

LIVRE BLANC D'OBJECTIF LUNE



L'AMBITION LUNAIRE

défi stratégique pour l'Europe du XXI^e siècle

POUR UN ÉLAN DURABLE,
RESPONSABLE ET COORDONNÉ

L'AMBITION LUNAIRE

défi stratégique pour l'Europe du XXI^e siècle

AUTEUR

ALBAN GUYOMARC'H

normalien, coordinateur d'Objectif Lune pour l'ANRT

DIRECTRICE DE PUBLICATION

CLARISSE ANGELIER

déléguée générale de l'ANRT

Cet ouvrage est le fruit d'un travail collectif mené au cours de l'année 2021 par les membres du groupe Objectif Lune et des experts extérieurs.

S O M M A I R E

PRÉFACES

Frédérique Vidal	5
Josef Aschbacher	7
Philippe Baptiste	8
Patrice Caine	11
Thomas Pesquet	13

RÉSUMÉ EXÉCUTIF	15
-----------------	----

PARTIE INTRODUCTIVE

L'ambition lunaire, une ambition mondiale	19
Démarche et méthodologie	28
Mandats des groupes de travail	30

CHAPITRES THÉMATIQUES

CHAPITRE 1. Gouvernance	33
CHAPITRE 2. Éthique et Société	49
CHAPITRE 3. Habitat et Support de vie	63
CHAPITRE 4. Exploitation des ressources	79
CHAPITRE 5. Stratégies industrielles et économiques	93
CHAPITRE 6. Sécurité et Défense.	107

POSTFACE

par Claudie Haigneré	119
----------------------	-----

PRÉFACE

de FRÉDÉRIQUE VIDAL

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

La publication de ce livre blanc « Objectif Lune », qui cible les enjeux d'une installation durable de l'homme sur la lune, ouvre une porte sur l'avenir en apportant une source d'inspiration en matière de recherche et d'innovation pour de nombreuses années.

Je salue le travail remarquable de Claudie Haigneré et Clarisse Angelier, ainsi que de tous les acteurs qui ont contribué à l'élaboration de cet ouvrage stimulant notre imagination, notre inventivité, notre sensibilité ainsi même que notre spiritualité.

En effet, depuis l'aube de l'humanité, la Lune n'a cessé d'éclairer notre imaginaire collectif. Les œuvres de Jules Verne, Constantin Tsiolkovski, Werner von Braun et Sergueï Korolev, géniaux visionnaires, nous ont fait rêver et ont conduit à envoyer des hommes marcher sur la Lune, il y a de cela cinquante ans.

Le secteur de l'exploration spatiale vient de connaître une soudaine accélération, notamment sous l'impulsion d'acteurs privés, qui ont conduit à une démocratisation de l'accès à l'espace. La vertigineuse multiplication des lancements et des projets d'exploration nous fait ouvrir les yeux sur une réalité : la Lune est redevenue un objectif accessible pour l'humanité. Au-delà des stations spatiales habitées, une ambition vers la Lune constitue un facteur de progrès qui dépasse le seul exploit technique.

Cette ambition, à la fois technologique, scientifique et sociétale, constitue une opportunité pour la France et l'Europe d'intégrer le centre de la géopolitique spatiale, et

de fédérer un sentiment d'appartenance à une communauté unie par une même ambition, qui substituera la coopération à la compétition.

Les défis engendrés par l'instauration d'une base lunaire habitée sont immenses, et sont liés aux besoins mêmes de la vie: fourniture en énergie, en eau, en nourriture, en oxygène, traitement des données, gestion des déchets. Ce sont en fait les mêmes que ceux rencontrés sur Terre, avec des enjeux particulièrement forts de durabilité et de circularité. L'élaboration d'un cadre juridique pour une future gouvernance lunaire, en recueillant l'accord des Nations, sera un facteur de paix. Ainsi les retombées terrestres d'un tel projet lunaire seront considérables, de nature à entraîner le grand public qui aspire à investir le spatial.

Le projet lunaire, tel que présenté par « Objectif Lune » est par ailleurs un vecteur idéal pour promouvoir la science auprès de la société et des jeunes en particulier. Les recherches et réalisations à venir sont autant de facteurs entraînants pour l'écosystème des industries et des start-ups du spatial, qui y trouveront des débouchés légitimes, incluant l'intelligence artificielle et la robotique.

Le terrain est déjà fertilisé. Le Moonshot Institute, créé début 2021 par le CNES et l'ANRT, a permis de lancer l'initiative TechTheMoon, qui vise, via un incubateur, à développer des technologies qui pourront être utilisées au quotidien sur la Lune. Cinq startups ont déjà été sélectionnées, et de nombreuses autres, à l'échelle de l'Europe, ne demandent qu'à s'embarquer dans l'aventure lunaire.

Je vous invite donc à explorer ce livre blanc, dans l'espoir qu'il vous donne envie de redécouvrir la Lune, et d'adhérer au message qu'il délivre: « Objectif Lune » !

PRÉFACE

de JOSEF ASCHBACHER

DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE

En ce début de décennie nous sommes entrés dans une phase très dynamique de l'exploration spatiale habitée. L'Europe doit faire partie de cette accélération historique qui va nous emmener vers la Lune de façon pérenne d'ici 2030 et ouvrir la voie à la première mission habitée sur Mars vers 2040. Je suis déterminé à donner l'impulsion nécessaire, comme indiqué dans mon Agenda 2025. C'est une question de positionnement de l'Europe : faire partie des grandes puissances spatiales ou être en deuxième ligue à jamais. La question est éminemment politique et elle se pose maintenant.

PRÉFACE

de PHILIPPE BAPTISTE

PRÉSIDENT DIRECTEUR GÉNÉRAL DU
CENTRE D'ÉTUDES SPATIALES (CNES)

L'exploration lunaire bénéficie d'un regain d'intérêt absolument inédit. Démonstration de puissance, enjeux géopolitiques, technologiques et scientifiques, objectifs économiques autour de l'exploitation des ressources lunaires, tourisme spatial: les raisons ne manquent pas aux grandes puissances pour retourner vers la Lune. Cet enthousiasme des États est renforcé par l'arrivée de nouveaux entrepreneurs et de capitaux privés qui laissent espérer le développement de programmes ambitieux à des coûts maîtrisables.

L'occasion se présente plus que jamais de valider de nouveaux moyens de propulsion, de navigation lointaine, d'atterrissage automatique et des modes d'habitats pour les futures missions, tant lunaires que martiennes.

Dans cette nouvelle course à l'exploration, la NASA est en tête, suivie de près par des vellétés russes et chinoises. La France et l'Europe ne peuvent songer à tenir leur rang de grandes puissances spatiales sans y participer; plus encore, c'est sans doute à elles qu'incombe le devoir de valoriser les objectifs de l'exploration spatiale comme universels, par-delà les frontières des États. C'est en ce sens d'ailleurs qu'elles ont favorisé la collaboration internationale au travers de l'ISS. Le nouvel objectif Lune implique des sollicitations nombreuses de nos partenaires internationaux pour participer aux programmes d'exploration qu'ils développent. La question se pose de savoir comment rester un collaborateur indispensable, éviter l'éparpillement et envisager même un véritable programme à leadership européen. La France, au travers du

CNES et de l'ESA, est déjà très engagée dans le programme Artemis. De cette façon, le CNES perpétue une grande tradition de coopérations internationales, dans laquelle les États-Unis figurent comme partenaire historique. C'est au centre spatial de Toulouse que le CNES prépare sa participation aux futures missions sur la Lune.

En tant qu'agence, le CNES est chargé de construire une vision d'avenir forte pour l'aventure lunaire. Il nous faut d'abord anticiper en situant l'horizon à 2060. À cette fin, le CNES a créé et anime un observatoire de prospective spatiale concernant la Lune et Mars. Il en va notamment d'évaluer la gestion des ressources et du territoire lunaires. Cela signifie aussi orchestrer et promouvoir l'innovation afin de soutenir le goût de l'aventure parmi les entreprises françaises, qu'elles soient déjà actrices du spatial ou non. En résulte le lancement récent du premier incubateur au niveau mondial dédié à l'économie lunaire : TechTheMoon. Ce dernier disposera de locaux au cœur même du CNES à Toulouse au Cadmos, aujourd'hui chargé de piloter les expériences de Thomas Pesquet dans l'ISS. Dès octobre 2021, une promotion de cinq startups innovantes bénéficiera d'un accompagnement pendant douze mois. Les incubés seront soutenus techniquement par les experts du CNES et de SpaceShip France, et coachés par les spécialistes en business et entrepreneuriat de Nubbo. Parmi les cinq startups lauréates figurent un projet d'habitat lunaire gonflable, des modules pour optimiser la culture de végétaux avec un minimum de ressources ou encore une caméra capable de détecter des défauts sur les équipements embarqués dans l'espace. C'est un formidable accélérateur pour l'innovation française, une façon unique d'inspirer les nouvelles générations et d'encourager les carrières en sciences et ingénierie, élan qui motive d'autant plus notre participation financière aux programmes internationaux.

Il va sans dire que les missions lunaires s'inscrivent aujourd'hui dans le sillage des ambitions martiennes. Cet aiguillon motive des avancées technologiques et scientifiques dont les bénéfiques, rappelons-le, seront d'abord à prévoir pour les Terriens. Non seulement la connaissance de la Lune et de Mars nous apprendront beaucoup sur notre propre planète, mais les défis qu'il faudra y relever, ne serait-ce que pour faire survivre un équipage, auront un impact direct parmi nous. Il y a fort à parier que les expériences impliquées par ces missions, sur le corps humain et la télé-médecine, entre autres exemples, contribueront plus largement aux progrès de la médecine concernant les maladies du vieillissement.

PRÉFACE

de PATRICE CAINE

PRÉSIDENT DIRECTEUR GÉNÉRAL DE THALÈS,
PRÉSIDENT DE L'ASSOCIATION NATIONALE DE LA RECHERCHE
ET DE LA TECHNOLOGIE (ANRT)

Depuis les penseurs grecs du VI^e siècle avant J.-C. jusqu'à nos jours, la Lune a toujours été une source de fascination pour l'humanité et un aiguillon de son désir de connaissance. Vecteur d'enthousiasme et de mobilisation, catalyseur d'innovations, l'exploration de notre satellite naturel a aussi été au cœur d'enjeux géopolitiques et industriels importants à partir de la seconde moitié du XX^e siècle. Or, à l'heure où plusieurs puissances réactivent une forme de course à la Lune, il est capital de s'interroger sur le rôle que doit jouer l'Europe dans cette nouvelle séquence. Quelles peuvent être ses ambitions, selon quelles modalités et avec quels moyens peut-elle s'y impliquer? Voilà quelques-unes des questions auxquelles les travaux de l'ANRT apportent des éléments de réponse passionnants pour tous ceux qui s'intéressent à la place du Vieux Continent dans l'avenir de l'épopée spatiale.

PRÉFACE

de THOMAS PESQUET

ASTRONAUTE DE L'AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE

Depuis dix ans j'assiste, aux premières loges, à l'accomplissement dans l'espace d'une ambition internationale majeure : la Station Spatiale. Je vois, in situ, le potentiel de l'espace se réaliser pleinement, et les bénéfices sociétaux engendrés dépasser les attentes, pour les nations qui décident, il y a vingt ans de cela, de se lancer dans cette incroyable aventure. Aujourd'hui, il est temps de rendre possible un avenir encore meilleur en inscrivant l'Europe dans un mouvement ambitieux de découverte et d'exploration, pour les générations futures. Le retour, durable, sur la Lune, avec des ambitions pacifiques de découverte scientifique, est l'aventure humaine qui va catalyser les capacités technologiques européennes et accélérer le progrès dans nos sociétés. C'est en se confrontant à des projets difficiles mais fascinants que les nations européennes, pays de découvreurs/es, ont donné le meilleur d'elles-mêmes ; demain les ingénieurs/es, astronautes européens/nes et tous les acteurs de ces missions vers notre satellite auront une chance d'unifier encore plus le continent, en l'emmenant plus loin et plus haut que jamais, il me paraît opportun de le saisir pleinement.

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Nous militons, avec un sentiment d'urgence, pour un engagement européen lisible et immédiat, non seulement en orbite cislunaire, mais plus précisément pour s'y poser, s'y installer durablement. La course a déjà démarré, les cartes se distribuent alors que la Lune réintègre le centre de la géopolitique spatiale et les agendas des entreprises privées traditionnelles et émergentes du secteur.

Sur la Lune aussi, l'Europe a rendez-vous avec son avenir : terrien et spatial. La course est lancée et l'Europe doit s'asseoir au plus vite à la table des explorateurs lunaires. Plus de 50 ans après la fin de l'ère Apollo, notre satellite fait de nouveau figure de catalyseur de la géopolitique spatiale : ne pas en être ou en être à un niveau trop modeste, serait coûteux sur le plan de l'influence européenne dans les relations internationales, et réducteur du fier sentiment d'appartenance européen.

La Lune offre une opportunité inspirante, mobilisatrice et fédératrice pour notre continent et son industrie. Recelant des potentiels encore inconnus, la Lune constitue tant un défi qu'une ouverture sur de nombreuses possibilités pour l'industrie européenne dans sa globalité, et ce bien au-delà du seul secteur spatial.

L'objectif Lune peut s'inscrire dans le cadre de la relance européenne tant économique que politique, pour catalyser des innovations de rupture dans un contexte permettant de penser autrement les réponses aux défis lunaires et terrestres. Sont en jeu pour l'Europe son autonomie de choix, sa puissance et son influence stratégique dans une compétition scientifique, technologique, économique et géopolitique, mais aussi son modèle social, sa projection confiante dans l'avenir et ses valeurs humanistes. L'Europe

doit y prendre part en se présentant comme une puissance différenciante, synergique et inclusive, en accord avec son identité et compatible avec la coopération internationale, dans une interdépendance à égalité.

Opportunité inspirante pour la jeune génération, l'objectif Lune peut incarner l'importance que l'Europe accorde à la soutenabilité, à la paix et à un effort commun pour les bénéfices de l'humanité. Exigeante sur ses positions, l'Europe a la capacité de modérer les appétits souverains d'autres puissances spatiales, en proposant une nouvelle voie plus inclusive et holistique.

La Lune est un projet d'avenir pour l'Europe, qui doit mobiliser les jeunes générations et les talents européens, porté par le sens immanent de cette nouvelle ambition, son intense exigence et l'inscription influente dans son époque et au service de son époque.

La multiplication récente des projets lunaires pose la question de la gouvernance collective de ces ambitions, tant sur Terre que vers la Lune. Le lancement puis la pérennisation d'une ambition lunaire européenne requièrent de fluidifier la gouvernance spatiale européenne. Face à un secteur spatial européen public et privé cloisonné et fragmenté, le collectif préconise la création d'une Alliance pour l'Europe Lunaire. Elle vise à offrir à l'Europe un espace de dialogue et de conception de projets entre parties prenantes de différents horizons — acteurs publics, acteurs privés, traditionnels du spatial ou non, mais aussi les citoyens et acteurs de la société civile — rassemblées autour de l'ambition lunaire européenne.

Enjeu de civilisation, l'exploration spatiale s'analyse au prisme de l'éthique et de son rapport à la société. Cette perspective est d'autant plus importante que l'ambition lunaire prendra forme au lendemain d'un épisode épidémique qui a mis à mal les rapports entre la science et la société, fragilisant davantage encore la parole des experts et la confiance dans le progrès. Les impératifs et défis qui traversent nos sociétés contemporaines placent le projet lunaire au sein d'une société différente de celle de l'époque d'Apollo. Dans ce projet lunaire qui n'a de sens que si global et responsable, l'Europe peut proposer un sens différenciant

et l'audace du pourquoi. L'Europe pourrait faire de l'ambition lunaire le creuset de ses valeurs phares : l'humanisme, l'excellence, la coopération, la paix, l'audace, la responsabilité, la durabilité et l'inclusion.

Les bases lunaires au sol ont suscité tant un engouement des imaginaires qu'un défi annoncé pour les sciences et l'ingénierie et plus largement les questions sociétales. La conception et la mise en œuvre de la base sont une traduction technique, organisationnelle et architecturale d'un système social fondé sur la coopération et l'interopérabilité. L'interopérabilité des éléments installés constituant d'ailleurs un point critique incontournable, à défendre sans concession avec la mise en place de standards sur l'ensemble des matériels et fonctionnalités de la base vie. La conception et la mise en œuvre de la base lunaire se feront sous l'égide d'un impératif de durabilité et de circularité, en se fondant sur un principe holistique de coexistence intégrative entre humains, technologies et milieux. Ce même impératif de durabilité implique également de concevoir l'habitat lunaire dans une dynamique Terre-Lune, faisant des innovations lunaires de futures applications terrestres.

La durabilité peut constituer la valeur phare de l'élan lunaire européen, l'exploitation des ressources lunaires doit être pensée dans cette optique. L'hypothèse d'*In situ* ressource utilisation, ISRU, la plus prometteuse semble être celle de l'utilisation des ressources lunaires pour la fabrication de carburant et le réapprovisionnement des objets spatiaux. L'ISRU permettrait ainsi de limiter la quantité de matériaux et de matériels à transporter depuis la Terre: aller plus loin, rester plus longtemps, ravitailler les véhicules spatiaux en carburants et donc allonger leur durée de vie, par voie de conséquence réduire le coût total des missions et les débris en orbite. Les défis technologiques d'extraction et d'exploitation, mais aussi de cartographie requièrent dès à présent un engagement coordonné des industries intéressées (entreprises du secteur minier, de raffinement, d'observation/prospection, de la logistique, etc).

Si dans un premier temps un investissement public massif est requis, en mobilisant les industries spatiales et

non spatiales pour une présence durable sur la Lune, le développement de modèles économiques viables rendus possibles par l'exploration et l'exploitation pérenne de la Lune rendent imaginable, à long terme, la construction d'une véritable économie lunaire avec une implication forte du secteur privé. Cette économie sera à l'image des mutations récentes du marché spatial, fruit d'un mouvement synchrone de privatisation et de commercialisation des applications spatiales. Les retombées économiques futures, fruits de l'exploration et de l'exploitation des potentiels lunaires et de l'apprentissage à évoluer sur un site « extra-terrestre », sont l'une des motivations majeures qui poussent au retour sur la Lune.

L'installation et l'utilisation d'une base humaine en expansion durable sur la Lune constituent un patrimoine stratégique inédit dont il faut assurer la sécurité. Une protection qui appelle à une conception holistique de la sécurité. Plus précisément, les patrimoines à sécuriser sont l'équipe d'astronautes, l'infrastructure les accueillant et permettant la conduite de leurs missions (modules de vie, de travail et véhicules lunaires), mais aussi leurs expériences scientifiques, les moyens de les réaliser et les résultats de ces expériences. Cette sécurisation n'est en rien incompatible avec une exploration pacifique et pacifiée de la Lune. La protection des astronautes et des patrimoines scientifiques pourra également être le lieu d'apprentissage, d'anticipation et d'appréhension des conflictualités nouvelles induites par l'exploration spatiale.

L'AMBITION LUNAIRE

UNE AMBITION MONDIALE

Lorsque les premières missions lunaires du XXI^e siècle atterriront prochainement sur la Lune, elles s'inscriront dans un double héritage. Un héritage ancien, d'abord, celui d'un désir tout humain d'explorer la Terre puis l'Espace. Un héritage plus récent, ensuite, celui des premières missions humaines sur la Lune au siècle dernier, fort des douze astronautes ayant foulé le sol lunaire. Depuis le rapport à l'espace a beaucoup évolué, devenu indispensable au fonctionnement des activités terrestres au travers de l'ensemble des satellites postés sur les orbites basses, et il évoluera encore dans le futur. La nouvelle ambition lunaire s'inscrit, comme chaque grande épopée humaine, dans son épic et au service de celle-ci.

