

Questions internationales

Payer la guerre : l'étonnante équation de Vladimir Poutine
Cambodge : succès économiques et autoritarisme politique
La Lune, une conquête cinématographique

À la conquête de la Lune

N°s 131-132 Juin-septembre 2025



Conseil scientifique

Patrick Allard
Gilles Andréani
Yves Boyer
Pierre Buhler
Frédéric Charillon
Jean-Arnault Dérens
Alain Dieckhoff
Alice Ekman
Julian Fernandez
Robert Frank
Stella Ghervas
Pierre Grosser
Sabine Jansen
Maya Kandel
Maxime Lefebvre
Christian Lequesne
Céline Marangé
Jean Mendelson
Hélène Miard-Delacroix
Françoise Nicolas
Marc-Antoine Pérouse de Montclos
Jean-Luc Racine
Frédéric Ramel
Philippe Ryfman
Dorothee Schmid
Serge Sur
Manon-Nour Tannous
Élie Tenenbaum
Olivier Zajec

Rédaction

Rédacteurs en chef
Serge Sur, Sabine Jansen

Équipe éditoriale

Ninon Bruguière
Jérôme Gallois
Stéphane Violet

Stagiaires

Alice Ménez
Ilyan Remita

Cartographe

Cyrille Suss

Traductrice

Jane Roffe
www.oxford-comma.co.uk

Conception graphique

Nicolas Bessemoulin

Mise en page

Éric Monnier

Impression

DILA
26, rue Desaix
75015 Paris

Contactez la rédaction :

QI@dila.gouv.fr

Questions internationales assume la responsabilité du choix des illustrations et de leurs légendes, de même que celle des intitulés, chapeaux et intertitres des articles, ainsi que des cartes et graphiques publiés.

Les encadrés figurant dans les articles sont rédigés par les auteurs de ceux-ci, sauf indication contraire.

La Lune a depuis longtemps été conquise par l’imaginaire dans ses différents registres, et chacun connaît les rêves de voyages sur notre satellite, qui remontent à l’Antiquité. Ces rêves sont devenus projets et seront demain réalité, après quelques brèves incursions américaines depuis le premier pas de Neil Armstrong, le 21 juillet 1969. Depuis lors, l’attention s’en était plutôt détournée, les activités spatiales se concentrant sur l’étude, la surveillance, les communications terrestres, les utilisations stratégiques dirigées vers la Terre. C’est l’espace sublunaire qui reste le plus exploité. Il est même devenu, grâce aux satellites, indispensable à la plupart des activités humaines, quoique de façon invisible. Son exploitation n’est plus seulement le fait d’entités publiques mais, de plus en plus, de sociétés privées. Les constellations de satellites artificiels regardent avant tout vers la Terre – mais cette maîtrise du ciel terrestre est un préalable nécessaire à tout projet d’occupation humaine permanente de la Lune.

Depuis au moins le début du XXI^e siècle, ces projets ont pris une forme opérationnelle, et la perspective de stations lunaires habitées devient concrète. La conquête de la Lune soulève nombre de questions nouvelles qui demeuraient jusque-là théoriques. Objet scientifique, la connaissance exacte de son terrain, de ses ressources, de la possibilité d’y disposer ou non d’énergie, d’eau, d’oxygène, nécessaires à la vie humaine, est indispensable. Objet juridique, il s’agit de préciser un statut jusque-là virtuel et défini négativement – la Lune est insusceptible d’appropriation nationale, et démilitarisée. Il conviendra de déterminer le régime de l’exploitation de son sol, des activités qui s’y dérouleront comme des ressources qu’il contient. Tâches complexes, d’autant plus que l’immensité des projets rend nécessaire une coopération internationale, tant entre États qu’entre entreprises privées. Enfin la Lune promet de devenir la base de départ pour une exploration plus poussée de l’espace profond et d’abord du système solaire, la planète Mars étant la prochaine cible d’une occupation humaine.

On revient pleinement sur la Terre et ses tourments avec les rubriques récurrentes de *Questions internationales*. Les « Questions européennes » s’interrogent sur le financement de la guerre en Ukraine par la Russie. Les « Regards sur le monde » s’attachent au Cambodge, sorti d’une longue nuit de barbarie, et qui associe désormais des succès économiques à un autoritarisme politique fréquent dans la région. On retrouve tout de même l’espace, la Lune, leur ailleurs, la dilatation vers l’infini et les enchantements de l’imaginaire avec « Les questions internationales à l’écran », qui reviennent sur les représentations de la conquête lunaire au cinéma.

Questions internationales

Sommaire

Dossier

À la conquête de la Lune

4 Ouverture – La Lune,
le Sage et son doigt
Serge Sur

L'espace sublunaire, banlieue de la Terre

14 Les puissances spatiales,
actuelles et émergentes
Isabelle Sourbès-Verger

24 Les utilisations civiles
de l'espace :
un « Far West » à réguler ?
Lucien Rapp

36 Les nouvelles modalités
d'exploitation de l'espace :
les États-Unis
et le NewSpace
Paul Wohrer

46 Les activités spatiales
militaires :
confrontations juridiques
et stratégiques
Hugo Peter

56 Satellites, constellations
satellites :
une nouvelle ère
Christian Hyde et Hugo Lemoine

66 Un risque croissant :
les débris spatiaux
Christophe Bonnal

78 Protéger les planètes,
défendre notre planète
Jean-Claude Worms

La Lune, corps céleste désirable

90 Le retour des « grands
programmes d'exploration
de corps célestes » :
entre vieilles
et nouvelles lunes
Alban Guyomarc'h

102 Missions et programmes
lunaires :
entre compétition
technologique
et rivalité stratégique
Florence Gaillard-Sborowsky

112 **La Lune, relais de l'exploration spatiale vers des mondes plus lointains**
Virgile Malarewicz

119 **Ressources lunaires, installations humaines et défis environnementaux**
Stéphanie Lizy-Destrez

129 **La logistique spatiale dans les programmes d'exploration lunaire**
Emilie Desmonts

136 **Les questions juridiques propres au statut de la Lune et au régime des activités lunaires**
Emmanuel Bourdoncle

Et les contributions de

Sarah Ben Bouazza et Alice Ménez (p. 110), Philippe Boulanger (p. 74), Dimitri Chuard (p. 98), Anna Hurova (p. 42), Giao-Minh Nguyen (p. 64), Philippe Steininger (p. 52) et Soufiane Zekri (p. 126).

Questions européennes

142 **Payer la guerre : l'étonnante équation de Vladimir Poutine**
Patrick Allard

Regards sur le monde

149 **Cambodge : succès économiques et autoritarisme politique**
Mathieu Guérin

Les questions internationales à l'écran

158 **La Lune, une conquête cinématographique**
Jean-Baptiste Féline

Liste des cartes et encadrés

Abstracts

168 et 171

La Lune, le Sage et son doigt

On connaît le proverbe chinois : « Quand le sage montre la lune, l'imbécile regarde le doigt. » On comprend qu'il faut s'attacher aux buts et non aux moyens, aux objectifs et non aux procédures. Mais ce proverbe ne traduit-il pas une fausse sagesse ? Après tout, le prétendu sage ne l'a pas découverte, la Lune est là quand elle est là, nul besoin de nous la montrer. Il est peut-être plus intéressant de savoir pourquoi le sage la désigne, et aussi comment il la désigne. Sa sagesse serait-elle celle d'un temps où aller sur la Lune paraissait de l'ordre du rêve ? Ou alors, de façon anticipatrice, ce doigt tendu comme une fusée serait-il une invitation à s'y rendre, à la conquérir réellement et non à simplement la percevoir à distance ? Le doigt témoigne-t-il d'une infirmité ou d'un projet ? Si l'on s'était borné à contempler la Lune, jamais ce doigt ne se serait transformé en fusée. Aujourd'hui, il est clair qu'elle est sortie des domaines de l'imaginaire qu'elle a si longtemps parcourus pour celui de la connaissance scientifique, prélude à sa conquête et à son exploitation, dans une approche opérationnelle qui implique également une régulation juridique.

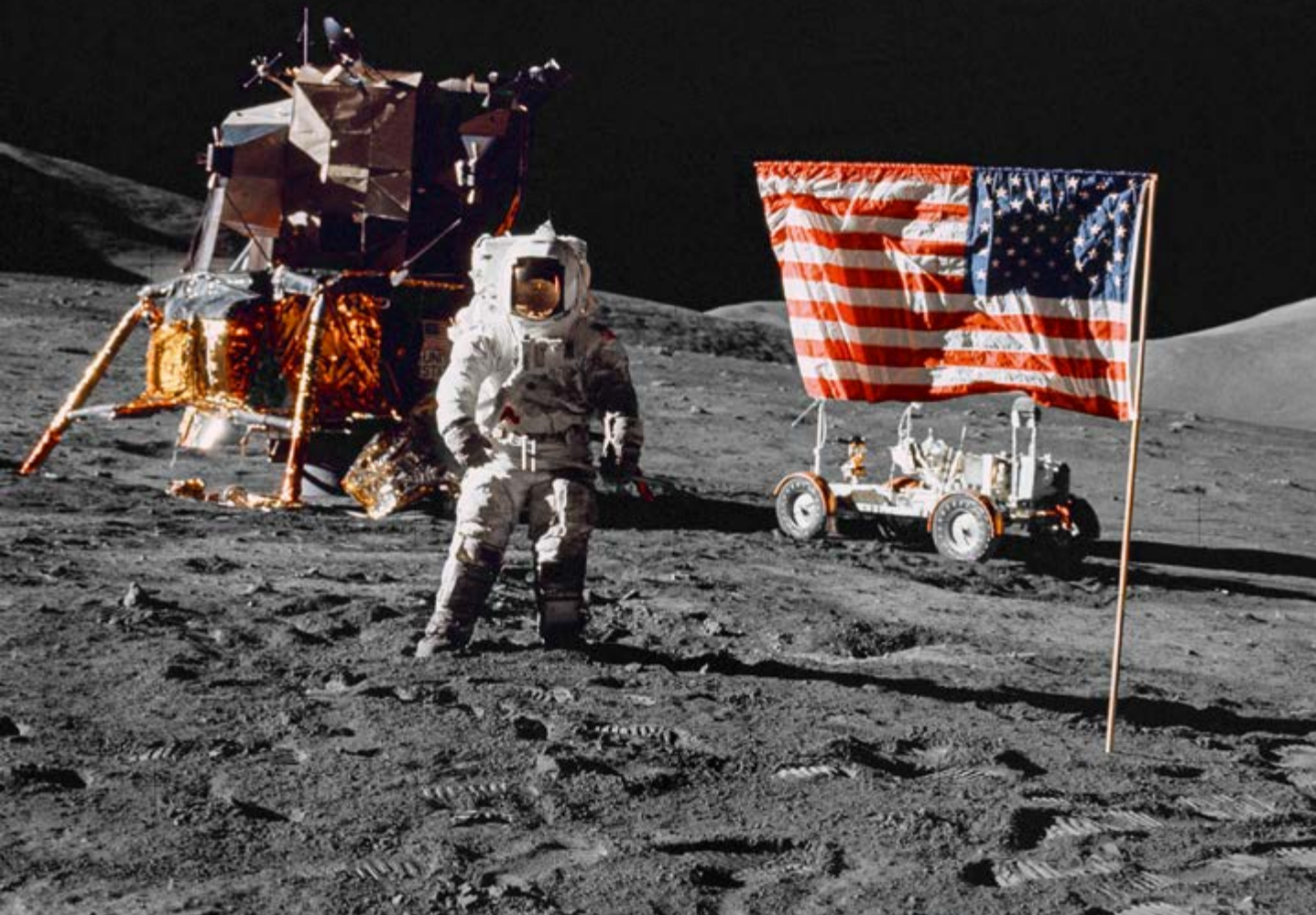
La Lune et l'imaginaire de l'au-delà

On ne saurait oublier une dimension religieuse de la Lune, puisque l'Islam a fait de son croissant un symbole identitaire et céleste. Plus poétiquement, le philosophe Gaston Bachelard (1884-1962) a consacré plusieurs ouvrages aux quatre éléments de la nature comme pôles de différents imaginaires : *Psychanalyse du feu* (1938), *L'Eau et les rêves* (1942), *L'Air et les songes* (1943), *La Terre et les rêveries du repos* (1948), *La Terre et les rêveries de la volonté* (1948). Bachelard écrivait aussi que la rêverie poétique est une

rêverie cosmique. La Lune est un support pour l'imaginaire de l'au-delà. Au cours des siècles, il a été décliné sur de multiples registres, tant dans les croyances populaires que dans la littérature, les chansons et la musique, la gravure et la peinture. À la fois proche et lointain, cet astre facétieux parfois se montre, parfois se cache, et dissimule toujours une face de lui-même. Des croyances immémoriales s'attachent à son influence supposée, faste ou néfaste, sur les corps et les esprits : loups-garous et pleine lune, liens entre accouchements et phases de la lune, effets sur la croissance harmonieuse des plantations, action sur les esprits malades, volontiers qualifiés de lunatiques – et le mot désigne en anglais la folie –, ou au minimum emprise sur les humeurs – être bien ou mal luné... À distance, ce satellite est bien présent dans notre vie quotidienne.

Musique et chansons

Le registre de l'imaginaire se décline sur de multiples plans. Musique et chansons ne sont pas l'un des moindres. Nombreuses sont les chansons, d'*Au clair de la Lune*, comptine enfantine au sens érotique caché, au *Dark Side of the Moon* des Pink Floyd et à *Fly Me to the Moon* immortalisée par Frank Sinatra, en passant par « La lune était sereine » et sous sa clarté Aristide Bruant cherche fortune autour du *Chat Noir*, sans oublier Charles Trenet et « Le soleil a rendez-vous avec la lune... » (« ... mais le soleil ne la voit pas »), la *Chanson dans la lune* de Jacques Prévert ou encore *J'ai demandé à la Lune* du groupe Indochine. Elle inspire aussi des opéras, comiques, satiriques, féeriques, Haydn avec *Il Mondo della luna*, Offenbach avec *Le Voyage dans la Lune* mais aussi avec *Ballade à la Lune* dans *Fantasio*, mise en musique d'un poème d'Alfred de Musset, *Vieille Lune de*



↑ L'astronaute américain Harrison H. Schmitt est le dernier homme à avoir marché sur la Lune lors de la mission Apollo 17, le 13 décembre 1972. La mission américaine Artemis II, prévue pour le début de l'année 2026, constituera donc la première tentative de vol habité quittant l'orbite terrestre depuis 54 ans.

© Ann Ronan Picture Library/Photo12 via AFP

Bilbao, tirée de la comédie musicale *Happy End*, de Kurt Weill, Elisabeth Hauptmann et Bertolt Brecht. Et, sur le plan pianistique, qui pourrait oublier l'opus 27 n° 2 de Ludwig van Beethoven, sa quatorzième sonate, l'obsédante *Clair de lune*, parmi tant d'autres pièces de compositeurs variés, dont « Clair de lune » de la *Suite bergamasque* de Claude Debussy ou la chanson *Le Lever de la lune*, de Camille Saint-Saëns ?

Littérature et science-fiction

Dans la littérature, une transition de la musique au roman est possible avec Proust et sa « mauve

agitation des flots que charme et bémolise le clair de lune » dans *La Recherche...*, exemple d'une certaine préciosité de son style. En 2019-2020, l'université de Chicago a consacré un cours au rôle de notre satellite naturel dans le romantisme littéraire et musical. Parallèlement à la science-fiction, à laquelle elle fournit un riche terreau sur lequel on va revenir, la Lune est aussi vue à partir de ses effets terrestres, notamment dans des romans policiers, puisque, entre autres caractères, elle serait volontiers criminogène ou pour le moins inquiétante, son obscure clarté propice à susciter les pulsions malignes et à les dissimuler. Pêle-mêle, *Le Coup de lune* (1933), de Georges Simenon, *La lune n'est pas longtemps pleine* (2017), de Patrick Bent, *La Face cachée de la Lune* (2000), de Martin Suter, *L'Œil de la Lune* (2008), roman anonyme, *Pierre de lune*, de

Wilkie Collins, *La Septième Lune*, de Piergiorgio Pulixi, *Infortune sous la Lune*, de Gérard-Henri Hervé, *Quand la lune sera bleue*, de Martin Solanes... témoignent de la diversité, de la popularité et de la permanence des références lunaires pour l'atmosphère des *thrillers*.

La science-fiction constitue, quant à elle, un genre à part et de plein exercice de la littérature sélénite. Elle a des lettres de noblesse très anciennes, puisque l'on considère que l'une de ses premières illustrations est Lucien de Samosate, qui dans ses *Histoires vraies* montre, au II^e siècle de notre ère, des marins grecs poursuivis par une tempête qui les transporte jusqu'à la Lune. C'est avec les découvertes de Kepler et de Galilée que le thème revient à la mode, avec parmi d'autres *L'Homme dans la Lune* (1620), de Francis Godwin, la satirique *Histoire comique des États et Empires de la Lune* de Cyrano de Bergerac (vers 1650), et Molière fait les « femmes savantes » s'interroger sur la présence d'hommes sur la Lune, tandis que Fontenelle, dans ses *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686), suppose l'existence de Sélénites. Mais rien n'égale la popularité et le prestige des deux volumes de Jules Verne : *De la Terre à la Lune* (1865), roman d'anticipation et non de fantaisie, dans lequel il prévoit le lancement par les États-Unis d'un boulet-fusée qui part de Floride, prévoyant avec un siècle d'avance l'arrivée des hommes sur la Lune ; puis *Autour de la Lune* (1869), mise en orbite circumlunaire des voyageurs.

Cinéma et bande dessinée

C'est dès sa naissance que le cinéma s'empare du sujet, avec *Le Voyage dans la Lune* (1902), de Georges Méliès. L'influence de la littérature lunaire est décisive, puisque nombre de films qui suivent s'inspirent de romans de science-fiction et en font la base de leurs scénarios. Beaucoup soulignent les dangers de la découverte et de l'exploration spatiale. Le film *Apollo 13*, de Ron Howard (1995), retrace l'histoire de la septième mission spatiale habitée américaine vers la Lune en 1970, en s'inspirant du livre de souvenirs de l'un des astronautes de la mission. La récente série américaine à succès *Space Force* (2020)

évoque quant à elle avec humour les aléas des missions spatiales habitées vers la Lune.

Vide interstellaire autant que corps célestes, hérissés d'obstacles géophysiques ou de menaces d'extraterrestres, sont souvent source d'angoisses. *La Guerre des mondes* (1898), roman de H. G. Wells, a fait l'objet de plusieurs adaptations pour le cinéma, notamment en 1953 (Byron Haskin) puis en 2005 (Steven Spielberg), et de deux séries télévisées au moins. Mais la science-fiction au cinéma va se détourner de la Lune, devenue objet scientifique. Plus on la connaît, plus elle perd ses mystères. Mars a dans une certaine mesure pris le relais, les Martiens ont remplacé les Sélénites, mais la planète « rouge », comme notre satellite, perd progressivement son imaginaire. Les canaux qui semblaient la parcourir sont, comme les supposées mers de la Lune, devenus des espaces stériles et désenchantés. On s'attache alors à l'espace profond. *2001, l'Odyssée de l'espace* (1968), de Stanley Kubrick, en est une brillante illustration.

Parallèlement au cinéma, la bande dessinée, qui a connu un essor comparable – les deux se nourrissant parfois l'un de l'autre –, s'est aussi beaucoup intéressée aux autres mondes et d'abord à la Lune. Le savant Cosinus, polytechnicien distrait, avait découvert à la fin du XIX^e siècle « un habitant dans la Lune ». Puis ce sont des générations de jeunes lecteurs qui, en Europe surtout, ont suivi et suivent encore avec passion et inquiétude les aventures de Tintin, *Objectif Lune* (1953) et *On a marché sur la Lune* (1954). Le professeur Tournesol, archétype du savant génial et excentrique, y construit la fusée atomique. La conquête est alors en marche. Par la suite, la BD s'est dirigée vers un public adulte avec, par exemple, la série *De cape et de crocs* (1995-2016, Jean-Luc Masbou, scénario d'Alain Ayroles) dont plusieurs volumes se passent sur la Lune.

La conquête spatiale s'est aussi éloignée de la Lune pour des mondes plus lointains, elle l'a même fait depuis longtemps. Ainsi, on ne se souvient guère, en dehors des spécialistes et des collectionneurs, de la revue *Meteor*, 110 numéros publiés en France entre 1953 et 1967 sous l'intitulé général *Les Conquérants de l'espace*. Ou comment trois astronautes explorent de multiples

LA CONQUÊTE SPATIALE



planètes, toutes plus humaines les unes que les autres, chacune avec ses problèmes mais aussi d'accueillantes extraterrestres dont il faut bien vite quitter les promesses de possible bonheur : la quête d'un ailleurs absolu, une errance perpétuelle qui toujours ramène à la Terre. Aujourd'hui, devenue objet scientifique, la Lune ne fait plus rêver, mais réfléchir et agir.

La Lune, objet scientifique, objet juridique et nouvelle frontière de la Terre

Paul Valéry écrivait qu'« il fallait être Newton pour voir que la Lune tombe [sur la Terre], alors que tout le monde voit bien qu'elle ne tombe pas ». Voilà ce qui pourrait être une heureuse transition entre approche littéraire et approche scientifique, une présentation poétique de l'attraction. Mais la réalité scientifique est inverse. La Lune provient de la Terre, dont elle a été arrachée par la chute d'un aérolithe pour être projetée dans l'espace il y a bien longtemps. Loin de s'en rapprocher, elle s'en éloigne au rythme de quelques centimètres par an. Dans quelques milliards d'années, elle devrait échapper à l'attraction terrestre – sauf que Lune et Terre devraient à cette époque avoir été toutes deux avalées par le Soleil, dilaté par son agonie, tant il est vrai que nous assistons, en léger différé et au ralenti, au suicide de notre étoile. Pour le savoir, il faut une connaissance scientifique des lois de l'espace, et de la Lune. Elle s'est développée au cours des siècles, et ce depuis l'Antiquité, parallèlement aux rêves littéraires et poétiques que notre satellite a pu susciter. La Lune a depuis longtemps été considérée comme un objet scientifique, puis l'exploration de l'espace a exigé une régulation qui en a fait un objet juridique, avant que la perspective de son utilisation en fasse la nouvelle frontière de la Terre.

La Lune, objet scientifique

Ici encore, c'est le doigt du sage qui est important. Avant d'être fusée lunaire, il a été télescope, qui permet de mieux observer et étudier la Lune. Au cours du XVII^e siècle, son développement mobilise plusieurs scientifiques, notamment le Hollandais Lippershey (1572-1619) qui

serait son inventeur, Galilée (1564-1642), Kepler (1571-1630), Newton (1642-1727). On peut sur la base de ces observations calculer la distance de la Terre à la Lune, les moments où elle s'en rapproche et où elle s'en éloigne dans sa course circumterrestre, pourquoi elle est parfois rousse, parfois rouge, sa place dans le système solaire, préciser ses phases, qui dès l'Antiquité permettaient de mesurer et de rythmer le temps, prévoir ses éclipses. On peut aussi expliquer l'origine des cratères sur son sol, résultat d'un bombardement continu de météorites qui ne sont freinées par aucune atmosphère. Devenue objet d'observation scientifique, la Lune échappe aux délires et rêves qu'elle a pu susciter. Considérée dans des temps immémoriaux et des civilisations variées comme une divinité, bienveillante ou maléfique, elle est alors désenchantée, même si elle demeure une matrice de métaphores littéraires, poétiques, ou une source de croyances populaires.

Toutes ces données concernent aussi la Terre. Descartes (1596-1650) et Newton découvrent son influence sur les marées, qui provient de l'attraction gravitationnelle qu'elle exerce sur la Terre et particulièrement sur ses fluides. Ces connaissances sont multipliées dans la seconde moitié du XX^e siècle par le développement des satellites terrestres, qui sont d'abord outils d'observation de la Terre, comme de communication et de surveillance, possiblement aussi de menaces diverses, on va y revenir. Les satellites permettent cependant de mieux connaître la Lune, ne serait-ce que parce que, situés en dehors de l'atmosphère terrestre, ils en offrent une vision plus précise et plus directe. Le déploiement de télescopes dans l'espace y contribue encore davantage, tout comme la possibilité de lancer des objets autour de la Lune, qui lèvent le mystère de sa face cachée : elle ne présente pas de caractéristiques différentes de sa face visible. De façon plus générale, toute l'activité spatiale ramène d'abord à la Terre dont elle provient, et permet de mieux maîtriser les activités multiples qui s'y déroulent. C'est là, comme le faisait observer le professeur René-Jean Dupuy, la revanche de Ptolémée (II^e siècle après notre ère) sur Copernic (1473-1543) : l'espace, ciel de la Terre, la remet au centre de l'univers observable.

La Lune, objet juridique

La conquête de la Lune passe ainsi par plusieurs étapes. D'abord conquête du regard, puis conquête de l'esprit, elle s'ouvre désormais à une occupation humaine permanente, dont la perspective dessine déjà l'étape suivante, celle de l'exploration et de l'occupation d'autres planètes, avant tout Mars. Dès le lancement de *Sputnik* par l'URSS, en 1957, suivi par des satellites américains, une étape non scientifique ou technologique s'est imposée, celle de la réglementation juridique des activités spatiales. Il s'agit de les soumettre à des règles qui régissent la compétition entre les acteurs qui s'y livrent, surtout au départ entre ces deux puissances antagonistes ou concurrentes que sont les États-Unis et l'URSS.

Il s'agit en particulier de soustraire la Lune à une appropriation étatique qui, selon le droit international terrestre, pourrait procéder du droit du premier occupant. Les deux compétiteurs, comme les autres États, dans l'incertitude du résultat de la course à la Lune, s'accordent pour écarter toute souveraineté territoriale sur notre satellite, mais aussi, au passage, sur tous les autres corps célestes, qu'il s'agisse de planètes, d'étoiles, d'astéroïdes ou de comètes... Une résolution de l'Assemblée générale des Nations Unies (Rés. 1962 [XVIII] du 13 décembre 1963) précède et annonce le traité sur l'espace extra-atmosphérique de 1967, qui demeure la charte actuelle de l'espace.

Le traité du 27 janvier 1967, adopté par l'Assemblée générale et ouvert à la signature de tous les États, énonce «les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes». Il est fondamental pour le droit de l'espace, à la fois en ce qu'il prévoit et en ce qu'il ne mentionne pas. S'il soumet l'espace au droit international, il ne dit rien de positif sur le statut des espaces concernés, sauf de façon négative : ils sont insusceptibles d'appropriation nationale, tout comme la haute mer. Il confond vide interstellaire et corps célestes, parce qu'il ne s'attache qu'aux activités qui s'y déroulent et non à leur statut. Il les distingue cependant sur un point : la Lune en particulier est totalement démilitarisée, à l'instar de l'Antarctique

avec le traité de 1959, tandis qu'est seul interdit le placement dans l'espace d'armes de destruction massive, notamment d'armes nucléaires. Cela implique que des missiles porteurs de ces armes peuvent transiter par l'espace mais pas être mis en orbite. On garantit ainsi la pérennité de la dissuasion nucléaire. Le traité ne fixe pas la limite entre atmosphère et espace extérieur, parce que les activités visées appartiennent à l'une ou à l'autre. Il ne distingue pas entre espace sublunaire et espace profond.

“
**Le traité de 1967 est
fondamental pour le droit
de l'espace, à la fois
en ce qu'il prévoit et en ce
qu'il ne mentionne pas**
”

Ce traité, quelque soixante ans plus tard, a été très largement accepté et globalement respecté, alors même que les activités spatiales se sont multipliées, que le nombre des acteurs a augmenté, aussi bien organismes publics que désormais firmes privées, et que l'intérêt pour l'espace s'est considérablement élargi. Au départ, la compétition, y compris la course à la Lune, a été étatique et militaire. Il ne fallait pas que l'un des deux compétiteurs prenne en la matière un avantage décisif. De nos jours, l'utilisation est aussi bien civile et commerciale que stratégique, et les deux secteurs utilisent les mêmes outils, satellites et données étant virtuellement à double usage. Le déploiement d'armes dans l'espace n'est pas interdit, à condition qu'elles ne soient pas de destruction massive, mais il n'y a pas officiellement aujourd'hui de telles armes en orbite – même si un satellite que l'on peut guider peut devenir une arme par destination. L'importance stratégique de l'espace est cependant essentielle, pour la surveillance et le renseignement, la maîtrise d'un champ de bataille, le guidage vers des cibles, les communications, etc.

Au-delà du traité de 1967, d'autres traités sont intervenus sur des points particuliers, comme

la responsabilité, le sauvetage des spationautes, l'immatriculation des objets spatiaux. Il faut y ajouter des lois nationales et divers *guidelines* ou codes de conduite internationaux, un ensemble de recommandations non obligatoires, qui font du régime des activités spatiales une sorte de millefeuille constitué de règles de nature et d'importance variables, un régime complexe et hybride, sous le parapluie du canonique traité de 1967. Pour ce qui concerne plus spécialement la Lune, il existe bien un traité de 1979 qui stipule que « la Lune et ses ressources naturelles constituent le patrimoine commun de l'humanité » (art. 11.1). C'est donc cette fois un statut comparable à celui du fond des mers régi par la convention de Montego Bay (1982) sur le droit de la mer. Cela signifie que les pays qui ne sont pas des puissances spatiales entendent avoir un droit de regard sur l'utilisation de la Lune, voire tirer bénéfice de ses ressources. Cependant, il ne faut pas surestimer ce traité, qui n'a été ratifié par aucune puissance spatiale, de sorte que sa signification est plus symbolique que réelle. On pense aux revendications des pays concernés sur l'orbite équatoriale, où circulent les satellites de télédétection à 36 000 kilomètres au-dessus de la Terre, revendications restées sans lendemain.

La Lune, nouvelle frontière de la Terre

Il faut ici entendre « frontière » au sens métaphorique, celui de John F. Kennedy lorsqu'il parlait, dans la décennie 1960, de « nouvelle frontière », renvoyant au défi des pionniers lancés à la conquête de l'Ouest américain. Ce défi n'est plus désormais celui d'individus ou de petits groupes, mais celui de puissantes administrations, institutions de recherche, industries, mobilisant savoirs, argent, équipes, avec une programmation sur des décennies. Les implications technologiques, industrielles, financières en font une compétition aristocratique, désormais ouverte aussi à quelques firmes privées, dont l'américain SpaceX, fondé en 2002 par Elon Musk, est la plus connue. L'Europe dispose, quant à elle, d'une institution internationale, l'Agence spatiale européenne.

Après quelques décennies de latence, où l'on semblait avoir renoncé à envoyer des hommes sur la Lune, il s'agit maintenant d'organiser une

installation durable de villages lunaires, et sur le papier on prévoit déjà qu'ils puissent vivre en quasi-autarcie. On a en effet trouvé de l'eau sous forme glaciaire, comme l'avait prévu Tintin, au pôle Sud de la Lune. Les matériaux disponibles permettront de fabriquer les bâtiments et de les protéger contre rayonnements et aérolithes. On pourra fabriquer de l'oxygène et de l'énergie sur les ressources locales...

Une frontière peut aussi être envisagée sur trois plans. En elle-même, elle est un front, une limite que l'on atteint, un objectif que l'on se fixe. D'où les villages lunaires, que l'on rejoindra à partir de stations en orbite autour de la Lune. Elle est aussi à la fois ouverte et fermée. Fermée, elle renvoie à l'intérieur, c'est-à-dire à la Terre, que ces villages permettront de mieux observer, d'en réguler l'activité – mais pas de la menacer si la démilitarisation subsiste. Ouverte, elle est un passage vers l'ailleurs, elle constitue une étape pour une meilleure connaissance, pour l'exploration puis à long terme l'installation dans l'espace profond, et d'abord des planètes du système solaire, Mars au premier chef. Les programmes qui permettront de réaliser ces perspectives futuristes appellent aussi bien la compétition entre puissances spatiales que la coopération entre elles.

De ce point de vue, l'espace a toujours été relativement tenu à l'écart des clivages politiques terrestres – relativement compte tenu de son importance stratégique. Il est un domaine privilégié de coopération scientifique et technologique internationale, et la mise au point des outils de la conquête de la Lune relève d'un effort multinational. Au-delà du programme Artemis piloté par les États-Unis, la Chine et la Russie ont un projet commun – International Lunar Research Station – et ils envisagent d'installer un réacteur nucléaire sur la Lune. Pour en revenir à la dimension juridique, il est clair que la conquête de notre satellite appelle également de nouvelles normes, un régime plus élaboré des activités lunaires. Toute cette entreprise est en chantier. ●

Serge Sur

Membre de l'Institut
(Académie des sciences morales et politiques)

En service depuis 1998, la Station spatiale internationale est historiquement le fruit d'une collaboration entre une quinzaine de pays, parmi lesquels les États-Unis, la Russie ou le Japon et le Canada. À la suite d'un récent accord, les États-Unis et la Russie devraient continuer d'y envoyer leurs astronautes dans les mêmes capsules spatiales jusqu'en 2027. Ici, le 15 septembre 2023 à Baïkonour (Kazakhstan), les cosmonautes russes de l'agence Roscosmos Oleg Kononenko et Nikolai Tchoub et l'astronaute de la NASA Loral O'Hara lors de leur embarquement dans un vaisseau Soyouz à destination de la Station spatiale internationale.

© Maxim Shipenkov / Pool / AFP





United States

L'espace sublunaire, banlieue de la Terre

La navette *Discovery*, construite par la NASA, est celle qui a effectué le plus de missions spatiales de l'histoire.

En service entre 1984 et 2011, elle a notamment mis en orbite le télescope Hubble, qui a fourni les premières images de l'Univers.

© Bill Ingalls/NASA/AFP

Les puissances spatiales, actuelles et émergentes

Isabelle Sourbès-Verger

Géographe, directrice de recherche CNRS émérite, Centre Alexandre-Koyré (CNRS-EHESS-MNHN). Elle est notamment l'auteure de *Géopolitique du monde spatial*, Éditions Eyrolles, Paris, 2023¹.

Depuis Spoutnik (1957), Apollo 11 (1969) et le duopole américano-soviétique, le nombre des puissances spatiales s'est accru jusqu'à compter de nos jours une petite dizaine de pays. Alors que les États-Unis représentent l'hyperpuissance spatiale par excellence, l'état actuel de l'occupation de l'espace témoigne de l'essor fulgurant de nouveaux acteurs privés américains (le NewSpace) et d'inégalités flagrantes dans la mise en valeur des possibilités offertes par ce milieu d'accès difficile. Une étude comparée des actuels pays membres du club spatial permet non seulement de montrer l'hétérogénéité des compétences, mais aussi d'analyser l'évolution des ambitions spatiales de ces puissances.

En janvier 2025, le président américain Donald Trump annonce lors de son discours inaugural : « Et nous [les États-Unis] allons poursuivre notre destinée manifeste dans les étoiles, en envoyant des astronautes américains pour planter la bannière étoilée sur la planète Mars². » Cette ambition fait écho au discours du président Kennedy, soixante-deux ans plus tôt. Si la volonté d'affirmation de la capacité des États-Unis à accomplir de grands exploits est commune aux deux présidents, la situation n'est toutefois pas comparable.

D'une part, les multiples défis technologiques du voyage aller et retour vers Mars sont

incommensurablement supérieurs à ceux du trajet vers la Lune, notre satellite naturel³. D'autre part, si dans les années 1960 la succession des réussites de l'Union soviétique – premier lancement de satellite, premier envoi d'un homme et d'une femme dans l'espace, premières photos de la face cachée de la Lune... – avait pu remettre en question l'image de puissance technologique des États-Unis et donc l'efficacité de son modèle, ce temps est définitivement révolu. Les États-Unis sont désormais une hyperpuissance spatiale incontestable, dominant sur tous les plans : applications – télécommunications, observation de la Terre,

¹ La rédaction de *Questions internationales* remercie Isabelle Sourbès-Verger pour sa contribution à la préparation du présent dossier.

² www.whitehouse.gov/remarks/2025/01/the-inaugural-address/

³ Mars est 150 fois plus distante que la Lune dans la meilleure des configurations, soit tous les deux ans. La durée du voyage impose un ravitaillement en ergols, le vaisseau doit se poser et être capable de redécoller avec un rendez-vous en orbite martienne ; cf. www.scientificamerican.com/article/trump-wants-to-go-to-mars-thats-not-happening/.



↑ Longtemps handicapée par sa dépendance à l'égard des capacités de lancement soviétiques et par une économie d'État fermée à l'innovation, l'industrie aéronautique chinoise a connu un essor continu à partir des années 1990 (plus de 70 lancements en 2024, contre 10 en 2004). Ici une affiche de propagande chinoise des années 1970.

© Ann Ronan Picture Library/Photo12 via AFP

navigation... – tant civiles que militaires, vols habités, missions scientifiques et d'exploration.

Ce statut à part est ouvertement revendiqué par Washington, qui affirme, de manière de plus en plus appuyée depuis le début des années 2000, sa détermination à préserver une supériorité dans un milieu qui constitue un élément clé de son intérêt national. Le mantra d'un milieu spatial « contesté, gestionné et compétitif » martelé depuis 2011⁴ en vient ainsi à s'imposer progressivement comme le cadre de référence pour l'ensemble des puissances spatiales, alliées ou

⁴ « US National Security Space Strategy » (NSSS), publiée en 2011 sous la présidence de Barack Obama par le ministère de la Défense et le bureau du directeur du renseignement national (ODNI) américains.

adversaires, avec une place à part pour la Chine, devenue le seul véritable compétiteur.

Cette grille de lecture mérite d'être questionnée en analysant le contexte de développement des différentes capacités spatiales nationales, puis en comparant la place de chacune en 2025 dans l'occupation de l'espace au regard du soutien gouvernemental qui leur est accordé. Cet état des lieux permet de situer les ambitions respectives, d'apprécier la diversité des acteurs – publics comme privés – et de s'interroger sur l'évolution de la notion de puissance spatiale en lien avec la dimension profondément psychologique et médiatique de l'exploration spatiale.

Un club spatial qui reste limité

Longtemps limité au duopole américano-soviétique, le club spatial s'est progressivement élargi au fil du temps.

Le temps de la guerre froide, du duopole à une relative ouverture

En 1957, l'Union soviétique ouvre l'ère spatiale en lançant le premier satellite artificiel de la Terre, *Sputnik*. Après la maîtrise américaine du nucléaire, la maîtrise soviétique de l'accès à l'espace constitue encore de nos jours l'un des marqueurs fondamentaux du XX^e siècle, sur les plans technologique, scientifique et stratégique. En juillet 1969, les premiers pas des astronautes américains sur notre satellite naturel attestent la capacité d'humains à quitter la Terre pour fouler un autre sol. Si la portée stratégique directe est bien moindre, la valeur scientifique du retour d'échantillons et, surtout, l'ampleur du défi technologique ont un impact psychologique majeur. Les États-Unis et l'Union soviétique incarnent dès lors la quintessence de la puissance spatiale vue comme un attribut de la superpuissance.

Progressivement, à partir des années 1970 mais surtout des années 1980, l'Europe⁵, le Japon, la Chine et l'Inde se dotent de capacités propres de lancement. Ils construisent aussi leurs premiers satellites scientifiques, puis de télécommunications et d'observation, dont les services sont de mieux en mieux intégrés dans les activités terrestres. Mais ces États qui font alors figure d'acteurs spatiaux en devenant s'inscrivent dans des logiques différentes. L'Europe et le Japon, qui bénéficient de relations privilégiées avec les États-Unis, se distinguent ainsi en développant leurs capacités scientifiques, technologiques et industrielles à partir de programmes expérimentaux de haut niveau. Leurs compétences sont toutefois quasi exclusivement civiles et ils renoncent à se doter de moyens autonomes d'envoi de leurs ressortissants dans l'espace.

De leur côté, la Chine et l'Inde affirment leur volonté de rattrapage et se caractérisent par un besoin réel des technologies spatiales. Mais leurs systèmes politiques et leur place sur la scène internationale les conduisent à emprunter des chemins différents. Alors que la Chine, isolée, ne

peut compter que sur ses propres forces et fait de l'espace une de ses priorités, l'Inde joue de son statut de pays non aligné pour multiplier les coopérations avec les États-Unis, la Russie et l'Europe en utilisant des systèmes tiers tout en développant ses compétences propres pour un investissement bien moindre. Enfin Israël, soucieux de disposer de ses propres moyens de surveillance, met au point en 1989 un petit lanceur.

1990-2010 : une hiérarchie qui se dessine

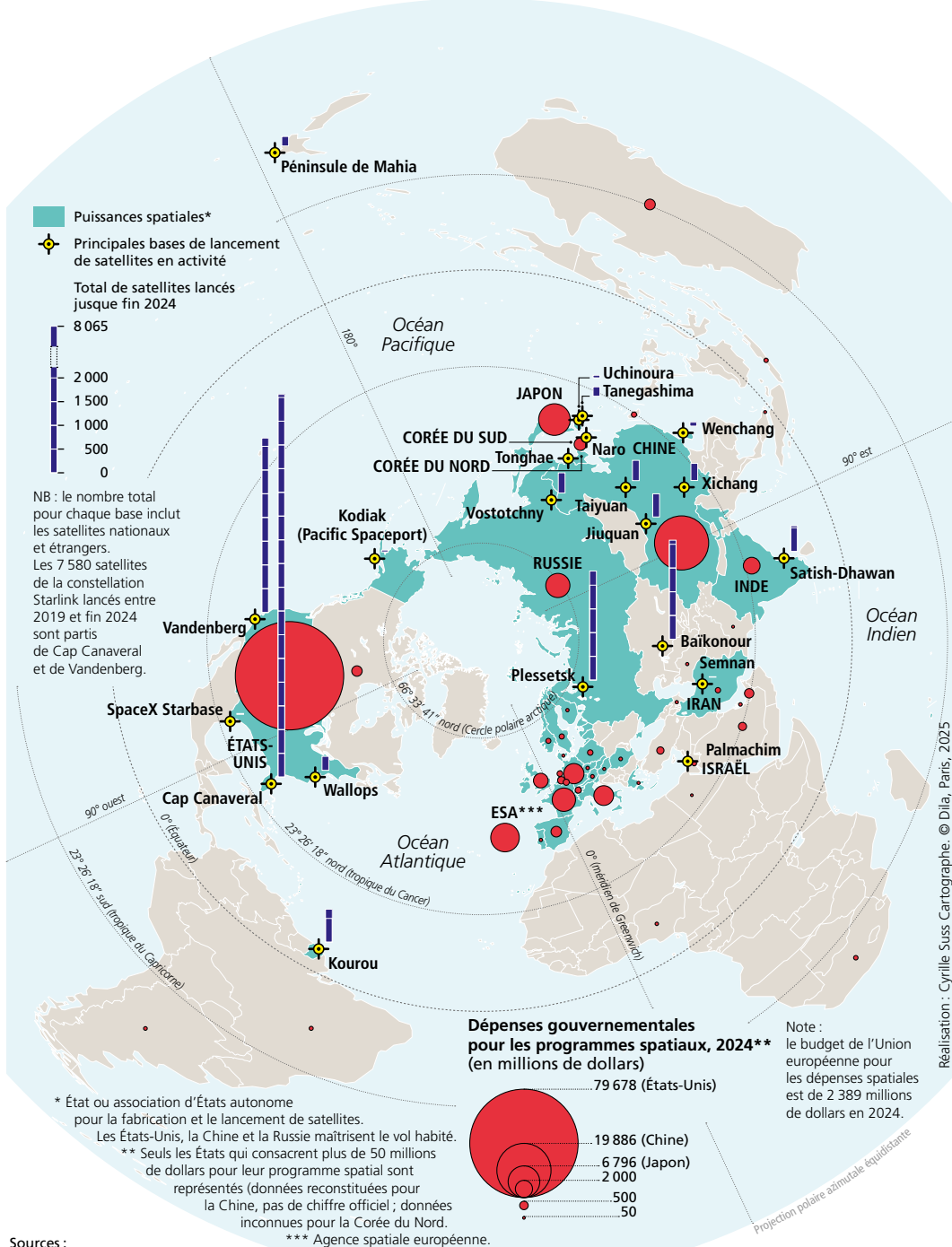
La fin de la guerre froide se traduit par un décrochage brutal avec l'ordre ancien. Le duopole n'existe plus. Même si la décision américaine de construire la Station spatiale internationale (International Space Station, ISS) fait de la Russie un partenaire privilégié sous leadership américain, le secteur spatial russe, sous-financé nationalement, ne survit que grâce à la commercialisation de ses technologies par les Occidentaux, dans le domaine des lanceurs et des vols habités. De leur côté, les États-Unis continuent à investir massivement dans ce qu'ils considèrent toujours comme leur nouvelle frontière, en multipliant les sauts technologiques dans tous les domaines, civils et plus encore militaires.

En parallèle, la banalisation progressive de l'usage des technologies spatiales dans les activités terrestres est l'occasion pour l'Europe et, dans une moindre mesure, le Japon de consolider leurs compétences à partir des années 2000. La Chine poursuit, quant à elle, le développement de l'ensemble de ses capacités et réussit en 2003 son premier vol habité, un événement qui connaît un grand retentissement sur la scène internationale.

Enfin, le monde découvre avec la guerre du Koweït (1990-1991) les effets spectaculaires de l'intégration par les États-Unis des capacités spatiales dans leurs opérations militaires. Cette suprématie incontestée sur la totalité des moyens spatiaux représente un âge d'or américain qu'il s'agit de préserver en promouvant une nouvelle ère dans les activités spatiales, celle du NewSpace.

⁵ Mise en orbite en 1965 du satellite *Astérix* par un lanceur *Diamant*.

Puissances spatiales et bases de lancement de satellites (2025)



Les années 2010 : simultanéité de l'ancien et du nouveau monde

Ces années sont celles durant lesquelles trois nouveaux États témoignent du poids durable des considérations stratégiques et des préoccupations de reconnaissance internationale dans l'acquisition d'une capacité d'accès à l'espace. Les cas de l'Iran en 2009 puis de la Corée du Nord en 2012 ravivent le lien direct entre ambitions spatiales et nucléaires. Un an plus tard, la Corée du Sud devient le 11^e membre du club spatial, dans une logique qui évoque davantage celle de l'Europe et du Japon à leurs débuts. Il s'agit certes pour la Corée du Sud de disposer des mêmes capacités que son voisin du Nord, mais aussi d'affirmer ses propres avancées technologiques et de se positionner ainsi au plan régional tout en manifestant une ambition pacifique.

“
Les États-Unis méritent bien leur titre d'hyperpuissance spatiale. Ils maîtrisent toutes les missions civiles et militaires, automatiques et habitées, proches et lointaines, publiques et privées
”

À la même époque, le phénomène du NewSpace commence à s'affirmer aux États-Unis. Il s'inscrit dans une logique de rupture, puisqu'il s'agit de favoriser l'émergence d'acteurs privés autonomes par rapport aux agences étatiques (NASA et département de la Défense, DoD) et de renforcer ainsi le dynamisme du secteur spatial américain. L'entreprise SpaceX, qui a réussi son premier tir de lanceur partiellement réutilisable en 2008, commence à bousculer les industriels historiques en obtenant douze contrats de la NASA⁶ pour le lancement de vaisseaux automatiques puis

⁶ Le montant du contrat initial, 1,6 milliard de dollars, est supérieur au budget total de l'agence spatiale indienne.

habités vers l'ISS. Même si l'entreprise connaît un moment difficile à la fin des années 2010, elle devient très vite emblématique de l'irruption dans le secteur spatial de personnalités ayant fait fortune dans le numérique – Elon Musk, Jeff Bezos... – qui affichent leurs propres ambitions et soignent leur communication médiatique.

On assiste ainsi à l'accomplissement d'une ambition très ancienne des gouvernements américains, celle d'une normalisation des activités dans l'espace, appelées à trouver leur propre dynamique économique comme secteur d'activité à part entière en s'émancipant progressivement des commandes étatiques. Le SPACE Act⁷ du président Obama, en 2015, marque une étape décisive. Il conforte la réglementation particulière des vols habités commerciaux et ouvre de nouvelles perspectives en accordant aux sociétés américaines candidates un droit d'exploitation des ressources des corps célestes (astéroïdes, Lune...). Plus largement, les opportunités de capital-risque du système américain favorisent l'enthousiasme de jeunes entrepreneurs créateurs de start-up et renforcent l'image d'un NewSpace accessible à tous qui essaime progressivement hors des États-Unis.

Des capacités spatiales encore inégales en 2025

Quelle cartographie des puissances spatiales peut-on dresser en 2025 ? Il existe deux marqueurs traditionnels : le nombre de satellites en orbite – et leurs caractéristiques – et le montant des budgets gouvernementaux attribués aux agences qui passent ensuite les contrats aux entreprises.

Une occupation de l'espace diversifiée

La répartition par nationalité des 15 000 satellites en orbite en décembre 2024 reflète de façon irréfutable la prééminence des États-Unis, qui ont immatriculé 8 000 satellites⁸ dont 80 %

⁷ Spurring Private Aerospace Competitiveness and Entrepreneurship, ou US Commercial Space Launch Competitiveness Act.

⁸ Source : Unoosa database www.unoosa.org/oosa/osoinde/search-ng.jsp?If_id=

appartiennent à des acteurs privés. La société SpaceX d'Elon Musk possède ainsi, à elle seule, plus de deux tiers des satellites américains, une tendance appelée à croître puisque sa constellation civile, Starlink, bientôt doublée d'une constellation consacrée aux usages militaires, vise l'objectif de plus de 40 000 satellites en orbite. Indéniablement, la politique activement poursuivie depuis des dizaines d'années par le gouvernement américain en faveur des acteurs commerciaux a pleinement porté ses fruits.

Même si l'on considère les seuls satellites gouvernementaux, les États-Unis sont encore en tête, suivis de près par la Chine, avec plus de 350 satellites. Les États européens et la Russie sont plus proches de 200 satellites chacun, l'Inde et le Japon ferment le ban avec 60 à 70 satellites chacun⁹.

Cet instantané mérite d'être complété par des précisions sur la répartition en fonction des principales orbites : basses (*low Earth orbit*, LEO), moyennes (*medium Earth orbit*, MEO), hautes (*highly elliptical orbit*, HEO) ou géostationnaire (GEO) (voir graphique p. 59). Les orbites basses sont les plus densément utilisées, précisément par les constellations de satellites de télécommunications et, dans une moindre mesure, d'observation de la Terre. À ces altitudes, les satellites commerciaux américains d'une masse inférieure à 500 kilogrammes sont omniprésents sur différents plans, au point d'être parfois accusés de mainmise de fait sur les ressources orbitales. La répartition des nationalités est plus équilibrée sur les autres orbites parcourues par des satellites plus lourds et à plus longue durée de vie. Ainsi, quel que soit le critère choisi, les États-Unis méritent leur titre d'hyperpuissance spatiale. Ils maîtrisent toutes les missions civiles et militaires, automatiques et habitées, proches et lointaines, publiques et privées.

La Chine s'impose en deuxième position tant pour le nombre de satellites que pour la diversité des missions. Le domaine des applications classiques – télécommunications, observa-

⁹ À titre de comparaison, la France possède en propre une trentaine de satellites.



↑ Lors de l'Exposition des réalisations de l'économie nationale, à Moscou, en juillet 1967, un petit garçon se tient devant le lanceur Vostok dans le pavillon de l'espace. Mise au point à la fin des années 1950, cette fusée a été utilisée par l'URSS, alors très en avance dans son programme spatial sur les États-Unis, pour lancer les premiers cosmonautes soviétiques ainsi que les premières sondes spatiales du programme Luna.

© Pohodin/Ria Novosti/AFP

tion, navigation – est en plein essor et les services spatiaux sont stimulés par le développement économique dont témoignent, par exemple, les « nouvelles routes de la soie ». Cette ambition se traduit par le développement d'un secteur spatial plus commercial émanant des entreprises publiques mais aussi d'entreprises privées ou à capitaux mixtes, encouragées depuis 2014 à investir dans ce domaine. Le programme de constellations de satellites de télécommunications en orbite basse constitue un exemple de la concurrence encouragée par le pouvoir central.

En parallèle, avec la modernisation de ses capacités de défense, la Chine poursuit le développement de satellites militaires. Elle conduit également la construction d'une station autonome habitée en permanence en orbite basse, des missions sur la Lune et sur Mars, des programmes de retour d'échantillons (Lune, astéroïdes, Mars), la mise en orbite d'un télescope spatial... Elle est ainsi présente sur tous les fronts, appliquant le principe de la synergie civilo-

militaire et suscitant l'inquiétude des États-Unis, qui voient en elle leur principal concurrent.

De son côté, l'Europe est victime de sa fragmentation mais aussi d'ambitions contraintes par le choix des coopérations, en particulier dans le domaine des vols habités. La coexistence de programmes des États européens et de l'Agence spatiale européenne (European Space Agency, ESA) comme l'implication croissante de l'Union européenne dans le secteur compliquent la grille de lecture. Il est d'ailleurs frappant de constater que la quasi-totalité des schémas ou tableaux statistiques ne présentent pas la somme des capacités européennes mais optent plutôt pour une présentation des acteurs européens pris séparément, ce qui réduit leur visibilité mais rend compte d'une certaine réalité.

Le cas de la Russie correspond également à un autre schéma, celui d'un secteur spatial quasi exclusivement étatique, encore intégré au complexe industriel de défense et mal inséré dans une économie nationale par ailleurs peu dynamique. Cette faiblesse est d'ailleurs bien perçue, l'agence spatiale russe annonçant un effort particulier avec l'augmentation d'ici à 2036 du nombre de lancements de satellites privés et l'éventuelle mise en orbite d'une constellation satellitaire, une affirmation qui semble bien théorique au regard du contexte national et international actuel. En tout cas, la Russie continue à assurer en pleine autonomie des vols habités. Toutefois ses projets d'exploration doivent de plus en plus faire appel à la coopération internationale, en particulier celle de la Chine dans le cadre du programme de la Station de recherche lunaire internationale (International Lunar Research Station, ILRS), annoncé en 2021.

Enfin, l'Inde et le Japon affichent la présence la plus modeste en orbite. Le gouvernement indien prévoit une augmentation rapide du nombre de satellites d'application destinés à ses besoins intérieurs civils et récemment militaires. Mais l'agence spatiale indienne, l'ISRO (Indian Space Research Organisation), est aussi engagée dans des projets d'exploration de la Lune et de Mars. Elle mène depuis 2018 un programme de vols habités avec la ferme volonté politique de rattraper les premières puissances spatiales, dont

la Chine. Du fait de l'hégémonie de l'ISRO – en dépit de réformes récentes – et de la modicité du budget indien, le développement du secteur spatial se trouve pénalisé par l'absence d'acteurs privés d'envergure, tandis que de petites start-up peinent à trouver des sources de financement.

La position japonaise est différente, davantage tournée vers la poursuite de coopérations de plus en plus diversifiées afin de valoriser les compétences nationales et de jouer un rôle plus visible sur la scène internationale. Quelques sociétés privées nouvelles ont émergé, mais la concurrence internationale, accrue par la relation de dépendance aux États-Unis, et la taille limitée du marché intérieur ne lui permettent pas d'envisager une augmentation significative du nombre de ses satellites.

Des ressources financières incomparables

En dépit des discours sur l'explosion future des marchés spatiaux, qui ne se produirait pas avant 2035, l'activité dans l'espace est encore fondamentalement dépendante des gouvernements. Alors que les investissements privés en 2024 atteignent à peine 10 milliards de dollars, le total des budgets publics s'élève à 135 milliards de dollars. À eux seuls, les États-Unis en assurent plus de la moitié avec presque 80 milliards. La Chine vient loin derrière avec moins de 20 milliards, soit le quart des dépenses américaines. L'Europe dépense une somme proche en additionnant ses différentes composantes. Le Japon se situe en quatrième position avec un budget nettement supérieur (un peu moins de 7 milliards) à celui de la Russie (près de 4 milliards), tandis que l'Inde approche 2 milliards.

Cet instantané doit être complété par la prise en compte de l'effet cumulatif des investissements antérieurs, le budget américain ayant représenté les trois quarts du budget spatial mondial dans les années 2000. Le statut des États-Unis est bien exceptionnel, ce qui se traduit par leur appréhension de l'espace comme lieu naturel de leur leadership dans tous les domaines : militaire, diplomatique, économique... Le nouveau document de doctrine de la Space Force, paru en avril 2025, revendique même « l'impératif de

la puissance spatiale ¹⁰ ». Face à cet acteur hors norme, les autres États doivent trouver une autre voie que la compétition directe.

Éléments de géopolitique de l'exploration spatiale

La scène spatiale internationale est souvent présentée comme l'affrontement entre les États-Unis, leader historique, et la Chine, outsider menaçant. Cette grille de lecture, initialement américaine, s'inscrit dans un retour au modèle de la guerre froide, qui a été déterminant dans l'instauration de la supériorité spatiale actuelle des États-Unis. À ce titre, le programme Artemis, qui porte précisément le nom de la sœur d'Apollon, renvoie plus ou moins consciemment à ce moment de gloire pacifique inégalée, en 1969 sur la Lune. Dans ce schéma, la Chine remplace opportunément la Russie, devenue défaillante, pour justifier des ambitions technologiques et des investissements financiers nécessaires au retour sur la Lune et à d'autres voyages au-delà.

La position de Pékin a évolué quant à ce narratif. Les publications programmatiques que sont les livres blancs sur les activités spatiales montrent depuis 2011 une ambition de plus en plus nette, renforcée par l'adéquation des programmes d'exploration au slogan du « rêve chinois » du président Xi Jinping posant l'objectif d'une Chine parvenue au premier rang international en 2049 – date du centenaire de la proclamation de la République populaire de Chine. En effet, depuis la fin des années 2010, le succès impressionnant des missions lunaires et martiennes conforte le pouvoir d'influence chinois et les discours alarmistes américains au sujet d'une nouvelle course que la Chine pourrait gagner renforcent sa fierté nationale et sa crédibilité internationale.

Le projet sino-russe de base internationale sur la Lune (ILRS) est un exemple de la volonté de mettre en avant un autre modèle, un point peu souligné par les médias américains. Un guide de partenariat, ouvert à tous, est ainsi

proposé en 2021 privilégiant la recherche scientifique contre la position des États-Unis encourageant à une exploitation commerciale des ressources par des acteurs privés. Ce faisant, la Chine espère renforcer son audience aux Nations Unies, l'interprétation du traité de l'espace de 1967 par les États-Unis étant contestée par de nombreux juristes. De plus, en ne s'engageant pas sur une présence humaine permanente à bord de la base lunaire, elle refuse d'emblée la mise en place d'installations coûteuses tout en assurant sa présence au travers de missions robotiques.

Enfin, cette mise en scène d'une rivalité sino-américaine, sur la Lune comme sur Terre, masque l'activité de pays tiers comme l'Inde, soucieuse de préserver son indépendance et de s'affirmer en tant que telle. Surtout, elle présente l'inconvénient majeur de minorer auprès du public le principe de coopération, à la base des programmes européens et japonais, afin de privilégier le narratif d'une logique d'affrontement potentiel sur des lieux particuliers comme le pôle Sud, même si, au regard des contraintes du milieu et des principes du droit spatial, un tel scénario est surtout théorique.



L'exploration spatiale, tout particulièrement celle de la Lune mais aussi celle de Mars, fait partie des ressorts classiques d'un imaginaire associant modernité, compétences technologiques et esprit d'aventure, voire de conquête. Alors que ces programmes ont longtemps été la marque des acteurs confirmés, de nouveaux États, comme les Émirats arabes unis, mais aussi la Turquie, l'Arabie saoudite ou le Pakistan affichent depuis peu leur volonté de mener des missions nationales. De fait, la qualification spontanée par les médias des Émirats comme « puissance spatiale », après le succès de la mission Hope autour de Mars en 2021, témoigne d'une apparente indifférence à la possession, ou non, des attributs de souveraineté (capacité d'accès à l'espace et base industrielle). Ce phénomène s'inscrit dans le discours sur la démocratisation des capacités spatiales, savamment orchestré par les acteurs du NewSpace, mais il incite aussi à s'interroger sur la pérennité de telles ambitions si elles ne conduisent pas à l'acquisition à terme d'une compétence plus complète. ●

¹⁰ www.starcom.spaceforce.mil/Portals/2/Space%20Force%20Doctrine%20Document%201%20FINAL_4Apr25.pdf?ver=KQKW3zPrUlkhrU5DXHqUww%3d%3d

Bibliographie

- **Philippe Achilleas et Jean-Paul Maréchal (dir)**, « L'espace : la nouvelle frontière de la Chine », *Monde chinois*, 2020/4, n° 64.
- **Florence Gaillard-Sborowsky**, *Géopolitique de l'espace. À la recherche d'une sécurité spatiale*, Le Cavalier Bleu, Paris, 2023.
- **Alessandro Gili**, *The Sky is not the Limit: Geopolitics and Economics of the New Space Race*, Ledizioni, 2024, ebook
- **Xavier Pasco**, *La Ruée vers l'espace. Nouveaux enjeux géopolitiques*, Taillandier, Paris, 2024.
- **Irénée Régnault et Arnaud Saint-Martin**, *Une histoire de la conquête spatiale : des fusées nazies aux astrocapitalistes du New Space*, La Fabrique, Paris, 2024.
- **Isabelle Sourbès-Verger**, *Géopolitique du monde spatial*, Éditions Eyrolles, Paris, 2023.
- **Isabelle Sourbès-Verger**, « Nouvelle frontière. L'espace extra-atmosphérique au XX^e siècle », in Nicolas Beaupré et Florian Louis (dir.), *Histoire mondiale du XX^e siècle*, PUF, Paris, 2022.

LE SYSTÈME TERRE-LUNE : QUELQUES ÉLÉMENTS CHRONOLOGIQUES

1944

La fusée V2, premier missile balistique opérationnel, est fabriquée par l'Allemagne nazie (sous la direction de Wernher von Braun) puis récupérée par les États-Unis après la Seconde Guerre mondiale. Puissante et capable de transporter de très lourdes charges, elle sert notamment de prototype pour la conception des futurs lanceurs spatiaux.

Années 1950

4 octobre 1957 : l'URSS met en orbite *Sputnik 1*, le premier satellite artificiel envoyé dans l'espace, dont la seule fonctionnalité est d'envoyer des signaux radio vers la Terre.

3 novembre 1957 : la chienne soviétique Laïka est le premier être vivant à être envoyé dans l'espace. Elle meurt durant la mission.

1958 : création de la NASA (National Aeronautics and Space Administration), dont l'objectif est de centraliser l'ensemble des recherches spatiales et aéronautiques américaines.

12 septembre 1959 : après l'échec de plusieurs tentatives d'alunissage de sondes américaines et soviétiques, l'URSS parvient à faire s'écraser le missile *Luna 2* sur le sol lunaire pour la première fois, confirmant ainsi

l'absence d'un champ magnétique autour du satellite.

4 octobre 1959 : la sonde soviétique *Luna 3* réussit, pour la première fois, à prendre des clichés de la face cachée de la Lune.

Années 1960

Les sondes américaines *Ranger* parviennent à capturer des images en haute résolution et rapprochées de la surface de la Lune.

1961 : les États-Unis fabriquent *Saturn V*, qui reste à ce jour la fusée la plus puissante jamais construite, dont un modèle sera utilisé pour la mission Apollo 11.

12 avril 1961 : le pilote et cosmonaute soviétique Yuri Gagarine est le premier être humain envoyé dans l'espace.

1964 : création aux États-Unis du premier système de positionnement par satellite, précurseur du système GPS (Global Positioning System), qui assure des services de positionnement, de navigation et de référence temporelle.

31 janvier 1966 : la sonde soviétique *Luna 9* effectue le premier alunissage en douceur (*soft landing*) et parvient à prendre les premières photos du sol lunaire. Les Américains posent sur la Lune leur propre atterrisseur, *Surveyor 1*, en mai 1966.

31 mars 1966 : l'URSS lance l'orbiteur *Luna 10*, qui est le premier objet spatial à se placer dans l'orbite de la Lune et à l'étudier depuis l'espace.

1966-1969 : les États-Unis parviennent à cartographier 99 % de la surface lunaire grâce à l'envoi de cinq sondes *Surveyor* en moins de deux ans. Ils identifient des sites d'alunissage potentiels et ceux présentant un intérêt scientifique important (notamment les cratères lunaires).

Décembre 1968 : la mission américaine *Apollo 8* effectue le premier survol habité de la Lune.

21 juillet 1969 : grâce au travail de cartographie des sondes *Surveyor* et *Lunar Orbiter*, la mission Apollo 11 rend possible le premier alunissage habité, faisant des astronautes américains Neil Armstrong et « Buzz » Aldrin les premiers hommes à marcher sur la Lune.

Années 1970

12 septembre 1970 : la sonde soviétique *Luna 16* parvient à récolter et à rapporter sur Terre un échantillon du sol lunaire, grâce à un système de largage de la capsule d'échantillon, détachée de la sonde, vers la Terre.

10 novembre 1970 : le rover soviétique *Lunokhod 1* est la première sonde lunaire mobile envoyée depuis la Terre à toucher le sol lunaire et à l'étudier

in situ. Avec *Lunokhod 2*, déployé en 1972, les milliers d'images de la Lune transmises permettent à l'URSS d'identifier les roches et métaux présents sur l'astre.

19 avril 1971 : l'URSS met en orbite *Salyout 1*, la première station spatiale. Par la suite, les États-Unis lancent *Skylab* en 1973, station qui leur permettra d'effectuer des expériences scientifiques sur la capacité des êtres humains à vivre dans l'espace pendant de longues durées.

31 juillet 1971 : la mission américaine Apollo 15 intègre pour la première fois des *lunar roving vehicles*, des véhicules directement manœuvrés par des astronautes déjà présents sur la Lune qui permettent d'explorer des zones jusqu'ici peu connues et d'y prélever des échantillons.

Décembre 1972 : la mission américaine Apollo 17 est le dernier vol spatial habité à se poser sur la Lune.

15 juillet 1975 : le lancement des vaisseaux soviétique et américain *Soyouz* et *Apollo* constitue la première mission spatiale fondée sur une coopération interétatique. Cette mission scelle le début de la détente entre les deux blocs de la guerre froide.

Années 1980

1981 : après des années de recherche et de construction de prototypes de navette spatiale – des vaisseaux réutilisables permettant de transporter du matériel et des astronautes durant plusieurs missions –, la NASA crée *Columbia*, la première navette spatiale de l'histoire. Cette innovation représente un grand pas vers la construction de la future Station spatiale internationale.

Février 1986 : la station spatiale soviétique *Mir* est mise en orbite. Il s'agit de la première station spatiale constituée de modules assemblés.

Années 1990

Avril 1990 : lancement par la navette américaine *Discovery* de Hubble, premier grand télescope spatial

développé conjointement par la NASA et l'Agence spatiale européenne (ESA), qui capture des images inédites de l'Univers.

25 janvier 1994 : la conception de la sonde lunaire américaine *Clementine* est le signe d'un regain d'intérêt pour la Lune. Elle effectue les premiers relevés de la face cachée de la Lune.

Décembre 1998 : la Station spatiale internationale (International Space Station, ISS), à ce jour le plus grand objet spatial placé en orbite terrestre, est déployée à près de 400 kilomètres de la Terre.

Années 2000

27 septembre 2003 : la sonde *Smart 1*, fonctionnant grâce à l'énergie solaire et à des moteurs ioniques, est le premier véhicule spatial européen – construit par l'ESA – à être lancé dans l'orbite de la Lune. Cette mission a vocation à tester les systèmes de propulsion électriques, notamment dans l'optique d'envoyer une sonde sur Mercure.

14 septembre 2007 : la sonde *Kaguya* est le premier engin spatial japonais à atteindre une orbite lunaire et à la photographier avant de s'écraser à sa surface.

5 novembre 2007 : la mise en orbite lunaire de la sonde *Chang'e 1* marque l'entrée de la Chine dans la conquête de la Lune.

22 octobre 2008 : l'Inde se lance à son tour dans la course vers la Lune en envoyant la sonde *Chandrayaan 1*, qui parvient à confirmer la présence de glace d'eau sur l'astre.

18 juin 2009 : la NASA lance le *Lunar Reconnaissance Orbiter*, une sonde qui a pour objectif d'étudier la géologie et la topographie de la Lune, notamment ses régions polaires, où se trouvent des dépôts de glace d'eau. À ce jour, la sonde a fourni le plus grand nombre d'images de l'astre lunaire, toutes missions confondues.

Années 2010

2017 : les États-Unis, l'Union européenne, le Canada et le Japon

annoncent le début du programme Artemis, dont l'objectif est de renvoyer des êtres humains sur la Lune à l'horizon 2030, et d'y établir une base scientifique qui servira à préparer l'exploration de Mars. En 2022, une première sonde a été envoyée dans l'orbite lunaire et un survol habité de l'astre est prévu pour 2026.

7 décembre 2018 : la sonde chinoise *Chang'e 4* est le premier engin spatial à se poser sur la face cachée de la Lune.

Années 2020

2021 : la Chine et la Russie annoncent le lancement de leur programme conjoint de coopération internationale, l'International Lunar Research Station (ILRS).

4 août 2022 : la Corée du Sud parvient à envoyer son premier orbiteur lunaire pour collecter des informations sur les ressources de la Lune.

Août 2023 : l'alunissage réussi de la sonde indienne *Chandrayaan 3* intervient trois jours après l'échec de la sonde spatiale russe *Luna 25* qui avait le même objectif.

2023 : la Turquie, qui s'est dotée en 2018 d'une agence spatiale nationale (TUA) puis, en 2021, d'un ambitieux programme spatial couvrant la décennie, prévoit, dans le cadre de son programme lunaire, l'envoi d'une première sonde Ayap 1 sur la Lune.

