

2020

LES CARNETS DU TEMPS

Trimestriel d'information culturelle de l'aviateur

Les enjeux stratégiques de l'Espace



Éditorial

**Général de brigade aérienne
Julien Sabéné, directeur du CERPA - CESA**

Les activités militaires mais aussi des pans entiers de l'économie et même des besoins de la vie quotidienne reposent désormais sur l'utilisation d'outils spatiaux. Ce domaine est ainsi passé en à peine un demi-siècle d'une frontière à explorer à un véritable théâtre d'opérations.

Rarement un secteur n'a concentré autant d'enjeux, dans des champs aussi divers, qu'ils soient politiques, économiques, scientifiques, juridiques et, bien sûr, sécuritaires. Ce nouveau hors-série des Carnets du Temps entend dès lors dresser un panorama des différents acteurs du domaine et de leur imbrication parfois antagonistes dans leur appréhension de ce milieu. Si l'exploration spatiale a souvent été l'occasion de coopérations interétatiques inenvisageables sur Terre, aujourd'hui, ce secteur cristallise aussi de nombreuses rivalités sur la scène internationale, tandis que l'arrivée de nouveaux acteurs transforme les rapports de puissance.

Alors que les initiatives des principales puissances spatiales se structurent comme un levier essentiel de l'essor des activités dans l'espace, le *New Space* a récemment consacré la capacité d'entités privées à développer des innovations de rupture. À l'heure d'un virage historique pour les aviateurs qui se voient confier la gestion de ce milieu particulier – prolongement naturel de l'espace aérien auquel ils sont rompus – la création du Commandement de l'espace consacre la réorganisation du spatial militaire. Regroupant désormais l'ensemble des organismes en lien avec l'espace pour en accroître l'efficacité opérationnelle et la cohérence, l'armée de l'Air et de l'Espace prend en compte le nouveau champ de conflictualités qu'est l'espace. Ce numéro explore également les différents aspects sociétaux liés à l'exploitation du domaine spatial, de sa place prépondérante au sein des opinions publiques jusqu'à sa représentation dans différents domaines artistiques.

Je tiens à remercier chaleureusement le comité pédagogique pour l'élaboration de ce numéro mais aussi l'ensemble des auteurs pour la qualité et la pertinence de leur analyse. Je vous souhaite une excellente lecture, qui, je l'espère, suscitera de fructueuses réflexions, vers l'infini et au-delà...!

Éditorial du général de division aérienne Michel Friedling, commandant le Commandement de l'espace

« Un grand commandement de l'espace sera créé le 1^{er} septembre 2019 pour appréhender les questions spatiales militaires à l'aune des ruptures stratégiques, nous doter d'une doctrine des opérations dans l'espace et mettre en œuvre nos moyens spatiaux. ». Lors de la publication de la stratégie spatiale de défense en juillet 2019, madame Florence Parly, ministre des Armées, détaillait les missions confiées au nouvel organisme à vocation interarmées rattaché à l'armée de l'Air et de l'Espace. Créé par l'arrêté du 3 septembre 2019, le Commandement de l'espace (CDE) est une réponse aux enjeux croissants des questions spatiales mais surtout de leurs implications primordiales dans les opérations militaires. Les livres blancs sur la défense et la sécurité nationale de 2008 et de 2013 consacraient déjà le rôle majeur de l'espace pour l'autonomie stratégique du pays. La revue stratégique de défense et de sécurité nationale de 2017 décrit ce domaine comme un « milieu à part entière devenant un milieu de confrontation ». Le président de la République Emmanuel Macron, le 13 juillet 2018 à l'Hôtel de Brienne, déclarait que l'espace était un « véritable enjeu de sécurité nationale », lançant ainsi les travaux d'une revue stratégique consacrée à l'espace et ayant abouti à la publication de la stratégie spatiale de défense.

Historiquement, l'espace est un domaine de compétition entre puissances. Dépasant maintenant le simple cadre de l'exploration, il est devenu indispensable au fonctionnement de nos sociétés : navigation par satellite, observation de la Terre, télécommunications... La dépendance à ce milieu, la démocratisation de l'accès à l'espace, la compétition stratégique et l'apparition de nouvelles menaces font désormais de ce domaine un véritable milieu opérationnel. Il s'agit ainsi de renforcer l'autonomie stratégique française dans le domaine spatial mais aussi d'y assurer notre liberté d'accès et d'action. En effet, l'espace contribue pleinement à la connaissance, la planification et la conduite des opérations militaires et il devient impératif de développer une capacité de protection et de défense active de nos moyens spatiaux nationaux. Avec une telle rupture stratégique, seul un État capable de mettre en œuvre une stratégie spatiale complète peut aujourd'hui prétendre se maintenir au rang de puissance spatiale.

Grand commandement de l'armée de l'Air et de l'Espace, le CDE a été créé pour répondre aux principes d'efficacité opérationnelle, de cohérence, de visibilité et de simplicité. Le domaine spatial militaire français souffrait d'une dispersion géographique et fonctionnelle de ses acteurs et de ses implantations. Il bénéficie désormais d'une chaîne de commandement unifiée facilitant l'élaboration et la conduite, sous la responsabilité du CEMA, des opérations, mais également de la politique spatiale militaire. Le CDE est également en charge de la génération d'expertise et de la préparation au combat sous la responsabilité du CEMAEE.