L'AMBITION LUNAIRE ET LE XXI^e SIÈCLE

C'était le 20 juillet 1969, Apollo 11 se posait sur la Lune et quelques heures plus tard Neil Armstrong entrait au panthéon des héros en prononçant les mots les plus célèbres de l'exploration spatiale : « *c'est un petit pas pour l'humain, mais un grand pas pour l'humanité* ». Ce n'était pas un petit pas pour l'Homme car il avait fallu des millénaires pour y parvenir, mais comme rappelle Roland Lehoucq, la technique est facile, la difficulté est sociétale. Diffusé en direct sur les télévisions du monde entier, le premier pas de l'homme sur la Lune s'inscrivait en pleine Guerre Froide. La Lune était certes une étape clé dans l'exploration spatiale mondiale, mais pour les États-Unis

elle constituait une démonstration de puissance face à au bloc soviétique. Prouesse économique, les Américains ont dépensé sans (presque) compter pour réaliser ce défi. Projet sous pression, le programme Apollo a été mené à une vitesse phénoménale au cœur d'une époque post Seconde guerre mondiale marquée par l'héroïsme, la valeur du risque et la course à l'espace.

Ce serait — la sagesse appelant le conditionnel — pour 2024-2025 : l'humanité retournera sur la Lune. Mais les enjeux ont beaucoup changé. La guerre froide américano-soviétique s'est achevée et avec la chute du mur de Berlin, le monde n'est plus bipolaire, mais se décline entre plusieurs puissances continentales. Aux côtés des acteurs historiques que sont les États-Unis, la Russie et l'Europe, la géopolitique spatiale compte désormais de nouveaux États : la Chine, l'Inde ou encore les Émirats Arabes Unis. La jeunesse spatiale de ces puissances ne saurait être le gage d'un développement technologique moindre : la Chine, notamment, entre dans la nouvelle ambition spatiale mondiale avec des capacités technologiques au meilleur niveau servies par une planification implacable. Parallèlement, les paramètres économiques du spatial ont été bouleversés par l'entrée fracassante de nouveaux acteurs du New Space. En parangon, Space X, à qui revient désormais la construction de l'atterrisseur lunaire américain dans le cadre du programme Artémis, tandis que le lanceur et la capsule Orion seront construits par SLS, lanceur institutionnel.

Cette nouvelle donne géopolitique et économique s'inscrit dans un contexte de défis critiques sur Terre. L'humanité fait face, sur son vaisseau Terre, aux conséquences du changement climatique provoqué par ses propres activités. Les jeunes générations appellent un questionnement de fond sur la place de la technique et du sens des activités humaines en lien avec la nature. Mais c'est aussi ce contexte qui érige la durabilité en valeur phare de l'exploration spatiale, alors même que le secteur

spatial prend conscience des dangers qu'il s'est lui-même infligé en repoussant la gestion des débris spatiaux. Ce paradoxe nouveau entre protection de la Terre et envie d'exploration conduit les États démocratiques à beaucoup de prudence, l'espace faisant face à un conflit de positionnement sociétal et budgétaire.

Ces défis ne doivent pas être entendus comme des freins aux projets d'avenir. L'audace est le facteur clé d'un désir d'avenir, d'une vision à long terme qui n'oublie ni la Terre ni l'exploration lointaine, un stimulus pour l'ingénuité humaine en accord avec l'époque.

L'ambition lunaire voit donc son esprit renouvelé. Plus qu'un défi, elle est désormais une ambition raisonnée — même si relancée par le plus imprévisible des présidents américains. La Lune n'est plus une destination, mais un lieu à explorer et des potentiels à découvrir. L'humanité retourne sur la Lune pour y rester. Terrain d'essai à quelques jours de voyage de la Terre et à quelques secondes de signal radio, la Lune est vue comme le laboratoire de l'exploration spatiale humaine vers Mars et au-delà. L'installation d'une base vie en expansion progressive et durable est le dénominateur commun des deux ambitions lunaires les plus prometteuses, celle des États-Unis avec le programme Artemis et celle de la Chine et de la Russie avec l'ILRS. Aller sur la Lune pour y rester, aller sur la Lune pour l'explorer, aller sur la Lune pour aller au-delà, en orbite ou dans l'espace lointain, tels sont les trois grands axes de la nouvelle exploration lunaire.

L'AMBITION LUNAIRE L'EUROPE SUR LA LIGNE DE DÉPART?

Artémis et l'ILRS témoignent du fait que les puissances spatiales se positionnent à l'échelle mondiale pour l'ambition lunaire. « *Toutes ? Non ! Car un continent d'irréductibles européens ne se positionne pas encore.* »¹

1. On se permettra cet emprunt, au vu du nom donné à l'un des premiers satellites français, Astérix.

Les regards se sont à nouveau tournés vers la Lune quand en 2019, le président américain d'alors, Donald Trump, l'annonçait fièrement : les Américains retourneront sur la Lune à l'horizon 2024. La date correspondant davantage à la fin de son convoité second mandat plutôt qu'à une estimation assurée par la NASA. Une analyse plus poussée de l'historique des programmes américains appelle néanmoins à une nuance : le Président Trump a davantage relancé un projet qu'il n'en a véritablement initié un. L'ambition lunaire américaine des années 2000 date en réalité de 2004 quand le Président Bush annonçait le lancement du programme Constellation. Un programme mis à l'arrêt en 2010 par l'administration Obama alors même que les lanceurs Ares 1 et Ares 5 ainsi que la capsule Orion étaient en plein développement. L'industrie spatiale américaine traditionnelle vivait alors un double coup dur : l'arrêt de la navette spatiale et la fin de ce programme (ce qui a favorisé Space X qui, de son côté, avançait à grand pas). Le programme Lunaire américain était donc au point mort. Mais c'était sans compter sur le *Make America Great Again* de Donald Trump : retourner sur la Lune permettrait aux américains de faire front devant la Chine dont les ambitions spatiales s'affirmaient davantage ; tout en soutenant leur industrie spatiale nationale (avec la relance de certains centres d'étude comme le centre Stennis dans le Mississippi). À la différence d'Apollo, la nouvelle ambition lunaire est portée par un partenariat renforcé entre les entreprises privées et la NASA. En avril 2021, Space X s'est ainsi vu confier la réalisation de l'atterrisseur lunaire, menant d'ailleurs Blue Origin, l'entreprise spatiale du fondateur d'Amazon, Jeff Bezos, à exercer des recours à l'encontre de cette décision.

La nouvelle ambition lunaire américaine est aussi marquée par les propositions de signatures bilatérales des Accords Artémis. Élaborés par la NASA et le département d'État américain, les Accords Artémis établissent un cadre de coopération pour l'exploration civile et pacifique de la

Lune. Ils mettent en place un certain nombre de principes, communément acceptés par les signataires de l'accord et la NASA, et fondés sur une interprétation américaine du traité fondateur de 1967. À l'heure actuelle, l'Australie, le Canada, la Corée, la Nouvelle Zélande, le Brésil, l'Ukraine, les Émirats, le Japon, le Luxembourg, la Pologne, l'Italie le Royaume-Uni sont signataires de ses accords. Toutefois, de nature bilatérale, ces Accords Artémis témoignent d'une volonté américaine de leadership et d'hégémonie dans la nouvelle course à la Lune.

À l'Est, la Chine et la Russie se positionnent ensemble.

Les politiques technologiques et spatiales américaines ont toujours été empreintes de méfiance vis-à-vis de la Chine. La crainte d'un transfert technologique ou d'un espionnage industriel chinois ayant toujours guidé le congrès ou les renseignements américains à freiner voire interdire la coopération entre la Chine et la NASA. Et lorsque les deux puissances spatiales collaborent, c'est davantage pour se porter assistance (ex : photographie par les États-Unis pour le compte de la Chine des sondes Chang'e-3 en 2013 et Chang'e-4 en 2019). C'est donc un projet d'exploration lunaire parallèle — pour ne pas dire concurrent — qu'ont lancé les Chinois. La puissance communiste, résolument planificatrice, vise à établir une base permanente vers le pôle Sud de la Lune (non loin des ressources en eau). À cette fin, l'agence spatiale chinoise développe son lanceur lourd, homologue des Américains Starship et SLS, le lanceur Longue Marche 9.

Dans son ambition lunaire, la Chine peut s'appuyer sur un allié solide, beaucoup moins réticent à coopérer avec elle, la Russie. Cette puissance spatiale historique, héritière de la conquête spatiale soviétique, a été échaudée ces dernières années dans sa coopération avec les États-Unis. D'abord impliquée dans le projet de *Lunar Gateway*, station orbitale lunaire, la Russie a préféré réduire sa participation à un projet présenté comme trop centré sur les

États-Unis, selon les dires du directeur de l'agence russe, Roscosmos. Dans le même temps, la Russie a perdu le monopole du convoyage des astronautes vers l'ISS depuis que les États-Unis avec Space X sont entrés sur le marché des vols habités.

Les Russes et les Chinois se sont ainsi associés dans un projet présenté comme alternatif au projet Artemis, l'ILRS. Annoncé lors de la conférence *The Global Space Exploration* de Saint Pétersbourg, en 2021, le projet présenté par les agences des deux pays vise à établir une station de recherche sur la Lune. Prenant le relais sur les sondes russes Luna (25 à 27) et Chang-e (6 et 7), des éléments de construction automatisés de la base devraient être installés sur la Lune à l'horizon 2025. Les premiers cosmonautes et taïkonautes aluniront probablement à l'horizon 2036.

L'engagement européen paraît bien timide à côté de ces deux ambitions. Si en 2015 l'ESA, par le biais de son directeur général, avait promu le concept de Moon Village, force est de constater que le projet est resté pour l'instant à l'état de pure prospective. Mais l'engagement européen dans les projets lunaires n'est pas inexistant. L'ESA contribue ainsi avec l'*European Service Module* (ESM) au vaisseau américain Orion. Par ailleurs, avec Thales Alenia Space, l'ESA fournira à la station américaine et internationale *Lunar Gateway* ses modules i-Hab et ESPRIT. Ces programmes européens permettent en outre la sécurisation de trois places pour les astronautes européens vers le *Lunar Gateway*.

Si certains États européens ont d'ores et déjà signé les accords Artémis, l'hésitation est encore grande, pour d'autres pays européens. Signer avec les Américains, ne serait-ce pas mal compris du côté des Chinois et des Russes, et ce alors même que l'Europe se veut terre de coopération spatiale ? Entre la position de partenaires-contributeurs ou de leader d'une ambition européenne, le spatial conti-

mental hésite encore. Néanmoins, les positions sont vouées à évoluer et les États semblent désirer renforcer le rôle de l'Europe dans le domaine spatial, comme le démontrent les réactions au tir de destruction d'un satellite russe en novembre 2021, mais aussi le manifeste de Matosinhos du même mois donnant mandat à l'ESA pour approfondir toute une série de projets. Ce manifeste exprime, selon les mots-mêmes du directeur général de l'ESA, Josef Aschbacher, l'idée « *d'une Europe unie, engagée à fournir des services à ses citoyens en accélérant l'espace pour améliorer et faire progresser la vie de ses habitants et de la planète dans son ensemble* ». Le manifeste engage l'Europe spatiale sur trois grands enjeux, baptisés « *accélérateurs* ». Le premier est de commencer à travailler vers « *l'espace pour un avenir vert* », le second est de mettre le spatial au service des crises et de la résilience face aux crises, le troisième est la protection des actifs spatiaux européens. Le manifeste se projette également au moyen de deux « *inspireurs* » : une mission d'échantillonnage sur la Lune et l'exploration spatiale habitée.

L'AMBITION LUNAIRE UNE OPPORTUNITÉ POUR L'EUROPE

Il serait d'autant plus bienvenu pour l'Europe de s'engager dans son ambition lunaire que notre satellite naturel est une opportunité pour notre continent. S'il est urgent pour l'Europe de prendre part à la course à la Lune, c'est non par mimétisme vis-à-vis des autres puissances spatiales mais pour contribuer par ses talents, sa vision et ses valeurs au concert des nations déjà engagées. Cette position exige une vision partagée par tous les États membres européens sur une feuille de route ambitieuse, intelligemment distribuée sur tous les maillons de la chaîne de valeurs, de la R&D à la politique industrielle comme à sa bonne implémentation. Cette ambition passe par une infrastructure juridique et économique apte à stimuler ce

nouvel écosystème, porteur d'un très fort potentiel en termes d'innovation et de création d'emplois, propice à l'inspiration des talents notamment parmi les plus jeunes. La génération millénium est porteuse d'une exigence incontournable pour le projet lunaire : quel sens porte ce projet pour aujourd'hui et pour demain, pour l'Europe et pour le monde face aux enjeux bien actuels. Cette même génération compte bien se saisir de la relance européenne, tant économique que politique, pour penser et agir autrement y compris en matière spatiale.

Les défis offerts par la Lune sont une occasion de mobiliser les scientifiques, les innovateurs et les entrepreneurs au-delà des acteurs historiques du spatial européen. Il s'agit d'augmenter le champ des possibles et de susciter des collaborations d'industriels du spatial et du non-spatial au service de retombées duales pour la compétitivité, la sécurité et la souveraineté européenne.

L'industrie spatiale européenne dispose d'une industrie aux savoir-faire et compétences de pointe, dans des secteurs déjà impliqués dans l'ambition spatiale, mais aussi dans des secteurs pour qui l'exploration spatiale est un marché d'avenir. La mobilisation de ces acteurs au sein d'une économie lunaire européenne est une dimension clé de la réussite d'un projet européen. Du lanceur — pour lequel la France dispose d'atouts à ne pas perdre — à l'atterrisseur en passant par l'observation de la Lune, les télécommunications, la santé ou la nutrition, l'industrie européenne tirera nécessairement de la Lune une part du marché futur et des innovations utiles à la Terre. Bien évidemment, l'installation d'une telle *économie lunaire* prendra du temps. Il est néanmoins urgent pour l'Europe de s'engager clairement dans l'ambition lunaire si elle entend mobiliser sa recherche et son industrie pour recueillir à termes des retombées économiques et l'assurance d'une souveraineté.

L'Europe bénéficie d'une puissance de recherche scientifique au meilleur niveau mondial, à mettre au service d'innovations pour la Terre et pour la Lune, dans un esprit transversal, interdisciplinaire et fédérateur d'énergies aujourd'hui trop souvent déployées en silos ou qui s'exportent vers les USA ou l'Asie. La Lune s'érige aussi en opportunité de recherche scientifique en soi : de la microgravité et ses potentiels, en passant par une meilleure connaissance de la Lune — véritable archive à ciel ouvert de notre système solaire — jusqu'à un relais de communication spatiale. L'exploration lunaire est donc à la fois scientifique, économique et géostratégique.

L'autonomie stratégique européenne est également en jeu. S'engager pour un projet européen, une chaîne de valeur européenne et la promotion des entreprises européennes, c'est assurer au continent une position forte face aux autres puissances spatiales d'aujourd'hui et de demain. Mais c'est aussi disposer des ressources nécessaires pour porter un projet autonome et indépendant des contrôles à l'export imposé par d'autres partenaires commerciaux. Cette autonomie dans l'innovation permettrait à l'Europe, d'une part, de préserver sa liberté et, d'autre part, de porter l'interopérabilité en tant que principe clé de la conception des applications spatiales au bénéfice de l'humanité.

Nous militons, avec un sentiment d'urgence, pour un engagement européen lisible et immédiat, non seulement en orbite cislunaire, mais plus précisément pour s'y poser, s'y installer durablement. La course a déjà démarré.

C'est cet engagement et cette stratégie que porte ce livre blanc.

DÉMARCHE ET MÉTHODOLOGIE

L'ambition lunaire européenne doit être traitée à l'intersection de plusieurs thématiques stratégiques. C'est à cette intersection que le présent Livre blanc d'Objectif Lune se positionne, quand il conjugue six thématiques structurantes que sont la gouvernance, la stratégie industrielle et économique, l'éthique et la société, l'exploitation des ressources, l'habitat et le support de vie, la sécurité et la défense.

La Lune, une ambition européenne et intersectorielle

La course à la Lune est relancée, les positions s'affichent, les cartes se distribuent. Ce nouvel élan lunaire, cette nouvelle étape de l'exploration, sont d'abord marqués par la variété de leurs acteurs. Le secteur spatial se compose aujourd'hui d'États installés et de nouveaux venus, de filières traditionnelles et de récents acteurs privés allant de la start-up à la multinationale. Il s'agit pour l'Europe de mettre en cohérence des expertises et des intérêts différents mais complémentaires, au service d'une *road-map* commune pour un positionnement de l'Europe au niveau international. L'Europe doit mobiliser largement ses dirigeants, son industrie et ses citoyens autour du projet lunaire; cette mobilisation convaincue est la condition de la réussite de son ambition.

Cette même ambition transcende les frontières au sein des secteurs technologiques et scientifiques en appelant à *agir à l'échelle intersectorielle*. La Lune n'est d'ailleurs pas qu'un lieu à atteindre, mais avant tout un terrain

d'exploration et d'exploitation aux potentiels émergents, voire insoupçonnés aujourd'hui. Tous les secteurs spatiaux et non spatiaux peuvent y trouver un intérêt et des sources de développement. Leur mobilisation coordonnée est une première étape incontournable du projet lunaire.

La course à la Lune en tant qu'effort exploratoire est aussi un enjeu de civilisation à une époque appelant à prendre en compte la responsabilité sociale et environnementale. L'Europe a une contribution à apporter dans ce récit de demain. Se mobiliser pour une ambition lunaire est un projet qui va bien au-delà de la science. Il appelle à questionner ses fondements, son organisation, son rapport à la société et à demain. Questionner l'installation sur la Lune doit donc passer par une démarche résolument *interdisciplinaire, et porteuse de valeurs*.

Les maîtres-mots d'une stratégie lunaire viable sont donc la coopération, l'intersectorialité et la responsabilité ; trois termes au cœur de notre démarche.

La Lune, une réflexion intersectorielle

En 2021, l'ANRT a organisé des groupes de réflexion autour des six thématiques qui composent ce Livre blanc. Chaque groupe était composé pour moitié d'experts du spatial et d'experts du non-spatial, dans un esprit intersectoriel public/privé, marqueur phare des activités de l'ANRT. Pour chaque thématique ont été élaborés des axes structurants, des objectifs stratégiques et des scénarios à moyen-termes. Des sessions de regards croisés ont permis un effort critique pour passer de l'idéation à la stratégie coordonnée.

MANDATS DES GROUPES DE TRAVAIL

En amont des six mois de travaux, les groupes avaient reçu les mandats thématiques suivants :

GT GOUVERNANCE (GTG)

MANDAT RÉSUMÉ : Ce groupe a pour mandat d'étudier les modèles de gouvernance de l'élan lunaire humain. Il posera la question de la meilleure politique institutionnelle et gouvernance favorable à l'émergence puis à la pérennisation d'une ambition lunaire européenne. Le positionnement de la France et de l'UE dans le jeu des puissances spatiales mondiales pourra être discuté. Subsidiairement, ce groupe aura aussi à sa charge la question du droit applicable aux activités lunaires. Il pourra alors, mais ce n'est pas l'objet principal de sa mission, prendre parti quant aux accords Artémis. La question de la relance d'une négociation multilatérale à l'échelle internationale ou européenne visant à la définition de principes, rénovés ou novateurs, régissant l'élan lunaire humain pourra également être posée.

GT STRATEGIE INDUSTRIELLE ET ECONOMIQUE (GTSI)

MANDAT RÉSUMÉ : Les travaux de ce groupe viseront à étudier, à l'échelle macro-économique, les politiques industrielles et économiques pouvant initier puis pérenniser un élan lunaire européen. En outre, ce groupe pourra s'inspirer des travaux de Zenon Research menés en collaboration avec l'ANRT. Il pourra aussi puiser dans les exemples historiques de grands projets, requérant des efforts sans précédents, notamment en termes d'infrastructure ou d'innovation.

GT ETHIQUE ET SOCIETE (GTES)

MANDAT RÉSUMÉ : L'objet de ce mandat est triple. D'abord, il se posera la question des « pourquoi-motivationnels » fondant l'ambition lunaire humaine. Il cherchera ensuite à définir les impacts sociétaux et les considérations éthiques au cœur de l'élan lunaire européen. Enfin, il s'agira pour lui de définir les manières dont ce même projet peut être rendu désirable et compris auprès de l'opinion publique. En somme, c'est presque à la pédagogie du projet lunaire que s'intéresse ce groupe.

GT HABITAT ET SUPPORT DE VIE (GTHSV)

MANDAT RÉSUMÉ : Il s'agit d'aborder la question cruciale de l'habitat lunaire. Il étudiera les conditions auxquelles la vie est supportable sur la Lune pour la dizaine d'humains présente sur place. Cette définition de « vie supportable » aura des considérations au-delà des seules questions biologiques, avec des considérations pour le mental des humains présents sur la Lune et les risques humains inhérents.