2024 : le Pakistan lance le satellite lunaire *iCube Qamar*, en collaboration avec la mission chinoise *Chang'e 6*. Les Émirats arabes unis passent un accord avec la NASA pour développer un module de sas pour la station orbitale *Lunar Gateway*, dans le cadre du programme Artemis.

15 janvier 2025 : l'atterrisseur *Blue Ghost*, construit par la société privée américaine Firefly Aerospace en coopération avec la NASA dans le cadre du programme Artemis, se pose sur la Lune.

Questions internationales

Les utilisations civiles de l'espace : un « Far West » à réguler ?

Lucien Rapp

est professeur émérite à l'école de droit de l'université Toulouse-Capitole. Il est également directeur scientifique de la chaire Sirius et membre correspondant de l'Académie de l'air et de l'espace.

Évoquer le Far West pour décrire le développement actuel des utilisations civiles de l'espace peut apparaître abusif. Des traités internationaux aux lois nationales, de la normalisation technique aux dispositions des contrats commerciaux, des codes de bonne conduite aux programmes de conformité, les activités spatiales font l'objet d'un encadrement juridique relativement strict et plutôt abondant. Mais il est vrai aussi que ces activités donnent le sentiment d'une grande effervescence industrielle, économique, financière, sociétale qui semble défier les normes en vigueur. De telle sorte que la tentation est grande de lui substituer une nouvelle régulation internationale des utilisations civiles de l'espace, plus créative, coordonnant, mieux que cela n'est fait aujourd'hui, des sources, des approches et des méthodes juridiques diverses.

« Utilisation » : le mot (au singulier) est issu du traité de l'espace qui, depuis 1967, gouverne les activités des États (et de leurs ressortissants) dans l'espace extra-atmosphérique¹. Dans la terminologie du traité, l'« utilisation » de l'espace est opposée à son « exploration », marquant ainsi la distinction de deux ensembles d'activités spatiales : les unes, dédiées à la découverte de l'espace extra-atmosphérique, qui renvoient à l'histoire de la conquête spatiale et visent à accroître la connaissance de l'Univers ; et les autres, organisées autour de ses usages. Elles correspondent aux nombreuses activités,

principalement commerciales, qui s'y déploient de nos jours.

Utilisations « civiles » est-il nécessaire de préciser, pour rappeler que l'espace est aussi un enjeu de défense et le théâtre potentiel de conflits. Mais ce n'est pas la dimension militaire des activités spatiales dont il sera question dans les développements qui suivent, même si la frontière entre espace militaire et espace civil est souvent difficile à établir en raison du caractère dual de leurs technologies et devient très ténue dans un contexte géopolitique dominé par de vives tensions interétatiques².

¹ Sur les traités régissant l'utilisation de l'espace et de la Lune, voir l'encadré p. 28.

² Sur les utilisations militaires et stratégiques de l'espace et de la Lune, voir les contributions d'Hugo Peter et d'Alban Guyomarc'h dans le présent dossier.



↑ Des modèles de fusées devant la salle Jupiter, au centre spatial de Kourou (Guyane française). Le premier vol commercial d'Ariane 6, le nouveau lanceur lourd européen, a mis en orbite le satellite militaire d'observation CSO-3, le 6 mars 2025. Permettant de compléter une constellation de trois satellites dédiés à l'observation de la Terre à des fins de défense et de sécurité, ce lancement réussi garantit à la France et à l'Europe un accès autonome à l'espace. ©Jody Amiet/AFP

La définition de l'espace extra-atmosphérique, « y compris la Lune et les autres corps célestes » pour reprendre la formulation du traité de l'espace, appelle, elle aussi, quelques indications complémentaires. Nul ne sait encore, en ce début de XXI^e siècle, où il commence véritablement et personne n'a pu à ce jour en fixer les limites ultimes. Celui qui surplombe nos têtes est l'espace aérien. Il est gouverné par la Convention relative à l'aviation civile internationale du 7 décembre 1944, dite « convention de Chicago », qui place l'espace aérien sous la souveraineté complète et exclusive des États surplombés. Ces derniers exercent leur souveraineté, en s'accordant mutuellement des libertés dans leurs espaces aériens respectifs. Ce sont ces

libertés et leur échange qui permettent le trafic aérien. L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a proposé de fixer arbitrairement la limite supérieure du trafic aérien à 20 kilomètres au-dessus du niveau de la Terre.

Au-delà de l'espace aérien commence la stratosphère, dans laquelle évoluent des ballons et parfois quelques plateformes installées en haute altitude, les HAPS (*high-altitude platform stations*). La stratosphère est l'antichambre de l'espace extra-atmosphérique. Elle relève d'un régime hybride, où sont appliquées aux objets qui y évoluent certaines des règles de droit interne des États ou du droit international : le droit de la mer, par exemple, pour les épaves tombées du ciel ou encore celui des communications électroniques, qui régit l'essentiel des usages que les États font de ces objets stratosphériques.

La limite supérieure de la stratosphère marque le début de l'espace extra-atmosphérique, que l'on place à 100 km au-dessus de nos têtes. Cette limite est celle tracée par l'astrophysicien austro-hongrois Theodore von Kármán

(1881-1963). On ne sera pas étonné de constater que, des expéditions lancées par Jeff Bezos (Blue Origin) ou Richard Branson (Virgin Galactic) à la mission « Polaris Dawn » de SpaceX (Elon Musk), les expériences récentes de vols privés habités menées par quelques milliardaires du spatial ont tutoyé, un peu au-dessous pour le premier (J. Bezos) et juste au-dessous pour le second (R. Branson), la ligne mythique de von Kármán.

À partir de 100 km s'ouvre l'espace extra-atmosphérique proprement dit, proche et lointain, notamment marqué par le repère utile de différents types d'orbite : l'orbite basse, l'orbite moyenne, l'orbite elliptique, l'orbite géostationnaire... Quelques indications pour s'y retrouver : les satellites de la constellation Starlink, évoluent à quelques centaines de kilomètres de la Terre (550 km), ce qui explique que, certains jours, ils soient visibles à l'œil nu. Ils ne sont pourtant pas aussi bas que ceux de la constellation Stingray de la société américaine EOI Space, que l'on qualifie de VLEO (*very low Earth orbit*) parce qu'ils circulent sur une orbite très basse, de 250 à 300 km. La Station spatiale internationale (International Space Station, ISS), la plus grande structure jamais assemblée dans l'espace, se trouve à environ 400 km d'altitude et à cette distance de la Terre on ressent encore, dit-on, les effets de l'attraction terrestre. Les satellites positionnés sur l'orbite géostationnaire sont, quant à eux, à 36 000 km au-dessus de nos têtes.

« Far West », l'expression vient de la conquête de l'Ouest américain avec laquelle, il est vrai, celle de l'espace présente de nombreuses similitudes. Elle est synonyme de grande effervescence industrielle, économique, financière ou sociale, principalement mue par l'appât du gain. Mais il n'est pas sûr que l'espace extra-atmosphérique soit l'Eldorado que l'on espère, en l'état de la connaissance que l'on en a. Les études les plus récentes indiquent la présence de fer, de nickel, d'or, de métaux précieux sur quelques astéroïdes. L'hélium 3 identifié sur la Lune pourrait permettre de fournir de l'énergie par fusion nucléaire. L'eau sous la forme de

dépôts de glace ou le régolithe, la poussière qui recouvre la Lune, pourraient servir à la production d'oxygène ou à la fabrication de carburant. Le réalisme a toutefois, depuis plusieurs années, gagné les agences spatiales, qui voient davantage dans ces ressources, la possibilité d'une utilisation *in situ* pour des missions de longue durée.

Le Far West évoque aussi une zone de non-droit, qui ne serait gouvernée que par une seule loi, celle du plus fort. Chacun y fixerait les règles que permet son pouvoir de marché, s'arrogeant, lorsqu'il le peut, les droits de propriété ou d'exclusivité qui conviennent à ses projets. Il y a là un danger auquel il faut assurément être attentif.

Enfin le mot « régulation » rappelle les premiers économistes néo-libéraux – Ludwig von Mises, Friedrich Hayek ou Wilhelm Röpke – qui proposaient de compléter la « main invisible du marché », chère à Adam Smith, par la « main visible du droit », en fixant un cadre juridique au fonctionnement de l'économie mondiale. La diversité des activités spatiales, leur dynamisme bourgeonnant autant que la dépendance accrue de nombreuses activités terrestres à l'égard de leur déploiement, leur vulnérabilité actuelle ou l'apparition de nouveaux monopoles soulèvent dorénavant la question de savoir s'il n'est pas devenu opportun d'organiser leur développement.

Encore qu'évoquer une zone de non-droit pour décrire le régime des activités spatiales ne soit pas exact. Car elles évoluent dans un cadre juridique national et international qui identifie davantage une situation d'abondance de règles juridiques.

L'espace extra-atmosphérique, une zone de non-droit ?

Le régime international des activités spatiales ne se réduit pas au traité de l'espace précédemment évoqué. Quatre autres traités le complètent et forment avec lui ce qu'il est convenu d'appeler le « *corpus juris spatialis* » : l'Accord sur le sauvetage des astronautes, le

retour des astronautes et la restitution des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique (1968), la Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par les objets spatiaux (1972), la Convention sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique (1976), l'Accord régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes (1984).

La liste de ces traités, leur nombre autant que la diversité et la complémentarité de leurs objets respectifs mettent en exergue, s'il en était besoin, la réalité et l'étendue du cadre juridique des activités spatiales. Ce cadre organise la coopération internationale autour des situations de danger pour les hommes et les femmes qui se risquent dans l'espace extra-atmosphérique. Il règle les situations de conflit de propriété qui peuvent survenir sur les objets que l'on y lance. Il établit le régime de responsabilité des États les uns vis-à-vis des autres, comme vis-à-vis des tiers, dans l'espace et sur terre. Il instaure un dispositif juridique de rattachement des objets spatiaux à la juridiction et au contrôle de chaque État, avec l'obligation de leur immatriculation. Il sanctuarise le statut de la Lune et des autres corps célestes.

Certes les États qui déploient directement ou indirectement des activités dans l'espace extra-atmosphérique ne sont pas tous signataires de chacun de ces traités. Mais la plupart le sont, au moins les principaux. Ils sont tous membres de l'Organisation des Nations Unies, qui a permis l'élaboration, la formulation et l'adoption par l'Assemblée générale de principes fondateurs qui ne sont plus réellement discutés aujourd'hui : « Déclaration des principes juridiques régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique » (résolution 1962 [XVIII]), « Principes régissant l'utilisation par les États de satellites artificiels de la Terre aux fins de télévision directe internationale » (résolution 37/82), « Principes sur la télé-détection » (résolution 41/65), « Principes relatifs à l'utilisation de sources d'énergie nucléaires dans l'espace » (résolution 47/68), « Déclaration sur la coopération internationale en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace au profit et dans l'intérêt de tous les États, compte tenu en particulier des besoins de pays en développement ».

Cela étant, c'est bien le traité de l'espace de 1967 qui constitue la base juridique générale pour les utilisations de l'espace extra-atmosphérique. Ce traité fonde encore de nos jours le droit de l'espace et des activités spatiales. Ce sont ses dispositions qui restent la référence utile pour tous les juristes spécialisés. Il a été signé et ratifié par toutes les puissances spatiales du moment et il les lie de manière relativement contraignante.

Intelligemment, ses auteurs n'ont pas souhaité entrer dans le détail de dispositions prescriptives. Ils se sont limités à l'énoncé de règles simples, pratiques et relativement consensuelles.

La première est la sanctuarisation de l'espace extra-atmosphérique – dont le traité ne définit toutefois pas l'étendue ou les limites ainsi que précédemment indiqué –, il est qualifié d'« apanage de l'humanité tout entière » dans la version française du traité (art. I^{er}). Cette qualification a deux conséquences explicitement énoncées au même article I^{er}, même si elles peuvent apparaître contradictoires : la nécessité de son exploration et de son utilisation « pour le bien et dans l'intérêt de tous les pays, quel que soit le stade de leur développement économique ou scientifique », et la possibilité de son exploration et de son utilisation « librement par tous les États sans aucune discrimination, dans des conditions d'égalité et conformément au droit international », ce qui postule l'accessibilité de « toutes les régions des corps célestes ».

La sanctuarisation de l'espace extra-atmosphérique dans les termes qui précèdent explique qu'il ne puisse – pas davantage que la Lune et les autres corps célestes – « faire l'objet d'appropriation nationale par proclamation de souveraineté, ni par voie d'utilisation ou d'occupation, ni par aucun autre moyen » (art. II). Formulation ambiguë qui laisse sans réponse la question de l'éventualité de formes de propriété publique ou privée dans l'espace extra-atmosphérique. Peut-elle être opposée aujourd'hui à la constitution d'oligopoles, sinon de monopoles, dans la fourniture de l'Internet par satellite ou de l'Internet des objets connectés ?

► FOCUS

Les cinq traités à vocation universelle régissant l'espace et la Lune

Le droit international de l'espace repose sur cinq traités et accords qui ont été négociés et signés sous l'égide du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (CUPEEA, en anglais Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, COPUOS), qui en assure également la mise en œuvre¹.

Le Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes (dit « traité de l'espace »). Signé le 27 janvier 1967 et entré en vigueur le 10 octobre 1967, il est la charte fondatrice du droit de l'espace. Il reconnaissait qu'il est de l'intérêt commun de l'humanité tout entière de favoriser l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques. Les États ne peuvent pas en revendiquer la souveraineté ou le contrôle et ils sont responsables de tout dommage que leurs activités pourraient y causer. En 2025, il était ratifié par 110 États, dont les principales puissances spatiales et la France depuis 1970.

L'Accord sur le sauvetage des astronautes, le retour des astronautes et la restitution des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique. Signé le 22 avril 1968 et entré en vigueur le 3 décembre 1968, il impose aux États signataires une obligation d'assistance et de rapatriement des astronautes en détresse dans l'espace, indépendamment de leur nationalité. Les États parties sont également tenus de restituer tout objet spatial tombé sur leur territoire à l'État responsable du lancement.

La Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux (dite « conven-

tion sur la responsabilité »). Signée le 29 mars 1972 et entrée en vigueur le 1^{er} septembre 1972, elle tient les États pour seuls responsables des éventuels dégâts causés par leurs objets spatiaux à la surface de la Terre et dans l'espace extra-atmosphérique. Les États victimes de ces dommages ont droit à une indemnisation, à hauteur des dommages occasionnés.

La Convention sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique (dite « convention sur l'immatriculation »). Signée le 12 novembre 1974 et entrée en vigueur le 15 septembre 1976, elle stipule que tout objet spatial doit être immatriculé par son État de lancement, afin qu'il soit identifiable, et inscrit au registre des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique tenu par le secrétariat général des Nations Unies.

L'Accord régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes (dit « accord sur la Lune »). Signé le 18 décembre 1979 et entré en vigueur le 11 juillet 1984, cet accord indique que la Lune et ses ressources naturelles constituent le patrimoine commun de l'humanité. Il réitère que toute mission spatiale doit être pacifique et transparente, et précise que les ressources lunaires (eau, minéraux) appartiennent à l'humanité entière et que les bénéfices de leur extraction doivent être équitablement partagés entre tous les pays signataires. Cet accord n'a cependant été signé et ratifié que par 17 États, dont aucune des grandes puissances spatiales qui l'estiment trop restrictif, notamment en ce qui concerne les initiatives spatiales privées d'exploitation de la Lune.

Questions internationales

¹ Sur le COPUOS, voir encadré p. 86.

Les autres principes sont ceux que détaillent les conventions et accords précités :

- l'engagement de coopération fondé sur la nécessité d'une bonne « compréhension internationale » entre États, notamment pour venir au secours des astronautes en difficulté, parce que dans l'espace extra-atmosphérique ils ne sont plus seulement les ressortissants de leurs États d'origine ; ils deviennent les « envoyés de l'humanité ». Cet engagement de coopération postule également celui de la transparence des programmes spatiaux et par conséquent de la diffusion d'informations les concernant ou concernant leurs projets, engagement qui n'est toutefois pas toujours respecté ;

- la responsabilité de l'État « approprié », qu'il faut entendre comme l'État lié à l'opération spatiale concernée, soit parce qu'on lance à partir de son territoire, soit parce que c'est l'un de ses ressortissants qui procède au lancement d'un territoire étranger, soit encore parce que l'État exerce le contrôle en orbite d'un objet spatial, soit enfin parce que l'opération spatiale – lancement ou contrôle en orbite – est menée à sa demande ou à son bénéfice ultime, notamment en cas de transfert de propriété après lancement et mise en orbite. La responsabilité de l'État approprié s'entend immédiatement, au sens politique, comme la nécessité pour chaque État d'organiser son propre marché et de s'assurer,

notamment par la mise en place de procédures d'autorisation, que les engagements pris dans le cadre du traité de l'espace sont respectés. Mais elle recouvre également la responsabilité au sens juridique de la couverture par chaque État responsable, des dommages causés par ses ressortissants ou par les satellites placés sous sa juridiction et son contrôle. En ce sens, le traité de l'espace est généralement présenté comme un traité « stato-centré », dont l'État est à la fois l'alpha et l'oméga ;

● la dénucléarisation de l'espace extra-atmosphérique, qu'il faut interpréter dans le contexte de la guerre froide durant laquelle la plupart des traités précités ont été signés. Cependant, ce principe ne signifie pas que l'espace ne puisse accueillir des satellites militaires, ni même être le théâtre de conflits d'un nouveau genre. Il n'interdit pas davantage l'utilisation civile, dans l'espace ou à bord des satellites, de l'énergie nucléaire.

Le traité de l'espace a le mérite essentiel d'inscrire le *corpus juris spatialis* dans le droit international, créant ainsi un précédent utile que tous les accords internationaux postérieurs ont suivi, y compris les « accords Artemis », document de nature juridique inédite ouvert à la signature des États le 13 octobre 2020 par la NASA et le département d'État américain, dans le cadre du programme américain Artemis destiné à ramener des humains sur la Lune d'ici la seconde moitié des années 2020.

Au-delà du traité de l'espace, il n'est pas inutile de rappeler l'existence du règlement des radiocommunications, traité international qui définit la procédure d'attribution des fréquences montantes et descendantes, et par conséquent aussi des positions orbitales. Placés sous l'autorité de l'Union internationale des télécommunications (UIT), ce règlement ainsi que le spectre mondial des fréquences sont actualisés tous les quatre ans par la Conférence mondiale des radiocommunications. Cette conférence mondiale fournit l'opportunité de rebattre les cartes entre utilisations du spectre des fréquences et d'étendre ou d'aménager les bandes affectées aux activités spatiales. Le Règlement des radiocommunications fixe les conditions et modalités – y compris les délais de mise en service des objets spatiaux



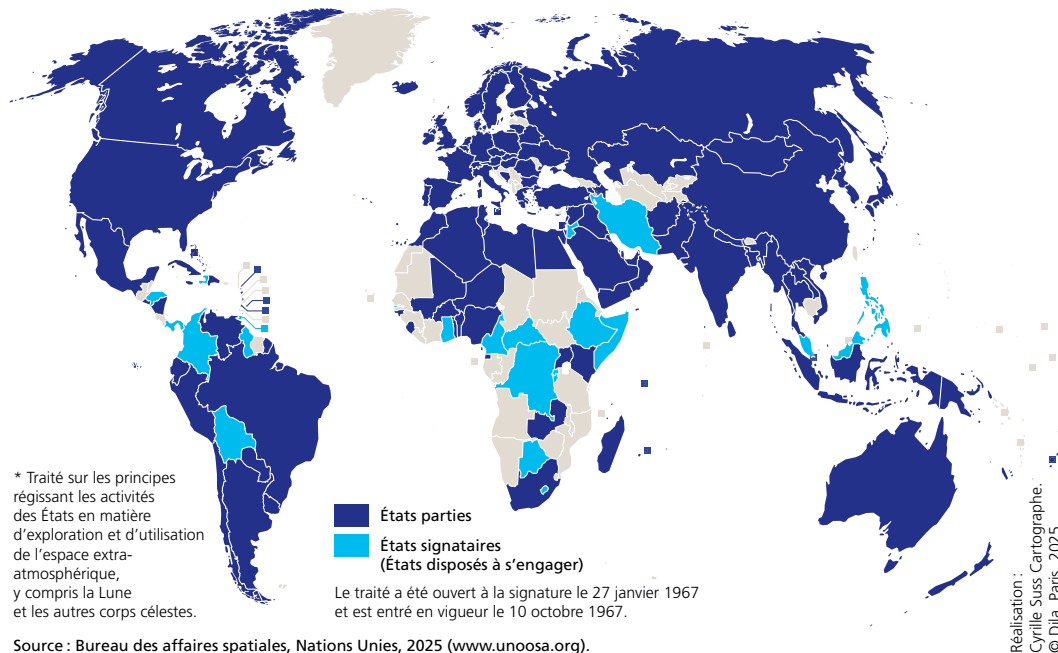
↑ L'alunissage réussi de la sonde *Chandrayaan 3* en août 2023 a provoqué une vague d'enthousiasme en Inde. Ici une reproduction de la fusée indienne lors de la fête de Ganesh Chaturthi à Hyderabad (Inde) en septembre 2023.
© Noah Seelam/AFP

annoncés – selon lesquelles les États réservent les fréquences et les positions orbitales nécessaires à leurs opérateurs nationaux. Il permet aussi la mise en place de procédures nécessaires de coordination internationale. Il règle ainsi, de manière relativement efficace, les nombreux conflits entre opérateurs dans l'usage du spectre.

Géopolitique de l'espace et space lawfare

Si la géopolitique est d'abord affaire de géographie, comme Turgot souhaitait le montrer en 1751 dans son projet d'ouvrage sur la « géographie politique », nul doute qu'il y ait

Traité de l'espace*



place pour une géopolitique de l'espace extra-atmosphérique. La géopolitique de l'espace, c'est la course que les États se livrent pour son contrôle et, plus particulièrement, pour la maîtrise de ses techniques depuis les débuts de l'aventure spatiale, comme ils le firent avec les mers et les océans.

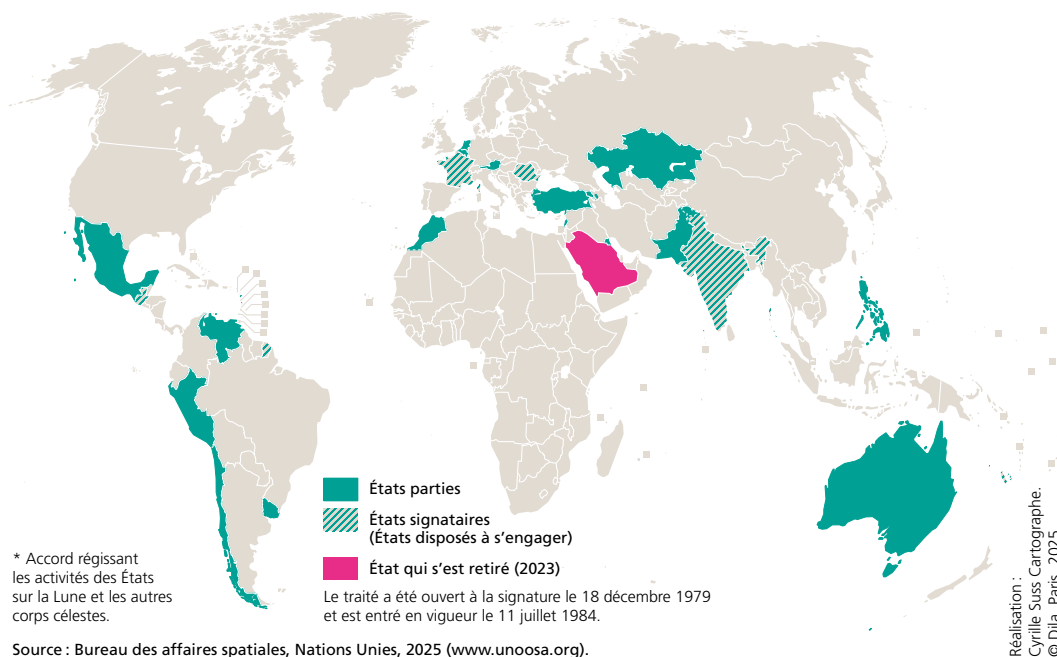
C'est aussi la compétition dans l'obtention de fréquences ou de positions orbitales auprès de l'UIT, compétition qui ne se limite pas aux quarante années de guerre froide. C'est la lutte pour y positionner des satellites militaires, y mener des activités de surveillance ou d'espionnage ou encore pour implanter des « dômes de fer » (*Iron Dome*), c'est-à-dire des systèmes de défense antimissiles, dans l'espace.

C'est également la maîtrise des services qui sont désormais fournis de l'espace extra-atmosphérique vers la Terre. De plus en plus nombreux, ces services sont souvent devenus déterminants dès lors qu'ils conditionnent de nombreuses activités terrestres. Preuve en est l'Internet par satellite dont la constellation Starlink de la société SpaceX entend exercer le contrôle mondial.

La géopolitique de l'espace passe désormais par l'usage du droit comme arme stratégique, ce que l'on appelle communément le « *lawfare* » – une contraction des termes *law*, le droit, et *warfare*, l'art de faire la guerre. Elle va de la menace d'actions commerciales – droits de douane ou contrôle à l'export par exemple – ou juridictionnelles – procédures contentieuses – à la définition d'un cadre législatif ou réglementaire attrayant pour tenter d'exercer un leadership mondial du type IRA (Inflation Reduction Act), initiative américaine visant à attirer sur le sol des États-Unis, les entreprises innovantes du monde entier, en leur offrant des financements, des sources d'énergie abondantes et bon marché ou des régimes fiscaux de faveur.

Les activités spatiales n'échappent pas à cette tendance. Au cours des dernières années, on a vu se multiplier les lois nationales. Ces lois s'inscrivaient au premier chef dans le contexte réglementaire international précédemment décrit, et plus particulièrement dans celui de la responsabilité – au sens politique du terme – que l'article VI du traité de l'espace fait peser sur chaque État approprié (voir *supra*) : celle

Accord sur la Lune*



d'exercer une « surveillance continue » des opérations spatiales d'organismes gouvernementaux ou d'entités non gouvernementales relevant de leur juridiction et de leur contrôle. Il s'agit pour l'État approprié de s'assurer de la conformité de ces opérations aux engagements pris dans le cadre du traité de l'espace. L'article VI fait expressément référence à un régime d'autorisation que tous les États dotés de lois spatiales ont mis en œuvre dans leur réglementation nationale des activités spatiales.

Cette précaution était d'autant plus nécessaire que les États signataires du traité de l'espace assument une responsabilité internationale du fait des objets spatiaux qu'ils immatriculent. Cette responsabilité les expose pour les dommages causés dans l'espace – régime de responsabilité pour faute prouvée, avec cette particularité qu'il n'existe pas de standard international de la faute – aussi bien que pour les dommages causés au sol, notamment au préjudice de tiers qui seraient éventuellement victimes de la retombée de satellites lors d'opérations de retour sur Terre. Ces derniers sont indemnisés sur le seul constat de leur préjudice et d'un lien de causalité direct

avec un satellite identifié comme relevant de la juridiction ou du contrôle d'un État.

La loi française du 3 juin 2008 relative aux opérations spatiales établit ainsi une obligation d'assurance des opérateurs autorisés à hauteur de 70 millions d'euros, ce qui a pour effet, d'une part, de soulager les finances de l'État exposé aux conséquences de dommages qu'il n'a pas directement causés et, d'autre part, de responsabiliser chaque opérateur cherchant à obtenir la garantie sinon la protection juridique de l'État français. Cette obligation d'assurance fonctionne aussi comme une garantie pour les entreprises concernées.

Les lois spatiales nationales se sont ainsi non seulement multipliées, mais plus encore perfectionnées pour couvrir un nombre croissant de situations différentes et suivre l'évolution des technologies et de l'économie des activités spatiales. La loi française en fournit un excellent exemple, sur le plan de son architecture et du détail de ses dispositions, qui en fait un produit d'exportation de l'intelligence des juristes nationaux.

Le développement de formes nouvelles de l'économie spatiale, qualifiées de « NewSpace »,

► FOCUS

La loi française relative aux opérations spatiales

En France, la loi relative aux opérations spatiales (LOS) de 2008 définit le cadre général qui leur est applicable. Elle pose notamment le principe d'un régime d'autorisation articulé autour de deux types d'autorisation requise : une autorisation de lancement et une autorisation de maîtrise en orbite. Ses dispositions sont précisées par quantité de décrets, parmi lesquels un décret fixant le détail de la procédure d'autorisation et établissant les compétences des autorités concernées, sous l'égide du ministre chargé de l'espace, dans la configuration actuelle le ministre de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique : ministère des Armées, ministère de la Recherche, Centre national d'études spatiales (CNES). Des arrêtés viennent appuyer ces décrets, notamment un texte décrivant la composition du dossier de demande d'autorisation et un autre fixant la réglementation technique que tout demandeur doit s'engager à respecter s'il veut obtenir l'autorisation sollicitée. Un contrôle minutieux en est effectué en amont par le CNES.

Ce contrôle est d'autant plus efficace que la réglementation technique est désormais relativement élaborée. Elle couvre en effet de nombreuses exigences techniques sur la conduite des opérations spatiales soumises à autorisation (lancement, maîtrise en orbite), sur le risque de fragmentation de l'objet spatial, que cette fragmentation soit intentionnelle ou involontaire, et par conséquent sur la formation de débris spatiaux, sur le risque de collision et sa prévention, sur le risque de saturation de l'orbite, pour n'évoquer que ces quelques exemples. Ces exigences sont déclinées selon les caractères de l'objet spatial – satellite isolé ou constellation – ou la nature de la mission, y compris les services fournis en orbite.

a conduit de nombreux États à adapter leurs textes nationaux, en y incorporant les préoccupations du secteur privé, de l'innovation et des nouvelles technologies. Les États-Unis, le Japon, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, la France, la Nouvelle-Zélande ou l'Australie, parmi d'autres, ont mis l'accent sur la dimension commerciale des activités spatiales, les constellations de petits satellites, les services fournis dans l'espace extra-atmosphérique, et parfois même la perspective encore lointaine d'une exploitation commerciale de ressources extraites de corps célestes.

Dans un tel contexte, il est difficile de ne pas conclure à l'existence d'un cadre juridique national relativement élaboré, qui vient oppor-

tuément compléter les obligations résultant des traités internationaux.

De la réduction des débris à la gestion du trafic spatial

L'accumulation dans l'espace proche de débris spatiaux de toute origine, de toute nature ou de toute dimension constitue assurément l'un des défis de la régulation des utilisations civiles de l'espace extra-atmosphérique³. Ce scénario imaginé en 1978 par un consultant de la NASA, Donald J. Kessler, connu sous la dénomination de « syndrome de Kessler », ne serait plus, selon des sources concordantes, du domaine de l'anticipation mais plutôt de celui de la réalité actuelle. Son déroulement, si rien n'est fait de manière urgente pour y remédier, pourrait interdire, dans quelques années, l'accès à l'espace extra-atmosphérique.

Fort heureusement, des actions sont conduites actuellement en vue de prévenir une telle situation. Les unes s'inscrivent dans le cadre juridique existant. Comme on l'a montré, la réglementation française accorde désormais une place centrale à la question des débris spatiaux. Il s'agit d'éviter, sinon d'empêcher, la fragmentation des objets spatiaux et d'imposer aux opérateurs d'organiser leur fin de vie en conditionnant des engagements explicites de tout demandeur à l'octroi de l'autorisation qu'il sollicite. Il s'agit en quelque sorte d'une régulation *ex ante*. Mais d'autres actions sont menées depuis plusieurs années avec la même opiniâtreté et de nombreux succès dans un cadre informel, permettant l'élaboration de normes techniques communes ou l'adoption de lignes directrices sur lesquelles les législations nationales peuvent s'appuyer.

Ainsi, l'Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC), un forum intergouvernemental fondé en 1993, a pour objectif de coordonner les efforts entrepris par chaque État concerné pour traiter les débris en orbite autour de la Terre. Si l'IADC est d'abord destiné à l'échange d'informations sur les activités de recherche sur les débris spatiaux,

³ Sur les débris spatiaux, voir la contribution de Christophe Bonnal dans le présent dossier.

il favorise aussi des recherches conjointes entre les agences associées à son fonctionnement. Il permet encore de définir de codes de bonne conduite.

Avec l'IADC, la régulation des utilisations civiles de l'espace s'enrichit d'instruments de « droit souple » (*soft law*), articulants ce que le Conseil d'État français a appelé très justement « une normativité graduée⁴ ». Elle prend la forme inhabituelle d'actes qui laissent à leur destinataire la possibilité de ne pas les appliquer à la condition de justifier leur choix, qui leur offrent l'opportunité d'établir que leur comportement est conforme au « droit dur » (*hard law*) ou les autorisent à se prévaloir d'une obligation de simple compatibilité et non de conformité.

Bien qu'ils soient dépourvus de valeur juridique contraignante, les instruments de droit souple contribuent à façonner le comportement des opérateurs. Leur fonction dans l'ordre juridique spatial international est d'autant plus appréciée que le cadre réglementaire et normatif existant a montré ses limites. La communauté internationale exprime désormais une préférence pour des normes ou des principes de comportement responsable. Pour beaucoup d'États impliqués dans l'aventure spatiale du moment, atteindre cet objectif ne peut résulter que d'une démarche pragmatique, attentive à l'urgence des mesures à prendre.

Dans un contexte de tensions croissantes entre États, il s'agit là sans doute de l'un des moyens les mieux adaptés pour faire évoluer les règles et, au-delà de ces dernières, le comportement et la politique des agences nationales.

Sur un marché désormais ouvert et qui à chaque étape s'ouvre davantage encore, c'est plus généralement une gestion efficace du trafic spatial international qu'appelle aujourd'hui la régulation des utilisations civiles de l'espace. Cette gestion, on en connaît désormais les contours. Ils reposent sur l'instauration d'un édifice juridique à cinq étages : la définition de normes techniques communément admises ; l'harmonisation des régimes d'autorisation

nationaux ; l'établissement de redevances d'accès à l'espace comme il en existe désormais pour les infrastructures spatiales ; l'adoption de procédures de surveillance et d'organisation du trafic spatial, potentiellement inspirées de celles qui encadrent le trafic aérien ; une attention particulière à l'effectivité des mesures prises, par la mise en œuvre d'instruments qui garantissent leur exécution.

À défaut d'une organisation internationale civile de l'espace dont la nécessité se fait régulièrement sentir, comme l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) en a montré la pertinence pour le transport aérien, la mise en place de cet édifice implique assurément la mobilisation de la communauté spatiale internationale.

Entre infrastructure spatiale et services : les défis de la chaîne d'activités

L'approche des activités spatiales par le biais des utilisations civiles de l'espace extratmosphérique ramène à une question existentielle : ces utilisations s'inscrivent-elles dans la logique industrielle d'activités d'infrastructure ou dans celle d'activités de services ? La tendance à la « servicisation » de l'économie mondiale accroît la difficulté de la réponse à cette question. Elle conduit à la généralisation d'une pratique nouvelle, celle de la fourniture de prestations finales globales, assorties d'obligations de résultat ou de dispositifs de pénalités. Dans le secteur spatial, c'est désormais ainsi que fonctionnent la plupart des agences spatiales nationales, qu'il s'agisse de l'octroi de subventions conditionnées ou de contrats de la commande publique.

Quelle que soit l'importance actuelle des activités de services sur le marché spatial, les utilisations civiles de l'espace sont d'abord celles d'une infrastructure constituée d'un segment au sol (stations terrestres), d'un objet spatial en orbite et de fréquences radioélectriques qui les relient. Ces fréquences identifiées sous l'égide de l'UIT sont attribuées par des autorités nationales. Elles constituent désormais des actifs valorisables que les opérateurs peuvent inscrire dans

⁴ *Le Droit souple – Étude annuelle, 2013*, La Documentation française, coll. « Les rapports du Conseil d'État », n° 64, 2013.

leurs bilans. Elles font également l'objet, de plus en plus souvent, de transactions nationales ou internationales (location, cession, nantissement).

Il en résulte de nombreux accords commerciaux dont les dispositions s'ajoutent aux sources institutionnelles ou formelles qui précèdent. La place de ces accords commerciaux dans l'architecture juridique des activités spatiales est devenue d'autant plus importante que les utilisations civiles de l'espace sont pour une large part celles de services fournis vers, depuis ou dans l'espace extra-atmosphérique.

La chaîne des activités spatiales, initialement articulée autour des trois industries de la construction, du lancement et de l'exploitation en orbite de satellites, s'est ainsi sensiblement enrichie d'activités nouvelles. Elle ne cesse de se diversifier, ouvrant désormais la perspective de trois segments distincts de marché : le marché Terre-espace, correspondant à la chaîne d'activité précitée ; le marché espace-Terre, qui regroupe l'ensemble des services fournis depuis l'espace – notamment les trois principaux : observation de la Terre, géolocalisation et télécommunications – ; et le nouveau marché espace-espace, correspondant aux services fournis en orbite.

Sur ces segments de marché gravitent non seulement un ensemble d'industries de cœur de métier, mais aussi des activités de services associées au développement des activités spatiales – financement, courtage, stations terrestres... – ou encore de très nombreuses applications spatiales au sens d'activités commerciales qui utilisent les technologies spatiales dans la poursuite d'activités économiques terrestres.

Cette circonstance a pour conséquence la multiplication des opérateurs économiques, parties prenantes à la chaîne d'activités, et des contrats qui les lient les uns aux autres. Or ces contrats ne s'insèrent pas seulement dans le droit des obligations civiles, commerciales, financières, administratives de chaque État, ils produisent des règles qui viennent opportunément compléter le silence des traités ou des législations nationales.

Ce n'est certes pas une nouveauté dans un secteur où l'on a longtemps traité la question des

risques inhérents aux activités spatiales par des clauses d'éviction de responsabilité, qui venaient limiter l'exposition juridique des principaux opérateurs. Mais le phénomène a pris une importance très significative.

Qu'il soit permis de rappeler que le développement de services en orbite, notamment de services de maintenance – par exemple, le ravitaillement (*refueling*) d'un satellite pour prolonger sa durée de vie –, fait naître une préoccupation juridique que les textes en vigueur n'évoquent pas. Le satellite qui recharge en carburant un satellite opérationnel s'arrime à lui. Les deux satellites arrimés forment-ils ensemble un nouvel objet spatial ou restent-ils deux objets distincts ? S'ils relèvent, du fait de leur immatriculation, d'États et, par conséquent, de réglementations distinctes, que se passe-t-il en cas d'accident causé dans l'espace par l'objet spatial formé par leur arrimage ou sur Terre en cas de retombée brutale ? Quel est l'État responsable ? Deux États distincts peuvent-ils l'être conjointement ? Et, dans ce cas, quel régime de plafonnement de responsabilité retenir ?

En l'état de la régulation des utilisations civiles de l'espace, les contrats commerciaux règlent ce type de difficultés. Et cet exemple peut être multiplié, en déclinant les mêmes problématiques ou des problématiques similaires à de nombreux autres aspects contemporains des activités spatiales : des sous-traitances industrielles inhérentes aux grands programmes spatiaux à l'extraction puis au transport ou au stockage de minerais sur des astéroïdes, en passant par les contrats conclus en matière de commerce des données d'origine spatiale – collecte, traitement, conservation, transfert... – ou ceux, toujours très sensibles, liés à la construction de satellites sur des plateformes aujourd'hui normalisées.



Le droit de l'espace dessine donc une architecture juridique relativement élaborée et en constante évolution, combinant la source des traités fondateurs et les dispositions des législations nationales. Ces dernières sont elles-mêmes contraintes à des mises à jour régulières

pour y intégrer les nouvelles technologies ou de nouvelles pratiques commerciales, le droit souple des normes techniques, des lignes directrices ou des codes de bonne conduite, les précautions prises dans les contrats commerciaux.

Cette architecture juridique peut être opposée à l'idée d'un Far West des utilisations civiles de l'espace qui serait exempt de tout contrôle, quand bien même le droit perdrait un jour de son importance dans les relations internationales. Il faut redire que la conquête de l'espace n'est pas ce que fût celle de l'Ouest américain et que les utilisations civiles qui en sont faites ne se déploient pas sur un marché dépourvu de règles.

Adapter ces règles aux nouveaux usages de l'espace et en créer de nouvelles pour épouser les technologies émergentes constituent autant que la recherche de leur meilleure cohérence juridique, gage de leur efficacité, de nouveaux défis pour les juristes. Ni « Far West », ni « Wild West », l'exploration de l'espace extra-atmosphérique et le développement de ses utilisations civiles n'appellent donc pas seulement la créativité des ingénieurs ; ils s'offrent aussi à l'imagination des juristes⁵. ●

⁵ Voir Lucien Rapp (dir.), *The Spationary. A Dictionary of Essential Space Terminology for Lawyers*, Brill Nijhoff, Leyde, 2025.

L'ESSENTIEL POUR BIEN DÉMARRER DANS LA VIE !



Le guide pratique pour les 15-25 ans qui rassemble des **informations fiables et accessibles** pour **connaître ses droits**, les démarches, les bons plans, les numéros et les sites utiles, les aides disponibles pour se soigner, se loger, poursuivre ses études...

Octobre 2024, 88 pages,
4,90 € - 4,49 € PDF ou epub

Disponible en librairie et sur Vie-publique.fr

La Documentation française

Les nouvelles modalités d'exploitation de l'espace : les États-Unis et le NewSpace

Paul Wohrer¹

est responsable du Programme espace de l'Institut français des relations internationales (IFRI).

Le rôle d'Elon Musk dans l'administration de Donald Trump illustre la montée en puissance des acteurs d'une nouvelle forme d'industrie spatiale, le NewSpace, au cours des deux dernières décennies. Porté par l'innovation technologique et la réduction des coûts, le NewSpace a modifié les rapports de force entre acteurs publics et privés. Cette redistribution des rôles a profondément bouleversé le domaine spatial et a désormais un impact majeur sur les relations internationales.

Le NewSpace est une dynamique américaine caractérisée par l'émergence de nouveaux acteurs économiques dans le domaine spatial au début du XXI^e siècle. Elle s'est accompagnée de l'essor de nouvelles technologies, de nouveaux modèles industriels et d'une reconfiguration des rapports entre acteurs privés et institutions publiques. Porté à l'origine par des entrepreneurs milliardaires passionnés d'espace comme Elon Musk, Jeff Bezos, Paul Allen ou Richard Branson, le NewSpace a profondément bouleversé le paysage spatial au cours des deux dernières décennies.

Dans quelle mesure le développement du NewSpace, en redéfinissant les rapports entre

États et acteurs privés, transforme-t-il les stratégies étatiques, et quelles leçons l'Europe peut-elle tirer d'une dynamique qui affecte désormais les relations internationales ?

Les origines du NewSpace

Les années 1990 ont marqué la fin de la guerre froide et la reconfiguration des investissements consentis dans le complexe militaro-industriel américain vers des objectifs civils. On constate à cette époque la libéralisation de l'usage du système satellitaire de positionnement mondial GPS (Global Positioning System) ou l'autorisation de la vente d'images spatiales à très haute résolution, jusqu'alors apanage des plus hautes autorités militaires. L'administration Clinton favorisa le développement d'activités civiles et commerciales dans l'espace, plutôt que celui d'armes et de boucliers spatiaux qui

¹ Dernières publications : Éric Bottleander et Paul Wohrer, « Sat-to-Cell. Vers la connectivité universelle ? », Études de l'IFRI, septembre 2024 ; Paul Wohrer, « Espace : les nouveaux défis », dans Thierry de Montbrial et Dominique David (dir.), *Ramsès 2025. Entre puissances et impuissance*, Dunod, Paris, 2024.



avait marqué la présidence de Ronald Reagan – notamment l’Initiative de défense stratégique (IDS ou SDI – *Strategic Defense Initiative*) lancée en 1983.

Les premières ébauches d’une véritable exploitation commerciale de l’espace émergent à cette époque. Inventés en Europe avec les lanceurs Ariane, les services de lancements vers l’orbite profitent de l’éclosion du marché bientôt florissant de la télévision par satellite. La compétition s’organise rapidement avec l’entrée sur le marché de lanceurs issus des arsenaux soviétiques, mais commercialisés par des sociétés américaines.

Cette période voit également naître plusieurs initiatives qui préfigurent l’essor du NewSpace, bien que la plupart d’entre elles échouent faute d’un écosystème suffisamment mature. Parmi les projets caractéristiques, la constellation de satellites Teledesic, lancée notamment par le cofondateur de Microsoft, Bill Gates, ambitionne dès le début des années 1990 de fournir depuis l’espace un accès global à Internet. Dans le domaine des lanceurs, l’entreprise Beal Aerospace, fondée en 1997 par le

↑ Depuis 2008, date de son premier contrat signé avec la NASA, SpaceX a bouleversé le marché spatial. Outre ses lanceurs réutilisables et le déploiement de sa méga-constellation de satellites Starlink, la société d’Elon Musk développe des projets d’exploration spatiale vers la Lune et Mars. Ici, une partie des installations de SpaceX situées sur le site de lancement de Cap Canaveral, en Floride. © Michel J. Rodríguez Carrillo/AFP

milliardaire Andrew Beal, tente de développer un engin spatial intégralement financé par des fonds privés, en dehors du cadre des commandes publiques.

L’échec de ces divers projets illustre un paradoxe qui accompagne le développement du NewSpace jusqu’à nos jours : si les entrepreneurs privés apportent une dynamique nouvelle, ils restent largement dépendants du soutien public pour pérenniser leur activité.

De nouvelles règles du jeu

Le début du XXI^e siècle voit émerger aux États-Unis un écosystème spatial inédit, porté par des entrepreneurs issus du secteur de la technologie. Ces nouveaux acteurs bénéficient d’un environnement favorable, marqué par des avancées technologiques significatives,

une ouverture des marchés publics américains et une volonté politique d'encourager l'innovation privée.

Fondée en 2000 par Jeff Bezos, PDG d'Amazon, Blue Origin est la première entreprise de ce type. Elle se spécialise dans le développement de lanceurs spatiaux mais investit également dans de nombreux autres projets : tourisme spatial, atterrisseur lunaire, stations spatiales, etc. La deuxième entreprise pionnière du NewSpace est SpaceX. Fondée en 2002 par Elon Musk, ancien de PayPal et PDG du constructeur automobile Tesla, cette entreprise a connu un essor très rapide et a profondément bouleversé le paysage spatial. La troisième est Virgin Galactic, fondée en 2004 par Richard Branson, PDG du groupe Virgin, qui se concentre sur le tourisme spatial.

“
Loin d'être de simples initiatives privées autonomes, les entreprises du NewSpace s'appuient largement sur la commande publique américaine pour financer leur développement
”

Bien qu'elles poursuivent des objectifs différents, ces trois entreprises clament leur émancipation par rapport à l'écosystème historique du secteur. Là où l'industrie spatiale traditionnelle est principalement issue du complexe militaro-industriel, ces nouveaux acteurs cherchent à imposer une dynamique inspirée de la Silicon Valley et des entreprises du numérique. Toutefois, cette affirmation d'indépendance reste en partie illusoire. Loin d'être de simples initiatives privées autonomes, les entreprises du NewSpace s'appuient largement sur la commande publique américaine pour financer leur développement.

L'exemple de SpaceX illustre cette dynamique. Si l'entreprise se présente comme en rupture avec le modèle traditionnel, elle doit en grande partie son essor au programme COTS

(Commercial Orbital Transportation Services), lancé par la NASA (National Aeronautics and Space Administration) en 2006. Ce programme, qui vise à externaliser les services de ravitaillement de la Station spatiale internationale (International Space Station, ISS), marque un tournant dans la relation entre l'État et l'industrie spatiale.

Au lieu de financer directement le développement de nouvelles capacités, la NASA adopte une approche de marché concurrentiel. Elle achète des services auprès d'entreprises privées, leur laissant la responsabilité des investissements et de la gestion des risques. Cette nouvelle logique contractuelle permet à SpaceX d'acquérir la stabilité financière nécessaire à son expansion. Le succès du programme COTS ouvre la voie à une série de partenariats stratégiques entre le gouvernement américain et les entreprises du NewSpace, consolidant un modèle où l'innovation privée se nourrit du soutien public.

Ce bouleversement des rapports entre l'État et l'industrie modifie en profondeur les règles du secteur spatial. Alors que les agences spatiales comme la NASA ou l'Agence spatiale européenne (European Space Agency, ESA) conservent un rôle central dans l'élaboration des grandes orientations stratégiques, elles n'en détiennent plus le monopole et doivent composer avec les ambitions de ces nouveaux acteurs.

Ceux-ci ne sont plus de simples sous-traitants mais développent leur propre vision de l'exploration spatiale, capable d'influencer les décisions stratégiques et de redéfinir les priorités d'investissement. Ainsi, alors que le NewSpace est souvent présenté comme une révolution principalement technologique et économique, il traduit en fait une évolution profonde du rôle des acteurs privés dans la gouvernance spatiale.

Le programme Artemis : une tentative de l'État américain pour reprendre la main

Face à l'essor des acteurs du NewSpace et à la montée des incertitudes stratégiques liées à la privatisation de l'espace, le gouvernement américain a cherché à réaffirmer son rôle dans

l'exploration spatiale à travers le programme Artemis. Annoncé sous la première présidence de Donald Trump en 2017, ce programme vise à ramener des astronautes sur la Lune d'ici à la fin des années 2020 et à établir une présence durable sur le sol lunaire. Il a pour ambition affichée de préparer les futures missions vers Mars.

“

Le programme Artemis vise ainsi à restaurer une forme de prééminence étatique sur l'exploration lunaire et martienne, tout en maintenant les avantages du NewSpace en matière de réduction des coûts et d'innovation rapide

”

Artemis se distingue des programmes spatiaux précédents par son mode de gouvernance. Contrairement au programme Apollo, entièrement conçu et géré par la NASA, Artemis repose sur un partenariat public-privé dans lequel l'agence spatiale américaine joue un rôle de coordination mais délègue une part importante du développement technologique à des entreprises privées. Ce modèle s'inscrit dans la continuité de la dynamique du NewSpace mais introduit aussi une tentative de rééquilibrage : plutôt que laisser SpaceX et Blue Origin définir seuls les grandes étapes de l'exploration spatiale, le gouvernement américain cherche à imposer une feuille de route structurée aux entreprises privées devant s'intégrer à une vision d'ensemble portée par la NASA.

Le programme Artemis vise ainsi à restaurer une forme de prééminence étatique sur l'exploration lunaire et martienne, tout en maintenant les avantages du NewSpace en matière de réduction des coûts et d'innovation rapide. Il inclut la participation d'acteurs industriels traditionnels, comme Lockheed Martin et Boeing, aux côtés de SpaceX et de Blue Origin, et intègre également des partenariats internationaux, notamment avec l'Agence spatiale européenne et celle

du Japon (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA). Cette approche permet au gouvernement américain de préserver un certain contrôle stratégique sur le programme spatial, tout en continuant à exploiter les avancées technologiques et la compétitivité du secteur privé.

Cependant, cette tentative de reprise en main s'inscrit dans un contexte politique mouvant, marqué par des tensions entre les objectifs affichés par la NASA et les ambitions personnelles d'Elon Musk. Jouant un rôle politique décisif sous la seconde présidence de Donald Trump, ce dernier exerce désormais une influence qui interroge sur l'avenir du programme spatial américain. La préférence affichée par le patron de Space X pour la planète Mars au détriment de la Lune et la nomination prochaine d'un de ses proches à la tête de la NASA incitent à se demander si, après deux décennies, le NewSpace n'aurait pas finalement pris le pouvoir sur le programme spatial américain.

Un bouleversement des règles du jeu géopolitiques

L'entrée en scène des acteurs du NewSpace modifie profondément l'équilibre du secteur spatial. Ce basculement est particulièrement visible dans le domaine des lanceurs. SpaceX, avec sa flotte de *Falcon* et sa technologie de réutilisation, en domine aujourd'hui le marché mondial, reléguant certains acteurs historiques à un rôle secondaire. L'essor des méga-constellations de satellites, telles que Starlink ou le projet Kuiper d'Amazon, illustre la capacité de ces nouveaux acteurs de façonner l'environnement spatial selon leurs propres intérêts. Avec des milliers de satellites en orbite, Starlink est le vecteur d'un volume croissant de données, posant des questions de souveraineté numérique pour les États qui deviennent dépendants de ces infrastructures privées.

L'exemple de la guerre en Ukraine illustre de manière spectaculaire ce nouveau rapport de force. Dès le début de l'invasion russe, en février 2022, le réseau Starlink de SpaceX a permis à l'armée et aux autorités ukrainiennes de maintenir des communications sécurisées

malgré les attaques russes contre les infrastructures terrestres. Cette intervention d'un acteur privé dans un conflit international a mis en évidence une évolution majeure : les entreprises du NewSpace ne sont plus de simples prestataires technologiques mais des acteurs géopolitiques capables d'influencer le cours d'une guerre. Le contrôle de l'information, de la connectivité et des données spatiales est ainsi devenu un levier de pouvoir que certains États ne maîtrisent plus totalement.

En outre, cette privatisation de l'espace pose des questions de gouvernance. La prolifération des satellites privés, l'absence de régulation internationale contraignante et les enjeux liés aux débris spatiaux renforcent la pression sur un écosystème spatial déjà saturé. L'expansion du NewSpace accentue ainsi la compétition et l'urgence d'une réflexion sur le contrôle de ces nouvelles infrastructures orbitales.

Le défi de la souveraineté spatiale pour les États

Face à cette transformation rapide, la souveraineté spatiale des États est mise à rude épreuve. Pendant des décennies, l'accès à l'espace était principalement une question de capacité technologique et financière, volontiers présentée sous l'angle de la compétitivité économique. Dorénavant, il s'agit aussi d'un enjeu de dépendance stratégique à l'égard d'acteurs privés dont les intérêts peuvent diverger de ceux des gouvernements.

Les États-Unis, qui ont largement favorisé l'essor du NewSpace, se retrouvent eux-mêmes confrontés à ce défi. Si la NASA et le Pentagone s'appuient largement sur SpaceX pour leurs programmes, ils doivent également composer avec une entreprise dont la stratégie suit avant tout la volonté de son dirigeant, Elon Musk, plutôt qu'une ligne définie par l'État fédéral. Or, la position ambivalente d'E. Musk quant à l'usage militaire de Starlink en Ukraine a déjà provoqué des tensions avec Washington du temps de l'administration Biden, illustrant les limites d'un modèle où l'État perd une partie de son contrôle sur des actifs stratégiques.

Cette situation est encore plus préoccupante pour les autres puissances spatiales, qui doivent désormais compter avec un environnement où les infrastructures critiques – qu'il s'agisse de satellites de communication, d'observation ou de navigation – ne sont plus uniquement entre leurs mains. Pour la Chine et la Russie, qui perçoivent cette privatisation comme une menace pour leur autonomie stratégique, la réaction passe par un renforcement de leurs propres capacités spatiales souveraines. La Chine, en particulier, investit massivement dans le développement de son propre réseau de constellations, tout en accélérant son programme d'exploration lunaire.

L'Europe se retrouve dans une situation plus délicate. Si elle dispose d'une industrie spatiale performante, celle-ci ne bénéficie pas du même niveau de commande publique que chez les autres grandes puissances spatiales. L'absence d'un cadre politique clair en matière d'espace et la fragmentation des initiatives entre les différents États membres compliquent encore davantage la définition d'une stratégie cohérente face à cette nouvelle donne.

Dans ce contexte, la question pour l'Europe n'est pas tant de rattraper un retard technologique que de définir une politique spatiale adaptée à cette transformation. Il ne s'agit plus simplement de développer des capacités industrielles compétitives, mais de gagner une indépendance stratégique dans un monde où l'espace est devenu un levier de puissance incontournable.

Rupture technologique, continuité stratégique

Le NewSpace est souvent présenté comme une révolution qui aurait profondément bouleversé le secteur spatial en y introduisant les logiques d'innovation rapide, de réduction des coûts et de privatisation des services. Cette transformation est réelle : l'industrialisation du spatial a été accélérée par la réutilisation des lanceurs, l'essor des méga-constellations et l'arrivée massive d'investissements privés dans un secteur historiquement dominé par les États.

Mais, au-delà de cette rupture industrielle et financière, le NewSpace n'a pas fondamen-

talement modifié les objectifs stratégiques des États-Unis dans l'espace. Loin de marquer un désengagement de l'État, cette transformation est avant tout une adaptation des moyens au service d'une continuité stratégique. Depuis les débuts de la conquête spatiale, Washington poursuit les mêmes ambitions : s'assurer une suprématie technologique, garantir un accès autonome et privilégié à l'espace, et renforcer l'intégration des capacités spatiales dans sa stratégie de puissance globale, qu'elle s'appuie sur des actifs publics ou privés.

“
Loin de marquer un désengagement de l'État, le NewSpace est avant tout une adaptation des moyens au service d'une continuité stratégique
”

Désormais, cette continuité se manifeste sous de nouvelles formes. L'exploration lunaire, naguère pilotée par la NASA dans le cadre du programme Apollo, repose dorénavant sur une architecture mixte entre agences publiques et entreprises privées. La domination américaine sur les infrastructures spatiales mondiales ne passe plus uniquement par les grands programmes institutionnels, mais par des systèmes commerciaux comme Starlink, qui lui assurent une influence stratégique considérable sur les communications globales. Enfin, le rôle du spatial dans la défense, historiquement structuré autour des programmes militaires du Pentagone, peut désormais s'appuyer sur des capacités développées par des entreprises privées, intégrées aux stratégies opérationnelles des forces armées américaines.

Cette dynamique met en évidence une leçon essentielle pour l'Europe : ce qui a changé ne sont pas tant les finalités du spatial que les modalités de son contrôle et de son exploitation. Il ne s'agit donc pas pour l'Europe de se positionner uniquement sur le terrain de l'innova-

tion technologique ou de la compétitivité économique, mais de clarifier ses propres objectifs stratégiques, sans chercher à répliquer tous les aspects d'une dynamique qui reste singulièrement américaine.



En remettant en question les acquis d'une histoire bâtie sur le progrès scientifique, la coopération technologique et l'efficacité économique dans l'espace, le NewSpace tend aujourd'hui à l'Europe spatiale un miroir qui fait apparaître ses propres faiblesses. Si elle veut exister comme un acteur de premier plan dans le secteur spatial, l'Europe doit éviter de se positionner uniquement en réaction à la domination américaine, et pour ce, structurer une politique spatiale autonome fondée sur ses propres intérêts stratégiques.

L'enjeu passe par une consolidation des capacités souveraines dans les domaines clés : accès autonome à l'espace, communications sécurisées, renseignement, navigation et défense spatiale. Ces ambitions vont au-delà de la compétitivité commerciale et traduisent un besoin de redéfinition des objectifs politiques européens attribués à l'espace dans un contexte international en pleine évolution. Celui-ci rappelle désormais brutalement à l'Europe que le spatial n'est pas un secteur économique comme un autre, et que son caractère stratégique dans la défense du continent est devenu indispensable pour envisager l'avenir de la construction européenne. ●

Bibliographie

- **Mathieu Bataille**, « L'interaction entre New Space et secteur de la défense aux États-Unis : quelles conséquences sur les opérations spatiales militaires américaines ? », *Stratégie*, n°s 126-127, 2021, p. 97-109.
- **Eric Berger**, *Liftoff. Elon Musk and the Desperate Early Days that Launched SpaceX*, William Morrow, New York, 2023.
- **Christian Davenport**, *The Space Barons. Elon Musk, Jeff Bezos, and the Quest to Colonize the Cosmos*, PublicAffairs, New York, 2018.
- **Xavier Pasco**, *Le Nouvel Âge spatial. De la Guerre froide au New Space*, CNRS Éditions, Paris, 2017.
- **Philippe Steininger**, *Révolutions spatiales. De von Braun à Elon Musk*, L'Archipel, Paris, 2024.

→ POUR ALLER PLUS LOIN

Du prestige soviétique à l'isolement russe : la Russie et la conquête spatiale et lunaire

« La Terre est le berceau de l'humanité, mais on ne peut pas vivre éternellement dans un berceau »

Konstantine Tsiolkovski

La conquête spatiale et les projets d'exploration de la Lune ont toujours constitué un marqueur de prestige des grandes puissances. Même après avoir officiellement perdu la bataille du premier homme envoyé sur la Lune dans les années 1960, la Russie s'est néanmoins imposée comme un acteur majeur de la compétition spatiale. Quel est, dès lors, son rôle actuel dans la nouvelle phase du programme lunaire ILRS mené conjointement avec la Chine ?

L'Union soviétique, berceau de l'exploration spatiale

En soutenant dès l'origine les ambitions cosmiques du pays, les dirigeants bolcheviks ont montré leur foi dans le progrès technique comme moyen de construire le communisme. La popularisation par les autorités soviétiques des travaux du scientifique Konstantine Tsiolkovski (1857-1935) a contribué à encourager la fierté nationale tout en stigmatisant le rôle néfaste du régime tsariste qui avait ignoré son talent.

Le programme spatial soviétique s'est concentré sur l'acquisition d'un statut de pionnier, comme en témoigne la vague de succès dont le pays peut se prévaloir : lancement du premier satellite *Sputnik* en 1957, survol de la Lune avec les photos de sa face cachée en 1959, vol de Youri Gagarine en 1961, envoi d'une sonde vers Vénus en 1961, vol de la première femme dans l'espace, Valentina Terechkova, en 1963, envoi d'une sonde vers Mars dès 1963, sortie extravéhiculaire d'Alexeï Leonov en 1965, premier atterrissage automatique soviétique sur Vénus, assemblage de la première station spatiale de l'histoire, la station monomodulaire *Saliout*, en 1971, et de sa version multimodulaire *Mir*, en 1986...

La pensée juridique soviétique a également contribué à la formation de la réglementation spatiale internationale. En 1966, le juriste Youri Kolosov soutenait une thèse de doctorat sur le thème « Critique des concepts réactionnaires en droit international dans le domaine du droit spatial international », qui

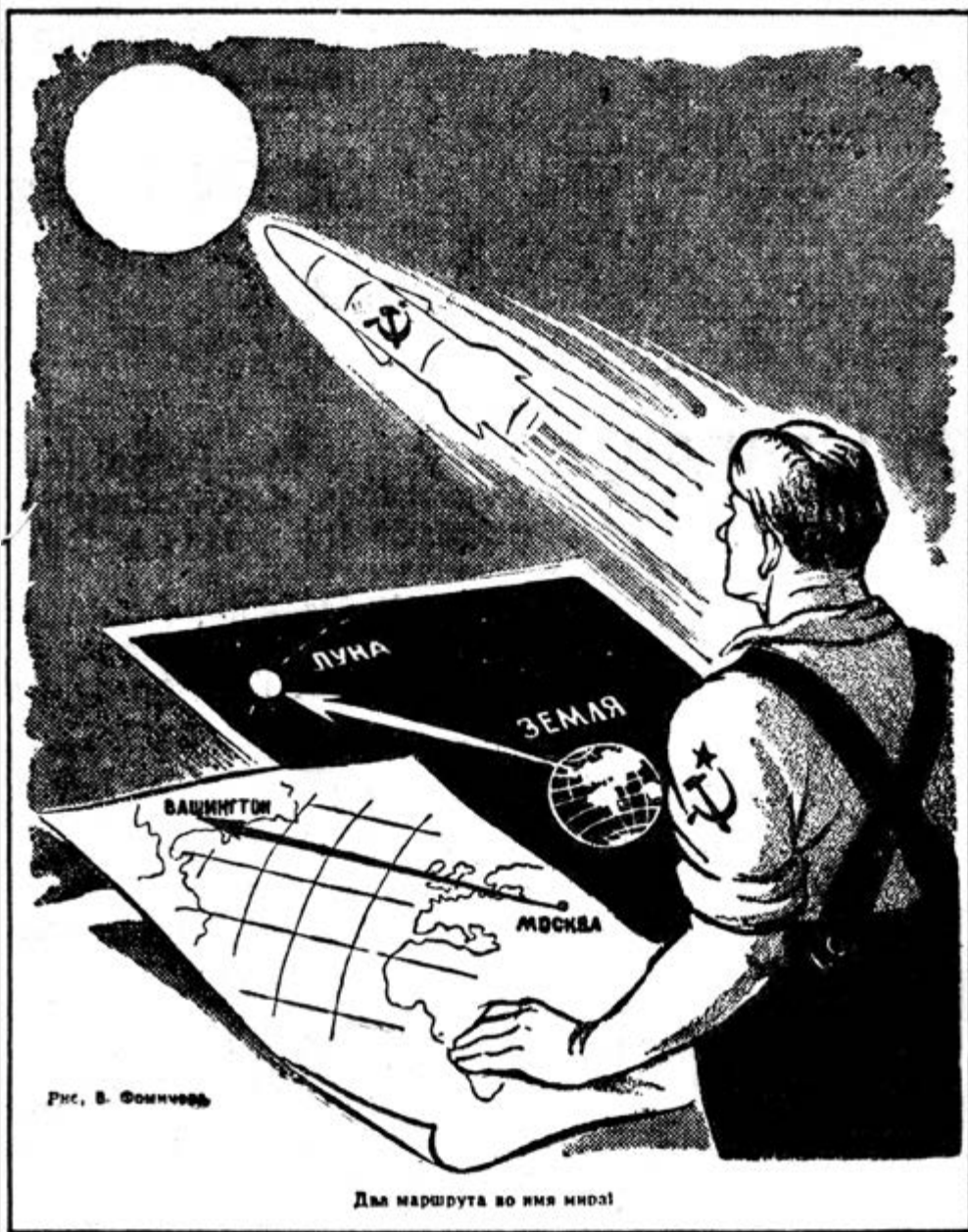
proposait certains principes pour le droit spatial en construction, comme l'exclusivité de l'espace, l'inapplicabilité du droit international général à ce domaine, la possibilité d'appropriation de l'espace et des corps célestes, ainsi que le droit d'exploiter l'espace à des fins militaires. Ces principes ont guidé la position de l'URSS lors de la négociation des cinq traités internationaux relatifs à l'espace adoptés dans les années 1960 et 1970.

L'URSS s'est également efforcée par tous les moyens de prendre la tête des alliances spatiales internationales consacrées à l'utilisation appliquée des données spatiales, en cherchant à créer une option alternative aux organisations existantes. Elle a par exemple créé Interspoutnik, un réseau de services de communication par satellite, et participé à la création du programme international Cospas-Sarsat, destiné à faciliter les opérations de recherche et de sauvetage des astronautes en fournissant des données sur les situations de détresse et leur localisation.

L'URSS a également joué un rôle déterminant dans la création d'Inmarsat, dont l'objectif principal était d'améliorer la sécurité de la navigation maritime grâce aux communications par satellite.

La continuité des programmes

L'effondrement de l'Union soviétique en 1991 a bouleversé la gouvernance du secteur spatial russe. Alors que les projets spatiaux étaient auparavant menés dans le cadre d'un programme national impliquant des entreprises de diverses républiques soviétiques, la Russie indépendante a dû recourir à des accords intergouvernementaux et à des partenariats public-privé. Ce modèle s'est toutefois progressivement enlisé en raison de l'incapacité de la Russie à créer un écosystème commercial viable pour les activités spatiales. La situation a abouti à une perte de compétitivité sur le marché international, exacerbée par l'exode à l'étranger de nombreux scientifiques russes, la rupture des liens économiques avec les partenaires traditionnels du pays, avant que l'imposition de sanctions internationales ne vienne détériorer encore davantage la situation à partir de 2014.



C'est ainsi que le succès de la capsule *Dragon*, développée par la société américaine SpaceX, et celui de la capsule *Orion*, de Boeing, ont mis un terme au projet russe Sea Launch, lancé en 1995, qui prévoyait la mise à disposition de places pour les astronautes américains à bord des vaisseaux russes *Soyouz*.

↑ Dessin paru dans le journal soviétique *Trud*, le 14 septembre 1959, à l'occasion de l'alunissage de la sonde *Luna 2*, la première à atteindre la Lune. Cet exploit consacre alors l'URSS comme la plus grande puissance spatiale de son époque, jusqu'à la mission habitée américaine Apollo 11 en 1969. © Archives Snark/Photo12 via AFP

Le secteur spatial russe a dès lors pris un retard croissant sur ses concurrents, comme le prouvent les statistiques de lancements : 21 en 2022, 19 en 2023 et seulement 8 en 2024 – en comparaison des 79 lancements en 1990 et 39 en 2000.

La Russie ne s'est toutefois pas avouée vaincue, et a lancé en 2018 un grand projet national de développement d'une constellation orbitale multisatellite, qui devrait être opérationnelle en 2030, voire 2036. Ce programme comprend plusieurs volets : le lancement de cinq constellations de satellites de communication et de cinq autres pour l'observation de la Terre (Sfera), un partenariat spatial entre l'État et les entreprises privées, un volet production avec une augmentation de la fabrication de satellites en série, le développement de lanceurs réutilisables écologiques, fonctionnant au méthane, enfin un effort dans la formation de spécialistes et la création de satellites à vocation scientifique et pédagogique.

Malgré ces initiatives, le secteur spatial russe souffre de la rupture des coopérations internationales, de ressources insuffisantes, d'une réorganisation bureaucratique et industrielle insatisfaisante et, depuis le début de l'invasion en Ukraine, du transfert de nombreuses de ses ressources vers l'industrie militaire.

Des réorientations géopolitiques

Dès avril 2014 et l'annexion de la Crimée, le département d'État américain a suspendu l'octroi de licences d'exportation de technologies à double usage vers la Russie. De nos jours, la coopération entre les États-Unis et la Russie se limite à la Station spatiale internationale (ISS). En 2022, l'Agence spatiale européenne (acronyme anglais ESA) a, quant à elle, mis fin à sa collaboration avec la Russie concernant la plateforme d'atterrissage de la mission ExoMars, celle-ci étant désormais prise en charge par Airbus.

