, quand l'image séquentielle peut favoriser un regard plus contemplatif* », précise Irène Langlet.

L'ambivalence extraterrestre
L'espace est peuplé d'extraterrestres ! Mais tous n'ont pas les mêmes intentions. Porteurs d'un message de paix dans *Himmelskibet* (1918) du danois Holger-Madsen, les aliens sont au contraire belliqueux dans le roman de Herbert George Wells, *La guerre des mondes* (1898). L'ouvrage brosse un scénario de dévastation qui sera très largement repris par le cinéma. Un indice de leurs intentions est parfois porté par leur apparence physique. Les humanoïdes de *Rencontres du troisième type* s'inscrivent dans une représentation devenue classique des extraterrestres dont la tête disproportionnée symbolise des êtres évolués aux capacités extraordinaires.

OURS

DIRECTION DE LA PUBLICATION : **Nathalie Dompnier,** Présidente de la ComUE Université de Lyon
DIRECTION DE LA RÉDACTION : **Isabelle Bonardi,** Directrice Culture, Sciences et Société - Pop'Sciences - Université de Lyon

COMITÉ DE RÉDACTION

RÉDACTION EN CHEF : **Samantha Dizier** et **Anne Guinot-Delemarle** (Pop'Sciences - Université de Lyon)
RÉDACTEURS ET JOURNALISTES : **Caroline Depecker, Samantha Dizier, Grégory Fléchet, Anne Guinot-Delemarle, Marie Privé, Ludovic Viévard, Clémentine Vignon**
DIRECTION ARTISTIQUE : **Magdalena Nin Ott, Antoine Ligier** (Agence Visée.A) et **Vincent Noclin**
CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES ET ILLUSTRATIONS : **© Visée.A, © Vincent Noclin**
MAQUETTE ORIGINALE : **Cultivescence**
SECRÉTARIAT DE RÉDACTION : **Samantha Dizier, Anne Guinot-Delemarle, Patricia Lamy** (Pop'Sciences - Université de Lyon)

COMITÉ SCIENTIFIQUE

Hugues Chabot, maître de conférences en philosophie et épistémologie à Lyon 1 Université.
Isabelle Daniel, professeure à Lyon 1 Université, enseignante-chercheuse au Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement*.
Johan Richard, astronome au Centre de recherche astrophysique de Lyon (Lyon 1 Université, ENS de Lyon, CNRS), vice-président de la Société française d'astronomie et d'astrophysique.
Patrick Thollot, professeur agrégé de sciences de la Terre et de l'Univers à l'ENS de Lyon.

ONT ÉGALEMENT CONTRIBUÉ À LA RÉALISATION DE CE NUMÉRO :

Muriel Andreani, enseignante-chercheuse à Lyon 1 Université et au Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement*, **Martin Barnier,** professeur en études cinématographiques à l'Université Lumière Lyon 2, **Adélaïde Claeyssens,** chercheuse au Centre de recherche astrophysique de Lyon (Lyon 1 Université, ENS de Lyon, CNRS), **Frédéric Courtade,** responsable du Groupe d'études et d'informations sur les phénomènes aérospatiaux non identifiés (GEIPAN – CNES), **Mireille Couston,** professeure émérite de droit international à l'Université Jean Moulin Lyon 3, **Julien d'Huy,** historien et mythologue au Laboratoire d'anthropologie sociale du Collège de France, **Florence Gaillard-Sborowsky,** chercheuse en charge des questions spatiales à la Fondation pour la recherche stratégique, **Éric Guichard,** chercheur associé au Laboratoire Triangle de Lyon (CNRS, ENS de Lyon, Université Lumière Lyon 2, Sciences Po, Université Jean Monnet Saint-Étienne), **Brian Kalafatian,** chercheur en science politique à l'Institut d'études de stratégies et de défense de Lyon (Université Jean Moulin Lyon 3), **Irène Langlet,** professeure de littérature comparée à l'Université Gustave Eiffel, **Stéphanie Lizy-Destrez,** professeure en ingénierie des systèmes spatiaux à l'ISAE-SUPAERO, **Cathy Quantin-Nataf,** professeure à Lyon 1 Université et au Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement*, **Irénée Régnauld,** doctorant en sociologie à l'École des hautes études en sciences sociales, **Mickaël Rigault,** chercheur au sein de l'équipe Cosmo de l'Institut de physique des deux infinis de Lyon (Lyon 1 Université, CNRS), **Alessandra Scaccuto,** docteure en langues et littératures anciennes au CEPAM (CNRS, Université Côte d'Azur), **Franck Selsis,** directeur de recherche CNRS au Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux (Université de Bordeaux, CNRS), **Isabelle Sourbès-Verger,** géographe et directrice de recherche au CNRS au Centre Alexandre-Koyré (École des hautes études en sciences sociales, CNRS, Muséum national d'histoire naturelle).

* Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement (Lyon 1 Université, Université Jean Monnet Saint-Étienne, ENS de Lyon, CNRS).

PARTENAIRES POP'SCIENCES MAG

Ce numéro est imprimé sur du papier recyclé non blanchi.
ISSN : 2680-5987 – Parution : novembre 2026 – Dépôt légal : septembre 2019. Pop'Sciences est une marque déposée

POP'SCIENCES MAG

Édité par la ComUE Université de Lyon depuis 2018, Pop'Sciences Mag propose, deux fois par an, de décrypter un enjeu de société d'actualité par le croisement des regards de scientifiques et experts.

➵ **Des contenus originaux et accessibles** : enquêtes, interviews, reportages, qui donnent la parole aux scientifiques de différentes disciplines des établissements d'enseignement supérieur et de recherche de Lyon et Saint-Étienne, avec la collaboration d'acteurs du territoire (collectivités, associations, entreprises, établissements culturels...).
➵ **Un outil de connaissance, de culture personnelle et de formation** qui permet de découvrir la richesse de la recherche lyonnaise et stéphanoise.
➵ **Un magazine disponible gratuitement sur deux supports : numérique et papier.**

LES DERNIERS POP'SCIENCES MAG PARUS : COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION !











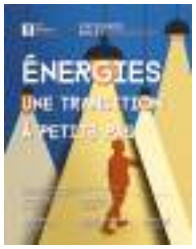














Pour contacter la rédaction, s'abonner au magazine, recevoir un exemplaire gratuit : popsciences@universite-lyon.fr

LE POP'SCIENCES MAG EST UNE PUBLICATION :

UNIVERSITÉ DE LYON

L'Université de Lyon est une Communauté d'universités et établissements (ComUE) qui rassemble 11 membres, 19 associés et 5 organismes de recherche et partenaires scientifiques sur Lyon et Saint-Étienne.

Les établissements d'enseignement supérieur et de recherche du site Lyon Saint-Étienne déploient une stratégie scientifique commune pour se saisir des grands enjeux et défis de société contemporains. Elle s'appuie à la fois sur des réseaux disciplinaires qui mènent des actions de recherche, formation, partenariat avec des acteurs socio-économiques, diffusion des savoirs auprès du grand public, et sur des instituts qui réunissent des communautés scientifiques de multiples disciplines pour travailler sur une thématique commune de façon transversale.
Plus d'informations sur : https://www.universite-lyon.fr/strategie-scientifique-de-site/



POP'
SCIENCES
Université de Lyon

RETROUVEZ TOUTE L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE DE LA COMUE UNIVERSITÉ DE LYON SUR LE PORTAIL NUMÉRIQUE POP'SCIENCES !

popsciences.universite-lyon.fr

P comme **Partager les savoirs**
O comme **Ouvrir les campus**
P comme **Produire de la connaissance avec et pour les citoyens**

Avec Pop'Sciences, la ComUE Université de Lyon donne la possibilité à tous ceux qui ont soif de savoirs ou à tous les curieux de sciences de s'informer, de rencontrer des scientifiques et de se questionner sur des sujets divers qui nous permettent de mieux comprendre le monde qui nous entoure.

Via son site internet, Pop'Sciences met en avant les différents rendez-vous autour des sciences, accessibles à tous, organisés à Lyon et aux alentours et donne accès à une banque de ressources multimédias sur de nombreux thèmes et grands sujets de société.