GT EXPLOITATION DES RESSOURCES (GTER)

MANDAT RÉSUMÉ : Afin de ne pas se recouper avec l'existant, l'approche du GTER sera de travailler en combinant les catalogues de ressources existants avec une cartographie de ces dernières pour les mettre en miroir avec l'exploitation scientifique et/ou industrielle dont elles pourraient faire l'objet.

GT DEFENSE ET SECURITE (GTSD)

MANDAT RÉSUMÉ : Ce groupe étudiera la politique de protection du potentiel scientifique et technique de la France s'agissant de la Lune, de la protection du projet « Objectif Lune », ainsi que les questions de recherche duale, d'armement et de coopération militaire lunaire.

gouvernance

MEMBRES DU GROUPE

ARTHUR SAUZAY : coordinateur

AVOCAT EN DROIT SPATIAL ET EXPERT À L'INSTITUT MONTAIGNE

RAPHAËL CHEVRIER

DOCTEUR EN PHYSIQUE, BUSINESS DEVELOPER CHEZ ARIANESPACE

MURIEL DOUCET

DIRECTRICE AFFAIRES PUBLIQUES – INNOVATION / TECHNOLOGIES /

DIGITAL / SANTÉ, GROUPE AIR LIQUIDE

CÉCILE GAUBERT

AVOCAT

PIERRE-ALEXIS JOMEL

DIRECTEUR AFFAIRES INTERNATIONALES ET NOUVELLES ACTIVITÉS,

EXPLORATION SPATIALE, AIRBUS DEFENCE AND SPACE

ISABELLE SOURBES-VERGER

GÉOGRAPHE, DIRECTRICE DE RECHERCHE AU CNRS,

CENTRE A.KOYRÉ / EHESS-CNRS, MNHN

G O U V E R N A N C E



La Lune réintègre le centre de

la géopolitique spatiale, avec la réaffirmation d'ambitions lunaires de la part des grandes puissances spatiales (Chine, États-Unis, Russie) et l'émergence d'acteurs nouveaux, non seulement étatiques (Inde, Emirats arabes unis...) mais aussi des entreprises privées. La multiplication récente des projets lunaires pose la question de la gouvernance collective de ces ambitions, tant sur Terre que dans l'environnement lunaire. Une question qui se pose d'autant plus que les projets s'inscrivent dans un horizon court-terme au cours des deux prochaines décennies. Sur ce terrain, les États-Unis tissent, par les accords Artémis et leur stratégie « Moon To Mars »¹, un réseau international de coopérations pour leur projet lunaire. De son côté, la coopération sino-russe dessine les contours de son propre projet. Dans ce contexte, la France et l'Europe doivent se positionner ensemble sur les enjeux de gouvernance si elles entendent porter leur propre ambition lunaire. Et cette ambition questionne l'enjeu de la gouvernance sur deux plans : la gouvernance vers la Lune, et la gouvernance sur la Lune.

Les travaux du Groupe Gouvernance se sont essentiellement concentrés sur la première question. En effet, c'est bien sur le plan de la gouvernance vers la Lune, c'est-à-dire la façon dont les acteurs publics et non-publics interagissent pour définir une politique spatiale lunaire, que les lignes ont bougé ces derniers mois. Ainsi, une fois annoncées leurs ambitions respectives, les projets américain et sino-russe se sont rapidement dotés de mécanismes formalisant cette ambition avec les Accords Artémis pour les premiers, l'International Lunar Research Station pour

1. Les projets lunaires (Lunar Gateway, programme Artemis) devant servir de point d'appui (*stepping stone*) pour un programme habité vers Mars dans la décennie 2030.

les seconds. En contraste, le projet lunaire européen n'est pas encore défini, dans un contexte marqué par une forte fragmentation du dialogue entre les différents espaces de la gouvernance spatiale européenne (Institutions de l'Union, Agence spatiale européenne, ministères, parlements et agences nationales, industries traditionnelles et nouveaux entrepreneurs, sociétés de conseil et groupes d'experts, associations de citoyens, etc.). L'organisation interne de l'Europe est un enjeu central qui conditionne la capacité du continent à se penser comme puissance spatiale et à peser sur les activités, les règles et les valeurs qui régiront les activités lunaires dans les prochaines années.

Si le groupe s'est concentré sur la gouvernance européenne vers la Lune, il a bien souligné les risques que créerait une gouvernance lunaire dont l'Europe serait absente. Le Traité de 1979 ambitionnait de créer des règles spécifiques pour la gouvernance et l'exploitation de la Lune mais n'a pas été ratifié par les principales puissances spatiales. Plus récemment, l'irruption du secteur privé et les projets de commercialisation des ressources spatiales, soutenus par de nouveaux cadres juridiques (aux États-Unis, Luxembourg, Émirats Arabes Unis et Japon), pourraient fragiliser certains des grands principes issus des cinq traités principaux formant le cœur du droit spatial international, et par là le principe même de gestion multilatérale des affaires spatiales. Dans ce contexte, le cadre juridique d'une gouvernance lunaire semble aujourd'hui particulièrement lacunaire. Alors qu'un nouvel accord portant sur la Lune semble compromis à ce stade, les velléités de domination à l'échelle du globe, et les intérêts stratégiques et économiques qu'elles véhiculent, apparaissent comme un frein à un texte exigeant.

L'émergence des accords Artémis est symptomatique de l'époque dans laquelle le projet lunaire évolue. Alors que le spatial se polarise à nouveau, l'Europe, qui s'est toujours affirmée comme acteur majeur de la coopération internationale, est appelée à prendre parti. Le retrait partiel des Russes du projet de station lunaire « Lunar Gateway », jugé trop centré sur les États-Unis, en est une autre manifestation. C'est dans ce contexte fragmenté que l'Europe doit se questionner sur sa propre stratégie en matière de gouvernance vers la Lune.

Enfin, outre sa capacité à s'organiser, la force de l'Europe dans la gouvernance sur la Lune sera également fonction de la capacité de ses acteurs, publics comme privés, à développer une présence sur et autour de la Lune, c'est-à-dire de s'affirmer comme acteur à part entière de la nouvelle course mondiale à la Lune.

C'est pour contribuer à enclencher une véritable dynamique lunaire européenne, objectif stratégique pour le continent, que le groupe de travail propose d'articuler ses recommandations autour d'une alliance européenne pour la Lune, dont les contours sont précisés ci-après.

1

DÉBATS ET AXES STRUCTURANTS

GOVERNANCE ET LÉGITIMITÉ

Contrairement à d'autres ambitions contemporaines (numérique, climat, transition écologique et énergétique, etc.), les enjeux lunaires sont aujourd'hui peu présents dans le débat public européen. Alors que le spatial est de plus en plus inscrit dans les agendas politiques ou médiatiques avec l'arrivée de Thierry Breton à la Commission européenne et du nouveau directeur général de l'ESA, Josef Aschbacher, la Lune reste largement un objectif de second plan. L'ambition lunaire souffre en effet d'un manque de légitimité qu'il est urgent de pallier. La construction de cette légitimité est également l'objet des autres chapitres.

Pour créer la légitimité de l'ambition lunaire, trois conditions sont à remplir. Les deux premières résident dans la politisation et la médiatisation des enjeux lunaires. C'est toute la chaîne des relations publiques et politiques du secteur qu'il faut repenser et renforcer. L'exploration lunaire doit s'ériger en sujet de débat et en objectif spécifique, tant dans les médias à destination du grand public qu'au sein des institutions publiques nationales et européennes. Avec l'appui d'experts du secteur et de vulgarisateurs, l'exploration lunaire et les différents projets qui la sous-tendent doivent être débattus dans les enceintes démocratiques nationales et européennes, en premier lieu les parlements, mais également auprès de l'espace public par le biais d'assemblées, de débats et de consultations citoyennes. L'engagement de la société civile organisée, notamment des médias grand public (traditionnels et nouveaux), est primordial pour constituer et structurer cet espace public. Le tour de force de la société SpaceX consiste à présenter la moindre de ses innovations — et

même de ses échecs — comme un sujet intéressant le champ de l’information. L’inscription du débat lunaire dans la programmation des médias grand public favoriserait certainement sa mise à l’agenda politique.

À cet égard, l’année 2022 (élection présidentielle, présidence française de l’UE, Space Summit ESA-UE, Conférence Ministérielle de l’ESA, etc.) sera déterminante pour conduire cette politisation de l’ambition lunaire. Par ailleurs, la politisation de l’exploration lunaire mènerait aussi, in fine, à augmenter et sécuriser les budgets qui lui seront alloués : la manifestation de l’intérêt politique étant, en dernier ressort, budgétaire. On sait combien l’ISS a pu pâtir des incertitudes budgétaires, incertitudes annuellement reconduites, alors que ce type de projet a besoin d’une sécurisation budgétaire sur le long terme pour entraîner dans son sillage les investissements privés. Le projet d’un traité relatif à une base lunaire internationale devrait adopter une lettre plus exigeante que celle de l’article 15 de l’IGA (accord intergouvernemental pour l’ISS) et garantir ainsi la pérennité financière, tant publique que privée, de la base.

Dans un autre registre, la troisième condition qui permettra de consolider la légitimité de l’ambition lunaire réside dans sa capacité à se faire l’incarnation des valeurs européennes. Dans ce domaine, la conception européenne de la gouvernance lunaire peut reposer sur trois piliers : la gestion multilatérale et inclusive de la Lune, sa déconflictualisation, et enfin la promotion d’une gestion durable de la Lune, c’est-à-dire d’en faire un projet compatible avec la défense du climat et des écosystèmes terrestres. Les lieux de coopération extra-terrestres tels que l’ISS ont montré leur importance dans la pacification des relations inter-étatiques. La base lunaire serait un lieu supplémentaire de coopération internationale d’abord scientifique mais aussi garante de relations diplomatiques apaisées. Ces grands projets coopératifs sont des arènes de construction d’une gestion commune des grands communs mondiaux : un “savoir affronter ensemble” encore à développer face aux

enjeux climatiques et sociaux. L'Europe devra s'ériger en partenaire exigeant pour que les orientations adoptées pour l'exploration lunaire se fassent en conscience des contraintes environnementales et au service de ces grands défis pour l'humanité aujourd'hui et demain.

De plus, l'association de la société civile organisée (médias, entreprises, associations) et surtout des citoyens — électeurs et contribuables — à la réflexion sur l'objet Lune constitue un enjeu incontournable dans la consolidation de la légitimité du projet lunaire. Les priorités citoyennes et les codes de la communication ont changé depuis les premières missions Apollo. Deux années d'épidémie ont fragilisé les liens entre science et société (voir le chapitre ÉTHIQUE ET SOCIÉTÉ). La question des investissements pour le spatial, et notamment pour une installation sur la Lune, ne va pas de soi aux yeux du grand public. D'une part beaucoup reste à faire pour retisser des liens entre les grandes découvertes spatiales et les aspirations des citoyens européens très inquiets des problèmes terrestres, d'autre part, les politiques se saisiront d'autant plus facilement de l'ambition lunaire que celle-ci saura être un enjeu important pour le corps électoral. L'association de la société civile et un travail de pédagogie pour expliquer le contexte, les enjeux et les risques, est la seule voie pour éviter un rejet de principe du projet perçu comme secondaire, voire incompatible avec les attentes en termes de développement durable.

GOVERNANCE ET UNITÉ

À l'échelle européenne, l'enjeu n'est pas tant d'inventer une politique spatiale nouvelle que de la rénover dans son organisation. En effet, même si l'ESA et l'Union européenne tendent à accroître leur coopération, le spatial continental souffre d'une double fragmentation.

Cette dernière est d'abord verticale : la fragmentation entre les gouvernants du spatial européen, d'une part, et la multiplicité des acteurs industriels ainsi que des

start-ups d'une autre. Sur ce second volet, l'Europe a su faire émerger des champions du secteur dans le domaine des lanceurs, des télécommunications et de l'observation de la Terre. Néanmoins, l'Europe spatiale n'a pas encore su mobiliser cet écosystème au profit d'une ambition lunaire propre, en dépit de la participation de plusieurs acteurs au projet américain Artémis ainsi qu'au Lunar Gateway. La fragmentation est ensuite horizontale. Le cadre de la gouvernance spatiale européenne souffre à la fois d'un manque de clarté (États/UE, UE/ESA) et de la marge de manœuvre limitée laissée à l'UE en matière spatiale. L'article 189 du TFUE n'offre à l'Union qu'une compétence résiduelle sans véritables leviers pour mener une stratégie lunaire soutenue par les moyens budgétaires nécessaires. Un couple UE/ESA aux champs d'action et modalités de collaboration clarifiés saurait pourtant porter cette même stratégie lunaire. Là où l'ESA a la capacité de porter sur le plan opérationnel des missions ayant la Lune pour finalité, l'UE peut incarner au plan politique une vision de long terme des enjeux lunaires.

L'ambition lunaire peut ainsi contribuer à réduire cette double fragmentation en clarifiant le rôle des différents niveaux de la gouvernance spatiale européenne, comme c'est d'ailleurs déjà le cas pour les programmes Galileo (positionnement par satellites) et Copernicus (observation de la Terre), portés par l'Union (EUSPA) et l'ESA au moyen d'accords de partenariat.

Pour autant, si l'ambition lunaire doit favoriser une unité européenne autour d'un projet et de valeurs, elle n'a pas vocation à susciter une centralisation de sa gouvernance spatiale au niveau des modèles américain ou chinois. Les spécificités de la gouvernance européenne doivent conduire à des modèles plus souples mais néanmoins suffisamment mobilisateurs pour enclencher une véritable dynamique à l'échelle européenne. C'est la philosophie de l'alliance proposée.

2

SCÉNARIO

SCÉNARIO : L'ALLIANCE EUROPÉENNE POUR LA LUNE

objectifs

Le scénario préconisé par le groupe gouvernance est celui d'une Alliance pour l'Europe Lunaire, qui pourrait prendre le nom de « Blue Moon Alliance » (BMA). L'intégration de la couleur bleue du drapeau européen ne vise évidemment pas à affirmer une quelconque appropriation de la Lune, mais à marquer la volonté européenne d'être partie prenante de l'élan lunaire et d'y porter ses valeurs².

L'Alliance BMA vise à offrir à l'Europe un espace de dialogue et de conception de projets entre parties prenantes de différents horizons rassemblées autour de l'ambition lunaire européenne (ESA, ministères et agences spatiales nationales, institutions de l'Union, parlementaires, entreprises traditionnelles et nouveaux entrepreneurs, banques d'investissement et capital-risque, organisations non gouvernementales et associations de citoyens). Il s'agit de concourir à une quadruple réunion : des États européens spatiaux, des institutions spatiales européennes, des industries et des entreprises spatiales et non-spatiales et du grand public. Cette alliance permettra de fluidifier la gouvernance spatiale européenne en mettant autour de la table des acteurs qui coordonneront leur action et porteront ensuite une stratégie commune à leur échelle. C'est une déclinaison de la subsidiarité à l'européenne qui a fait ses preuves dans d'autres secteurs : *cloud* européen appelé « GAIA-X », *European Green Digital coalition* alliant États et entreprises du digital au service de solutions durables³, alliance européenne des batteries, etc. Ceci confirme que des projets à la fois techno-scientifiques et politiques sont

2. La société américaine Blue Origin porte un projet d'atterrisseur « Blue Moon » mais ceci n'est pas un obstacle au nom proposé, dont la visée est à l'évidence plus large.

3. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-green-digital-coalition>.

possibles mais exigent des industriels et des acteurs publics un consensus sur les objectifs, un dialogue renforcé et une plus large utilisation des mécanismes de cofinancement public-privé et de partenariats entre États et industries. Ces mêmes mécanismes seront au cœur du développement de nouveaux modèles économiques mêlant secteur spatial et secteur non spatial. L'engagement initial de la puissance financière publique nationale ou européenne demeure indispensable pour inciter les acteurs privés, déjà sensibles aux marchés potentiels, à investir sur ces projets de très long terme. Le financement de l'Alliance se fera le reflet de la diversité des modèles économiques possibles et de ses parties prenantes.

Point crucial pour son acceptabilité et son efficacité dans le contexte actuel, l'Alliance BMA ne s'entend pas comme une forme de "contre-alliance" face aux Accords Artemis portés par les États-Unis. De fait, quelques États européens ont déjà ratifié l'accord bilatéral américain et d'autres entendent le faire. L'enjeu est de créer les conditions d'un projet lunaire européen propre, à même de peser dans la géopolitique spatiale et lunaire mondiale.

— **mise en œuvre** —

L'Alliance BMA serait lancée à l'initiative d'au moins deux États européens, tels que la France et l'Allemagne, puis associerait d'autres États, les entreprises (spatiales et non-spatiales, traditionnelles et du NewSpace), des acteurs de la société civile organisée (ONG, associations, universités), etc. Réunis autour d'une Conférence Lunaire Européenne à l'horizon 2022-2023, ces parties lanceraient l'Alliance par une déclaration conjointe fondatrice. Il s'agirait ainsi d'une initiative avant tout politique.

L'Alliance se réunirait en forum de façon régulière afin de définir et de faire évoluer ensemble la stratégie lunaire européenne. Elle ne viserait pas à limiter la compétence, la souveraineté ou l'autonomie stratégique de ses membres. En revanche, s'agissant en particulier des États et des agences spatiales, elle viserait à favoriser un dialogue interne préalable avant la conclusion d'éventuels accords

avec des acteurs non-européens. Pour les entreprises et les acteurs de la société civile, il s'agirait d'augmenter la visibilité des projets et des compétences existants sur le continent.

Cette Alliance BMA devrait également matérialiser la perspective multilatérale portée par l'Europe. D'abord européenne, elle pourrait dans un second temps s'ouvrir à d'autres États non européens dans le cadre de partenariats. Ainsi, par exemple, pourraient être associés à l'Alliance BMA des États africains émergents dans le secteur spatial.

bénéfices

Le premier bénéfice de l'alliance serait de contribuer à crédibiliser l'enjeu lunaire auprès d'acteurs qui ne le perçoivent pas nécessairement aujourd'hui. Affirmer publiquement et collectivement que l'Europe doit et veut être présente dans la gouvernance lunaire permet en outre d'inciter les entreprises, notamment celles qui sont peu ou pas présentes dans le spatial, à développer des projets en lien avec la Lune. Pour la société civile et les citoyens, cette nouvelle enceinte permettrait d'informer et de débattre des enjeux ainsi que de la compatibilité de ce projet avec les attentes exprimées en termes de développement socio-économique et durable, et de sécurité collective.

L'alliance permettrait de créer les conditions d'un élan lunaire européen, en positionnant la Lune comme un enjeu important pour l'Europe quant à la projection de ses valeurs, au futur de sa société civile et au dynamisme de son innovation et de ses talents.

Enfin, un autre bénéfice a déjà été évoqué dans la définition même du principe de l'alliance : contribuer à décloisonner le spatial européen. Offrir une instance de dialogue et de projet, où sont débattues les stratégies lunaires européennes, permettra au-delà du seul sujet lunaire de renforcer les ambitions spatiales européennes, aujourd'hui en difficulté face à l'accélération d'autres acteurs, notamment Américains et Chinois.

3

OBJECTIFS STRATÉGIQUES ET RECOMMANDATIONS

OBJECTIFS STRATÉGIQUES

- **Politiser l'ambition lunaire.** Le spatial doit se réinviter dans les agendas politiques et le politique doit réinvestir le spatial. L'exploration spatiale a connu ses premières heures de gloire lorsque les agendas politiques et scientifiques ont su trouver une ambition commune. À l'heure où nos sociétés font face à de nouveaux défis, le spatial doit se décroiser davantage et démontrer les services qu'il rend à la société, au travers de ses applications multi-domaines connues aujourd'hui et à découvrir demain. Il doit renouer avec la politique et oser rapprocher son quotidien de celui des citoyens. Le spatial est un secteur indispensable pour chacun d'entre nous qui utilisons chaque jour ses applications. Refaire du sujet spatial un sujet de société, c'est remettre dans les agendas politiques l'ambition lunaire.
- **Fonder les motivations lunaires européennes dans les valeurs et l'identité européenne.** Une volonté européenne de retourner sur la Lune ne doit pas être une volonté inspirée par une forme de suivisme ou de mimétisme. Au contraire, si l'Europe s'élance vers la Lune, c'est avec ses valeurs et son identité. L'Europe n'a pas à choisir son camp mais peut, sinon doit, incarner une voie singulière : multilatéralisme, pacifisme, démocratie et durabilité y sont primordiaux. L'Europe doit ériger la durabilité comme principe conducteur de sa politique spatiale et ce dès la conception des projets.