En revanche, la Russie a resserré ses liens avec la Chine. Depuis la signature de plusieurs accords en 2016 et 2017, la coopération sino-russe s'étend à l'exploration lunaire, à la science spatiale, aux satellites, aux matériaux, à la télédétection et à la surveillance des débris spatiaux. En 2021, les agences spatiales du groupe des BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine, Afrique du Sud) ont conclu un accord de partage de données satellitaires. En juillet 2024, la Russie a ratifié l'Accord de coopération pour la création de la Station de recherche lunaire internationale (International Lunar Research Station, ILRS), un programme conjoint avec la Chine dont l'objectif

est d'installer un laboratoire scientifique à la surface de la Lune et/ou en orbite autour de celle-ci.

Les initiatives de commercialisation

Les modalités de commercialisation des activités spatiales en Russie reposent essentiellement sur la création de sociétés par actions à participation étatique exclusive, telles que Glonass qui offre des services de navigation tant aux clients publics que privés, grâce au système automatisé d'information national ERA-Glonass.

Elles reposent également sur la mise en place de clusters d'innovation, dans lesquels le budget fédéral intervient sous forme de cofinancement de projets régionaux, tout en favorisant les partenariats public-privé, en particulier dans le domaine de l'observation de la Terre par satellite.

Un nouveau paquet législatif, adopté le 22 juillet 2024 et le 1^{er} janvier 2025, prévoit l'inclusion des entreprises privées dans le cadre de concessions ou de partenariats public-privé. Les structures placées sous le contrôle de Roscosmos, l'agence gouvernementale chargée du programme spatial civil russe, bien que formellement étatiques, peuvent assumer le rôle de concessionnaires, c'est-à-dire de partenaires privés. En revanche, les infrastructures déjà exploitées par Roscosmos ou le ministère de la Défense de la Fédération de Russie ne sont pas susceptibles de faire l'objet de tels partenariats.

L'un des projets de mise en œuvre de ces dispositions jugé particulièrement prometteur est le programme « Voie lactée », prévu pour la période 2026-2036. Son objectif est d'assurer une couverture informationnelle et analytique de la sécurité des activités spatiales en orbite terrestre. Roscosmos a également été autorisée à commercialiser des images satellitaires dont les recettes sont allouées au budget fédéral et réinvesties dans le développement de la constellation satellitaire nationale.

La commercialisation des activités spatiales russes se heurte toutefois à plusieurs obstacles majeurs, tels que l'isolement scientifique et technologique induit par les sanctions internationales, la dépendance des projets commerciaux aux financements publics, ainsi que l'orientation des ressources intellectuelles et technologiques vers la militarisation du pays.

La priorité donnée au secteur militaire

Alors que la Russie et la Chine ont proposé un traité de désarmement de l'espace, celui-ci demeure large-

ment utilisé à des fins militaires. Ainsi, l'article 27 de la doctrine militaire de la Fédération de Russie de 2021 inclut parmi les missions essentielles des forces armées la défense aérienne des infrastructures stratégiques du pays ainsi que la capacité à contrer des frappes menées par des moyens d'attaque aérospatiaux. Cette doctrine prévoit le déploiement et le maintien de constellations orbitales de satellites en soutien aux forces armées russes.

Celles-ci disposent d'une branche spécifique dédiée aux opérations spatiales, les forces aérospatiales. La Russie possède dorénavant une gamme satellitaire presque complète et opérationnelle, à destination militaire ou à usage dual, comme *Blagovest*, *Neutron* ou la série des satellites *Nivelir*. Les systèmes spatiaux russes, y compris certaines infrastructures civiles telles que Glonass, ont été mobilisés dans le cadre de la guerre contre l'Ukraine, notamment pour le guidage des missiles.

La Station de recherche lunaire internationale

La coopération sino-russe pour l'exploration lunaire remonte à 2019 avec la signature de divers accords concernant les missions *Luna Resurs 1* et *Chang'e 7*. En 2021, un mémorandum d'entente a été signé par Pékin et Moscou pour le développement de l'ILRS, qui reste ouvert à d'autres partenaires. Depuis 2024, un centre conjoint d'échange de données lunaires a été créé et un accord intergouvernemental a été ratifié.

Cet accord, à la différence des accords multilatéraux Artemis signés sous la houlette des Américains, est juridiquement contraignant et plus détaillé, réglementant davantage la coopération terrestre en amont que les relations futures entre partenaires sur la Lune. Toutefois, pour mener à bien ce projet, la Russie se trouve dans une position difficile en raison d'un sous-financement chronique.

L'échec de la sonde *Luna 25* en 2023, due à des erreurs technologiques et à des enjeux d'image – tentative de devancer l'Inde sur la Lune pour y planter son drapeau –, ainsi que les reports successifs



↑ Née en 1937 en URSS, Valentina Terechkova est la première femme cosmonaute à être allée dans l'espace lors de la mission *Vostok 6* en 1963. Après avoir occupé d'importantes fonctions politiques sous le régime soviétique, elle siège à la Douma, élue sous l'étiquette du parti présidentiel, Russie unie. © Sergei Chirikov/Pool/AFP

des missions *Luna 26* et *Luna 27* à 2027 et 2028 témoignent des limites actuelles du programme ILRS. Pour l'heure, les ambitions russes de renouer avec la gloire spatiale soviétique semblent illusoire, d'autant que la base scientifique et industrielle du pays demeure absorbée par l'agression contre l'Ukraine et la reconfiguration géopolitique du monde.

Anna Hurova

Membre de la chaire Espace de l'École normale supérieure (ENS) et de l'Institut international de droit spatial, docteure en droit, chercheuse au CNRS sur les questions de sécurité spatiale et de protection de l'espace extra-atmosphérique.

Les activités spatiales militaires : confrontations juridiques et stratégiques

Hugo Peter

est docteur en droit, chercheur postdoctorant au sein de l'université Paris-Saclay dans le cadre du projet de la Commission européenne REACTS. Il est également chercheur associé à l'Institut d'études de stratégie et de défense (IESD) de l'université Jean-Moulin Lyon III.

Si l'espace extra-atmosphérique a longtemps été la source d'inspiration d'un imaginaire sans limites donnant lieu à nombre de légendes, l'accès à ce nouveau milieu en a fait un lieu de conquête stratégique. La rivalité de la guerre froide a été déterminante tant pour la conquête spatiale que pour la création du droit qui régit les activités humaines dans l'espace. Longtemps limité à cinq traités, le droit spatial est désormais confronté à des défis qui obligent à faire évoluer son appareil normatif. L'un de ces défis réside dans le risque croissant d'une arsenalisation de l'espace.

Quatrième milieu conquis par l'homme, l'espace extra-atmosphérique est un milieu de compétition stratégique, au même titre que l'ont été la terre, la mer et le ciel. Cette continuité stratégique est à mettre en perspective avec la continuité géographique qui le caractérise par rapport au domaine aérien. Dans cet espace longtemps inaccessible, les activités spatiales se développent aujourd'hui fortement, au même titre que les velléités étatiques de conquête et de domination qu'il suscite. L'espace est autant un imaginaire de paix et de prospérité qu'un terrain d'affrontements multiples tant idéologiques que stratégiques.

L'espace extra-atmosphérique, milieu stratégique

L'espace extra-atmosphérique est, au sens propre, l'espace qui se situe au-delà de

l'atmosphère. Pourtant la délimitation entre le domaine aérien et le domaine spatial, entre l'air et l'espace, ne fait pas l'objet d'un consensus. La ligne de Kármán, située à 100-110 kilomètres d'altitude, est généralement retenue comme une délimitation acceptable, et majoritairement acceptée, de la frontière air-espace et laisse entrevoir cette perméabilité entre les deux domaines. Les composés chimiques qui caractérisent le domaine aérien, azote et oxygène notamment, s'amenuisent pour laisser progressivement place à ceux qui composent l'espace extra-atmosphérique (voir graphique p. 59).

L'absence d'une délimitation stricte entre les domaines aérien et spatial contribue à expliquer la continuité physique mais aussi stratégique entre ces milieux. L'adage selon lequel « le ciel est la limite » (« *Sky is the limit* ») est périmé. Dorénavant, il n'est plus question de maîtriser la mer ou le ciel pour dominer le monde, l'espace

En avril 2023 ont été signés entre le Pentagone et plusieurs entreprises (SpaceX, Blue Origin et ULA) des contrats pour plus de 13,5 milliards de dollars prévoyant le lancement de satellites militaires américains en orbite basse. Le département américain de la Défense pourrait également se doter de sa propre flotte de fusées Starship (comme celle figurant à gauche, ici en Floride) dans le cadre de missions militaires à hauts risques.
© James Vaughn/Science Photo Library via AFP



extra-atmosphérique est le nouveau domaine qu'il convient de contrôler, voire de gouverner. Les doctrines américaines du *space control* et de la *space dominance* vont d'ailleurs en ce sens et la création de la United States Space Force en 2019 s'inscrit dans la continuité de ces doctrines.

Dès les débuts de la conquête spatiale, l'espace extra-atmosphérique apparaît comme un milieu de compétition. Les fusées ont d'ailleurs pour origine les V2 allemands et la conquête spatiale commence dans un contexte de guerre froide, en pleine opposition entre les blocs américain et soviétique. La compétition stratégique continue jusqu'à la disparition de l'URSS, offrant alors aux États-Unis une voie royale pour l'instauration d'une politique de domination de l'espace. Pendant ce temps, la militarisation de l'espace extra-atmosphérique continue de croître jusqu'à devenir une composante du domaine spatial.

“
La militarisation, c'est-à-dire l'appui stratégique offert par les actifs spatiaux aux opérations militaires qui se déroulent sur Terre, ne doit pas être confondue avec l'arsenalisation de l'espace extra-atmosphérique
”

Cette militarisation s'entend comme un appui stratégique offert par les actifs spatiaux aux opérations militaires qui se déroulent sur Terre. En 1991, la guerre du Golfe en marque la première application concrète, lorsque l'armée américaine utilise ses satellites, notamment de guidage et de positionnement, pour fournir des informations à ses troupes au sol lors de l'opération « Tempête du désert ». La militarisation ne doit pas être confondue avec l'arsenalisation de l'espace extra-atmosphérique, qui consiste en un déploiement d'armes dans l'espace ou à destination de celui-ci.

L'une des premières manifestations d'une volonté d'arsenaliser l'espace a été l'Initiative

de défense stratégique (IDS) proposée en 1983 par le président américain Ronald Reagan. Cette initiative, aussi qualifiée de « guerre des étoiles » en référence à l'œuvre cinématographique de George Lucas, vise alors à promouvoir l'installation d'un système de défense permettant d'intercepter et de neutraliser un missile balistique tiré du territoire soviétique. Différents systèmes devaient être déployés sur Terre et dans l'espace. Si ce projet n'a jamais vu le jour, c'est notamment en raison de son coût financier démesuré, estimé à 170 milliards de dollars (valeur du dollar de 2010¹), et d'une certaine opposition des alliés des États-Unis. Le projet de bouclier antimissile (Iron Dome for America, renommé Golden Dome) de l'actuel président Donald Trump n'est d'ailleurs pas sans rappeler l'IDS voulue par Ronald Reagan.

L'espace extra-atmosphérique, milieu juridique

En dépit des orientations stratégiques développées notamment par les États-Unis, il convient de préciser que, si le domaine spatial est un milieu de conflictualité, il n'en demeure pas moins un milieu régi par le droit. Cet encadrement reste toutefois incomplet.

Un encadrement juridique essentiel...

Ce sont principalement les instruments du droit international public, et plus spécifiquement du droit spatial, qui s'appliquent et encadrent les activités qui s'y déroulent. Cinq traités spatiaux sont à mentionner, parmi lesquels le premier, signé en 1967, connu sous le nom de « traité de l'espace », définit les grands principes du droit spatial. Il est complété, entre 1968 et 1979, par quatre autres instruments qui s'intéressent respectivement au sauvetage et au retour des astronautes, à la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux, à l'immatriculation des objets spatiaux, et aux

¹ Alain Dupas, « Que reste-t-il aujourd'hui de l'IDS reaganienne américaine ? », dans Pierre Pascallon et Stéphane Dossé (dir.), *Espace et Défense*, L'Harmattan, Paris, 2011, p. 123-133.

activités sur la Lune et les autres corps célestes (voir encadré p. 28).

Cependant, qu'il s'agisse du principe de l'intérêt commun, de celui de la liberté de l'espace, de l'application du droit international public et de la conformité à celui-ci ou encore de l'utilisation pacifique, les différents principes énoncés par ces traités, particulièrement par le traité de l'espace de 1967, s'avèrent désormais insuffisants dans la lutte contre l'arsenalisation.

Le principe d'utilisation pacifique est notamment compris comme une interdiction des activités qui ne seraient pas strictement pacifiques. Cette interprétation autorise donc l'existence d'activités militaires dans l'espace à condition qu'elles soient non agressives. C'est notamment le cas avec la présence de satellites militaires dans l'espace extra-atmosphérique. Il est d'ailleurs à noter que de nombreux systèmes spatiaux sont de nature duale, c'est-à-dire qu'ils peuvent être utilisés à la fois pour des activités civiles et d'autres militaires, ainsi des satellites de positionnement (GPS américain par exemple).

Le principe d'utilisation pacifique est lié à l'article IV, premier paragraphe, du traité de l'espace, qui prévoit une interdiction complète des objets porteurs d'armes nucléaires ou de tout autre type d'armes de destruction massive dans l'espace. Le second paragraphe dudit article IV prône par ailleurs une utilisation à des fins exclusivement pacifiques de la Lune et des corps célestes, ce qui a eu pour conséquence la démilitarisation de ces zones. Ce régime de démilitarisation différenciée fait une distinction entre la Lune et les corps célestes, y compris leurs orbites, lesquels bénéficient d'une démilitarisation totale, alors que les orbites terrestres et le reste de l'espace extra-atmosphérique ne bénéficient que d'une interdiction de placement d'armes nucléaires.

La démilitarisation prévue à l'article IV du traité de l'espace doit être considérée en combinaison avec le droit international public général, notamment la Charte de l'Organisation des Nations Unies (1945), qui, en vertu de l'article III du traité de l'espace, s'applique aux activités spatiales. Un tel mécanisme permet de solliciter l'un des articles les plus connus de la Charte, l'article 2, § 4, qui prévoit l'interdiction du recours

à la force et de la menace du recours à la force. Cette lecture combinée de l'article 2, § 4, de la Charte et de l'article IV du traité de l'espace ne permet pourtant pas de combler le vide juridique relatif à l'arsenalisation de l'espace.

De toute évidence, si un État employait une arme pour détruire un satellite étranger, cet acte serait probablement tenu pour une violation de l'article 2, § 4, de la Charte. Bien qu'un tel agissement puisse ne pas nécessairement contrevenir à l'article IV du traité de l'espace, il apparaîtrait vraisemblablement comme un acte à même d'être qualifié d'agression armée et qui, constituant une violation de l'article 2, § 4, de la Charte, pourrait alors ouvrir droit à l'application du principe de la légitime défense au titre de l'article 51 de la Charte. Une telle hypothèse insiste sur l'importance de l'application du droit international public général au domaine spatial.

...mais lacunaire

En dépit de la pertinence de la sollicitation de l'article 2, § 4, de la Charte des Nations Unies en cas d'attaque d'un État contre un satellite étranger, la théorie est vite rattrapée par la pratique. De nombreux faits ont permis de constater le vide juridique en matière d'arsenalisation de l'espace, non seulement quant à la qualification de l'acte mais aussi quant à sa légalité.

Parmi les actions en cause, les essais d'armes antisatellites sont particulièrement problématiques. Ces derniers sont effectués par un État à l'encontre d'un de ses propres satellites. Il est donc impossible pour un autre État de prétendre qu'il s'agit d'une agression armée dont il aurait été victime. En outre, bien que les conséquences de ces essais, notamment en matière de production de débris spatiaux, puissent légitimement susciter des interrogations, aucune plainte n'a été enregistrée à ce jour. De ce fait, aucun précédent juridique n'existe, ce qui ne permet pas de connaître davantage de leur légalité. Si l'absence de différends ne permet pas de trancher en faveur de leur illégalité, elle ne doit pour autant pas être considérée comme une preuve de leur légalité.

L'actuel vide juridique ne se limite d'ailleurs pas aux seuls missiles balistiques utilisés afin de détruire un satellite. L'ensemble des

armes qui ne sont pas nucléaires ou de destruction massive bénéficie d'une imprécision normative des plus permissives. La diversité des dispositifs qui peuvent être considérés comme des armes spatiales rend plus complexes la connaissance du régime juridique applicable et l'encadrement de leur utilisation. Certains dispositifs répondent logiquement à la qualification d'arme spatiale, à l'instar des missiles balistiques lorsqu'ils sont déployés dans l'espace ou utilisés à l'encontre d'un actif spatial. Ces armes sont considérées comme des armes cinétiques, en ce qu'elles recourent à l'énergie cinétique pour causer des dégâts. L'une des principales conséquences de leur utilisation a trait à la création de débris, ainsi que l'ont démontré les différents tests de missiles antisatellites (ASAT), particulièrement celui mené par la Chine en 2007, dont les débris continuent de proliférer et de menacer les satellites situés en orbite basse.

D'autres armes sont toutefois à prendre en compte, particulièrement les armes à énergie dirigée telles que les lasers, qui permettent de causer des dégâts sans nécessairement produire de débris. Les armes qui ont pour objectif de brouiller ou d'interrompre des signaux sont également à considérer, au même titre que les dispositifs cyber, qui compliquent davantage encore la question de l'arsenalisation. De même, les dispositifs de service en orbite, c'est-à-dire des actifs dotés d'outils permettant de réparer les satellites et de prolonger leur vie, peuvent aussi être envisagés comme de potentielles armes spatiales dans l'hypothèse d'une utilisation à des fins d'agression d'un autre satellite.

Entre innovations juridiques et réticences politiques

En dépit des menaces qui pèsent sur le domaine spatial et accroissent le risque d'une arsenalisation du milieu, de nombreuses initiatives juridiques sont à souligner. Au premier chef, on citera les travaux entrepris par des acteurs non gouvernementaux. Or, si des codes de conduite ont été proposés, notamment dans le cadre de l'Union européenne, ceux-ci n'ont jamais réellement trouvé leur place dans la pratique.

Ces travaux ont pourtant mis l'accent sur la nécessité de telles propositions et ont contribué à inspirer des initiatives récentes telles que le manuel de Woomera² et celui de McGill, aussi connu sous le nom de MILAMOS³. Ces manuels s'intéressent respectivement au *jus ad bellum* (le droit de recourir à la force armée) et au *jus in bello* (les limites de l'utilisation de la force armée). Ils ont pour objectifs de combler les lacunes du droit positif en déterminant les règles applicables respectivement en matière de *jus ad bellum* et de *jus in bello*. Ils sont le fruit d'initiatives universitaires et regroupent parmi les plus éminents experts des questions spatiales militaires issus de différents milieux et de différents États. Bien que ces instruments ne soient pas en eux-mêmes juridiquement contraignants pour les États, ces derniers peuvent s'appuyer sur les dispositions qui y figurent afin d'orienter leurs conduites en faveur de plus de sécurité.

Ces ébauches et initiatives font écho aux travaux développés au sein d'institutions telles que l'Assemblée générale des Nations Unies, qui visent à développer des normes, règles et principes de comportements responsables afin d'assurer la sécurité du domaine spatial et la viabilité à long terme des opérations qui s'y déroulent.

“
L'existence d'une disette normative en droit spatial depuis l'accord sur la Lune de 1979 conduit à s'interroger sur l'évolution du droit spatial
”

Les propositions ne se limitent pas à la seule question de l'arsenalisation et envisagent plus largement la sécurité spatiale. Ces initiatives non obligatoires coexistent avec des propositions

² Jack Beard et Dale Stephens (dir.), *The Woomera Manual on the International Law of Military Space Operations*, Oxford University Press, Oxford, 2024.

³ Ram S. Jakhu, Steven Freeland (dir.), *McGill Manual on International Law Applicable to Military Uses of Outer Space: Volume 1 - Rules*, op. cit., 36 p.

contraignantes, à l'instar du projet de traité sino-russe visant à prévenir le placement d'armes dans l'espace. Ce projet a été soumis par deux fois, en 2008 et en 2014, à la Conférence du désarmement des Nations Unies. Malgré les améliorations apportées, il s'est heurté à l'opposition de plusieurs États, notamment les États-Unis, en raison de lacunes définitionnelles concernant la notion d'arme spatiale⁴.

La coexistence de telles initiatives, contraignantes et non contraignantes, met en lumière une opposition normative importante entre les normes obligatoires et celles qui ne le sont pas. Ces normes sont respectivement qualifiées de *hard law* et de *soft law* au sein du droit international public. Elles illustrent des caractéristiques qui, bien qu'elles soient différentes, ne doivent pas nécessairement être opposées. Si pour les faire respecter, la *hard law* fait appel à la crainte de réaction en cas de violation, les normes de la *soft law*, c'est-à-dire les normes non contraignantes, reposent davantage, quant à elles, sur l'orientation de la pratique des États par le développement de règles incitatives, notamment de codes de conduite ou de normes de comportements respectables.

Cette dichotomie, loin d'être spécifique au droit spatial, s'exprime particulièrement lorsqu'il faut réglementer des sujets tels que l'arsenalisation ou les débris spatiaux. En matière d'arsenalisation, la coexistence d'initiatives contraignantes et non contraignantes met en lumière la difficulté des premières à réguler efficacement ces questions. L'existence d'une disette normative en droit spatial depuis l'accord sur la Lune de 1979 accroît le constat d'une émergence grandissante de la *soft law* et conduit à s'interroger sur l'évolution normative du droit de l'espace.



L'apparition de la norme non contraignante dans le domaine spatial est corrélée à l'existence d'une réticence étatique à encadrer l'arsenalisation de l'espace. Ce constat s'explique par

⁴ Michael Listner et Rajeswari Pillai Rajagopalan, « The 2014 PPWT: a new draft but with the same and different problems », *The Space Review*, 11 août 2014.

l'absence d'initiatives juridiques pertinentes et satisfaisantes, ainsi que par le fait que les États, particulièrement les États-Unis, redoutent qu'une réglementation de l'arsenalisation ne les limite dans leurs activités spatiales. Elle pourrait constituer une occasion pour d'autres États, en priorité la Chine, la Russie et l'Inde, de porter atteinte aux systèmes spatiaux américains. Une telle hypothèse fait alors émerger la crainte, tant redoutée, d'un Pearl Harbour spatial⁵ qui menacerait les activités spatiales des États-Unis et représenterait une menace incommensurable pour ces derniers. Il s'agit là d'un point essentiel des activités spatiales et des enjeux de puissance, la quête de contrôle et de domination de l'espace s'accompagne d'une dépendance croissante à l'égard de celui-ci.

Or cette dépendance constitue un véritable talon d'Achille, puisque plus un État est dépendant, plus il a à perdre en cas d'atteinte à ses activités. La domination spatiale et la recherche de l'invulnérabilité ne sont possibles que si aucun autre acteur n'a de capacité spatiale. Une telle stratégie est vouée à l'échec. Le projet *Golden Dome for America* en constitue une illustration presque parfaite puisque, en cherchant l'invulnérabilité par le biais d'un projet qui permette, en théorie, de se protéger de l'ennemi, les États-Unis accroissent en réalité la menace envers les autres acteurs⁶. Ils participent de ce fait à l'intensification d'un dilemme de sécurité qui signe l'arrêt de mort de toute tentative d'encadrement de l'arsenalisation.

L'ensemble de ces éléments témoigne de la difficulté de parvenir à un encadrement juridique de l'arsenalisation de l'espace, le droit international demeurant encore trop souvent soumis à des volontés politiques divergentes ou inexistantes et à l'inaction qui en résulte. ●

⁵ « Report to the Commission to Assess United States National Security Space Management and Organization », Pursuant to Public Law 106-65, janvier 2001.

⁶ L'Union européenne a d'ailleurs annoncé vouloir développer un bouclier spatial européen en réaction au projet américain. www.eeas.europa.eu/eeas/speech-eu-high-representativevice-president-kaja-kallas-17th-european-space-conference_en.

Bibliographie

Ouvrages

- **Philippe Achilleas et Stephan Hobe** (dir.), *Fifty Years of Space Law / Cinquante ans de droit de l'espace*, Brill Nijhoff, Leyde, 2020.
- **Clémentine Bories et Lucien Rapp** (dir.), *L'Espace extra-atmosphérique et le droit international*, colloque de la Société française pour le droit international, Pedone, Paris, 2021.
- **Everett C. Dolman**, *Astropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age*, Frank Cass & Co, Londres, 2002.
- **Stephan Hobe**, *Space Law*, 2^e édition, Nomos, Baden-Baden, 2023.
- **Steven Lambakis**, *On the Edge of Earth. The future of American Space Power*, University Press of Kentucky, Lexington, 2001.

- **Francis Lyall et Paul B. Larsen**, *Space Law. A Treatise*, 2^e édition, Routledge, Londres, 2020.
- **Unidir**, *Peaceful and Non-Peaceful Uses of Space. Problems of Definition for the Prevention of an Arms Race*, Routledge, New York, 1991.

Articles

- **Jack M. Beard**, « Soft Law's Failure on The Horizon: The International Code of Conduct for Outer Space Activities », *University of Pennsylvania Journal of International Law*, vol. 38, n° 2, 2017, p. 335-424.
- **Christine M. Chinkin**, « The Challenge of Soft Law: Development and Change in International Law », *International and Comparative Law Quarterly*, vol. 38, n° 4, octobre 1989, p. 850-866.

- **Alain Dupas**, « Que reste-t-il aujourd'hui de l'IDS reaganienne américaine ? », dans Pierre Pascalon et Stéphane Dossé (dir.), *Espace et Défense*, L'Harmattan, Paris, 2011, p. 123-133.

- **David A. Koplow**, « The Fault Is Not in Our Stars: Avoiding an Arms Race in Outer Space », *Harvard International Law Journal*, vol. 59, n° 2, été 2018, p. 331-388.

- **Michael Listner et Rajeswari Pillai Rajagopalan**, « The 2014 PPWT: a new draft but with the same and different problems », *The Space Review*, 11 août 2014.

Rapport

- « Report to the Commission to Assess United States National Security Space Management and Organization », Pursuant to Public Law 106-65, janvier 2001.

→ POUR ALLER PLUS LOIN

Les utilisations militaires de l'espace : un état des lieux

Le 3 octobre 1942, à Peenemünde, sur les bords de la mer Baltique, où les nouvelles armes secrètes du III^e Reich sont testées, une fusée *Aggregat 4*, préfigurant le missile allemand V2, est lancée. Quelques minutes plus tard, elle atteint une altitude de 90 kilomètres et peut à ce titre être considérée comme le premier objet envoyé par l'homme dans l'espace. Quinze années plus tard, quasiment jour pour jour, *Sputnik*, le premier satellite, est mis en orbite par un missile balistique soviétique R-7. Ces deux exemples, pris aux origines de la conquête spatiale, démontrent que la militarisation de l'espace n'est pas nouvelle, et incitent à penser que l'ADN des activités spatiales comporte de fait une certaine dimension militaire et sécuritaire.

De nos jours, la défense passe par l'espace, comme le montre notamment de façon répétée et évidente le conflit russo-ukrainien depuis février 2022. Dans le même temps, chacun peut aussi constater que les

infrastructures spatiales sont devenues essentielles au fonctionnement des sociétés, si bien que celles-ci ne sauraient rester sans défense. En quelque sorte, il n'y a plus de défense sans espace, ni d'espace sans défense.

Cette réalité n'a pas échappé aux militaires, qui mènent des opérations dans, depuis et vers l'espace, ayant pour objet de lancer vers l'espace des systèmes spatiaux, de surveiller l'espace et la très haute atmosphère, et d'appuyer les opérations militaires sur Terre à partir de l'espace. Tout porte à croire, de surcroît, que nous sommes parvenus à un moment de rupture stratégique, alors que les progrès considérables de la technologie spatiale sont en train de révolutionner l'art militaire.

Les missions de surveillance

Toute mission militaire dans l'espace débute, bien sûr, par un lancement. Pour d'évidentes raisons écono-



miques cependant, le lanceur utilisé est de nature duale dans la quasi-totalité des cas, c'est-à-dire en l'espèce qu'un lanceur civil, mis en œuvre par des équipes civiles, est utilisé pour une mission militaire.

Surveiller l'espace constitue, en revanche, un pan important des activités spatiales militaires et répond à une double nécessité : celle, d'abord, de soustraire autant que faire se peut les systèmes orbitaux aux risques de collision avec des débris ou d'autres plateformes ; celle, ensuite, d'établir une situation spatiale dans une logique militaire. La surveillance de l'espace constitue donc la pierre angulaire de la sécurité de toute opération s'y déroulant, comme de toute démarche stratégique affichant l'ambition d'y protéger des intérêts.

Se placer dans l'espace pour observer vers le bas les hautes couches de l'atmosphère permet en outre de détecter les missiles balistiques lors de leur phase ascendante et les armes hypersoniques manœuvrantes – missiles aérobies évoluant en haut endo-atmosphérique, entre 30 et 100 kilomètres d'altitude, et planeurs suborbitaux rebondissant sur les hautes couches de l'atmosphère – pendant leur

↑ Un terminal Starlink camouflé lors d'opérations militaires dans la région de Tchernihiv (Ukraine) en juin 2023. Le fournisseur d'accès à Internet par satellite reste essentiel pour les communications de l'armée ukrainienne.

© Maxym Marusenko/Nurphoto via AFP

transit vers leurs cibles. Il y a donc un intérêt militaire avéré à procéder de la sorte.

La seule option permettant une détection et un suivi utiles de ces armes réside en réalité dans la mise en place, en orbite basse, d'une constellation de satellites munis de capteurs infrarouges offrant une couverture permanente des zones de vulnérabilité. C'est précisément l'un des principaux objectifs de la constellation militaire américaine de satellites en orbite basse PWSA (Proliferated Warfighter Space Architecture) actuellement en cours de déploiement.

Les missions d'appui

Mais c'est apporter depuis l'espace un soutien aux opérations interarmées menées à la surface du globe qui constitue depuis plusieurs dizaines d'années la finalité principale des opérations spatiales militaires.

Cet appui se décline en trois grands volets : l'observation de la Terre, les télécommunications et la fourniture d'un signal de position-navigation-temps (PNT).

Toutes les forces armées des grandes puissances spatiales possèdent des satellites militaires d'observation optique, infrarouge et radar en orbite basse, qui leur apportent de très hautes performances en termes de résolution et de géoréférencement. Outre leur intérêt opérationnel évident au plan militaire, ces systèmes spatiaux contribuent directement à l'autonomie de décision des autorités politiques et au renseignement de niveau stratégique.

“
Avec l'avènement du drone de reconnaissance à longue endurance et de la numérisation du champ de bataille, le besoin militaire en télécommunications spatiales s'est mis à croître de manière exponentielle
”

L'écoute électromagnétique constitue l'autre finalité militaire de l'observation de la Terre depuis l'espace. Des systèmes spatiaux ont ainsi pour mission de détecter, de caractériser et de localiser des signaux électromagnétiques d'intérêt militaire, tout particulièrement des radars. Très peu de pays disposent de systèmes de cette nature. Tel est le cas des États-Unis, de la Chine, de la Russie et de la France, autrement dit des pays disposant d'une force de dissuasion nucléaire à la fois étoffée et réellement indépendante.

Cette situation n'est en rien fortuite, car, pour assurer la pénétration des porteurs (avions), des vecteurs (missiles) et des armes nucléaires vers leurs objectifs, il est nécessaire de connaître la localisation et les caractéristiques des systèmes de défense qui leur seront opposés. Or ces derniers, s'ils sont déployés dans la profondeur d'un territoire, ne peuvent être observés et écoutés en temps de paix que de l'espace, les systèmes aériens et navals de renseignement, assujettis au respect des frontières, se trouvant trop éloignés.

En dotant les porteurs et les vecteurs nucléaires de systèmes de leurrage et de brouillage parfaitement adaptés aux systèmes de défense qu'ils devront pénétrer, en offrant aussi la possibilité de choisir le meilleur itinéraire pour les raids aériens de frappes nucléaires, les systèmes spatiaux d'écoute électromagnétique participent directement à la crédibilité de la dissuasion nucléaire, ce qui demeure leur finalité première.

Des systèmes spatiaux devenus incontournables

Pouvoir établir à tout moment un canal de communication entre des structures de commandement et des forces déployées en tous lieux a toujours fait partie des préoccupations des autorités militaires. Transmettre des ordres et recevoir des comptes rendus d'opérations, ainsi que des renseignements de situation, sont en effet pour celles-ci des conditions nécessaires à une conduite cohérente et efficace des opérations. À partir des années 1960, les télécommunications spatiales ont permis d'améliorer considérablement les conditions de satisfaction de ce besoin.

Trente années plus tard, avec l'avènement du drone de reconnaissance à longue endurance et de ce qu'il est convenu d'appeler la numérisation du champ de bataille, le besoin militaire en télécommunications spatiales s'est cependant mis à croître de manière exponentielle, tout en évoluant dans sa nature. Au besoin de transmission en phonie s'est ajouté celui de pouvoir transmettre en masse des données tactiques et celles nécessaires au pilotage des drones. Traditionnellement satisfaits par des satellites en orbite géostationnaire, ces besoins le sont désormais également par des constellations de plus petits satellites évoluant en orbite basse.

Les systèmes spatiaux dits « PNT » sont connus de tous au travers du service de géolocalisation qu'ils offrent. L'usage du GPS américain, dont il est opportun de rappeler ici qu'il est à l'origine un système militaire, ou du Galileo européen, les deux constellations PNT occidentales, est ainsi entré dans notre quotidien. Mais ces systèmes jouent désormais aussi un rôle très important dans les opérations militaires. Avec un degré de protection supérieur au service offert dans le domaine civil, ils fournissent

aux forces armées des informations de position très précises dans tous les milieux, sur terre, sur mer et dans les airs, aux fins de navigation.

De nombreux systèmes d'armes utilisent pour leur guidage une information de position issue d'un système PNT, la plupart du temps en la croisant avec une information de même nature obtenue par un autre moyen (centrale à inertie, viseur stellaire...). Il n'est pas inexact d'affirmer dans ces conditions que ces systèmes sont au cœur de la grande précision dont sont capables les munitions modernes, laquelle est facteur à la fois d'efficacité militaire et de contrôle de leurs effets.

Depuis une quinzaine d'années, on observe dans l'espace un nombre croissant d'opérations dont la nature offensive est difficilement contestable. Ce constat a conduit l'Alliance atlantique à reconnaître, en 2019, l'espace comme un nouveau domaine opérationnel militaire à part entière, à l'instar des domaines terrestre, aérien, maritime et cyber. La perspective d'affrontements militaires dans l'espace se précisant, un nouveau champ d'action s'est ouvert s'agissant de la défense. Pour une puissance spatiale, protéger ses intérêts dans l'espace est donc devenu une nécessité et, pour les plus responsables d'entre elles, qui excluent l'offensive, cette démarche prend une forme dissuasive s'articulant autour de deux piliers : le renforcement de la résilience de leurs capacités spatiales et la défense active de celles-ci.

La technologie spatiale transforme l'art militaire

Comme au cours du premier conflit mondial, lorsque l'aviation, révélant son potentiel opérationnel, a fait irruption dans l'art militaire en bouleversant bon nombre de ses pratiques, il semble bien que les systèmes spatiaux soient actuellement en train d'offrir une réplique à cette profonde dynamique de transformation militaire. Dans le domaine spatial, on assiste en effet à deux mouvements de fond dont il est permis de penser qu'ils ont une dimension fondatrice s'agissant de l'art militaire.

Le premier mouvement concerne l'appui des opérations militaires depuis l'espace et se caractérise par un usage de plus en plus répandu des systèmes spatiaux au niveau tactique. C'est aujourd'hui, et plus encore

demain, des combattants de base, comme le fantassin sur le terrain ou le pilote dans son aéronef, qui bénéficient pour conduire leur action de données issues de systèmes spatiaux ou ayant transité jusqu'à eux *via* une infrastructure spatiale. Toujours plus nombreuses et de meilleure qualité, celles-ci participent à une migration massive des informations de renseignement vers le bas de la hiérarchie militaire, tout en offrant une connectivité jusqu'ici inégalée entre les différents niveaux hiérarchiques et au sein de chacun d'eux. L'efficacité opérationnelle s'en trouve ainsi considérablement améliorée.

Le deuxième mouvement concerne l'action militaire dans l'espace lui-même et se matérialise par l'émergence de nouvelles missions spatiales, dites « de maîtrise de l'espace ». Ces missions s'inscrivent dans une logique de dissuasion par le châtement et s'articulent autour de deux volets visant pour un État, d'une part, à connaître aussi finement que possible la situation spatiale et, d'autre part, à pouvoir agir sur des plateformes orbitales depuis d'autres plateformes orbitales ou depuis le sol, dans une logique de défense active de ses intérêts.

La technologie permet désormais de donner une dimension opérationnelle à ce qui n'était, il y a peu encore, qu'une ambition et, dans le monde, les armées les plus avancées prennent progressivement en compte ces missions nouvelles au gré des ambitions stratégiques de leurs autorités politiques et des moyens dont elles peuvent disposer.

Seuls quelques pays peuvent de nos jours être considérés comme de véritables puissances spatiales. C'est-à-dire des États ayant doté leur politique de défense d'un volet spatial cohérent, articulé autour de capacités autonomes de lancement, de surveillance de l'espace, de services satellitaires de toutes sortes et d'action dans l'espace. Ces quelques États jouissent d'un ascendant stratégique certain sur les autres et se trouvent dans une configuration que l'histoire n'a offerte qu'en de très rares occasions.

Philippe Steininger

Conseiller militaire du président du Centre national d'études spatiales (CNES) et chercheur associé à l'Institut de relations internationales et stratégiques (IRIS).

Satellites, constellations satellitaires : une nouvelle ère

Christian Hyde

est expert en droit des télécommunications, directeur de Hyde & Associates.

Hugo Lemoine

est juriste associé chez Hyde & Associates.

Durant les soixante premières années de l'ère satellitaire, entre 1957 et 2017, le nombre de satellites actifs en orbite n'a jamais dépassé 2000¹. On en compte désormais près de 12000 opérationnels, sans compter les satellites inertes². Rien qu'entre janvier 2022 et juin 2023, leur croissance a été supérieure à 40%³ et, pour la période 2025-2030, le total de lancements prévu est estimé à plus de 70000⁴. L'étude des révolutions technologiques successives qui ont abouti à cette fièvre satellitaire permet de mieux comprendre les défis actuels liés à leurs nouveaux usages et à l'irruption récente d'acteurs spatiaux privés.

Parmi les différentes prédictions que fit le savant et écrivain de science-fiction britannique Arthur C. Clarke (1917-2008), la plus célèbre, émise dès 1945, est sans doute celle qui prévoyait l'avènement des satellites de télécommunications⁵. Il fallut ensuite deux décennies pour parvenir, après le lancement du premier satellite en 1957, à l'ère des satellites géostationnaires, avec le lancement en 1965 du satellite

américain *Early Bird*. Depuis 2019, l'écosystème satellitaire bascule et cède la place à une autre tendance, celle des méga-constellations, qui ambitionnent de fournir à la planète entière des services d'accès à l'Internet plus efficaces⁶.

Au cours des dernières décennies, les caractéristiques technologiques des satellites, les prouesses dont ils sont capables, le rythme et le coût de leur lancement, leur rôle dans l'économie des télécommunications ou des systèmes d'observation et leur influence sur la vie quotidienne des Terriens ont profondément évolué.

¹ Union of Concerned Scientists, « USC Satellite Database », 1^{er} mai 2023, www.ucs.org/resources/satellite-database.

² Kongsberg NanoAvionics, « How Many Satellites are in Space? », 4 mai 2023, <https://nanoavionics.com/blog/how-many-satellites-are-in-space/>.

³ « How many satellites are orbiting the Earth in 2023? », Pixalytics, 5 juillet 2023, www.pixalytics.com/satellites-orbiting-earth-2023/.

⁴ Goldman Sachs, « The global satellite market is forecast to become seven times bigger », 5 mars 2025, www.goldmansachs.com/insights/articles/the-global-satellite-market-is-forecast-to-become-seven-times-bigger.

⁵ Arthur C. Clarke, « Extra-Terrestrial Relays. Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage? », *Wireless World*, vol. 51, n° 10, 1945, p. 305-308.

⁶ Ogutu B. Osoro et Edward J. Oughton, « A Techno-Economic Framework for Satellite Networks Applied to Low Earth Orbit Constellations: Assessing Starlink, OneWeb and Kuiper », *IEEE Access*, vol. 9, octobre 2021, p. 141611-141625, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9568932>.



La première génération : essais scientifiques et orbite basse

Après la mise en orbite de *Sputnik* par les Soviétiques en 1957 et les débuts de la course à l'espace, les premiers satellites de la fin des années 1950 sont avant tout liés à des essais scientifiques, de petite taille et orbitant autour de la Terre à basse altitude (LEO, pour *low Earth orbit*). Il s'agit de l'orbite la plus proche de la Terre, située sous 2000 kilomètres d'altitude. Les satellites qui suivent cette orbite se déplacent très rapidement autour de la Terre, à la vitesse moyenne de 90 minutes pour une rotation complète. C'est dans cette même zone que se trouve aujourd'hui la Station spatiale internationale (International Space Station, ISS), à 408 km d'altitude. Pour mémoire, l'altitude de croisière des avions de ligne se situe, quant à elle, bien plus bas, entre 9 et 12 km de la surface de la Terre.

Si les satellites LEO font donc figure de pionniers, ils ne sont pas représentatifs de

↑ La start-up française Kinéis a achevé en mars 2025 le déploiement de la première constellation satellitaire européenne consacrée à l'Internet des objets. Ses 25 nanosatellites – ici en cours d'assemblage – permettront un suivi en temps réel des véhicules, trains ou navires, en tout point du globe, mais aussi de prévenir les départs de feux de forêt ou de surveiller des infrastructures dans des zones isolées. La constellation évoluera pendant huit ans à 650 kilomètres de la Terre sur une orbite polaire, dite « héliosynchrone ». © Lilian Cazabet/Hans Lucas via AFP

la première génération durable de satellites commerciaux, qui concerna avant tout les satellites géostationnaires. Pourquoi ? La mise en orbite des premiers satellites fut en effet limitée par la puissance des lanceurs existants. Alors que la fusée lanceuse de *Sputnik* pouvait, en 1957, transporter 500 kilogrammes jusqu'en basse orbite, la fusée soviétique *Proton*, utilisée pour la première fois en 1965, avait une capacité d'emport de 21 tonnes. Puis, en 1967, la fusée américaine *Saturne V* emporta 140 tonnes⁷.

⁷ Jeffrey Winters, « Five Most Powerful Space Launch Systems », The American Society of Mechanical Engineers, 8 août 2023, www.asme.org/topics-resources/content/5-most-powerful-space-launch-systems.

Le poids et la taille des satellites eux-mêmes influèrent également sur la capacité de lancement de ces fusées. Toutefois c'est moins la taille et la masse des satellites qui importaient alors que le coût total de lancement et de mise en orbite. Partant de quelques dizaines de millions de dollars mais pouvant atteindre plusieurs centaines de millions selon la taille et la charge de la fusée, chaque lancement représentait un investissement et un pari considérables. S'ajoutaient à cela les coûts d'exploitation et de maintenance du satellite, ainsi que celui de la recherche et développement qui précédait la mise en service de tout nouveau modèle. À titre d'exemple, chaque lancement de la fusée *Proton M*, utilisée de nos jours, coûte environ 65 millions de dollars⁸.

Une grande partie des satellites les plus connus lancés des années 1950 aux années 1970 (*Spoutnik*, *Telstar*, *Early Bird*) furent donc des microsatellites n'excédant pas 100 kg, carburant compris⁹. Le développement de lanceurs plus puissants a ensuite permis d'emmener en orbite davantage de satellites plus lourds, plus grands, pouvant transporter plus d'équipement et de carburant. Ces nouveaux lanceurs ont rendu une mise en orbite plus distante non seulement techniquement possible mais surtout économiquement viable.

Ces satellites de la première génération, dans leur quasi-totalité américains ou soviétiques, furent des projets essentiellement expérimentaux d'origine étatique, avant que l'entrée en scène d'acteurs privés ne bouleverse la donne. Le satellite *Telstar 1*, mis en orbite en 1962, fut financé en grande partie par la société américaine privée de télécommunication AT&T. *Telstar 1*, qui peut être considéré comme le premier satellite commercial de l'histoire, n'a cependant pas été placé en orbite terrestre basse, mais en orbite moyenne (MEO, pour *medium Earth orbit*), un deuxième type d'orbite qui s'étend de la fin supérieure de l'orbite LEO (2 000 km) jusqu'à la limite très exacte de 35 786 km de distance de l'équateur.

C'est à cette limite supérieure de l'orbite MEO que se trouve l'orbite dite géostationnaire, qui possède des propriétés physiques particulières. À 35 786 km au-dessus de l'Équateur, un satellite suit précisément la rotation de la Terre, effectuant le tour de la planète en 23 heures, 56 minutes et 4 secondes. Stationné à cette distance, il reste au même emplacement orbital en permanence au-dessus d'un même point sur Terre.

La deuxième génération : les satellites géostationnaires

Le secteur des télécommunications est celui qui a le plus profité de l'évolution de la technologie satellitaire, que ce soit pour la téléphonie, la télévision ou plus récemment Internet. Rapidement, les satellites représentent en effet une option alternative aux technologies de télécommunications utilisées jusqu'alors. Les moyens de connexion internationale sont, à l'époque, soit limités, soit très coûteux, soit les deux. Les satellites affranchissent progressivement le secteur de certaines limitations et contraintes techniques rencontrées notamment par les radiofréquences.

Le premier avantage qu'offrent les satellites, surtout ceux positionnés en orbite géostationnaire, est leur capacité de couverture presque totale de la Terre. Un seul satellite géostationnaire couvre environ un tiers de la planète. Trois satellites géostationnaires qui enjambent les continents peuvent donc émettre instantanément sur la Terre entière. Dès 1990, les deux tiers des appels téléphoniques intercontinentaux empruntent la voie de la télécommunication satellitaire¹⁰.

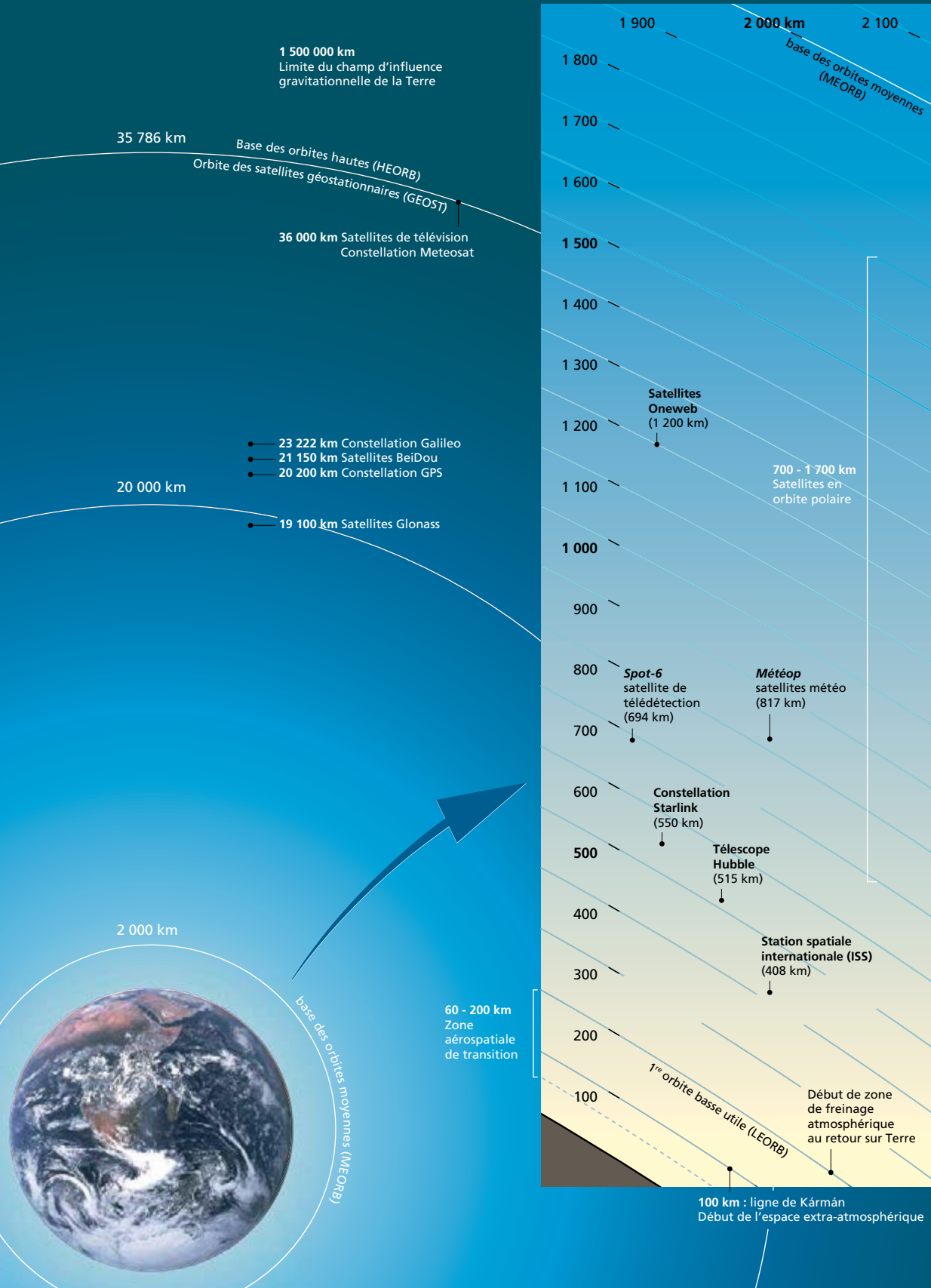
Dans les années qui suivent, malgré une couverture terrestre quasi universelle, une rapidité relative de connexion et un taux de défaillance extrêmement limité comparé aux systèmes terrestres en vigueur jusqu'alors, les satellites géostationnaires se voient toutefois devancés, pour le développement de l'Internet, par la lente

⁸ U.S. Government Accountability Office, « Surplus Missile Motors », août 2017, p. 30, www.gao.gov/assets/gao-17-609.pdf.

⁹ Anil K. Maini et Varsha Agrawal, *Satellite Technology. Principles and Applications*, Wiley, 3^e éd., 2014, p. 24.

¹⁰ Agence spatiale européenne, « Telecommunications satellites », www.esa.int/Applications/Connectivity_and_Secure_Communications/Telecommunications_satellites.

Les zones orbitales autour de la Terre



mais irrésistible progression des câbles sous-marins munis de fibre optique. Plusieurs facteurs expliquent le déploiement graduel des infrastructures sous-marines.

D'une part, l'éloignement des satellites géostationnaires à près de 40 000 km de la Terre induit des temps de latence – le temps que prend une transmission pour exécuter son parcours – de quelque 600 millisecondes, bien supérieurs au temps de transmission des câbles sous-marins – 100 millisecondes – et surtout à celui des satellites placés en basse orbite, qui sont capables de relier deux points sur Terre en 50 voire en 20 millisecondes.

D'autre part, outre qu'en raison de leur positionnement constant à l'équateur leurs transmissions atteignent difficilement les régions proches des pôles, les satellites géostationnaires sont loin d'atteindre le niveau de débit des câbles sous-marins. Enfin, leurs coûts d'exploitation en font des investissements périlleux. On estime actuellement que les câbles sous-marins transportent environ 99 % du trafic Internet mondial, le volume des satellites étant de 1 % ou moins¹¹. Et pourtant, la montée en puissance de la dernière génération de satellites de basse et de moyenne orbite insuffle déjà un nouvel élan à la dynamique spatiale.

La révolution satellitaire de la troisième génération

Le monde vit actuellement une nouvelle ère, celle des méga-constellations de satellites. Ces armadas aux dimensions inédites sont constituées d'essaims de plusieurs milliers de satellites. Si le fait d'envoyer des satellites en basse orbite n'est pas en soi nouveau, l'élément qui change tout est le coût de déploiement de ces constellations.

En 2008, la compagnie SpaceX, du milliardaire américain Elon Musk, se livre au quatrième essai de lancement de la fusée *Falcon 1*. Ce

faisant, elle devient la première compagnie privée à réussir la mise en orbite d'une fusée à combustible liquide. Jusqu'à cet événement, la quasi-totalité des lanceurs de satellites étaient effectués par des agences spatiales gouvernementales. Du fait de leur coût élevé, la production en était limitée et essentiellement réservée aux acteurs étatiques.

En 1995, le prix de lancement d'un satellite à bord de la navette spatiale américaine était de l'ordre de 25 000 euros par kilogramme. La fusée *Falcon 1* a réduit ce coût des deux tiers, puisque ses lancements en 2008 coûtent un peu plus de 9 000 euros le kilogramme. En 2020, la fusée *Falcon Heavy* de la même société SpaceX affiche un coût de lancement au kilogramme de moins de 900 euros. Certains observateurs prédisent une baisse des coûts jusqu'à 100 euros le kilogramme¹².

Cette réduction spectaculaire des coûts de lancement permet à de nouveaux acteurs spatiaux, comme certaines universités, de lancer leurs propres satellites. Elle va également de pair avec d'importants progrès en matière de miniaturisation des satellites. L'époque des méga-constellations est en effet celle des satellites miniatures. Parmi les petits ou tout petits satellites, les nanosatellites cubiques, communément appelés « CubeSats », sont, comme leur nom l'indique, des cubes dont les arêtes mesurent généralement 10 centimètres et pèsent souvent moins de 1 kg. Face à cette compétition, il paraît difficile d'imaginer comment les satellites géostationnaires, qui pèsent plusieurs tonnes et dont certains font la taille d'un autobus, pourraient soutenir la compétition.

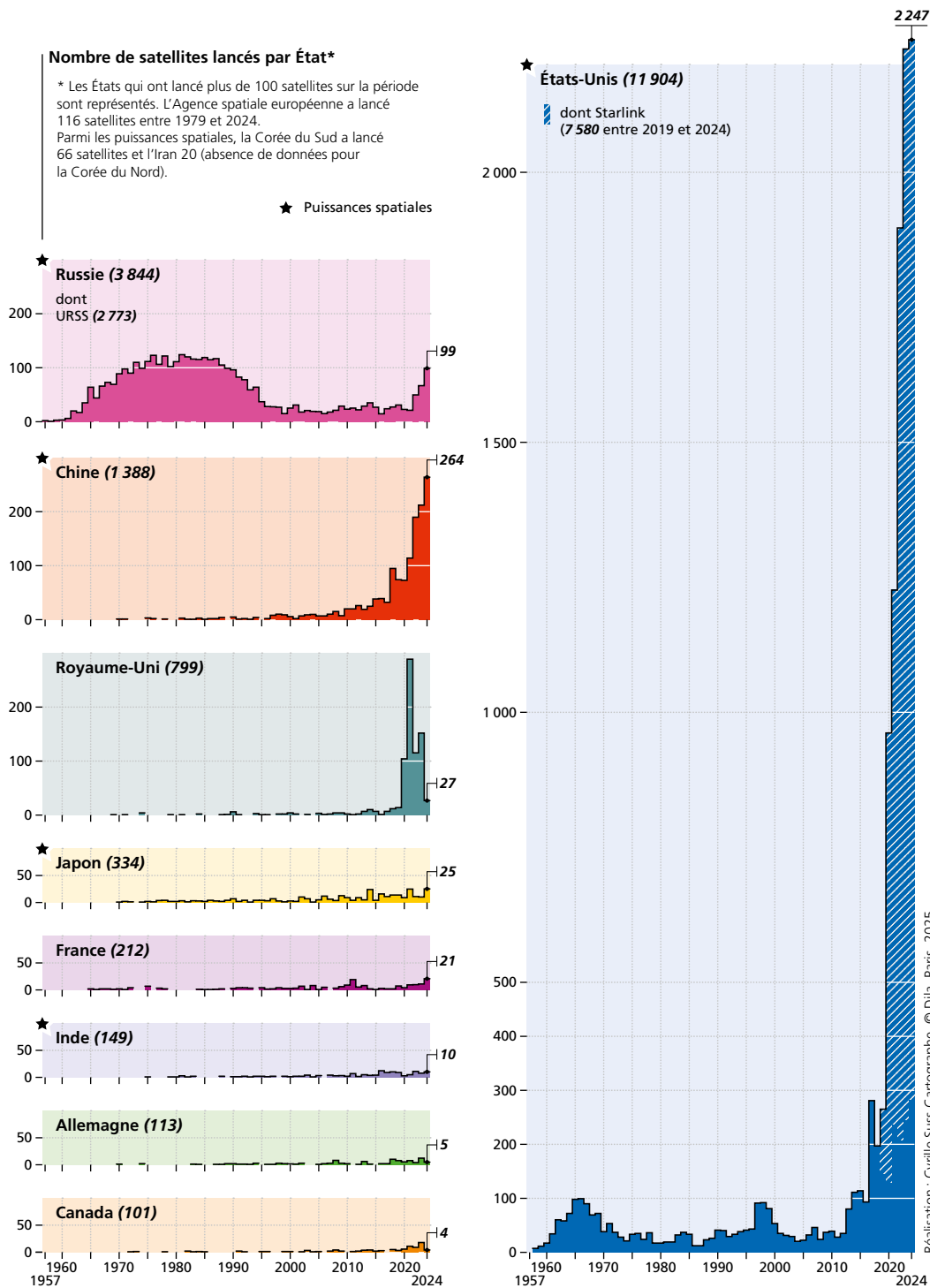
La nouvelle économie de l'espace née de cette révolution technologique a décuplé les visées commerciales de la société SpaceX. Au 28 mars 2025, son réseau Starlink disposait de 7 135 satellites placés en orbite et elle en prévoyait 42 000 en vol lorsque la constellation serait au complet¹³. SpaceX est talonnée par le rival d'Elon Musk et fondateur de la compagnie

¹¹ Yuka Koshino, « The changing submarine cables landscape », European Union Institute for Security Studies, 30 octobre 2024, www.iss.europa.eu/publications/briefs/changing-submarine-cables-landscape.

¹² Goldman Sachs, *op. cit.*

¹³ Tereza Pultarova, « Starlink satellites: Facts, tracking and impact on astronomy », Space.com, 28 mars 2025, www.space.com/spacex-starlink-satellites.html.

Évolution des lancements de satellites (1957-2024)



Source : « GCAT: General Catalog of Artificial Space Objects », Jonathan C. McDowell, 2025 (www.planet4589.org/space/gcat/data/cat/psatcat.html).

Amazon, Jeff Bezos, dont le projet de constellation satellitaire *Kuiper* prévoit de placer 3 236 satellites en orbite basse¹⁴. D'autres acteurs commerciaux se sont également taillé une place non négligeable dans le secteur, à l'instar de la société européenne OneWeb, qui exploite déjà environ 630 satellites¹⁵.

Plus de 70 000 lancements seraient désormais prévus pour la période 2025-2030, portés par un marché des télécommunications satellitaires estimé à 108 milliards de dollars, voire 457 milliards de dollars selon d'autres estimations plus optimistes¹⁶.

Des télécommunications aux technologies du futur

Les satellites n'ont pas révolutionné le seul secteur des télécommunications, ils ont également eu de profondes répercussions dans d'autres domaines comme la météorologie, la navigation ou l'observation terrestre.

Le positionnement par satellites (ou GNSS, pour « géolocalisation et navigation par un système de satellites »), plus connu sous le nom du système américain GPS (Global Positioning System), a modifié drastiquement la manière dont nous nous déplaçons et prévoyons de nous déplacer. Le système américain Transit, premier GNSS au monde, développé à partir de 1958, fut uniquement exploité à des fins militaires. Le système GPS, ouvert progressivement au public vers les années 1990, est devenu un succès commercial, d'abord vendu en unité portative en 1989 puis rapidement intégré à l'automobile¹⁷.

Le système GPS, tout comme ses équivalents russe (Glonass), chinois (BeiDou) ou plus tardivement européen (Galileo), fonctionne en exploitant une constellation d'une trentaine de satellites placés en orbite moyenne (MEO) qui,

en transmettant à l'appareil de l'utilisateur sa position, sa vitesse et son temps de parcours, permet de calculer sa position sur Terre.

Les satellites favorisent également d'autres utilisations liées à la télédétection et à l'observation. Les satellites dits d'observation terrestre accomplissent désormais des prouesses de visionnement inédites. Les plus avancés permettent d'identifier, de l'espace, des images d'une résolution de 25 centimètres¹⁸, d'observer au travers des nuages ou de scruter le fond des océans. Cette acuité visuelle achève de rendre public ou facilement accessible ce qui relevait de l'invisible à distance, voire du secret.

Ces prouesses technologiques ont entraîné des changements dans la conduite de la guerre, comme on le voit dans le conflit russo-ukrainien en cours¹⁹. Les satellites d'observation commerciaux rendent possible le suivi du déplacement des troupes ennemies en temps réel, tandis que les satellites d'accès à Internet de la constellation Starlink permettent aux combattants ukrainiens sur le terrain de guider leurs drones armés. Ces nouveaux outils sont dorénavant à la portée de tout abonné, avec des résultats dépassant souvent ceux des opérations militaires classiques.

Les satellites sont également à la pointe d'autres développements technologiques. Pour n'en nommer que quelques-uns, des satellites de puissance solaire, véritables centrales énergétiques spatiales, capables de transmettre de l'énergie solaire sur Terre qu'il fasse jour ou nuit et quand bien même le ciel serait nuageux, sont en cours de développement. De même, des satellites robots autonomes sont prévus pour la maintenance et la réparation des vaisseaux spatiaux – dont les satellites de communication –, ce qui évitera d'avoir recours à une intervention humaine. Dernier exemple, des satellites dits « à communication quantique » utilisent déjà

¹⁴ Margo Anderson, « UK Greenlights Amazon Kuiper, Starlink Faces New Rival », *IEEE Spectrum*, 11 mars 2025, <https://spectrum.ieee.org/starlink-internet-kuiper-competition>.

¹⁵ Site de OneWeb : <https://oneweb.net/our-network>, 27 février 2025.

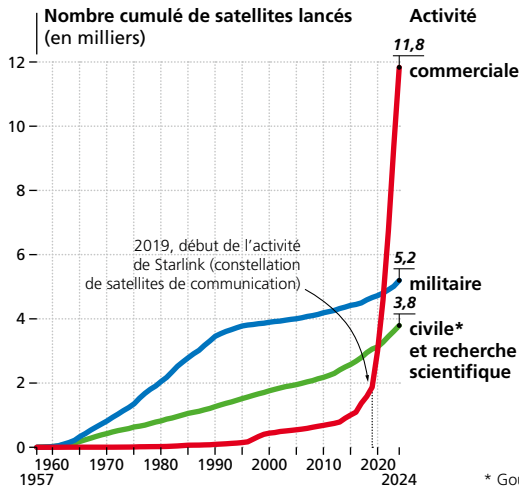
¹⁶ Goldman Sachs, *op. cit.*

¹⁷ Aerospace, « A brief history of GPS », <https://aerospace.org/article/brief-history-gps>.

¹⁸ Umbra Press Release, « Umbra Space releases highest resolution commercial satellite image », 7 août 2023, <https://umbra.space/blog/umbra-generates-the-highest-resolution-commercial-satellite-image-ever-released/>.

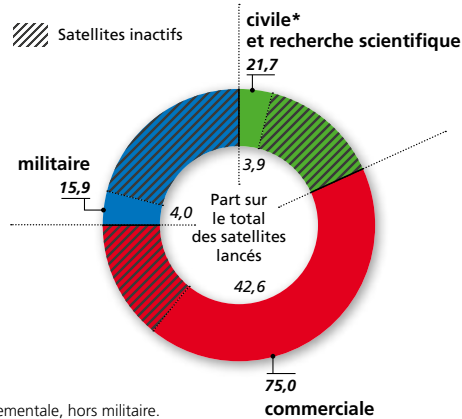
¹⁹ John B. Sheldon, « High-resolution Earth observation data is changing the character of war », *Room*, vol. 8, n° 2, 2016, <https://room.eu.com/article/high-resolution-earth-observation-data-is-changing-the-character-of-war>.

Satellites : quels usages ?



Source : « GCAT: General Catalog of Artificial Space Objects », Jonathan C. McDowell, 2025 (www.planet4589.org/space/gcat/data/cat/psatcat.html).

Part des satellites encore actifs par activité, en 2024 (en %)



Réalisation : Cyrille Suss Cartographie. © Dila, Paris, 2025

les principes de la physique quantique pour transmettre des signaux imperméables au piratage²⁰.

Acteurs privés, intérêts étatiques

Le développement des méga-constellations a mis en évidence l'entrée spectaculaire du milliardaire Elon Musk dans le domaine spatial utile. Bien que désormais talonné par Jeff Bezos, Musk conserve pour l'heure la mainmise dans deux domaines. D'une part, Starlink est devenu le maître des cieux de l'Internet, après en avoir délogé la plupart des sociétés satellitaires concurrentes. D'autre part, le très grand nombre de satellites de la constellation Starlink qui tapissent déjà la voûte céleste, sans compter les dizaines de milliers à venir, encombre les orbites et menace le libre usage de l'espace.

Dans un secteur qui a longtemps été l'apanage d'agences étatiques et de quelques grandes sociétés commerciales, ces évolutions signifient un profond bouleversement. En septembre 2024, Elon Musk contrôlait déjà quelque 62 % de

l'ensemble des satellites opérationnels²¹. Il est difficile de trouver d'autres situations historiques où un seul homme aurait possédé un empire s'étendant de manière aussi vaste ou contrôlé une part aussi importante d'une ressource, sur un plan tant commercial que géographique.

“
Au début du siècle, seuls 14 pays se partageaient les satellites opérationnels.
Dorénavant, ce sont 91 pays qui possèdent un satellite ou plus
 ”

Si les nouveaux acteurs de la plus récente et plus imposante vague satellitaire jamais observée à ce jour sont issus du secteur privé, les gouvernements conservent toutefois un profond intérêt pour l'usage de la ressource spatiale. Au début du XXI^e siècle, seuls 14 pays se partageaient la propriété des satellites opérationnels.

²⁰ Il s'agit de satellites dont les transmissions sont protégées par des protocoles de chiffrement codés par de la cryptographie quantique. La cryptographie quantique génère de manière aléatoire des clés de lecture, système pour l'instant inviolable.

²¹ Anthony Cuthbertson, « Elon Musk now controls two thirds of all active satellites », *The Independent*, 6 septembre 2024, www.independent.co.uk/tech/elon-musk-satellites-starlink-spacex-b2606262.html.

► FOCUS

L'usage des données spatiales : l'exemple français

Alors que les sinistres climatiques augmentent, une approche holistique s'avère nécessaire pour faire face à l'évolution des vulnérabilités liées, par exemple, à l'urbanisation croissante ou au risque de submersion marine. L'interaction des territoires – les catastrophes locales ayant un impact national – et une coopération de tous les acteurs concernés apparaissent dès lors indispensables. Dans ce contexte, la donnée spatiale devient un levier essentiel pour appuyer la décision publique et contrôler l'efficacité des actions engagées.

Un levier stratégique face aux enjeux duaux

Historiquement, la France a concentré ses investissements sur l'amont de la chaîne spatiale – infrastructures, lanceurs, autonomie militaire et scientifique. Or le marché mondial s'oriente désormais vers les usages et les services issus des données spatiales. La demande en ce sens d'acteurs non spécialistes – collectivités, assureurs, agriculteurs, industries – confrontés à des enjeux climatiques, agricoles, urbains ou de sécurité est en effet devenue primordiale.

Il paraît donc urgent pour la France de rééquilibrer les investissements vers l'aval du secteur spatial, afin de valoriser pleinement l'information issue des constellations de satellites, de l'IA et de la fusion de données. Plusieurs pays, comme les États-Unis ou l'Italie, ont anticipé cette évolution en s'appuyant sur le secteur privé à travers des contrats de plusieurs dizaines de millions d'euros pour la fourniture de services clés en main. Cette stratégie leur permet d'être davantage compétitifs à l'export. En revanche, la France éprouve encore des difficultés à structurer ce marché aval pourtant stratégique.

Des solutions encore sous-exploitées

Malgré leur potentiel, les services exploitant les données spatiales peinent à être adaptés à grande échelle et font face à plusieurs obstacles. En France, côté local et public, les décideurs comme les élus territoriaux, les agents des collectivités, les services techniques municipaux ainsi que, côté privé, les dirigeants de PME, les acteurs du BTP, de l'assurance ou de l'énergie manquent souvent d'acculturation ou d'interfaces pour exploiter ces données. Ils ne perçoivent pas pleinement les avantages qu'ils pourraient en tirer. Les coûts des services spatiaux sont perçus comme encore trop élevés et limitent l'initiative en matière de technologies spatiales aux principales agences ou aux grands industriels. La télédétection, l'analyse géospatiale et l'IA apparaissent trop souvent encore comme des technologies complexes.

En outre, les PME, qui constituent 70 % du tissu spatial aval, sont souvent absentes des circuits décisionnels et leur visibilité demeure faible. Enfin, certaines collectivités territoriales et entités publiques nourrissent une forme de méfiance à l'égard des technologies capables d'entraîner une dépendance sans que l'on sache en maîtriser les bénéfices.

« Connect by CNES » et French Space Club, catalyseurs de solutions

Pour structurer l'écosystème des PME et rendre ces solutions accessibles, le Centre national d'études spatiales (CNES) a lancé en 2018 « Connect by CNES », un programme consacré à l'accompagnement des acteurs de l'aval du secteur spatial et à la valorisation des données. « Connect by CNES » vise à faciliter l'accès des entreprises aux données spatiales et soutient le développement d'usages concrets dans des domaines variés : gestion des risques naturels, aménagement, agriculture, assurance, environnement, santé, mobilité ou énergie. Ce programme anime des communautés d'utilisateurs, accompagne les collectivités, les assureurs et les filières économiques, tout en renforçant l'impact régional et ultramarin grâce à des partenariats territoriaux, comme avec la région Sud ou avec la Nouvelle-Calédonie.

En complément, le French Space Club, créé en 2025 à l'initiative de cabinets et sociétés privés, agit comme relais stratégique auprès des décideurs publics et institutionnels. En combinant leurs actions, « Connect by CNES » et le French Space Club cherchent à rapprocher l'offre technologique de la demande réelle des entreprises et des entités publiques, favorisant l'émergence de services spatiaux novateurs, utiles et accessibles.

Le développement de services fondés sur les données spatiales constitue un levier pour l'emploi et la compétitivité. Il permettrait de créer des milliers d'emplois qualifiés dans l'IA, la donnée et l'analyse géospatiale, de renforcer la capacité des PME innovantes à se positionner sur le marché export en pleine croissance. Face à la montée des risques, les services géospatiaux deviennent un outil indispensable pour anticiper, décider et s'adapter. Structurer cet écosystème constitue un axe stratégique important pour l'autonomie du pays, afin de répondre efficacement aux crises climatiques, économiques et géopolitiques à venir.

Giao-Minh Nguyen

Cofondateur et administrateur de Prométhée Earth Intelligence et dirigeant du cabinet de conseil Stratelis.

Dorénavant, ce sont 91 pays qui possèdent un satellite ou plus.

Bien que le nombre des satellites américains dépasse très largement celui de tous les autres pays confondus, la Chine s'emploie à rattraper son retard. Les deux tiers des lancements prévus dans les cinq prochaines années devraient être chinois. Avec l'objectif de détenir sa propre méga-constellation afin de disposer d'un réseau Internet satellitaire, nommé Guowang, Pékin compte lancer 14 000 nouveaux satellites lors de la prochaine décennie²².



La technologie des satellites, en constante évolution depuis ses origines, a connu une accélération sans précédent ces dernières années. Dans le secteur des télécommunications, les réseaux spatiaux se préparent à s'associer aux réseaux terrestres de téléphonie 5G, augmentant ainsi considérablement les capacités de communication. La multiplication des fournisseurs d'accès à Internet à partir de l'espace rendra la connectivité plus accessible aux populations sous-desservies de la planète.

D'autres satellites, équipés de capteurs quantiques et d'intelligence artificielle, donneront à l'observation terrestre une précision

accrue et une portée toujours supérieure, favorisant par exemple des mesures plus exactes du champ magnétique terrestre, des observations de la Terre au centimètre près ou rendant possibles la cartographie des sous-sols terrestres ainsi que l'observation précise du changement climatique.

Reste à savoir si les rivalités entre les acteurs du spatial, exacerbées par l'occupation de plus en plus dense des orbites, se résoudront au bénéfice du plus grand nombre et dans un esprit de partage équitable.

L'espace est si vaste qu'il peut sembler bénéficier d'une capacité d'accueil sans limite. La question se pose pourtant de son aptitude à tolérer la cohabitation à terme de dizaines de milliers de satellites ainsi que l'encombrement supplémentaire d'autoroutes orbitales dont certaines sont déjà surchargées. Entre les milliers de lancements qui ont déjà eu lieu et ceux à venir, la saturation de l'espace devient préoccupante. Car à côté des satellites actifs il existe aussi des milliers de satellites inactifs, et surtout un nombre croissant et alarmant de déchets et de débris²³. De là à imaginer, comme Aragon dans *Les Yeux d'Elsa*, qu'il existe dorénavant « trop peu d'un firmament pour des millions d'astres »... ●

²² Andrew Jones, « China's megaconstellations take off, government backs commercial space », *Spacenews*, 28 mars 2025, <https://spacenews.com/chinas-megaconstellations-take-off-government-backs-commercial-space/>.

²³ L'Agence spatiale européenne estime qu'il y aurait désormais plus de 130 millions de débris de toutes tailles en orbite. Cf. « ESA's Annual Space Environment Report », édition 8.0, juillet 2024. Sur les débris spatiaux, voir la contribution de Christophe Bonnal dans le présent dossier.

Un risque croissant : les débris spatiaux

Christophe Bonnal

est expert senior système chez MaiaSpace et membre de l'Académie de l'air et de l'espace. Il est également président de la commission Débris Spatiaux de l'Académie internationale astronautique.

Depuis les débuts de l'astronautique, le nombre d'objets spatiaux n'a cessé de croître. Les débris spatiaux engendrent notamment de nombreux risques à l'égard de la population terrestre, en termes de collisions orbitales ou de pollution atmosphérique. Une augmentation exponentielle de leur nombre dans certaines régions, situées entre 700 et 1 000 km d'altitude, pourrait conduire à une désaffectation progressive de ces zones orbitales. Une batterie de recommandations a été mise en place au niveau international pour combattre ce risque, et la France lui a, pour sa part, consacré une loi.

Le 4 octobre 1957 a vu le tout premier lancement d'un satellite artificiel en orbite terrestre, *Sputnik*. Mais, associés à cette petite boule de 84 kilogrammes qui faisait « bip bip », deux débris spatiaux ont alors été abandonnés sur la même orbite : une coiffe protectrice d'une centaine de kilos et l'étage principal de la fusée *Semiorka*, pesant 6,5 tonnes. *Sputnik* lui-même est devenu un débris pendant les trois quarts de sa vie, après l'épuisement de ses batteries.

Depuis, la situation n'a guère changé : des étages de fusée continuent d'être abandonnés en orbite avec divers éléments liés au lancement, de même que des satellites usagés. Tous ces « objets spatiaux non fonctionnels d'origine humaine en orbite terrestre », pour reprendre la définition officielle d'un débris spatial (ou orbital¹), forment à présent, après presque soixante-dix ans d'utilisation débridée de l'espace, une cohorte d'objets se maintenant en orbite terrestre, dont le nombre tend à augmenter de façon incontrôlable.

¹ Réglementation technique, loi spatiale française du 3 juin 1998, décret du 9 juin 2009 (n° 2009-643) dans sa rédaction résultant du décret du 28 juin 2024 (n° 2024-625), version en vigueur le 13 septembre 2024.

Une situation préoccupante

On compte environ 36 000 gros objets artificiels, typiquement de plus de 10 centimètres, en orbite à ce jour, dont 26 000 recensés et catalogués². Parmi ces objets, seuls 10 500 sont actifs, environ 550 en orbite géostationnaire, à 36 000 kilomètres au-dessus de l'équateur, 250 sur les orbites des satellites de navigation (Galileo, GPS, Beidou, Glonass...) et 8 000 en orbite basse, à une altitude inférieure à 2 000 km. Les 25 500 restants constituent la collection des gros débris, complétés eux-mêmes par un million d'objets de plus de 1 cm, et 150 millions de débris de plus de 1 mm. Ces objets artificiels, tous potentiellement dangereux, représentent une masse totale de 13 500 tonnes environ.

Leur nombre a fortement augmenté ces dernières années. Il n'y avait en effet que

² De nombreux moyens de suivi des débris existent dans le monde, radar, télescope, laser... La limite utile de « visibilité » de ces moyens, permettant de déterminer la trajectoire des objets, est de l'ordre de 10 cm en orbite basse et de 70 cm en orbite géostationnaire. Catalogue public de l'US Air Force, « 18th Space Squadron », www.space-track.org.

540 satellites actifs en 2004, contre 900 en 2014 et 10 000 à la fin de l'année 2024. Le nombre total de gros objets en orbite a presque triplé en vingt-cinq ans sous l'effet de pratiques de lancement dérégulées, mais surtout en raison de collisions entre objets spatiaux, d'explosions de satellites en fin de vie et de nombreuses destructions volontaires dans le cadre de démonstrations d'armement antisatellite.

“
**Les États-Unis, la Russie
et la Chine sont à eux trois
responsables de 97,5 % des
débris situés en orbite basse**
”

Deux zones orbitales sont particulièrement affectées par la présence des débris. La première est la région avoisinant l'orbite géostationnaire. Cette orbite est unique, car elle est compacte et laisse peu de place pour des objets extérieurs. Son altitude (36 000 km) est telle qu'un objet qui y serait abandonné y resterait indéfiniment. Les orbites basses, formant une coque jusqu'à 2 000 km d'altitude, sont également très densément peuplées par des débris et des satellites, faisant craindre une saturation totale de cette zone à court et moyen terme.

La présence de tels objets dans les orbites terrestres est essentiellement le fait de trois pays : les États-Unis, la Russie et la Chine, qui à eux trois sont responsables de 97,5 % des débris situés en orbite basse – les États-Unis réunissant à eux seuls 65 % des satellites placés en orbite.

Des événements redoutés

Les débris spatiaux peuvent entraîner différentes conséquences plus ou moins importantes et graves.

Gêne pour les astronomes

Les objets orbitaux de tous types perturbent fortement les observations des astronomes au sol, en générant des zébrures sur les clichés, des erreurs d'interprétation, en endommageant des capteurs



↑ Plus de 36 000 gros objets artificiels évolueraient en orbite autour de la Terre, dont 26 000 recensés et catalogués. Le nombre total de débris spatiaux en orbite aurait presque triplé en vingt-cinq ans sous l'effet de pratiques de lancement dérégulées, mais surtout en raison de collisions entre objets spatiaux, d'explosions de satellites en fin de vie et de nombreuses destructions volontaires dans le cadre de démonstrations d'armement antisatellite.

© Mark Garlick/Science Photo Library via AFP

par une luminosité excessive. Ce problème, identifié depuis longtemps, est apparu encore plus préoccupant depuis l'avènement des mégaconstellations, ces ensembles de plusieurs milliers de satellites évoluant de conserve en orbite basse.

La gêne occasionnée n'est cependant pas un problème spécifique aux débris orbitaux, car elle concerne également les satellites actifs, les avions, les météorites, les nuages, etc. Elle est en outre théoriquement prévisible à l'aide de sites en ligne fournissant les heures de passage des objets orbitaux³ et elle reste limitée à certaines heures de la nuit.

³ Par exemple, www.hTavens-above.com.

Des efforts significatifs ont toutefois été entrepris afin d'atténuer ce problème, comme le changement de la réflectivité optique des satellites ou leur changement d'orientation pour éviter la réflexion directe du Soleil vers la Terre. Il n'en demeure pas moins qu'il s'agit d'un défi à résoudre dans les années à venir, afin de faire face aux dizaines de milliers de nouveaux satellites qui seront déployés dans l'orbite terrestre.

Risque pour les populations au sol

Tout objet en orbite basse finit par retomber tôt ou tard sur Terre, soit de façon volontaire en utilisant un système de propulsion embarqué, soit de façon aléatoire sous l'effet de la traînée atmosphérique résiduelle. De fait, la très grande majorité des objets orbitaux retombent de cette manière, freinés par le peu d'atmosphère présente en orbite basse, ce freinage induisant une trajectoire en spirale qui descend jusqu'aux couches denses de l'atmosphère. Cette redescente peut être plus ou moins longue en fonction de l'altitude initiale de l'objet, allant d'une quinzaine d'années à 600 km d'altitude à deux siècles si l'objet est à 800 km, voire mille ans s'il est à 1 000 km. En tout état de cause, la redescente est inéluctable.

“
2 100 objets sont retombés sur Terre en 2024, dont 545 de taille importante, ce qui représente une dizaine par semaine
”

En traversant l'atmosphère, l'objet spatial se fragmente à haute altitude, entre 90 et 50 km, puis, lorsqu'il arrive entre 70 et 40 km d'altitude, fond sous l'effet de la friction des molécules constitutives de l'air. Les objets ne brûlent toutefois pas complètement : entre 10 à 30 % de la masse initiale survit en moyenne, notamment les objets réfractaires – en titane, divers carbonés, certains aciers... – qui heurtent alors la surface du globe et font courir un risque mortel aux populations. Ce

type de retombées est très fréquent : 2 100 objets sont ainsi retombés sur Terre en 2024, dont 545 de taille importante, ce qui représente une dizaine par semaine⁴. Il n'y a fort heureusement jamais eu de victime recensée à ce jour, la Terre étant couverte à 71 % par des océans et des mers⁵, et à 15 % par des déserts et des forêts.

En raison de la très grande vitesse que les objets orbitaux acquièrent en s'approchant de la Terre, il est néanmoins impossible de prédire avec précision la date et le lieu des retombées. À titre d'exemple, la veille d'une retombée, l'incertitude sur le point d'impact est encore de +/- 60 000 km, soit au total trois fois le tour de la Terre...

La retombée des débris spatiaux constitue donc un enjeu de première importance, qui devrait devenir de plus en plus critique avec l'augmentation exponentielle du nombre de lancements d'ici à la fin de la décennie. L'administration américaine estime à 61 % la probabilité qu'une personne soit tuée chaque année par la retombée d'un objet spatial à partir de 2035, en raison notamment de la redescente des multiples satellites des méga-constellations⁶.

Risque de pollution atmosphérique

Si 10 à 30 % de la masse des objets rentrant de façon aléatoire survivent à l'entrée dans l'atmosphère, 70 à 90 % terminent en conséquence dans les hautes couches atmosphériques, causant une pollution dont les conséquences sont très dommageables pour la couche d'ozone et contribuent à renforcer l'effet de serre.

On estime par exemple qu'un satellite typique d'une méga-constellation de télécommunication engendre environ 30 kg d'alumine lors de sa retombée⁷. Cette valeur peut ne pas sembler importante, mais il convient de la multiplier par le nombre de satellites concernés, entre

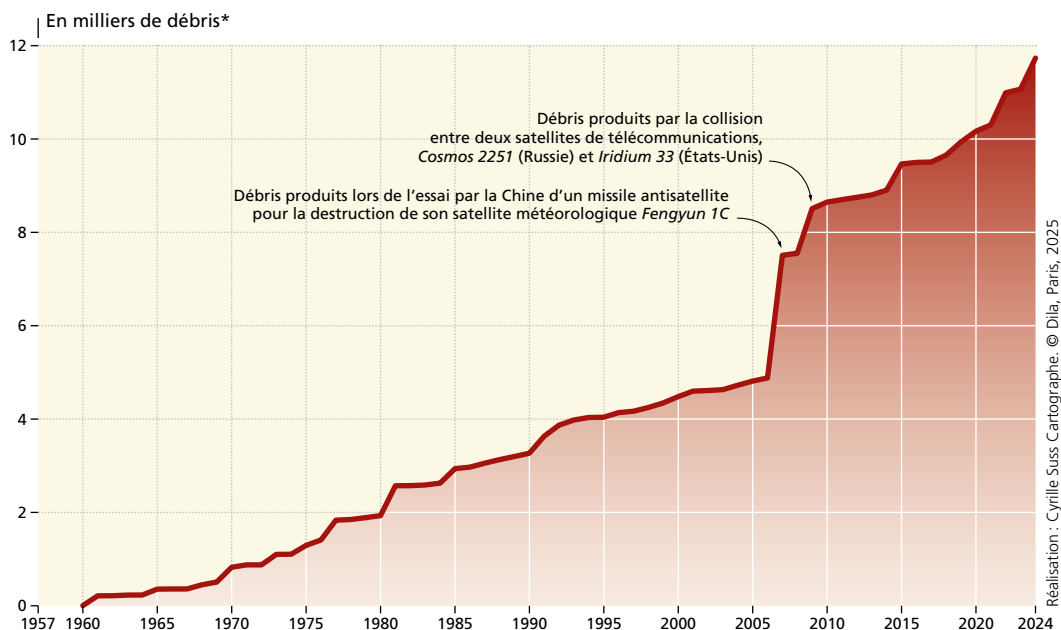
⁴ Source : catalogue de l'USAirForce www.space-track.org.

⁵ En mai 2025, la sonde soviétique *Kosmos 482* est ainsi tombée dans l'océan Indien, après 53 ans d'errance en orbite.

⁶ www.faa.gov/sites/faa.gov/files/Report_to_Congress_Reentry_Disposal_of_Satellites.pdf.

⁷ José P. Ferreira, Ziyu Huang *et al.*, « Potential Ozone Depletion from Satellite Demise during Atmospheric Reentry in the Era of Mega-Constellations », *Geophysical Research Letters*, vol. 51, n° 11, juin 2024.

Évolution du nombre de débris spatiaux (1957-2024)



* Débris dont la taille est supérieure à 10 cm.

Sources : « *Orbital Debris Quarterly News* », vol. 29, n° 1, NASA, février 2025 ; « *GCAT: General Catalog of Artificial Space Objects* », Jonathan C. McDowell, 2025 (www.planet4589.org/space/gcat/data/derived/currentcat.html).

30 000 et 100 000 d'ici à 2030... On peut ainsi s'attendre à ce que 360 tonnes d'alumine soient produites annuellement à l'horizon 2030, soit six fois plus que le niveau naturel lié aux rentrées de météorites dans l'atmosphère. Les structures d'étages de lanceurs et de satellites peuvent également provoquer des suies de carbone qui ont un potentiel effet obscurcissant élevé⁸.

De nombreux travaux scientifiques sont en cours pour évaluer ce phénomène de pollution atmosphérique. À ce stade, il est prématuré d'affirmer que les effets de cette pollution sont particulièrement graves ou significatifs par rapport à ceux engendrés de façon « naturelle » (volcans, incendies, etc.), mais le principe de précaution incite à tenir compte de ce risque potentiel, notamment en modifiant à l'avenir la composition des futurs satellites.

⁸ Daniel M. Murphy, Maya Abou-Ghanem *et al.*, « Metals from spacecraft reentry in stratospheric aerosol particles », *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 120, n° 43, octobre 2023.

Collisions en orbite

Une collision en orbite peut détruire un satellite actif en produisant un grand nombre de nouveaux débris. L'énergie d'un impact peut être très élevée en raison de la vitesse orbitale des objets : l'énergie cinétique d'un impact varie en effet comme le carré de la vitesse relative, c'est-à-dire de la vitesse combinée des deux objets en présence, pouvant atteindre plus de 50 000 km/h. À ces vitesses, même un très petit débris de 1 mm peut endommager sérieusement voire détruire un satellite. Un débris de 1 cm entraîne, quant à lui, assurément sa perte, puisqu'il libère une énergie à l'impact comparable à celle d'une puissante voiture lancée à 130 km/h. Un débris de 10 cm, ce qui représente l'actuelle limite de catalogage, dégage pour sa part la même énergie que 240 kg d'un explosif comme le TNT.

Il n'est pas possible pour le moment de détecter à l'avance de telles collisions de satellites, dont la fragmentation engendre des milliers de nouveaux débris. En 2009, une collision a été observée entre le satellite *Iridium 33* et le débris

Cosmos 2251 qui a créé plus de 3 000 nouveaux gros débris. On recense chaque mois en moyenne une fragmentation significative en orbite, liée à une collision ou à une explosion spontanée d'un satellite en fin de vie.

Une augmentation incontrôlable du nombre de débris est à craindre en orbite basse, résultant de la conjonction de deux phénomènes antagonistes : d'une part, la croissance continue du nombre de nouveaux objets orbitaux consécutive aux lancements, aux explosions et aux collisions, et, d'autre part, l'abandon de satellites et d'étages en orbite.

Il existe heureusement une forme de nettoyage naturel liée à l'effet de freinage de l'atmosphère résiduelle et au retrait actif d'un certain nombre de satellites, même si cela ne se produit que très rarement. En 2024, 3 435 nouveaux objets ont été placés en orbite, mais seulement 2 094 en sont partis, soit une augmentation globale de la population de 1 341 gros objets, venant s'ajouter aux 36 000 déjà en circulation.

Le constat devient encore plus inquiétant si on ne considère que la part de nouveaux débris liée aux collisions en orbite. Imaginons qu'il n'y ait plus d'activité spatiale du tout, plus de lancements et donc plus de nouveaux satellites ni d'étages laissés en orbite, avec pour seule source de nouveaux objets les collisions entre débris déjà présents dans l'espace. En l'absence de retrait actif d'objets, seul le nettoyage atmosphérique permet donc d'en réduire le nombre. Quand la part de multiplication de nouveaux objets par collision devient supérieure à la part de ceux qui disparaissent par nettoyage atmosphérique, intervient alors une réaction en chaîne connue sous le nom de « syndrome de Kessler », du nom de l'ingénieur de la NASA qui l'a théorisé dès 1978, Donald Kessler⁹. Ce phénomène est actuellement observé entre 750 et 1 000 km d'altitude.

On constate désormais une subdivision de la zone des orbites basses en deux régions : au-dessus de 650 km d'altitude environ, le nettoyage atmosphérique est peu efficace, les débris présents y demeurent donc longtemps et

provoquent de nouvelles collisions. La zone se caractérise ainsi par une pollution spatiale croissante. Selon les altitudes, il y a 10, 100 voire 1 000 fois plus de débris que de satellites actifs et la situation tend à se détériorer.

Au-dessous de 550 km environ, le nettoyage atmosphérique est plus rapide, ce qui limite nettement le nombre de débris. En conséquence, cette zone est dorénavant choisie par les opérateurs de satellites, notamment pour les méga-constellations constituées de dizaines de milliers de satellites. La zone est toutefois menacée de « congestion orbitale ».

Différentes solutions

Plusieurs solutions existent pour tenter de combattre le problème des débris spatiaux. Peu sont toutefois pour l'heure mises en pratique.

Le recyclage

La première idée qui vient à l'esprit est celle du recyclage. La mise en orbite de toute cette masse ayant été onéreuse et énergivore, la faire brûler lors d'une rentrée atmosphérique destructive apparaît en effet peu pertinent. De nombreuses solutions ont donc été étudiées, malheureusement sans traductions concrètes ou crédibles à ce jour.

Un recyclage au sol à la suite d'un retour d'orbite dans une capsule de rentrée causerait des coûts opérationnels absolument prohibitifs, inenvisageables si l'on considère que la grande majorité des éléments à récupérer – structures métalliques usuelles, panneaux solaires usagés, électronique de bord obsolète, etc. – n'ont guère de valeur.

Une réutilisation des éléments directement en orbite aurait davantage de sens, notamment par « cannibalisation ». Il s'agirait d'aller chercher sur un vieux satellite un système tombé en panne et de l'installer sur un nouveau pour lui redonner vie. La mise en œuvre de cette solution apparaît toutefois peu réalisable, car elle nécessiterait de longues et coûteuses manœuvres de rendez-vous en orbite, avec un chasseur fort complexe équipé de bras robotiques et de tous les senseurs permettant la manœuvre. L'intérêt économique

⁹ Donald J. Kessler et Burton G. Cour-Palais, « Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt », *Journal of Geophysical Research*, vol. 83, n° A6, juin 1978.

d'une telle opération semble dès lors complexe à justifier, même si quelques niches pourraient être identifiées.

Il en est de même pour le recyclage classique en orbite, très dépendant des progrès à venir des opérations d'assemblage en orbite (*in-orbit servicing*). Si réutiliser des matériaux des débris orbitaux comme source primaire pour imprimantes 3D opérées directement en orbite présente un intérêt potentiel, l'intérêt économique de telles opérations n'est, là encore, guère prometteur.

La protection des satellites contre les débris

Il est théoriquement possible de protéger les satellites opérationnels contre les impacts de débris. La mise au point de boucliers est à l'étude dans plusieurs pays¹⁰. Ces boucliers sont constitués en général de plusieurs parois métalliques ou composites, Kevlar, mousses, chaque paroi fragmentant le débris incident en de plus petits objets, moins dangereux... Les meilleures de ces protections ne sont cependant efficaces que face à des impacteurs de taille inférieure au centimètre. Au-delà, l'énergie à absorber est trop importante.

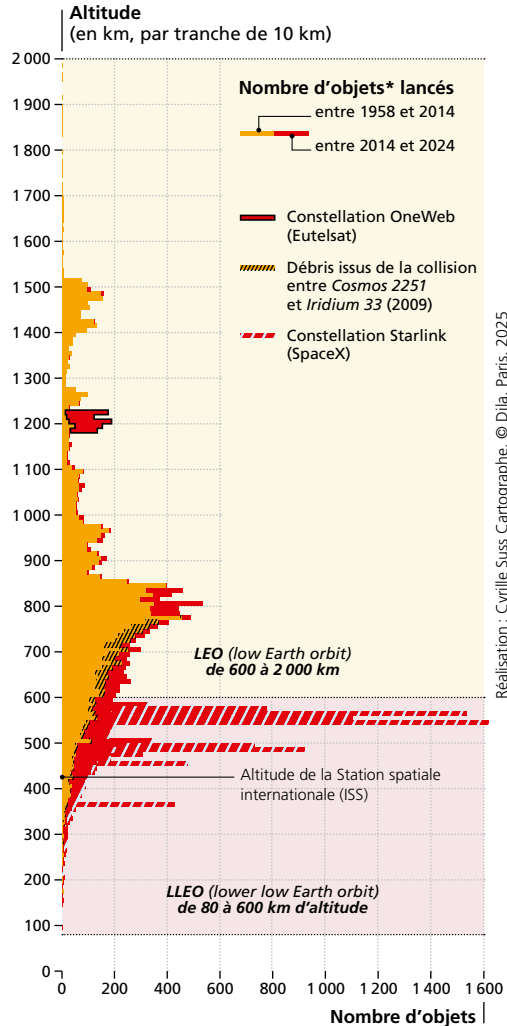
Ces boucliers sont en outre très lourds, onéreux à produire et à installer, encombrants et souvent peu pratiques à utiliser. On n'imagine pas d'en disposer, par exemple, devant l'optique d'un télescope, ou devant une antenne ou des panneaux solaires, etc. De façon concrète, ils ne sont à ce jour utilisés que sur les modules orbitaux habités, telles la Station spatiale internationale (International Space Station, ISS) ou la Station spatiale chinoise (China Space Station, CSS).

L'évitement de collisions

Dans certains cas spécifiques, il est possible – et requis – d'éviter les collisions. Si un satellite actif est pourvu d'un système de propulsion, et qu'il dispose d'un dispositif d'alerte l'informant à l'avance d'un risque de collision, il peut l'éviter en modifiant légèrement son orbite. Un tel procédé

¹⁰ « IADC Protection Manual », www.iadc-home.org.

Objets spatiaux en orbite basse (2024)



* Objets dont la taille est supérieure à 10 cm, toujours en orbite basse au 31 décembre 2024.

Source : « GCAT: General Catalog of Artificial Space Objects », Jonathan C. McDowell, 2025 (www.planet4589.org/space/gcat/data/derived/currentcat.html).

est devenu une activité fondamentale et routinière pour tout opérateur de satellites. Certaines méga-constellations manœuvrent ainsi 50 000 fois par an pour éviter les collisions. La procédure est complexe, très chronophage et elle requiert un niveau d'expertise avancé. À titre d'exemple, le centre d'orbitographie opérationnelle (COO) du Centre national d'études spatiales (CNES) est en alerte 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 pour protéger plus de 300 satellites avec près de 4 millions de

rapprochements potentiellement dangereux entre objets en orbite par an...

Ces procédures anticollisions s'appuient sur un réseau important de capteurs, situés au sol comme en orbite, de télescopes, de radars, voire de lasers, permettant d'établir des catalogues d'objets et de calculer les risques d'interférences. Plusieurs réseaux institutionnels y travaillent, comme le SSN (Space Surveillance Network) aux États-Unis ou l'EU SST (European Union Space Surveillance and Tracking) en Europe.

De nombreuses initiatives privées, comme LeoLabs aux États-Unis, Aldoria, LookUp Space, Helix ou Astareon en France, opèrent dans ce secteur d'activité de surveillance et de détection. Le développement des opérations anticollisions est fondamental pour sécuriser la situation orbitale dans l'avenir, pour améliorer aussi bien le seuil de catalogage des objets – actuellement environ 10 cm – que la précision de leur orbite – actuellement 100 m environ. Ces activités servent de base à la réglementation en cours relevant du STM (*space traffic management*, « gestion du trafic spatial » en français), qui gère la surveillance, la coordination et la conduite du trafic spatial et des activités orbitales dans l'espace extra-atmosphérique¹¹.

Le retrait actif de débris (*active debris removal*)

Afin de combattre le syndrome de Kessler, il est d'usage avant tout, pour les acteurs du secteur spatial, d'« être propres », c'est-à-dire d'appliquer la réglementation en vigueur (voir *infra*) et de retirer chaque année une dizaine de gros débris orbitaux qui sont de fait des sources de collision pour les débris centimétriques les plus dangereux. Une liste des 50 objets à traiter en priorité a été établie au niveau international¹² et sert de référence à tous les projets actuels de retrait de débris.

¹¹ Darren McKnight, Rachel Witner *et al.*, « Identifying the 50 statistically-most-concerning derelict objects in LEO », *Acta Astronautica*, vol. 181, avril 2021, p. 282-291.

¹² Jean-Youri Marty, Christophe Bonnal *et al.*, « Space traffic management as a necessity for future orbital operations a French perspective », *Acta Astronautica*, vol. 202, janvier 2023, p. 278-282.

De nombreuses solutions sont à l'étude depuis longtemps¹³, mais aucune n'a vu le jour sur le plan opérationnel pour le moment, malgré plusieurs démonstrations convaincantes effectuées tant au sol qu'en orbite. Plusieurs écueils subsistent, liés notamment à la dualité de telles opérations, assimilables à une militarisation de l'espace, liés aussi aux aspects réglementaires et juridiques, et surtout à la question de leur financement. Le retrait d'un gros débris coûte en effet des dizaines de millions d'euros et peu d'États semblent prêts à financer de telles activités.

La réglementation internationale

Depuis 1995, une réglementation visant à limiter, voire à supprimer la multiplication des débris en orbite a été mise en œuvre au plan international. À la suite des trois premiers standards nationaux des agences spatiales américaine, japonaise et française (NASA, NASDA et CNES), plusieurs recueils de recommandations (*guidelines*) ont vu le jour, à l'IADC (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee¹⁴) en 2002, aux Nations Unies en 2007 puis en 2022¹⁵, déclinés ensuite sous forme de standards au niveau européen en 2004, puis à l'ISO (International Organisation for Standardization) en 2010¹⁶. Pionnière en la matière, la France a édicté en 2008 la première loi portant sur les opérations spatiales¹⁷.

Les principes généraux de ces textes, globalement très cohérents, sont fort logiques : ne pas créer de nouveaux débris en connaissance de cause, éviter la création accidentelle de débris, protéger les régions géostationnaires et les orbites basses, éviter les collisions quand cela est possible et minimiser le risque de victimes au sol.

¹³ Christophe Bonnal, Jean-Marc Ruault et Marie-Christine Desjean, « Active debris removal: Recent progress and current trends », *Acta Astronautica*, vol. 85, avril-mai 2013, p. 51-60.

¹⁴ Inter Agency Space-Debris Coordination Committee, « Guidelines 2025 », www.iadc-home.org/.

¹⁵ www.unoosa.org/documents/pdf/PromotingSpaceSustainability/Publication_Final_English_version.pdf.

¹⁶ « ISO 24113:2023. Systèmes spatiaux – Exigences de mitigation des débris spatiaux ».

¹⁷ Loi spatiale française du 3 juin 2008, décret du 9 juin 2009, version applicable : 13 septembre 2024.

Cette réglementation est à ce jour malheureusement très mal respectée au plan international et clairement insuffisante pour espérer juguler le problème actuel de la prolifération orbitale. L'IADC a d'ailleurs émis en 2022 un avis, adopté à l'unanimité de ses treize États membres, indiquant qu'une réglementation, quelle qu'elle soit, n'était plus appropriée et que désormais il fallait impérativement envisager des mesures de nettoyage orbital.

La situation orbitale actuelle et à venir, même à un terme relativement court (2030), suscite de nombreuses inquiétudes. La réglementation internationale en vigueur est très mal appliquée. Globalement, moins de 10 % des gros satellites en orbite à plus de 600 km respectent les exigences de désorbitation en fin de vie, et de très nombreux satellites et étages explosent encore en orbite, engendrant de nombreux nouveaux débris.

L'utilisation massive de CubeSats, ces très petits satellites dépourvus en général de propulsion, lancés au nombre d'environ 500 par an, soulève, quant à elle, plusieurs problèmes spécifiques. Ils sont petits et donc difficiles à observer, en général peu fiables et très souvent non conformes à la réglementation en vigueur.

L'arrivée massive de nouvelles mégaconstellations – on prévoit 30 000 à 100 000 nouveaux satellites d'ici à 2030¹⁸ – pose un autre défi d'importance, la réglementation actuelle s'avérant insuffisamment adaptée à leur déploiement. Ne reste plus à espérer qu'une prise de conscience générale, rapide, mondiale et suivie d'effet. Alors tout ira bien... ●

¹⁸ Voir le site Internet très riche de Jonathan McDowell : <https://planet4589.org>.

L'édition 2025

du portrait de la France en 70 questions-réponses

Un livre de poche pédagogique et facile d'accès sur la France pour comprendre l'actualité en 24 thèmes et 70 questions-réponses.

France 2025 vous apporte des informations sourcées et chiffrées pour réussir concours et examens.

Collection Doc en poche

Série Entrez dans l'actu

Janvier 2025, 156 pages, 9,90 € / 6,99 € pdf ou epub

Réf : 9782111740495



**Découvrir la collection
Doc'en poche**

DOC EN POCHE
ENTREZ DANS L'ACTU



Ouvrage disponible en librairie et sur Vie-publique.fr

**La Documentation
française**

→ POUR ALLER PLUS LOIN

Émirats arabes unis et Arabie saoudite : deux ambitions spatiales rivales dans le Golfe

Depuis la fin des années 2010, les Émirats arabes unis et l'Arabie saoudite sont à l'avant-poste des politiques spatiales des pays du Golfe, pour des raisons de prestige avant tout, mais également de développement économique et de stabilité régionale. Dans le contexte global de la nouvelle économie spatiale, le NewSpace, et avec le dessein de devenir des « technations », ces pays aspirent à gagner leur autonomie et à entrer dans le club très restreint des puissances spatiales.

Dès les années 1960, plusieurs pays arabes – Maroc, Tunisie, Égypte, Émirats arabes unis, Arabie saoudite – avaient investi le domaine spatial par l'achat à l'étranger de satellites et de services spatiaux destinés à l'exploitation de leurs ressources. À partir des années 2010, un accès facilité à l'espace et les opportunités offertes par le NewSpace ont incité certains d'entre eux à rechercher une autonomie accrue dans divers domaines, notamment la fabrication de satellites et l'exploitation de solutions spatiales.

Ces ambitions sont devenues manifestes lors de la première conférence internationale pour le développement spatial réservée aux pays émergents (Global Conference on Space for Emerging Countries, GLEC), qui s'est tenue à Marrakech en avril 2019. Les objectifs de la conférence consistaient à promouvoir auprès de ces pays les applications spatiales, des modèles financiers pour les programmes spatiaux, leurs bénéfices technologiques, et à les sensibiliser aux exigences des infrastructures spatiales.

Les pionniers : Émirats arabes unis et Arabie saoudite

Après le lancement dans les années 1990 de plusieurs initiatives limitées au secteur des télécommunications et à des transferts de technologie, les Émirats favorisent le développement d'une politique spatiale à part entière avec la création de l'Emirates Institution for Advanced Science and Technology (EIAST) en 2006, puis d'une agence spatiale (United

Arab Emirates Space Agency, UAESA) en 2014, la première au Moyen-Orient.

La conception des satellites de télécommunication *DubaiSat 1* (2009) et 2 (2013) est le fruit d'un accord entre l'EIAST et son homologue sud-coréenne, Satrec Initiative. En 2014, une première unité de production composée d'une salle blanche (filtration des particules de poussières) est mise en service pour développer des satellites d'observation de la Terre.

Depuis, les Émirats n'ont cessé de mener des projets spatiaux ambitieux. La mise en orbite d'une sonde autour de Mars, en 2021, les a hissés à la cinquième place des puissances spatiales mondiales. De nombreux transferts de technologie et partenariats leur ont apporté des compétences de haut niveau et la reconnaissance des autres grands acteurs du domaine.

En 2015, par exemple, le Centre national d'études spatiales (CNES) français et l'UAESA ont conclu un accord-cadre de coopération pour la formation d'ingénieurs et la préparation de missions martiennes. Les Émirats arabes unis sont devenus le premier pays arabe à rejoindre des organisations spatiales internationales comme le Bureau des affaires spatiales des Nations Unies (United Nations Office for Outer Space Affairs, UNOOSA) et le Groupe international de coordination de l'exploration spatiale (International Space Exploration Coordination Group, ISECG).

Les réalisations sont multiples : programme de formation d'astronautes en 2017, premier satellite conçu par les Émiriens mis en orbite en 2018 (*KhalifatSat*), lancement d'un orbiteur vers Mars en 2018, premier astronaute émirien envoyé dans la Station spatiale internationale (International Space Station, ISS) en 2019, lancement en 2022 du programme « Sirb », une constellation de trois satellites dotés de radars à synthèse d'ouverture (RSO) permettant d'obtenir de l'imagerie à haute résolution.

Face à ces réussites, les autres pays du Golfe, comme le Qatar, Bahreïn ou le Koweït, apparaissent



↑ Les Émirats arabes unis sont devenus en 2023 le 10^e pays à effectuer une sortie dans l'espace depuis la Station spatiale internationale. L'astronaute Sultan al-Neyadi (deuxième à partir de la gauche, avec à droite Hazza al-Mansouri, le premier Émirien à être allé dans l'espace) a fait partie de la 262^e sortie dans l'espace à l'appui de l'assemblage, de la maintenance et des mises à niveau de la station spatiale.

© Waleed Zein/Anadolu via AFP

en retrait et seule l'Arabie saoudite s'est lancée dans la compétition spatiale pour rivaliser avec les Émirats. Le premier astronaute arabe et musulman dans l'espace, en 1985, est certes d'origine saoudienne, mais le pays a longtemps privilégié l'achat de services auprès des entreprises étrangères. Pour le royaume saoudien, le développement de capacités spatiales est lié à la volonté de diversifier son économie, et également de transformer son image de pays conservateur et à la traîne sur le plan technologique. En 2018, le prince héritier Mohamed ben Salmane annonce le plan Vision 2030, qui met le pays sur la voie d'une nouvelle stratégie de développement post-hydrocarbures et d'une autonomie accrue à l'égard de ses alliés occidentaux.

Comme pour celui des Émirats arabes unis, le programme saoudien s'appuie sur des coopérations

avec des entreprises privées étrangères, le développement de la formation des astronautes et des ingénieurs, des actions de prestige comme le lancement de la mission AX-2, qui a fait entrer deux astronautes saoudiens dans l'ISS à partir d'une fusée Falcon de SpaceX en 2023.

Entre coopération et compétition

Les politiques spatiales des Émirats arabes unis et de l'Arabie saoudite passent par la recherche de partenariats avec d'autres puissances spatiales et des entreprises privées. L'objectif est d'atteindre un niveau d'autonomie souveraine dans le domaine spatial et d'en exploiter toutes les ressources. En 2020, les Émirats sont devenus l'un des premiers pays signataires des accords Artemis, qui encadrent la coopération internationale pour l'exploration spatiale dans le cadre du programme lunaire américain Artemis. Ils adoptent la même année une loi spatiale qui donne à l'industrie spatiale un cadre normatif avantageux et une sécurité juridique.

En juin 2023, le premier satellite *PHI-Demo* développé par les Émirats est lancé dans le cadre de la Payload Hosting Initiative (PHI), en collaboration avec des start-up, des laboratoires universitaires,

les Nations Unies et le Centre spatial Mohammed ben Rachid. Ce projet vise à embarquer des charges utiles à bord de petits satellites. Premier satellite de ce type, *PHI-Demo* pèse 20 kilogrammes et embarque en orbite deux démonstrateurs technologiques de communication avec des objets connectés. Le prochain satellite *PH 1* devrait embarquer des charges utiles népalaises et bahreïniennes.

En janvier 2024, les Émirats signent un accord avec la NASA qui leur permet de participer au programme Lunar Gateway – le projet de station américaine qui sera placée en orbite autour de la Lune –, avec la fabrication d'un sas de *Lunar*, une cabine destinée aux sorties dans l'espace.

De nombreux autres accords de coopération conclus avec des pays comme l'Inde en 2016 (exploration spatiale), Israël (partage de données scientifiques) en 2021 ou la France (ouverture d'un bureau du CNES à Abu Dhabi en 2018) font des Émirats un acteur incontournable du secteur spatial dans le Golfe comme à l'échelle mondiale.

Une compétition économique existe toutefois entre les Émirats arabes unis et l'Arabie saoudite. Leur priorité commune est la construction d'une base industrielle et technologique qui associe développement spatial et projets de grande envergure dans d'autres secteurs économiques. En 2018, le fonds souverain saoudien (Public Investment Fund, PIF) a ainsi investi un milliard de dollars dans les activités spatiales du groupe industriel britannique Virgin, qui souhaitait développer une nouvelle génération de satellites en lien avec la création en Arabie saoudite du projet de ville ultraconnectée Neom, qui comblera services spatiaux et intelligence artificielle.

Les deux pays construisent parallèlement un écosystème spatial qui s'appuie sur les synergies public-privé dans les domaines de la durabilité et de l'innovation, les applications des données spatiales (navigation, observation spatiale) pour la gestion des énergies, des ressources minières, des catastrophes naturelles, les technologies émergentes liées à l'exploitation des astéroïdes et la connectivité.

Côté à la Bourse des valeurs mobilières d'Abu Dhabi, Space42 est devenu une entreprise d'excellence reconnue dans l'économie spatiale mondiale, en particulier dans le domaine des hautes technologies,

de l'intelligence artificielle et de l'exploitation de la fusion des données géolocalisées.

En Arabie saoudite, la création, en décembre 2024, du Centre pour l'avenir spatial, dans le cadre du Centre pour la quatrième révolution industrielle (Centre for the Fourth Industrial Revolution, C4IR) de Riyad, a favorisé la coopération entre acteurs industriels, sous l'égide de l'Agence spatiale saoudienne. En lien avec le plan Vision 2030, la priorité est désormais donnée au développement de solutions pionnières pour la gestion du trafic spatial et des débris spatiaux, de même que pour le recyclage des satellites et les technologies de désorbitation.

L'Arabie entend aussi créer de nouvelles synergies privé-public et un écosystème robuste réunissant start-up et laboratoires de recherche. En témoigne l'organisation à Riyad en novembre 2024 du forum mondial Connecting the World from the Skies ou encore, six mois plus tôt, des French Space Days, qui, en mai 2024, ont réuni 16 sociétés françaises du secteur spatial.

Le domaine de la recherche scientifique au sein de l'exploration spatiale a également son importance dans le Golfe. Les Émirats apparaissent, là encore, comme pionniers en la matière, puisque, avec la mission Hope, le pays s'affiche comme un partenaire incontournable de l'exploration scientifique. La sonde *Hope* a été placée en orbite de Mars le 9 février 2021 pour étudier le climat martien et partager les données collectées. Le pays a également conçu le projet de rover lunaire *Rashid 2* et travaille sur un programme de colonie humaine sur Mars pour le début du siècle prochain.

Le GEOINT au cœur du développement du secteur spatial militaire

Les applications spatiales militaires s'avèrent fondamentales pour les pays du Golfe dans le contexte d'instabilité stratégique qui est celui de la région. Les guerres du Golfe en 1990-1991 puis en 2003 ont révélé la dépendance des armées émirienne et saoudienne aux capacités d'information satellitaire occidentales, surtout américaines, quand celles-ci étaient partagées.

Le programme nucléaire et les capacités balistiques de l'Iran – qui entretient des différends territoriaux avec les

Émirats et l'Arabie saoudite dans le golfe Persique –, les activités maritimes illicites en mer d'Arabie, les menaces terroristes, la surveillance des flux d'immigration clandestine depuis la Corne de l'Afrique constituent autant d'incertitudes pour les pays du Golfe en matière de stabilité intérieure comme régionale.

Le besoin d'images satellitaires s'est également révélé primordial lors des opérations menées en coalition avec d'autres États occidentaux, au sein de la Force internationale d'assistance à la sécurité en Afghanistan (2009-2011), durant l'opération « Harmattan » en Libye (2011) ou dans la guerre au Yémen depuis 2015.

Afin de limiter leur dépendance à l'égard de leurs alliés occidentaux ou des entreprises privées, les Émirats arabes unis et l'Arabie saoudite se sont donc engagés dans l'acquisition de capacités satellitaires depuis les années 2010. En 2014, les Émirats ont acheté à la France deux satellites *Falcon Eye* d'observation à haute résolution à des fins militaires et de sécurité. Après l'échec du lancement du premier satellite, en 2019, la mise en orbite de *Falcon Eye 2* a été effectuée le 2 décembre 2020. Les Émirats ont aussi lancé la fabrication d'un premier satellite d'observation national (*KhalifatSat*) en 2018 à partir d'un transfert de technologies sud-coréennes.

L'Arabie saoudite a acheté des satellites de reconnaissance à la France et aux États-Unis, et créé une joint-venture avec la société américaine Digital Globe pour la construction de six satellites. Elle envisage de disposer de ses propres lanceurs, ce qui n'est pas sans susciter l'inquiétude d'Israël.

Le besoin de services spatiaux à des fins militaires ne se limite pas à la seule acquisition d'imagerie spatiale, mais vise également à obtenir une maîtrise plus large de l'information. Les nouvelles possibilités offertes par la Geospatial Intelligence (GEOINT), c'est-à-dire la fusion de données géolocalisées multi-capteurs – imagerie, données électromagnétiques, sources ouvertes – accélérés par l'intelligence artificielle, ouvrent de nouvelles perspectives à ces États. Elles leur permettent une surveillance permanente et en temps réel afin de contrer tout type de menace. Le GEOINT apparaît ainsi comme une nouvelle discipline de la connaissance, dans les domaines tant civil (la protection de l'environnement comme la lutte contre la pollution marine et l'étude du dérèglement climatique) que militaire.

Philippe Boulanger

Professeur de géographie à Sorbonne Université et auteur de plusieurs ouvrages de géostratégie et de géopolitique.

Protéger les planètes, défendre notre planète

Jean-Claude Worms

est directeur exécutif du
Committee on Space
Research (COSPAR).

À la phase initiale euphorique de l'ère spatiale, qui imaginait voir atterrir des humains sur Mars et établir des bases permanentes sur la Lune dès les années 1980, a succédé une phase plus réaliste, qui a intégré que la « conquête spatiale » était coûteuse, risquée et moins prioritaire que d'autres sujets terrestres. Les États ont tenté de réglementer l'exploration et l'utilisation de l'espace. La récente révolution du NewSpace introduit un nouveau paramètre : un accès moins cher à l'espace par des acteurs privés – mais subventionnés par le secteur public. Désormais, le défi majeur consiste donc à définir des règles pour cette exploration et cette utilisation de l'espace, applicables à tous, afin de protéger les autres planètes autant que de défendre la nôtre.

Le titre de cet article présente un inconvénient certain, celui – *a minima* – de risquer d'entraîner chez le lecteur quelques haussements de sourcils : aurions-nous déjà rencontré des civilisations extraterrestres dont il conviendrait de se prémunir ? Nous semblons à peine capables de protéger la Terre, alors comment envisager de protéger les autres planètes du système solaire ? Et si c'était le cas, de quel type de protection parlons-nous ?

Sous ces termes se cache en fait une réalité plus prosaïque et pourtant tout aussi importante. L'ère spatiale a débuté voilà plus de soixante-sept ans, avec la mise sur orbite terrestre par l'Union soviétique du premier satellite artificiel, *Sputnik 1*. D'abord cantonnée au domaine d'étude de la banlieue terrestre, l'exploration de l'espace a très vite englobé une multitude de domaines scientifiques : cosmologie et tests de physique fondamentale dans l'espace, physique solaire et stellaire, exploration des planètes,

satellites, astéroïdes et comètes, physique des matériaux et des fluides en impesanteur, sciences de la vie dans l'espace, sans oublier l'observation en permanence et avec force détails de notre propre planète...

Les acteurs des débuts de cette ère spatiale ne se sont peut-être pas projetés dans un avenir qui verrait, comme c'est le cas depuis seulement quelques années, une multitude d'entités publiques et privées envahir l'orbite basse terrestre. Ils ont pourtant été à même, et ce dès le début des années 1960, d'envisager les problématiques qui pourraient se poser aux nations amenées à développer leur propre accès à l'espace, ou bien à bénéficier de cet accès par le biais des puissances américaine, soviétique, puis européennes et chinoise.

Ces problématiques recouvrent notamment les questions de la non-appropriation des corps célestes, de l'interdiction du déploiement d'armes nucléaires en orbite terrestre, du



sauvetage des astronautes et de l'« interférence nuisible » (ou nocive). Le traité de l'espace de 1967 ne donne pas de directives claires sur l'exploration et l'utilisation des corps célestes, en particulier la Lune, laissant place à diverses interprétations des activités et comportements possibles sur notre satellite¹. C'est ainsi que l'emploi des termes « contamination nocive » et « interférence nocive » ne précise pas pour qui et avec qui (ou quoi) les activités spatiales peuvent être nocives : le corps céleste ou les biens des entités impliquées dans ces activités d'exploration ? Le concept d'environnement spatial n'est pas non plus défini.

Dans la communauté scientifique, la question de la contamination biologique des corps célestes s'est posée au moins depuis 1962, soit cinq années avant l'adoption du traité de l'espace. Les agences spatiales et les chercheurs ont dès lors commencé à établir des règles dites

¹ Sur le traité de l'espace de 1967, voir les contributions de Lucien Rapp et d'Emmanuel Bourdoncle dans le présent dossier.

↑ En octobre 2024, lancement depuis la base de Cap Canaveral (Floride) par une fusée lourde Falcon de la société SpaceX de la sonde *Europa Clipper*. Cette mission met en exergue les ambitions spatiales renouvelées de la NASA, qui dépassent le cadre de l'exploration lunaire et martienne pour explorer et coloniser des astres plus lointains. La sonde doit étudier à partir de 2031 Europa, l'un des satellites naturels de la planète géante Jupiter. © Chandan Khanna/AFP

« de protection planétaire », ce qui nous ramène au titre de cet article.

Qu'est-ce que la protection planétaire ?

Ces termes ne recouvrent que la protection biologique, c'est-à-dire les mesures permettant d'éviter de contaminer l'environnement de l'atmosphère et de la surface d'un corps céleste – planète, satellite naturel, comète, astéroïde. L'apport de micro-organismes terrestres risquerait en effet de modifier d'autres micro-organismes présents sur ce corps céleste et de polluer son environnement, faussant ainsi toute étude de ses propriétés natives.

Cette protection planétaire, dite « avant », est complétée par une protection « arrière », qui se préoccupe de ne pas rapporter dans la biosphère terrestre d'éventuels micro-organismes qui proviendraient d'un autre corps céleste. Ou bien, si l'on doit les rapporter afin de les étudier, le faire dans des conditions draconiennes de contrôle et de non-dispersion dans l'environnement, comme c'est le cas pour les équipements et protocoles traitant de virus et agents pathogènes hautement contagieux.

La précision est d'importance à une époque où la multiplication des acteurs, en particulier privés, à même d'accéder à l'espace conduit à une situation où les objectifs initiaux de l'exploration de l'espace ont été complètement modifiés : d'une exploration purement scientifique entre 1957 et le début de la décennie actuelle nous sommes en effet passés à une approche envisageant l'utilisation commerciale de l'espace qui fait courir le risque que les procédures de contrôle exercées jusqu'à présent par les États et les organismes internationaux se relâchent voire qu'elles soient négligées.

Les questions suivantes peuvent donc être légitimement posées :

- Comment préserver certains environnements de corps célestes – Lune, Mars, satellites naturels de Jupiter ou de Saturne – afin de continuer d'y faire de la recherche, notamment sur l'origine de notre système solaire et d'une éventuelle vie en dehors de la Terre ? De fait, les endroits qui intéressent les industriels misant sur un marché extraorbital se trouvent être les mêmes que ceux que les scientifiques veulent étudier : pôles Nord et – surtout – Sud de la Lune, intérieurs de cratères lunaires qualifiés de « régions ombragées en permanence » (*permanently shadowed regions*, PSR) et recelant de la glace d'eau gelée, ou bien tubes de lave qui présentent un intérêt considérable parce qu'ils peuvent éventuellement servir d'habitat humain du fait de la protection qu'ils offrent contre les micrométéorites, le rayonnement solaire ou les rayons cosmiques.
- Dans le cas où des entrepreneurs seraient amenés à rapporter sur Terre des ressources provenant d'astéroïdes, notamment minérales

(*space mining*), quelles seraient les règles en vigueur ?

- Au-delà de la protection biologique, et au nom d'une sociologie, d'une anthropologie ou même d'une éthique de l'exploration spatiale, doit-on envisager de préserver certains sites historiques, par exemple les aires d'alunissage de missions passées ? Doit-on respecter les croyances des minorités culturelles sur la Terre qui considèrent certains de ces corps avec révérence, voire comme des objets sacrés ?
- Enfin, et peut-être surtout, comment éviter de faire du système solaire un nouveau Far West ?

La science n'a pas disparu, tant s'en faut, mais elle commence à faire figure de parent pauvre dans un secteur où émergent des ambitions en matière de couverture Internet à haut débit sur toute la planète, ou bien où est évoqué l'objectif, certes plus lointain, d'une exploitation minière des astéroïdes, qui fait miroiter des retours sur investissement se chiffrant en milliards, voire en milliards de milliards d'euros.

Le rôle et les activités du COSPAR

Dès le début des années 1960, le Committee on Space Research (COSPAR), un groupe scientifique international créé en 1958 sous les auspices du Conseil international pour la science², a eu pour ambition de rassembler, sans considération des barrières étatiques, les chercheurs du monde entier travaillant dans le domaine spatial. En pleine guerre froide, le COSPAR a alors permis que se constitue un réseau international de plusieurs dizaines de milliers de chercheurs, ingénieurs et responsables d'agences spatiales. L'organisation a joué un rôle primordial de pont entre l'Est et l'Ouest, à des fins de coopération ouverte dans la recherche spatiale, en particulier entre les États-Unis et l'Union soviétique.

² Le Conseil international pour la science (International Council for Science) a fusionné en 2018 avec le Conseil international des sciences sociales (International Social Science Council) pour former le Conseil scientifique international (International Science Council, ISC). Le COSPAR est aujourd'hui une organisation non-gouvernementale indépendante, basée en France (association loi 1901) et affiliée à l'ISC.

Ce réseau s'est depuis renforcé, notamment par sa contribution essentielle à l'essor de nouvelles disciplines telles que la physique fondamentale ou les sciences de la vie dans l'espace.

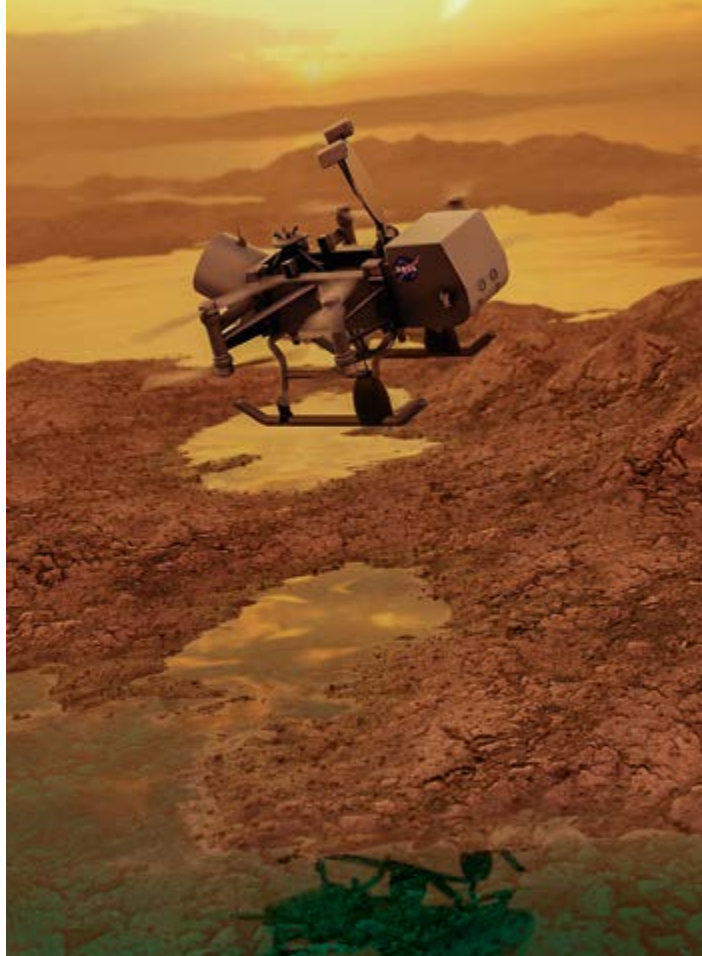
Une autre de ses missions cruciales a consisté très tôt à mettre en commun les ressources des pays déjà avancés en matière de recherche spatiale pour permettre aux instituts de recherche des pays en développement d'entreprendre leurs propres activités spatiales. Alors que n'existait qu'une poignée d'agences spatiales dans les années 1960, le monde en compte désormais plusieurs dizaines, dont plus d'une quinzaine disposant de leurs propres capacités de lancement de fusées et de mise en orbite de satellites et de sondes spatiales.

Dès ses origines, le COSPAR a travaillé en étroite collaboration avec les Nations Unies. Il a obtenu en 1962 le statut de tout premier observateur auprès du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (CUPEEA, en anglais Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, COPUOS), lui-même créé en 1959 (voir encadré, p. 87). Si le nombre d'organismes jouissant de ce rang d'observateur auprès du COPUOS est de nos jours élevé, le COSPAR y a conservé une place prépondérante et ses avis y recueillent toujours une attention particulière.

Le COSPAR est également observateur auprès du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite (UNOOSA-ICG), une autre entité des Nations Unies. À travers deux de ses panels, il étudie les activités préjudiciables à l'environnement spatial, en particulier dans la haute atmosphère et sur l'orbite basse terrestre, et notamment la génération et la prolifération de débris spatiaux. Ces derniers sont en expansion continue du fait de l'augmentation considérable du nombre de satellites de télécommunication pour l'Internet à large bande, et singulièrement ceux de la constellation Starlink³.

La génération accrue de débris en orbite basse est traitée par un nombre croissant

³ Sur les débris spatiaux et les risques qu'ils font encourir à la Terre, voir la contribution de Christophe Bonnal dans le présent dossier.



↑ Représentation du drone volant de la NASA *Dragonfly* (« libellule »), dont le lancement est prévu en 2028 pour une arrivée en 2034. Son but est d'étudier la biochimie de Titan, le plus gros satellite naturel de Saturne, pour savoir si elle est compatible avec l'existence d'une vie, présente ou passée, dans des conditions différentes de celles de la Terre.

© Mark Garlick/MGA/Science Photo Library via AFP

d'agences, qui cherchent à réduire la production de ces débris par le biais de mesures *ad hoc* et à diminuer la population de débris existants en les « désorbitant⁴ ». Cette méthode est louable, mais des résultats récents tendent à montrer qu'elle pourrait causer une autre forme de pollution de la haute atmosphère, par interaction entre les débris et certaines molécules présentes dans la stratosphère⁵. Sans compter que ce qui jusqu'à maintenant n'était qu'un problème terrestre pourrait

⁴ Voir à ce sujet l'initiative de l'Agence spatiale européenne (ESA), qui a lancé la « Zero Debris Charter », que le COSPAR a signée en 2025, avec un grand nombre d'entités publiques ou privées, www.esa.int/Space_Safety/Clean_Space/The_Zero_Debris_Charter.

⁵ Leonard Schulz et Karl-Heinz Glassmeier, « On the anthropogenic and natural injection of matter into Earth's atmosphere », *Advances in Space Research*, vol. 67, n° 3, février 2021, p. 1002-1025, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.10.036>.

gagner l'orbite lunaire du fait de l'augmentation du nombre de missions prévues autour de et sur la Lune dans les années à venir.

Le COSPAR s'intéresse aussi à la météorologie spatiale, qui regroupe les activités scientifiques et techniques permettant de mesurer et de prévoir les impacts de l'activité solaire sur l'environnement terrestre. En 2022, le COPUOS a participé, avec le COSPAR, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et l'International Space Environment Service (ISES), à la création de l'International Space Weather Coordination Forum. Celui-ci rassemble les organisations internationales spécialisées en météorologie afin de mieux coordonner l'ensemble des activités de ce secteur et d'en identifier les lacunes.

Autre domaine d'expertise du COSPAR, la planification et la coordination des missions spatiales afin de répondre à d'éventuelles menaces liées à des impacts d'objets géocroiseurs. Ces objets sont des astéroïdes ou des comètes dont l'orbite les conduit à proximité voire à l'intérieur de l'orbite terrestre. Concernant les objets dont la trajectoire pourrait les amener à entrer en collision avec la Terre, leur taille constitue évidemment un aspect fondamental, car elle détermine les dommages qui seraient causés par cet impact.

“
La protection planétaire se préoccupe avant tout d'éviter une contamination biologique qui nuirait à des recherches futures sur un corps céleste, ou bien perturberait la biosphère terrestre
”

Le COSPAR est devenu l'organisme international qui établit les lignes directrices de ladite « politique de protection planétaire » (*planetary protection policy*, PPP). Des normes internationales sont conçues à travers une consultation permanente de la communauté scientifique internationale ainsi que des représentants des agences

concernées par les missions spatiales à l'origine des sondes destinées à approcher les corps célestes ou à se poser à leur surface, ou bien à rapporter sur la Terre des échantillons de ces corps.

Cette politique de protection planétaire, qui n'a aucun caractère contraignant, s'est jusqu'à présent déployée de manière souple et consensuelle. Les normes ainsi élaborées servent de référence aux puissances spatiales et de guide de conformité aux dispositions du traité de 1967. Le principe de protection planétaire – comme la notion d'environnement spatial – n'apparaît pas en tant que tel dans le traité. Rappelons que c'est donc uniquement par le biais du concept de contamination nocive que la protection des objets du système solaire, ainsi que de la Terre, est garantie par les États parties au traité de 1967.

Les catégories de la protection planétaire

La politique de protection planétaire définit cinq grandes catégories et leurs exigences correspondantes. Ces exigences s'appliquent à toutes les missions interplanétaires sans exception, sans tenir compte du fait de savoir si leurs objectifs sont liés à l'astrobiologie ou non. Les mesures associées à ces différentes catégories sont toutefois dépendantes des objectifs scientifiques de la mission, notamment lorsqu'il s'agit de détecter une éventuelle vie organique sur le corps céleste observé.

En d'autres termes, au-delà de la recherche de la vie extraterrestre dans le système solaire, la protection planétaire se préoccupe avant tout d'éviter une contamination biologique qui nuirait à des recherches futures sur un corps céleste, ou bien perturberait l'intégrité de la biosphère terrestre. Les cinq catégories et leurs exigences reposent sur une combinaison entre les objectifs des missions (quel corps céleste cherche-t-on à atteindre ?) et les types de ces missions – survol, assistance gravitationnelle, orbiteur, atterrisseur.

1. La catégorie I concerne tous les types de missions vers un corps céleste dont on pense qu'il n'a pas d'intérêt direct dans la compréhension des processus d'évolution chimique ou de

l'origine de la vie. Elle englobe notamment les astéroïdes non carbonés.

2. La catégorie II regroupe tous les types de missions vers les corps célestes qui ont un intérêt certain dans la compréhension des processus d'évolution chimique ou de l'origine de la vie, pour lesquelles la probabilité qu'une contamination apportée par une sonde compromette les recherches futures est très faible. Cette catégorie concerne des corps comme la Lune, les comètes, les astéroïdes carbonés, certaines planètes du système solaire et leurs satellites, etc.

3. La catégorie III traite des missions de survol ou de mise en orbite autour de corps célestes étant réputés comme ayant un intérêt certain dans la compréhension des processus d'évolution chimique ou de l'origine de la vie pour lesquelles la probabilité qu'une contamination apportée par une sonde compromette les recherches futures est significative. Sont compris dans cette catégorie des corps célestes tels que Mars, Europe (satellite naturel de Jupiter) ou Encelade (satellite naturel de Saturne).

4. La catégorie IV vise les missions présentant les mêmes intérêts et probabilités que la catégorie III, mais pour lesquelles la sonde doit atterrir sur le corps céleste, augmentant ainsi considérablement les risques de contamination. Il existe trois sous-catégories, différenciées par le type d'instruments ou de mesures, ou selon les zones où s'effectuent ces mesures. La notion de « région spéciale » (catégorie IVc) définit une région dans laquelle des micro-organismes terrestres seraient aptes à se répliquer, ou qui aurait un potentiel élevé de présence de vie préexistante. Les surfaces de Mars, d'Europe ou d'Encelade relèvent de cette catégorie.

5. Enfin, la catégorie V concerne toutes les missions qui doivent rapporter des échantillons sur la Terre. Elle comprend deux sous-catégories : retour sur Terre non limité – échantillons provenant de corps qui ne peuvent abriter une quelconque forme de vie – et retour soumis à conditions pour tous les autres. Pour ces derniers cas, les contraintes de mise en orbite terrestre, d'atterrissage et de manipulation au sol sont considérables : absence totale démontrée de possibilité de destruction à l'atterrissage, confi-

nement biologique strict durant et après la phase de récupération et de conservation pour tous les échantillons non stérilisés, etc. Les installations de conservation doivent être identiques à celles utilisées pour le confinement des virus et autres agents pathogènes. Néanmoins, comme ces installations de type P4 existant dans le monde n'offrent pas pour l'heure le niveau de propreté requis pour le traitement d'échantillons purs, il est prévu de construire une installation spécifique, notamment en vue du retour d'échantillons martiens dans un avenir plus ou moins proche.

La politique dite « de protection planétaire » évolue constamment au gré des nouvelles découvertes scientifiques ou en fonction du besoin de protéger certaines zones de corps célestes jugées importantes pour des investigations futures. Tel fut le cas pour la Lune en 2021, en raison de la nécessité accrue d'assurer la protection de certaines zones.

Cette révision a abouti à la création de deux sous-catégories au sein de la catégorie II pour les missions d'alunissage. La sous-catégorie II a concerne la plupart des zones à la surface de la Lune, pour lesquelles les contraintes de protection planétaire imposées lors des missions ont été assouplies. La sous-catégorie II b renforce la protection des zones désignées, en obligeant les missions qui doivent se poser dans les régions ombragées en permanence ou aux pôles lunaires à fournir un inventaire organique complet de l'atterrisseur avant la mission.

Les scientifiques ont aussi récemment débattu de la question des petits corps du système solaire (astéroïdes, comètes), et notamment des deux satellites naturels de Mars, Phobos et Deimos. Ils s'approprient dorénavant à réévaluer la question des corps glacés (*icy worlds*), qui présentent un très net intérêt pour la compréhension de l'évolution du système solaire et la recherche de vie ailleurs que sur la Terre.

L'une des questions qui se poseront certainement dans les années à venir, en particulier si les ambitions de certaines compagnies privées d'exploiter les ressources minières des astéroïdes se concrétisent, sera de savoir s'il convient ou non d'ajouter une catégorie nouvelle à la politique de protection planétaire, ou d'amender

celles existantes, afin de prendre en compte ce nouveau *space mining*. Ce qui peut paraître relever pour l'heure de la pure spéculation ou d'habiles tentatives de marketing est en effet considéré très sérieusement par un grand nombre d'acteurs privés, ainsi que par certains pays comme les États-Unis et même, de manière plus surprenante, le Luxembourg, qui a commencé à investir dans l'étude de l'exploitation minière de l'espace.

Ces projets soulèvent ainsi la question du choix de faire entrer des échantillons extraterrestres dans la biosphère terrestre et, si oui, dans quelles conditions. Dans le cas des échantillons destinés à la recherche, des mesures draconiennes existent déjà et on imagine mal ce qui conduirait à en exonérer le transport de minerais récupérés à des fins industrielles et commerciales.

Quelques considérations sur la défense planétaire

À ne pas confondre avec la « protection planétaire », le concept de « défense planétaire » désigne la gestion des risques d'impact d'un géocroiseur avec la Terre. Plus précisément, il s'agit pour les scientifiques de détecter et de déterminer avec précision l'orbite de ce type d'objet, de caractériser l'objet lui-même, de calculer le risque encouru et son évolution dans le temps. Il convient également d'analyser les éléments associés – à savoir la mesure du risque, les procédures de déclenchement d'alerte et de gestion des conséquences –, enfin de mettre en œuvre des moyens de planification, de prévention ou de limitation de ces conséquences.

Il existe de très nombreuses études théoriques et techniques sur la capacité à dévier de tels objets, capacité que la mission américaine DART (Double Asteroid Redirection Test) s'est attachée à évaluer en provoquant l'impact sur un petit astéroïde. La petite lune d'un système binaire d'astéroïdes, Dimorphos, qui suivait l'orbite de son « parent », l'astéroïde Didymos, a été heurtée par la sonde DART en novembre 2021, ce qui a abouti à un changement de la période orbitale de Didymos de 33 +/- 1 minutes. La mission Hera de l'Agence

spatiale européenne (ESA) doit désormais étudier plus en détail les changements induits par cet impact et les propriétés de Didymos lors de son rendez-vous avec ce système d'astéroïde binaire en 2027.

L'intérêt de cette mission et de ses premiers résultats est que le type de corps céleste qui a pu être dévié (160 mètres de diamètre) est d'une taille comparable à celle des astéroïdes qui présentent le plus de risque. En effet, les corps beaucoup plus gros, de taille kilométrique, et appelés « tueurs de civilisation », sont plus facilement détectables à grande distance. Et ceux orbitant dans le système solaire ont pour la plupart déjà été détectés, et leurs trajectoires sont déjà connues. Bien qu'il soit impossible d'exclure complètement tout risque d'impact de tels objets, à l'instar de celui qui a probablement causé l'extinction des dinosaures il y a 65 millions d'années, les risques mesurables semblent faibles actuellement.