- **Engager mais aussi élargir l'écosystème spatial à l'échelle européenne de façon intersectorielle.** L'alliance doit permettre d'atténuer les frontières actuelles. Il s'agit de mobiliser les entreprises spatiales européennes et d'ouvrir la porte aux nouveaux acteurs et entreprises non-spatiales qui peuvent y apporter leur savoir-faire et leurs projets. Ceci encourage les vocations, notamment scientifiques, et permet en retour la création d'emplois hautement qualifiés, avec des applications bien au-delà du spatial (santé, environnement, énergie, communications, transports...).

RECOMMANDATIONS OPÉRATIONNELLES

- L'Europe doit déclarer sa volonté d'être actrice dans l'exploration puis dans la gouvernance de la Lune. Elle doit réaffirmer les valeurs qui devraient structurer l'élan lunaire en cours et à venir, en particulier l'approche multilatérale et le développement durable.
- La France, l'Allemagne et l'Italie, notamment, devraient se faire figures initiatrices européennes de l'exploration lunaire et les initiateurs d'une conférence lunaire à l'horizon 2022, étape fondatrice pour la création de l'Alliance BMA.
- Les acteurs à l'initiative de la préparation de l'Alliance BMA pourraient en outre, dans un premier temps et pour guider ses travaux, lancer des études régulières de type "*eurobarometer*" et "*focus groups*" sur les enjeux lunaires, pour s'enquérir du niveau d'intérêt des citoyens européens sur le sujet.
- La France devrait soutenir une position favorable à de nouvelles négociations multilatérales de textes complémentaires au corpus existant afin d'éviter la cristallisation de l'opposition USA/Chine-Russie. Les arènes d'élaboration

de tels textes devraient prendre en compte les mutations du secteur spatial et diversifier leurs panels d'interlocuteurs (comme c'est déjà le cas dans certaines des principales organisations juridiques internationales).

- ▶ La France pourrait soutenir une modification des textes européens (notamment de l'article 189 du TFUE) en faveur de marges de manœuvre plus larges accordées à l'Union Européenne dans la mise en œuvre de politiques spatiales.
- ▶ Les acteurs à l'initiative de la préparation de l'Alliance BMA pourraient, à terme, constituer une Convention citoyenne européenne pour l'exploration spatiale, pérenne dans le temps et force de propositions.
- ▶ Avoir une démarche prescriptive en faveur d'une plus large part de financement accordée aux programmes de R&D dédiés au spatial et à la Lune.
- ▶ Financer des programmes documentaires, ludiques et artistiques dédiés à l'exploration spatiale européenne, sur le modèle américain.

éthique et société

MEMBRES DU GROUPE

MICHEL IDA : coordinateur

CEA, DIRECTION DE LA RECHERCHE TECHNOLOGIQUE-IMPACT SOCIÉTAL

DIDIER BAZALGETTE

RESPONSABLE INNOVATION SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE À L'AID, AGENCE D'INNOVATION DÉFENSE

ALBAN GUYOMARC'H

NORMALIEN, COORDINATEUR D'OBJECTIF LUNE À L'ANRT

CLAUDIE HAIGNERÉ

ANCIEN ASTRONAUTE CNES / ESA, ANCIEN MINISTRE

EMMANUEL MANSUY

BIOLOGISTE MARIN IFREMER, BIEN-ÊTRE ANIMAL ET AQUACULTURE SPATIALE

NICOLAS NGO

CHEF DU DÉPARTEMENT DES RELATIONS ENTRE SCIENCE ET SOCIÉTÉ, MINISTÈRE

DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

ISABELLE TISSERAND

ANTHROPOLOGUE, EXPERT DÉFENSE-SÉCURITÉ, MESRI

ÉTHIQUE ET SOCIÉTÉ



Enjeu de civilisation,

l'exploration spatiale s'analyse au prisme de l'éthique et de son rapport à la société. Cette analyse, qui fait trop souvent figure de touche "cosmétique" à la réflexion, mérite notre attention à double titre. En premier lieu, car l'exploration lunaire, projet d'abord scientifique et technique, se déroulera au lendemain d'un épisode épidémique qui a mis à mal les rapports entre la science et la société, fragilisant davantage encore la parole des experts et la confiance dans le progrès. En second lieu, car le contexte dans lequel se déroule cette nouvelle course à la Lune n'est pas le même que lors des premières missions Apollo. À l'époque, celle de la période 1960-1980, le progrès était techno-centré puis, à l'aube du XXI^e siècle sont apparues des dimensions plus anthropo-centrées, en rapport avec une innovation centrée sur les usages.

La nouvelle course à la Lune fait face à de nouveaux défis, géopolitiques, climatiques, socio-économiques, sociétaux et sanitaires qui appellent à tisser des solidarités internationales nouvelles ; le progrès et l'innovation sont désormais essentiellement centrés sur le climat et l'équilibre de l'écosystème planétaire. Les évolutions récentes du monde ont mis à mal le halo symbolique qui entourait auparavant les sciences et la technique, trahissant alors leur promesse de progrès humain.

Le projet lunaire n'a de sens que mondial : rassemblant toutes les nations au service d'un projet commun, et s'inscrivant dans la connaissance et l'exploration de la banlieue terrestre vers un espace plus lointain, il permettrait alors d'éprouver la solidarité internationale au service des défis de demain et notamment les changements climatique et démographique. L'inscription du projet lunaire dans ce contexte et au service de ce contexte n'est pas qu'une externalité positive, elle fait figure d'impératif.

L'ensemble de ces éléments pose une question fondamentale : celle du sens à donner à cet élan lunaire, la question centrale des travaux du groupe Éthique et société du livre blanc d'Objectif Lune.

1

DÉBATS ET AXES STRUCTURANTS

L'AUDACE DU POURQUOI

Les projets d'exploration spatiale — et les agendas des agences en général, sont le plus souvent dictés par des considérations scientifiques et industrielles. On ne peut pas reprocher à ces considérations leur pragmatisme, mais la recherche de motivations moins utilitaristes, la recherche d'un véritable pourquoi holistique, doit être au cœur de la démarche lunaire européenne. Les projets annoncés, l'IRLS et Artémis, servent un agenda industriel et scientifique fait d'ambitions géopolitiques et commerciales. En somme, *business as usual*. Dans la définition de ses motivations lunaires, l'Europe peut avoir l'audace d'ajouter des dimensions plus humanistes aux contingences scientifiques, géopolitiques ou industrielles. Y aller pour se faire porteur d'une humanité éclairée et raisonnable permet de fonder en valeurs et en actes l'ambition européenne.

Dans la conduite de cette ambition, l'Europe s'appliquera à rappeler, conformément au Traité de 1967, que l'espace, y compris la Lune et les autres corps célestes, demeurent l'apanage de l'humanité et sont donc au cœur d'une entreprise nécessairement mondiale. La tragédie des communs est un avertissement de ce que pourrait être la Lune en cas de manque de coordination : surexploitation, pollution et prédation souveraine. D'autant que les bénéfices qu'apporte l'exploration lunaire ont vocation à profiter à l'humanité tout entière : recherches scientifiques, innovations lunaires au service de la Terre, intégration d'un principe universel d'interopérabilité, genèse d'une gouvernance globale plus solidaire et pacifiée. La Lune pourrait être la cristallisation d'ambitions communes et de

savoir-faire collectifs. La coopération initierait un apprentissage des nouvelles altérités, entre États, entre secteurs et acteurs du monde socio-économique, entre formes d'intelligences, vivantes ou techniques. La base lunaire se placerait alors en digne héritière de l'ISS ou du CERN, incarnation d'une science coopérative au service d'une diplomatie globale.

LE SOFT POWER UN ENJEU MAJEUR

Le projet lunaire, enjeu stratégique, est au cœur d'une dynamique de soft power. Projet scruté, projet critiqué, il fait l'objet d'un traitement médiatique et culturel à l'échelle mondiale. L'Europe et la France doivent donc se doter d'une capacité d'analyse internationale des tendances et des influences de l'environnement spatial. Sur le plan opérationnel, cette capacité d'analyse se concrétisera dans une veille dirigée vers les sources de l'influence (acteurs) et les formes de l'influence (volume de presse, récurrence des approches, propulsions d'acteurs, traitement médiatique, etc). L'histoire de la conquête spatiale fonde l'intérêt d'un tel outil opérationnel, en le maniant avec lucidité : les manœuvres de communication utilisées par l'administration Reagan, par exemple, ont mené à l'affaiblissement du projet spatial de défense soviétique. Ou, plus récemment, Space X a su démontrer qu'une innovation demandait aussi un dispositif de communication adapté et permettant la démonstration de puissance.

Au-delà de l'analyse de ces dynamiques, il faut aussi proposer des actions européennes de soft power au moyen, notamment, d'un récit favorisant un sentiment d'appartenance, une identité européenne et une adhésion internationale. La construction d'imaginaires européens est centrale dans l'élaboration d'un tel récit : emmener l'Europe et ses valeurs dans un Espace cislunaire désirable. Les financements de séries, de contenus audiovisuels, à la

fois d'information et de divertissement, de jeux stratégiques ou encore de création artistique sont au cœur de la construction de ces récits. La puissance spatiale américaine a su le faire et en use encore largement ; à l'Europe de s'investir dans cette dynamique, en s'appuyant tout à la fois sur ses talents intellectuels, culturels et scientifiques. Par exemple, la production pour l'anniversaire d'Apollo 11 d'une série de documentaires par le service public audiovisuel (Arte) a connu un écho favorable et a témoigné d'un nouvel engouement pour le spatial.

L'ADHÉSION AU CŒUR DU DÉBAT

Le terme « d'acceptabilité sociale du projet lunaire » n'est, au sens du groupe, pas un terme opportun. Il véhicule une passivité des acteurs dont on cherche à obtenir l'acceptation. Il est plus intéressant d'opter pour une démarche active, menant à l'adhésion au projet lunaire. L'adhésion est formée de deux éléments, la compréhension et le désir, et d'un aspect opérationnel, l'association des citoyens à l'élaboration du projet lunaire. On voit toute l'hostilité, notamment en France, qu'ont pu susciter les vols spatiaux privés de Richard Branson et Jeff Bezos à l'été 2021. Présentés comme une lubie de milliardaires en mal de sensations fortes, ces deux événements ont vu leurs bénéfices technologiques masqués par une couverture médiatique forte mais pour partie défavorable. Cette dernière est le symptôme d'une déconnexion entre la réalité sociale contemporaine et la façon dont le secteur spatial communique auprès d'elle. La démonstration des bénéfices apportés à la société par les applications spatiales économiques, les programmes d'exploration et de recherche, doit faire l'objet d'une communication accrue.

Le projet lunaire sera d'autant plus cohérent avec son époque qu'il s'inscrira dans une réelle corrélation avec les défis planétaires et les ambitions des jeunes générations. Entre une Terre aux ressources désormais comptées

et un espace infini désiré, la coexistence des contraires passe par une audace raisonnée : alors que l'allocation des ressources fait plus que jamais figure de choix, il s'agit d'en faire une allocation doublement optimale, avec des objectifs à la fois les plus sobres pour la planète et les plus utiles pour l'humanité.

Le projet lunaire est l'occasion de retravailler les imaginaires des usages des technologies auprès de nos concitoyens. Le moment, au surplus, d'apprendre à mieux montrer le bénéfice des développements technologiques au quotidien et de manière durable pour la planète Terre, notre climat et l'humanité. Si le projet lunaire ne veut pas passer pour la dernière lubie des agences spatiales, il doit aller chercher l'adhésion des citoyens et faire sens dans les tensions globales actuelles. Le secteur spatial doit sortir du règne de l'évidence : en se questionnant sur son sens, il doit également se re-passionner par une dramaturgie nouvelle, un halo symbolique renouvelé. Le chemin que doivent emprunter l'éthique spatiale et sa communication est étroit : l'exploration spatiale ne doit pas être un luxe d'États ou d'individus mais ne doit pas succomber à l'utilitarisme. Ce chemin est celui d'une ambition lunaire au service du bien commun, un chemin qui pourrait être défendu par l'Europe.

L'adhésion passe par une re-politisation de l'exploration lunaire. Cette dimension implique de porter le projet lunaire dans l'arène politique en suscitant à la fois l'intérêt des citoyens et des décideurs politiques par une narration au service des grands enjeux européens : relance, puissance, appartenance, et des enjeux partagés au niveau mondial. Le champ politique est le lieu de construction d'un sentiment d'appartenance et d'appropriation par les citoyens européens, indispensable à la pérennisation du projet lunaire dans une réalité socio-politique aux évolutions et soubresauts toujours plus rapides. C'est toute la particularité du spatial dans les États démocratiques : y cohabitent un agenda au temps long, celui des projets spatiaux avec leurs réalités et leurs promesses, et un agenda au temps court, celui du politique qui décide des finances et des orientations et dans le contexte d'une exigence de réussite pré-dessinée.

2

SCÉNARIO

L'EUROPE, UNE TROISIÈME VOIE MAINTENANT
AU SERVICE DES ENJEUX DE DEMAIN

L'exploration spatiale n'est pas anodine : elle se fait le porteur des valeurs de la société qui la mène. Les Américains et les Chinois ont cristallisé dans leurs ambitions lunaires respectives une volonté de conquête civilisationnelle, géopolitique, scientifique et industrielle. C'est dans ce contexte, entre un spatial capitaliste et libéral d'un côté et un spatial planificateur et assumé de l'autre, que l'Europe peut ouvrir une troisième voie : celle qui porte de manière exigeante les valeurs d'humanisme, d'excellence, de coopération, de paix, d'audace, de responsabilité, de durabilité et d'inclusion. Une Europe d'influence qui, si elle s'engage unie, sera suivie par nombre d'autres pays non européens pour constituer un levier de modération face aux deux blocs déjà bien en place.

L'inclusion et la soutenabilité doivent être les pivots du projet lunaire européen.

L'inclusion se décline sur plusieurs échelles, bien au-delà de la seule inclusion politique. D'une part, il s'agit d'inclure les citoyens dans le processus d'élaboration et de décision du projet lunaire européen. Une idée que le groupe Éthique et Société partage avec le GT Gouvernance et qui sert un impératif, celui de relier le projet et les ambitions du corps social. D'autre part l'inclusion est aussi celle des acteurs économiques, éducatifs, associatifs ou politiques du non-spatial ; ces mêmes acteurs qui sauront façonner aux côtés des agences et des industriels un projet lunaire européen attractif, inscrit dans son époque et au service de son époque. L'inclusion se décline ensuite sur une autre échelle, celle d'une relation pacifiée entre la société, les sciences et la technique ; le tout dans un contexte post-épidémie ayant grandement affaibli cette relation. Enfin, l'inclusion s'incarne dans le rapprochement des pays non

spatiaux et des puissances spatiales historiques. Le projet lunaire européen associerait ainsi les talents et les expériences de nouvelles nations spatiales.

La soutenabilité renvoie à deux optiques. Terrienne, d'abord : l'allocation de ressources fait plus que jamais figure de choix dont il faut questionner la légitimité, l'efficacité et l'inscription dans une stratégie globale. Consacrer des ressources, tant humaines que matérielles et naturelles, à l'ambition lunaire constitue un choix nécessairement stratégique qu'on ne peut s'affranchir de faire en conscience éclairée face aux citoyens européens. Cet arbitrage passe par la confrontation du coût d'accès au coût du renoncement. Le renoncement, sûrement convaincant sur le plan écologique voire économique à court terme, serait géopolitiquement clivant quand l'Europe peut se positionner comme l'ambassadeur d'une exploration pacifique, soutenable et inclusive. Lunaire, ensuite : l'installation d'une base vie en expansion doit être guidée par des efforts de recherche et développement au bénéfice de l'espace cis-lunaire, de son exploration tout à la fois ambitieuse et raisonnée, ouvrant le chemin de l'espace lointain et de nouvelles connaissances.

La Lune est l'occasion de démontrer la possibilité de mener un projet hautement technologique sans pour autant sacrifier les impératifs contemporains d'inclusivité et de soutenabilité : faire de la Lune le lieu où se conjuguent à nouveau connaissances scientifiques, avancées technologiques et progrès humain.

3

OBJECTIFS STRATÉGIQUES ET RECOMMANDATIONS

OBJECTIFS STRATÉGIQUES

- **Incarner un sens différentiant.** Au moment où l'Europe dessine les contours de son projet lunaire, elle doit l'inscrire dans son contexte géopolitique, environnemental, socio-économique et culturel.
- **Saisir une occasion géopolitique.** Alors que la course à la Lune est lancée, l'Europe doit urgemment saisir l'occasion d'en être avec son esprit fédérateur et inclusif, au risque d'un déclasserment irrécupérable sur le long terme.
- **L'audace raisonnée, une pensée nouvelle.** Le projet lunaire peut être l'occasion d'une nouvelle pensée sur la plupart des enjeux et défis auxquels les Terriens sont confrontés tels que l'habitat, l'économie circulaire ou l'énergie. Le projet lunaire doit s'inscrire dans une dynamique Terre-Lune propre à assurer sa durabilité et une allocation raisonnée des ressources sur ce projet. C'est une dynamique mobilisatrice et intégratrice de l'ensemble des forces vives européennes au-delà de la classique communauté spatiale.
- **Du désir à l'adhésion.** Le projet lunaire européen repose sur une part de désir qui appelle à repenser sa dramaturgie et sa communication, à l'instar du projet américain. Deux éléments à construire *ab initio* et *in itinere*. Les liens entre émotion et raison seront à stimuler au service de l'inscription historique du projet, son halo symbolique et de ce qu'il léguera à l'humanité, en vision responsable et inspiration mobilisatrice.
- **Améliorer le rapport science/société.** Au lendemain d'une pandémie ayant davantage fragilisé les liens entre science et société, il faut rapprocher le projet lunaire du quotidien des citoyens au travers d'un dispositif de communication et de médiation adéquat.

RECOMMANDATIONS OPÉRATIONNELLES

POLITIQUE

- Concourir à la création d'un scientifique en chef (*scientific advisor*) français et européen sur le modèle canadien, placé auprès des plus hautes autorités de l'État, il les conseille sur les enjeux scientifiques globaux. Ce conseiller assurera un rôle de médiateur entre le monde de la science, le monde politique et les citoyens.
- Politiser les enjeux de l'exploration spatiale pour en faire un sujet de débat public propre à trouver sa place en 2022, une année particulièrement cruciale sur le plan politique (présidentielle française, présidence française de l'UE, dialogue interministériel sur le spatial, ...)
- Redonner de la visibilité à la notion de diplomatie scientifique et à la notion de "communs" à préserver au nom de l'humanité (pour éviter la "tragédie des communs" qui nous menace en cas de dégradation de l'espace extra-atmosphérique et de la Lune.

SOCIÉTÉ

- Encourager les acteurs de l'exploration spatiale à aller à la rencontre de leur audience et des citoyens en créant de nouveaux récits tout en s'adaptant aux nouveaux codes, nouveaux savoir-faire de communication (présence sur les réseaux sociaux, etc.).
- Encourager les acteurs du spatial à se faire davantage reflet de leur société (pyramide des âges, parité de genres, représentativité, etc.) et des idées qui la traversent (durabilité, paix, inclusion, etc.).
- Agir en faveur de l'association d'acteurs de la société civile aux instances de prise d'orientation des agences spatiales, notamment dans le cadre d'un projet d'exploration lunaire.

- Organiser une consultation citoyenne sur le spatial et l'exploration lunaire habitée à l'horizon 2023, allant de l'orbite basse à l'espace lointain (notamment, Mars).

ÉDUCATION

- Insérer un chapitre « Espace » en SVT et Histoire géographique au collège et au lycée.
- Communiquer auprès des étudiants sur les orientations professionnelles possibles dans les secteurs de l'exploration spatiale, tout à la fois en sciences de la vie et de la matière et en sciences humaines et sociales.