À l'opposé, les corps de taille centimétrique, métrique ou même de quelques dizaines de mètres, et qui pourraient causer des dégâts localisés significatifs, sont le plus souvent indétectables à l'avance. L'attention se focalise donc sur l'observation des objets de quelques centaines de mètres, dont l'impact serait capable de détruire l'entièreté d'une ville ou d'une région, et sur l'éventualité de pouvoir modifier leur orbite. Le test réussi de DART n'est bien sûr qu'un début. La condition essentielle pour dévier un astéroïde de son orbite afin d'éviter une collision avec la Terre reste sa détection plusieurs mois, voire plusieurs années avant l'impact.

Les scientifiques du COSPAR sont donc en première ligne dans l'étude et la connaissance de ces résidus de la formation du système solaire. Au-delà de cet aspect de recherche fondamentale, ils participent aussi à l'amélioration approfondie des orbites des corps, des perturbations gravitationnelles engendrées par des passages successifs près de la Terre ou de Jupiter, de la prédiction de leurs orbites et des passages futurs à proximité de la Terre, ainsi que de la mesure de leur masse et de leur constitution. Ces éléments sont essentiels pour planifier d'éventuelles missions futures de déflection

de ces objets ou, si cela se révélait impossible, pour déterminer avec plus de précision les points d'impact et leurs conséquences, s'il devait s'avérer qu'impact il y aura.

Le COSPAR est à l'origine d'une rencontre, en juillet 2024, entre plusieurs agences spatiales qui a abouti à un accord afin de coordonner les missions prévues pour observer l'astéroïde (99942) Apophis (désignation provisoire 2004 MN₄), qui passera très près de la Terre en 2029, en deçà de l'orbite géostationnaire où gravitent les satellites de télécommunication et d'observation météorologique – c'est-à-dire à moins de 36 000 kilomètres d'altitude. Cette coordination devrait se poursuivre dans les années à venir au sein du Groupe consultatif de planification des missions spatiales (SMPAG) des Nations Unies, auprès duquel le COSPAR est observateur depuis 2018.



Les grands principes édictés par le traité de l'espace de 1967 induisent, pour la communauté scientifique internationale, la nécessité de définir des procédures à même de préserver la liberté d'effectuer des recherches scientifiques sur la Lune et les autres corps célestes, en particulier dans les aires inexplorées et sur les sites d'intérêt pour la science. En d'autres termes, il convient à tout prix d'assurer dans l'avenir une exploration et une utilisation durables du système solaire et de son environnement.

Ces principes ne tombent toutefois pas sous le sens pour une partie des acteurs du spatial et des décideurs politiques, qui considèrent dorénavant que certains de ces corps, par exemple le pôle Sud et les régions ombragées en permanence de la Lune, voire certains astéroïdes, recèlent avant tout un intérêt d'exploitation commerciale. Il semble alors évident que des conflits d'intérêts apparaîtront pour l'usage de ces zones.

Une partie des acteurs du débat ont donc émis l'idée de définir des « sites spécifiques d'importance scientifique » (*sites of special scientific interest*, SSSI), notamment sur la Lune, à propos desquels des mesures de protection ou

de restriction spéciales pourraient être arrêtées⁶. Face au projet de délimiter de tels sites dans le cadre des Nations Unies et du COPUOS, des voix s'élèvent cependant pour privilégier le recours aux législations nationales ou à des accords dits « bi-multilatéraux » tels que les accords Artemis.

Pourtant, contrairement à une idée reçue, les industriels et les scientifiques ne s'opposent pas nécessairement sur le sujet. La plupart des acteurs industriels du secteur spatial sont désireux de disposer d'un cadre juridique défini, ne serait-ce que pour des questions de limitation de leurs responsabilités et de définition de leurs contraintes dans leur utilisation de l'espace.

Pour l'heure, les lignes directrices pour la protection planétaire publiées par le COSPAR ne traitent, comme on l'a vu, que de la contamination biologique des corps célestes et ne sont pas contraignantes. Elles ne couvrent donc pas tous les aspects réglementaires, juridiques ou opérationnels essentiels aux futures activités lunaires. Parallèlement, de nombreuses propositions visant à réglementer les activités lunaires, ou du moins à définir un code de conduite opérationnel pour les activités à la surface de la Lune, ont été émises.

L'heure est donc aux interrogations : comment définir de nouveaux processus et priorités ? L'ONU doit-elle débattre et adopter un nouveau traité ? Les lois nationales doivent-elles au contraire prévaloir ou ces questions doivent-elles être définies par le biais d'accords bilatéraux ou multilatéraux ? Toutes ces questions sont délicates et nécessiteront du temps pour trouver des points d'accord. Il est pourtant urgent d'y répondre sous peine de se retrouver confronté à un nouveau Far West spatial. ●

⁶ À ce sujet, voir notamment la déclaration conjointe faite en février 2025 à Vienne par le COSPAR, l'IAU, l'IAA et la MVA, lors de la réunion du sous-comité scientifique et technique du COPUOS, www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2025/aac_105c_12025crp/aac_105c_12025crp_18_0_html/AC105_C1_2025_CRP18E.pdf.

► FOCUS

Le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (CUPEEA, ou COPUOS en anglais)

Créé peu après le lancement du premier satellite *Sputnik* par une décision de l'Assemblée générale des Nations Unies, le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (CUPEEA, en anglais Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, COPUOS) est institutionnalisé par la résolution 1472 du 12 décembre 1959.

Composé à l'origine de 24 États membres, il en compte 104 en 2024, ce qui en fait l'un des plus importants comités des Nations Unies, et l'un des plus actifs. L'ensemble de ses membres se rencontre à l'occasion d'une réunion annuelle à Vienne afin de choisir les objectifs et la feuille de route de l'organisation. En outre, plusieurs organisations intergouvernementales et non gouvernementales participent à ses travaux avec un statut d'observateur permanent.

L'un des principaux objectifs du comité, qui comprend deux organes subsidiaires – le sous-comité scientifique et technique et le sous-comité juridique –, est de faciliter et de promouvoir la coopération internationale dans le domaine de l'exploration et de l'utilisation pacifique de l'espace. Dans ce cadre, son action vise à maintenir un contact étroit avec tous les acteurs impliqués dans les activités spatiales et à faciliter l'échange d'informations entre eux.

Son rôle dans l'instauration d'un cadre juridique international relatif aux activités spatiales a été considérable dans les années 1960 et 1970. Tous les traités et accords fondamentaux concernant l'espace actuellement en vigueur ont en effet été rédigés par son sous-comité juridique avant d'être proposés à la signature puis à la ratification des États membres des Nations Unies. Le Bureau des affaires spatiales (BAS) des Nations Unies, qui assure son secrétariat, tient également pour son compte un registre public recensant tous les lancements satellitaires.

Le comité est également à l'origine des conférences mondiales Unispace (United Nations Conference on the Exploration and Peaceful Uses of Outer Space, Conférence des Nations Unies

sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique), destinées à vérifier l'adéquation du cadre juridique régissant les activités spatiales aux évolutions de celles-ci. Ces conférences permettent également aux États membres de suivre les progrès des activités de recherche spatiale et d'envisager leurs retombées, notamment pour les pays en développement ou émergents.

Les recommandations du comité ont notamment conduit à l'adoption d'un programme destiné à faciliter l'utilisation des moyens satellitaires en cas de catastrophes naturelles ou industrielles (programme United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response, UN-Spider). Le comité s'est également saisi de la question des débris spatiaux, en soumettant en 2007 à l'Assemblée générale des Nations Unies les « Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux » – formulées par l'Inter-Agency Space Debris Coordination Committee en 2002 – à l'attention de l'ensemble des acteurs du domaine spatial.

Devant la multiplication des acteurs spatiaux, les enjeux auxquels le comité doit faire face sont de plus en plus nombreux : encadrement du développement des initiatives privées (tourisme spatial), gestion des risques de collision avec des astéroïdes, potentiel usage des ressources lunaires et spatiales dans la lutte contre le réchauffement climatique, protection des corps célestes, intégration des nouveaux acteurs spatiaux, création d'un « Code de la route spatial » afin d'éviter les collisions et interférences... Alors que ces enjeux appellent clairement le développement d'une gouvernance internationale accrue, en raison notamment du développement du NewSpace et de l'apparition de nouvelles rivalités entre puissances pour l'exploration et l'exploitation spatiale, le comité apparaît plus que jamais nécessaire pour l'élaboration de la norme internationale et le développement des coopérations en matière d'activités spatiales.

Questions internationales

« Nous avons aujourd’hui un problème de structure du schéma partisan beaucoup plus qu’un problème institutionnel. Il faut arriver à fluidifier ce système de parti si demain nous voulons arriver à construire des majorités alternatives. »

Benjamin Morel, p. 96



N°445

Disponible à partir
du 16 mai 2025
10,90€ (édition papier)
ainsi qu’aux formats
ePub, PDF et par
abonnement

Le dossier :

- Le Parlement sous la V^e République, entre subordination et retour en grâce
- Le travail des parlementaires : entre permanences et évolutions
- Les pouvoirs de contrôle du Parlement
- Le Parlement européen, une institution en plein essor



Revue disponible par abonnement,
en kiosque, en librairie et sur [Vie-publique.fr](http://vie-publique.fr)

**La Documentation
française**



АПАРТАМЕНТ ОКО
+7495771 7777

La Lune, corps céleste désirable

Une « super Lune » illumine le ciel de Moscou dans la nuit du 30 au 31 août 2023. La super Lune correspond au moment où l'astre est à son point le plus proche de la Terre.

© Mikhail Serbin/Anadolu via AFP

Le retour des « grands programmes d'exploration de corps célestes » : entre vieilles et nouvelles lunes

Alban Guyomarc'h

est doctorant en droit à l'université Paris-III Sorbonne-Nouvelle et au Collège de France, et chercheur associé à la chaire Espace de l'École normale supérieure.

Au cours des années 2010, la Lune a fait son grand retour dans les priorités stratégiques de plusieurs puissances spatiales. Ce regain d'intérêt convoque inévitablement le souvenir du premier pas d'un homme sur la Lune, en 1969, et pourrait inciter à analyser la situation à travers le prisme de la guerre froide. On y verrait alors une nouvelle course au prestige opposant deux superpuissances dans un monde bipolaire, la Chine prenant aisément le rôle de l'URSS face à l'Amérique. Pourtant une telle lecture occulterait des évolutions majeures du secteur spatial en ce début de XXI^e siècle. Il convient donc d'explorer les permanences et les nouveautés – les vieilles lunes et les nouvelles lunes – de la nouvelle course vers notre satellite naturel.

On pensait les grands programmes d'exploration de corps célestes¹ relégués aux archives de la guerre froide – du moins en Occident ; et avec eux les images historiques du premier pas d'un humain sur la Lune, en juillet 1969. Immédiatement après les succès du programme Apollo, les Soviétiques ont déplacé le champ de la compétition à proximité immédiate de

la Terre, ouvrant l'ère des stations spatiales orbitales habitées.

Aux premières, monolithiques, telles *Saliout* (URSS) ou *Skylab* (États-Unis) ont succédé les stations modulaires comme *Mir* (URSS), qui préfiguraient déjà la Station spatiale internationale (ISS) en devenir. Et à mesure que la présence d'astronautes en orbite terrestre se consolidait, l'idée même de réitérer l'exploit d'envoyer des humains vers un corps céleste semblait extravagante, sinon éminemment prospective.

Certes tant la Lune que Mars continuaient à être régulièrement visités par des *rovers* (astro-

¹ Ce modèle présente différentes facettes déterminantes : en particulier des investissements massifs, étroitement liés au choix d'une stratégie axée sur le vol habité, dont le développement suit un calendrier ambitieux, voire exigeant, le tout porté par un discours imprégné de prestige national dans un contexte géopolitique complexe.



mobiles) et des sondes en quête de connaissances nouvelles sur notre système solaire. Mais l'époque semblait bien être à l'exploration robotique des corps célestes et les quelques annonces de programmes habités, notamment américaines, n'étaient à chaque fois que de faux départs rapidement en perte de vitesse. Ce fut le cas, par exemple, des programmes Space Exploration Initiative (1989) et Constellation (2004).

Un nouveau paysage géopolitique

À la fin des années 2010, et à la faveur d'un renforcement perçu des ambitions lunaires chinoises inquiétant les États-Unis, l'Amérique de Donald Trump – qui était alors dans son premier mandat – décida de repartir à l'assaut de notre satellite naturel avec le programme Artemis, consolidé entre 2017 et 2019. L'annonce d'outre-Atlantique offrait un élan nouveau aux programmes lunaires existants et replaçait la Lune au centre de la programma-

↑ Le 23 août 2023 à Chennai (Tamil Nadu), des étudiants célèbrent l'alunissage de la sonde indienne *Chandrayaan 3*, qui fait de l'Inde la quatrième nation à poser un engin spatial sur la Lune. Malgré un budget spatial réduit, l'Inde ambitionne de devenir la grande puissance spatiale du Sud global et prévoit d'envoyer un astronaute indien sur la Lune à l'horizon 2040.

© R. Satish Babu/AFP

tion spatiale, « Artemis [tenant] désormais lieu d'horizon pour de nombreuses agences spatiales à travers le monde² ». Son calendrier, audacieux, annonçait le retour d'un équipage d'astronautes sur la Lune avant la fin de la décennie 2020, et ce afin d'y installer par la suite une base pérenne en expansion durable.

Si l'on s'en tient au discours américain, le programme Artemis reprend pour une large part les discours de l'ère Apollo. Il mêle les caractères de la « destinée manifeste³ », d'une certaine

² Xavier Pasco, *La Ruée vers l'espace. Nouveaux enjeux géopolitiques*, Tallandier, Paris, 2024, p. 174.

³ Soit la conviction américaine remontant au XIX^e siècle selon laquelle les États-Unis auraient pour mission d'étendre leur civilisation vers l'ouest puis, à partir du XX^e siècle, dans le monde entier.

inspiration biblique et d'un positionnement ancré dans l'esprit de la conquête spatiale⁴ – le tout mâtiné d'un « *Make America great again* ». Les références à l'espace, et notamment à Mars, dans le discours d'investiture du 47^e président des États-Unis, en janvier 2025, sont à ce propos éloquentes.

Un intérêt mondial pour la Lune

Au-delà des États-Unis, l'intérêt pour la Lune s'étend mondialement, contrastant avec l'ère Apollo où elle n'était l'apanage que des deux superpuissances. La Lune attire dorénavant aussi bien les grandes puissances que les nations spatiales émergentes, du Nord global – États-Unis, Europe, Japon, Canada – comme du Sud global, avec la Chine et l'Inde en tête, jusqu'au Moyen-Orient.

Parallèlement au programme américain⁵, la Chine a poursuivi son programme Chang'e, lancé au détour des années 2000 et ayant déjà effectué six missions. Deux d'entre elles ont marqué la communauté spatiale : la mission Chang'e 4, qui a atteint la face cachée de la Lune en 2018, et la mission Chang'e 6, qui en a rapporté des échantillons en 2024. Dans les deux cas, la Chine a pu s'appuyer sur des satellites relais à proximité de la Lune, *Queqiao 1* pour la première et *Queqiao 2* pour la seconde. Ces relais, nécessaires à cette destination spécifique, ont témoigné de l'importance d'une présence orbitale locale pour la conduite de missions vers notre satellite naturel.

En 2021, la Chine annonçait s'associer à la Russie dans la construction d'un programme baptisé « ILRS », pour International Lunar Research Station, visant à établir une base sur la Lune au cours de la décennie 2030. À partir de 2023, les deux membres fondateurs ont été

rejoints par onze autres États : le Venezuela, l'Afrique du Sud, l'Azerbaïdjan, le Pakistan, la Biélorussie, l'Égypte, la Thaïlande, le Nicaragua, la Serbie, le Kazakhstan et le Sénégal. Le parallèle avec le programme soviétique Intercosmos saute aux yeux : à l'époque, l'URSS avait fait bénéficier de ses compétences spatiales, notamment dans le domaine du vol habité, des États plus ou moins alignés sur ses positions géopolitiques.

La constitution d'un tel réseau de coopération n'a rien d'anodin, et marque une différence entre l'époque Apollo et les programmes lunaires du XXI^e siècle. Contrairement à leurs prédécesseurs, ces grands programmes d'exploration de corps célestes sont adossés à une stratégie de coopération solide et assumée.

En face de l'ILRS, le programme américain Artemis se fonde sur des coopérations *stricto sensu* avec un ou plusieurs États dans la conduite d'étapes essentielles du programme – à l'instar de la contribution européenne pour la construction du véhicule *Orion*, lancé avec *Artemis 1* en 2023 – et y adjoint un réseau de partenaires qui ne participent pas nécessairement au programme, mais qui sont signataires des « accords Artemis », lancés en 2020.

Pris dans leur dimension essentiellement géopolitique, ces accords permettent de constituer un réseau d'États partageant une vision commune de l'exploration lunaire, et plus largement des corps célestes. En mars 2025, ils comptent plus de 50 pays signataires.

L'Inde aussi est de la partie. Le programme lunaire du pays s'inscrit dans une stratégie spatiale ambitieuse visant à asseoir l'Inde comme une puissance technologique et géopolitique de premier plan. Le succès de la mission *Chandrayaan 3*, en août 2023, et son alunissage réussi près du pôle Sud lunaire illustrent cette montée en puissance. Cette prouesse, faisant de l'Inde la quatrième nation à poser un engin sur la Lune après les États-Unis, la Russie et la Chine, revêt une grande portée symbolique et stratégique. Elle confirme la capacité du pays à mener des missions complexes, malgré des budgets plus modestes que ceux de ses homologues occidentaux.

⁴ Pour une perspective académique et critique sur ces différents aspects, voir parmi les parutions récentes : Mary-Jane Rubenstein, *Astrotopia. The Dangerous Religion of the Corporate Space Race*, The University of Chicago Press, Chicago, 2022 ; Irénée Régnauld et Arnaud Saint-Martin, *Une histoire de la conquête spatiale. Des fusées nazies aux astrocapitalistes du New Space*, La Fabrique Éditions, Paris, 2024 ; Xavier Pasco, *Le Nouvel Âge spatial. De la guerre froide au New Space*, CNRS Éditions, Paris, 2017.

⁵ Et antérieurement au programme Artemis.

L'exploration du pôle Sud lunaire, zone d'intérêt pour ses ressources potentielles en glace d'eau, positionne l'Inde dans la compétition ouverte pour son utilisation future. Ce succès renforce en outre le statut de l'Inde comme partenaire spatial crédible, un message à destination des Occidentaux mais aussi des États du Sud global. Il s'inscrit aussi dans une rivalité implicite avec la Chine, dont le programme lunaire connaît une expansion rapide.

Les États-Unis, la Chine et l'Inde

Car si la rivalité sino-américaine façonne la géopolitique lunaire, un autre facteur clé émerge : la conduite simultanée de deux programmes lunaires par les deux États les plus puissants des BRICS – une évolution qui re-régionalise les enjeux spatiaux. Certes les programmes indien et chinois diffèrent en ambition, et dans une large mesure, en budget comme en état d'avancement, mais la réussite indienne de 2023 est à inscrire dans la perspective plus large, annoncée par les autorités politiques et spatiales du pays, de déposer des astronautes indiens sur la Lune à l'horizon 2040. L'Inde s'est engagée dans un programme visant à acquérir des compétences pour le vol habité avec le développement d'un vaisseau *Gaganyaan* et a sélectionné un premier équipage d'astronautes. Une rivalité pourrait donc émerger à moyen-terme entre ces deux pays au sein du Sud global, avec la Lune pour enjeu.

“
**La Lune réapparaît donc
à l'agenda stratégique
et pourrait constituer l'un
des terrains de compétition
les plus disputés
du XXI^e siècle spatial**
”

Sur la même période 2017-2025, d'autres missions – qui à proprement parler n'appartiennent pas à la catégorie de grands programmes

d'exploration de corps célestes mais plutôt à celle de programmes ponctuels – se sont également dirigées vers la Lune. Elles ont été soit américaines, avec les lancements effectués dans le cadre du programme CLPS (Commercial Lunar Payload Services), soit le fait d'autres pays, avec les opérations de start-up comme ispace Inc., une entreprise implantée au Japon, aux États-Unis et au Luxembourg⁶.

C'est, là aussi, un facteur distinctif par rapport à l'époque Apollo. La nouvelle donne économique et technologique en matière spatiale offre à des organisations privées la possibilité de se lancer à l'assaut de corps célestes – un domaine réservé dans le passé aux seules agences spatiales d'État – pour des coûts de lancement peu élevés s'agissant de missions robotisées (donc plus légères). Le développement de ces missions est soutenu par la puissance publique, mais aussi facilité par la diversification des montages financiers offerte par la vague du NewSpace.

L'Europe spatiale

Parallèlement, de l'autre côté de l'Atlantique, l'Europe spatiale s'interroge sur l'intensification de son engagement concernant la Lune. Avec la conférence ministérielle de l'Agence spatiale européenne (European Space Agency, ESA) prévue en novembre 2025 et le prochain budget pluriannuel de l'Union européenne en ligne de mire⁷, le continent n'est à l'heure actuelle qu'une puissance coopérante en ce domaine. Soit elle fournit une assistance technique à des missions tierces, soit elle collabore directement à des programmes lunaires de partenaires étrangers, et plus particulièrement américains. C'est ainsi que l'ESA fournira des modules à la future station lunaire orbitale, *Lunar*

⁶ Le cas de cette société est emblématique à bien des égards : implantée dans trois juridictions reconnaissant les droits de propriété sur les ressources spatiales, ispace a été la première entreprise à bénéficier de l'attribution d'une licence d'exploration de ressources spatiales au titre de la loi luxembourgeoise de 2017 ; et ce dans le cadre d'une mission objet d'un accord avec la NASA.

⁷ Certes, traditionnellement, c'est davantage dans le champ d'action de l'ESA que se trouvent les programmes d'exploration scientifique de l'espace. Mais le renforcement de la politique spatiale de l'Union européenne incite à prendre en considération le prochain budget pluriannuel de l'Union dans notre réflexion sur les ambitions lunaires.

Gateway – si le projet est maintenu –, et coopère avec le programme *Artemis* pour la construction du vaisseau *Orion* – un vaisseau dont la pérennité est remise en question par l’abandon du *Space Launch System* (voir *infra*).

La Lune réapparaît donc à l’agenda stratégique et pourrait constituer l’un des terrains de compétition les plus disputés du XXI^e siècle spatial. L’on dit « pourrait », car malgré l’enthousiasme ambiant le conditionnel reste de rigueur. Il faut en effet traiter ces annonces avec une forme de prudence, l’histoire spatiale étant ponctuée de ces grands moments d’élan collectif butant contre les murs de la réalité.

D’autant que des incertitudes pèsent déjà sur les programmes en cours. Le calendrier audacieux d’*Artemis* enchaîne les retards et la Chine semble moins précise quant à son calendrier final. Les premiers mois du second mandat de Donald Trump devraient influencer l’architecture du programme spatial américain, alors qu’Elon Musk et SpaceX sont historiquement plus enclins à viser Mars que la Lune. À l’heure où ces lignes sont écrites, la nouvelle feuille de route d’*Artemis* n’est toujours pas annoncée. Pendant ce temps, le *Space Launch System* (utilisé pour *Artemis 1* en 2023) semble bientôt abandonné au profit du lanceur spatial super-lourd entièrement réutilisable *Starship*, de la société SpaceX, qui peine encore à placer son étage supérieur en orbite après huit essais.

Malgré ces incertitudes, et indépendamment, de fait, de leur réussite ou non, cet engouement pour la Lune devrait néanmoins permettre de faire émerger puis de cristalliser certains traits saillants de l’ère spatiale actuelle. Bien qu’*Artémis* soit la sœur d’*Apollo* – au sens mythologique du terme –, que le programme russe *Luna* conserve son nom soviétique et qu’un semblant d’opposition Ouest-Est persiste (qui, en réalité, est bien davantage une opposition Nord-Sud !), la situation actuelle ne reproduit pas la guerre froide spatiale. Il est essentiel de reconnaître un changement dans le paysage stratégique et de ne pas appliquer des schémas du XX^e siècle au XXI^e. Cette évolution touche également un autre domaine clé : le droit de l’espace.

Un nouveau paysage juridique

Un paysage juridique enrichi

Hérité de la guerre froide, demeure un *corpus juris spatialis* formé des cinq traités internationaux consacrés à l’espace : le traité de l’espace de 1967, l’accord sur le retour des astronautes et des objets spatiaux de 1968, la convention sur la responsabilité de 1972, la convention sur l’immatriculation de 1975 et l’accord sur la Lune de 1979 (voir encadré p. 28). Il faut souligner l’exploit constitué par la négociation, en moins d’une vingtaine d’années seulement, de cinq conventions internationales contraignantes dans un domaine alors hautement stratégique. Et l’importance qu’avait alors pour ces puissances devenant spatiales l’élaboration d’un droit international applicable au domaine cosmique. Une estime pour le droit qu’il est bon de rappeler.

Deux traités sont particulièrement pertinents pour les grands programmes d’exploration de corps célestes, à savoir le traité de l’espace et l’accord sur la Lune. Le premier qualifie l’espace extra-atmosphérique, et notamment les corps célestes, d’« espace international », c’est-à-dire soustrait aux territoires des États, frappé d’un principe de non-appropriation et dont l’accès doit demeurer libre (art. I^{er} et II du traité). Le même traité place en outre les activités spatiales nationales sous la responsabilité de l’État approprié, ce dernier immatriculant les objets spatiaux qu’il conserve sous sa juridiction et son contrôle – activités pour lesquels il engage sa responsabilité internationale (art. VI, VII et VIII du traité).

Le second traité, l’accord sur la Lune, qualifie notamment les corps célestes et leurs ressources de « patrimoine commun de l’humanité » (art. 11) – c’est là sa disposition phare. Cette qualification implique à la charge des États de mettre en œuvre un régime d’exploitation en commun de ces ressources, ainsi qu’un partage des bénéfices tirés d’une telle exploitation et plus particulièrement à destination des États en développement. Néanmoins, et à l’inverse du traité de l’espace, l’accord sur la Lune n’a pas

qu'il autorise puis supervise, encore faut-il aménager un régime d'autorisation et de supervision idoine en droit interne⁹.

Un nombre croissant d'États accédant au rang de « nation dotée de capacités spatiales » (*space-faring nation*) se sont armés d'une loi spatiale nationale dès les premières années de leurs programmes spatiaux. Ils sont, d'après le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique des Nations Unies (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, COPUOS), plus d'une trentaine à disposer d'une loi spatiale nationale en 2024. Il convient de noter que l'adoption d'une telle loi constitue ainsi un signal adressé aux acteurs nationaux de la politique spatiale de l'État concerné, tout en lui permettant d'affirmer sa position vis-à-vis des partenaires et concurrents internationaux.

Tant que les lois spatiales nationales se limitaient à traduire les obligations internationales des États dans leurs secteurs respectifs, aucun problème majeur ne surgissait, sinon à la marge. Mais elles évoluent désormais pour toucher de nouveaux domaines juridiques, parfois en rupture avec le cadre existant.

De nombreux États teintent leurs lois spatiales d'une coloration économique, cherchant à créer « un cadre compétitif et sécurisant (*sic*) » pour l'innovation. L'intervention législative des États devient ainsi un moyen de créer un environnement favorable aux secteurs spatiaux nationaux, quitte à sortir des lignes tracées à l'échelle internationale¹⁰.

Alors que par le passé les lois spatiales nationales s'incarnaient en vecteur de la stabilité du droit spatial international, l'instrumentalisation

économique de ces lois peut, à l'inverse, mener à l'instabilité et à l'insécurité du cadre international, par la multiplication d'interprétations potentiellement divergentes de ce qui est permis ou non de faire dans cet espace international particulier qu'est l'espace extra-atmosphérique.

Des stratégies juridiques à fronts multiples

La façon dont les ambitions lunaires ont été traduites dans les arcanes juridiques témoigne d'un renouvellement stratégique pour le droit de l'espace. Profitant de l'élargissement de la gamme instrumentale qui leur est offerte, certains États adossent désormais leurs politiques spatiales à des « stratégies juridiques à fronts multiples¹¹ ». Par cette expression, il est fait référence à la mobilisation parallèle, simultanée et coordonnée des différents champs juridiques à la disposition d'un État – la rencontre, en somme, entre le droit de l'espace et la géopolitique spatiale.

Profitant des articulations parfois complexes entre ces différents champs juridiques, certains États les mettent directement en concurrence. Par exemple, l'élaboration d'une loi spatiale nationale pour imposer au sein de ce même texte une interprétation audacieuse et non consensuelle du droit international existant. Certes juridiquement limitée à l'ordre interne de l'État considéré, une telle interprétation n'en a pas moins un rayonnement international dans un domaine spatial stratégique à l'échelle globale.

La stratégie américaine adoptée pour le droit relatif à l'exploration et à l'utilisation de la Lune peut ainsi être qualifiée de stratégie juridique à fronts multiples¹² en ce qu'elle mobilise le droit interne, le droit international et des champs juridiques hybrides simultanément et de façon apparemment coordonnée. Si nous traitons ici succinctement mais uniquement du cas états-unien, c'est parce qu'il est le plus

⁹ Sans toutefois exiger des États qu'ils se dotent d'une loi spatiale nationale *per se*, ces derniers pouvant tout à fait opter pour d'autres vecteurs normatifs, notamment de droit administratif, pour y procéder. Ce fut le cas de la France jusqu'en 2008. Pour un historique et une analyse complète, voir Philippe Clerc, *Space Law in the European Context. National architecture, legislation and policy in France*, Eleven International Publishing, La Haye, 2018.

¹⁰ Voir Lukas Rass-Masson, « Stratégies étatiques et lois nationales dans le droit international de l'espace », dans Clémentine Bories et Lucien Rapp (dir.), *L'Espace extra-atmosphérique et le Droit international*, Éditions Pedone, Paris, 2021, p. 137-152. Voir aussi Alban Guyomarc'h, « Qu'est-ce qu'une loi spatiale nationale ? », *Revue politique et parlementaire*, n° 1112, octobre-décembre 2024, p. 196203.

¹¹ Formule que nous empruntons à un auteur, énoncée par lui dans un autre contexte : Jean-Sylvestre Bergé, *L'Application du droit national, international et européen*, Dalloz, Paris, 2013, p. 74.

¹² Voir, pour plus de développements, notre analyse dans Alban Guyomarc'h, « Property on space resources: The search for a terminology », *Journal of Law, Market and Innovation*, vol. 2, n° 2, 2023, p. 71-101.

officielles¹³, et notamment auprès du COPUOS et de son nouveau groupe de travail sur l'appropriation des ressources spatiales.

En somme, les États-Unis adossent au programme Artemis une stratégie juridique mobilisant simultanément, parallèlement et de façon cordonnée trois niveaux normatifs distincts, au service de leur interprétation du cadre international en vigueur : le droit interne avec le SPACE Act – et sans doute d'autres textes à venir –, un champ juridique hybride avec les accords Artemis et le droit international en tant que tel au sein des instances onusiennes. C'est là un parangon des stratégies juridiques à fronts multiples en droit de l'espace.



In fine, le changement clé qu'apporterait l'arrivée simultanée sur la Lune de plusieurs puissances spatiales résiderait pour l'essen-

¹³ Nous les qualifions d'officielles afin de les différencier des accords Artemis, qui relèvent d'un champ hybride en raison de leur nature juridique incertaine.

tiel dans la présence matérielle d'un sol, le sol lunaire. Aussi prosaïque et évident que soit le constat, il n'en est pas moins fondamental. Car jusqu'à présent la géopolitique spatiale et le droit de l'espace n'avaient à se préoccuper que d'un phénomène de navigation d'objets – les satellites – dans un espace international tridimensionnel et constitué de vide pour l'essentiel – l'espace extra-atmosphérique. Ces objets étaient en mouvement perpétuel dans un domaine cosmique internationalisé.

La possibilité de s'établir sur un sol en dur, de revendiquer autour de cet établissement une zone de sécurité, ou à tout le moins de non-interférence, fait entrer la géopolitique spatiale et le droit de l'espace dans une nouvelle ère. Au-delà d'un phénomène de navigation, ces matières doivent désormais appréhender un phénomène de contrôle potentiel, une territorialisation extra-atmosphérique de leurs enjeux respectifs. Le tout en maintenant le cadre de coopération et les fins pacifiques idéalistes consacrés dans le domaine cosmique au XX^e siècle. Un défi majeur. ●

→ POUR ALLER PLUS LOIN

Exploiter les ressources de la Lune : un pari sur l'avenir

Délaissée depuis la fin de la compétition entre les États-Unis et l'Union soviétique, au tournant des années 1970, la Lune fait depuis quelques années l'objet d'un fort regain d'intérêt. Avec, cette fois, des ambitions nouvelles : faire de notre satellite un terrain d'exploration pérenne, essentiel au développement et à la maîtrise de nouvelles technologies spatiales, et étendre la sphère de la présence humaine dans l'espace au-delà de l'orbite terrestre. Aux enjeux géopolitiques s'ajoute désormais une course au leadership technologique et commercial. Dans ce contexte, l'exploitation des ressources lunaires est régulièrement mentionnée comme une

brique technologique déterminante, condition de la pérennisation du retour sur la Lune¹.

L'exploitation de l'hélium 3 : un horizon lointain

Parmi les ressources susceptibles d'être exploitées sur notre satellite, l'hélium 3 est sans doute le plus régulièrement invoqué pour justifier l'exploration de la Lune. Isotope léger de l'hélium, quasiment absent

¹ Cf. Christine Lavarde et Vanina Paoli-Gagin, « Rapport d'information fait au nom de la délégation sénatoriale à la prospective sur l'exploitation des ressources spatiales », juin 2023.

sur Terre mais implanté à la surface de la Lune par le vent solaire, il peut servir à produire de l'énergie par fusion nucléaire. L'équivalent énergétique de 100 millions de barils de pétrole pourrait théoriquement être extrait d'une seule tonne d'hélium 3, ce qui le valoriserait à plusieurs milliards de dollars la tonne. Ces données impressionnantes sont toutefois à mettre en regard de la très faible concentration en hélium 3 des roches lunaires, de l'ordre de 0,000002 %, un taux très en deçà des teneurs des gisements exploités sur Terre². Il faudrait donc miner des quantités de roches colossales pour récolter le précieux composé.

Même en supposant que cela soit techniquement réalisable et économiquement viable, l'exploitation de l'hélium 3 ainsi obtenu ne pourrait probablement pas avoir lieu avant le siècle prochain, faute de réacteur nucléaire adapté. En effet, les projets de recherche en cours, comme le réacteur expérimental ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), se concentrent sur la fusion à base de deutérium et de tritium, et leur industrialisation est encore loin d'être acquise. Le développement d'une deuxième voire d'une troisième génération de réacteurs permettant d'exploiter l'hélium 3 lunaire semble donc encore plus lointain³.

En réalité, et malgré la prégnance de cette vision dans les œuvres de fiction qui nourrissent nos imaginaires, rapporter sur Terre des ressources extraites sur la Lune n'est pas l'option la plus intéressante. Cela s'explique par le fait que, en dehors du cas très spécifique de l'hélium 3, les roches lunaires contiennent des éléments déjà présents sur Terre, donc plus faciles et moins coûteux à exploiter directement sur notre planète. C'est pourquoi beaucoup de concepts de recherche se concentrent plutôt sur l'exploitation locale des ressources lunaires, dans le but de répondre aux besoins de l'exploration robotique et humaine tout en limitant le ravitaillement nécessaire en provenance de la Terre. On

parle d'« utilisation des ressources *in situ* » (*in-situ resource utilization*, ISRU).

Les défis de la production d'eau *in situ*

Ainsi, l'eau, dont l'exportation vers la Terre n'aurait aucun intérêt tant elle y est abondante, devient une ressource particulièrement intéressante à exploiter localement, notamment pour l'hydratation des astronautes. Elle permet également de produire, par électrolyse, de l'oxygène, vital, lui aussi, pour les missions habitées, et de l'hydrogène. Ces deux éléments peuvent être utilisés pour ravitailler les engins spatiaux à la surface de la Lune, ce qui autoriserait un emport en ergols – la substance qui fournit l'énergie nécessaire à la propulsion d'un lanceur aéronautique – plus faible au départ de la Terre, de façon à réduire leur masse au lancement ou à embarquer une charge utile plus importante. Certains scénarios de mission habitée vers Mars se fondent ainsi sur l'hypothèse d'un décollage depuis la Lune, où la gravité plus faible facilite les opérations à condition que les ergols soient produits sur place.

Initialement exclue après les premières analyses des échantillons de roches lunaires rapportés par les astronautes du programme Apollo, la présence d'eau sur la Lune est désormais bien attestée, à la fois dans les échantillons de roches, qui ont été réanalysés depuis, et par les observations menées sur Terre et en orbite lunaire. Dans les zones exposées au rayonnement solaire, les quantités d'eau sont toutefois minimes, de l'ordre de 0,01 %, soit cent fois moins que dans le désert du Sahara⁴. L'eau y est déposée par le vent solaire et ne peut se maintenir que dans des particules de verre volcanique ou entre les grains de régolithe⁵. Près des pôles toutefois, dans le fond de certains cratères où la lumière solaire ne pénètre jamais, les conditions permettent à de la glace de se maintenir en plus grande quantité, à des teneurs

² À titre de comparaison, la teneur moyenne des gisements de cuivre exploités dans le monde est de l'ordre de 1 %. Pour les platinoïdes, beaucoup moins abondants, on rencontre typiquement des teneurs comprises entre 0,0005 et 0,05 %, soit 250 à 25 000 fois plus que la teneur en hélium 3 des roches lunaires.

³ Dimitri Chuard, Gregory De Temmerman et Jean-Baptiste Rudelle, « Retourner sur la Lune pour y rester », Zenon Research, Paris, 2021.

⁴ Lin Honglei, Li Shuai *et al.*, « In situ detection of water on the Moon by the Chang'E-5 lander », *Science Advances*, vol. 8, n° 1, janvier 2022, <https://doi.org/10.1126/sciadv.ab19174> ; Casey I. Honniball, Paul G. Lucey *et al.*, « Molecular water detected on the sunlit Moon by SOFIA », *Nature Astronomy*, vol. 5, n° 2, février 2021, p. 121-127, <https://doi.org/10.1038/s41550-020-01222-x>.

⁵ Le régolithe est la couche de roches et de poussières produite par les impacts de météorites qui couvre la surface de la Lune sur une épaisseur de plusieurs mètres.

estimées à quelques points de pourcentage⁶. C'est vers ces régions d'ombre éternelle (ou PSR, pour *permanently shadowed regions*) que se concentre l'essentiel des projets de missions lunaires, en particulier autour du pôle Sud de la Lune.

Pour autant, les défis sont immenses avant d'imaginer produire de l'eau potable ou des ergols utilisables à partir des ressources lunaires. Tout d'abord, une caractérisation plus complète des formes d'eau présentes sur la Lune, de leur abondance et de leur distribution spatiale et temporelle, est nécessaire. Les récentes missions de prospection ne fournissent que des indications sommaires, et des explorations plus poussées, notamment *in situ*, devront être menées.

Par la suite, des efforts considérables de recherche et développement seront requis pour hisser les technologies d'ISRU à un niveau de maturité compatible avec une extraction d'eau en quantité significative, qui plus est dans les conditions particulièrement hostiles de la Lune : absence d'atmosphère, températures extrêmes, niveaux de radiation élevés, poussières abrasives et électrostatiques... Les démonstrateurs actuellement à l'étude ne visent la production que de l'équivalent de quelques grammes d'eau par jour.

À supposer que cet objectif soit atteint, le passage à l'échelle réelle constituerait un sérieux défi, et ce qu'il repose sur des solutions entièrement autonomes, encore inconnues à ce jour, ou sur l'intervention d'astronautes, qui impliquerait des contraintes supplémentaires de sécurité et de fiabilité. Les missions habitées, en particulier, imposent des exigences et des contraintes supplémentaires, tant sur le plan de la sécurité que sur celui de la fiabilité des équipements. Enfin, si la faisabilité technique de la production *in situ* venait à être établie, sa viabilité économique, comparée au ravitaillement au départ de la Terre, resterait à démontrer.

Appétits internationaux

L'ampleur de la tâche ne freine toutefois pas le nombre d'initiatives, qui se multiplient partout dans le monde à la faveur du retour de missions habitées

sur la Lune, prévu par les États-Unis et la Chine d'ici à la fin de la décennie. Du côté étasunien, la NASA, à travers le programme Commercial Lunar Payload Services (CLPS), finance une dizaine de missions robotiques privées, suscitant un essor sans précédent des activités d'exploration lunaire. Deux sociétés privées viennent ainsi d'atteindre la Lune : Intuitive Machines en février 2024, même si la mission n'a été qu'un succès partiel, et Firefly Aerospace en mars 2025. Une seconde mission d'Intuitive Machines, IM-2, qui a échoué début 2025, embarquait plusieurs expériences relatives à la détection d'eau et au forage du sol lunaire.

En tout, une dizaine de missions tenteront de se poser sur la Lune sous trois ans, auxquelles s'ajouteront les vols habités du programme Artemis et d'autres initiatives, comme la sonde *Lunar Trailblazer*, lancée par la NASA en février 2025 pour cartographier la distribution des différentes formes d'eau à la surface de la Lune.

“
**Une dizaine de missions
tenteront de se poser sur
la Lune sous trois ans**
”

Du côté chinois, les recherches sur l'ISRU seront aussi au cœur des prochaines missions. Chang'e 7 et Chang'e 8, prévues respectivement pour 2026 et 2028, auront pour objectif d'explorer les régions d'ombre éternelle du pôle Sud de la Lune à l'aide d'un *rover* et d'un robot capable de se déplacer en marchant ou en utilisant des propulseurs. Elles feront suite aux succès importants remportés par la Chine ces dernières années, dont le premier alunissage sur la face cachée en 2019 et la mission de retour d'échantillons Chang'e 5 en 2020. Un succès que pour sa part l'Inde aimerait reproduire avec la mission *Chandrayaan 4*, annoncée pour 2028, après que le pays est devenu la quatrième puissance qui ait mené à bien un alunissage en posant *Chandrayaan 3* près du pôle Sud de la Lune en 2023.

Quant à l'Agence spatiale européenne (ESA), elle a conçu une foreuse baptisée Prospect avec l'objectif de carotter le régolithe lunaire sur deux mètres de

⁶ Anthony Colaprete, Peter Schulz *et al.*, « Detection of Water in the LCROSS Ejecta Plume », *Science*, vol. 330, n° 6003, octobre 2010, p. 463-468, <https://doi.org/10.1126/science.1186986>.



↑ Déployés sur la Lune dès 1970 puis sur Mars en 1997, les rovers (ou astromobiles) sont des engins d'exploration et de véritables mini-laboratoires mobiles. Ils peuvent prendre des photos, déterminer l'abondance d'un gaz ou prélever des échantillons. Ici, le rover lunaire soviétique *Lunokhod 2*, envoyé sur la Lune lors de la mission Luna 21, a parcouru 37 kilomètres de janvier à juin 1973.

© Steven Hobbs/Novapix/Bridgeman Images via AFP

profondeur. Initialement prévue pour voler à bord de la mission russe Luna 27, l'expérience a dû trouver un autre moyen de rejoindre la Lune après la crise géopolitique déclenchée par l'invasion de l'Ukraine. Elle sera finalement embarquée par la société aérospatiale américaine Intuitive Machines lors de la mission IM-4, annoncée pour 2027.



Le nombre sans précédent de missions lunaires prévues dans les prochaines années devrait permettre de mieux comprendre les réelles possibilités d'utilisation des ressources *in situ* de la Lune. Si cet engouement garantit *a minima* d'approfondir la connaissance de notre satellite, il n'est pas certain

qu'il aboutisse à l'utilisation des ressources autrement qu'à très petite échelle avec des démonstrateurs expérimentaux. Cela ne condamnerait pas pour autant toute ambition d'installation pérenne sur la Lune, puisque la baisse spectaculaire des coûts de lancement due notamment à SpaceX pourrait rendre plus compétitifs les ravitaillements en provenance de la Terre et remettre ainsi en question la nécessité de l'utilisation des ressources *in situ*.

Quoi qu'il en soit, à l'heure où les États-Unis promeuvent une interprétation du droit spatial favorable à l'exploitation commerciale des ressources des corps célestes, s'interroger sur l'utilisation des ressources *in situ*, sa faisabilité technique, sa viabilité économique, mais aussi ses implications juridiques, géopolitiques et éthiques, apparaît plus que jamais comme une question cruciale pour l'avenir de l'exploration spatiale.

Dimitri Chuard

Astrophysicien, chargé d'enseignement et de recherche en prospective à Mines Paris - PSL.

Missions et programmes lunaires : entre compétition technologique et rivalité stratégique

**Florence
Gaillard-Sborowsky**

est maître de recherche à la
Fondation pour la recherche
stratégique (FRS).

Amorcée à la fin des années 1950 avec les missions des programmes soviétique Luna et américain Apollo, l'exploration de la Lune, après plusieurs décennies de relatif désintérêt, est redevenue un enjeu majeur à partir des années 2010. Les missions lunaires en projet, en développement ou en cours se multiplient¹. Selon Bryce Tech, l'une des principales sociétés de conseil dans le secteur spatial, jusqu'à 155 missions robotiques et humaines seraient ainsi prévues d'ici à 2033². L'émergence d'une base industrielle pour les activités lunaires s'accompagne d'un développement et d'une diversification très rapides de l'écosystème industriel soutenant l'exploration et l'exploitation de la Lune³.

Ce nouvel attrait pour la Lune s'inscrit dans le cadre plus global d'un changement dans la manière de penser l'espace. D'un espace « utile » favorisant le développement d'applications à finalités terrestres tant civiles que militaires – télécommunications, observation, navigation, etc. – l'espace devient lui-même un théâtre

d'opérations. De nouvelles modalités d'occupation, comme les services fournis en orbite, la fabrication d'objets ou l'établissement d'une présence humaine plus pérenne, sont désormais explorées. Elles vont nécessiter des ressources que l'on veut pouvoir extraire et exploiter *in situ*. À ce titre, la Lune présente des caractéristiques qui semblent lui conférer une valeur économique et stratégique particulière, au point que certains

¹ Pour une veille des missions actives et futures, voir www.planetary.org/space-missions/every-moon-mission.

² www.weforum.org/stories/2024/07/sustainable-space-exploration-path-forward/

³ <https://brycetechnology.com/reports/report-documents/emerging-industrial-base-lunar-2024/>

⁴ Florence Gaillard-Sborowsky, « Nouveaux enjeux de sécurité spatiale », *L'Espace politique*, n°s 51-52, 2023-2024, mis en ligne le 1^{er} septembre 2024, <http://journals.openedition.org/espacepolitique/12451>.



parlent du système Terre-Lune comme d'une future banlieue industrielle⁴.

“
La Lune présente des caractéristiques qui semblent lui conférer une valeur économique et stratégique particulière, au point que certains parlent du système Terre-Lune comme d'une future banlieue industrielle
 ”

Relativement proche de la Terre, avec un trajet de quelques jours et peu de délais dans les transmissions de commande des robots, dotée d'une faible gravité – ce qui limite les dépenses d'énergie –, la Lune recèlerait surtout des quantités substantielles d'eau, sous forme de glace, notamment dans les régions ombragées en permanence, situées près des pôles lunaires. L'eau est actuellement au centre des efforts de recherche et de développement, car il s'agit d'un élément nécessaire à l'établissement d'habitats humains sur le

↑ Le lanceur spatial super-lourd américain SLS, qui servira à placer le vaisseau Orion transportant l'équipage sur une trajectoire à destination de la Lune lors de la mission Artemis II prévue pour le début 2026, est en cours d'assemblage au Centre spatial Kennedy. © Paul Hennessy/Anadolu via AFP

satellite, mais aussi parce que ses constituants, l'hydrogène et l'oxygène, servent de comburant. D'autres ressources – régolithe, hélium 3, métaux, etc. – ont été également identifiées lors des différentes missions d'exploration⁵.

Lieu d'exploration, de découverte et d'étude, la Lune devient dès lors le site possible d'une exploitation qui vise trois grands objectifs : continuer à découvrir et à explorer notre satellite naturel ; y installer une base de recherche et de préparation afin de faciliter l'exploration de l'espace lointain – ravitaillement en propergol, lieu d'entraînement, production de consommables nécessaires à la vie humaine ; enfin,

⁵ Par exemple, diverses missions lunaires américaines et soviétiques des années 1960, telles que Ranger, Lunar Orbiter et Surveyor, ont contribué à l'exploration du sol lunaire. La Chine, avec le programme Chang'e, est devenue le troisième pays à rapporter des échantillons lunaires en 2020 (*Chang'e 5*). D'autres puissances spatiales – Europe, Japon, Inde – lancent également des sondes spatiales d'exploration lunaire : *SMART 1* en 2004, *Kaguya* en 2007 et *Chandrayaan 1* en 2008. De plus, le programme américain relance l'étude de la Lune avec les sondes *Lunar Reconnaissance Orbiter* en 2009 et *GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory)* en 2012.

Tableau comparatif des programmes Artemis et ILRS

	Artemis (États-Unis)	ILRS (Chine-Russie)	Différences clés et commentaires
Objectifs généraux			
Objectif principal	Retourner sur la Lune avec des astronautes et établir une présence humaine durable.	Développer une base lunaire robotisée.	ILRS : approche progressive (d'abord une station robotique, puis des missions habitées), alors qu'Artemis vise une présence humaine plus rapide.
Vision à long terme	Exploitation des ressources lunaires et préparation des missions martiennes.	Perspective d'une présence humaine ultérieure sur la Lune, préparation d'une mission habitée sur Mars ¹ .	Vision économique et commerciale (États-Unis) : développement de l'économie cislunaire. Vision scientifique (Chine) : activités de recherche scientifique polyvalentes, notamment l'exploration et l'utilisation de la Lune, observation depuis la Lune, expériences de recherche et de développement technologique ² .
Gouvernance et coopération internationales			
Partenaires	« Multilatéralisme ³ » : Programme Artemis : États-Unis (NASA), Europe (ESA), Japon (JAXA), Canada (ASC) et Émirats arabes unis (UAESA). L'adhésion au programme Artemis implique la signature d'un accord bilatéral distinct avec la NASA qui décrit les contributions qu'un partenaire Artemis apportera et les avantages qu'il obtiendra en retour ⁵ .	13 pays signataires : Chine, Russie, Venezuela, Afrique du Sud, Azerbaïdjan, Pakistan, Biélorussie, Égypte, Thaïlande, Nicaragua, Serbie, Kazakhstan et Sénégal. Accords aussi avec des acteurs privés : Orbital Space (Émirats arabes unis) et Spacetalk SA (Suisse).	Statut des pays signataires du programme ILRS : Chine et Russie sont officiellement coleaders ⁴ , alors qu'Artemis se définit par le caractère unilatéral des décisions programmatiques (architecture globale, calendrier, assignation des participations), qui n'en fait pas un authentique programme multinational.
Cadre juridique	Fondé sur les accords Artemis (règles sur l'exploitation et la coopération spatiale), la NASA et le département d'État américain sont les coresponsables des accords Artemis. On compte 53 pays signataires par accords bilatéraux ⁶ des accords Artemis.	Fondé sur une approche différente, critique envers les accords Artemis et plus proche du traité de l'espace de 1967 Cf. « International Lunar Research Station (ILRS). Guide for Partnership ». En 2023 est annoncée la création d'une International Lunar Research Station Cooperation Organization (ILRSCO) qui s'occupera des aspects coopératifs du programme.	Artemis fonctionne comme une coalition sous autorité américaine, avec un cadre réglementaire (les accords Artemis) parallèle, extérieur au droit international de l'espace. ILRS prône une option alternative à ce modèle, critique le cadre juridique d'Artemis, notamment quant à l'exploitation commerciale des ressources lunaires, souhaite une réglementation internationale sous l'égide de l'ONU.

¹ « China outlines blueprint for International Lunar Research Station », Xinhua, 6 septembre 2024, http://english.scio.gov.cn/international-exchanges/2024-09/06/content_117411749.html.

² « International Lunar Research Station (ILRS). Guide for Partnership », CNSA, juin 2021, www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812150/content.html.

³ Jean Charest, « Multilatéralisme. Multi/bilateralism », in Charlie Mballa et Nelson Michaud (dir.), *La Politique étrangère contemporaine en bons termes. Guide lexical*, Presses de l'Université du Québec, 1^{re} éd., Québec, 2016, p. 67.

⁴ <https://swfound.org/lunar-space-cooperation-initiatives/>

⁵ *Ibid.*

⁶ <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dFNVSQeTto4DiDH9u2ds4ZAjzGje2Z0-XSiWyiPc8lo/edit?gid=0#gid=0>

	Artemis (États-Unis)	ILRS (Chine-Russie)	Différences clés et commentaires
Infrastructure et approche technologique			
Base lunaire	Artemis Base Camp, au pôle Sud lunaire.	Une base robotisée qui évoluera vers une base habitée près du pôle Sud également.	Des tensions sont possibles, car l'emplacement et le nombre des sites d'alunissage sont limités par les lois de la physique et des raisons morphologiques. En outre, l'intensification des activités robotiques et humaines sur la Lune devrait encore réduire le nombre de sites disponibles. Des régions telles que le pôle Sud devraient être les zones les plus occupées, non seulement pour l'alunissage mais aussi pour la conduite de différentes activités lunaires. Il existe aussi des controverses au sujet des zones de sécurité prévues dans la section 11 des accords Artemis ⁷ .
Infrastructure en orbite lunaire	<i>Lunar Gateway</i> : station en orbite cislunaire servant de relais.	Un ensemble d'installations de recherche complexes qui seront construites à la surface et/ou en orbite de la Lune ⁸ .	
Transport	<i>Space Launch System + Orion + Starship HLS</i> (SpaceX) pour un vol habité.	Fusées <i>Longue Marche</i> nouvelle génération + modules robotiques <i>Chang'e + Luna</i> russe. « Des stations de ravitaillement en orbite et à la surface de la Lune, un lanceur, un orbiteur, un véhicule d'alunissage et de décollage, ainsi qu'une capsule de retour sont en cours de développement pour assurer le transport Terre-Lune ⁹ . »	Le transport des astronautes vers Artemis dépend du <i>Space Launch System</i> (SLS) et de <i>Starship</i> , tandis que la Chine développe une nouvelle génération de fusées lourdes <i>Longue Marche</i> . On ne sait pas quel serait le rôle des lanceurs russes.
Exploration robotique et missions préparatoires			
Missions robotiques	CLPS (Commercial Lunar Payload Services).	<i>Chang'e 6, 7 et 8</i> pour préparer l'ILRS.	Artemis s'appuie sur le secteur privé (CLPS) pour envoyer des charges utiles sur la Lune, tandis que l'ILRS repose principalement sur des missions de la CNSA.
Début des activités robotiques	En 2024 avec les sociétés Astrobotic (<i>Peregrine 1</i> , échec) et Intuitive Machines (<i>Nova-C</i> , mission IM-1). Un deuxième atterrisseur <i>Nova-C</i> , de la mission IM-2 ou Athena, a été lancé le 27 février 2025 et un troisième atterrisseur <i>Nova-C</i> , de la mission IM-3, est prévu en octobre 2025.	2026-2028 avec <i>Chang'e 7 et 8</i> .	

⁷ Maria Vittoria Prest et Piero Messina, «The Next Moon Race. An evolving legal and political framework», in *Routledge Handbook of Space Policy*, Londres et New York, 2024, chap. 18, p. 344.

⁸ *Ibid.*, <https://swfound.org/lunar-space-cooperation-initiatives/>

⁹ *Ibid.*, www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812150/content.html.

	Artemis (États-Unis)	ILRS (Chine-Russie)	Différences clés et commentaires
Présence humaine et échéances			
Premier retour humain sur la Lune	En 2026 avec <i>Artemis III</i> .	Le programme habité d'exploration lunaire sera planifié et mis en œuvre entre 2028 et 2035.	
Déploiement de la base lunaire	Premiers modules habités à partir de 2030.	Base lunaire : un modèle basique à construire d'ici 2035 et un modèle étendu à construire d'ici 2050 environ ¹⁰ .	
Approche de l'exploitation des ressources			
Exploitation de ressources lunaires	Fondée sur les accords Artemis, favorisant l'exploitation commerciale (minage d'eau, utilisation des ressources <i>in situ</i> [ISRU]).	Recherche scientifique sur l'utilisation des ressources avant exploitation éventuelle.	Les États-Unis souhaitent encourager les entreprises privées à exploiter les ressources lunaires, tandis que la Chine et la Russie adoptent une approche plus progressive et étatique. Le cadre légal d'Artemis est controversé, car il pourrait ouvrir la porte à une forme d'appropriation contraire au traité de l'espace de 1967.
Aspects juridiques	Chaque pays signataire des accords Artemis peut exploiter des ressources lunaires.	L'utilisation des ressources spatiales est autorisée mais doit être menée conformément au traité de l'espace de 1967. Position moins claire mais plus restrictive sur la privatisation des ressources ¹¹ .	

¹⁰ www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2023/TPs/ILRS_presentation20230529_.pdf ; *ibid.*, http://english.scio.gov.cn/international/exchanges/2024-09/06/content_117411749.html

¹¹ www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/lsc/space-resources/LSC2024/English_Chinas_submission_to_the_working_group_on_space_resources.pdf

soutenir le développement d'une économie et d'une commercialisation de l'espace cislunaire⁶, objectif affiché notamment par les États-Unis. L'ancien administrateur de la NASA Mike Griffin l'a ainsi exprimé : « La question de la vision de l'exploration spatiale se résume

à savoir si nous voulons incorporer le système solaire dans notre sphère économique ou non⁷. »

La Lune et l'espace cislunaire représentent dans ce contexte des enjeux qui attise les convoitises des grandes puissances avec la crainte que certains pays s'accaparent ces ressources, alors même qu'aucun cadre juridique international n'autorise une appropriation territoriale. Parallèlement, de nouveaux acteurs se manifestent sur la scène de l'exploration spatiale, comme le Pakistan, qui a lancé en 2024 le satellite lunaire *iCube Qamar* en collaboration avec la mission chinoise Chang'e 6, ou encore la Turquie, dont la

⁶ Les États-Unis définissent l'espace cislunaire comme « le volume tridimensionnel de l'espace au-delà de l'orbite géosynchrone de la Terre qui est principalement sous l'influence gravitationnelle de la Terre et/ou de la Lune. L'espace cislunaire comprend les régions des points de Lagrange Terre-Lune, les trajectoires utilisant ces régions et la surface lunaire », in « National Cislunar Science & Technology Strategy », Executive Office of the President of the United States, novembre 2022, <https://newspaceconomy.ca/wp-content/uploads/2022/11/11-2022-nstc-national-cislunar-st-strategy.pdf>.

⁷ Giuseppe Reibaldi et Chris Bosquillon, « Where are we on the journey to a lunar economy ? », *SpaceNews*, 12 mars 2025, <https://spacenews.com/where-are-we-on-the-journey-to-a-lunar-economy/>.

première mission lunaire Ayap 1 est prévue pour 2026. La notion de compétition pour la Lune est alors souvent mise en avant dans les discours politiques, médiatiques et stratégiques, mais il importe de s'interroger sur sa pertinence⁸.

Les différentes modalités de l'exploration lunaire

Un paysage contrasté se dégage de l'étude des missions lunaires actuelles et futures. Les différents programmes envisagés se révèlent être des indicateurs probants des différentes ambitions nationales. Dans ce cadre, l'émergence de « petits » pays, qui, malgré certains amalgames médiatiques, ne peuvent être qualifiés de puissances spatiales⁹, révèle moins une dynamique de compétition interétatique qu'une volonté d'apparaître comme un acteur en capitalisant sur l'image de modernité et le prestige qu'apporte l'exploration spatiale. L'apprentissage technologique qui en découle, associé au symbole majeur d'une présence sur la Lune, satisfait dès lors à moindre coût l'ambition d'une image de puissance sur la scène régionale ou internationale.

Tel est le cas par exemple du Mexique, qui a participé à la mission Peregrine 1, un atterrisseur lunaire développé par l'entreprise américaine Astrobotic Technology, dans le cadre du programme Commercial Lunar Payload Services (CLPS) de la NASA. L'Agence spatiale mexicaine a construit cinq petits robots Colmena (« ruche » en français), pesant moins de 60 grammes et mesurant 12 centimètres de diamètre, qui devaient être catapultés sur la surface lunaire. La mission a toutefois échoué en janvier 2024.

Mais les activités lunaires restent avant tout le fait des grandes puissances spatiales, les États-Unis, la Chine et la Russie, dans une moindre mesure de l'Union européenne, de l'Inde et du Japon. L'Agence spatiale indienne

ISRO (Indian Space Research Organisation) développe des missions robotiques ambitieuses dans le cadre du programme Chandrayaan. La première sonde indienne en orbite lunaire, *Chandrayaan 1*, a découvert en 2008 la présence d'eau sous forme de glace aux pôles lunaires. En 2019, *Chandrayaan 2* comprenait un orbiteur, un atterrisseur (*Vikram*) et un rover (*Pragyan*). L'atterrisseur s'est écrasé sur la Lune, mais l'orbiteur fonctionne encore. Enfin, en 2023, *Chandrayaan 3* a été une réussite, grâce à l'atterrisseur *Vikram* et au rover *Pragyan*, qui ont exploré la région du pôle Sud lunaire. En 2023 toujours, l'Inde a signé les accords Artemis, ce qui pourrait lui ouvrir la voie d'une participation future au programme américain.

L'Agence spatiale européenne (European Space Agency, ESA) contribue pour sa part à plusieurs missions dans le cadre du programme Artemis piloté par les États-Unis, comme la construction du module de service pour le vaisseau spatial *Orion*, lancé lors de la mission Artemis I (2022), ou de *Lunar I-Hab* qui pourrait être lancé en 2027, un module habitable de la station *Lunar Gateway*, qui pourrait être placé en orbite lunaire en 2028. Parallèlement, le projet Argonaut – un atterrisseur lunaire qui devrait être prêt en 2030 – pourrait être un complément indépendant du programme Artemis, offrant notamment des services de livraison d'équipement d'une capacité de 1 500 à 1 800 kilogrammes pour du fret, des infrastructures et des instruments scientifiques à la surface de la Lune¹⁰. Enfin, en 2015, l'ESA dévoilait un projet de village lunaire (le Moon Village), une base humaine ou robotique permanente sur la Lune, dans le cadre d'une coopération internationale qui reste toutefois actuellement à l'état de concept.

Le Japon a, quant à lui, développé plusieurs missions robotiques comme Kaguya (anciennement Selene) en 2007, une mission de cartographie de la Lune en haute résolution ou encore SLIM (Smart Lander for Investigating Moon) en

⁸ C'est le cas de la récente publication de Clayton Swope et Louis Gleason, « Salmon Swimming Upstream: Charting a Course in Cislunar Space », Center for Strategic and International Studies (CSIS), octobre 2024.

⁹ Voir à ce sujet l'article d'Isabelle Sourbès-Verger dans le présent dossier.

¹⁰ www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Argonaut. La société Thales devrait livrer *Argonaut* en 2030, ouvrant ainsi la voie au lancement de la première mission opérationnelle de l'atterrisseur *ArgoNET* en 2031, <https://europeanspaceflight.com/esa-awards-thales-alenia-space-e862m-argonaut-moon-lander-contract/>.

2024, qui a réussi un alunissage de haute précision, ce qui constitue un véritable tour de force technologique. Le Japon est également un partenaire important du programme Artemis.

Actuellement, les États-Unis et la Chine se positionnent comme les deux grandes puissances spatiales, avec des ambitions lunaires distinctes mais parfois perçues comme concurrentielles, essentiellement d'ailleurs du fait des experts américains qui mettent en avant une menace chinoise devenue quasiment une doxa. Chaque avancée chinoise est interprétée comme une volonté de contestation des capacités américaines. L'annonce, en 2021, du programme sino-russe de coopération internationale, International Lunar Research Station (ILRS), a été analysée en ce sens et considérée par les États-Unis comme une réponse à leur propre programme d'exploration lunaire à vocation multilatérale, Artemis (voir tableau comparatif p. 104-106).

Une compétition pour la Lune ou des modèles d'exploration divergents ?

La situation se caractérise cependant par une asymétrie avérée des capacités spatiales. Les États-Unis disposent d'une réelle avance technologique et opérationnelle grâce à l'expérience d'Apollo, au dynamisme du secteur privé (SpaceX, Blue Origin) ou à la collaboration avec l'ESA, le Japon et d'autres partenaires. La Chine, bien que très avancée, reste en phase de rattrapage, avec une approche plus progressive – misant d'abord sur la robotisation, puis des vols habités. Elle entend s'appuyer sur l'expertise de la Russie dans un jeu gagnant-gagnant pour une Russie en difficulté dans ses programmes d'exploration.

Les États-Unis dominent largement le secteur de l'exploration lunaire, que ce soit par le nombre de programmes ou en termes de budget. Sur 11 milliards de dollars consacrés en 2023 au financement des programmes d'exploration lunaire, 8,5 étaient états-unis¹¹. Les prévisions

indiquent que les investissements mondiaux d'ici 2032 devraient atteindre près de 17 milliards.

Par ailleurs, ces deux grands programmes ont des objectifs bien différents : Artemis vise une présence humaine rapide et une exploitation des ressources, tandis que l'ILRS privilégie une approche robotisée et scientifique avant d'envoyer des astronautes sur la Lune. Leurs mises en œuvre respectives soulignent également une vraie différence d'approche. L'ILRS est un programme aux objectifs scientifiques clairement établis, dirigé par des institutions étatiques chinoises et russes. La China National Space Administration (CNSA) pilote le projet, la CASIC et la CASC – entreprises publiques chinoises – sont responsables de la conception des lanceurs et des infrastructures spatiales, l'agence spatiale russe, Roscosmos, est le partenaire officiel qui contribue notamment aux missions Luna 25, 26 et 27¹². La démarche s'inscrit dans la tradition chinoise d'un modèle spatial centralisé et contrôlé par l'État, avec un rôle dominant des entreprises publiques.

“
Les États-Unis dominent largement le secteur de l'exploration lunaire, que ce soit par le nombre de programmes ou en termes de budget
”

Le programme Artemis vise *a contrario* des objectifs stratégiques, promeut la notion d'« économie spatiale » et repose de fait sur une solide implication du secteur privé. Même si actuellement l'activité lunaire et cislunaire est presque exclusivement soutenue par les dépenses publiques, Artemis illustre les nouvelles logiques industrielles et spatiales adoptées par les États-Unis. Le but est de soulager l'État de la charge d'un financement exclusif de l'industrie, en stimulant des marchés nouveaux et potentiel-

¹¹ https://nova.space/hub/wp-content/uploads/2024/05/SPX_2023_Extract.pdf?t=664f4b73ce35a

¹² www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2023/TPs/ILRS_presentation20230529_.pdf

lement lucratifs dans le domaine du spatial. La perspective de gains économiques futurs, portée par la puissance publique pour stimuler la participation privée, a été particulièrement mise en avant dans le secteur des ressources spatiales¹³ et s'est concrétisée avec la promulgation du Commercial Space Launch Competitiveness Act de 2015¹⁴.

Perçu comme un passage en force par le reste du monde, ce texte donne aux entreprises américaines le droit d'exploiter commercialement « des ressources liées aux astéroïdes ou plus généralement d'origine spatiale, incluant la possession, la propriété, le transport et le droit de vente [de ces ressources] en accord avec les textes applicables, y compris les obligations internationales des États-Unis¹⁵ ».

Dès lors, il s'agit moins d'une compétition entre puissances cherchant à atteindre la Lune en premier, comme à l'époque de la guerre froide, mais plutôt d'une divergence d'approches sur le long terme. Deux visions de la présence humaine sur la Lune s'opposent à travers ces deux programmes, avec des modèles de coopération mais surtout de gouvernance qui semblent assez divergents.

¹³ Les perspectives telles qu'elles sont présentées sont effectivement vertigineuses. Asterank, un site internet qui maintient une base de données sur plus de 600 000 astéroïdes, en calculant leur profit et retour sur investissement potentiel, en répertorie plus de 900 d'une valeur supérieure à 1 trillion de dollars, dont près d'une centaine dont le profit estimé est supérieur à 100 trillions de dollars. www.asterank.com/.

¹⁴ www.congress.gov/114/plaws/publ90/PLAW-114publ90.pdf

¹⁵ *Ibid.*, titre IV, § 51303.

Certes il existe des similitudes entre les activités prévues dans le cadre d'Artemis et celles programmées par l'ILRS – installations permanentes, extraction et utilisation de l'eau lunaire et des ressources minérales, et fabrication sur la surface lunaire –, mais les principes de la coopération diffèrent. Si la Chine ne semble pas remettre en question la licéité de l'exploitation des ressources lunaires, elle souhaite la construction d'un cadre réglementaire international érigé par les instances de l'ONU chargées du spatial (dont le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, acronyme anglais COPUOS), alors que les États-Unis ont élaboré des accords spécifiques en dehors de toute enceinte internationale.

Favorisant la mise aux oubliettes de l'Accord régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes (« accord sur la Lune » de 1979), ces accords ouverts à tous et signés à ce jour par plus d'une cinquantaine de pays définissent des règles d'occupation et d'exploitation de la Lune qui visent à transformer le cadre légal et diplomatique des activités spatiales mondiales. La Chine et la Russie cherchent, quant à elles, à proposer un modèle différent.

À ce titre, la Lune devient un avant-poste pour les ambitions des grandes puissances en matière d'organisation de l'ordre spatial mondial et, ce faisant, reflète une évolution vers une fragmentation fort éloignée de l'esprit des années 1970, qui voyait s'élaborer un droit international de l'espace soumis désormais aux coups de boutoir d'initiatives nationales qui se multiplient. ●

→ POUR ALLER PLUS LOIN

La Lune à l'origine de projets singuliers

Depuis l'exploit du premier pas de Neil Armstrong sur la Lune en 1969, notre satellite naturel se trouve au cœur de convoitises et objet de nombreux fantasmes, qui ont donné naissance à une multitude de projets scientifiques, ambitieux et bien avancés pour certains, qui paraissent davantage utopiques voire « lunaires » pour d'autres.

Wi-Fi

En parallèle de la mission Artemis, la NASA travaille sur le projet de développement d'un réseau Wi-Fi sur la Lune afin de faciliter la communication des astronautes en mission avec leurs robots, la station spatiale en orbite et la Terre. Des acteurs privés tels que Nokia se sont aussi emparés du sujet, avec pour objectif de déployer un réseau 4G/LTE sur la Lune. Au-delà de leur contribution aux futures missions spatiales, ces initiatives pourraient également remédier aux inégalités numériques sur Terre, en couvrant les zones les plus reculées du monde que les satellites ne parviennent pas à atteindre¹.

Data centers

Afin de répondre aux besoins croissants en matière de stockage, de nombreux projets visant à implanter des entrepôts de données sur la Lune ont vu le jour². Ce déploiement extraterrestre constituerait un gage de sécurité, puisqu'il pourrait préserver les centres de données d'actions humaines malveillantes et de catastrophes terrestres naturelles. La Lune constitue en outre un environnement idéal pour l'installation de telles infrastructures, très énergivores sur Terre, notamment lors du refroidissement des données, qui représente 50 % de la consommation électrique d'un data center. Or, en associant une gestion efficace des températures lunaires (qui varie de 140 °C le jour à - 170 °C la nuit, et jusqu'à - 240 °C dans les zones

les plus froides) à une production d'énergie solaire optimale sur le sol lunaire, ces coûts pourraient être largement amortis³.

Œuvres d'art

La Lune a également été envisagée comme un lieu d'archivage culturel et anthropologique de l'humanité, où seraient envoyés les messages et les créations artistiques témoignant de la présence de l'espèce humaine si celle-ci venait à disparaître. Le projet Lunar Codex, mené conjointement par le collectionneur d'art américain Samuel Peralta et la NASA, prévoit de numériser 30 000 œuvres d'art issues de tous les continents du monde, puis de les envoyer dans des capsules afin de créer un musée numérique sur la Lune⁴.

Pisciculture

Le programme Lunar Hatch, porté par l'Ifremer, travaille au développement de la pisciculture au-delà des frontières terrestres. Le projet consisterait à envoyer dans l'espace des œufs de poisson fécondés et à les faire éclore en condition de microgravité. Les expérimentations ont démontré que les œufs de bar sont suffisamment résistants pour supporter les contraintes liées au voyage spatial et à l'absence de pesanteur. À terme, l'objectif est de fournir ces ressources riches en protéines aux astronautes de l'Agence spatiale européenne sur la future base lunaire⁵.

Conservation d'échantillons biologiques sur la Lune

Des chercheurs de l'université du Minnesota souhaitent tirer parti des températures lunaires extrêmement basses pour en faire un lieu de stockage d'échantillons biologiques. Ce projet ambitieux vise à garantir la préservation de la biodiversité de la Terre en stockant des cellules animales et autres matériaux

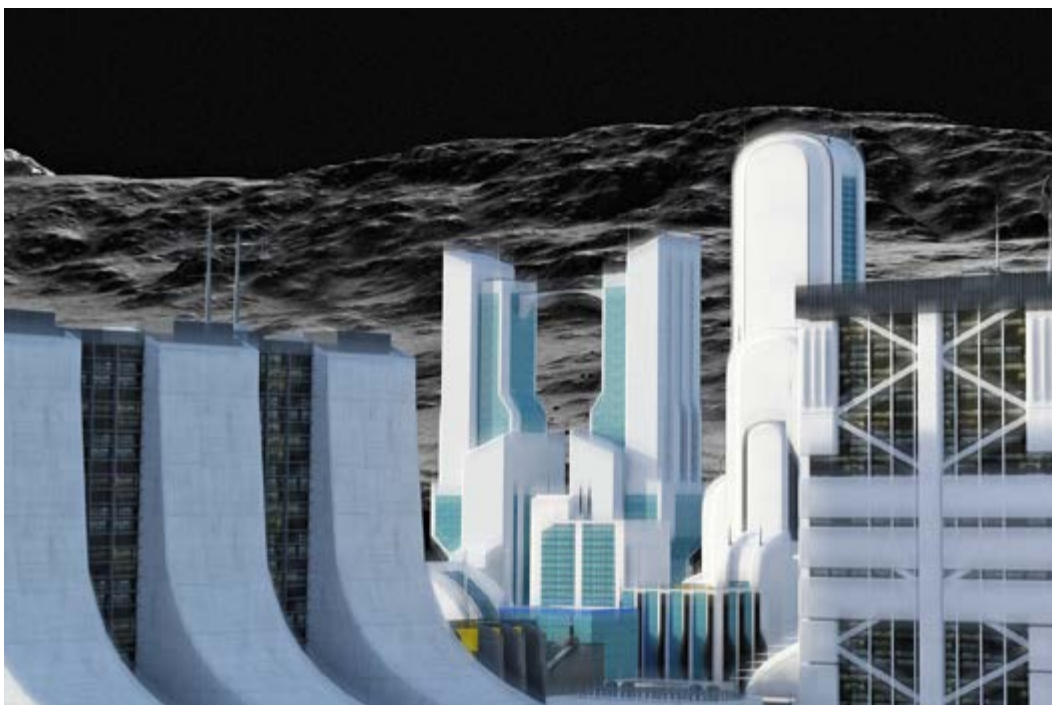
¹ Cf. www.nasa.gov/humans-in-space/using-the-moon-to-address-earths-digital-inequality/.

² Cf. www.science-et-vie.com/technos-et-futur/cette-entre-prise-souhaite-planter-un-data-center-sur-la-lune-mais-dans-quel-but-189672.html.

³ Cf. <https://pointgphone.com/lune-lonestar-lance-premier-centre-donnees-74042/>.

⁴ Cf. www.lunarcodex.com/.

⁵ Cf. www.ifremer.fr/sites/default/files/2023-10/cp_lunar_hatch_09102023.pdf.



↑ Représentation imaginaire d'un complexe hôtelier sur la Lune.

© Victor Habbick visions/Science Photo Library via AFP

biologiques dans un environnement stable et isolé. Dans les cratères ombragés de la Lune, les températures peuvent atteindre des niveaux suffisamment bas pour permettre la cryopréservation de la matière sans nécessiter ni électricité ni azote liquide⁶.

Habitation lunaire

L'artiste et technicien suédois Mikael Genberg ambitionne d'installer sur la Lune la première habitation (*Moonhouse*), une maisonnette rouge aux dimensions miniatures, construite par imprimante 3D dans un métal léger suffisamment résistant pour s'adapter aux températures lunaires. Après deux décennies de recherches, son projet s'apprête à devenir réalité : depuis janvier 2025, une maquette de *Moonhouse* se trouve à bord de l'atterrisseur *Hakuto-R*, fourni par la start-up japonaise IncSpace. Elle pourrait être déposée sur la Lune en 2025⁷.

⁶ Cf. <https://twin-cities.umn.edu/news-events/scientists-propose-plan-store-bio-samples-moon>.

⁷ Cf. <https://themoonhouse.se/>.

Au-delà de la Lune : biotechnologies et industrie pharmaceutique

L'apesanteur ou la microgravité offrent un environnement favorable à la synthèse de certaines molécules, en particulier en améliorant la cristallisation des protéines. Des start-up comme VardaSpace ou SpacePharma travaillent à la création de véritables laboratoires extraterrestres, ouvrant de nouvelles perspectives pour l'industrie pharmaceutique⁸. De la production de tissus et d'organes – projet Vascular Tissue Challenge de la NASA – aux médicaments, notamment contre le VIH, l'espace pourrait également révolutionner le secteur des biotechnologies⁹.

Sarah Ben Bouazza et Alice Ménez

Respectivement étudiante en master de géopolitique-GEOINT à Sorbonne Université et à SKEMA Business School, et étudiante en master de sécurité internationale à Sciences Po Paris.

⁸ Cf. www.space.com/var-da-space-microgravity-pharmaceutical-production-success.

⁹ Cf. www.nasa.gov/missions/station/applications-within-reach/.

La Lune, relais de l'exploration spatiale vers des mondes plus lointains

Virgile Malarewicz

est docteur en planétologie martienne, enseignant-chercheur au département Géosciences du laboratoire GEOPS à l'université Paris Saclay.

La Lune a constitué une étape décisive dans la conquête spatiale des années 1950 jusqu'aux années 1970. Et, après des décennies à sonder les recoins de notre système solaire, de nombreuses agences spatiales nationales ou privées annoncent leur intention de faire de la Lune une base arrière technique, scientifique, voire commerciale. Mais qu'a apporté scientifiquement et techniquement la conquête de la Lune à l'exploration spatiale ? Et comment les acteurs du spatial comptent-ils conquérir, ou reconquérir, la Lune afin d'en faire un relais de leurs ambitions vers l'exploration de mondes plus lointains, tel Mars ?

Depuis les débuts de l'exploration spatiale, la Lune s'impose comme un véritable terrain d'expérimentation technologique et scientifique. Les défis posés par sa conquête ont conduit au développement de systèmes de navigation interplanétaire, de modules d'atterrissage automatisés et pilotés, de véhicules capables d'évoluer sur des terrains extrêmes, ainsi qu'à des progrès majeurs en matière de télécommunications et de traitement de données.

Grâce aux échantillons prélevés sur place et aux observations directes de sa surface, la Lune a également permis d'affiner nos connaissances sur la formation de notre planète et sur les processus géologiques observables sur bien d'autres corps similaires dans notre système solaire. Ces découvertes ont servi de tremplin à la planétologie comparée et ont fourni de nombreuses clés de compréhension lors de l'exploration d'autres surfaces planétaires, notamment Mars.

Mais, loin d'être cantonnées à ce rôle historique, l'exploration et l'exploitation de la Lune redeviennent aujourd'hui le centre de programmes ambitieux portés par des agences spatiales du monde entier. Missions habitées, stations orbitales, exploitation des ressources locales et infrastructures scientifiques de pointe témoignent d'une importance renouvelée. Ces projets visent à faire de la Lune un relais durable pour l'exploration spatiale lointaine, un arrêt nécessaire avant les prochaines étapes.

La Lune comme banc d'essai de l'exploration spatiale

La Lune est à ce jour le corps stellaire le plus visité après la Terre, avec plus de 140 missions¹ qui ont vu se bousculer en orbite ou à sa surface des centaines d'orbiteurs, de sondes, de rovers et d'atterrisseurs. Sur cette scène incontournable



de la conquête spatiale à la fin des années 1950, les ingénieurs et scientifiques de l'époque ont dû consentir un formidable effort d'innovation technique et technologique visant à surmonter les défis liés à la navigation interplanétaire.

Des fusées de plus en plus puissantes et fiables sont apparues afin d'échapper à l'attraction terrestre et d'envoyer des engins de plus en plus complexes vers une orbite lunaire. Les programmes soviétique Luna et américains Pioneer et Ranger ont ainsi inauguré l'envoi de sondes automatisées capables d'exécuter des survols, et parfois des impacts contrôlés, appelés « *hard landings* ». Les premières transmissions d'images précises de la Lune et de sa face cachée ont en outre nécessité des avancées considé-

↑ Situé dans le Montana, aux États-Unis, Meteor Crater mesure entre 1,2 et 1,4 kilomètre de diamètre, et sa profondeur est de 190 mètres. Il se serait formé il y a environ 50 000 ans à la suite de l'impact avec la Terre d'une météorite d'environ 50 mètres de diamètre et d'une masse de 300 000 tonnes.

© Ann Ronan Picture Library/Photo 12 via AFP

rables en matière de télécommunication spatiale en imagerie optique et en traitement des données à distance. Des progrès allant de pair avec le développement de l'informatique.

À partir du milieu des années 1960, la complexité des missions augmente avec la nécessité d'effectuer des alunissages en douceur dans des zones choisies, appelés « *soft landings* ». Ils sont rendus possibles par l'élaboration de systèmes de freinage rétropropulsé et par une gestion quasi autonome de l'alunissage, que facilitent les mesures d'instruments emportés, comme des radioaltimètres.

Ces étapes technologiques préparent le terrain pour le développement de systèmes

¹ D'après les listes établies par le Lunar and Planetary Institute (LPI, <https://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/>) et The Planetary Society (<https://www.planetary.org/space-missions/every-moon-mission>).

habités, ce qui se concrétisa avec le programme Apollo, qui intègre des innovations majeures telles qu'un module lunaire capable de manœuvrer dans des conditions de faible gravité, des systèmes de survie pour l'équipage et des combinaisons spatiales adaptées aux conditions extrêmes de la surface lunaire. L'ensemble de ces avancées constitue le socle technologique qui rend possible le premier alunissage habité en 1969 avec *Apollo 11*. Les vols habités continuent ensuite jusqu'en 1972, définissant ainsi les standards techniques de l'envoi d'astronautes sur d'autres corps, standards attendant d'être remis à l'épreuve.

Aux vols habités s'ajoute l'introduction des premiers rovers. Ces engins motorisés télécommandés favorisent une étude mobile de la surface lunaire avec des contraintes techniques et temporelles allégées par rapport à l'envoi d'astronautes. L'Union soviétique inaugure cette nouvelle approche avec le programme Lunokhod, qui déploie avec succès *Lunokhod 1* en novembre 1970. Ce véhicule robotisé pesant environ 840 kilogrammes est équipé de panneaux solaires et de caméras stéréoscopiques qui permettent une exploration autonome sous contrôle radio de la Terre. Il contient également de nombreux appareils destinés à étudier le sol de la Lune. *Lunokhod 1* parcourt près de 10 kilomètres durant sa mission de onze mois, démontrant la faisabilité de déplacements prolongés à la surface de la Lune.

En même temps, les missions Apollo introduisent également des véhicules d'exploration pilotés par des astronautes sur place, avec l'utilisation du *lunar roving vehicle* (LRV) à partir d'*Apollo 15* (1971). L'intégration du rover dans les missions Apollo modifie radicalement l'efficacité des opérations sur le terrain, en augmentant la quantité de matériel prélevé, la diversité des zones explorées et la durée des activités extravéhiculaires.

Ces premières expériences de mobilité lunaire, qu'elles soient automatisées ou pilotées, représentent des avancées majeures dans la maîtrise de l'exploration planétaire et constituent des références techniques essentielles pour le développement des futurs véhicules destinés

aux programmes lunaires contemporains et à l'exploration d'autres corps du système solaire. Tous les rovers ayant foulé la surface de Mars jusqu'à nos jours – avec les rovers *Curiosity* et *Perseverance* encore actifs – sont les héritiers de ces premières missions.

Les échantillons lunaires : une fenêtre inédite sur l'histoire de la formation du système solaire

La géologie lunaire est devenue accessible grâce à la grande quantité d'échantillons disponibles. Tout d'abord, un transfert naturel d'échantillons s'opère entre la Lune et la Terre, sous forme de roches éjectées de la surface lunaire à la suite d'impacts météoritiques. Ces roches, une fois tombées sur Terre, peuvent être collectées et analysées. Bien que ces météorites restent rares (environ 0,1 % des météorites identifiées), elles représentent un poids total de 1 159 kg environ de matériel lunaire accessible aux scientifiques². À titre de comparaison, Mars est le seul autre corps planétaire majeur pour lequel des échantillons ont été identifiés sous forme de météorites sur Terre, avec environ 367 kg de roches martiennes recensées (soit 0,07 % des météorites).

“

**L'hypothèse privilégiée
pour expliquer la formation de
la Lune est celle d'une collision
géante entre la proto-Terre
et un autre corps de taille
comparable, peu après la
formation de notre planète**

”

À ce fonds s'ajoutent les échantillons rapportés par les missions d'exploration lunaire.

² Toutes les informations sur les météorites sont issues de la base de données exhaustive du Meteoritical Bulletin, www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php.

Ces derniers ont l'avantage de présenter un contexte géologique précis et documenté, ce qui reste difficile à établir pour les météorites lunaires. Les missions Apollo 11 à 17 sont parvenues à rapporter environ 2 200 échantillons, d'un poids total de 383 kg³. D'autres missions robotisées ont également contribué à cet inventaire : 301 grammes ont été collectés par les missions soviétiques Luna (1970-1976) et environ 306 grammes par les missions chinoises Chang'e (2020-2024).

Au total, ce sont près de 1 550 kg de roches lunaires qui ont permis aux scientifiques d'affiner les protocoles d'analyse des échantillons planétaires et d'accomplir des avancées majeures. Ces études ont notamment aidé à documenter en détail la composition chimique de la croûte lunaire. Les mesures isotopiques de l'oxygène ont en outre révélé une origine commune à la Terre et à son satellite.

Sur la base de ces résultats, appuyés par des simulations numériques, l'hypothèse privilégiée pour expliquer la formation de la Lune est désormais celle d'une collision géante entre la proto-Terre et un autre corps de taille comparable, peu après la formation de notre planète⁴. Enfin, cette hypothèse, combinée aux datations effectuées sur des roches lunaires, a permis d'estimer l'âge de la Terre à 4,5 milliards d'années environ, soit 100 millions d'années avant la formation du plus ancien minéral connu sur Terre, ce qui fait de la Lune une archive exceptionnelle pour comprendre la formation de notre propre planète.

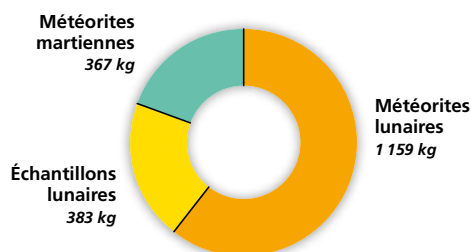
Terrain d'étude des cratères d'impact

Les cratères d'impact, formés par la collision à grande vitesse entre une météorite et la surface d'un corps céleste, comptent parmi les

³ Voir Judith H. Allton, « Lunar samples: Apollo collection tools, curation handling, Surveyor III and soviet Luna samples », www.nasa.gov/wp-content/uploads/2019/04/02_allton_corrected_apollo.pdf.

⁴ Travaux synthésés par Stuart Ross Taylor, « Chapitre 2.1: The Formation of the Earth and Moon », *Developments in Precambrian Geology*, vol. 15, Elsevier, 2007.

Masse totale des échantillons d'autres astres récoltés sur Terre ou échantillonnés sur place



Notes :
0,5 kg environ d'échantillons martiens sont attendus pour 2033.
Les échantillons d'autres corps plus petits comme les astéroïdes, beaucoup plus nombreux, ne sont pas pris en compte.

Source : « The Meteoritical Bulletin Database », données au 31 décembre 2024, The Meteoritical Society, 2025 (www.lpi.usra.edu/meteor/).

Réalisation : Cyrille Suss Cartographe. © Dila, Paris, 2025

structures géologiques les plus fréquentes dans le système solaire. À l'exception des planètes gazeuses, tous les objets du système solaire portent les marques visibles de ces collisions.

Bien que les cratères d'impact soient documentés depuis plusieurs siècles sur la Terre et sur la Lune, leur origine a longtemps été sujette à débat. Avant le XX^e siècle, certaines hypothèses évoquaient des formations volcaniques, voire des excavations créées par des civilisations extraterrestres, comme les Sélénites sur la Lune. Ce n'est qu'au début du XX^e siècle, grâce à l'étude du Meteor Crater (Arizona) en 1902, puis à la découverte, en 1960, de minéraux formés sous des pressions extrêmes caractéristiques d'un impact, que l'origine météoritique de ces structures a été sérieusement envisagée.

Le débat scientifique s'est poursuivi jusqu'aux missions Apollo. Les échantillons et observations rapportés de la Lune ont révélé une densité importante de cratères de toutes tailles, témoignant d'une longue histoire d'impacts météoritiques. Sur Terre, l'érosion et la tectonique ont effacé la plupart des cratères, mais ceux préservés et bien visibles sur la Lune ont servi de référence pour définir les caractéristiques morphologiques des cratères et affiner les comparaisons dans le cadre de l'exploration spatiale.

La Lune comme outil de datation des surfaces planétaires

L'étude combinée des échantillons lunaires et des structures d'impact situées à proximité des sites de prélèvement a permis de développer un outil fondamental pour la datation des surfaces planétaires. En effet, si l'on veut étudier une surface planétaire, il est indispensable de pouvoir estimer l'âge des terrains observables.

La méthode la plus précise consiste à dater directement des échantillons rapportés sur Terre. Cependant il est très compliqué et très coûteux de mener ce genre de mission. Une autre solution, plus accessible, consiste à estimer l'âge d'une surface en comptant ses cratères d'impact. Son principe repose sur l'idée qu'une surface ancienne aura accumulé plus de cratères qu'une surface jeune. En supposant que le flux de météorites décroisse au fil du temps et qu'il y ait peu d'érosion, il devient possible d'évaluer l'ancienneté d'un terrain, un peu à la manière de l'usure progressive d'une route parsemée de nids-de-poule.

Il faut alors quantifier la fréquence de distribution du nombre de cratères d'impact selon leur diamètre sur une surface donnée. Pour convertir ces données en âge, il est nécessaire de calibrer cette distribution avec un âge, préférentiellement obtenu avec un échantillon provenant d'un terrain bien identifié et daté par des méthodes de datation absolue en laboratoire. Les roches rapportées par les missions Apollo offrent la meilleure base de calibration. En associant la datation absolue des échantillons, leur localisation précise et la distribution des cratères environnants, il a été possible de définir une relation permettant d'estimer l'âge d'une surface lunaire à partir du nombre et de la taille des cratères observés.

Depuis, cette méthode a été adaptée à d'autres corps du système solaire, en tenant compte des particularités locales : gravité, présence éventuelle d'une atmosphère, taille du corps et intensité du flux de météorites dans la région concernée. Bien que des discussions persistent quant à sa précision et à ses limites,

ce procédé demeure aujourd'hui l'un des outils les plus efficaces pour reconstituer l'histoire des surfaces planétaires explorées. Ainsi, une vaste chronologie martienne s'étalant sur 4,4 milliards d'années a pu être établie⁵.

Remettre le pied sur la Lune

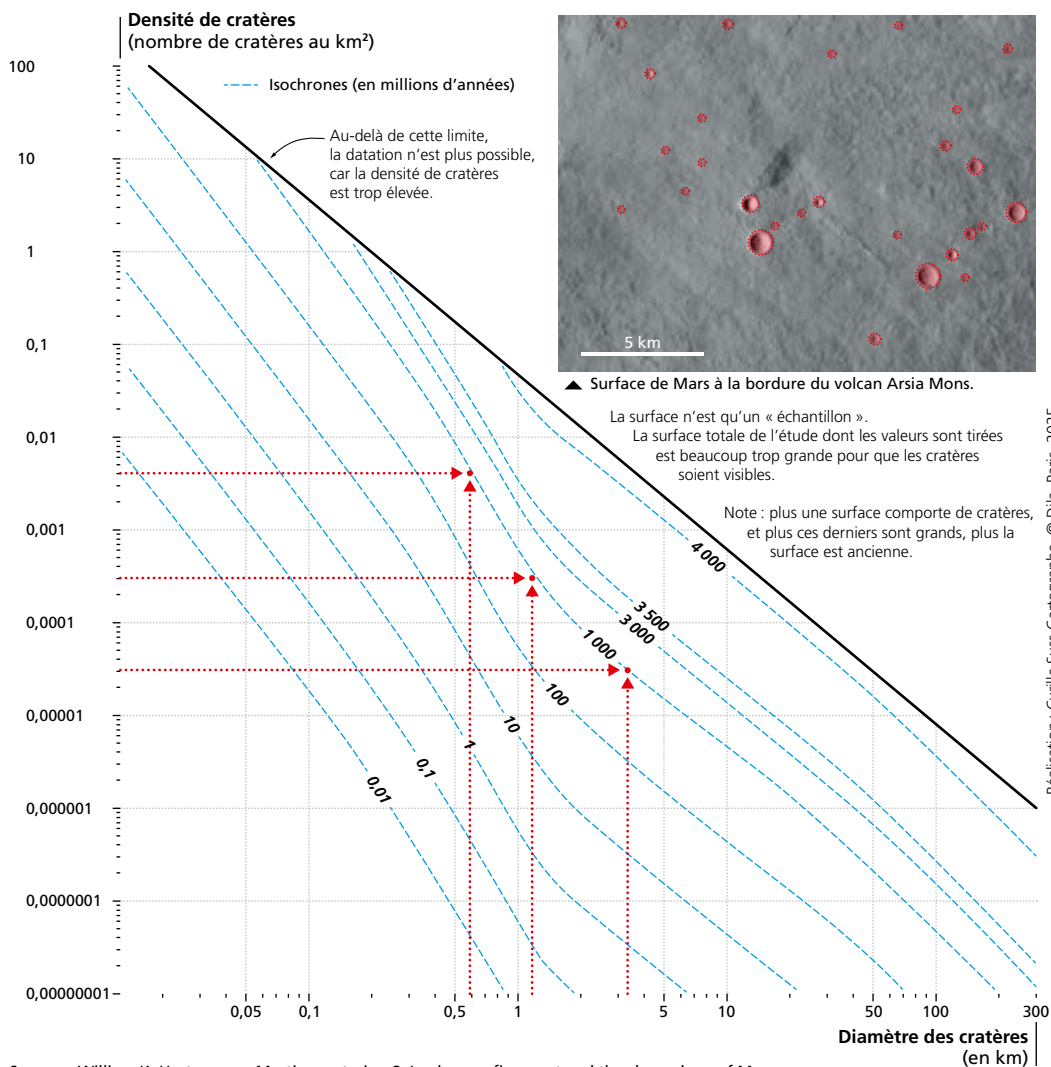
Depuis la dernière fois que des humains ont été envoyés au-delà de l'orbite terrestre, en 1972, l'effort de l'exploration spatiale n'a été soutenu que par des moyens automatisés. De nombreuses sondes nous ont fait parvenir des images de la surface de Mercure, Vénus, Mars, Titan, de comètes et d'astéroïdes. Sur Mars, les rovers ont parcouru plus de 130 km depuis 1997.

Mais depuis les années 1970 le contexte de l'exploration spatiale a changé. Davantage de nations possèdent les moyens d'envoyer des missions dans l'espace et les compagnies privées occupent une place croissante. Ainsi, l'envoi d'une mission habitée devient pour les agences spatiales nationales et privées un moyen de prouver leur fiabilité et leurs ambitions, et ainsi de remettre en jeu un trophée vieux de plus de cinquante ans.

Dans ce domaine, la NASA essaie de maintenir son statut de leader. Après l'abandon des missions Constellation en 2010, les États-Unis se dotent du nouveau programme Artemis en 2017. En coopération avec l'Agence spatiale européenne (European Space Agency, ESA), l'Agence d'exploration aérospatiale japonaise (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) et l'Agence spatiale canadienne (Canadian Space Agency, CSA), ce programme vise à ramener des astronautes sur la Lune dès la seconde moitié des années 2020. La mission Artemis II devrait commencer en 2026 par un survol habité de la Lune. Ensuite, Artemis III, prévue pour 2027, devrait marquer le premier retour humain sur la surface lunaire.

⁵ D'après les travaux de William K. Hartmann et Gerhard Neukum, synthétisés dans « Cratering Chronology and the Evolution of Mars », *Space Science Reviews*, vol. 96, p. 165-194, Springer, avril 2001. Comme sur Terre, cette technique a permis de diviser l'histoire de Mars en différentes périodes, marquées par des caractéristiques géologiques et environnementales distinctes.

Estimation de l'âge d'une surface martienne, modèle construit à partir des données des surfaces lunaires



Sources : William K. Hartmann, « Martian cratering 8: Isochron refinement and the chronology of Mars », *Icarus*, vol. 174, n° 2, avril 2005 ; image « CTX », NASA et USGS.

Réalisation : Cyrille Suss Cartographe. © Dila, Paris, 2025

L'objectif principal est d'explorer pendant une semaine le pôle Sud lunaire, une région où la présence de glace d'eau a été confirmée. Cette ressource pourrait être essentielle pour le maintien d'une présence humaine à long terme. Selon le calendrier de la NASA, ces missions devraient se poursuivre jusqu'à Artemis VI, en mars 2031. De son côté, la Chine avec son Administration spatiale nationale (China National Space Administration, CNSA) prévoit

une mission pour envoyer une paire d'astronautes sur la Lune vers 2030, affirmant ainsi ses ambitions spatiales croissantes.

Ces missions habitées serviront à évaluer les méthodes et équipements permettant de réduire les risques encourus par une présence humaine. Des modules d'habitation pressurisés conçus par la NASA et des entreprises privées, s'appuyant sur des structures gonflables ou semi-enterrées, seront mis à l'épreuve.

Des méthodes de construction d'abris à partir de matériaux environnants seront également éprouvées. Il s'agira d'utiliser le sol lunaire, appelé « régolithe », comme matière première dans la fabrication de béton ou afin de remplir des caissons destinés à protéger les habitants des radiations, à la manière de sacs de sable. Des expériences sont en outre actuellement menées pour tester la production d'oxygène à partir du régolithe lunaire⁶. Toutes ces expérimentations sont cruciales si l'on envisage de futures expéditions habitées sur Mars.

La Lune comme relais durable

Avec la fin programmée de la Station spatiale internationale (International Space Station, ISS) peu après 2030 s'offre une opportunité pour la construction d'une nouvelle station apte à conforter les ambitions d'exploration de l'espace lointain et à servir de relais pour les missions martiennes. Pour répondre à ce défi stratégique majeur, la NASA, en collaboration avec l'ESA, la JAXA et la CSA, prévoit vers 2030 la mise sur orbite de la station *Lunar Gateway* autour de la Lune.

Cette station doit fournir un relais logistique, scientifique et technologique entre la Terre, la surface lunaire et des missions envoyées au-delà. Sa conception modulaire permettra d'accueillir des équipages pour des séjours de plusieurs semaines et facilitera les transferts de matériel, les opérations de maintenance et les expérimentations dans l'environnement spatial profond, loin de l'assistance de la Terre.

Dans ce cadre, les missions Artemis IV et Artemis V devraient contribuer à l'assemblage

de la station tout en posant des astronautes à la surface de la Lune, confirmant la vocation de relais de la station. Celle-ci jouera également un rôle clé dans la préparation des futures missions habitées vers Mars, en testant les capacités des systèmes de survie, la protection contre les radiations et les protocoles de ravitaillement à distance. Un cortège de satellites devrait de surcroît servir de relais de communication entre la Terre, la Lune et d'autres sondes au-delà.

Un poste d'observation vers le lointain

Outre cette fonction de relais technique et logistique, de nombreux scientifiques veulent faire de la Lune une station d'observation de l'espace lointain. L'installation de radiotélescopes, de préférence orientés vers la face cachée de la Lune, les motive particulièrement. Ces outils servent à capter les ondes électromagnétiques émises par les astres, tels que des planètes, des étoiles ou des galaxies, à même de livrer de précieuses informations sur ces objets lointains. Les ondes collectées sont souvent très faibles et nécessitent des radiotélescopes de grande taille situés dans des zones peu perturbées. Or la face cachée constitue l'un des environnements les plus propices à l'observation radioastronomique de l'Univers.

Protégée de manière permanente des interférences électromagnétiques terrestres et de la pollution radio due aux activités humaines, la face cachée de la Lune offre des conditions idéales pour capter des signaux faibles et anciens. Des projets comme le Lunar Crater Radio Telescope (LCRT), porté par la NASA, envisagent de déployer un réseau d'antennes dans un cratère lunaire, utilisant la topographie naturelle comme structure de support. Un tel dispositif permettrait d'étudier l'Univers primordial, en particulier les âges sombres cosmiques, période encore largement méconnue précédant la formation des premières étoiles. ●

⁶ D'après les résultats de l'équipe CaRD de la NASA au Centre spatial Lyndon B. Johnson, www.nasa.gov/centers-and-facilities/johnson/nasa-successfully-extracts-oxygen-from-lunar-soil-simulant/.

Ressources lunaires, installations humaines et défis environnementaux

Stéphanie Lizy-Destrez

est professeur en mécanique spatiale à l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (ISAE-Supaéro), correspondante de l'Académie de l'air et de l'espace et cofondatrice du Spaceflight Institute.

L'exploitation des ressources lunaires est au cœur des stratégies des grandes puissances spatiales et des entreprises privées. Alors que la NASA et ses partenaires internationaux préparent le retour des humains sur la Lune avec le programme Artemis, la Chine développe son propre programme, Chang'e, pour y établir une présence durable. Ces missions ouvrent la voie à l'utilisation des ressources lunaires : eau glacée pour la survie des astronautes et la production de carburant, métaux et terres rares pour la fabrication de composants électroniques, et régolithe pour la construction d'habitats in situ. Mais comment exploiter ces ressources sans perturber l'environnement lunaire ni encombrer l'espace de nouveaux débris ?

En 2019, la NASA (National Aeronautics and Space Administration) a officiellement lancé le programme Artemis, avec pour objectif de renvoyer des humains sur la Lune et d'y établir une présence durable. Soutenu par plusieurs partenaires internationaux, ce programme marque le retour d'une ambition lunaire, plus de cinquante ans après la dernière mission Apollo. De son côté, la Chine développe son propre programme, Chang'e, qui a déjà permis l'exploration de la face cachée de la Lune et la collecte d'échantillons en 2020. En partenariat avec la Russie, Pékin projette d'établir une station scientifique sur le sol lunaire à l'horizon 2030.

L'intérêt pour la Lune ne se limite cependant pas aux agences spatiales américaine et chinoise. En août 2023, l'Inde est devenue le premier pays à réussir un atterrissage près du pôle Sud avec la sonde *Chandrayaan 3*, renforçant son ambition dans l'exploration spatiale. En janvier 2024, le Japon a également marqué l'histoire avec la mission SLIM (Smart Lander for Investigating Moon), devenant ainsi le cinquième pays à réussir un alunissage. D'autres nations se lancent dans l'exploration lunaire, mais ces missions restent périlleuses. En août 2023, la Russie a tenté de renouer avec son programme historique Luna, actif entre 1959 et 1976, mais sa mission Luna 25 s'est écrasée lors d'une manœuvre préparatoire à l'atterrissage.

Les entreprises privées ambitionnent également de jouer un rôle clé dans l'exploitation des ressources lunaires, notamment à travers le programme CLPS (Commercial Lunar Payload Services) de la NASA, qui encourage les missions commerciales vers la Lune. Toutefois, les premiers essais ont souligné la difficulté des défis techniques : plusieurs missions récentes, comme Peregrine Mission One et Intuitive Machines 2 (IM-2), ont échoué partiellement ou totalement.

L'exploitation des ressources *in situ* constitue un enjeu stratégique majeur. Transporter du matériel et des consommables depuis la Terre représente un coût énergétique et financier considérable. Pouvoir extraire et utiliser les ressources lunaires réduirait cette dépendance et faciliterait les missions tant robotiques qu'habitées. L'eau glacée présente dans les cratères des pôles lunaires pourrait être transformée en oxygène et en hydrogène pour maintenir les astronautes en vie sur place et produire du carburant pour les fusées. Le régolithe – la couche de matériaux fragmentés à la surface de la Lune – pourrait être utilisé pour construire des infrastructures sur place, réduisant ainsi la nécessité d'envoyer des matériaux de la Terre.

Cette ambition soulève toutefois d'autres nombreux défis. L'environnement lunaire est extrêmement hostile : les températures varient entre -240 °C et $+120\text{ °C}$, les journées et nuits lunaires de 14 jours terrestres compliquent la production d'énergie solaire, la poussière abrasive du régolithe représente un risque pour les équipements et la santé humaine, et l'absence d'atmosphère expose les infrastructures et les astronautes aux radiations cosmiques. À cela s'ajoutent des questions d'ordre éthique et environnemental : comment éviter la prolifération des débris en orbite cislunaire ? Comment protéger les sites d'intérêt scientifique et historique des effets négatifs de l'activité humaine ?

Afin de répondre à ces questions, il convient de préciser la distinction entre exploration et exploitation, de passer en revue les ressources disponibles et les infrastructures nécessaires pour exploiter les richesses du sol

lunaire, avant d'examiner les impacts environnementaux d'une telle démarche.

Exploration versus exploitation

Définition et enjeux

L'exploration lunaire désigne l'ensemble des missions visant à étudier et à comprendre la Lune, par des observations orbitales, des atterrissages robotiques ou des missions habitées. Son objectif premier est scientifique : analyser la composition du sol, en étudier la formation et l'évolution, et mieux comprendre la dynamique du système Terre-Lune-Soleil. Elle constitue également un préalable indispensable à toute exploitation de l'astre, en permettant d'identifier et de cartographier les ressources lunaires disponibles.

“
Contrairement à la Terre, la Lune est un vestige quasi intact du début du système solaire. Sans atmosphère ni activité tectonique, sa surface préserve les traces des bombardements météoritiques, offrant ainsi un témoignage unique de l'histoire cosmique
”

L'exploitation lunaire, elle, consiste à extraire et à utiliser ces ressources à des fins techniques et économiques. Reposant sur la capacité à utiliser localement les ressources identifiées lors de l'exploration, elle implique le développement de technologies permettant d'extraire, de transformer et d'utiliser ces matériaux directement sur place, dans une logique d'autonomie et de durabilité. Si l'exploitation est souvent présentée comme une suite logique de l'exploration, il est essentiel de rappeler que la recherche scientifique ne



doit pas être uniquement considérée comme un jalon de l'expansion des intérêts économiques. Il convient également de souligner que la notion d'« exploitation » n'est pas explicitement définie dans le traité de l'espace de 1967.

L'exploration lunaire : une nécessité avant toute exploitation

L'exploration lunaire représente une étape incontournable pour identifier les ressources exploitables et comprendre l'environnement lunaire. Outre son intérêt scientifique, elle est essentielle au développement des technologies nécessaires à une présence humaine durable.

Contrairement à la Terre, la Lune est un vestige quasi intact du début du système solaire. Sans atmosphère ni activité tectonique, sa surface préserve les traces des bombardements météoriques, offrant ainsi un témoignage unique de l'histoire cosmique. L'analyse des échantillons rapportés par les missions Apollo et Chang'e a renforcé l'hypothèse, parmi d'autres, d'une formation lunaire à la suite d'un impact géant sur

↑ Pour préparer les futures missions lunaires dans lesquelles les astronautes européens sont impliqués, l'Agence spatiale européenne (ESA) a inauguré Luna à Cologne (Allemagne), le 25 septembre 2024. Cet espace d'entraînement de 700 m² simule toutes les caractéristiques de la Lune pour mieux s'y préparer. Unique au monde, cette installation d'entraînement reproduit même la poussière lunaire et la gravité réduite du satellite. © Benjamin Westhoff/DPA PICTURE ALLIANCE via AFP

la Terre primitive. Explorer cet astre davantage, notamment le pôle Sud lunaire, permettrait donc d'affiner notre compréhension de la formation des planètes rocheuses.

L'exploration récente a révélé plusieurs zones d'intérêt :

- historique, où les missions comme Apollo, Luna et Chang'e ont laissé du matériel scientifique et patrimonial ;
- scientifique, comme la face cachée, idéale pour l'observation astronomique, ou les cratères polaires, qui abritent de la glace d'eau ;
- économique, notamment l'équateur lunaire, dont l'ensoleillement est plus régulier – propice à l'installation de panneaux solaires –, et certaines régions riches en métaux et terres rares.

L'exploration sert de banc d'essai pour développer et tester des infrastructures lunaires adaptées aux conditions extrêmes. L'étude des effets de la gravité réduite, des radiations et du confinement spatial est cruciale pour la préparation de missions de longue durée et plus lointaines, notamment vers Mars.

Les avancées technologiques accomplies sur la Lune auront aussi des répercussions directes sur Terre. Elles fourniront de nouveaux matériaux, amélioreront les systèmes de recyclage, permettront l'avènement d'innovations énergétiques et de télécommunications de pointe. Loin d'être un simple prélude à l'exploitation, l'exploration lunaire repousse les frontières de la connaissance et prépare l'humanité à de nouveaux défis.

Les ressources lunaires exploitables

Une diversité géologique aux ressources variées

La Lune présente deux grandes unités géologiques : les hautes terres (*highlands*), anciennes et riches en anorthosite, et les mers lunaires (*lunar mare*), plus jeunes, formées de basaltes volcaniques.

Cette hétérogénéité se reflète aussi dans l'épaisseur et la composition chimique du sol. Le régolithe contient une grande variété d'éléments, dont des silicates, des oxydes métalliques (fer, aluminium, titane) et des terres rares. En plus des éléments solides, des études menées grâce à l'expérience Lunar Atmospheric Composition Experiment d'*Apollo 17* ont révélé la présence de gaz rares et de volatiles dans l'exosphère lunaire et piégés dans le sol. Parmi eux, on trouve l'hydrogène, l'hélium, l'argon, ainsi que de possibles traces d'ammoniac, de dioxyde de carbone et de méthane. Ces éléments semblent présents en très faibles concentrations. Toutes ces ressources offrent des perspectives pour différents usages :

- sur la Lune, l'eau glacée des pôles servirait à assurer la survie des êtres humains ainsi qu'à produire de l'oxygène et de l'hydrogène.

Les métaux présents dans le régolithe seraient également exploitables pour la construction d'infrastructures ;

- dans l'espace, les ressources lunaires, notamment l'hydrogène et l'oxygène, pourraient faire office de carburant, ce qui faciliterait les transports spatiaux et le ravitaillement des missions interplanétaires ;

- sur Terre, l'extraction de terres rares permettrait la fabrication de composants électroniques essentiels et elle pourrait devenir un enjeu économique majeur à long terme.

Au-delà de son intérêt scientifique, la Lune constitue donc un réservoir stratégique tant pour les futures missions spatiales que pour les industries terrestres.

Techniques d'extraction et de transformation *in situ*

L'exploitation des ressources lunaires repose sur plusieurs technologies dont voici quelques exemples :

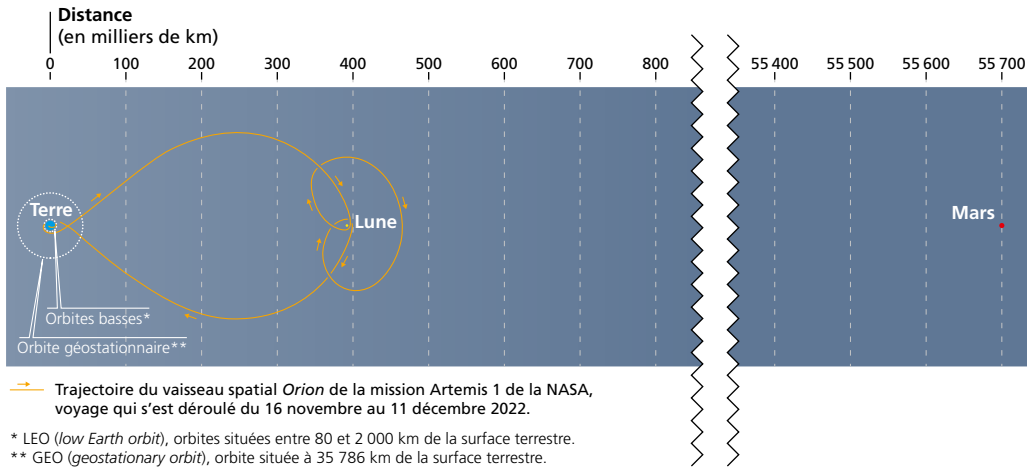
- l'extraction de la glace d'eau par chauffage et sublimation, suivie d'une électrolyse pour produire oxygène et hydrogène ;

- l'extraction des éléments volatils présents dans le sol lunaire, tels que l'hydrogène, le dioxyde de carbone, l'azote et le monoxyde de carbone, par chauffage du régolithe sous vide ;

- la transformation du régolithe en briques par frittage (solidification) ou impression 3D pour la construction d'habitats.

Des campagnes expérimentales sont actuellement menées sur Terre dans des environnements analogues et il est envisagé de tester ces procédés *in situ* sur la Lune afin d'en vérifier la faisabilité. Toutefois, ces technologies, bien qu'opérantes pour des applications terrestres, devront être adaptées aux conditions spécifiques de l'environnement lunaire : gravité partielle, températures extrêmes, vide spatial, exposition au rayonnement et impacts réguliers de micrométéorites. Leur transport, leur déploiement et leur exploitation sur place constitueront des défis logistiques majeurs tout au long du cycle de vie de ces systèmes. Une gestion rigoureuse de la fin de vie des équipements sera essentielle afin

De la Terre à la Lune, et au-delà ?



* LEO (*low Earth orbit*), orbites situées entre 80 et 2 000 km de la surface terrestre.
** GEO (*geostationary orbit*), orbite située à 35 786 km de la surface terrestre.

Note : selon son orbite, la distance de Mars à la Terre varie de 55,7 à 401 millions de km. Avec les technologies actuelles, le voyage aller-retour entre la Terre et Mars prendrait environ deux ans. Le temps de voyage à l'aller et au retour serait de six à neuf mois environ. Il faudrait ajouter à ce temps de trajet un temps d'attente en orbite martienne ou sur la surface de Mars entre les deux trajets.

Sources : « Le système solaire », Agence spatiale canadienne, 2025 (www.asc-csa.gc.ca/fra/astonomie/systeme-solaire/) ; « Artemis I », NASA, 2025 (www.nasa.gov/mission/artemis-i/).

Réalisation : Cyrille Suss Cartographe. © Dila, Paris, 2025

de limiter la pollution de la surface lunaire et de l'environnement orbital.

Les infrastructures nécessaires à l'exploitation

L'établissement d'une base habitée pour l'exploitation des ressources nécessitera un ensemble d'infrastructures adaptées aux conditions extrêmes de la Lune. Les habitats, qu'ils soient en surface ou en orbite, devront maintenir une atmosphère pressurisée et assurer une protection contre les radiations, les écarts de température et la poussière abrasive. Le transport et la logistique joueront un rôle clé : rovers, cargos, véhicules de transfert, atterrisseurs et modules d'ascension faciliteront le déplacement des astronautes et du matériel, tandis que des systèmes de production, de stockage et de distribution pourvoient à l'approvisionnement en ressources vitales telles que l'oxygène, l'eau et l'énergie, ainsi qu'à la gestion des déchets.

Des installations de production alimentaire, comme des serres et des fermes, seront également essentielles pour garantir une autonomie à long terme. Un réseau de communication et de navigation sera indispensable pour coordonner les opérations entre les infras-

tructures de surface, les systèmes orbitaux et les stations terrestres, tout en assurant la sécurité des missions. L'observation et la surveillance des installations contribueront également à leur maintien en conditions opérationnelles, notamment en l'absence d'équipage. Enfin, des assistants robotiques pourraient accompagner les astronautes lors des sorties extravéhiculaires, optimisant ainsi l'efficacité et la sécurité des différentes activités.

Impacts environnementaux de l'exploration et de l'exploitation lunaire

L'impact des activités humaines sur l'environnement lunaire

L'intensification des missions spatiales autour de la Lune soulève plusieurs enjeux environnementaux, notamment l'accumulation de débris spatiaux en orbite cislunaire, la protection des sites d'intérêt scientifique, historique et économique, ainsi que les effets des opérations minières sur la surface et l'environnement lunaire, qui pourraient modifier le paysage de manière irréversible. Les systèmes spatiaux,

qu'il s'agisse de satellites, de lanceurs ou de rovers, doivent être maîtrisés en fin de mission afin de limiter leur impact sur cet environnement. Pour ce faire, plusieurs options existent, comme :

- un impact lunaire contrôlé ;
- une rentrée atmosphérique terrestre ;
- une injection en orbite cimetière cislunaire stable ;
- ou encore une évasion sur une trajectoire héliocentrique.

Chacune de ces solutions présente des contraintes, des avantages et des inconvénients spécifiques qui influencent le choix de telle ou telle. L'impact lunaire contrôlé a longtemps été l'option privilégiée, notamment pour les missions en orbite lunaire basse. Les irrégularités du champ gravitationnel lunaire peuvent entraîner une désintégration rapide et parfois imprévisible des véhicules spatiaux, comme ce fut le cas pour le sous-satellite d'*Apollo 16*. Cette solution pose également la question des éjecta produits par des impacts à haute vitesse, qui peuvent altérer la surface lunaire et affecter la viabilité de cette méthode à long terme. Il est de surcroît impératif que ces impacts soient planifiés afin d'éviter toute menace ou accident pour les infrastructures humaines et les sites historiques, scientifiques et d'exploitation.

L'impact lunaire présenterait néanmoins un intérêt économique futur. En effet, les engins détruits sur la Lune pourraient être une source potentielle de matériaux réutilisables, notamment si des zones de dépôt commun étaient définies pour concentrer les débris. Cette stratégie d'impact contrôlé d'engins spatiaux a déjà été utilisée pour l'étude scientifique du régolithe et de la structure interne lunaire au moyen de relevés sismographiques.

La rentrée atmosphérique, elle, représente une solution classique pour les débris en orbite terrestre. Dans le cas des missions lunaires, elle reste limitée aux retours d'équipage ou d'échantillons en raison des coûts de transfert élevés. Les trajectoires de retour sont en effet complexes sur le plan opérationnel et peuvent impliquer des temps de vol très longs. Un engin revenant de la Lune entre en outre dans l'atmosphère à des vitesses extrêmement

élevées, rendant sa désintégration presque inévitable, ce qui pose des défis supplémentaires de conception. Cette option doit être strictement prohibée pour les missions utilisant des réacteurs nucléaires ou des systèmes de propulsion nucléaire, afin de prévenir toute contamination de l'atmosphère.

Quant à l'injection en orbite cislunaire stable, comparable à l'orbite cimetière utilisée pour les satellites géostationnaires, elle consiste à placer un engin spatial en fin de vie sur une trajectoire qui n'interférera pas avec les zones actives pendant une très longue période. Si cette méthode n'a jamais été employée jusqu'à présent, elle pourrait constituer une solution viable pour limiter l'accumulation de débris en orbite lunaire.

Enfin, l'injection sur une trajectoire héliocentrique a été utilisée lors de plusieurs missions lunaires, notamment celles ayant pour unique objectif un survol lunaire. Cependant, un simple transfert impulsif peut parfois provoquer un retour involontaire dans le système Terre-Lune, nécessitant des corrections orbitales supplémentaires. Une autre option consisterait à profiter du passage en orbite héliocentrique pour mener des observations scientifiques avant d'exécuter une seconde manœuvre de stabilisation. Cela complique toutefois la mission et augmente les coûts opérationnels.

Le choix du mode de fin de mission dépend donc de nombreux facteurs, notamment des coûts de manœuvre, de la durabilité de l'option choisie et des implications scientifiques comme environnementales. Face à l'ampleur de ces défis, une réglementation claire devient indispensable pour limiter la prolifération des débris et préserver l'équilibre du système Terre-Lune.

En outre, la conservation des sites lunaires représente un enjeu majeur. Les missions passées ont laissé un patrimoine scientifique et historique unique qu'il est essentiel de protéger, et toute perturbation s'avère quasi perpétuelle. Dès lors, une approche progressive et durable s'impose, nécessitant des protocoles stricts et une gouvernance internationale afin d'encadrer les activités humaines et de garantir un développement responsable de l'exploration lunaire.

Conséquences environnementales sur Terre

Au-delà de la gestion des débris spatiaux et de la protection des sites d'intérêt lunaires, l'exploration spatiale a aussi un impact sur notre planète. D'une part, l'augmentation des lancements entraîne des émissions de gaz à effet de serre, de particules fines et de suies stratosphériques qui peuvent perturber les équilibres atmosphériques. Ces émissions ne se dissipent pas facilement, elles peuvent persister dans les couches supérieures de l'atmosphère et retomber sur le sol ou dans les océans, affectant potentiellement le climat à long terme.

D'autre part, la fabrication et l'assemblage de grandes infrastructures spatiales, comme les stations orbitales, nécessitent des ressources rares et des procédés industriels énergivores, notamment pour la production de carburants, de panneaux solaires et d'équipements électroniques. La question de la durabilité de la chaîne d'approvisionnement spatiale pourrait ainsi devenir un enjeu crucial.

L'essor du secteur privé et commercial, notamment l'expansion des méga-constellations de satellites et des missions lunaires, accentuera probablement cette tendance. Même si le manque de données précises rend difficile l'évaluation exacte de son impact, il devient impératif d'intégrer des critères environnementaux dès les phases initiales de conception des missions afin d'en limiter les effets.



L'exploitation des ressources lunaires constitue une opportunité scientifique et économique majeure. Elle doit néanmoins être menée

avec précaution. L'exploration ne se limite pas à préparer l'exploitation : elle repousse les frontières de la connaissance en nous renseignant sur l'histoire du système solaire et en testant des technologies essentielles pour les futures missions spatiales d'exploration.

Les avancées accomplies sur la Lune auront des applications directes sur Terre, notamment dans les domaines de l'énergie, des matériaux, de la santé et des télécommunications.

Enfin, une gouvernance adaptée sera nécessaire pour encadrer l'exploitation des ressources lunaires en toute sécurité, et assurer un développement durable et équitable. L'exploration lunaire constitue ainsi une étape clé pour repousser les limites de notre connaissance de l'Univers, tout en apportant des bénéfices concrets à nos sociétés terrestres. ●

Bibliographie

- **Association nationale de la recherche et de la technologie**, « L'empreinte environnementale des activités spatiales et lunaires », Note exploratoire, octobre 2024.
- **Ian A. Crawford**, « Lunar resources: A Review », *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, vol. 39, n° 2, avril 2015, p. 137-167.
- **Paolo Guardabasso**, « Lunar Mission Database (moonDB) », Zenodo, avril 2023, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7848351>.
- **Paolo Guardabasso, Despoina K. Skoulidou et al.**, « Cislunar Debris Mitigation: Development of a Methodology to Assess the Sustainability of Lunar Mission », 72^e congrès de la Fédération internationale d'astronautique, Dubai, octobre 2021.
- **ISEGC**, « The Global Exploration Roadmap », janvier 2018.

→ POUR ALLER PLUS LOIN

Les métaux rares : une illusion lunaire ?

Le 21 juillet 1969, des millions de Terriens ont été témoins d'un des exploits les plus marquants du XX^e siècle et qui continuera d'inspirer le monde pendant de longues années : les premiers pas de l'humanité sur la Lune et le succès du programme Apollo. Cet événement, véritable prouesse scientifique et technique, constitue l'aboutissement d'un investissement massif destiné à assurer aux États-Unis une position victorieuse dans un contexte de guerre froide où chaque avancée spatiale se traduit par un gain significatif en termes d'image sur la scène internationale. La conquête de la Lune est alors, avant tout, un enjeu idéologique.

De nos jours, si la Lune continue de fasciner, les raisons de l'explorer se sont considérablement diversifiées : recherche scientifique, installation de bases permanentes, expériences en vue d'une exploration spatiale plus lointaine, exploitation des ressources naturelles... Parmi ces nouvelles motivations, les métaux rares – que l'on retrouve dans nos smartphones, ordinateurs, batteries, polymères, etc. – suscitent un intérêt majeur. Alors que dans un contexte climatique et énergétique en tension les réserves terrestres s'amenuisent et que les rivalités au sujet de leur contrôle s'exacerbent, la Lune semble offrir des perspectives nouvelles. Mais comment passer de l'exploration à l'extraction ? Et de l'extraction à l'exploitation ? N'est-ce pas plutôt vers une exploitation locale ISRU¹ qu'il faudrait se diriger ? Et quels défis technologiques, juridiques, géopolitiques et éthiques faudra-t-il relever ?

Les enjeux liés aux métaux rares, les défis pour les extraire et les potentielles retombées économiques d'une « ruée vers la Lune » rappellent déjà l'époque des conquêtes minières. Ce projet à la fois prometteur et controversé pourrait transformer non seulement notre rapport à l'espace, mais aussi la situation géopolitique terrestre.

¹ « *In-situ resource utilization* » : renvoie à l'ensemble des techniques consistant à utiliser les ressources trouvées sur place pour produire certains éléments nécessaires à l'accomplissement de la mission (énergie, eau, nourriture, etc.).

Les métaux rares : un enjeu crucial pour la transition énergétique

Il n'existe pas à ce jour de critères universels de rareté et, de fait, il est difficile de trouver une liste universelle des métaux rares. Ce pourquoi il est judicieux de raisonner en termes de métaux dits « critiques », dont on peut trouver une liste établie par l'Union européenne². Dans un contexte de transition énergétique et de « boom » numérique, où la diminution de la dépendance au pétrole va de pair avec l'augmentation de celle aux métaux rares, et ce à des coûts écologiques, économiques et géopolitiques élevés, il semble pertinent de s'intéresser à d'autres potentielles sources d'approvisionnement. Notons tout de même que, tant que la philosophie de consommation et d'utilisation des ressources n'aura pas évolué, l'utilisation de ressources lunaires ne résoudra pas les problèmes liés à la transition énergétique.

“
**Sur la Lune, les
températures varient entre
– 240 °C et + 120 °C**
”

L'étude des échantillons de régolithe³ lunaire a montré la présence de plusieurs éléments exploitables, et notamment des traces de terres rares. Les missions les plus récentes ont permis d'affiner notre connaissance de la composition de la Lune, où se trouvent des zones riches en ressources, notamment dans les « mers » lunaires⁴. Bien que les quantités exactes ou même l'intérêt économique d'une extraction de minerais lunaires soient encore débattus, il est en revanche reconnu que la Lune recèle des ressources minières d'intérêt stratégique, que ce soit

² En mars 2024, le Conseil de l'Union européenne adopte la réglementation européenne sur les matières premières critiques, d'une grande importance économique et présentant un risque élevé de rupture d'approvisionnement.

³ Un type de « sable » présent sur la Lune, produit par les chutes de météorites.

⁴ Au sens de plaines, visibles de la Terre.

pour faciliter des activités humaines sur notre satellite ou, dans un avenir plus lointain, pour les réutiliser dans un système d'exploitation de la Lune.

Encore au stade de la recherche, l'idée d'utiliser les ressources lunaires n'est plus de la science-fiction, des entreprises privées et des agences spatiales – en particulier la NASA dans le cadre des missions Artemis – étudient déjà l'option de l'extraction et de l'utilisation de matériaux *in situ* afin de favoriser la durabilité de la mission – construction de bases lunaires, production d'énergie ou de pièces, etc.

Une ambition coûteuse confrontée à de multiples défis

De telles ambitions se heurtent toutefois à des défis techniques considérables :

- la gravité lunaire, à peu près six fois plus faible que sur Terre, qui impose aux techniques et procédés de forage d'être étudiés et adaptés à l'environnement lunaire ;

- l'environnement particulièrement extrême où les températures varient entre – 240 °C et + 120 °C, l'atmosphère ayant une couche extrêmement fine, exposant donc la Lune aux radiations solaires et cosmiques ;

- le régolithe lunaire, particulièrement fin, présente un risque de perturbation des équipements sur place ;

- le coût du transport spatial, qui demeure élevé, même si les acteurs privés laissent présager des perspectives encourageantes à ce sujet.

S'agissant du montant financier de telles opérations, le potentiel économique et les possibles retombées de l'exploitation des métaux critiques sur la Lune doivent être envisagés de manière globale. Au-delà du développement de nouvelles technologies, l'ensemble des activités lunaires pourrait stimuler différentes filières industrielles, la recherche et la création d'emplois.

Quant à la question de la viabilité économique du système Terre-Lune – c'est-à-dire l'acheminement de ressources lunaires sur Terre –, il importe de bien préciser ce que l'on entend par « bénéfiques ». À l'heure actuelle, le coût du transport spatial et de la logistique associée nécessaires à l'extraction et au rapatriement des ressources lunaires demeure très élevé et ne serait pas compensé par les gains issus

de la revente des ressources. L'opération ne générerait aucun bénéfice.

En revanche, si l'on prend en compte d'autres facteurs, comme une plus grande indépendance à l'égard de certains fournisseurs – à titre d'exemple, la Chine produit 80 % du silicium mondial –, ou les retombées positives sur la Terre de certaines avancées technologiques – par exemple pour la vie en milieu difficile –, il devient bien plus complexe de quantifier les bénéfices de ces missions.

Une utilisation des ressources *in situ* – qui reste l'utilisation la plus probable aujourd'hui – réduirait en outre potentiellement le coût total, en encourageant le développement d'établissements durables, quasi autonomes et fonctionnant en cycle fermé, bouclant ainsi la chaîne extraction-traitement-utilisation sur la Lune. La mise en œuvre de ces procédés nécessite néanmoins d'importants investissements et l'acheminement d'infrastructures considérables.

Eldorado minier ou simple mirage ?

Généralement, l'argumentaire économique en faveur de l'exploration et de l'exploitation spatiale, notamment des métaux rares, repose sur la hausse continue de la demande mondiale, une hausse due à la transition énergétique qui s'appuie sur des technologies de pointe ayant recours à ces métaux. Face à cette raréfaction, la Lune apparaît comme une planche de salut qui résoudrait cette crise sur Terre.

De même, l'idée est souvent avancée que l'exploitation de l'hélium 3, un gaz léger non radioactif, présent sur la Lune, permettrait d'obtenir une nouvelle source d'énergie quasi infinie, ou que coloniser Mars constituerait une solution à la surpopulation de la Terre. Or la réalité scientifique montre que de tels projets ne sont pas viables à l'heure actuelle, et sont plutôt de l'ordre de l'imaginaire⁵. Quant aux missions lunaires, leur rentabilité reste à ce jour purement spéculative. Le coût des missions, la complexité technique, la sécurité des opérateurs – l'exploration sera-t-elle humaine ou robotique ? les deux ? –, le cadre légal

⁵ L'abondance de l'hélium 3 est notamment à pondérer. Selon les travaux de Ian Crawford, la concentration d'hélium 3 est de 4 ppb (comprendre quelques milligrammes pour une tonne de roche), ce qui impose donc une infrastructure énorme pour envisager son exploitation à grande échelle.

encore flou sont autant d'incertitudes majeures qu'il conviendra de dissiper, alors même que la Lune fait déjà l'objet d'ambitions et de rivalités. Les États-Unis et la Chine ne cachent pas leur intérêt grandissant pour conquérir, explorer et exploiter la Lune. Maîtriser la chaîne d'approvisionnement en métaux rares représente un atout stratégique essentiel dans un contexte de transition énergétique et numérique, chaîne à même d'intégrer la Lune comme un éventuel maillon supplémentaire.

Ces perspectives font spontanément entrevoir une compétition géopolitique qui concerne avant tout les États, qui demeurent, au regard du traité de l'espace de 1967, les seuls responsables en droit international public. La politique nationale de ces États, avec la liberté d'exploiter les ressources qu'ils pourraient accorder à leurs entreprises, représente un volet économique qui reste toutefois tributaire des avancées scientifiques et technologiques indispensables à sa mise en œuvre.

Enfin, indépendamment de la question de la rentabilité potentielle, cette exploitation des ressources renvoie à l'interdépendance fondamentale qui caractérise les activités dans l'espace, avec de surcroît, dans le cas de la Lune, une puissante dimension psychologique qui dépasse les seuls acteurs. En effet, d'un côté, l'opinion publique pourrait se laisser galvaniser par les avancées de tels projets et, de l'autre, dans un contexte de crise climatique, lesdits projets pourraient soulever d'importants questionnements éthiques et moraux, notamment autour de la question de la redistribution des ressources.

La coopération internationale redevient donc à ce titre un facteur qui ne peut être définitivement écarté, comme cela est trop souvent le cas dans les

discours actuels de certains dirigeants politiques sur les programmes lunaires. Coopération qui s'imposera comme un élément clé si cette « conquête lunaire » doit bénéficier au plus grand nombre.

L'avenir de l'exploration et de l'exploitation lunaire ne se jouera pas uniquement dans les laboratoires, il dépendra de la capacité mondiale à conjuguer innovation, ambition et coopération afin d'en tirer les retombées les plus positives pour la Terre.

Soufiane Zekri*

Officier du commandement de l'espace et doctorant à l'EHESS, travaillant sur « L'exploration et l'exploitation lunaire : enjeux géopolitiques, économiques et scientifiques autour des métaux rares et de la coopération internationale ».

** Les informations et opinions présentées ici sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement les positions, points de vue ou politiques officielles de toute organisation, institution ou employeur éventuel.*

Bibliographie

- Mahesh Anand, Ian A. Crawford *et al.*, « A brief review of chemical and mineralogical resources on the Moon and likely initial In Situ Resource Utilization (ISRU) applications », *Planetary and Space Science*, vol. 74, n° 1, décembre 2012, p. 42-48.
- Gunter Just, Katharine L. Smith *et al.*, « Parametric review of existing regolith excavation techniques for lunar In Situ Resource Utilization (ISRU) and recommendations for future excavation experiments », *Planetary and Space Science*, vol. 180, janvier 2020.
- Ian A. Crawford, « Lunar resources: A review », *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, vol. 39, n° 2, avril 2015, p. 137-167.
- NASA, « Artemis Plan. NASA's Lunar Exploration Program Overview », septembre 2020.

La logistique spatiale dans les programmes d'exploration lunaire

Emilie Desmots

est doctorante au Centre Alexandre-Koyré (CAK) et travaille sur la place de la logistique dans l'exploration spatiale.

L'importance actuelle de la Lune dans les programmes spatiaux est liée au fait qu'elle constitue à la fois un jalon essentiel – y établir une présence humaine semi-durable est une étape nécessaire pour qui voudra aller vers Mars – et un défi – car une telle présence implique d'acheminer tous les éléments dont l'homme a besoin pour survivre dans l'espace. Le programme américain Artemis, dont l'objectif est d'amener un équipage sur le sol lunaire à court terme, s'appuie sur un gigantesque projet de relais d'infrastructures, Lunar Gateway, développé par les États-Unis en coopération avec des entreprises privées et les agences spatiales européenne, japonaise et canadienne. L'étude de ce « portail lunaire », une station spatiale qui évoluera en orbite autour de la Lune, permet de mieux comprendre les enjeux actuels de la logistique spatiale.

La paralysie du canal du Suez en mars 2021 illustre pleinement le caractère paradoxal de la logistique dans nos sociétés contemporaines. Lieu de transit de 10 % environ du commerce maritime international, le canal de Suez s'est vu obstrué par le porte-conteneurs *Ever Given* du 23 au 29 mars, bloquant plus de 400 navires durant les sept jours qu'a duré l'incident. Le coût d'un tel blocage – représentant un manque à gagner estimé entre 6 milliards et 10 milliards de dollars par jour pour le commerce mondial¹ – a conduit à une intense médiatisation de l'événement. De fait, il existe une grande différence entre une logistique terrestre très développée mais généralement méconnue, sauf en cas d'incidents ou de tensions géopolitiques, et une logis-

tique spatiale naissante et objet des spéculations les plus variées.

Avec près de 384 000 kilomètres de distance moyenne entre la Terre et la Lune, l'enjeu de la logistique spatiale n'est pas seulement une question de rapport coût/distance. Il suffit de considérer l'absence de gravité dans l'espace et le prix d'acheminement d'un produit

¹ Toutes les données utilisées ici sont issues de l'article « Le porte-conteneurs *Ever Given* remis à flot, le trafic reprend dans le canal de Suez », *Le Monde*, 29 mars 2021, www.lemonde.fr/afrique/article/2021/03/29/canal-de-suez-bloque-le-porte-conteneurs-ever-given-a-commence-a-bouger_6074815_3212.html#:~:text=Le%20porte%2Dconteneurs%20Ever%2DGiven,10%20%25%20du%20commerce%20maritime%20international.

depuis la surface terrestre jusqu'à l'orbite terrestre basse (*low Earth orbit*, LEO) pour se rendre compte des multiples défis que pose une telle logistique.

Alors même que les programmes d'exploration lunaire gagnent en importance, il convient de repenser les caractéristiques de cette logistique et de souligner ses différences avec la logistique terrestre². L'exemple du programme américain Artemis, qui réunit partenaires privés et publics, permet de mieux comprendre les besoins spécifiques aux programmes d'exploration lunaire en ce domaine.

Définir la logistique spatiale

S'intéresser à la logistique spatiale et chercher à la définir nécessite auparavant de comprendre ce qu'est la logistique terrestre.

Les spécificités de la logistique terrestre

D'un point de vue sémantique, la logistique appartient à l'origine au domaine militaire³. Apparue au XVII^e siècle, le terme désigne l'ensemble des activités nécessaires pour mener la guerre – acheminement des soldats et des provisions, gestion des armements... La logistique est ensuite formalisée par l'historien et stratège suisse Antoine Henri de Jomini (1779-1869), qui œuvra au service de la France de Napoléon puis de la Russie de Nicolas I^{er} (*Précis de l'art de la guerre*, 1838).

Après la Seconde Guerre mondiale, elle trouve progressivement sa place dans le domaine civil et économique sous l'influence des États-Unis et des nombreux acteurs économiques qui ont eu une expérience de la logistique militaire. Les ouvrages du mathématicien et scientifique russo-américain Igor Ansoff (*Corporate Strategy*), en 1965, et du professeur américain de stratégie d'entreprise Michael Porter (*Competitive Strategy*), en 1980, participent

largement à cette extension de la logistique au secteur économique.

De nos jours, la logistique consiste en l'organisation et en l'optimisation des flux physiques et informationnels. Le transport en est l'aspect le plus courant. La mondialisation a grandement facilité les échanges de produits de par la planète. Le conteneur, devenu le symbole de cette évolution, illustre également les défis essentiels de la logistique : la gestion des flux et la question de la standardisation.

Si l'on reprend l'exemple de l'obstruction du canal de Suez en mars 2021, on comprend aisément l'enjeu de la gestion des flux dans le commerce international alors que plus de 80 % du commerce mondial est acheminé par voie maritime⁴. À l'opposé, la gestion d'un entrepôt appartient également à la logistique, mais les défis de l'entreposage relèvent principalement de la gestion des infrastructures, des flux et de la création de valeur – plus un produit reste stocké longtemps, plus il perd de la valeur.