CRÉATION

- Encourager les projets de résidences artistiques et workshops dédiés à l'espace au sein des agences spatiales et des institutions culturelles, scientifiques et technologiques ; ainsi que, réciproquement, les résidences de chercheurs dans les lieux artistiques.
- Saisir l'opportunité d'une créativité culturelle socialement et économiquement attractive pour mobiliser une industrie culturelle (à sensibilité européenne affichée, vs. ce qui se fait aux États-Unis : Métaverse, Far West, reality show...) C'est le moment ou jamais de mobiliser nos industries culturelles sur ce nouveau défi structurant.
- Encourager des initiatives de recherches prospectives et d'anticipation sur les développements technologiques et les services possibles vers et sur la Lune.
- Inviter à la conception d'un jumeau numérique de la Lune, à l'initiative de l'Europe. Ce jumeau permettra d'éprouver les différents sites d'implantation envisagés.

habitat et support de vie

MEMBRES DU GROUPE

VÉRONIQUE COXAM : coordinatrice

DIRECTRICE DE RECHERCHE, CHEFFE ADJOINTE DU DÉPARTEMENT ALIMENTATION HUMAINE, INRAE

CHRISTOPHE HUON

INGÉNIEUR L'AUTRE CAMPUS, ANCIEN ENSEIGNANT ENSA NANCY

PAUL-EMMANUEL LOIRET

ARCHITECTE, ENSEIGNANT-CHERCHEUR, PRÉSIDENT DE MUE EXPÉRIENCES ET DE CYCLE-TERRE

ALEXIS PAILLET

CNES, CHEF DE PROJET SPACESHIP

JÉRÔME PERRIN

PHYSICIEN, ANCIEN DIRECTEUR SCIENTIFIQUE DE RENAULT, MEMBRE DU COMITÉ NATIONAL PILOTE D'ÉTHIQUE DU NUMÉRIQUE

PERIG PITROU

ANTHROPOLOGUE, DIRECTEUR DE RECHERCHE AU CNRS, COLLÈGE DE FRANCE, PSL

CYRILLE PRYZBYLA

IFREMER, UMR MARBEC, BIOLOGISTE AQUACULTURE SPATIALE

HABITAT ET SUPPORT DE VIE



Depuis le projet Horizon

commandé par la NASA en 1959, en passant par le First Lunar Outpost quelques années après et jusqu'aux projets plus récents comme le Moon Village porté par le précédent directeur général de l'ESA, la feuille de route Artemis de la NASA, ou l'ILRS russo-chinoise, les bases lunaires au sol ont suscité tant un engouement des imaginaires qu'un défi annoncé pour les sciences et l'ingénierie et plus largement les questions sociétales. Ce sont à la fois les modes de fabrication — impression 3D, préfabrication, infrastructure gonflable — et les missions données à cette base qui sont marqués du sceau de la variété. D'autant plus qu'au-delà de la technique, ces bases lunaires à venir, par leur forme et leur fonction, se feront le véhicule d'un message, d'une certaine vision de l'ambition lunaire de l'État ou des États les ayant construites et des entreprises privées qui y contribueront. La conception et la mise en œuvre de la base sont une traduction technique, organisationnelle et architecturale d'un système social fondé sur la coopération et l'interopérabilité. À quoi s'ajoutent les conditions de vie et de survie des astronautes, mission cruciale de la base lunaire. Les contours de la base seront également fonction de sa zone d'implantation, une donnée géographique qui permettra d'organiser les réponses cohérentes en termes d'habitat et de protection des astronautes vis-à-vis de

risques particuliers. L'exploration lunaire européenne s'aborderait sans recherche de domestication mais avec une volonté d'interaction entre la Lune, la Terre, les États et partenaires présents. Elle se fonderait sur un principe holistique de coexistence intégrative entre humains, technologies et milieux. La coopération ne fait pas tant figure de choix que de nécessité découlant de deux contraintes systémiques : l'hostilité lunaire et les défis terrestres. C'est ce principe de coopération et de déconflictualisation qui extrait les habitats spatiaux des conflits terrestres, permettant la collaboration d'astronautes d'États aux relations tendues sur Terre et faisant ainsi de l'exploration spatiale un outil diplomatique efficace.

Toutes ces dimensions ont stimulé les travaux du Groupe habitat et support de vie.

1

DÉBATS ET AXES STRUCTURANTS

Les projections futuristes de bases lunaires, sous forme d'un complexe élaboré à partir de plusieurs modules aptes à accueillir quelques dizaines d'humains, dessinent le futur appréhendable aujourd'hui de l'ambition lunaire. Dans un premier temps, les modules envoyés sur la Lune auront pour objectif de fournir le nécessaire au support de vie des quelques pionniers installés pour de courtes missions, dans une logique de survie¹. Dans un second temps, la communauté s'élargissant et les infrastructures se développant, la base lunaire accueillera une véritable société artificielle établie et vivant sur la Lune avec son lot de questions d'organisation et d'interactions sociales.

Les réflexions du groupe se sont articulées autour de trois notions correspondant aux trois fonctions principales d'une base lunaire : survivre, vivre et habiter.

SURVIVRE

L'énergie, l'eau et l'alimentation, l'air et la protection de l'astronaute recouvrent les quatre briques élémentaires auxquelles doit impérativement répondre la base lunaire.

L'ÉNERGIE ET LA LUMIÈRE

Problème initial, celui de l'énergie peut néanmoins trouver des solutions dans une variété de ressources énergétiques. Les deux ressources les plus importantes seraient l'énergie solaire, déjà en partie maîtrisée, et le recours à l'énergie nucléaire à partir de petits modules, dont la maîtrise doit encore être améliorée. La NASA utilise l'énergie nucléaire dans le cadre de ses missions spatiales depuis les années

1. On entend par survie la satisfaction des besoins élémentaires (nourriture, oxygène, eau, protection du milieu lunaire hostile) lors des premières missions. L'établissement d'une base complexe sur la Lune, associant plusieurs modules et assurant d'ores et déjà ces conditions de survie, amène à déplacer les questionnements de la survie sur la Lune à la vie sur la Lune.

soixante et encore aujourd’hui avec son projet KRUSTY². D’ailleurs, une directive récente de l’agence, la SPD-6 de 2020, ainsi qu’un mémorandum présidentiel sur le nucléaire spatial de la même année, témoignent d’un intérêt renouvelé pour cette ressource dans le cadre des missions lunaires et martiennes. La directive SPD-6 de 2020 prévoit ainsi de faire la démonstration d’un système de fission nucléaire à la surface de la Lune pouvant fournir jusqu’à 40 kilowatts d’électricité. En 2017-2018, la NASA avait déjà expérimenté le prototype de son petit réacteur KRUSTY transportable vers la Lune et Mars et permettant la production d’1 kilowatt de puissance électrique à partir d’uranium enrichi.

L’énergie est une brique vitale de la base Lunaire : il en va de son autonomie à bord et autour de la base, avec entre autres la recharge des batteries de rover, de robots et de drones, l’alimentation des appareils de vie à bord. L’énergie constitue notamment un relais primordial pour la production de lumière lors des nuits lunaires de quatorze jours, renvoyant alors à un choix d’installation géographique — certaines zones réduites de la Lune disposant d’un taux d’ensoleillement quasi constant — et au développement de moyens de stockage de l’énergie. Celui-ci constituant un territoire d’innovation majeur tant pour la Terre que pour la Lune.

L’EAU

L’exploitation des ressources locales en eau, si elle est techniquement envisageable, doit s’appréhender à la mesure des stocks limités disponibles. Cependant, l’apport d’eau depuis la Terre demeure dans un premier temps indispensable mais terriblement coûteux et donc difficilement soutenable. Considérant la pression hydrique croissante sur Terre, la gestion la plus efficace et la plus durable de ce stock d’eau sera une priorité. Une gestion circulaire et automatisée de ce stock d’eau in situ pourrait se faire grâce à des technologies de réutilisation et de recyclage de l’eau. Les technologies élaborées à cette fin pourront également servir sur Terre.

2. Acronyme de l’anglais *kilopower reactor using Stirling technology*, « réacteur kilowatt utilisant la technologie Stirling », KRUSTY est un projet de la NASA de développement de réacteurs d’une puissance de dix kilowatts pour l’exploration spatiale.

L'ALIMENTATION

S'agissant de l'alimentation, celle-ci doit être élaborée sur mesure et traitée à la lumière de la satisfaction des besoins physiologiques, mais aussi psychologiques, de chaque astronaute. Se nourrir constitue un temps fort du quotidien au-delà de sa fonction vitale, une source de bien-être, de lien social et de lien émotionnel avec la Terre. On sait l'importance d'un menu varié et adapté à chaque astronaute. Dans un premier temps, la nourriture sera amenée depuis la Terre et progressivement produite localement, l'objectif étant d'aboutir à un écosystème fermé, soutenable, intégrant une variété de formes de vie³. Les avancées réalisées dans ce cadre seront transposables aux défis terrestres en termes d'alimentation et de circularité.

LA SÉCURITÉ DE L'ASTRONAUTE

Par ailleurs, les missions longues sont physiologiquement éprouvantes pour les astronautes. Les radiations et les différents niveaux de gravité ont un impact sur la physiologie du corps humain, encore largement à étudier. Néanmoins, certains de ces impacts sont réversibles selon la durée du séjour. Outre le fait qu'il faut créer un habitat le plus protecteur pour l'astronaute, l'étude de la prévention et de la réversibilité des effets physiologiques pourra servir les recherches sur la santé humaine terrestre. À titre d'exemple, l'étude des phénomènes de pertes osseuses liées à la différence de gravité, déjà observés lors de vols en stations orbitales, a permis d'améliorer les connaissances pour la prise en charge de l'ostéoporose. C'est aussi dans le cadre du programme Apollo (notamment la recherche d'images de meilleure résolution de la Lune) qu'ont pu être améliorées les technologies d'IRM ensuite adaptées au domaine médical. Aujourd'hui, le suivi de la santé des astronautes à distance, dans un environnement hostile voire en situation d'autonomie, présente beaucoup de similarités avec les nouvelles formes de médecine personnalisée au sol, de santé numérique.

3. On pense à titre d'exemple au projet Lunar Hatch ou au projet MELISSA de l'ESA.

VIVRE

Une fois résolus les besoins immédiats de la survie à la surface lunaire, se poseront d'emblée des enjeux propres à la présence humaine de longue durée.

À cet égard, la conception d'une base lunaire viable se fait à l'aune d'une considération holistique de la vie, traitant à la fois la vie humaine et non humaine ainsi que les dimensions physiques, psychologiques et sociales de la vie humaine.

À peine l'humain a-t-il posé le pied sur la Lune qu'il a déjà, avec lui, en passager clandestin de son atterrisseur lunaire, l'ensemble des bactéries dont il se fait l'hôte. En outre, la préservation de cet équilibre microbiologique est, d'après des recherches récentes, la clé de son équilibre psychique et de sa santé physique et sociale. Au fur et à mesure de la construction de la base lunaire, l'astronaute pourra emmener avec lui d'autres formes de vie, végétales ou animales. À terme, la base lunaire fera figure d'un véritable écosystème, menant à un questionnement sur les interactions et l'équilibre entre toutes ces formes de vie à bord. Et comme tous les équilibres, celui-là sera marqué du sceau de l'aléatoire, une part d'imprévu à prendre en compte, part commune aux aspects vitaux et techniques et au cœur de tout effort exploratoire.

La vie humaine dépend aussi de l'équilibre entre les vies physiques, psychiques et sociales. La solitude relative que pourront ressentir les premiers astronautes, associée au stress qu'engendrent des missions à haut risque, sont des composantes essentielles des explorations pionnières. À mesure que la base lunaire s'agrandit et que le nombre d'astronautes augmente, d'autres dimensions de la vie sociale apparaissent. À bord, la capacité de s'isoler temporairement du reste du groupe, la possibilité d'avoir des espaces communs de détente et des plages de décompression privée sont trois besoins clés pour préserver la santé mentale des astronautes. Cela passe aussi par une

connexion avec la Terre, avec la possibilité de passer des appels aux proches et un accès Internet de bonne qualité⁴, le tout associé à des logiciels interactifs nouvelle génération. Le recrutement des astronautes qui composeront les équipages lunaires s'érige en point névralgique de l'équilibre social de la base et de sa performance. Le recrutement des astronautes a évolué d'équipes constituées de héros militaires à des équipes inclusives d'ingénieurs polyvalents capables de résoudre des problèmes complexes dans des situations de stress maximal. Avec l'augmentation du nombre d'astronautes et la constitution d'une nouvelle forme de société, le recours aux outils analytiques et aux concepts des sciences humaines et sociales sera incontournable pour composer les équipes de la base et étudier leurs comportements. En outre, il faut envisager dès aujourd'hui la coexistence d'intelligences humaines et artificielles au sein de la base : ces efforts nécessitent de convoquer la cognitive (sciences du traitement automatique de la connaissance), les neurosciences, la robotique et l'IA.

En se fondant sur une telle approche, il est possible de prévenir les risques psychosociaux en agissant sur les paramètres de la mission (durée, composition de l'équipe, planning de travail, référentiel culturel, etc.). Encourager en amont les missions analogues (sur le modèle de la mission Mars 500) est un outil pertinent d'anticipation de ces risques.

HABITER

Protéger les astronautes des écarts de température (de -150°C à $+150^{\circ}\text{C}$), du niveau de radiation (en l'absence d'atmosphère et de magnétosphère, jusqu'à 1000 fois supérieur à celui de la Terre) et d'un nyctémère de vingt-huit jours (nuits et jours de 14 jours terrestres) constitue le point critique d'un habitat lunaire. Souvent confiée à des ingénieurs, la conception des modules actuels tend à favoriser cet aspect crucial au détriment de l'organisation d'un

4. Voir le projet Moonlight de l'ESA.

espace de vie en soi. L'ISS a constitué la première expérience d'habitat non terrestre longue durée : il s'agit d'en tirer des enseignements tout en concevant un espace de vie plus confortable. Les efforts de conception de l'intérieur des capsules Crew Dragon ont ainsi démontré la capacité d'opter pour un design minimaliste et qualitatif tout en ne sacrifiant pas les impératifs technologiques et de sécurité. Toutefois, une installation durable, apte à accueillir des astronautes pour des missions prolongées, doit reposer sur des modules constituant un lieu de vie plus qu'un lieu de survie. L'ergonomie du module devra être particulièrement étudiée en laissant une place tant aux équipements scientifiques et de survie qu'aux espaces de vie. D'ailleurs, la question de l'ergonomie devrait se poser dès les premiers modules n'envoyant que quelques astronautes lors des missions pionnières.

La conception de l'habitat lunaire, d'autant plus si l'Europe se fait porteur d'un projet de base internationale, doit prendre en compte l'interopérabilité et la modularité des éléments de la base, ainsi que sa desserte et la fluidité de la logistique. Les installations humaines sur la Lune ont vocation à être évolutives : l'exploration progressant, de nouveaux besoins vont apparaître et de nouveaux éléments seront envoyés depuis la Terre. Depuis sa création, la station spatiale internationale n'a cessé de se déployer au gré des apports de la communauté. Une conception modulaire évitera l'obsolescence trop rapide des premiers éléments de la base. L'interopérabilité des éléments installés constitue un point critique incontournable, à défendre sans concession avec la mise en place de standards sur l'ensemble des matériels et fonctionnalités de la base vie. Un différentiel de pression entre deux modules de fabrication différente empêcherait par exemple leur amarrage puis leur jonction, un problème que pourrait surmonter un standard international sur la pression à bord de la base lunaire. Par ailleurs la solidarité entre les équipages sera à n'en pas douter mise en jeu dans cet environnement hostile, la technique doit dès la conception, se mettre à son service.

2

SCÉNARIO

POUR UN MODÈLE EUROPÉEN D'HABITAT LUNAIRE

La conception du « village lunaire » européen devrait se faire le reflet de la troisième voie proposée par notre continent : une ambition lunaire globale. Cet impératif se décline sur plusieurs dimensions.

Coopération : Le « village lunaire » reflètera l'ADN du spatial européen, c'est-à-dire la coopération. C'est d'ailleurs l'esprit qui avait été insufflé au Moon village de l'ESA. Sur le modèle de la station spatiale internationale, le village lunaire pourra accueillir des astronautes de toutes les nationalités et de toutes les agences ou entités non institutionnelles, avec des objectifs de missions très divers. La traduction technologique de cet esprit de coopération réside dans l'interopérabilité. Érigée en principe phare de l'élaboration puis de la construction de la station, l'interopérabilité sera le gage de la volonté des États coopérants et de leurs industries à travailler ensemble. Tirant les leçons de l'expérience de l'IGA (accord inter-gouvernemental régissant les droits et devoirs des États participants) pour l'ISS, les règles de fonctionnement devront prendre en compte à la fois les intérêts publics et privés au service d'une exploration et d'une exploitation soutenable et responsable.

Durabilité et circularité : Les actuels défis climatiques et sociétaux sans précédent créent des contraintes supplémentaires quant à l'acceptabilité sociale du projet. La durabilité et la circularité prennent donc une dimension nouvelle, à la fois éthique — permettant l'insertion du projet dans son époque — et technologique — l'innovation au service de ces exigences nouvelles. Il s'agit de tout faire pour que l'ambition lunaire, projet coûteux en ressources, sache les utiliser de la manière la plus efficace et la plus durable possible aux fins de restreindre au strict nécessaire son empreinte environnementale. Par ailleurs, les

efforts de R&D entrepris pour la conception d'un habitat lunaire circulaire serviraient le développement d'un habitat terrestre tout autant optimisé dans la gestion de ses ressources et de ses déchets. L'Europe, si elle se fait porteuse d'un projet marqué du sceau de la durabilité et de la circularité, pourra démontrer qu'il est possible de mener un projet hautement technologique et innovant avec une certaine frugalité et une transposition aux défis terrestres.

Lien Terre-Lune : La base vie sur la Lune ne peut que se concevoir dans un esprit de complémentarité Terre-Lune ; cette dualité recèle deux potentiels. D'abord, un potentiel heuristique de sensibilisation, dans le prolongement de ce que l'on appelle communément en anglais « *l'overview effect* » (effet de vue d'ensemble), c'est-à-dire la prise de conscience par les astronautes en mission de la fragilité de notre planète et de l'unicité de son écosystème. Ensuite, cette complémentarité porte un potentiel technologique avec le transfert réciproque d'innovations terrestres et lunaires. La complémentarité Terre-Lune a vocation à s'ériger en axe principal de la mission lunaire européenne et en motivation affichée de l'ambition lunaire continentale. Elle pourra être prolongée à terme par une logique « Terre-Lune-Mars » (*Moon-to-Mars and beyond*). Le couple Terre-Lune est une première étape vers l'exploration spatiale, de Mars vers ailleurs. Cet objectif permettra aussi de catalyser les transitions actuelles terrestres en particulier de l'énergie, de l'hybridation numérique, et des évolutions inéluctables des modes de vie et de travail.

Pragmatisme, interopérabilité et progressivité : le retour de l'humain sur la Lune est désormais synonyme d'une installation pérenne. Une base vie en expansion durable sur la Lune implique une programmation assumée dans le temps long, sur plusieurs décennies. Il est donc crucial d'opter pour une approche pragmatique et interopérable qui répond aux besoins actuels et anticipe les missions futures. Une culture holistique, interdisciplinaire et ouverte permettra l'agilité et l'évolutivité indispensables à l'exploration de ces « Nouvelles Terres ». Les découvertes qui seront faites sur la Lune nous confronteront à des potentialités encore insoupçonnées.