Si les défis varient selon les secteurs d'activité et le type de logistique, tous ont en commun certains éléments dont l'importance relative diffère selon le secteur concerné : les infrastructures, les flux et les échanges, ainsi que les questions de sécurité des biens et des personnes, la création de valeur et la standardisation. Loin d'être monolithique, la logistique apparaît donc essentiellement comme la capacité d'adaptation aux besoins d'un client et aux produits à transporter. Dès lors, quelles sont les implications de ces caractéristiques pour la logistique spatiale ?

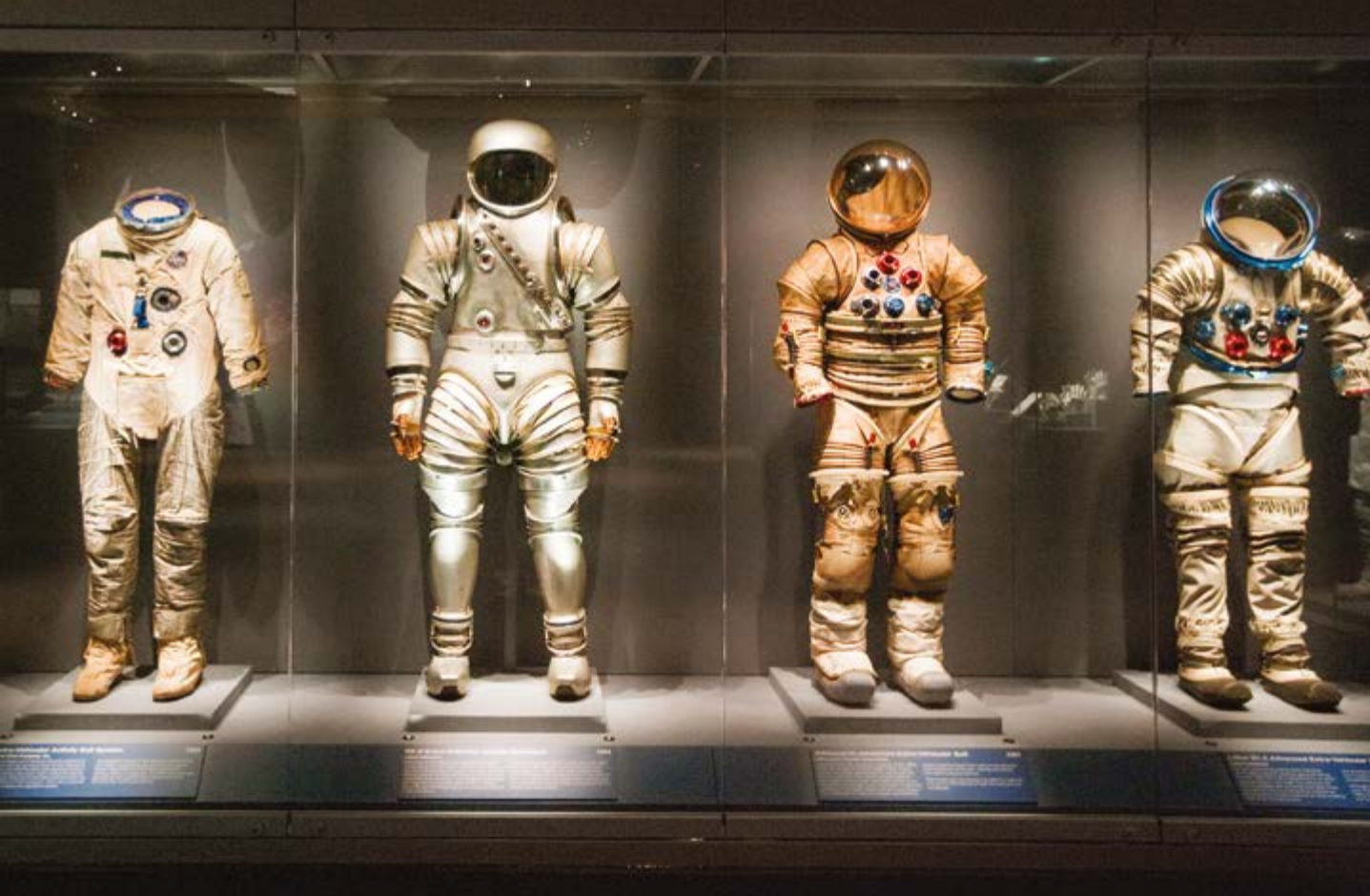
La logistique spatiale : un domaine en construction

La logistique spatiale est définie comme « la théorie et la pratique de la conception de systèmes spatiaux pour la prise en charge et la gestion du flux de matériel, de services et d'informations nécessaires tout au long du

² La logistique terrestre est ici comprise comme toute logistique prenant place sur Terre (qu'il s'agisse du fret aérien, ferroviaire, maritime ou routier) tandis que la logistique spatiale désigne celle se déployant au-dessus de l'orbite terrestre basse (LEO).

³ Voir à ce sujet les travaux du chercheur Aurélien Rouquet.

⁴ « Infographie : les chiffres clés des échanges maritimes mondiaux », musée national de la Marine, 21 avril 2023, www.musee-marine.fr/le-magazine/dossiers-thematiques/a-quoi-ressembleront-les-echanges-maritimes-de-demain/infographie.html.



↑ Les combinaisons de Neil Armstrong, « Buzz » Aldrin et d'autres astronautes sont exposées au Visitor Complex du Centre spatial Kennedy, à l'occasion du 40^e anniversaire de la mission Apollo 11, en juillet 2009. Les nouvelles combinaisons en développement sont des versions améliorées des scaphandres pressurisés, plus légères et insensibles aux perforations, dans lesquelles les astronautes peuvent se mouvoir plus aisément.

© Matt Strohane/Getty Images North America via AFP

cycle de vie d'un système spatial⁵», selon le comité technique Space Logistics de l'American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), l'organisation professionnelle américaine œuvrant dans le domaine de l'ingénierie et de la technologie spatiale et de l'ingénierie aéronautique.

Tous les observateurs s'accordent à dire que la logistique spatiale n'en est encore qu'à ses débuts. Les notions de flux et d'échanges, de sécurité des personnes et des biens, et celle de standardisation sont bien identifiées, mais les infrastructures restent à construire et la création de valeur demeure le problème central.

⁵ American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), traduction de l'auteur, www.aiaa-sltc.org/.

Deux défis primordiaux concernent notamment l'applicabilité de la standardisation à la logistique spatiale encore balbutiante et la question de l'autonomie de cette logistique dans un environnement hostile⁶.

Parler de standardisation dans le domaine spatial peut paraître audacieux tant le secteur est encore en développement. Néanmoins, cette notion est déjà opérante du fait des origines historiques du domaine spatial. Les États-Unis, en développant leurs missions spatiales, se sont appuyés sur les expériences de la logistique militaire et sur ses différentes classes de produits – nourriture, équipement, déchets... La standardisation dans la logistique spatiale est donc issue soit des liens qu'entretiennent les industries spatiales avec le complexe militaro-industriel de chaque État, soit d'échanges de technologie spatiale, notamment entre acteurs publics et privés. Il

⁶ Pour se faire une idée de l'hostilité du milieu spatial, voir par exemple David Wright, Laura Grego et Lisbeth Gronlund, *The Physics of Space Security. A Reference Manual*, American Academy of Arts and Sciences, Cambridge, 2005.

subsiste toutefois de nombreuses interrogations, tant sur la forme que prendrait la standardisation de la logistique spatiale que sur les domaines qui seraient concernés par cette évolution.

Sur ce dernier point, il convient de noter que la notion de standardisation peut porter sur des éléments physiques, comme les dimensions des anneaux d'amarrage des navettes spatiales ou le type d'ergols sélectionnés⁷, autant que sur des éléments immatériels, comme les normes légales régissant ces dimensions ou le format des données informatiques échangées entre navettes spatiales. Bâtir une logistique spatiale nécessite donc d'englober un vaste ensemble de sujets complexes et variés.

“
**Chaque question logistique
qui a été résolue sur Terre
se heurte à de nouveaux défis
dans l'espace**
”

L'espace demeure en outre un environnement fondamentalement hostile, et l'un des principaux écueils de la logistique spatiale est qu'elle ne peut être un simple décalque de la logistique terrestre. Chaque question logistique qui a été résolue sur Terre se heurte à de nouveaux défis dans l'espace⁸. Sur Terre, les entrepôts sont parvenus à un stade de développement avancé, notamment grâce au recours aux technologies de l'information et de la communication. Dans l'espace, nombreux sont les acteurs à vouloir créer des entrepôts permettant de stocker des ergols pour permettre le ravitaillement en orbite. Toutefois, ces projets se heurtent à de nombreuses difficultés : le stockage de matières dans l'espace

à des températures qui peuvent varier grandement selon le degré d'ensoleillement ; la stabilité des matériaux en apesanteur ; les conditions de rangement en apesanteur, etc.

Un pont dans la relation Terre-Lune

Définir la logistique spatiale invite également à se pencher sur la manière dont elle entend établir une relation plus stable entre la Terre et la Lune.

Assurer une permanence

La logistique spatiale constitue un moyen en vue d'une fin, celle d'assurer une présence humaine durable dans l'espace. La liste des différents acteurs internationaux engagés dans la construction de *Lunar Gateway*, le projet de station spatiale présenté en 2017 par la NASA pour préparer les astronautes aux expéditions dans l'espace interplanétaire (Lune, Mars) en leur permettant d'y séjourner, montre la complexité d'une telle entreprise (voir tableau « acteurs de la construction de *Lunar Gateway* », p. 134). Dans une perspective d'apprentissage, ce projet peut s'appuyer sur le retour d'expérience de la Station spatiale internationale (International Space Station, ISS) et se fonder sur ses succès autant que tirer les leçons de ses difficultés.

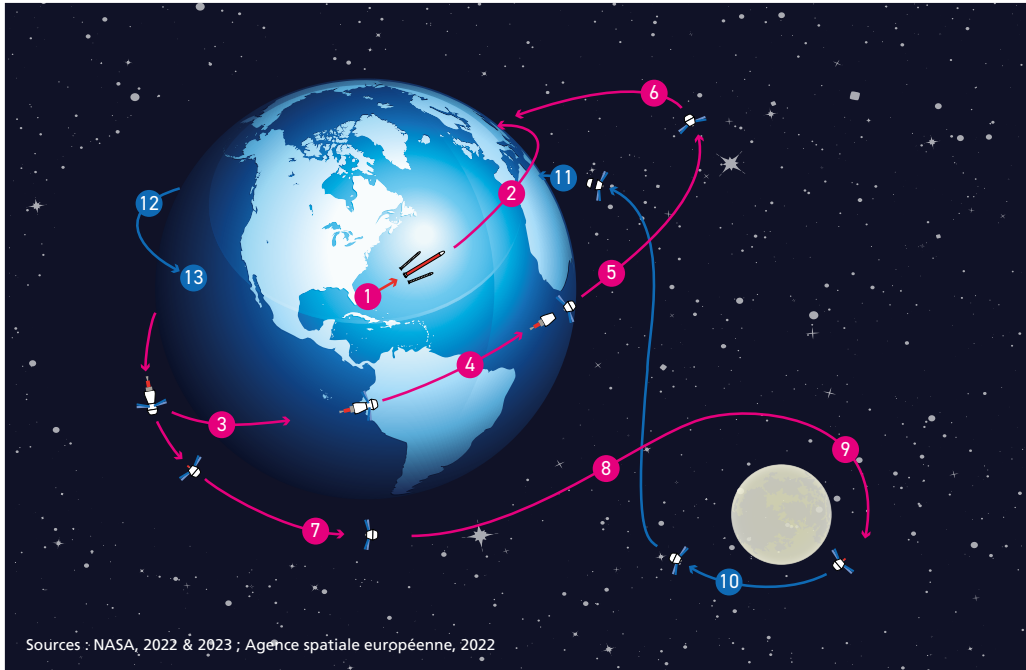
Mais pourquoi assurer une présence humaine durable dans l'espace ? À moyen terme, le retour d'un homme sur la Lune vise à répondre à des impératifs scientifiques – travaux sur l'eau et les autres ressources lunaires ainsi que sur l'histoire et la formation de la Lune –, mais aussi à évaluer de potentiels bénéfices économiques à venir – en essayant d'y construire des panneaux solaires, par exemple. Le retour de l'homme dans l'espace constitue également un enjeu politique dans la mesure où il s'agit, notamment pour les États-Unis, de maintenir un leadership dans l'exploration spatiale et d'inciter de nouvelles générations à se lancer dans d'ambitieux projets⁹.

⁷ Les ergols sont les produits initiaux, séparés, utilisés dans le système propulsif à réaction d'un lanceur.

⁸ Voir Leandre Jones, « Critical Requirements to Enable the Strategic Evolution of Space Exploration through Logistics Development », thèse, université de Houston, mai 2020 ; Richard C. Oeftering, « The Impact of Flight Hardware Scavenging on Space Logistics », NASA, 2011 ; et Anél Ferreira-Snyman, « Outer Space Exploration and the Sustainability of the Space Environment – An Uneasy Relationship », *Potchefstroom Electronic Law Journal*, vol. 26, n° 1, septembre 2023.

⁹ Voir la page de la NASA « Why Go to Space », www.nasa.gov/humans-in-space/why-go-to-space/.

Exemple d'un plan de vol Terre-Lune (projet Artemis II, prévu en 2026)



- 1 Décollage depuis le Kennedy Space Center en Floride.
- 2 Largage des boosters de la fusée en vol et coupure du moteur principal.
- 3 Entrée en orbite terrestre basse avec un contrôle des systèmes et le déploiement de panneaux solaires.
- 4 Évaluation de la maniabilité pré-opératoire avant l'entrée dans l'espace extra-atmosphérique.
- 5 Séparation du système de propulsion cryogénique intermédiaire, une fois le vaisseau propulsé à une altitude suffisante.
- 6 Entrée en orbite terrestre haute.
- 7 Activation du module de service fourni par l'ESA (partenaire de la NASA), qui permettra au vaisseau de revenir vers la Terre sans propulsion.
- 8 Voyage de quatre jours vers la Lune.
- 9 Mise en orbite et survol de la Lune à 7500 km de la surface lunaire.
- 10 Voyage de retour de 4 jours vers la Terre avec des manœuvres de correction de trajectoire.
- 11 Séparation entre le module de service et le module d'équipage pour une entrée sûre de l'équipage dans l'atmosphère.
- 12 Entrée dans l'atmosphère terrestre.
- 13 Amerrissage dans l'océan Pacifique.

À long terme, le retour des hommes sur la Lune constitue une première étape avant d'aller plus loin dans l'exploration spatiale. Le programme Artemis est considéré comme le premier jalon essentiel dans la course vers Mars. Essentiel parce que la Lune constitue une très bonne zone de test pour évaluer les contraintes

d'une présence humaine dans l'espace. En effet, les réserves en eau et en régolithe de la Lune permettent de tester l'«utilisation des technologies *in situ*» (*in-situ resource utilization, ISRU*) et toutes les composantes logistiques autorisant une telle présence – lieux de vie et de recherche, stockage d'eau, de vivres, d'oxygène et d'énergie.

Les acteurs partenaires de la NASA pour la construction de Lunar Gateway

Type d'acteurs	Acteur	Rôle
Acteurs internationaux	ESA Agence spatiale européenne	Module de vie pressurisé <i>Lunar I-Hab</i> avec l'entreprise Thales Alenia Space et la JAXA Module de stockage <i>Lunar View</i>
	JAXA Japan Aerospace Exploration Agency	Système de contrôle environnemental et thermique du module de vie <i>Lunar I-Hab</i> Batteries de <i>Lunar Gateway</i>
	CSA Canadian Space Agency	Bras robotisé Canadarm3 pour entretenir et inspecter <i>Lunar Gateway</i>
	UAESA United Arab Emirates Space Agency	Sas du module de vie et recherche
Acteurs privés	Maxar Technologies	Éléments de propulsion nécessaires aux communications entre la Terre et la station <i>Lunar Gateway</i> et aux capacités de transfert orbital de la station (<i>Power and Propulsion Element, PPE</i>)
	Northrop Grumman	Module logistique et d'habitation (<i>Habitation and Logistics Outpost, HALO</i>)
	Lockheed Martin	Navette <i>Orion</i>
	SpaceX	<i>Starship</i> version lunaire (ou HLS pour <i>Human Landing System</i> , système d'atterrissage habité)

Source : auteur.

Les composantes de la logistique

Bien qu'encore en construction, les projets spatiaux de vols habités lointains font appel à de nouveaux modes de logistique spatiale qui révèlent en creux les difficultés des coopérations spatiales et les rivalités en cours. La compétition actuelle la plus évidente est celle qui oppose les projets américains liés aux accords Artemis au projet de Station de recherche lunaire internationale (International Lunar Research Station, ILRS) piloté conjointement par la Chine et la Russie¹⁰.

Le programme Artemis est un programme d'exploration spatiale de la NASA. Cette dernière travaille avec des partenaires américains privés mais aussi avec des partenaires internationaux comme les agences spatiales japonaise (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) et européenne (European Space Agency, ESA) afin de parvenir à déployer une infrastructure capable de maintenir une présence humaine au pôle Sud de la Lune. Ce projet, qui constitue donc un enjeu de logistique spatiale partagé entre plusieurs acteurs (voir tableau ci-dessus), repose sur un relais, *Lunar Gateway*, une station qui sera

mise en orbite autour de la Lune. Celle-ci offrira une infrastructure permanente où les astronautes pourront vivre et mener des expériences. Elle leur permettra d'enchaîner les missions sur la Lune et servira de « station-service » pour assurer le ravitaillement en carburant.

La diversité et le nombre des acteurs impliqués dans la construction de *Lunar Gateway* illustrent l'importance des enjeux de la standardisation et de l'autonomisation de la logistique spatiale. *Lunar Gateway*, qui a désormais franchi la phase d'étude, comprend un « bidon » d'habitation (*Habitation and Logistics Outpost, HALO*) et un module de propulsion (*Power and Propulsion Element, PPE*). De fait, la distribution des tâches entre l'ESA et la JAXA implique nécessairement une communication entre les deux institutions, qui doivent développer des standards communs afin d'assurer la compatibilité du système de contrôle environnemental avec le module de vie *Lunar I-Hab* auquel travaillent les deux agences. Si ces standards ne sont pas communiqués à toutes les agences spatiales, des normes ISO existent déjà et continuent d'être à l'étude au sein de l'Organisation internationale de normalisation *via* son comité technique qui travaille sur les systèmes spatiaux, leur développement et leur mise en œuvre.

¹⁰ Et dont il ne sera pas question ici, faute d'informations suffisantes sur les aspects logistiques. Sur l'étude comparée de ces deux programmes, voir le tableau p. 104-106.

Le projet vise également à assurer à la présence humaine dans l'espace une forme d'autonomie : l'idée même du programme consiste à construire une base en orbite lunaire qui puisse se comporter comme un « hub » entre la Terre et la Lune. La multiplicité des modules permettant le stockage des éléments nécessaires à la survie témoigne de la volonté d'assurer à la station une certaine indépendance pour des missions spatiales de 90 jours. Cette autonomie de court terme nécessitera des approvisionnements en provenance de la Terre comme cela se fait actuellement pour l'ISS.

La station *Lunar Gateway* illustre donc le défi principal de la logistique spatiale : réduire sa dépendance à la Terre afin d'avoir une chance de devenir un jour véritablement autonome. Cet objectif est déterminant pour les projets spatiaux futurs. Pour l'heure, la majorité des composants de *Lunar Gateway* sont encore en phase d'essai, à l'exception des éléments de propulsion (PPE) fabriqués par Maxar Technologies, qui ont passé avec succès les tests en mars 2024. Depuis juillet 2024, ces éléments accueillent les réservoirs de carburant nécessaires au bon fonctionnement du module PPE, lequel doit fournir l'énergie électrique grâce à des panneaux solaires et assurer la propulsion¹¹.



¹¹ Emma Lehnhardt, Jon Olansen *et al.*, « Gateway Program Development Progress », dans International Astronautical Federation (IAF), *IAF Human Spaceflight Symposium* (Milan, octobre 2024), 2025, p. 7883.

Les programmes d'exploration lunaire dépendent étroitement de la logistique qui sera développée – du lanceur aux réseaux de communication sur la Lune – pour maintenir sur la Lune une présence humaine de plus longue durée. Une grande partie des technologies nécessaires est encore en cours de développement ou en phase de test. Toutes ces avancées marquent toutefois une nouvelle étape vers l'utilisation à terme des ressources *in situ*.

La logistique spatiale ne constitue pas seulement un défi pour une agence spatiale ou une entreprise, mais davantage l'occasion d'évaluer la manière dont coopération et compétition se manifestent dans le domaine spatial parmi les acteurs internationaux, qu'ils soient publics ou privés. Au cœur des relations internationales, les défis logistiques recèlent donc la clé de la réussite des futures missions spatiales. ●

Bibliographie

- **James C. Breidenbach**, « What Exactly is Space Logistics ? », Defense Acquisition University, *Defense AT&L*, vol. 40, n° 1, janvier-février 2011, p. 26-30.
- **Henry Leach et Michael Ewert**, « Analysis of Historical International Space Station Logistical Mass Delivery », dans Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), IEEE Aerospace Conference (en ligne, mars 2021), 2021.
- **Pascal Lièvre**, *La Logistique*, La Découverte, coll. « Repères », Paris, 2007.
- **Aurélien Rouquet**, « Les racines oubliées de la logistique. La fonction de maréchal général des logis dans l'armée française entre le XVI^e et le XVIII^e siècle », *Revue française de gestion*, vol. 47, n° 297, mai 2021, p. 35-52.

Les questions juridiques propres au statut de la Lune et au régime des activités lunaires

Emmanuel Bourdoncle

est docteur en droit international, chef de projets régulation et durabilité des activités spatiales au ministère de l'Économie et des Finances¹.

Symbole des débuts de la conquête spatiale et de l'exploration habitée, la Lune a progressivement disparu du premier plan des activités spatiales à la fin du XX^e siècle. Les années 2010 l'ont toutefois vue revenir au centre d'un certain nombre de programmes d'exploration et d'autres projets spatiaux, privés comme étatiques, qui affichent clairement la volonté d'un retour des activités humaines sur le sol lunaire. Entre rivalités géopolitiques et exploits scientifiques ou technologiques, ces différents projets traduisent un regain de fascination pour la conquête de la Lune². Ce faisant, ils soulèvent de nombreux questionnements nouveaux sur l'encadrement juridique des activités spatiales et lunaires.

Les activités spatiales ont bénéficié très tôt d'un cadre juridique international relativement consensuel, et ce en dépit du contexte tendu qui l'a vu naître. Alors qu'en 1957 débute la conquête spatiale avec le lancement du satellite soviétique *Sputnik*, une première résolution onusienne pose dès 1963 les grands principes du traité de l'espace du 27 janvier 1967, qui fixe un cadre général pour les activités spatiales (voir encadré p. 28). Complété dans les années suivantes par des accords plus spécifiques sur la sécurité des astronautes, l'immatriculation des objets spatiaux et l'établissement d'un régime spécifique de responsabilité pour dommages causés dans l'espace

extra-atmosphérique, ce mouvement d'encadrement international s'achève par l'adoption d'un accord spécifiquement consacré aux activités se déroulant sur les corps célestes, y compris la Lune – mais qui n'a pas été ratifié par les principales puissances spatiales.

Une fois ce cadre juridique posé, le droit international de l'espace s'est ensuite concentré sur la transposition de ces textes au plan national, avant de connaître des développements spécifiques liés à l'évolution des activités spatiales

¹ Les opinions ici exprimées n'engagent que l'auteur.

² Celle-ci s'est notamment traduite par l'instauration, avec la résolution 76/76 du 9 décembre 2021 de l'Assemblée générale des Nations Unies, d'une Journée internationale de la Lune le 20 juillet, date anniversaire du premier alunissage dans le cadre de la mission Apollo 11.



↑ La fusée Longue Marche-5 qui emporte la sonde Chang'e 6 sur son pas de tir de Wenchang, sur l'île tropicale de Hainan (sud de la Chine), le 28 avril 2024. En juin suivant, la sonde Chang'e-6 est revenue de la surface lunaire en ramenant des échantillons et après qu'un drapeau chinois a été déployé pour la première fois sur la face cachée de la Lune. La Chine a récemment exprimé sa volonté de devenir un chef de file dans la création d'un cadre international renforcé pour la gouvernance de l'espace, grâce à sa participation active à l'élaboration des règles internationales et à la formulation de son propre droit national de l'espace. © Liu Fang / Xinhua via AFP

elles-mêmes. Dans ces conditions, l'actuelle montée en puissance de nouveaux programmes d'exploration lunaire conduit naturellement à s'interroger sur le cadre juridique applicable, sa pertinence et la nécessité de l'adapter, voire de le transformer.

Ces évolutions soulèvent des questionnements cruciaux quant à l'impératif de proposer de nouvelles règles tant sur des segments très divers des activités spatiales – usage des fréquences, exploitation des ressources, coordination d'activités conduites par plusieurs acteurs, présence humaine de longue durée, etc. – qu'en matière de principes fondateurs et structurants du droit international de l'espace.

Dans un contexte de crise générale du multilatéralisme, les questions juridiques relatives au statut de la Lune et au régime des activités s'y déroulant apparaissent comme un prisme privilégié à travers lequel observer et analyser les dynamiques internationales contemporaines liées aux nouveaux enjeux de la conquête spatiale.

Sur le fond, si le droit international de l'espace a permis dès sa naissance de consacrer un certain nombre de principes attribuant à la Lune un statut juridique propre, les nouvelles activités envisagées ne disposent, pour la plupart, d'aucune réglementation précise et partagée par les différents acteurs spatiaux. Alors que les activités spatiales font l'objet d'une compétition industrielle, stratégique et réglementaire croissante, le développement du droit relatif aux activités lunaires suppose de retrouver des points d'accord permettant de s'assurer que ces activités continuent de « se faire pour le bien et dans l'intérêt de tous les pays, quel que soit le stade de leur développement économique ou scientifique » et qu'elles restent « l'apanage de l'humanité tout entière » (art. 1^{er} du traité de l'espace).

Un régime partiellement spécifique

Contrairement à d'autres domaines juridiques qui privilégient l'échelle nationale, le droit de l'espace s'est d'abord constitué grâce à une approche internationale. En effet, lancés dans le cadre du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique des Nations Unies (CUPEEA, ou COPUOS en anglais, voir encadré, p. 87), les travaux sur l'encadrement juridique des activités spatiales ont abouti à une série de traités internationaux dès la fin des années 1960 jusqu'au début des années 1980³.

L'ensemble de ces traités et conventions a jeté les bases d'un cadre juridique international régissant les activités spatiales des États, lequel a été progressivement transposé dans le droit interne des États parties au cours des années 1980 et 1990. La Lune n'occupe pas de place spécifique dans ces accords, mais certains points du traité de 1967 laissent présager la nécessité d'un cadre juridique voué exclusivement aux activités humaines sur le sol lunaire, qui ont ouvert la voie à la proposition de l'accord sur la Lune de 1979. Celui-ci n'a toutefois pas rencontré le succès des traités précédents, puisqu'il n'a été signé et ratifié que par 17 États, dont aucune puissance spatiale⁴, alors que le traité de l'espace de 1967 compte 110 États parties en 2025.

Ces accords consacrent un certain nombre de grands principes juridiques, rappelés ci-dessous, qui ont vocation à s'appliquer à la Lune, aux autres corps célestes comme à l'ensemble de l'espace extra-atmosphérique :

- le principe de liberté d'exploration et d'utilisation de l'espace ;
- le principe de non-appropriation nationale des corps célestes et de l'espace ;
- le principe d'utilisation des ressources spatiales à des fins pacifiques ;

³ Pour l'analyse de ces traités et accords, voir l'article de Lucien Rapp dans le présent dossier.

⁴ Seule puissance spatiale à l'avoir signé, la France n'a jamais procédé à la ratification de cet accord compte tenu de la faible adhésion internationale à ce traité qui reflète l'absence de consensus autour de ses principales dispositions.

- le principe d'assistance mutuelle ;
- le principe de responsabilité, qui se décline en un principe d'autorisation et de surveillance continue des activités par l'État de juridiction – et qui se traduit notamment par les obligations en matière d'immatriculation des objets spatiaux énoncées par la convention de 1975 – et un principe de réparation des dommages causés par les objets spatiaux – dont le régime est fixé par la convention *ad hoc* de 1972 ;
- le principe de non-interférence, de non-dégradation et de non-contamination des environnements spatiaux et terrestres.

Parmi ces principes, deux seulement connaissent un régime différencié en fonction de la partie de l'espace extra-atmosphérique considérée. Il s'agit d'abord du principe d'utilisation de l'espace à des fins pacifiques (article IV du traité de l'espace de 1967). Tandis qu'est explicitement interdit tout placement d'armes nucléaires et d'armes de destruction massive sur les orbites terrestres, il est précisé que « tous les États parties au traité utiliseront la Lune et les autres corps célestes exclusivement à des fins pacifiques. Sont interdits sur les corps célestes l'aménagement de bases et installations militaires et de fortifications, les essais d'armes de tous types et l'exécution de manœuvres militaires ». Par ailleurs, moins connu mais qui pourrait prendre une importance considérable dans le contexte de développement des projets de base lunaire permanente, l'article XII du traité de 1967 consacre également un principe de transparence et de libre accès aux installations et équipements se trouvant sur les corps célestes, dont la Lune, au bénéfice de l'ensemble des États parties⁵.

Au-delà de ces dispositions expressément particulières, le traité de 1967 ne distingue pas la façon dont les autres principes ont vocation à s'appliquer sur la surface d'un corps céleste

⁵ Article XII (*in extenso*) : « Toutes les stations et installations, tout le matériel et tous les véhicules spatiaux se trouvant sur la Lune ou sur d'autres corps célestes seront accessibles, dans des conditions de réciprocité, aux représentants des autres États au traité. Ces représentants notifieront au préalable toute visite projetée, de façon que les consultations voulues puissent avoir lieu et que le maximum de précautions puissent être prises pour assurer la sécurité et éviter de gêner les opérations normales sur les lieux de l'installation à visiter. »

ou autour des corps célestes. Néanmoins, il a été vite reconnu que l'application de ces principes ne pouvait être uniforme, ce qui a conduit à la rédaction de l'accord sur la Lune de 1979. Celui-ci s'inscrit dans la continuité du traité de l'espace et entend préciser l'application de l'ensemble des principes de 1967 sur la surface lunaire.

Ses principales avancées sont :

- le renforcement de l'utilisation à des fins exclusivement pacifiques en étendant l'interdiction du placement d'armes de destruction massive (ADM) et d'armes nucléaires à la surface lunaire ;
- un renforcement des obligations de coopération, d'assistance et de partage des informations ;
- la déclinaison du principe de non-appropriation en l'étendant aux ressources et sous-sols lunaires et en écartant l'idée que l'installation d'équipements sur la Lune pourrait conduire à la reconnaissance d'un quelconque droit de propriété ;
- la reconnaissance du statut de patrimoine commun de l'humanité pour la Lune et ses ressources naturelles ;
- l'engagement à établir un régime international régissant l'exploitation des ressources naturelles lunaires.

De ce cadre il ressort une certaine ambivalence quant au champ d'application du droit international de l'espace. La notion de patrimoine commun reconnu pour la Lune mais ni pour les autres corps célestes ni pour l'espace extra-atmosphérique en général dans cet accord illustre notamment cette ambiguïté. Au-delà, la lourdeur des mécanismes à prévoir pour mettre en œuvre l'accord comme l'influence très forte de concepts juridiques tombés depuis en désuétude peuvent expliquer la faible adhésion internationale à l'accord sur la Lune. Construit sur un postulat d'unicité de l'espace extra-atmosphérique consistant à appliquer les mêmes principes aux espaces orbitaux, aux activités d'exploration lointaine comme aux corps célestes, le droit de l'espace se heurte néanmoins à une réalité physique qui interroge les principes sur lesquels il est construit. Les réflexions sur le régime juridique des activités lunaires apparaissent donc comme le creuset d'un questionnement plus profond sur ce droit international de l'espace.

La relance des discussions avec le retour des projets d'exploration

L'échec relatif de l'accord sur la Lune de 1979, qui avait tenté de poser les bases d'un régime juridique propre aux activités se déroulant sur les corps célestes, a conduit à se désintéresser de ces questions pendant les années 1980 et 1990. Mais le XXI^e siècle a vu reparaître avec force les plans de retour sur la Lune dans des cadres nouveaux : projet d'installation de bases permanentes supposant un recours aux ressources *in situ* pour fonctionner en autonomie, augmentation des activités conduites par des acteurs privés ou encore apparition de logique de blocs s'incarnant dans les programmes Artemis et IRLS⁶.

Cette résurgence des réflexions autour du cadre juridique applicable aux activités lunaires s'est notamment manifestée avec la proposition américaine des accords Artemis. Particulièrement mal nommés, ces « accords » ne constituent ni un engagement juridique, ni un cadre précis pour les activités propres au programme Artemis. Ils visent plutôt à développer certains principes du traité de 1967 en les appliquant aux activités lunaires.

En premier lieu, ces accords prennent position dans le débat controversé sur l'interprétation du principe de non-appropriation fixé à l'article II du traité de 1967 en considérant, à la suite de nombreuses législations nationales, que celui-ci n'empêche pas d'exploiter les ressources spatiales. Ils traitent également des questions d'interopérabilité des installations et des objets ou de mise en œuvre des obligations de due diligence et de transparence prévues aux articles IX et XI du traité de l'espace en proposant de mettre en œuvre les mécanismes de vérification et d'échanges prévus par ces dispositions.

⁶ Artemis est un programme de la NASA ouvert aux coopérations internationales portant sur l'exploration habitée et notamment de la Lune, lancé en 2017, tandis que l'International Lunar Research Station (ILRS) est un programme spatial conjoint de la Chine et de la Russie, annoncé en 2021, visant l'installation d'une base permanente habitée sur le sol lunaire. Voir le tableau comparatif de ces deux programmes, p. 104-106.

En second lieu, cette initiative s'inscrit dans des débats bien plus larges au niveau tant national qu'international. En France, la relance, à partir de 2019, des réflexions sur la politique spatiale et sur les évolutions de son cadre réglementaire a donné lieu à de premiers travaux, notamment parlementaires, portant en partie sur ces projets⁷. Mais c'est avant tout sur le plan international que l'on assiste depuis plusieurs années à de nouveaux échanges visant à développer et à préciser le champ d'application du traité de l'espace pour les activités lunaires.

Dans le cadre du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique des Nations Unies (COPUOS), il a été constitué un groupe de travail sur les aspects juridiques des activités liées aux ressources spatiales, qui a entamé ses travaux en 2022, ainsi qu'un nouveau groupe en 2024, dénommé « Action Team on Lunar Activities Consultation » (ATLAC). Ces

travaux démontrent la nécessité d'un consensus international pour approfondir le cadre juridique des activités autour de deux axes. Le premier consiste à préciser l'interprétation des principes fixés par le traité de l'espace dans le cas des activités sur les corps célestes ; le second à prévoir les mécanismes de coordination indispensables pour préserver les principes fondateurs de libre exploration et d'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique. Le cadre du COPUOS permet une participation large, y compris des principales puissances spatiales à ces travaux.



Bien que le contexte international actuel semble peu propice à première vue à des avancées majeures sur le plan du droit international de l'espace, la dimension universelle inhérente aux projets de développement des activités lunaires impose de poursuivre de tels travaux. Dès lors, la réflexion sur le statut juridique de la Lune et des activités s'y déroulant pourrait être doublement fructueuse. D'une part, elle nécessite de restaurer des pistes de travail collectives dans les enceintes multilatérales. D'autre part, elle pourrait conduire à acter définitivement la dimension spécifique des activités sur les corps célestes au sein du droit international de l'espace. ●

⁷ Voir par exemple le « rapport d'information déposé par la commission des Affaires étrangères en conclusion des travaux d'une mission d'information sur l'espace » (Assemblée nationale, corapporteurs : Pierre Cabaré et Jean-Paul Lecoq), 3 février 2022, ou le « rapport d'information fait au nom de la délégation sénatoriale à la prospective sur l'exploitation des ressources spatiales » (corapporteuses : Christine Lavarde et Vanina Paoli-Gagin), 1^{er} juin 2023.

Bibliographie

● **Philippe Achilleas et Isabelle Sourbès-Verger**, « L'exploitation des ressources de la Lune au cœur de la nouvelle diplomatie américaine », *Annuaire français de relations internationales*, vol. 23, juin 2022, p. 739-754.

● **Association nationale de la recherche et de la technologie**

(ANRT), « Préparer le droit spatial français aux nouvelles ambitions lunaires – Encadrer l'utilisation des corps célestes », novembre 2023.

● **ANRT**, « L'empreinte environnementale des activités spatiales et lunaires – Dessiner la feuille de route européenne sur Terre et dans l'espace », octobre 2024.

● **Anne-Sophie Martin et Paul Wohrer**, « Les accords Artemis. Une stratégie américaine pour la gouvernance lunaire », Notes de l'IFRI, juillet 2024.

● **Xavier Pasco**, *La Ruée vers l'espace. Nouveaux enjeux géopolitiques*, Taillandier, Paris, 2024.

COMPRENDRE LE DROIT DES LIBERTES FONDAMENTALES

Une présentation pédagogique
en plus de 80 questions/réponses.
Cet ouvrage tient compte des dernières évolutions
en matière de droit des libertés :

- Respect de la vie privée et recours à l'intelligence artificielle
- Liberté de recourir à l'interruption volontaire de grossesse
- Droit à l'asile
- Droit de propriété

Il s'adresse notamment aux professeurs
et étudiants en facultés de droit,
en IEP et aux candidats aux concours
de la fonction publique.

978211579293 - 13 € -pdf / epub 8,99 €

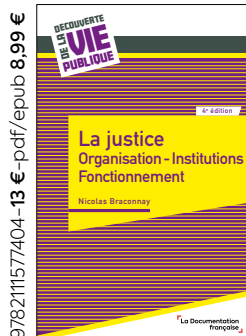


Paul Le Calvé

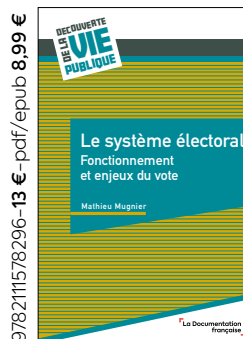
Ouvrages disponibles
en librairie et sur
Vie-publique.fr



Dans la même collection

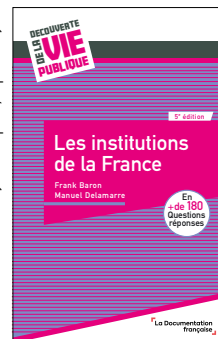


Nicolas Braconney



Mathieu Mugnier

978211740334 - 14,50 € -pdf/epub 9,99 €



Frank Baron
Manuel Delamarre

Nouvelle édition
Parution en
janvier 2025

Payer la guerre : l'étonnante équation de Vladimir Poutine

Patrick Allard

est économiste, consultant auprès du Centre d'analyse, de prévision et de stratégie (CAPS) du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères.

Après l'échec de sa tentative de guerre éclair contre l'Ukraine en février 2022, le pouvoir russe a augmenté massivement ses dépenses militaires. Elles pourraient représenter près de 6,5 % du PIB en 2025, un niveau inédit depuis la fin de l'URSS. Des considérations de nature économique sont toutefois propres à freiner les ambitions militaires du régime. En effet, les capacités de la base industrielle de défense russe restent limitées, sa productivité étant entravée par des distorsions systémiques, et son expansion freinée par la politique rigoureuse de la banque centrale du pays. En outre, l'augmentation massive des dépenses militaires dans une économie en situation de plein emploi est source de déséquilibres sur les marchés et de tensions inflationnistes croissantes.

En temps de guerre, la politique macro-économique reflète les intentions du pouvoir et les contraintes qu'il rencontre ou qu'il s'impose, s'agissant tant de la quantité des ressources financières mobilisées pour la guerre que des modalités de collecte de ces dernières¹.

Vladimir Poutine a choisi la guerre pour détruire la souveraineté et l'État ukrainiens. Anticipant une guerre éclair et comptant sur les réserves accumulées au sein du principal fonds souverain russe, le Fonds de la richesse nationale (FNB), il engage la guerre avec un budget militaire inchangé d'une année sur l'autre, à la différence, en 2008, du conflit avec la Géorgie et, en 2014, de l'annexion de la Crimée suivie du soutien armé aux séparatistes du Donbass,

qui avaient été précédés par des augmentations du budget des armées russes. Capitalisant sur le succès avec lequel a été restaurée la crédibilité financière de la Russie après l'humiliation de la crise financière de 1998, il espère s'épargner les conséquences inflationnistes de la guerre. Y contribue le maintien à la tête de la Banque centrale de Russie d'Elvira Nabioullina, une fonctionnaire compétente à la réputation de « faucon ». Aux technocrates du ministère des Finances est dévolue la tâche de mener une politique budgétaire suffisamment prudente pour contenir le déficit et l'endettement de l'État russe.

C'est que, despote en « étain² » plutôt qu'en « acier », Vladimir Poutine cherche à minimiser l'impact humain et financier du conflit sur l'opi-

¹ Comme le montre Rosella Cappella Zielinski dans l'une des rares études consacrées à la manière dont les États ont financé la guerre dans l'histoire récente : *How States Pay for Wars*, Cornell University Press, Ithaca, 2016.

² Ronald Wintrobe, « The Tinpot and the Totalitarian: An Economic Theory of Dictatorship », *American Political Science Review*, vol. 84, n° 3, septembre 1990, p. 849-872.



nion publique russe, incertain de la solidité du soutien populaire à son entreprise guerrière.

La militarisation des finances de l'État russe

Le budget fédéral de la Russie pour 2025 prévoit de porter les dépenses de défense à près de 14 000 milliards de roubles (soit environ 128 milliards d'euros³), soit une augmentation de 25 % d'une année sur l'autre, succédant à une augmentation de plus de 40 % en 2023 et de 50 % en 2022.

Les dépenses militaires sont devenues le premier poste du budget fédéral russe. Selon le budget pour 2025, elles atteindraient un tiers du total (contre moins de 15 % en 2021). Rapportées au PIB prévu pour 2025, les dépenses militaires en représenteraient presque 6,5 %. Leur progres-

³ Au taux de change pour 2025 retenu dans *Perspectives économiques*, FMI, avril 2025, soit 100,9 roubles pour 1 euro.

↑ Présentation du nouveau drone agricole S-80 lors de la visite de Vladimir Poutine au centre «Samara» de recherche et de production pour les systèmes d'aéronefs sans pilote, le 28 janvier 2025 à Togliatti (Russie). Capables de transporter des charges allant jusqu'à 20 kg, ces drones sont également utilisés par les forces russes sur le front ukrainien.

© Vyacheslav Prokofyev/Pool/AFP

sion, près de 4 points de PIB entre 2021 et 2025, serait nettement plus importante que lors des précédents conflits de la Russie poutinienne : la deuxième guerre de Tchétchénie (+ 0,7 point de PIB entre 1999 et 2002), la guerre contre la Géorgie (+ 0,6 point de PIB entre 2007 et 2009) et l'annexion de la Crimée suivie de l'appui aux séparatistes du Donbass (+ 1,6 point de PIB entre 2013 et 2016⁴).

L'augmentation des dépenses militaires a été financée principalement par la compression des autres dépenses et par l'endettement. Selon

⁴ Voir Sipri, « Brief annual information on federal budget execution (bln. rub.), 2006-2023 », ministère des Finances de la Fédération de Russie, janvier 2024. Les données du ministère russe des Finances ne sont actuellement plus accessibles en ligne.

le projet de budget pour 2025, les dépenses du budget fédéral russe, comparées à 2021, auraient augmenté de 1,8 point de PIB, tirées par les dépenses militaires (+ 3,7 points de PIB, 60 % de l'augmentation des dépenses totales). Sur cette période, les recettes budgétaires totales resteraient stables (+ 0,2 point de PIB), l'augmentation des recettes fiscales (+ 1,8 point de PIB) compensant le recul des recettes sur les hydrocarbures (- 1,6 point de PIB).

Pour épargner les revenus et le niveau de vie de la majorité de la population, le régime table principalement sur les taxes indirectes – celles-ci constituent plus de 90 % des recettes budgétaires, dont plus de la moitié prélevée sur les échanges avec l'étranger – et sur l'austérité imposée aux autres postes de dépenses afin de financer l'augmentation des dépenses militaires. Il n'a pas pu éviter d'augmenter les impôts directs, mais il a alors ciblé les sociétés et les ménages les plus aisés.

La compression des dépenses sociales a été compensée par l'augmentation des soldes et des pensions versées en cas de décès ou de blessures des soldats, décidée afin de faciliter le recrutement. La prime moyenne d'enrôlement, complétée par des allocations régionales ou municipales, représente 4 à 6 fois le salaire annuel moyen russe⁵. Comme le note un expert : « partir au front et être tué un an plus tard est économiquement plus rentable que de vivre plus longtemps⁶ ».

Au total, de 2021 à 2025, l'augmentation des dépenses militaires a été financée pour plus de la moitié par l'augmentation du déficit budgétaire, pour un tiers par le recul des dépenses civiles en termes réels et pour un dixième par l'augmentation des recettes d'impôts directs. Le solde budgétaire est passé d'un excédent de 0,4 point de PIB en 2021 à un déficit de 1,7 point de

PIB en 2024. Les déficits ont été couverts par des prélèvements sur le Fonds de la richesse nationale et par l'émission de dette obligataire.

Le volume total du fonds est passé de 175 milliards de dollars au 1^{er} janvier 2022 à 122 milliards au début de 2025. La partie la plus liquide (pour l'essentiel des réserves de change en devise chinoise) du fonds a diminué de près de 60 % depuis le début de l'invasion de l'Ukraine et ne représente plus que moins d'un tiers du total⁷. La dette nouvelle a été placée auprès des institutions de crédit russes. Prévues officiellement à 17 % du PIB à la fin de 2027, la dette publique russe reste relativement faible comparée aux normes internationales.

Ainsi, la politique macroéconomique de la Russie en guerre se caractérise par une expansion massive des dépenses militaires compensée en partie par le recul des dépenses civiles en termes réels, sans augmentation parallèle des impôts, notamment directs. Les effets restrictifs d'une politique monétaire rigoureuse s'ajoutent à ceux des sanctions financières et du contrôle des changes, qui ont largement asséché le financement extérieur. Ce choix de politique macroéconomique a été moqué par le magazine britannique *The Economist* comme la « guerre à 21 % », par allusion à « la guerre à 3 % » de la Grande-Bretagne, ainsi nommée en raison de la politique de stabilisation du taux d'intérêt à 3 % menée par les autorités britanniques durant la Seconde Guerre mondiale⁸.

Un effort militaire qui ne s'autofinancera pas

Le gouvernement russe a annoncé une croissance globale du PIB de 4,1 % pour 2024, et révisé celle de 2023 de 3,6 % à 4,1 % également. Le vif rebond de la croissance russe, après plus d'une décennie de résultats médiocres, a

⁵ Les autorités proposent également des incitations supplémentaires, telles qu'une annulation de dette, l'admission privilégiée à l'université et des prestations de santé pour les familles des soldats. Voir Alexandra Prokopenko, « Russia's Economic Gamble: The Hidden Costs of War-Driven Growth », *Carnegie Politika*, décembre 2024.

⁶ Vladislav Inozemtsev, conseiller à l'Institut de recherche des médias du Moyen-Orient (MEMRI), cité par Georgi Kantchev et Matthew Luxmoore, « The "Deathonomics" Powering Russia's War Machine », *The Wall Street Journal*, 13 novembre 2024.

⁷ Benjamin Hilgenstock et Yuliia Pavytska, « The Russian Economy at The Start of 2025. Underlying Vulnerabilities, Depleted Macro Buffers, but no Signs of an Immediate Crisis », KSE Institute's Russia Chartbook, Kyiv School of Economics, janvier 2025.

⁸ « The 21 % war. Vladimir Putin is in a painful economic bind », *The Economist*, 18 novembre 2024.

suscité des commentaires mêlant déception et admiration sur l'efficacité du « keynésianisme militaire », en Russie et dans le reste du monde.

Les dirigeants russes se sont réjouis de l'effet des dépenses de guerre sur l'économie du pays. Pour Valentina Matvienko, présidente du Conseil de la Fédération de Russie, le rebond de la croissance en dépit des sanctions n'est rien de moins qu'un miracle économique, appelé selon elle à bouleverser la science économique⁹. Le président russe est plus sobre, mais les leçons qu'il a tirées sont plus programmatiques et aussi plus menaçantes : « Le lien entre "canons" et "beurre" doit être intégré de manière organique dans la stratégie générale de développement de l'État russe », a-t-il ordonné, s'adressant aux « camarades » commandants de secteurs militaires¹⁰.

En réalité, l'augmentation des dépenses militaires accroît comptablement le PIB, sans nécessairement stimuler la croissance de l'économie ni celle des recettes fiscales. D'abord, il est probable qu'en Russie, comme dans le reste du monde, les dépenses militaires n'aient qu'un effet multiplicateur keynésien¹¹ limité sur le reste de l'économie¹². Selon diverses estimations, une augmentation de 1 % des dépenses militaires n'accroît à court terme le PIB russe que de 0,2 %, et elle pourrait même avoir un effet d'éviction des dépenses productives à long terme.

Ensuite, la sensibilité des recettes fiscales à la croissance n'est pas suffisamment élevée pour compenser l'augmentation des dépenses. Les estimations économétriques suggèrent qu'en Russie, comme en moyenne dans un grand nombre de pays, la dynamique à long terme des recettes budgétaires ne s'écarte pas de celle du

revenu national¹³. La conséquence en est qu'une augmentation permanente du ratio dépenses/PIB s'accompagne d'une dégradation permanente du déficit, sauf si des mesures spécifiques sont prises par ailleurs pour augmenter les recettes ou réduire d'autres dépenses.

Les conséquences macroéconomiques du keynésianisme militaire russe

L'augmentation massive des dépenses publiques a imposé à la Russie un choc de demande qui a provoqué une modification précipitée de l'allocation des ressources en main-d'œuvre et en capital au profit des productions liées à l'armement.

Une demande stimulée

Dès janvier-mars 2024, la production moyenne des industries liées à la guerre était de 50 % supérieure à celle des mois précédant l'invasion russe. Pour ce faire, ces industries ont recruté massivement : plus de 500 000 employés supplémentaires entre l'été 2022 et l'hiver 2023, selon V. Poutine¹⁴. Pour ce, elles ont augmenté les salaires offerts. En conséquence de la pression exercée sur le marché du travail, en 2024 le salaire moyen a augmenté de 19 % par rapport à l'année précédente. Dans le même temps, la hausse des salaires et les versements aux militaires et à leurs ayants droit se sont traduits par une forte progression du revenu des ménages depuis la mi-2022, mettant fin à une longue période de stagnation. La demande des ménages, consommation et investissement en logement, a bénéficié de la croissance des revenus ainsi que de l'augmentation des crédits bancaires à la construction, souvent subventionnés.

La hausse des commandes publiques, la perspective de commandes soutenues au cours

⁹ « Matvienko spoke about "Russia's economic miracle" under sanctions », *Oreanda News*, 12 février 2025.

¹⁰ « Meeting with military district commanders. Vladimir Putin held a meeting with military district commanders », President of Russia, 15 mai 2024.

¹¹ Le multiplicateur keynésien ou multiplicateur budgétaire mesure la sensibilité de la croissance économique à une augmentation des dépenses publiques.

¹² Viacheslav Sheremirov et Sandra Spirovska, « Fiscal multipliers in advanced and developing countries: Evidence from military spending », *Journal of Public Economics*, vol. 208, avril 2022.

¹³ Paolo Dudine et João Tovar Jalles, « How Buoyant is the Tax System? New Evidence from a Large Heterogeneous Panel », IMF Working Papers, WP 17/4, janvier 2017.

¹⁴ « Russian defence industry creates over 520 000 new jobs in 18 months – Putin », Tass, 2 février 2024.

des années à venir et le remplacement des importations de biens occidentaux par la production locale¹⁵ ont incité les industries russes de l'armement à investir dans de nouvelles capacités. Les industries extractives et chimiques de même que les activités liées à la guerre (métallurgie, mécanique), notamment en Extrême-Orient et dans les pôles traditionnels de l'industrie militaire russe, comme la région de Nijni Novgorod et le Tatarstan, ont été les principaux vecteurs de la croissance des investissements¹⁶.

Une offre à la peine

Le chômage a atteint un niveau historiquement bas, 2,3 % de la population active¹⁷ en décembre 2024. La pénurie de main-d'œuvre, aggravée par les pertes russes en Ukraine – elles équivalraient à 1,3 % de la population active –, par l'émigration – estimée à près d'un million d'individus – et par les restrictions à l'immigration à la suite de l'attentat perpétré en mars 2024 au Crocus City Hall, une salle de spectacle de la banlieue de Moscou, est devenue un problème général, mentionné par trois quarts des entreprises comme un obstacle à l'augmentation de leur production. Le taux d'utilisation des capacités dans l'industrie manufacturière est historiquement élevé : plus de 80 % en fin d'année 2024, selon la Banque centrale russe. La croissance de la production industrielle, hors armement, donne des signes d'essoufflement. À ce stade, les prévisions officielles rapportées par V. Poutine tablent sur une croissance annuelle de 2 à 2,5 %¹⁸.

Une accélération de l'inflation

Accentué par les distorsions propres au système politico-économique russe, le désajustement soudain entre la demande et l'offre a provoqué une hausse générale des coûts. Ce phénomène est dû à l'augmentation des salaires et

à celle du prix des intrants, mais aussi aux pertes de productivité et d'efficacité des entreprises confrontées à des contraintes technologiques. Le désajustement entre l'offre et la demande a sans doute également renforcé l'emprise des entreprises sur le marché pour augmenter leurs prix et leurs marges bénéficiaires. En conséquence l'inflation des prix a fortement accéléré en Russie, passant de 2,3 % en avril 2023 à près de 10 % en décembre 2024. Les prix des biens de première nécessité destinés à la consommation populaire, le beurre notamment, ont augmenté à un rythme notablement plus rapide que celui de la moyenne.

Un taux directeur très élevé

À 21 %, le taux directeur de la Banque centrale de Russie (BCR) dépasse le niveau atteint au début de la guerre, en février 2022. La BCR ne prévoit pas de l'abaisser au cours de l'année 2025. Au début du printemps 2025, il figure parmi les plus élevés au monde, devancé seulement par ceux du Venezuela (59 %), de la Turquie (45 %), du Nigeria (27,5 %) et de l'Égypte (25,5 %). La vigoureuse politique de taux d'intérêt décidée par la BCR n'a pas suffi à ralentir la croissance des prêts aux entreprises, dont plus de la moitié sont à taux fixe et un quart sont subventionnés par l'État, ni celle des prêts aux particuliers, dont une partie (prêts hypothécaires) était, jusqu'à récemment, également subventionnée. Les dépenses publiques continuent de soutenir l'activité¹⁹, comme en témoigne la révision de la croissance en 2024.

La politique de la Banque centrale suscite de vives récriminations de la part des dirigeants d'entreprise russes, parmi lesquelles figure le consortium d'armement Rostec, et même des mises en garde contre les risques de stagflation, formulées notamment par un centre d'analyse macroéconomique et de prévision à court terme dirigé par le frère du ministre de la Défense, Andreï Belousov²⁰. L'Union russe des industriels et des entrepreneurs, le plus grand lobby industriel du pays, a ainsi proposé de confier au

¹⁵ Environ 70 % de la croissance des investissements, selon Andreï Belousov, alors vice-Premier ministre. Voir « Russia's wartime investment boom », *The Bell*, 10 août 2024.

¹⁶ Heli Simola, « Russia's wartime investment Boom », BOFIT Policy Brief, n° 4, mai 2024, Banque de Finlande.

¹⁷ La population active regroupe les personnes en emploi et les personnes au chômage.

¹⁸ « Russia's GDP to grow 3,9 %-4 % in 2024, soft landing expected in 2025 with 2 %-2,5 % growth – Putin », Interfax, 19 décembre 2024.

¹⁹ « Russia has a spending problem », *The Bell*, 15 février 2025.

²⁰ « Russia's rising stagflation threat », *The Bell*, 16 novembre 2024.

gouvernement le contrôle de certains aspects de la politique monétaire.

Quelles entraves économiques aux ambitions militaires du régime ?

Le gouvernement russe a annoncé une augmentation de l'effectif de l'armée à 1 500 000 hommes en service actif dont 700 000 professionnels, qu'il faudra recruter, rémunérer et former. Le pouvoir russe souhaite aussi reconstituer, moderniser et vraisemblablement augmenter les stocks d'équipements au-delà des niveaux de 2021²¹. L'industrie de défense « doit répondre aux besoins d'aujourd'hui et toutes les réserves stratégiques doivent être restaurées », a annoncé V. Poutine lors d'une conversation avec les ouvriers d'Uralvagonzavod, la plus grande usine russe de chars de combat. Aussi a-t-il promis « beaucoup de travail » pour l'industrie de la défense dans les cinq à dix prochaines années²².

Des marges de manœuvre fiscales suffisantes

Le régime n'est pas à court de recettes budgétaires. Les recettes tirées de ventes d'hydrocarbures ont atteint 30 % des recettes totales en 2024, moins qu'en 2022 (41 %) mais autant qu'en 2023. Il table sur un flux stable de recettes issues des exportations d'hydrocarbures lui fournissant entre 20 % et 25 % des recettes totales en 2025 et sur les deux années suivantes. Il engrange les effets positifs de l'inflation sur les recettes fiscales directes et indirectes. Enfin il dispose de marges de manœuvre pour augmenter les impôts, notamment les impôts sur le revenu.

²¹ Dara Massicot (with Richard Connolly). *Russian Military Reconstitution: 2030 Pathways and Prospects*, Carnegie Endowment for International Peace, Washington, juin 2024 ; Michelle Grisé, Mark Cozad, Anna M. Dowd, Mark Hvizda, John Kennedy, Marta Kepe, Krystina Marcinek, David Woodworth. *Russia's Military After Ukraine. Potential Pathways for the Postwar Reconstitution of the Russian Armed Forces*, Rand Corporation, janvier 2025.

²² «Путин пообещал “много работы” для ОПК в ближайшие 5-10 лет» («Poutine a promis “beaucoup de travail” pour l'industrie de la défense dans les 5 à 10 prochaines années»), *Kommersant*, 15 février 2024.

Dans le projet de budget pour 2025, les impôts sur le revenu des sociétés et des particuliers représentent moins de 6,5 % des recettes budgétaires, contre 93 % pour les prélèvements indirects sur l'extérieur (les taxes sur les hydrocarbures et les importations) et l'économie nationale (TVA notamment). Le niveau de taxation des sociétés et des particuliers reste faible en part de PIB (2,2 %, contre 0,6 % en 2021), et très inférieur aux niveaux observés dans les pays à revenu comparable à celui de la Russie.

Plutôt que budgétaires, les entraves à la poursuite des projets militaires du régime sont d'ordre socio-économique. Du fait des conséquences sur l'inflation de l'augmentation durable des dépenses militaires, et de la nécessité d'accroître la pression fiscale pour les financer sans remettre en cause la stabilité financière, le régime devra arbitrer entre la mobilisation des ressources au profit de l'armée et son souci pour la stabilité financière.

“

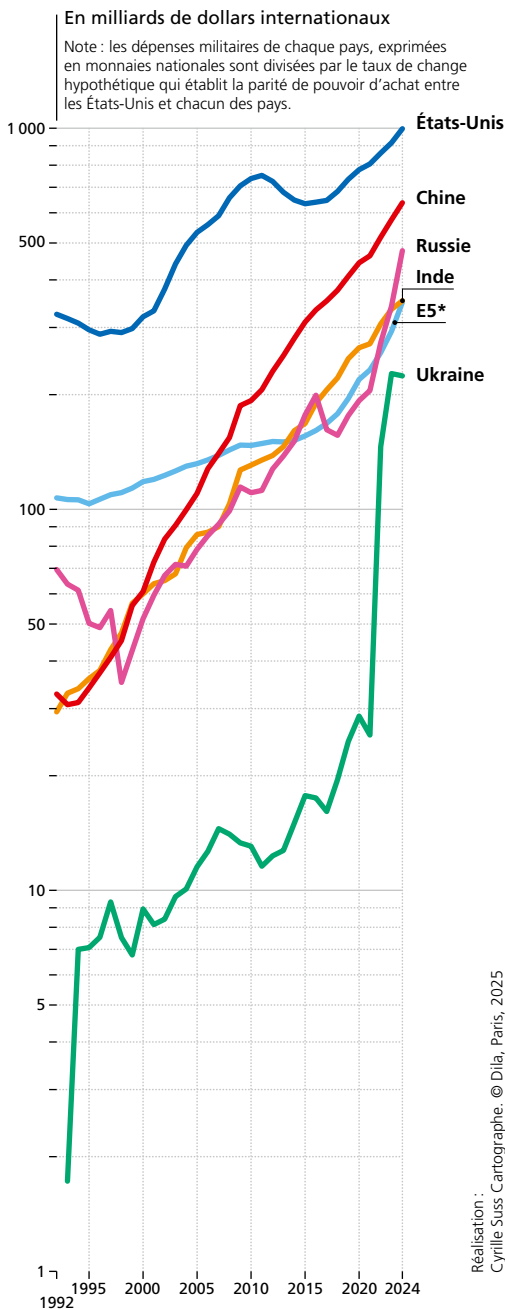
Dans la plupart des pays, y compris les pays autoritaires comme la Russie, la popularité des dirigeants est dépendante de la situation économique telle qu'elle est ressentie par la population

”

Soit, hypothèse peu probable à ce stade, il renonce à la stabilité financière, en désavouant les technocrates, pour favoriser l'assouplissement de la politique monétaire et l'accélération du crédit bancaire aux entreprises, notamment les entreprises publiques d'armement. Le résultat serait une nouvelle accélération de l'inflation.

Soit, hypothèse la plus probable, le pouvoir persiste à compenser en partie l'augmentation des dépenses militaires par de nouveaux prélèvements sur les ménages et en comprimant les dépenses hors défense. En même temps, il s'accommode de l'inflation provoquée par la hausse des dépenses militaires, d'autant plus aisément qu'elle soutient

Russie : évolution des dépenses de défense (1992-2024)



* Groupe européen des Cinq (E5) : groupe des ministres de la Défense de l'Allemagne, de la France, de l'Italie, de la Pologne et du Royaume-Uni.

Sources : dépenses militaires en monnaies nationales : « The SIPRI Military Expenditure Database », SIPRI, avril 2025 ; taux de conversion des monnaies nationales en dollar international : « Base de données, Perspectives de l'économie mondiale », FMI, avril 2025 (www.imf.org/external/datamapper/datasets/WEO).

les recettes fiscales. En ce cas, le revenu des ménages russes serait doublement affecté, par l'alourdissement des impôts et par la perte de pouvoir d'achat du fait de l'inflation.

Dans un cas comme dans l'autre, le régime ne serait pas en mesure de préserver le niveau de vie de la population, ce qui pourrait affecter la confiance des ménages. Dans la plupart des pays, y compris les pays autoritaires comme la Russie, la popularité des dirigeants dépend principalement de la conjoncture économique telle qu'elle est ressentie par la population²³. Les situations de guerre ou de péril national suscitent un effet de ralliement au drapeau qui soutient la popularité des dirigeants, mais de manière temporaire. Les efforts de manipulation de l'information ne parviennent pas à altérer durablement la perception de la réalité de la situation économique par la population.

La confiance des ménages s'est vivement redressée à partir du deuxième trimestre de 2022, pour atteindre l'un des niveaux historiquement les plus élevés à l'été 2024. Toutefois, elle a commencé à s'effriter dès l'automne 2024. Le déclin de la confiance des ménages dans la situation économique pourrait affecter la popularité du président et confronter le pouvoir à l'érosion du soutien ambigu à sa guerre de conquête. ●

²³ Sergei Guriev et Daniel Treisman, « The Popularity of Authoritarian Leaders: A cross-National Investigation », *World Politics*, vol. 72, n° 4, octobre 2020, p. 601-638.

Cambodge : succès économiques et autoritarisme politique

Mathieu Guérin

est professeur d'histoire de l'Asie du Sud-Est à l'Institut national des langues et civilisations orientales (Inalco).

Cinquante ans après la prise de Phnom Penh par les Khmers rouges et plus de trente ans après la fin de l'opération des Nations Unies, le Cambodge est l'un des rares bons élèves du développement. La croissance économique apparaît solide depuis le début du XXI^e siècle, portée davantage par les investissements chinois que par l'aide internationale. Dans le même temps, le Parti du peuple cambodgien et son leader, Hun Sen, ont confisqué le pouvoir politique, et gravement porté atteinte à l'État de droit et à l'environnement.

Les 25 et 26 janvier 2025, le Parti du peuple cambodgien (PPC) a rassemblé la 45^e convention du comité central du parti. Aux commandes du pays depuis la chute des Khmers rouges, en 1979, le PPC a pu se targuer d'un bilan économique flatteur. Depuis 1993 et la fin de l'Autorité provisoire des Nations Unies au Cambodge (APRONUC), censée apporter la paix et la démocratie, le PIB par habitant a été multiplié par 8 et dépasse 2 500 dollars en 2024¹. Devenu un pays à revenu intermédiaire, le Cambodge doit quitter le groupe des pays les moins avancés en 2029.

Toutefois, l'analyse de l'évolution du Cambodge depuis la fin de l'APRONUC conduit à nuancer l'indubitable succès économique du royaume khmer et soulève des interrogations sur les conséquences sociales, politiques et environnementales du modèle de développement adopté.

¹ Les données économiques sont celles de la Banque mondiale.

1993-1998 : le temps des illusions

Lorsque les forces des Nations Unies arrivent au Cambodge à la suite des accords de paix de Paris de 1991, le pays est exsangue, marqué par la guerre et le régime des Khmers rouges. Le retour de la paix fait alors espérer des jours meilleurs.

Un pays meurtri sous autorité des Nations Unies

Entre 1967 et 1975, le Cambodge a connu la guerre civile et les bombardements américains, par extension de la guerre du Vietnam. En 1975, les Khmers rouges instaurent un régime d'une violence inouïe contre leur propre population. Un quart des habitants meurent en moins de quatre ans. En 1979, le Cambodge est envahi par l'Armée populaire du Vietnam, qui en s'appuyant sur le PPC installe une république socialiste. Pendant dix ans, il est au cœur d'un

conflit meurtrier qui oppose, d'un côté, les Khmers rouges et ceux qui refusent l'occupation de leur pays par le Vietnam, dont les royalistes, et, de l'autre, le gouvernement de Phnom Penh, soutenu par le Vietnam et l'URSS. Ce n'est qu'avec la chute du bloc de l'Est que les pourparlers de paix aboutissent. Le Cambodge fait alors partie des pays les plus pauvres au monde.

Le mandat de l'APRONUC prévoit le désarmement des différentes factions, le rapatriement des réfugiés cambodgiens de Thaïlande et l'organisation d'élections libres. Rapidement, les Khmers rouges rejettent l'application du plan de paix et poursuivent leur guérilla. Les élections ont néanmoins lieu en 1993. Le Cambodge se dote d'une nouvelle Constitution et redevient une monarchie constitutionnelle dans laquelle Norodom Sihanouk retrouve le trône dont il avait abdiqué en 1955. Si le FUNCINPEC, le parti dirigé par le prince Ranariddh, fils du roi Sihanouk, remporte les élections, il ne dispose pas de la majorité nécessaire pour former un gouvernement et doit constituer une coalition avec le PPC. Le gouvernement est dirigé par le prince Ranariddh et Hun Sen, Premier ministre depuis 1985.

Libéralisation et conflits politiques dans les années 1990

L'accent est alors mis sur la reconstruction du pays dans un contexte de guérilla des Khmers rouges. Les principales agences des Nations Unies ouvrent des bureaux à Phnom Penh, ainsi que de nombreuses ONG. La liberté de la presse instaurée dans le cadre de la préparation des élections favorise la création de nombreux médias. Leurs publications témoignent alors d'une liberté de ton rare en Asie du Sud-Est. En outre, un an après la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement à Rio (Sommet de la Terre) et avec l'appui de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), le Cambodge se dote d'une politique de protection de l'environnement et crée 33 espaces protégés, dont sept parcs nationaux.

Malgré l'aide internationale, la faiblesse des investissements et le contexte d'insécurité persistante empêchent une véritable reprise

économique. La corruption est généralisée et les services publics sont dysfonctionnels. Au sein du gouvernement, les tensions entre les ministres du FUNCINPEC et ceux du PPC rendent le pays difficilement gouvernable. En juillet 1997, le PPC lance une offensive armée contre le FUNCINPEC. Ranariddh doit fuir le Cambodge.

De nouvelles élections sont organisées en 1998 dans un climat de violences contre l'opposition menée par Sam Rainsy, ancien ministre des Finances écarté pour avoir dénoncé la corruption. Sam Rainsy porte alors un discours populiste antivietnamien. Le PPC remporte les élections et une nouvelle coalition dominée par Hun Sen prend les rênes du pays. En 1998, les derniers Khmers rouges rendent les armes. La situation sécuritaire du pays se normalise, mais le coup de force de juillet 1997, les violences contre l'opposition et les atteintes à l'État de droit amènent la Banque mondiale et plusieurs pays occidentaux à suspendre une partie de leur aide au Cambodge.

1999-2017 : croissance économique et tensions politiques

Depuis le début du XXI^e siècle, la croissance économique est portée davantage par les investissements chinois que par l'aide internationale. Le développement du pays s'accompagne toutefois de graves conséquences sociales et environnementales.

La croissance économique et ses ressorts

En 1999, le Cambodge intègre l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ASEAN), ce qui facilite son intégration régionale politique et économique. Deux ans plus tard, l'Union européenne met en place l'accord « Tout sauf les armes » (TSA), favorisant l'entrée des produits cambodgiens en franchise dans l'Union². Les

² Des préférences tarifaires sont ainsi accordées à l'ensemble des produits que le Cambodge souhaiterait exporter vers le marché européen, à l'exception des armes et des munitions.



↑ Le Premier ministre cambodgien, Hun Manet, inaugure la base navale de Ream, située sur le golfe de Thaïlande, le 5 avril 2025. Construites à l'origine avec l'aide de fonds américains, ces infrastructures ont été réhabilitées par la Chine durant trois ans.

© Tang Chhin Sothy/AFP

États-Unis s'ouvrent aussi aux exportations en provenance du Cambodge. Grâce aux investissements chinois, une industrie du textile dirigée vers l'export et employant plusieurs centaines de milliers de personnes est créée. Des villageois, notamment des jeunes femmes, quittent leur village pour trouver à s'employer dans ces usines. Une nouvelle classe ouvrière émerge.

Au tournant du millénaire, et avec le soutien de plusieurs ONG occidentales, le gouvernement lance une grande campagne de collectes d'armes, ce qui lui permet de désarmer ses opposants tout en réduisant la violence de droit commun dans le pays. L'amélioration notable de la sécurité s'accompagne d'une croissance rapide du secteur du tourisme, de plus en plus asiatique, autour des temples d'Angkor. Le secteur de la construction est alors en plein essor à Phnom Penh, à Sihanoukville sur la côte et à Siem Reap, la ville des temples.

Les paysages urbains du Cambodge se transforment, envahis par les tours de béton et de verre. Lorsque la Chine lance en 2013 sa politique de construction d'infrastructures des « nouvelles routes de la soie », le Cambodge soutient l'initiative et la rejoint. En 2017, le secteur primaire ne représente plus que 18 % du PIB, contre 40 % en 1999. La part des actifs dans l'agriculture diminue nettement, passant de trois quarts à moins de 40 %³.

La croissance annuelle moyenne du PIB est de 8,5 % pour la période 1999-2017, avec un pic à plus de 13 % en 2005. Ce développement économique s'accompagne d'une forte croissance des besoins en énergie et notamment en électricité. Entre 2011 et 2018, six centrales hydroélectriques situées à Kampot, dans la chaîne des Cardamomes et à Stung Treng, pour une capacité de production totale de 1,3 GW, et

³ François Gerles, « L'économie cambodgienne », dans Alain Forest (dir.), *Cambodge contemporain*, IRASEC - Les Indes savantes, Bangkok, Paris, 2008, p. 189-256 ; Marc Baudinet, *Cambodia in the Twenty First Century. A Short Social Study*, National Library of Cambodia, Phnom Penh, 2022.

deux centrales à charbon sont mises en service. En 2017, 89 % des Cambodgiens ont accès à l'électricité, contre 9 % en 1999.

La forte croissance économique apporte de nettes améliorations sociales aux Cambodgiens. L'alphabétisation et l'enseignement connaissent des progrès, ainsi que l'accès aux services de santé, malgré des inégalités persistantes entre zones rurales et urbaines. 88 % des enfants terminent le cycle primaire en 2017, contre 43 % en 1999. Si l'enrichissement du pays profite d'abord aux élites, le taux de pauvreté chute, passant de plus de la moitié de la population au début du XXI^e siècle à 17,7 % en 2017.

Limites sociales et environnementales du modèle de développement

Comme à la période du protectorat français (1863-1953), de vastes concessions de terres sont accordées à des nationaux et à des étrangers afin d'exploiter les forêts ou de développer des projets agro-industriels, y compris dans des espaces protégés très boisés. Plus de deux millions d'hectares ont ainsi été concédés dans les deux premières décennies du XXI^e siècle à de riches hommes d'affaires ou à des compagnies, sans égard pour les habitants qui vivent de la terre.

Dans le cadre des réformes prônées par les donateurs, telle la Banque mondiale, et dans un contexte de corruption endémique jusqu'au plus haut niveau du gouvernement, les projets de « développement » peuvent être menés au détriment des intérêts des populations locales et s'accompagnent d'une déforestation rapide. Les expropriations de terres touchent environ 400 000 personnes entre 2003 et 2012. Les minorités ethniques autochtones de l'hinterland se révèlent alors particulièrement vulnérables face à l'accaparement foncier⁴.

⁴ Jean-Christophe Diepart et Laura Schoenberger, « Concessions in Cambodia: Governing Profits, extending State Power and Enclosing Resources from the Colonial Era to the Present », dans Katherine Brickell et Simon Springer (dir.), *The Handbook of contemporary Cambodia*, Routledge, Londres, 2017, p. 157-168 ; Frédéric Bourdier (dir.), *Development and Dominion. Indigenous Peoples of Cambodia, Vietnam and Laos*, White Lotus Press, Bangkok, 2009, <https://opendevelopmentcambodia.net/topics/economic-land-concessions/>.

La destruction des habitats naturels et le braconnage causent des atteintes irrémédiables à la biodiversité du royaume. Le couvert forestier s'est réduit de 28 % entre 2000 et 2014, passant de 67 % de la superficie du pays à 48 %⁵. Les forêts denses ont été réduites de moitié. Une espèce aussi emblématique que le tigre est officiellement considérée comme éteinte en 2016. La surpêche s'accompagne d'une baisse sensible des prises, alors que le poisson est la principale source de protéines animales des Cambodgiens.

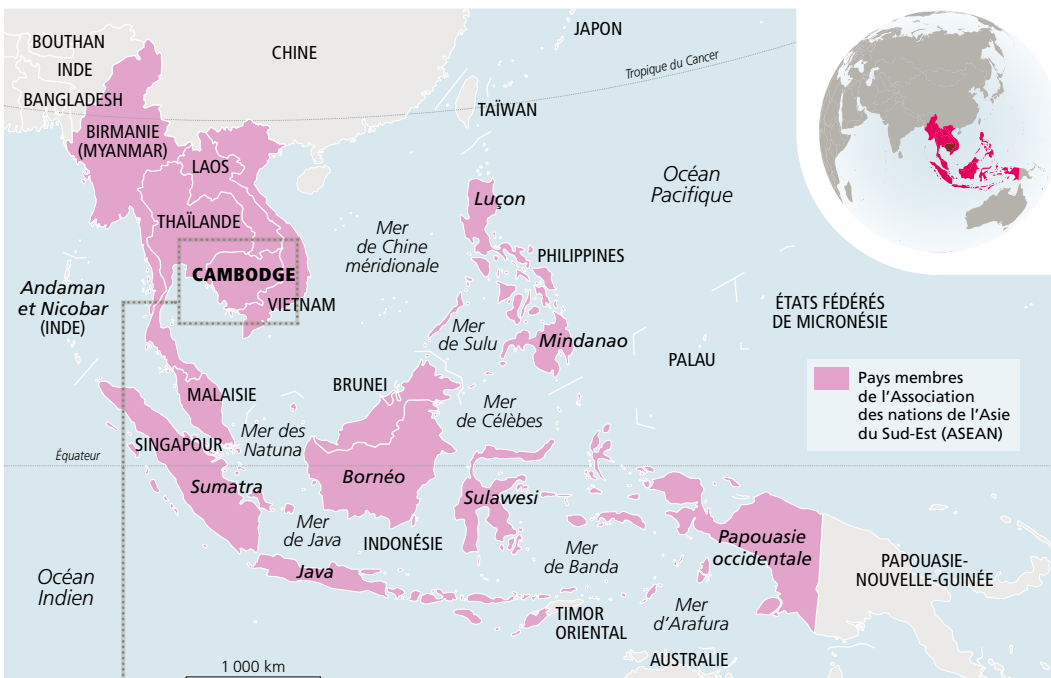
Depuis 1993, le Cambodge dispose d'une société civile et d'une presse dynamiques à même de contester l'accaparement des richesses du pays par les élites. Face aux conditions de travail difficiles dans les usines du textile, le syndicalisme cambodgien s'organise et obtient des améliorations notables en matière de rémunérations et de normes. Toutefois, journalistes, syndicalistes, militants de l'environnement et des droits humains sont régulièrement persécutés par la police et l'appareil judiciaire, certains même assassinés.

Rapprochement avec la Chine et contrôle du pays par Hun Sen

Alors que les Occidentaux tentent de faire pression sur le gouvernement pour un meilleur respect des droits humains, Hun Sen poursuit son rapprochement avec la Chine, qui devient le premier partenaire économique du royaume. En 2012, le Cambodge, pays hôte du sommet de l'ASEAN, s'aligne sur la position chinoise, contre les intérêts de ses voisins qui font face à l'expansionnisme de l'empire du Milieu en mer de Chine méridionale. La coopération militaire entre les deux pays se renforce, autour de la base navale de Ream, pour l'équipement des armées et la formation des cadres. Le Cambodge, comme le Laos, est alors présenté par de nombreux analystes comme un pion de la Chine au sein de l'ASEAN.

⁵ Andrew Cock, *Governing Cambodia's Forests. The International Politics of Policy Reform*, NIAS Press, Copenhague, 2015 ; Sarah Milne et Sango Mahanty (dir.), *Conservation and Development in Cambodia. Exploring Frontiers of Change in Nature, State and Society*, Routledge, Londres, New York, 2015, <https://opendevelopmentcambodia.net/profiles/forest-cover/forest-cover-1973-2014/>.

Le Cambodge



Sources : *Questions internationales*, n° 112, mars-avril 2022 ; Open Development Cambodia (data.opendatacambodia.net) ; Association des nations de l'Asie du Sud-Est (asean.org/member-states) ; Institut de recherche sur l'Asie du Sud-Est contemporaine (IRASEC).

En 2004, le roi Sihanouk, parfois ouvertement critique envers le gouvernement, abdique. Son fils Sihamoni, plus effacé et davantage tenu par son rôle de monarque constitutionnel, monte sur le trône. Lorsque Sihanouk meurt à Pékin en 2012, le rapatriement de son corps donne lieu à d'impressionnantes manifestations de la popularité de l'ancien souverain, au grand dam du Premier ministre.

Depuis la fin de l'APRONUC, Hun Sen et son épouse, Bun Rany, ont construit un réseau sans équivalent d'alliances matrimoniales et de relations clientélistes reposant sur des échanges de services inégaux et de protection au sein des élites politiques et économiques ainsi que dans l'appareil sécuritaire. Ils s'appuient ensuite sur le maillage du PPC pour contrôler la population jusque dans les communes.

Le parti remporte les élections de 2003 et de 2008, avec 47 % puis 58 % des voix. En 2013, il conserve la majorité à l'Assemblée nationale mais perd 22 sièges face à une opposition unie autour de Sam Rainsy et du député Kem Sokha qui fait campagne au nom de la protection des frontières, de la lutte contre la corruption et de la défense de l'État de droit⁶. En 2017, lors des élections communales, le PPC perd le contrôle de près d'un tiers des communes du pays. La montée des oppositions menace alors le monopole du pouvoir d'Hun Sen.

Depuis 2017 : une autocratie décomplexée

Un virage autoritaire appuyé par le poids croissant de la Chine vient contrarier la poursuite du développement du pays.

Le virage autoritaire

Dans la foulée des élections communales de 2017 et en prévision des élections législatives qui doivent se tenir l'année suivante, Hun Sen organise un véritable coup de force contre les oppositions. Le parti dirigé par Kem Sokha

et Sam Rainsy est interdit et dissous par la Cour suprême du pays. De nombreux militants et élus sont harcelés ou arrêtés par les forces de sécurité, dont Kem Sokha, poursuivi pour trahison. Sam Rainsy est maintenu en exil.

Au nom de la lutte contre la désinformation, un contrôle strict des médias et des réseaux sociaux est instauré. Les médias critiques, y compris le très influent *Cambodia Daily*, sont fermés ou rachetés. Toute contestation, politique, sociale ou environnementale, toute critique de l'action gouvernementale est sévèrement réprimée. Lors des élections de 2018, le PPC remporte 100 % des sièges à l'Assemblée nationale. En 2023, après trente-huit ans à la tête du gouvernement et après avoir remporté les élections législatives sans opposition crédible, Hun Sen laisse son poste de Premier ministre à son fils aîné, Hun Manet. Il conserve la présidence du PPC et prend celle du Sénat. Hun Manet, ancien chef du renseignement militaire, poursuit depuis la politique de son père.

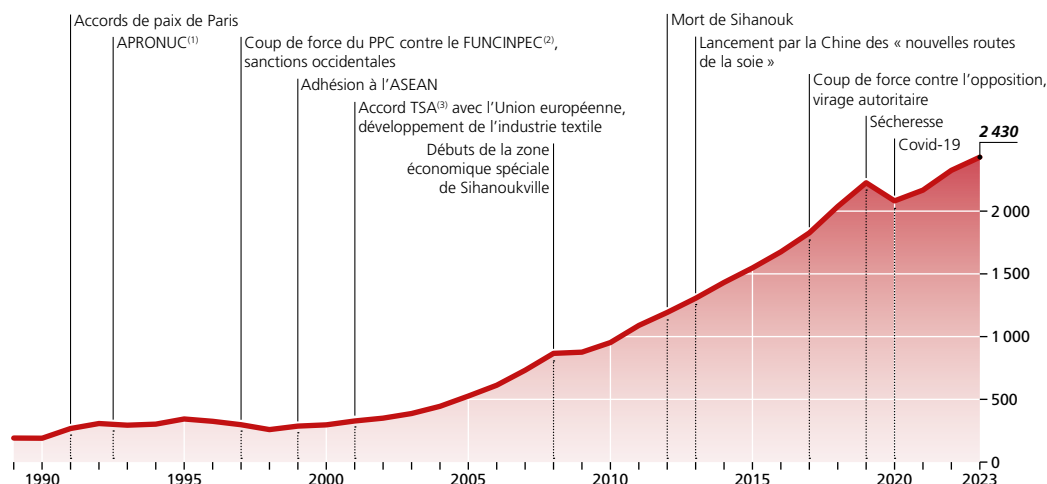
Poids grandissant de la Chine

Dans un premier temps, le développement économique se poursuit avec un taux de croissance annuel autour de 8 % en 2017-2019. Il est porté par les investissements et les aides venus de Chine, dans l'industrie, dans les casinos et jeux d'argent à Sihanoukville, ou par le soutien aux infrastructures dans le cadre des « nouvelles routes de la soie », comme le nouvel aéroport de Siem Reap, la route reliant Phnom Penh à Sihanoukville ou plus récemment le canal Funan Techo. Ces dernières, financées sur des prêts publics, sont régulièrement critiquées pour le manque d'évaluation de leurs conséquences sociales et environnementales. Les capitaux chinois ont contribué à une transformation radicale de Phnom Penh et de la province de Sihanoukville, érigée en zone économique spéciale. En 2017, celle-ci compte plus d'habitants chinois que cambodgiens, ce qui ne va pas sans tensions avec la population locale⁷.

⁶ Astrid Norén-Nilsson, *Cambodia's Second Kingdom. Nation, imagination and Democracy*, Cornell University Press, Ithaca, 2016.

⁷ Jayant Menon, « The Belt and Road Initiative in Cambodia: Costs and Benefits, Real and Perceived », *Economics Working Paper*, ISEAS Yusof Ishak Institute, n° 2023-1, mars 2023.

Évolution du PIB par habitant du Cambodge, en dollars (1989-2023)



⁽¹⁾ APRONUC : Autorité provisoire des Nations Unies au Cambodge, opération de maintien de la paix du 28 février 1992 au 24 septembre 1993, visant à faire respecter les engagements pris en 1991 lors des accords de Paris.

⁽²⁾ PPC : Parti du peuple cambodgien ; FUNCINPEC : Front uni national pour un Cambodge indépendant, neutre, pacifique et coopératif.

⁽³⁾ TSA : Tout sauf les armes.

Source : Banque mondiale, 2025.

Réalisation : Cyrille Sus Cartographe. © Dila, Paris, 2025

Sanctions européennes, pandémie et ralentissement de la croissance

En 2020, au regard des atteintes manifestes à l'État de droit depuis 2017, l'Union européenne, premier débouché des exportations cambodgiennes, suspend les avantages tarifaires dont bénéficiait le Cambodge. La même année, la pandémie de Covid-19 affecte gravement le secteur touristique, et entraîne une forte baisse de la demande en Europe et aux États-Unis et donc des exportations de produits textiles. Le pays entre en récession. L'aide de la Chine est alors cruciale. Celle-ci a fourni les vaccins qui ont permis de limiter la propagation de l'épidémie et de rouvrir les frontières du pays, et ainsi d'atténuer l'impact de la pandémie. Depuis, la croissance est repartie mais à un rythme sensiblement plus faible, autour de 5 % par an en 2022-2024.

La reprise est entravée par des crises climatiques d'ampleur, aggravées par la déforestation et la mauvaise gestion des cours d'eau. La sécheresse de 2019 a fortement affecté la production agricole et la pêche, tout en limitant la production d'hydroélectricité nécessaire aux entreprises. En 2020, des inondations dues à des pluies torrentielles font une quarantaine de morts

et touchent plus de 70 000 foyers⁸. En 2022, 120 000 hectares de rizières sont détruits par les inondations. La fréquence de ces événements climatiques extrêmes est amenée à augmenter avec le réchauffement climatique⁹.

La décision de l'Union européenne d'annuler les préférences douanières n'a eu aucune incidence sur la situation des droits humains mais a réduit considérablement la part des exportations cambodgiennes vers l'Europe. La prospérité économique du Cambodge est désormais très dépendante de son allié chinois. La moitié des investissements directs étrangers viennent de Chine, qui est aussi le premier donateur du royaume. En 2021, plus de 40 % de la dette du Cambodge est détenue par la Chine, mais celle-ci se montre désormais plus prudente et n'a accordé aucun prêt public au Cambodge en 2024.

⁸ Julie Blot, « Cambodge – Conséquences économiques et sociales de la pandémie », dans Christine Cabasset et Claire Thi-Liên Tran (dir.), *L'Asie du Sud-Est 2021. Bilan, enjeux et perspectives*, IRASEC - Les Indes savantes, Bangkok, Paris, 2021, p. 193-222.

⁹ « Climate Risk Country Profile : Cambodia », Banque mondiale, Washington, 2024.

Cambodge : quelques indicateurs statistiques

Capitale : Phnom Penh.

Superficie : 181 035 km².

Population : 17,63 millions d'habitants («World Population Prospects», Nations Unies, 2024).

Densité : 97 habitants/km² (*ibid.*).

Taux de croissance démographique : 1,2% (*ibid.*).

Taux de fécondité : 2,4 enfants par femme (Banque mondiale [BM], 2022).

Taux de natalité : 19‰ (BM, 2022).

Taux de mortalité : 7‰ (BM, 2022).

Espérance de vie moyenne : 70 ans (73 ans pour les femmes, 67 ans pour les hommes) (BM, 2022).

Indicateur de développement humain (IDH) : 0,60 (2022) (148^e rang mondial sur 189).

PIB : 42,34 milliards de dollars (BM, 2023).

PIB par habitant (en parité de pouvoir d'achat) : 7 425,5 dollars (BM, 2023).

Croissance du PIB : 5,1% (BM, 2022) ; 5% (BM, 2023).

Taux de chômage : 0,2% (BM, 2023).

Indice de Gini (mesure de l'égalité) : aucune donnée récente.

Balance commerciale (balance extérieure de biens et de services) : - 583,72 millions de dollars (BM, 2022) ; - 178,45 millions de dollars (BM, 2023).

Dépendance aux importations d'énergie : 33% (BM, 2014).

Taux de pauvreté : 17,8% (Banque asiatique de développement, 2019).

Part de la population utilisant Internet : 61% (BM, 2023).

Abonnement à la téléphonie mobile pour 100 habitants : 116 (BM, 2022).

Indice de perception de la corruption : 158^e rang mondial (Transparency International).

Le Cambodge a, à plusieurs reprises, comme par ses votes de soutien à l'Ukraine aux Nations Unies, manifesté une certaine indépendance à l'égard des positions chinoises. Le pays cherche à développer ses relations avec d'autres partenaires qui ne s'immiscent pas dans ses affaires intérieures, tels le Japon ou

la République de Corée. L'élection de Donald Trump à la présidence des États-Unis en 2024 a d'abord été perçue comme une chance par le gouvernement cambodgien. Depuis, le démantèlement de l'agence USAID a entraîné un arrêt brutal de programmes dont bénéficiait le pays dans les secteurs de la santé, du déminage et de l'éducation et l'annonce par Washington de tarifs douaniers prohibitifs constitue une menace pour l'économie du pays.



En une trentaine d'années, le Cambodge s'est transformé de manière radicale. Le pays fermé, essentiellement rural, miné par les conflits armés, aux infrastructures de communications déficientes, est devenu le bon élève du développement, même si les politiques publiques ne prennent pas suffisamment en compte les conséquences environnementales et sociales des projets. La croissance économique a été portée moins par l'aide internationale que par les investissements massifs venus de Chine, notamment après que les Occidentaux ont réduit leur soutien. La société cambodgienne s'est profondément transformée, industrialisée, urbanisée. Le poids de la Chine est omniprésent, notamment dans la capitale, à Sihanoukville, à Siem Reap et sur les frontières. L'ouverture politique amorcée en 1993 n'a pas duré, et la famille d'Hun Sen a réussi sa prise de contrôle sans partage sur le pays. Dans le classement de Transparency International relatif à la perception de la corruption, le Cambodge pointe en 2024 à la 158^e place, avec un indice désastreux.

Jusqu'à la pandémie, la trajectoire du Cambodge apparaissait comme un bon contre-exemple de la théorie des derniers prix Nobel d'économie, Daron Acemoğlu et James Robinson, qui établissent un lien entre institutions politiques inclusives et croissance durable¹⁰. Il fait peu de doute que les experts en développement regarderont de près les évolutions sociales, environnementales et économiques d'un royaume cambodgien de plus en plus prospère et autoritaire à la fois. ●

¹⁰ Daron Acemoğlu et James A. Robinson, *Prospérité, puissance et pauvreté. Pourquoi certains pays réussissent mieux que d'autres*, Markus Haller, Genève, 2015.

Bibliographie

- **Marc Baudinet**, *Cambodia in the Twenty First Century. A Short Social Study*, National Library of Cambodia, Phnom Penh, 2022.
- **Frédéric Bourdier** (dir.), *Development and Dominion. Indigenous Peoples of Cambodia, Vietnam and Laos*, White Lotus Press, Bangkok, 2009.
- **Katherine Brickell, Simon Springer** (dir.), *The Handbook of contemporary Cambodia*, Routledge, Londres, 2017.
- *L'Asie du Sud-Est. Bilan, enjeux et perspectives*, IRASEC, Bangkok, 2007-2025.
- **Andrew Cock**, *Governing Cambodia's Forests. The International Politics of Policy Reform*, NIAS Press, Copenhague, 2015 .
- **Alain Forest** (dir.), *Cambodge contemporain*, IRASEC - Les Indes savantes, Bangkok, Paris, 2008.
- **Sarah Milne, Sango Mahanty** (dir.), *Conservation and Development in Cambodia. Exploring Frontiers of Change in Nature, State and Society*, Routledge, Londres, New York, 2015.
- **Astrid Norén-Nilsson**, *Cambodia's Second Kingdom. Nation, imagination and Democracy*, Cornell University Press, Ithaca, 2016.
- <https://opendevelopmentcambodia.net/>

Ruptures stratégiques

Quels enjeux pour la France et pour l'Europe ?



Guerre en Ukraine, conflits à Gaza et dans le Caucase du Sud, manifestations en Iran, COP 28 ...

Les meilleurs spécialistes décryptent les grands événements contemporains.

ISBN 978-2-11-157975-0
2024, 24,90 € - 17,99 € pdf ou epub

Ouvrage disponible en librairie et sur vie-publique.fr

La Documentation
française

La Lune, une conquête cinématographique

Jean-Baptiste Féline

est juriste en droit international, ancien fellow au Belfer Center for Science and International Affairs (Harvard Kennedy School of Government).

Après avoir imaginé très tôt les futures expéditions vers notre satellite naturel, le cinéma a retracé les premières réussites de la conquête lunaire. Pendant la guerre froide, les astronautes, ces « envoyés de l'humanité » interrogeant notre monde actuel et à venir, y deviennent des instruments de propagande idéologique. Ils contribuent alors à la renommée des programmes spatiaux américains et soviétiques, aux côtés des opérateurs de l'ombre, les scientifiques. Qu'il s'agisse des succès retentissants des missions d'exploration ou des périls surmontés de façon héroïque, tous participent à cette épopée. La dimension stratégique et l'affirmation de la puissance demeurent au cœur des productions cinématographiques plus récentes.

Une constellation de films prend les étoiles pour décor, constituant des sagas horribles comme *Alien* (1979), de Ridley Scott, ou destinées au grand public comme *La Guerre des étoiles* (1977), de George Lucas, et, plus récemment, *Les Gardiens de la galaxie* (2014). Appartenant à la science-fiction, ces histoires de grands combats dans l'espace sont des « space operas », sous-genre littéraire et cinématographique que Mel Brooks tournait déjà en dérision en 1987 dans *La Folle Histoire de l'espace* (*Spaceballs*).

Ces films dont l'action se déroule dans l'espace peuvent être distingués des films consacrés aux expéditions spatiales et, plus particulièrement, à la conquête lunaire. Moins nombreux, ceux-ci forment néanmoins une catégorie à part, particulièrement intéressante à étudier en ce qu'ils relèvent de nombreuses dimensions : quasi-propagande quand il s'agit pour les Russes ou les Américains d'honorer la mémoire de

leurs astronautes héroïques, ils reflètent, avec ou sans le recours à la science-fiction, la fascination universelle des hommes pour leur satellite naturel, et les nombreux mythes et efforts collectifs éprouvés par sa conquête.

L'anticipation des expéditions lunaires

Avec *Le Voyage dans la Lune* (1902) et sa célèbre affiche, Georges Méliès a lié, dans l'imaginaire collectif, les débuts du cinéma au rêve scientifique d'envoyer des hommes sur la Lune. Librement inspiré du roman *De La Terre à la Lune*, de Jules Verne (1865), le film utilise la même promesse balistique : construire un canon suffisamment puissant pour envoyer un projectile habité jusqu'au satellite de la Terre.

Également inspiré de l'œuvre de Jules Verne, la comédie britannique *Le Grand Départ vers la Lune* (*Jules Verne's Rocket to the Moon*, 1967), de

Don Sharp, appartient à la même veine fantaisiste – bien que réalisée en pleine course à l'espace. L'histoire, transposée dans l'Angleterre victorienne, représente une forme d'hommage – tout en dérision – à la folie des inventeurs et aux précurseurs de l'espace. Le spectateur suit les aventures de Phineas Taylor Barnum – le fondateur du cirque – qui, après de mauvaises affaires aux États-Unis d'Amérique, traverse l'océan Atlantique pour trouver un nouveau projet à financer. Accompagné du personnage de Tom Pouce, il s'associe avec le professeur Siegfried von Bulow, téméraire inventeur d'un puissant explosif (la « bulovite »), pour envoyer une ogive sur la Lune. Ce wagon-projectile, dont l'intérieur capitonné est aménagé comme un bureau de gentleman¹, décolle sans l'astronaute mais avec un agent du tsar et deux saboteurs qui échouent *in fine* dans les steppes russes – référence malicieuse du film à la guerre froide d'alors.

Roman d'anticipation et non de science-fiction, le texte de Jules Verne donne l'initiative de ce « trajet direct en 97 heures 20 minutes » vers la Lune aux membres du Gun Club de Baltimore qui, désœuvrés par la fin de la guerre de Sécession et désireux de poursuivre leurs expérimentations d'artilleurs, se ruent avec enthousiasme sur cet objectif civil providentiel. Décrocher la Lune apparaît alors comme un projet tombé du ciel.

Dans les faits, c'est au lendemain de la Seconde Guerre mondiale et de ses progrès scientifiques et militaires que le cinéma se met à anticiper très sérieusement la conquête de la Lune. Le film américain *Destination... Lune !* (1950, Irvin Pichel) imagine l'expédition réussie de quatre hommes aux profils variés, dont un général, un scientifique et un technicien, selon des techniques ou procédures ressemblant à celles utilisées plus tard par la NASA.

Si les effets visuels – récompensés à l'époque par un Oscar – peuvent aujourd'hui faire sourire, notamment quand les personnages sont en apesanteur, ce film de science-fiction revêt ainsi



↑ *Destination... Lune !* (1950). © DR

une dimension éducative² et même visionnaire : volonté farouche des Américains d'y arriver les premiers afin de « préserver l'unité du monde », course de vitesse contre des hommes de loi et une partie de l'opinion qui craint les risques encourus, capacité d'industriels patriotes à se mobiliser sans attendre la commande publique, aspects techniques comme la sortie extravéhiculaire... Le scénario, écrit en partie par l'écrivain Robert A. Heinlein³, ébauche plusieurs caractéristiques de la conquête à venir, et va jusqu'à imaginer les mots prononcés par le premier homme posant le pied sur la Lune⁴ – préfigurant ceux de Neil Armstrong – ainsi qu'une conversation en direct avec Washington – à l'image de la communication du président Richard Nixon à l'équipage d'*Apollo 11* en 1969. Là où *Le Grand Départ*

² Un film d'animation éducatif mettant en scène le personnage de Woody Woodpecker a été écrit et incorporé au film. Ce dessin animé, projeté aux industriels dans le film, fut repris par la NASA dans ses propres outils de communication au public.

³ Auteur de science-fiction (1907-1988), contemporain d'Isaac Asimov et auteur notamment de *Starship Troopers* (1959).

⁴ « By the grace of God and the name of the United States of America, I take possession of this planet on behalf of and for the benefit of all mankind. »

¹ Conformément aux illustrations d'Henri de Montaut dans l'œuvre originale de Jules Verne.



↑ *First Man* (2018). © DR

vers la Lune célèbre avec humour l'opiniâtreté d'inventeurs loufoques, *Destination... Lune !* dessine – comme un enfant clairvoyant – les traits simples mais étonnamment devanciers de ce rêve qui mettra encore près de vingt ans à s'accomplir⁵.

Ce film était également annonciateur de la dureté de la compétition à venir entre les grandes puissances pour l'espace. Dans les années 1960, le cinéma traitait plus ouvertement de cette rivalité stratégique et nommait directement l'adversaire, par exemple dans deux films sortis aux États-Unis en 1968 : *Objectif Lune* (*Countdown*), de Robert Altman, et *2001, Odyssée de l'espace*, de Stanley Kubrick, film de science-fiction dont l'ambition artistique et philosophique dépasse cet enjeu politique. Dans

⁵ Le film marqua notamment la mémoire du jeune Gerald D. Griffin (né en 1934), plus tard directeur de vol durant le programme Apollo et directeur de différents centres de la NASA. Il fut conseiller technique de différents réalisateurs, dont Ron Howard pour le film *Apollo 13* (1995).

cette œuvre projetée sur les écrans l'année précédant l'alunissage de Neil Armstrong et « Buzz » Aldrin, on y voit notamment un personnage de scientifique américain, le Dr Floyd, répondre habilement à des homologues russes qui, au cours d'une conversation impromptue à bord d'une station spatiale, l'interrogent sur une épidémie qui frapperait la base Clavius. Dans ce monde futur imaginé par Stanley Kubrick et Arthur C. Clarke, la Lune a été conquise par les deux superpuissances, qui disposent chacune d'une base et continuent de s'opposer malgré un langage scientifique commun et des coopérations juridiquement encadrées.

Les astronautes au cœur de la guerre froide

Continuant sur grand écran la guerre froide qu'ils ont menée dans les étoiles, les Américains et les Russes ont rendu hommage dans plusieurs films à leurs astronautes et cosmonautes, ainsi qu'aux programmes spatiaux qui les ont portés. Avec *L'Étoffe des héros* (*The Right Stuff*, 1983), de Philip Kaufman, c'est un véritable panorama des débuts de l'aventure spatiale américaine qui s'offre aux spectateurs. Commenant par les exploits des pilotes d'essai sur la base Edwards, en Californie, le film s'intéresse à des personnalités exceptionnelles et courageuses comme celle de Chuck Yeager (Sam Shepard) – premier pilote à avoir franchi le mur du son en 1957. Parmi ces hommes avides de records, certains sont alors appelés par la toute nouvelle NASA à participer au programme Mercury⁷.

Le film, adaptation d'un ouvrage de Tom Wolfe, retrace cette époque déterminante du début des années 1960 au cours de laquelle les Américains, sans cesse pris de court par les réussites soviétiques, mettent les bouchées doubles afin d'envoyer leur premier homme dans l'espace (Alan Shepard, joué par Scott Glenn) puis en orbite terrestre (John Glenn, incarné par Ed Harris). Ce dernier y apparaît comme un leader naturel, capable de défendre les intérêts des premiers astronautes et de tenir tête au vice-président américain Lyndon B. Johnson. Pourtant, l'astronaute John Glenn,

engagé politiquement au moment de la sortie du film, ne l'a pas apprécié⁶ et a jugé plus tard qu'il avait même nui à sa campagne présidentielle de 1984. *L'Étoffe des héros* demeure une production hollywoodienne réussie, équilibrée et ambitieuse, n'omettant pas de peindre quelques ombres dans ce tableau patriotique : vive concurrence entre les astronautes, pressions politiques et calculs mesquins de certains ingénieurs, couverture médiatique envahissant la vie privée des familles.

First Man (*Le premier homme sur la Lune*), de Damien Chazelle (2018), se concentre sur la période suivante, du recrutement de Neil Armstrong (joué par Ryan Gosling) par la NASA en 1962, dans le cadre du programme Gemini, jusqu'à l'exploit accompli par *Apollo 11* en 1969. Si le film évoque également l'aventure collective, dont le coût humain et financier ne fut alors pas accepté par une partie de la société américaine, il fait la part belle à Neil Armstrong et cherche à éclairer ses motivations intérieures. Travailleur et taciturne, y compris en famille, le héros national dépeint par le réalisateur est aux antipodes des astronautes souriants de *L'Étoffe des héros*, où certains, comme John Glenn, n'hésitaient pas à jouer avec les caméras des journalistes. Le premier astronaute civil de la NASA est un coéquipier sérieux et fiable, mais secrètement marqué par la mort de sa jeune fille, Karen – drame qui fait l'objet d'une question lors de la scène du recrutement.

Dans *First Man*, être le premier homme sur la Lune ne constitue en rien une consolation pour N. Armstrong mais plutôt l'occasion de faire un geste symbolique en mémoire de l'enfant défunt – il abandonne sur la Lune un bracelet lui ayant appartenu. Jugé crédible par l'entourage d'Armstrong, ce parti pris de Damien Chazelle – par ailleurs habitué à tourner des scénarios d'amour sacrifié par vocation professionnelle⁷ – s'appuie, pour cette scène, sur quelques faits connus : Armstrong a passé dix minutes sur la Lune sans communiquer, près d'un cratère, et on



↑ Gagarin: *First in Space* (2013). © DR

ignore pour partie quels sont les objets personnels qu'il avait emportés avec lui.

Aucun Russe n'a marché sur la Lune, mais le programme spatial soviétique tenait la corde au début de la fameuse course à l'espace. Le cinéma russe, soutenu financièrement par un fonds national créé en 1994, a récemment rendu hommage à certaines de ses figures les plus connues : Youri Gagarine et Alexeï Leonov. Le film *Gagarine: First in Space*, de Pavel Parkhomenko (2013), revient sur ce jour historique du 12 avril 1961 où le premier homme fut envoyé dans l'espace. De la même durée que le vol orbital du cosmonaute – 108 minutes au total, pour une rotation autour de la Terre –, ce film dresse par flash-backs le portrait du jeune Youri Gagarine, fils de charpentier au caractère bien trempé. D'une ambition assumée, il gagne le respect de ses camarades apprentis cosmonautes dont il est aussi le concurrent.

Les mêmes qualités de vigueur athlétique et de générosité animent Alexeï Leonov, premier homme à avoir effectué une sortie extravéhicu-

⁶ John Glenn a refusé d'assister à la première du film organisée à Washington et aurait surnommé le film «Laurel et Hardy vont dans l'espace».

⁷ Voir notamment *Whiplash* (2014) et *La La Land* (2016).



↑ *L'Étoffe des héros* (1983). © DR

laire en 1965, dans le film *The Spacewalker*, de Dmitri Kisseliov (2017). Comme dans les films américains, la psychologie des héros envoyés dans l'espace est scrutée par les responsables des programmes. L'honnêteté est appréciée autant que la vaillance et, de façon intéressante, c'est encore la question de la gestion du deuil qui vient s'insérer dans l'évaluation comparative des cosmonautes. Dans le film *Gagarine*, on voit le responsable du programme habité, Sergueï Korolev, préférer Gagarine pour ce premier vol, rappelant notamment que son coéquipier Guerman Titov avait vainement cherché à cacher la mort de son nouveau-né aux responsables soviétiques⁸.

Par son génie scientifique, sa perspicacité et son souci quasi paternel envers ses cosmonautes, le personnage de Sergueï Korolev apparaît dans ces deux films, à juste titre, comme un acteur décisif de ces réussites. Ingénieur à l'origine du programme spatial soviétique, son nom n'est

⁸ À noter que de rapides recherches dans la biographie de G. Titov ne permettent pas de retrouver mention de ce deuil précoce.

devenu public qu'après sa mort en 1966. Même si le film sur A. Leonov s'autorise un recul critique et un certain humour sur la bureaucratie soviétique, *The Spacewalker* et *Gagarine* cherchent à faire honneur à l'appareil d'État soviétique dans son ensemble et, dans ce tableau, offrent une place de choix à S. Korolev, présenté comme le véritable pilier de ces programmes.

Cette prééminence de l'ingénieur en chef n'était qu'évoquée dans *L'Étoffe des héros*, où le savant allemand Wernher von Braun – équivalent de Korolev pour la NASA – y dénigre le rôle de l'astronaute, préférant utiliser des singes pour des missions qu'il estime de collecte de données⁹. Dans *L'Étoffe des héros*, Wernher von Braun n'est pas expressément nommé, et son portrait est plutôt caricatural. Dans *First Man*, il est totalement absent – alors qu'il est à l'origine de la fusée *Saturn V* qui permit d'envoyer des hommes sur la Lune.

Contrairement au cinéma russe, qui glorifie la vie de S. Korolev après l'avoir tirée de l'ombre, le cinéma américain semble donc moins à l'aise pour rappeler fidèlement l'importance que l'ingénieur allemand a eue dans le programme spatial – sans doute à cause de son passé controversé de scientifique sous le III^e Reich¹⁰.

Opérations sauvetage et héroïnes de l'ombre

Quand une mission traverse une difficulté, le lien de confiance entre les astronautes et les équipes au sol devient crucial. Là encore, au cinéma, Sergueï Korolev fait figure d'exception chez les décideurs soviétiques. Il défend ses

⁹ Le chimpanzé Ham, originaire du Gabon, fut sélectionné par l'équipe de Wernher von Braun puis envoyé dans l'espace le 31 janvier 1961.

¹⁰ De nombreux scientifiques allemands avaient été recrutés par les Américains comme par les Soviétiques après la chute du régime nazi. Le personnage de von Braun, dans *L'Étoffe des héros*, rassure d'ailleurs les décideurs de Washington sur les capacités américaines en affirmant « Nos Allemands sont meilleurs que leurs Allemands ». La notoriété de Wernher von Braun, concepteur du missile V2 pendant la Seconde Guerre mondiale avant de devenir la figure de proue de la science spatiale américaine, est davantage rappelée dans les documentaires que dans les fictions. Il est l'un des scientifiques ayant inspiré Stanley Kubrick pour son film *Docteur Folamour* (1964).

cosmonautes face au général Nikolai Kamanine, qui tantôt souhaite ne pas informer Gagarine de la divergence d'orbite (*Gagarine*), tantôt se dit prêt à laisser Alexei Leonov et Pavel Beliaiev sur orbite afin d'éviter le risque d'un atterrissage en territoire ennemi (*The Spacewalker*). N. Kamanine incarne la détermination froide des militaires gradés à protéger coûte que coûte le secret d'État, quitte à sacrifier des hommes.

Le film *Salyut-7* (2017, Klim Chipenko) en constitue une autre illustration. Ce film raconte le sauvetage historique en 1985 de la station soviétique *Salyut 7*, alors en panne et hors de contrôle, par une expédition de deux cosmonautes à bord d'un *Soyouz*. Ces derniers entrent dans la station plongée dans le froid spatial et la réparent, après avoir réussi une manœuvre d'amarrage manuel particulièrement difficile et risquée. Obéissant à certains standards du film d'action, cette œuvre cadencée tient néanmoins de la propagande quand elle invente et met en scène l'opportunisme d'Américains désireux de récupérer la station en détresse – et ses supposés secrets – dans leur navette *Challenger*¹¹.

Avec *Salyut-7*, le cinéma russe tient désormais l'équivalent du film américain *Apollo 13*, de Ron Howard (1995), dans lequel tout le mérite voire le génie des équipes consiste à éviter de façon quasi miraculeuse des catastrophes imminentes. Le fameux « échec réussi » (*successful failure*) des Américains lors de la mission Apollo 13, en 1970, dont les trois astronautes sont revenus sains et saufs après un accident les ayant privés d'un alunissage, est entré dans les mémoires en même temps que la phrase emblématique « *Houston, we've had a problem here* ». Le film de Ron Howard prend quelques libertés mais restitue l'esprit grâce auquel ce sauvetage a pu avoir lieu – dont le sang-froid au cœur de la crise du commandant James

Lovell (Tom Hanks) et la maîtrise du directeur de vol Gene Kranz (Ed Harris), résolu à ne pas laisser les astronautes mourir dans l'espace.

Le cinéma sud-coréen a également imaginé une telle opération sauvetage, dans la fiction *The Moon*, de Kim Yong-hwa (2023), tant ce type de film catastrophe permet, au gré de nombreux rebondissements plus ou moins vraisemblables, de proposer une forme de mythe de l'audace et de la résilience nationales. En l'espèce, le héros sud-coréen survit à une catastrophe spatiale avant d'échouer sur la face cachée de la Lune et d'être finalement secouru par un équipage avec l'aide de la NASA. Grâce à cet « échec réussi » inventé dans ce film, la Corée du Sud devient le second pays à envoyer un homme sur la Lune et réinvestit le club restreint des grandes puissances spatiales.

Également en retrait, les femmes de cette époque et de ce milieu apparaissent le plus souvent cantonnées au rôle, certes essentiel, d'épouse d'astronaute. Laissées seules avec les enfants, dans l'angoisse continue de perdre leur mari, elles se réunissent et discutent, dans les films russes et surtout américains, de leurs difficultés à vivre ces sacrifices pas nécessairement compris ni récompensés. L'amertume affleure parfois, notamment dans la bouche de l'épouse de Gus Grissom (*L'Étoffe des héros*). Elle se fait évidente, et mêlée d'exaspération, chez Janet Armstrong (*First Man*). Dans *Gagarine*, l'épouse du premier cosmonaute rappelle, à une autre dont l'engagement vacille, l'importance du vol spatial pour la patrie soviétique. Ces rôles d'épouses mis à part, l'aviatrice Pancho Barnes – pionnière de l'aviation féminine – est à l'affiche dans *L'Étoffe des héros*, devenue la tenancière du bar Pancho où les pilotes comme Chuck Yeager se réunissaient pour boire une bière et regarder, accrochés derrière le comptoir, les portraits de leurs amis déchus.

Cependant, le film *Les Figures de l'ombre*, de Theodore Melfi (2016), a mis en lumière les compétences extraordinaires de la mathématicienne Katherine Johnson qui, avec ses amies Mary Jackson et Dorothy Vaughan, travaillèrent pour la NASA en appui notamment du programme Mercury 7. Les calculs de la première contribuèrent au vol orbital de John Glenn,

¹¹ Ce récit russe d'une volonté américaine de profiter de la situation pour récupérer la station persiste néanmoins dans une vidéo documentaire – disponible en ligne depuis 2011 – produite par la chaîne de télévision de Roscosmos, l'agence spatiale fédérale russe. Cf. article faisant une critique du documentaire : The Space Review: Kidnapping a Soviet space station. Lien vers le documentaire : Телестудия Роскосмоса, www.tvroscosmos.ru/401/. Produit d'influence comme les autres films, *Salyut 7* a été projeté dans les ambassades et centres culturels russes à l'étranger, notamment à l'ambassade de Washington en 2017.



↑ *Fly Me to the Moon* (2024). © DR

en février 1962. Elle seule parvint à dissiper un doute soulevé par les calculs inconstants des nouveaux calculateurs IBM. L'astronaute lui-même, comme le restitue fidèlement le film, exigea expressément qu'elle vérifiât les chiffres avant d'accepter d'embarquer.

Ce film, qui illustre la consécration des mathématiques et l'avènement des calculateurs, a surtout une forte signification sociale. Au centre de Langley, dans l'État de Virginie encore ségrégationniste malgré la jurisprudence contraire de la Cour suprême, le parcours de ces femmes noires est semé d'embûches. Elles doivent se battre contre les préjugés sexistes, y compris dans leur communauté afro-américaine – par ailleurs solidaire et animée d'une ferveur catholique. Dans sa vie privée aussi, Katherine doit batailler, et son futur mari devra apprendre à la respecter pour pouvoir la séduire. Par l'utilité de leur travail acharné et leur persévérance, toutes trois parviennent à être dûment reconnues, à la fin de ce film américain qui constitue une

forme d'hommage académique à ces talents hors du commun¹².

Télévision et simulation

À côté de ces figures historiques, le film *To the Moon* (*Fly Me to the Moon*, 2024), de Greg Berlanti, invente un personnage féminin d'un autre genre, Kelly Jones (Scarlett Johansson), publicitaire douée, à la fois enjôleuse et menteuse. Recrutée pour aider la NASA à reconquérir l'opinion et les financements publics, elle est rapidement mêlée, malgré elle, à un projet de tournage clandestin de faux alunissage – destiné à être diffusé en cas d'échec de la mission Apollo 11. Ce projet confidentiel « Artemis » – clin d'œil au nouveau programme américain et à la coopération internationale du même nom¹³ –, piloté par un obscur décisionnaire de Washington (Moe Berkus, joué par l'excellent Woody Harrelson), permet à cette comédie de traiter de façon originale les doutes qu'ont pu avoir certaines personnes sur la réalité de l'alunissage de 1969.

En effet, avant d'être un objet cinématographique, la conquête de la Lune est avant tout associée à l'essor de la télévision. La guerre froide ayant aussi été une lutte informationnelle, filmer et diffuser les exploits des astronautes représentait un besoin impérieux. Par exemple, l'enregistrement de la sortie extravéhiculaire d'Alexeï Leonov constitua un enjeu bien mis en évidence dans le film *The Spacewalker*. Et l'on voit dans le film *First Man* l'astronaute américain Ed White découvrir à la télévision cette première sortie extravéhiculaire qu'il espérait lui-même effectuer. Ce contexte était propice au soupçon d'images fabriquées. L'événement même des premiers pas de l'homme sur la Lune, suivi par une foule de téléspectateurs estimée à 600 millions de personnes, a rencontré le scepticisme de certains – y compris

¹² Katherine Johnson, qui calcula également les procédures de rencontre spatiale pour le module lunaire d'*Apollo 11*, reçut la médaille présidentielle de la Liberté en 2015 pour l'ensemble de sa carrière.

¹³ Artemis étant la sœur jumelle d'Apollon dans la mythologie grecque, le nom du projet illustre également le rôle « miroir » de ce projet de simulation d'alunissage.

dans le monde occidental –, nullement convaincus par les images.

Le cinéma a frontalement traité ces questions, par exemple en 1978 avec *Capricorn One*, de Peter Hyams. *Capricorn One* est le nom d'un projet de mission habitée à destination de la planète Mars. Rencontrant un problème technique grave, quelques décideurs américains préfèrent simuler la mission aux yeux du public plutôt que l'annuler publiquement. La navette part à vide et les trois astronautes sont envoyés de force dans le désert de l'Ouest pour tourner des fausses images de Mars¹⁴. Dans le film, l'argument du « rêve à maintenir à tout prix » et du « besoin de bonnes nouvelles pour tous » est utilisé par le cadre qui, avant de finalement les contraindre, veut convaincre les trois hommes d'être complices de la supercherie.

Peter Hyams a imaginé ce scénario en constatant, d'après les images de la NASA de simulation de « moonwalk » et la réussite visuelle de *2001, Odyssée de l'espace*, que des images relativement simples d'un faux alunissage pouvaient tout à fait être fabriquées en plateau. L'intention du réalisateur, ne partageant pas du tout les thèses complotistes et ayant bénéficié de l'appui de la NASA pour son film, était d'inviter le spectateur à réfléchir au pouvoir de la télévision et au rapport de celle-ci à la vérité. En cela, le film *Capricorn One* s'inscrit dans la lignée des thrillers paranoïaques des années 1970, nourris du scandale du Watergate et de la guerre du Vietnam.

Mystique et mythologies de l'espace

Histoires de conquêtes nationales, les expéditions spatiales au cinéma relèvent aussi d'une mythologie universelle. Aux lendemains de la Seconde Guerre mondiale, les actes de bravoure réalisés par les pilotes d'essai étaient décrits dans *L'Étoffe des héros* comme un défi

¹⁴ À noter que les exercices de simulation dans le désert sont courants. Par exemple, en 2024, des astronautes de la NASA ont simulé, dans le désert de l'Arizona, des marches lunaires en préparation de la mission Artemis III, dont le lancement est prévu en septembre 2026.

Quelques films sur la conquête de la Lune

- Le Voyage dans la Lune*, de Georges Méliès, 1902
- La Femme sur la Lune (Frau im Mond)*, de Fritz Lang, 1929
- Destination... Lune ! (Destination Moon)*, d'Irvin Pichel, 1950
- La Souris sur la Lune*, de Richard Lester, 1963
- Le Grand Départ vers la Lune (Jules Verne's Rocket to the Moon)*, de Don Sharp, 1967
- Objectif Lune (Countdown)*, de Robert Altman, 1968
- 2001, Odyssée de l'espace (2001: A Space Odyssey)*, de Stanley Kubrick, 1968
- L'Étoffe des héros (The Right Stuff)*, de Philip Kaufman, 1983
- Apollo 13 (Apollo 13)*, de Ron Howard, 1995
- Moon : la face cachée (Moon)*, de Duncan Jones, 2009
- Gagarine : First in Space*, de Pavel Parkhomenko, 2013
- Les Figures de l'ombre (Hidden Figures)*, de Theodore Melfi, 2016
- Salyut 7*, de Klim Chipenko, 2017
- The Spacewalker (en russe : Le Temps des premiers)*, de Dmitri Kisseliov, 2017
- First Man : Le premier homme sur la Lune (First man)*, de Damien Chazelle, 2018
- Ad Astra*, de James Gray, 2019
- The Moon*, de Kim Yong-hwa, 2023
- To the Moon (Fly me to the Moon)*, de Greg Berlanti, 2024

lancé au divin. Le film de Philip Kaufman s'ouvre sur cette idée du diable qui se dévoilerait derrière les nuées percées par la vitesse supersonique des avions. Et à l'enterrement de l'un de ces jeunes héros anonymes, une plainte est chantée : « Dieu protège ces Ariel (anges) modernes qui volent dans les cieux. » Voyager dans l'espace devient une expérience mystique, portée par une foi américaine d'origine protestante – où tutoyer les étoiles constitue une preuve démiurgique de réussite humaine en même temps qu'une façon d'honorer le Créateur.

Cependant, à mesure que l'exploration spatiale devient exploitation spatiale, de

Les questions internationales à l'écran

nouvelles questions éthiques émergent. Deux films de science-fiction illustrent ces nouveaux défis d'une humanité ayant colonisé la Lune ou l'espace. *Moon : La face cachée* (2009), de Duncan Jones, se déroule dans un monde où la crise climatique et énergétique est résolue par l'exploitation d'une ressource minérale sur la Lune (hélium 3) mais où ses nouveaux ouvriers solitaires, des clones, s'avèrent les esclaves génétiques d'une espèce humaine qui s'est ainsi compromise.

Plus récemment, *Ad Astra*, de James Gray (2019), met en scène un personnage en quête de son père disparu, comme symbole d'une humanité ayant perdu pied en gagnant le ciel. Ces œuvres fortes rejoignent l'avertissement évangélique du Christ – « Que sert à l'homme de gagner l'univers s'il vient à perdre son âme ? » (Mat 16:26) – et remettent en perspective les finalités de ces aventures.

Alors que la conquête de la Lune n'a été possible qu'avec une détermination et un travail acharnés – à l'image du film muet de Georges Méliès, où la population danse autour d'une statue portant l'inscription *Labor Omnia Vincit* (« le travail vient à bout de tout ») –, l'envoi réussi des douze astronautes américains sur le sol lunaire entre 1969 et 1972, tels des apôtres de la modernité, a également sonné la fin des programmes et d'une époque.

Comme les instants de contemplation mélancolique sur la mer de la Tranquillité, que le réalisateur de *First Man* prête à Neil Armstrong, le cinéma porte en lui cet enthousiasme de la conquête en même temps que ce sentiment grave d'impuissance humaine : jusqu'aux confins de l'Univers, le divin, comme le bonheur, semble toujours se dérober à celui qui s'en approche. ●



Les 2 minutes citoyennes

S'INFORMER ET APPRENDRE EN 2 MINUTES CHRONO

Découvrez le nouveau podcast de Vie-publique.fr qui explique le fonctionnement des institutions et de la vie publique

Je l'écoute !

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Vie publique
Au cœur du débat public



Covid-19 : témoignages de Français, pour une mémoire partagée

Un beau livre pour conserver
une mémoire partagée
de la pandémie Covid-19
à travers de riches
témoignages de vie.

Laëtitia Atlani-Duault

Photographies d'objets du MUCEM.

Dessins inédits de Plantu.

Parution mars 2025

140 pages, 23 €

Réf : 9782111740174



Ouvrage disponible en librairie
et sur Vie-publique.fr

**La Documentation
française**

Abstracts

Current and emerging space powers

Isabelle Sourbès-Verger

Since the American-Soviet duopoly delivered Sputnik and Apollo 11, the number of nations considered “space powers” has grown to include roughly a dozen countries. The United States is the ultimate space superpower, but the current state of play in space occupation reflects the rapid rise of new, private American players (NewSpace). There are also glaring inequalities in how the opportunities offered by this difficult-to-access environment are being exploited. In addition to highlighting the diverse nature of their capabilities, a comparative study of current space club members analyses the evolution of the space ambitions of these powers.

Civilian uses of space: a “Wild West” sorely in need of regulation?

Lucien Rapp

It may, at first glance, appear far-fetched to compare current developments in civilian space applications to the Wild West. After all, space activities are already subject to a relatively strict and extensive legal framework in the form of international treaties, national laws, technical standards, commercial contract provisions, codes of conduct and compliance programmes. It is also true, however, that these activities tend to conjure up images of an intense industrial, economic, financial, and societal activity that seems to defy the prevailing norms. This is giving rise to a temptation to replace it with a new set of international regulations governing the civil use of space: regulations that are both more creative and better coordinated than those currently in force, covering a wide range of legal sources, approaches, and methods.

New ways of exploiting space: the United States and NewSpace

Paul Wohrer

Elon Musk’s role in Donald Trump’s administration offers a good example of how NewSpace players have been growing in influence over the past two decades. Driven by technological innovation and falling costs, NewSpace has shifted the balance of power between public and private space players. This redistribution of roles has profoundly changed

the space sector, and now has a significant impact on international relations.

Military space activities: legal and strategic confrontations

Hugo Peter

Outer space has, of course, long been a source of inspiration for boundless flights of fancy, giving rise to numerous legends. Yet access to this new environment has turned it into a strategic target, ripe for conquest. Cold War rivalry was decisive both for the space race and for the establishment of laws governing human activities in space. For many years, space law was confined to just five treaties – but the challenges now facing it mean that its regulatory framework must evolve. The growing risk of the weaponisation of space is one such challenge.

The space revolution of satellites, then satellite constellations

Christian Hyde and Hugo Lemoine

In the course of the first 60 years of the satellite era, between 1957 and 2017, the number of active satellites in orbit never exceeded 2,000. Now there are nearly 12,000 operational satellites (not including those that are inactive). In the 18 months between January 2022 and June 2023 alone, their number increased by more than 40%, and for the period 2025-2030, the number of launches is expected to exceed 70,000. By studying the successive technological revolutions that have led to this satellite fever, we hope to gain a better understanding of the current challenges associated with both their novel uses and the recent emergence of private space players.

A growing risk: space debris

Christophe Bonnal

The number of space objects has been on the rise ever since the dawn of the space age. Whether through orbital collisions or atmospheric pollution, space debris poses multiple risks to the population of our planet. In certain regions located between 700 and 1,000 km above sea level, an exponential increase in the amount of debris could lead to the gradual abandonment of these orbital zones. At the international level, a series of recommendations have been put in place to combat this risk, and France has passed a law specifically addressing it.

Protecting other planets and defending our own

Jean-Claude Worms

In the initial, euphoric phase of the space age, it was imagined that humans would land on Mars and establish permanent bases on the Moon by the 1980s. A subsequent, more realistic phase later acknowledged that “space conquest” was costly, risky, and not a top priority. Since then, nations have attempted to regulate the exploration and use of space. The ongoing NewSpace revolution introduces a new, game-changing parameter: namely cheaper access to space for private players (albeit subsidised by the public sector). To protect other planets as well as our own, the key challenge now is to establish universally applicable rules that will govern the exploration and use of space.

The return of “major celestial exploration programmes”: between old and new moons

Alban Guyomarc’h

In the 2010s, the Moon made a major comeback as a strategic priority for several space powers. This resurgence of interest inevitably calls to mind man’s first steps on the Moon in 1969 and could prompt an analysis of the situation through the prism of the Cold War. In this scenario, the current situation would be seen as a new race for prestige between two superpowers in a polarised world, with China easily taking on the role formerly played by the USSR. Such an interpretation would however overlook certain major developments that took place in the space sector at the start of the 21st century. This is why it is so important that we explore both what’s new, and what’s still going strong – the old moons and the new – in this fresh race towards our natural satellite.

Lunar missions and programmes: between technological competition and strategic rivalry

Florence Gaillard-Sborowsky

Following the Luna and Apollo programmes of the late 1950s, lunar exploration fell into relative obscurity for several decades. However, since the 2010s, it has once again

become a major focus of attention. The number of lunar missions, including those currently underway, those in planning and those in development, is growing fast. According to Bryce Tech – a leading consultancy in the space sector – up to 155 robotic and human missions are planned between now and 2033. The emergence of an industrial base for lunar activities is being accompanied by the rapid development and diversification of the industrial ecosystem underpinning lunar exploration and utilisation.

The Moon: a stepping stone for space exploration to more distant worlds

Virgile Malarewicz

In the period from the 1950s to the 1970s, the human conquest of the Moon was a decisive milestone. Now, after decades of exploring the outer reaches of our solar system, numerous national and private space agencies are announcing their intention to turn the Moon into a technical, scientific, and even commercial base. But in scientific and technical terms, what contribution did the conquest of the moon make to space exploration? And how do space industry players plan to conquer (or reconquer) the Moon, the better to use it as a stepping stone for their ambitions to explore worlds that are more distant still, such as Mars?

Lunar resource exploitation, human settlements, and environmental challenges

Stéphanie Lizy-Destrez

The exploitation of lunar resources lies at the heart of the strategies pursued by major space powers and private companies alike. Even as NASA and its international partners prepare to return humans to the Moon with the Artemis programme, China is developing its own programme, Chang’e, to establish a lasting presence there. These missions will pave the way for the use of lunar resources: ice water for astronaut survival and fuel production, metals and rare earth elements for manufacturing electronic components, and regolith for building habitats in situ. But is it possible to exploit these resources without disrupting the lunar environment, or cluttering space with fresh debris?

The importance of space logistics in lunar exploration programmes

Emilie Desmots

Because it must serve as a stepping stone to Mars, the Moon is crucial to today's space programmes: establishing a semi-permanent human presence there thus represents both a key milestone and a significant challenge in its own right. This challenge requires transporting every element necessary to human survival into the space environment. The American Artemis programme aims to land a crew on the moon in the short term. It is based on the Lunar Gateway, which is a huge infrastructure relay project developed by the United States in cooperation with private companies, the European, Japanese, and Canadian space agencies. This Lunar Gateway is a space station that will orbit the Moon, offering us a better understanding of the current challenges facing space logistics.

Legal questions specific to the status of the Moon and the regime governing lunar activities

Emmanuel Bourdoncle

The Moon was once symbolic of the early days of space exploration and the manned exploration of space, but by the end of the twentieth century it had gradually disappeared from the forefront of space activities. Nevertheless, the 2010s saw it return to centre stage in a number of exploration programmes and other space projects – both private and state-run. This was a clear demonstration of a desire to return humans to the lunar surface. Between geopolitical rivalries, scientific and technological achievements, these diverse projects reflect a renewed fascination with the conquest of the Moon. In so doing, they raise many new questions about the legal framework governing space and lunar activities.

Paying for the war: Vladimir Putin's tricky sums

Patrick Allard

In the wake of its failed attempt at “blitzkrieg” against Ukraine in February 2022,

the Russian government has massively increased military spending. However, the regime's military ambitions are likely to be constrained by economic considerations. The capabilities of Russia's defence industrial base remain limited, its productivity hampered by systemic distortions and any expansion curbed by the tight monetary policy of the country's Central Bank. Furthermore, in an economy operating at full capacity, massive increases in military spending result in market imbalances and growing inflationary pressures.

Cambodia: economic success and political authoritarianism

Mathieu Guérin

Fifty years after the Khmer Rouge took Phnom Penh, and more than thirty years after the United Nations operation ended, Cambodia is one of a handful of countries that can be said, in terms of development, to be doing well. Since the beginning of the 21st century, economic growth has been steady, though it has been driven more by Chinese investment than by international aid. At the same time, the Cambodian People's Party (CPP) and its leader, Hun Sen, have seized political power and seriously undermined the rule of law and the environment.

The Moon, a cinematographic conquest

Jean-Baptiste Féline

Cinema imagined lunar expeditions before they were ever a reality and has also chronicled the first historic space achievements. Astronauts were seen as “ambassadors for humanity”, exploring our world and the future – but during the Cold War, they also served as instruments of national propaganda. Alongside behind-the-scenes operators and scientists of both sexes, they helped build the reputation of both American and Soviet space programmes, regardless of whether their stories were those of resounding success, or dangers heroically overcome.

Liste des cartes et graphiques

Puissances spatiales et bases de lancement de satellites (2025)	p. 17
Traité de l'espace	p. 30
Accord sur la Lune	p. 31
Les zones orbitales autour de la Terre	p. 59
Évolution des lancements de satellites (1957-2024)	p. 61
Satellites : quels usages ?	p. 63
Évolution du nombre de débris spatiaux (1957-2024)	p. 69
Objets spatiaux en orbite basse (2024)	p. 71
Agence spatiale européenne (2025)	p. 95
Répartition mondiale des partenaires Artemis et ILRS (2025)	p. 97
Masse totale des échantillons d'autres astres récoltés sur Terre ou échantillonnés sur place	p. 115
Estimation de l'âge d'une surface martienne, modèle construit à partir des données des surfaces lunaires	p. 117
De la Terre à la Lune, et au-delà ?	p. 123
Russie : évolution des dépenses de défense (1992-2024)	p. 148
Le Cambodge	p. 153
Évolution du PIB par habitant du Cambodge (1989-2023)	p. 155

Liste des principaux encadrés

Le système Terre-Lune : quelques éléments chronologiques (<i>Questions internationales</i>)	p. 22
Les cinq traités à vocation universelle régissant l'espace et la Lune (<i>Questions internationales</i>)	p. 28
Du prestige soviétique à l'isolement russe : la Russie et la conquête spatiale et lunaire (Anna Hurova)	p. 42
Les utilisations militaires de l'espace : un état des lieux (Philippe Steininger)	p. 52
L'usage des données spatiales : l'exemple français (Giao-Minh Nguyen)	p. 64
Émirats arabes unis et Arabie saoudite : deux ambitions spatiales rivales dans le Golfe (Philippe Boulanger)	p. 74
Le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (CUPEEA, ou COPUOS en anglais) (<i>Questions internationales</i>)	p. 86
Exploiter les ressources de la Lune : un pari sur l'avenir (Dimitri Chuard)	p. 98
La Lune à l'origine de projets singuliers (Sarah Ben Bouazza et Alice Ménez)	p. 110
Les métaux rares : une illusion lunaire ? (Soufiane Zekri)	p. 126

Questions internationales

L'actualité internationale décryptée par les meilleurs spécialistes

Choisissez l'offre d'abonnement qui vous correspond

Premium



56 €

5 numéros par an dont un double

Chaque numéro sous deux formats : papier et numérique

+ accès aux anciens numéros au format numérique

+ contenu additionnel exclusif

Classique



49 €

5 numéros par an dont un double

Chaque numéro au format papier

Numérique



29 €

5 numéros par an dont un double

Chaque numéro au format numérique

Découverte



22 €

3 numéros

Chaque numéro au format papier

Étudiant / Enseignant *



37 €

5 numéros par an dont un double

Chaque numéro au format papier

* Sur justificatif



Abonnez-vous en ligne



Également disponible au numéro en kiosque, en librairie et sur Vie-publique.fr



A retourner à **La Documentation française** \ OPFER \ CS 60003 - 31242 L'Union Cedex ou par courriel à contact@aboladocfrancaise.fr

Je règle mon (mes) abonnement(s) :

Par chèque bancaire joint à l'ordre d'Opfer

Par virement :

IBAN FR76 1005 7192 1300 0209 0681 969

Par mandat administratif (par Chorus Pro)

Pour toute commande en ligne



Raison sociale _____

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

_____ (bât. étage...) _____

Code postal _____ Ville _____ Pays _____

Téléphone _____ Courriel _____

Ci-joint mon règlement de €

Date

Signature

Ligne téléphonique réservée aux abonnés (appel non surtaxé) 05 34 56 35 60 (10h-12h / 14h-17h) depuis l'étranger +33 534 563 560

Tarifs applicables jusqu'au 31 décembre 2025. Les institutions bénéficient d'une remise de 10 % sur le prix public. Offres valables exclusivement en France métropolitaine.

Pour tout autre lieu de résidence, merci de vous rendre sur le site www.vie-publique.fr/questions-internationales.

Informatique et libertés – Conformément à la loi du 6 janvier 1978, vous pouvez accéder aux informations vous concernant et les rectifier en écrivant au département des éditions

et du débat public / pôles promotion-diffusion. Ces informations sont nécessaires au traitement de votre commande et peuvent être transmises à des tiers, sauf si vous cochez ici



Direction de l'information légale et administrative

La Documentation française
26, rue Desaix – 75272 Paris Cedex 15
Téléphone : (0)1 40 15 70 10

Directrice de la publication
Anne Duclos-Grisier

Diffusion
Dilisco

Photo de couverture :
Adobe Stock

Avertissement au lecteur : les opinions exprimées dans les contributions n'engagent que leurs auteurs.

© Direction de l'information légale et administrative, Paris, 2024.

« En application de la loi du 11 mars 1957 (art. 41) et du Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992, toute reproduction partielle ou totale à usage collectif de la présente publication est strictement interdite sans autorisation expresse de l'éditeur. Il est rappelé à cet égard que l'usage abusif et collectif de la photocopie met en danger l'équilibre économique des circuits du livre. »

ISBN 9782111741379 (version PDF)
ISBN 9782111741386 (version ePub)
ISBN 9782111741362 (version papier)
ISSN 1761-7146

Dossier

À la conquête de la Lune

**Ouverture – La Lune,
le Sage et son doigt**
Serge Sur

**L'espace sublunaire,
banlieue de la Terre**

**Les puissances spatiales,
actuelles et émergentes**
Isabelle Sourbès-Vergier

**Les utilisations civiles
de l'espace : un « Far West »
à réguler ?**
Lucien Rapp

**Les nouvelles modalités
d'exploitation de l'espace :
les États-Unis et le NewSpace**
Paul Wohrer

**Les activités spatiales
militaires : confrontations
juridiques et stratégiques**
Hugo Peter

**Satellites, constellations
satellitaires : une nouvelle ère**
Christian Hyde et Hugo Lemoine

**Un risque croissant :
les débris spatiaux**
Christophe Bonnal

**Protéger les planètes,
défendre notre planète**
Jean-Claude Worms

**La Lune, corps céleste
désirable**

**Le retour des « grands
programmes d'exploration
de corps célestes » : entre
vieilles et nouvelles lunes**
Alban Guyomarc'h

**Missions et programmes
lunaires : entre compétition
technologique et rivalité
stratégique**
Florence Gaillard-Sborowsky

**La Lune, relais de l'exploration
spatiale vers des mondes
plus lointains**
Virgile Malarewicz

**Ressources lunaires,
installations humaines
et défis environnementaux**
Stéphanie Lizy-Destrez

**La logistique spatiale
dans les programmes
d'exploration lunaire**
Emilie Desmonts

**Les questions juridiques
propres au statut de la Lune et
au régime des activités lunaires**
Emmanuel Bourdoncle

Et les contributions de
*Sarah Ben Bouazza et Alice
Ménez, Philippe Boulanger,
Dimitri Chuard, Anna Hurova,
Giao-Minh Nguyen, Philippe
Steininger, Soufiane Zekri*

Questions européennes

**Payer la guerre : l'étonnante
équation de Vladimir Poutine**
Patrick Allard

Regards sur le monde

**Cambodge :
succès économiques
et autoritarisme politique**
Mathieu Guérin

Les questions internationales à l'écran

**La Lune, une conquête
cinématographique**
Jean-Baptiste Féline

Liste des cartes et encadrés

Abstracts