3

OBJECTIFS STRATÉGIQUES ET RECOMMANDATIONS

SE PRÉPARER

- **Initier des programmes de recherche.** D'une part, inventorier, observer et modéliser les interactions et interdépendances entre l'humain et des milieux terrestres, notamment les plus hostiles, pour étudier les déclinaisons possibles de l'adaptation, et pour anticiper les mesures préventives et curatives dans la perspective de l'installation de l'humain sur la Lune ; d'autre part, il convient de lancer des programmes de recherche et développement technologiques, par exemple pour les nouveaux matériaux et modes de construction...).
- **Encourager les missions analogues.** Sur le modèle de la mission Mars500 et des expériences Biosphère, encourager les missions sur des sites dits analogues pour la Lune — l'Europe dispose de terrains géologiquement adaptés à cette fin et d'infrastructures d'excellence en cours de réalisation, comme l'expérience Luna. La construction ou l'aménagement de sites analogues constituerait un investissement pertinent dans la préparation des missions lunaires. Ces sites analogues d'observation et d'étude seront aussi le lieu d'expérimentation de la complémentarité Terre-Lune et de la nécessaire interdisciplinarité et de la diversité des talents.
- **Favoriser l'interdisciplinarité.** Favoriser le dialogue interdisciplinaire sur la vie humaine et non humaine en dehors de la Terre, en faisant notamment se rencontrer davantage l'exobiologie, l'ingénierie et la sociologie. Il est, par exemple, difficilement concevable pour le juriste qui imaginera le cadre réglementaire de la base lunaire de faire abstraction des données techniques et des missions scientifiques de cette dernière. Par ailleurs, la cohabitation d'humains dans

un espace clos exige une préparation faisant dialoguer les sciences de la physiologie avec celles du comportement. C'est par une approche multi-domaine que l'on concrétisera cette interdisciplinarité.

CONCEVOIR

- **Soutenabilité.** Inscrire la conception de la base lunaire dans une double dimension d'empreinte environnementale moindre (tant sur la Lune que sur la Terre) et de durabilité opérationnelle. L'interopérabilité constitue un levier clé de cette durabilité et de sa résilience ; un levier que devrait défendre l'Europe.
- **Une maîtrise d'œuvre s'appuyant sur un panel élargi d'expertise.** La conception et la construction des modules lunaires doit reposer sur la mobilisation d'un panel associant étroitement numériciens, ingénieurs, architectes, et entreprises ; seul moyen de résoudre de façon intégrative et innovante les défis technologiques.
- **Concevoir un système de nutrition optimal et adapté.** Mettre au point un système alimentaire et d'agriculture/élevage adapté et diversifié permettant de transporter à terme le moins possible d'aliments depuis la Terre. La question alimentaire est aussi à aborder au prisme d'une personnalisation de la nutrition des astronautes prenant en compte leurs dimensions physiologiques, génétiques/épigénétiques propres. Aussi, dans la mesure où l'alimentation constitue un élément fort de la cohésion du groupe, le système alimentaire se trouve au carrefour des besoins individuels et de la stabilité de la communauté.
- **Concevoir un système de santé dédié.** Concevoir un système de santé incluant prévention, diagnostic, suivi et traitement, est indispensable. Ce domaine est à la fois essentiel pour l'exploration habitée et son avenir, il est aussi au cœur de nos problématiques sanitaires mondiales.

DÉVELOPPER

- **Favoriser l'innovation intersectoriel au service de l'habitat lunaire.** Mobiliser de façon intersectorielle les secteurs spatial et non spatial pour envisager des solutions communes pour la vie quotidienne de la base lunaire (mobilité, communication santé, énergie, etc.). L'élaboration d'un jumeau numérique de la Lune tant pour les questions technologiques que sociales constituerait un apport d'expertise européenne, l'industrie continentale pouvant y concourir. Les compétences européennes pourront aussi se mettre au service d'autres interfaces innovantes telles que les métavers pour la santé ou le pilotage de la base, des jumeaux numériques des bases lunaires, etc.
- **Apprendre des erreurs terrestres.** Une attention particulière devra être portée à l'équilibre entre exploration et exploitation, de façon à tirer des leçons de nos erreurs et échecs terrestres.
- **Innover en matière de production et le stockage d'eau, d'air et d'énergie.** Développer des solutions technologiques automatisées de production, de stockage, de recyclage d'eau, d'air et d'énergie.
- **Développer des technologies facilitant la vie et l'habitat en milieu hostile** passant par la connectivité, la robotique avancée, l'IA et l'internet des objets. Ces mêmes technologies seront aussi au cœur des interactions sociales sur la Lune et entre la Lune et la Terre pour assister l'humain dans son autonomie.
- **Développer et mettre en place des infrastructures de communication,** d'assistance et de communication en orbite cislunaire (voir le projet Moonlight de l'ESA).
- **Développer et mettre en place des infrastructures et des chaînes logistiques** en impliquant les acteurs du secteur (transporteur, etc) pour construire, desservir et développer la base lunaire et les interactions Terre-Lune.

exploitation des ressources

MEMBRES DU GROUPE

ÉLODIE LE CADRE LORET : coordinatrice

CONSEILLER SCIENTIFIQUE ENGIE,
INGÉNIEUR-DOCTEUR EN ÉCONOMIE DE L'ÉNERGIE

BERTRAND BARATTE

DIRECTEUR MARCHÉ SPATIAL GLOBAL, AIR LIQUIDE

LUCIEN BILDSTEIN

PHD FÉDÉRATION OPEN SPACE MAKERS,
ASSOCIATION PLANÈTE MARS, MOON VILLAGE ASSOCIATION

LUDOVIC DAUDOIS

CEO COMAT

PIERRE-ALEXIS JOMEL

DIRECTEUR AFFAIRES INTERNATIONALES ET NOUVELLES ACTIVITÉS,
EXPLORATION SPATIALE, AIRBUS DÉFENCE AND SPACE

GABRIEL LAVEINE

OFFICIER NAVIGANT MARINE MARCHANDE

DIDIER MARQUER

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION, DGRI

GREG DE TEMMERMAN

DIRECTEUR GÉNÉRAL ZENON RESEARCH,
CHERCHEUR ASSOCIÉ MINES PARIS-PSL

E X P L O I T A T I O N
D E S R E S S O U R C E S

Chimère pour les uns, promesse

d'avenir pour les autres, l'exploitation des ressources spatiales et lunaires déchaîne autant de passions que d'intérêts et de défis technoscientifiques. Pourtant, l'*In situ resource utilisation*, ISRU, est une hypothèse étudiée et étayée par les agences spatiales, principalement les États-Unis (avec la mission ARTEMIS) et la Chine / Russie (avec la mission ILRS), qui prévoient une installation durable autour de et sur la Lune d'ici la fin de la décennie. Une typologie des différentes exploitations des ressources lunaires permet de dépassionner le débat. En effet, si l'exploitation économique et à large échelle des ressources spatiales est à l'heure actuelle incertaine, tant dans sa faisabilité que dans son intérêt, une exploitation des ressources à une autre échelle peut être envisagée. L'établissement d'une base robotisée puis humaine en expansion durable sur la Lune requiert en effet une connaissance approfondie des ressources lunaires, depuis les molécules de bases pour le transport spatial longue durée (oxygène et hydrogène), pour le stockage d'énergie intermittente (hydrogène), et pour le support à la vie (oxygène, *life support*) en passant par les matériaux de construction de la base lunaire.

L'ISRU permettrait ainsi de limiter la quantité de matériaux et de matériels à transporter depuis la Terre et d'agir en faveur d'une présence plus durable dans l'espace : aller plus loin, rester plus longtemps, ravitailler les véhicules spatiaux en ergols (carburants) et donc allonger leur durée de vie, par voie de conséquence réduire le coût total des missions et les débris en orbite... La durabilité devant être la valeur phare de l'élan lunaire européen, l'exploitation des ressources lunaires doit être pensée dans cette optique. L'ISRU permettrait de réinventer la manière dont les missions spatiales sont architecturées vers plus de réutilisabilité, en faveur de la pérennité des services spatiaux apportés à la Terre (potentiellement menacés par la croissance des débris en orbite basse), en faveur du développement d'une économie cislunaire (continuum Terre-Lune), en faveur de la collaboration internationale (car toutes les Nations auront besoin de ces ressources).

Étudier concrètement la faisabilité d'une exploitation des ressources lunaires et les différents usages qui pourront en être faits, tel est le champ d'étude de ce chapitre.

1

DÉBATS ET AXES STRUCTURANTS

NE PAS OUBLIER LES PRÉSUPPOSÉS

Il ne faut pas oublier tout ce que présuppose l'ISRU lunaire, tant en termes de connaissances que d'infrastructures. La temporalité de cette exploitation sera celle du long cours : si les premières missions d'exploration lunaire reposeront essentiellement sur l'apport de ressources terrestres, à long terme la base aura pour objectif de tendre vers un plus grand niveau d'autonomie. Des efforts considérables sont à mener dans quatre domaines pour rendre imaginable puis possible l'ISRU lunaire.

Le premier d'entre eux est un effort de cartographie. Si la cartographie de surface de la Lune nous est déjà partiellement connue, une cartographie géologique précise s'avère indispensable. Un grand pas a été effectué par le Service Géologique Américain (USGS), ce dernier ayant publié en avril 2020 la première carte géologique simplifiée de la surface lunaire. Reste à appréhender son sous-sol avec beaucoup plus de précision, tout en sachant qu'il aura fallu environ un siècle (1912- 2012) pour établir la carte géologique actuelle de la France. L'Europe peut réellement tirer son épingle du jeu dans cette cartographie géologique et géophysique de notre satellite. En effet, l'Europe a réorienté sa stratégie du vol habité vers les télécommunications et l'observation de la Terre à la fin du siècle dernier. Elle a ainsi acquis des technologies et un savoir-faire du meilleur niveau qui pourront être mis au service de l'observation de la Lune. L'association étroite de l'industrie minière européenne et du secteur spatial (public et privé) serait également bénéfique pour mener à bien cette cartographie générale et pour estimer le potentiel exploitable des ressources minérales et hydro-lunaires. À l'échelle européenne, cela appelle un inventaire des acteurs publics et privés et de leurs technologies en capacité à mener à bien cette prospection des ressources en vue de

leur exploitation future. Cet inventaire pourrait mener à la mise en place de consortiums thématiques public-privés pour l'ISRU lunaire européenne.

Le second effort consiste à développer les technologies puis d'installer les infrastructures requises pour collecter, traiter, purifier, transformer, enrichir les ressources ; le tout augmenté de technologies de géolocalisation et de transport à la surface lunaire. Un calcul coût/bénéfices entre une exploitation *in situ* et l'apport depuis la Terre devra être réalisé afin de déterminer laquelle des deux options est la plus envisageable. Cet effort d'infrastructure sera fonction du mode d'exploitation des ressources nécessaires. Les efforts de recherche et développement aux fins d'élaborer et de trouver des technologies critiques d'exploitation des ressources sont sans précédent, mais peuvent s'appuyer largement sur l'expérience de l'industrie terrestre. Ces nouvelles chaînes de valeur pourraient être démontrées rapidement au niveau terrestre, puis en échelle réduite dans l'espace, en profitant des nombreuses missions d'opportunités prévues vers la Lune durant la prochaine décennie. Les ressources ciblées pourraient être les suivantes :

- De par sa disponibilité dans le substratum lunaire (44% de la structure même de la régolithe), l'oxygène serait la première molécule à exploiter au bénéfice du transport spatial (l'oxygène représente 80% de la masse d'ergols des lanceurs spatiaux) et du support à la vie ;
- Le substratum lunaire et le régolithe, pourraient être utilisés pour créer des infrastructures (en utilisant l'impression 3D) ;
- Une fois les ressources en eau identifiées (lieu et quantité), celles-ci pourraient être utilisées pour le support à la vie, et pour produire de l'oxygène et de l'hydrogène (au bénéfice du transport spatial, du stockage et de production d'énergie — pour la survie aux nuits lunaires et pour toutes les activités de surface) ;
- Plus tard, en fonction de la cartographie, des métaux précieux (ex: Ni, Pt) ou molécules plus rares (ex: hélium 3), pourraient également être extraits, avec des usages spatiaux précis restant à définir.

Le troisième effort est celui de la recherche d'un modèle économique et de la création d'usages commerciaux à court terme, sans attendre que les installations soient en place en surface lunaire. Pour rappel, dû à l'attraction gravitationnelle, il faut 40% moins d'énergie pour se rendre en orbite basse depuis la Lune que depuis la Terre et trois fois moins d'énergie pour se rendre en orbite géostationnaire depuis la Lune que depuis la Terre. Par exemple, un dépôt d'ergols cryogéniques (O_2/H_2) en orbite basse pourrait être mis en place dans les cinq prochaines années. De l'eau serait envoyée en passager depuis la Terre dans les volumes non utilisés des lanceurs existants, puis stockée en orbite, électrolysée et séparée, puis l' O_2 et H_2 seraient liquéfiés et stockés sous forme cryogénique, puis transférés dans les étages supérieurs des lanceurs. Ceci permettrait d'avancer sur le développement de briques technologiques clés (électrolyse, liquéfaction, adaptation des étages supérieurs des lanceurs, transfert ergols), de développer des standards d'interopérabilité pour le réapprovisionnement en carburant des lanceurs en orbite, de démontrer et créer un usage commercial à court terme, et donc de motiver l'investissement sur cette nouvelle filière. En parallèle, les briques technologiques associées aux chaînes de valeur $O_2/H_2O/H_2$ pourraient être développées, permettant d'envisager une production d'oxygène, puis d'eau et enfin d'hydrogène, en surface lunaire d'ici les années 2030. L'eau, l'oxygène et l'hydrogène pourraient être utilisés sur la Lune pour la survie à la nuit lunaire, pour tout besoin d'énergie, la mobilité et en support de vie, et/ou être transportés dans les différents dépôts en orbite en profitant de la faible gravité lunaire. Enfin, ces développements technologiques, pourraient être faits en synergie au plan de transition H_2 vert sur Terre puisque l'innovation spatiale permettrait sans doute d'accélérer certains développements terrestres.

Le quatrième effort est celui de la Gouvernance, pour s'assurer que l'ISRU promeuve la collaboration internationale et évite la confrontation pour les ressources. En effet, par son engagement fort pour la transition énergétique sur la Terre et par le développement massif de la

filière Hydrogène Vert, l'Europe est légitime pour se positionner sur la mise en place et la maîtrise des chaînes de valeur $H_2O/O_2/H_2$ dans l'espace à partir des ressources spatiales. Si l'Europe se positionne dès maintenant sur cette exploitation des ressources lunaires de façon raisonnée, modérée et durable, elle porterait la collaboration internationale et la paix universelle au cœur du projet Lune, comme le facilitateur d'une présence humaine durable dans l'espace.

DURABILITÉ

La durabilité appelle à une exploitation raisonnée des ressources lunaires. Pour le grand public et les critiques du projet lunaire, l'exploitation des ressources spatiales s'attache à un imaginaire purement extractiviste et consumériste, celui-là même qui est accusé sur Terre d'avoir mené à la situation climatique dans laquelle nous nous trouvons. La durabilité lunaire s'apprécie au prisme de son moindre impact sur les ressources terrestres et lunaires. C'est en prenant acte de la différence des paramètres de durabilité entre la Terre et la Lune qu'il faut appréhender l'exploitation des ressources spatiales. À titre d'exemple, la production de chaînes carbonées, déchets sur Terre, devient une ressource sur la Lune. Il s'agira aussi de considérer que faute de magnétosphère, la Lune ne retiendra pas certaines des émissions produites par l'exploitation des ressources. Forts de notre expérience terrestre des limites de l'exploitation des ressources, une attention toute particulière aux stocks lunaires devra être portée. Toutes les ressources n'ont pas la même abondance sur la Lune : l'eau polaire est disponible en stock limité non renouvelable à l'inverse du stock de régolithe et du rayonnement solaire.

Cette stratégie de durabilité pour l'ISRU s'incarne dans le réapprovisionnement en carburant. La durée de vie limitée des objets spatiaux est le talon d'Achille du green space. Un réapprovisionnement en carburant dans l'espace constitue une solution technologique à court terme. À condition, toutefois, que le coût de remplacement de l'objet soit supérieur au coût de son seul réapprovisionnement.

2

SCÉNARIO

L'acceptabilité de l'exploration lunaire, par des sociétés actuellement mises au défi sur Terre, doit être une préoccupation centrale. Le projet lunaire sera d'autant plus acceptable qu'il saura être durable ; c'est-à-dire capable de coûter le moins possible aux ressources terrestres. L'optimisation des ressources à la fois lunaires et terrestres, au cœur de la stratégie d'ISRU, sert donc un double impératif : celui de la durabilité et celui de l'acceptabilité, car le projet lunaire sera d'autant plus acceptable qu'il saura être durable. L'exploitation des ressources lunaires doit dès lors penser son développement au long cours en envisageant une articulation des différentes temporalités. Cela permettra, dans une logique Terre-Satellites-Lune-Espace, de penser un développement plus cohérent, efficient et responsable dans son utilisation des ressources. Une des forces de l'exploration lunaire est qu'elle peut constituer un laboratoire d'observation de l'impact humain sur un territoire considéré comme préalablement vierge.

La première étape part d'un constat : celui d'un marché des satellites déjà en place. L'objectif de durabilité impose de rechercher les solutions techniques permettant de rallonger la durée de vie des satellites en orbite. Parmi ces solutions, le développement de techniques de réapprovisionnement en carburant en orbite servirait justement à augmenter la durée de vie des objets spatiaux en *Low Earth Orbit* (LEO), voire de limiter la saturation des orbites. Ces techniques de réapprovisionnement en carburant trouveront ensuite leurs utilités dans le contexte lunaire.

La deuxième étape consisterait à envoyer de l'eau en LEO afin d'apprendre à réaliser en orbite son électrolyse en quantité suffisante. Ce développement technologique pourrait servir au réapprovisionnement en carburant des

objets fonctionnels en orbite, mais aussi, pourquoi pas, des étages de lanceurs directement depuis l'espace. Ces deux premières étapes visent un horizon temporel à 5 ans.

La troisième étape de cette chaîne de valeur des ressources lunaires et spatiales se situe à un **horizon 5-10 ans**. Il s'agit d'apprendre à extraire et à produire :

- de l'O₂ à partir de régolithe lunaire (44% d'O₂ dans la roche lunaire). Ce dioxygène pourra servir tant au *life support* qu'au réapprovisionnement en carburant pour le transport.

- de l'O₂ et de l'H₂ à partir de l'eau présente sur la Lune, une fois que celle-ci aura été identifiée. O₂/H₂ pourront servir au transport spatial longue durée, H₂ pourra servir au stockage d'énergie pour la survie aux nuits lunaires et tous les développements futurs en surface lunaire (la molécule H₂ peut satisfaire les besoins d'énergie de quelques Watts jusqu'à plusieurs dizaines de MegaWatts).

- des matériaux à partir de régolithe lunaire (avec techniques d'impression 3D et fabrication additive), pour la construction des infrastructures de la base, des pistes d'atterrissage, du système routier indispensable pour limiter l'encrassement par la poussière. Le régolithe utilisé comme matériaux de construction pourra aussi protéger les astronautes des radiations.

La quatrième étape consisterait, à un **horizon 15-20 ans**, à améliorer nos capacités et connaissances en termes d'extraction et de production d'autres molécules de base à partir de ressources lunaires (métaux, He₃, etc.) pour servir les besoins de la fabrication ou maintenance d'objets en orbite et sur la Lune.

Enfin, à un horizon de 15-20 ans, **une dernière étape** consisterait à étudier la revalorisation du carbone émis par les vols habités et la Station Lunaire (*space gateway*), pour l'utiliser sur la Lune (qui ne présente pas de carbone), pour la croissance organique (ex: agriculture) et d'autres

applications à définir. L'intérêt d'emporter du carbone (ex: sous forme solide) depuis la Terre vers la Lune, pourrait aussi être étudié (applications à définir).

Aussi, une réutilisation intéressante des débris spatiaux en orbite terrestre peut-être également envisagée en termes de ressource de matière secondaire. De nombreux débris spatiaux présentent un intérêt notable, principalement en termes de composants électroniques ou de métaux utilisables. Dès lors, un rapatriement de ces débris vers la Lune accompagné de moyens de les traiter et de les réutiliser *in situ* pourrait présenter un double intérêt pour la circularité du modèle lunaire et pour la préservation de la LEO.

L'ensemble des étapes signifierait pour l'Europe un engagement sur une verticale affirmée: celle de l'exploitation énergétique des ressources spatiales et lunaires (réapprovisionnement en carburant, *life support*, production et stockage d'énergie) au service de l'expansion durable et autonome d'une base vie sur la Lune. L'établissement d'une vision stratégique européenne à vingt ans serait nécessaire pour fédérer et encourager l'industrie spatiale et terrestre à investir sur le sujet (à noter que la réussite de cette nouvelle verticale s'appuierait sur la mise en place de chaînes de valeur extrêmement complexes, nécessitant la collaboration de nombreux acteurs complémentaires).

3

OBJECTIFS STRATÉGIQUES ET RECOMMANDATIONS

CONNAÎTRE

- **Mettre les technologies européennes et leur savoir-faire au service de l'observation de la Lune.** Utiliser les technologies européennes de haut niveau en matière d'observation de la Terre pour les diriger également vers la Lune.)
- **Cartographier et inventorier le sous-sol lunaire.** Inciter à une initiative internationale de cartographie géologique, hydrogéologique et géophysique couplée à un inventaire des exhaustif des ressources du sous-sol de la Lune.
- **Inventorier les déchets.** Inventorier les déchets évoluant dans l'espace afin de préparer leur capture, leur transport et leur recyclage.
- **Inventorier les entreprises, savoir-faire et technologies européennes pour l'ISRU.** Inventorier les entreprises et technologies européennes au service de l'ISRU dès les phases de prospection et de design. L'extension de l'inventaire à d'autres pays est également envisageable, et doit être intersectoriel pour favoriser les synergies entre les acteurs du spatial et du non spatial.
- **Adopter une approche en design prospectif.** Inventorier les besoins auxquels les ressources lunaires pourraient répondre par une approche en termes de design prospectif.

CONVAINCRE

- **Envisager des principes d'exploitation** des ressources lunaires en cohérence avec les valeurs et les axes stratégiques européens.
- **Pour une politique de la complémentarité.** Convaincre les politiques de l'intérêt d'investir massivement dans le développement des technologies permettant l'exploration et

l'exploitation des ressources lunaires avec une logique de complémentarité des retours sur investissement pour la Terre et la Lune (nombreuses synergies avec les développements terrestres en cours pour la transition énergétique). Cette même complémentarité étant un facteur incontournable d'adhésion au projet lunaire.

- **Démystifier le sujet des ressources lunaires.** Démystifier le sujet en définissant clairement quelques pistes crédibles et économiquement viables d'exploitation durable et raisonnée des ressources (avec usages commerciaux court et moyen terme, ex : réapprovisionnement en carburant en orbite).

ANTICIPER ET GÉRER

- **Opter pour une stratégie holistique et durable.** Se placer dans une logique systémique et holistique afin de ne pas faire de l'exploitation des ressources une fin en soi, mais un moyen de développer des technologies critiques utiles à l'installation d'une base vie et un moyen d'augmenter nos connaissances fondamentales sur l'Espace et son exploration.
- **Opter pour une logique Moon-to-Mars.** Se placer dans une logique Moon-to-Mars et faire de la Lune notre terrain d'essai pour une meilleure exploitation des ressources non terrestres, ainsi que notre tremplin vers l'Espace plus lointain.
- **Arriver parmi les premiers sur les zones intéressantes.** Être parmi les premiers sur les zones intéressantes (gisements, eau, face lumineuse, face cachée, etc) pour ne pas se faire distancer sur le long terme.
- **Favoriser la coopération internationale.** Favoriser la collaboration internationale, en apportant une expertise singulière et des services transverses (l'utilisation appropriée de ces ressources sera une pierre angulaire de tout développement durable dans l'espace, et nécessaire à tous). L'Europe pourrait ainsi jouer un rôle de trait d'union entre toutes les nations, au bénéfice de la paix.

stratégies industrielles et économiques

MEMBRES DU GROUPE

VICTOR DOS SANTOS PAULINO

PROFESSEUR ASSOCIÉ EN MANAGEMENT DE L'INNOVATION STRATÉGIE,
CO-DIRECTEUR DE LA CHAIRE SIRIUS, TOULOUSE BUSINESS SCHOOL

JEAN-FRANÇOIS GENESTE

PDG WARPA

TANIA LASISZ

CHEFFE DE PROJET NEW SPACE ET INNOVATION DANS LE SPATIAL,
SOUS-DIRECTION DU SPATIAL, DE L'ÉLECTRONIQUE ET DU LOGICIEL,
DIRECTION GÉNÉRALE DES ENTREPRISES, MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE,
DES FINANCES ET DE LA RELANCE

MARIE-CATHERINE LEJARD

RESPONSABLE ESPACE GIFAS

ÉTIENNE DE L'ESTOILE

DOCORANT CIFRE EN ÉCONOMIE,
ÉCONOMISTE-STATISTICIEN EN BANQUE CENTRALE

JEAN-BAPTISTE RUDELLE

CEO ZENON RESEARCH

STRATÉGIES
INDUSTRIELLES ET ÉCONOMIQUES

L'ambition d'un retour sur la Lune

s'inscrit dans une stratégie géopolitique différente de la période Apollo. La destination demeure, mais les objectifs et le contexte économique sont tout à fait nouveaux. Les missions habitées, envoyées à la surface de la Lune entre juillet 1969 et décembre 1972 agissaient en représentants de la puissance américaine; une puissance qui visait surtout à dépasser son rival soviétique d'alors, peu importe que les missions soient de courtes durées, la pérennisation du projet ne constituait pas nécessairement une priorité. Sur le plan économique, Apollo affichait l'État américain en maître d'œuvre, dépensant sans compter entre 150 et 180 milliards de dollars et impliquant quelques acteurs privés dans le processus. L'ambition lunaire n'était alors pas tournée vers des retombées économiques, au-delà des conséquences keynésiennes de cet investissement public sans précédent. Mais elle a contribué à un retour sur investissement très positif et un *soft power* largement réaffirmé dans le contexte de la guerre froide et des séquelles de la Seconde guerre mondiale.

La nouvelle ambition lunaire s'inscrit dans la lignée historique des grandes explorations et routes commerciales maritimes ou terrestres, facteurs de *soft power* et de démonstration de puissance. C'est dans l'espace et sur la Lune que se joueront les grands équilibres entre puissances mondiales de demain.

La nouvelle course à la Lune, celle d'Artémis mais aussi celle des projets sino-russes, adopte des perspectives radicalement différentes de la première. Les missions envisagées sur la Lune seront plus longues, allant de plusieurs jours à plusieurs mois, et la présence autour et sur notre satellite naturel sera pérennisée. Les retombées économiques futures, fruits de l'exploration et de l'exploitation des potentiels lunaires et de l'apprentissage à évoluer sur un site « extraterrestre », sont l'une des motivations majeures qui poussent au retour sur la Lune. La Lune recèle peut-être des potentiels encore inconnus et dont la découverte fournira des motivations nouvelles.

Les paramètres économiques du spatial ont beaucoup évolué depuis Apollo 11. Le secteur spatial a connu un mouvement synchrone de privatisation et de commercialisation de ses activités. Et si la commande publique conserve un rôle prépondérant, la maîtrise d'œuvre et la prise de risque pour les innovations se sont déplacées vers le secteur privé. Émergeant notamment des industries du numérique et de la donnée, quelques nouveaux acteurs sont venus bouleverser les paramètres technologiques et économiques du secteur. Ces mêmes acteurs témoignent par ailleurs d'une volonté de diversifier leurs sources de financement au-delà des fonds publics (levées de fonds, introduction en bourse). De son côté, la puissance publique regarde plus attentivement à la dépense. Si les Américains demeurent largement en tête sur le plan budgétaire, le budget de la NASA s'élevant à plus de 23,3 milliards de dollars (budget 2021, estimé à 0,11% du PIB 2020), la nouvelle exploration lunaire s'envisage aussi par l'émergence de nouvelles industries spatiales nationales.

Alors que l'exploration spatiale reposait avant tout sur des ambitions industrialo-militaires et du prestige géopolitique, la nouvelle ambition lunaire se caractérise désormais par l'importance accordée aux paramètres économiques dans l'exploration spatiale, tant pour le financement que pour les retours sur investissement. Comme le souligne le rapport de Zenon Research, en collaboration avec l'ANRT, *« pour aller au-delà d'un retour symbolique et ponctuel sur la Lune et inscrire les nouveaux programmes dans la durée », « la recherche de modèles économiques réalistes doit être une priorité du projet lunaire européen ».*

Si la France et l'Europe veulent s'engager en tant que partie prenante de l'exploration Lunaire, elles ne peuvent faire l'économie d'une stratégie industrielle et économique propre à initier, soutenir puis pérenniser son élan lunaire. C'est cette question qui a occupé les travaux du Groupe Stratégie industrielle et économique.

1

DÉBATS ET AXES STRUCTURANTS

REPENSER LE MODÈLE ÉCONOMIQUE DE L'EXPLORATION SPATIALE

La base lunaire et le projet de Lunar Gateway peuvent s'envisager comme le relais d'une ISS en fin de course. L'héritage de l'ISS est conséquent et le projet aura permis à de nombreux États de collaborer malgré des situations diplomatiques sur Terre parfois crispées. Son histoire est néanmoins marquée par une épée de Damoclès permanente: la pérennité de son financement. La multiplication des acteurs privés ne saurait dissimuler l'importance de la décision stratégique, de la gouvernance et du financement par les États d'opérations et de projets d'infrastructure globale. Notamment lorsque les coûts exorbitants ne peuvent plus être supportés ni par la puissance privée seule, ni par les seuls États. Le modèle économique de l'ISS, celui d'un financement par des fonds publics avec peu de sous-traitants privés, témoigne du risque permanent d'un revirement de politique budgétaire de la part des États. Il faut donc repenser les modèles financiers l'exploration lunaire à l'aune d'une meilleure répartition des risques et des engagements politiques et financiers entre les puissances publiques et acteurs privés, de plus en plus attirées par le potentiel de rentabilité de l'espace comme en témoigne par exemple le développement rapide des activités de tourisme spatial et de construction de stations orbitales privées. La collaboration entre parties publiques et privées dans le cadre de partenariats public-privé (PPP) a été au cœur des programmes de la NASA lui permettant de recouvrer une

capacité autonome en matière de vols habités. En permettant l'association de projets économiques privés aux nouvelles missions lunaires, cet outil est une piste sérieuse de diversification des sources de financement. Les laboratoires de R&D, voire de production que pourront constituer les stations spatiales et lunaires, offriront par leurs environnement spécifique des propriétés physiques (faible gravité, radiations, etc) et possibilités d'expérimentation inégalables sur Terre. Il faudra néanmoins tirer parti de l'expérience acquise à bord de l'ISS en dotant la base lunaire d'un cadre juridique adapté à l'innovation in situ — un cadre adapté dont a pu manquer l'ISS.

Si dans un premier temps un investissement public massif est requis, en mobilisant les industries spatiales et non spatiales pour une présence durable sur la Lune, le développement de modèles économiques viables rendus possibles par l'exploration et l'exploitation de la Lune rendent imaginable, à long terme, la construction d'une véritable économie lunaire avec une implication forte du secteur privé.

L'ÉLAN LUNAIRE COMME OCCASION D'AMORCER UN NEW SPACE EUROPÉEN

L'installation durable sur la Lune peut être l'occasion pour la France et l'Europe d'accélérer le développement à grande échelle de technologies de rupture (nouveau mode de propulsion, impression 3D en orbite, etc). Cet objectif est assumé par l'écosystème spatial américain dans le cadre du programme Artemis, avec l'émergence d'acteurs privés nouveaux aux capitaux diversifiés et supportant une partie importante (plus importante que par le passé) du risque de leurs innovations et de leurs potentiels échecs.

Il ne s'agit pas pour l'Europe de faire table rase de son économie spatiale, dotée d'acteurs majeurs du secteur, à la fois fiables et à la pointe. Il ne s'agit pas non plus de se focaliser uniquement sur le modèle de la start-up innovante ; celle-là même qui présuppose un modèle économique préalable à disrupter — ce même modèle n'existant pas encore pour les activités lunaires. Il s'agit plutôt de créer un *New space à l'européenne* en proposant un nouveau modèle. Son développement requiert de concilier deux agendas, trop souvent annoncés comme divergents dans la nouvelle économie spatiale : celui des États, puissances financières du secteur, en quête d'autonomie stratégique et des acteurs privés, en quête de compétitivité et de rentabilité. Si la France et l'Europe souhaitent s'ériger en puissance lunaire, il faudra qu'elles adoptent une politique économique qui, tout en étant adaptée au New Space, saura satisfaire une indépendance stratégique européenne. Le continent dispose de géants à la pointe des secteurs aéronautiques, mais aussi énergétiques, ou encore pharmaceutiques. Le New Space à l'européenne doit réconcilier son écosystème spatial avec la prise de risque et instituer la commande publique comme un service (le modèle du « client ancre » (*anchor customer*), où l'État se fait client et crédibilise ainsi le business plan des acteurs privés, est à étudier). La diversification des sources de financement associée à une véritable politique d'incitation à l'innovation spatiale intersectorielle est à préconiser davantage que l'émergence de nouveaux acteurs bouleversant les paramètres du jeu comme ce fut le cas aux États-Unis. L'attraction des acteurs privés vers l'Europe comme territoire du spatial constitue un enjeu premier.

2

SCÉNARIO

Le nouveau contexte économique de la course à la Lune amène à certains arbitrages stratégiques aux échelles française et européenne. Un principe de réalisme doit guider la stratégie industrielle et économique. La France ne disposant pas des mêmes moyens économiques que la puissance spatiale américaine, il est incontournable d'élaborer à une échelle européenne l'ambition lunaire. Dès lors, la stratégie industrielle et économique européenne pour la Lune se trouve à un carrefour entre deux options :

(1) Choisir à l'instar des autres grandes puissances de s'engager dans un projet d'infrastructure globale, du lanceur au pas de tir jusqu'à l'atterrisseur et la base lunaire. Si le coût de cette option est au-delà des moyens actuels, elle assurerait néanmoins à l'Europe une place de premier plan dans la gouvernance générale de la Lune et plus largement l'expansion spatiale humaine.

(2) Choisir de s'engager sur un nombre mesuré de défis sur la chaîne de valeur lunaire pour lesquels la France et l'Europe se rendraient incontournables (énergie de la base lunaire, ravitaillement et manufacturing en orbite, internet de la Lune, cloud lunaire, jumeaux numériques, ressources *in situ*, etc.) pour les projets lunaires engagés par les autres puissances spatiales.

Cette seconde option peut apparaître plus facilement à notre portée. C'est peut-être en ciblant quelques secteurs technologiques spécifiques et à haute valeur ajoutée que la France et l'Europe sauront faire peser leur vision dans le développement des activités humaines sur la Lune. Elles auront tout de même à veiller que leurs apports soient incontournables si elles ne veulent pas rester en second plan.

Cette même option fait également figure de choix pragmatique : celui d'admettre une différence de moyens pour se concentrer sur quelques défis technologiques à hauts potentiels pour lesquels la France et l'Europe disposent d'une compétitivité historique et reconnue : l'énergie, la mobilité, l'habitat et le support de vie, le traitement des déchets, l'eau et les ressources minérales, ou qui constituent des domaines de souveraineté comme le stockage et le traitement des données, les réseaux de télécommunications, etc.

Elle exige néanmoins un financement et un effort constants afin de conserver une avance mondiale sur ces créneaux technologiques ciblés.

Cet arbitrage pourra également conduire la France et l'Europe à positionner leur développement technologique en matière lunaire dans une logique de complémentarité Terre-Lune. Les réponses apportées par les industriels aux problématiques lunaires pourront ainsi être transposées aux problématiques terrestres. L'investissement dans le secteur spatial serait alors perçu comme un investissement à double détente, à court terme avec un retour sur investissement sur Terre d'une part, puis à plus long terme avec un retour sur investissement dans le contexte lunaire certes plus incertain mais conforté par le premier. Cette complémentarité Terre-Lune doit s'ériger en axiome programmatique pour les projets lunaires. Il ne s'agit pas de prétendre régler les problèmes terrestres en passant par la Lune, mais de garantir que les investissements lunaires aient une retombée systématique pour la Terre.

3

OBJECTIFS ET RECOMMANDATIONS

OBJECTIFS STRATÉGIQUES

- **Développer** les secteurs particulièrement stratégiques pour le spatial (IA, data, robotique, sécurité, e-santé, Deep Tech, etc.) dans un esprit de complémentarité Terre-Lune.
- **Dans cet objectif, développer une politique réglementaire apte à inciter et sécuriser les investissements et innovations en matière spatiale.** Les exemples américains et luxembourgeois témoignent de l'importance de libérer les énergies par une politique de suppression des entraves.
- **Mettre l'indépendance stratégique européenne au cœur de la définition des politiques économiques de l'exploration lunaire** dans un objectif de garantie d'un accès indépendant à l'espace et de la défense de nos technologies critiques.
- **Profiter de l'ère d'un new space centré sur la figure de l'entrepreneur spatial** et les retours économiques pour mettre la Lune et l'exploration au cœur de cette logique.
- **Ancrer les objectifs économiques dans un besoin contemporain de souveraineté** avec l'idée que l'accès indépendant à la Lune suppose une indépendance en termes d'infrastructures, de transport, de logistique, de télécommunications et de production d'énergie.
- **Mobiliser les secteurs spatiaux et non spatiaux** dans un effort commun et coordonné en vue de développer les technologies critiques pour un élan lunaire.

RECOMMANDATIONS OPÉRATIONNELLES

- **Inscrire la stratégie économique lunaire dans la constitution de la *Blue Moon Alliance*** (voir chapitre GOUVERNANCE) à l'horizon des grands événements politiques de 2022. La *Blue Moon Alliance* pouvant constituer un vecteur fort de positionnement de la France dans la nouvelle course à la Lune.
- **Faire une étude** de haut niveau sur la stratégie économique et industrielle en matière lunaire : identification des investissements nécessaires et des retours potentiels à l'échelle européenne.
- **Impliquer davantage les acteurs du numérique** dans les projets d'exploration spatiale, de la même façon qu'ils ont pu s'impliquer dans les télécommunications spatiales sur les orbites basses.
- **Mobiliser les secteurs non spatiaux** dans l'ambition de créer un écosystème global autour de la Lune : les secteurs miniers, de l'énergie, du traitement des déchets, des télécommunications, des infrastructures, de la logistique et du transport, de la gestion des déchets et de l'agro-alimentaire.
- **Sensibiliser** les industries culturelles européennes au potentiel de créativité lié à cette expansion.
- **Augmenter la part dédiée au spatial** dans les programmes de soutien à l'économie pour financer une politique spatiale renouvelée et incluant un soutien aux technologies d'exploration et d'exploitation, dans un objectif de complémentarité Terre-Lune des retours sur investissements (ROI).

- **Faire des partenariats public-privé un levier d'innovation** et favoriser toutes les formes d'alliance entre acteurs économiques et acteurs publics au service de l'ambition lunaire européenne. Des projets spatiaux innovants pourront être portés par des sociétés d'économie mixte qui auront vocation à être privatisées par la suite.
- **Favoriser** la construction de démonstrateurs et d'analogues lunaires européens pour les ériger en laboratoire de coopération et d'innovation.

sécurité et défense

MEMBRES DU GROUPE

ISABELLE TISSERAND : coordinatrice
ANTHROPOLOGUE, EXPERT SÉCURITÉ-DÉFENSE,
CAPITAINE DE CORVETTE - RÉSERVE CITOYENNE DE LA MARINE NATIONALE

JEAN-FRANÇOIS CLERVOY
ASTRONAUTE, PRÉSIDENT D'HONNEUR DE NOVESPACE,
FONDATEUR D'AIRZEROG

JAOUHAIR MARTINUCCI
RÉSERVISTE OPÉRATIONNELLE AU COMMANDEMENT DE L'ESPACE,
CONSULTANTE AÉROSPATIALE, ANALYSTE ARMÉE DE L'AIR

PIERRE-MICHAEL MICALETTI
CONSEILLER INTELLIGENCE STRATÉGIQUE CEA LIST

GÉNÉRAL JEAN-DANIEL TESTÉ
GÉNÉRAL DE BRIGADE AÉRIENNE 2S,
ANCIEN COMMANDANT INTERARMÉES DE L'ESPACE

MARGAUX PINOT AKKAWI
CONSULTANTE AÉROSPATIAL ET GREEN SPACE

BABACAR N. SECK
PRÉSIDENT DE LEADS AEROSPACE
SERVICE DE PROTECTION ÉCONOMIQUE
MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR

S É C U R I T É E T D É F E N S E



Du point de vue de la sécurité

et de la défense, mais aussi de la protection des intérêts spatiaux souverains des États, l'exploration spatiale en général et l'ambition lunaire en particulier se trouvent dans une position paradoxale. S'il est indéniable que les applications spatiales se sont historiquement développées à la fois dans un contexte dual, à mi-chemin entre le militaire et le civil, et dans le cadre de tensions géopolitiques exacerbées, force est aussi d'admettre que l'exploration spatiale s'érige en creuset de la coopération scientifique et technique internationale, la science transcendant parfois les frontières. La conquête spatiale trouve son origine dans cet esprit de coopération scientifique dès la fin du XIX^e siècle. Il ne faut pas oublier que c'est sous l'égide des grandes unions scientifiques internationales, qu'à la suite des deux années polaires internationales (1882-1883, 1932-1933) est organisée l'année géophysique internationale (1957-1958). C'est lors de cet événement que les deux grandes puissances d'alors (URSS, États-Unis) marquent leur volonté de s'ériger en puissances spatiales. Malgré un climat de guerre froide, l'esprit de coopération, saura toutefois se maintenir dans les arènes internationales, notamment des Nations Unies ou du *Comitee on Space Research* (COSPAR).

La protection des intérêts stratégiques de l'exploration lunaire du XXI^e siècle doit par conséquent s'appréhender à l'aune de ce double aspect : intérêts souverains d'un côté, coopération scientifique, culturelle et économique de l'autre.

Dans un contexte tel que celui de l'exploration spatiale, les termes de sécurité et de défense font appel à un imaginaire de science-fiction digne de la Guerre des étoiles. Néanmoins, et dans un horizon bien plus proche, c'est davantage à la sécurité des astronautes et à la protection des patrimoines scientifiques des nations présentes, fussent-elles coopérantes, qu'il faut s'intéresser. Une dimension certes moins spectaculaire mais non moins stratégique. La protection des astronautes et des patrimoines scientifiques pourra également être le lieu d'apprentissage, d'anticipation et d'appréhension des conflictualités nouvelles induites par l'exploration spatiale. Une expertise développée dans ce contexte par les Space forces internationales en général et l'Armée de l'air et de l'espace en particulier pourra constituer un savoir utile et hautement sollicité à l'avenir.

Dans cette perspective, le groupe sécurité et défense a opté pour une démarche pragmatique et opérationnelle, cherchant à identifier les risques et leurs parades aux fins de définir les contours de ce qui pourrait être, à terme, un programme permettant aux missions lunaires de se sécuriser avec un maximum d'autonomie en comptant également sur les supports à distance. Ce programme concerne tant les installations que les missions robotiques ou humaines. Le programme couvrira la préparation de la mission, son déroulement et les phases de retour de mission.

1

DÉBATS

UN PATRIMOINE À SÉCURISER

L'installation et l'utilisation d'une base humaine en expansion durable sur la Lune constituent un patrimoine stratégique inédit dont il faut assurer la sécurité. Cette dernière ne s'arrêtera d'ailleurs pas à la base seule mais s'étendra également aux transits et orbites lunaires. Ces deux derniers revêtent les mêmes dimensions stratégiques clés à considérer dès les prémices de la mission lunaire. Ils sont centraux dans la mise en place progressive de la base depuis la Terre, autour de la Lune puis sur la Lune. Dans un second temps, une fois la base installée, il s'agira de protéger les sociétés artificielles lunaires alors mises en place. Une protection qui appelle à une conception holistique de la sécurité. Plus précisément, les patrimoines à sécuriser sont l'équipe d'astronautes, l'infrastructure les accueillant et permettant la conduite de leurs missions (modules de vie, de travail et véhicules lunaires), mais aussi (sinon surtout) leurs expériences scientifiques, les moyens de les réaliser et les résultats de ces expériences. La sécurisation de l'ensemble de ces patrimoines matériels, organisationnels et informationnels requiert un travail d'identification puis de gestion des risques *in situ*.

La protection de patrimoine à visées économiques, en particulier d'initiative privée, est à prendre en compte. En effet, dans le cadre juridique en vigueur issu du corpus de traités sur l'Espace, même lorsqu'elles sont purement économiques et conduites par des acteurs privés, les activités spatiales demeurent sous la supervision de l'État les ayant autorisées. À sa charge, donc, d'en assurer également tous les aspects de la protection.

IDENTIFIER LE CONTEXTE DE CONFLICTUALITÉ ET DE CONTRE-CONFLICTUALITÉ

L'étude de la sécurisation d'un patrimoine stratégique n'implique pas de postuler l'existence d'une conflictualité exacerbée. Et cette sécurisation n'est en rien incompatible avec une exploration pacifique et pacifiée de la Lune. Trop souvent la défense a été regardée avec méfiance par le monde de l'exploration spatiale. Une raison historique à cela pouvant se trouver dans les premières discussions entre les États-Unis et l'URSS aux Nations-Unies dans les semaines et les mois qui ont suivi la mise en orbite de Spoutnik. Désamorcer les conflictualités en matière spatiale et extraire de l'arsenalisation l'environnement spatial, telles étaient les préoccupations principales d'alors. Mais les temps ont changé et alors même que les soviétiques et les Américains savaient trouver quelques terrains de coopération spatiale, on assiste aujourd'hui à une polarisation entre la Chine (associée la Russie) et les États Unis au point que revient dans l'imaginaire collectif la notion de guerre des étoiles.

Dans ce contexte, rien n'empêche néanmoins l'Europe de concilier un impératif de sécurité avec la recherche d'un équilibre entre conflictualité et contre-conflictualité, ni d'afficher une ambition lunaire empreinte de sens et de valeurs éthiques. L'Europe est un levier majeur de la coopération spatiale internationale, une coopération renforcée par la qualité de ses institutions scientifiques et industrielles. Forte de cette identité, l'Europe peut s'ériger en puissance pacificatrice sur la Lune, tout en assurant la protection de ses intérêts stratégiques. De leurs côtés, ses États-membres pourront apporter leur concours dans la sécurisation des sociétés artificielles lunaires à l'aide de leurs armées spatiales. Au-delà de l'Europe, pour l'ensemble des nations présentes sur la Lune, l'évitement d'une guerre spatiale doit servir une ambition de premier ordre eu égard au caractère inconnu de ce champ de conflictualité et aux pertes humaines et technologiques potentielles. Cette ambition pacifiste permettrait d'éviter le risque d'une répercussion sur les conflits terrestres.

2

SCÉNARIO

IDENTIFIER LES RISQUES, PRÉPARER LES PARADES

La sécurisation lunaire et la protection des patrimoines stratégiques demandent une identification des risques pour la mission en amont de son lancement, pendant son déroulé et une fois la mission achevée.

En amont, ce sont des risques politiques qui pèsent en premier lieu sur la mission lunaire. Une politique d'exploration spatiale lacunaire ou insuffisamment affirmée mènerait soit à un retard dans la course à la Lune soit à une impréparation pour une mission finalement décidée à la hâte. Par ailleurs, dans l'éventualité où l'Europe choisissait de collaborer avec une autre puissance spatiale dans le cadre de son ambition lunaire, une attention particulière devrait être portée au plan de protection des patrimoines stratégiques et de coopération en matière de sécurisation de la mission. Les nouveaux cadres de coopération qui se dessinent doivent justement faire l'objet d'une veille active: que l'on parle des accords Artemis ou des accords entre la Russie et la Chine pour l'ILRS, en passant par le Lunar Gateway et les autres accords interétatiques existants. Ces textes dessinent un paysage stratégique nouveau à anticiper, surveiller et protéger. De la même façon, les dimensions de soft power ayant trait au spatial connaissent un regain d'intérêt de la part des puissances en place. Une veille des campagnes de communication et d'influence en matière spatiale en général et lunaire en particulier est à préconiser pour l'Europe. Réciproquement, doter le spatial européen d'une capacité opérationnelle en matière de soft power spatial serait souhaitable.

Toujours en amont de la mission, la sélection des astronautes est une source de risque à considérer. Le recrutement d'une équipe insuffisamment préparée ou mal sélectionnée pouvant mettre en danger la mission. Les référentiels et

les codes culturels à intégrer pour vivre de façon apaisée dans une société artificielle ne vont pas de soi et doivent constituer un paramètre clé du recrutement, plus encore que pour les stations spatiales du passé.

S'agissant des astronautes, une évaluation et un suivi psychosocial avant leur départ, lors de la mission et après la mission est également à préconiser. La sécurisation des missions lunaires implique un soutien continu des équipages lunaires et des équipes au sol en amont, pendant la mission et en préparation des missions futures.

Pendant la mission, les risques sont surtout opérationnels. Les cohabitations entre les astronautes, les robots et leurs interfaces peuvent être une source de conflictualité. Les conflits sociaux et les décompensations psychologiques sont à anticiper. Même la plus sécurisée des missions spatiales ne peut empêcher le risque d'accident physique faisant peser un risque sanitaire et opérationnel sur la base.

S'agissant plus particulièrement des infrastructures, une perte d'autonomie de la base (énergie ou télécommunication) est un risque majeur qui pourrait avoir des conséquences particulièrement graves sur la pérennité des installations et la vie des astronautes. Cette perte d'autonomie serait également une source de stress importante pour ces derniers. La base peut également faire l'objet de cyberattaques depuis la Terre, l'espace ou une autre base lunaire. La cohabitation entre des interfaces numériques et des humains est aussi au cœur du fonctionnement d'une base lunaire. La protection des patrimoines numériques est à placer au même niveau de sécurisation que la protection des humains.

Dans le même ordre d'idée, les identités numériques des membres d'équipage constituent un patrimoine en soi, à protéger. La sécurisation de la chaîne logistique entre la Terre et la base lunaire est également cruciale. En effet, une interruption de longue durée de cette chaîne serait catastrophique pour la maintenance des installations et la

survie des astronautes. La protection contre les menaces pouvant mener à une discontinuité communicationnelle, informationnelle, organisationnelle ou matérielle entre la Terre et la Lune, est une mission centrale de la sécurisation du projet lunaire.

Le contact avec des phénomènes cislunaires non identifiés ainsi qu'avec d'autres formes de vie intelligente doit être une hypothèse à anticiper, compte tenu des travaux internationaux sur le sujet. Toujours dans le champ de l'inattendu, la découverte d'une matière rare et très recherchée sur la Lune ou d'une ressource abondante d'une matière déjà connue, pourrait mener à des tensions entre puissances présentes. Des mécanismes doivent être prévus en amont pour gérer cette conflictualité potentielle.

Dès la fin de la mission, un processus de RETEX (retour sur expérience) doit impérativement être mis en place. D'une part avec l'ensemble des parties actives durant la mission, astronautes de retour sur Terre, équipe au sol et équipage en partance pour aborder les aspects techniques avec l'identification des mises à jour nécessaires s'agissant du matériel, des processus décisionnels, et des interfaces.

Le RETEX revêt aussi une importance politique et stratégique eu égard aux ambitions de la mission et de son inscription dans des programmes nationaux ou européens. Le RETEX, en tant que processus de mémorisation historique (dont les apprentissages et erreurs commises) est un moyen de consolider les expériences et d'anticiper la reproduction des erreurs éventuelles. Se pose la question de l'archivage et de la lecture de cette mémorisation historique dans le temps. L'inscription de la mission dans une continuité historique requiert une participation constante et effective aux discussions et projets internationaux ayant la Lune pour objet.

3

OBJECTIFS ET RECOMMANDATIONS

OBJECTIFS STRATÉGIQUES

- Encourager à l'échelle française et européenne la promotion institutionnelle et industrielle d'une doctrine spatiale prônant un usage pacifique, coopératif et durable de l'espace.
- Stimuler la réflexion interministérielle sur la dimension duale des activités spatiales et de la présence humaine de longue durée sur la Lune.
- Adapter la politique de protection du potentiel scientifique et technique de la nation aux dimensions spécifiques du spatial et de la base Lunaire.
- Développer des services innovants et sécurisés en matière de :
 - Météorologie spatiale.
 - Maîtrise des télécommunications lunaires et interplanétaires.
 - Géolocalisation lunaire. La NASA travaille actuellement sur la possibilité d'étendre le signal GPS sur la Lune au profit de futures missions. Il serait donc intéressant de capitaliser sur les initiatives en cours à l'ESA afin d'offrir une complémentarité à l'option américaine dans le cadre des projets d'exploration spatiale.
 - Intelligence Artificielle et Robotique.
 - Métavers (pour la formation à distance et l'interaction entre la Terre et la Lune).
 - Santé, e-santé.
- Prendre en compte les puissances spatiales émergentes (Afrique, Amérique du Sud, Pays du Golfe, etc.) en tant que territoires stratégiques de l'exploration spatiale de demain.
- Démocratiser l'accès aux informations et aux ambitions lunaires européennes.
- Respecter, dans les situations où cela s'impose, la protection du secret pour la sécurité nationale.

RECOMMANDATION OPÉRATIONNELLES

- **Constituer rapidement une Task Force** en mesure d'identifier les risques et de réfléchir aux innovations industrielles existantes et futures, ainsi qu'aux moyens de sécuriser le projet de base lunaire *ab initio et in itinere*. Cette Task Force sensibiliserait les entreprises et les opérateurs essentiels à la sécurisation des innovations spatiales au service des intérêts stratégiques.

- **Inciter au développement de technologies** permettant, à l'échelle européenne, de maintenir un lien organisationnel, communicationnel et matériel entre la Terre et la Lune qui soit permanent et sécurisé. Ces technologies sont tant de la famille du hardware que du software ou des innovations robotiques, logistiques et d'ingénierie, en association avec les sciences, les sciences de la santé et les sciences humaines et sociales pour une gestion optimisée de la base lunaire.

- **Favoriser, dans le recrutement des astronautes,** une diversité des profils adaptée à la diversification des tâches induites par l'exploration lunaire et compatible avec le plus haut degré de sécurisation de la mission.

POSTFACE

par CLAUDIE HAIGNERÉ

ANCIEN ASTRONAUTE CNES/ESA, ANCIEN MINISTRE

Comment conclure un tel travail d'intelligence collective ? Je propose de le faire de façon très personnelle, en toute humilité cependant passionnée.

Née avec Spoutnik, fascinée et inspirée par l'alunissage de la mission Apollo 11, sélectionnée comme candidate astronaute par le CNES en 1985 au cœur de l'ambition européenne d'exploration habitée, avec les programmes ambitieux de navette spatiale Hermès, de modules scientifiques Columbus et MTFP, de plateforme polaire, j'ai eu l'honneur et le privilège de réaliser deux missions spatiales. J'ai volé à bord de deux stations spatiales MIR et ISS, en vivant la passionnante aventure humaine, scientifique et technologique de l'ouverture de l'exploration spatiale habitée à la coopération internationale, avec la construction multilatérale de la station spatiale internationale en orbite basse. J'ai eu la responsabilité de porter la politique spatiale française au Ministère de la Recherche et de travailler à l'initiation du partage de compétences entre l'Agence spatiale européenne ESA et l'union européenne au Ministère des Affaires Européennes puis à l'ESA j'ai intensément utilisé et promu le large spectre des activités spatiales, tant dans leur utilité quotidienne, que dans leurs enjeux économiques, internationaux et géostratégiques. Mais j'ai aussi relayé la recherche spatiale et sa capacité à explorer un univers plein de mystères, pour donner à comprendre et à désirer les progrès de la science et des technologies, notamment aux publics variés d'Universcience, des plus jeunes esprits à tous les curieux fréquentant les centres et musées de sciences.

J'ai, toute ma vie, flotté dans la dimension spatiale dans une conviction inaliénable et une passion encore inassouvie. Que l'espace soit le chemin de l'exploration et de l'avenir était pour moi une évidence. Mais cette conviction, cette perception des potentialités offertes pour aujourd'hui et pour demain, n'est pas aussi avérée aux yeux de nos concitoyens nationaux et européens. En dehors des quelques épisodes attractifs bien médiatisés, qu'il s'agisse de l'atterrissage de Philae sur la comète 67P grâce à la mission européenne Rosetta, des missions habitées à bord de ISS de Thomas Pesquet et de nos collègues astronautes de l'ESA, ou encore de la prise de conscience des menaces liées aux débris spatiaux ou aux catastrophes naturelles observables depuis l'espace, le domaine spatial reste encore méconnu. Au-delà de ces Unes médiatiques, seule notre communauté spatiale, celles des agences institutionnelles, des experts de la politique spatiale, des industriels spatiaux, et des scientifiques passionnés par le caractère unique des recherches en microgravité, seul ce cercle trop restreint embrasse l'ensemble des enjeux et l'importance incontournable des activités spatiales.

À l'heure où les grandes puissances spatiales réfléchissent à installer des bases sur la Lune et même sur Mars, sur ce sujet qui m'est cher, une question reste posée, comment l'Europe a-t-elle l'intention de se positionner dans cette nouvelle étape de l'exploration spatiale habitée ? C'est une question lourde de conséquences, pour laquelle une compréhension globale des enjeux et une analyse partagée propre à susciter le désir, sont des piliers de la décision d'engagement et de son niveau d'ambition. Cette remise en question a été le moteur du groupe de travail de l'ANRT dont j'ai eu la fierté d'assurer la co-présidence avec les représentants du CNES, sous l'experte direction de Clarisse Angelier assistée par l'esprit d'organisation et de synthèse d'Alban Guyomarc'h pendant ces deux années. Mobiliser et interpellier une large communauté scientifique et industrielle non spatiale sur cet enjeu de la présence européenne en surface de la Lune a été un exercice très enrichissant, faisant appel à la prospective et l'imaginaire audacieux sans lâcher prise de la réalité, en faisant émerger questionnements et désirs d'un groupe assidu et impliqué.

Dans une démarche ouverte mais coordonnée, le résultat qui vous est proposé fait apparaître une opinion unanime : l'Europe doit se saisir des opportunités ouvertes par le retour et l'installation de l'humain sur la Lune. Les raisons en sont multiples et les modalités diverses. Certaines nous sont familières dans le milieu spatial, d'autres témoignent d'une vision exogène complémentaire et propre à renforcer un narratif appropriable par le plus grand nombre. De toute évidence, un élan européen vers la Lune et l'exploration, en exprimant sa voix et en proposant sa voie, est un investissement d'avenir pour la France et l'Europe. Après des discussions intensément argumentées, c'est avec conviction et enthousiasme que tous et toutes ont considéré que l'Europe pouvait et devait apporter sa propre réponse ambitieuse et que le coût du renoncement serait trop lourd à justifier et endosser.

À la relecture de ce livre blanc, j'y ai trouvé matière à assembler les pièces d'un puzzle complexe pour faire apparaître une approche holistique, cohérente, fédératrice et attractive. Ce travail est une matière à penser et à agir, pour raconter et faire entendre ce nouveau récit et pour s'élancer dans l'action en mobilisant toutes les énergies traditionnelles et les initiatives nouvelles. Si ce livre blanc peut être le terreau propice à faire germer de belles feuilles et de beaux fruits sur des racines solidement ancrées pour une riche récolte, cette démarche et ces heures de réflexion auront atteint leur cible. Il nous manque bien sûr les regards et paroles des États européens et des citoyens européens dans leur diversité, ce livre terreau est prêt à se nourrir de toutes les graines fertiles.

Dans l'expansion de l'humanité pour l'exploration de *Terrae Novae*, l'Europe peut et doit contribuer dès aujourd'hui, avec talent et ambition, pour la promotion de ses valeurs et de ses expertises, et pour créer l'impulsion d'un élan nouveau à aborder demain et ailleurs en confiance.

À nous tous et toutes de partager ce désir et ce récit, pour agir ensemble et réussir. Car si Oscar Wilde a écrit : « *Il faut toujours viser la Lune car même en cas d'échec on retombe dans les étoiles* », ici, il n'est pas question d'échec. *Ad Astra*.



Créé en 2019, le groupe Objectif Lune de l'ANRT réunit les acteurs du spatial et du non spatial pour conjuguer vision, innovation et communication sur le projet d'une base vie en expansion durable sur la Lune. La transformation de l'industrie spatiale servie par les nouvelles technologies ouvre de nouveaux possibles et redonne du sens à l'exploration habitée de la Lune.