Ce grand Commandement concentre l'expertise spatiale, rare au sein du ministère, issue d'entités militaires déjà existantes : le Commandement interarmées de l'espace (CIE), l'Equipe de marque des programmes spatiaux (EMPS), le Centre militaire d'observation par satellite (CMOS) et le Centre opérationnel de surveillance militaire des objets spatiaux (COSMOS). La doctrine des opérations spatiales militaires de la stratégie spatiale de défense confère au Commandement de l'espace des missions opérationnelles structurées autour de quatre volets : soutien aux capacités spatiales, appui spatial aux opérations, surveillance de l'espace et action dans l'espace pour la protection et la défense des moyens spatiaux.

Véritable pierre angulaire du spatial de défense, le Commandement de l'Espace monte en puissance. Avec 220 personnes à sa création, ce commandement devrait atteindre près de 500 personnes d'ici 2025. Par ailleurs, le CDE s'installe progressivement sur le site du Centre spatial de Toulouse (CST), au cœur du plus grand écosystème spatial en Europe afin de développer des synergies avec les équipes du Centre national des études spatiales (CNES). Devant être achevée en 2025, cette manœuvre vise à gagner en expertise dans le contrôle de satellites et la conduite d'opérations spatiales militaires mais aussi à donner de la visibilité à ce nouveau grand commandement dont les premières infrastructures définitives seront livrées 2023. Les ambitions spatiales françaises s'affirment aussi dans le domaine des coopérations européennes et internationales. La coopération avec nos partenaires des 5 eyes (les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Australie, le Canada ou encore la Nouvelle-Zélande) s'affirme par exemple par la signature française de l'initiative CSpo en février 2020 : cette initiative vise à se préparer à opérer ensemble dans l'espace. Citons également la signature le 11 mars 2020 avec l'Allemagne d'un accord qui fixe un cadre de travail relatif à la surveillance de l'espace (*Space Situational Awareness*) et qui permettra de fédérer les énergies de nos deux pays. La montée en puissance du CDE se concrétise aussi avec la préparation d'*AsterX*, premier exercice militaire spatial européen et planifié pour le premier trimestre 2021.

Des évolutions capacitaires verront également le jour puisque de nouveaux satellites et systèmes concourant à nos missions seront mis en service en orbite prochainement dans le cadre d'une feuille de route capacitaire, validée par la ministre. Cela concerne en particulier le programme à effet majeur ARES visant à permettre à la France la résilience et la maîtrise du domaine spatial, c'est-à-dire la capacité de surveillance de l'espace et des capacités de défense de nos satellites.

Pour mieux comprendre cette nouvelle ambition française, ce numéro spécial des Carnets du Temps de l'armée de l'Air et de l'Espace vous propose un tour d'horizon de l'histoire et des enjeux de ce milieu singulier devenu théâtre d'opérations. Par la plume de ses différents acteurs et contributeurs, sur des thèmes et avec des approches variées, je ne doute pas qu'il vous apporte de nouveaux éclairages, à l'heure où la France réaffirme son rôle de puissance spatiale. Je vous souhaite à tous une lecture propice aux réflexions sur le besoin de « maîtrise de l'espace ».



Hors série Espace

**Centre études, rayonnement et partenariats de l'Armée de l'air
CERPA-CESA**

Directeur de la publication :
GBA Julien Sabene

Rédacteur en chef :
Col Laurent Paquot
Lcl Jérôme de Lespinois

Rédacteur en chef adjoint :
Ltt Louise Matz
Cne Ivan Sand

Rédacteurs du CERPA :
Adc Jean-Paul Talimi
Adc Fanny Boyer

Maquette :
M. Emmanuel Batisse
M. Philippe Bucher
Cal Nadir Bouras

Relecture :
Lcl (R) Danielle Emeras

Diffusion :
Clc Mathieu Cornu

Correspondance :
CERPA-CESA
1 place Joffre,
75700 PARIS SP 07 - BP 43
Tél. : 01 44 42 80 55
MTBA : 861 753 80 55

Impression :
Imprimerie EDIACA (Établissement
d'impression, de diffusion et d'archi-
vage du commissariat des armées)

Tirage 2 500 exemplaires

Les opinions émises dans les articles
n'engagent que
la responsabilité des auteurs

**TOUT DROIT DE REPRODUCTION
RÉSERVÉ**
ISSN 1769-452

Sommaire

Les enjeux stratégiques de l'Espace

6

Géopolitique - Économie - Droit

- Espace : entre guerre et paix..... 6
- Les acteurs de l'espace extra-atmosphérique 8
- Espace : une hégémonie américaine ?..... 12
- La construction de la puissance spatiale chinoise 14
- Les bases de lancement spatial :
entre reliques du passé et infrastructures du futur 16
- Les nouveaux acteurs du spatial :
nouvelle économie ou rééquilibrage
sur les marchés existants ?..... 18
- Les enjeux du *New Space* 20
- Le droit spatial a-t-il une réelle incidence
sur les acteurs ? 22

24

Culture de défense

- L'espace, outil et théâtre d'opérations 24
- Course aux armements dans l'espace :
phénomène ancien, modalités nouvelles..... 26
- Opérations spatiales : transformations
et défis pour l'armée de l'Air et de l'Espace..... 28
- Ronald Reagan et l'Initiative de défense stratégique :
l'espace pour dépasser la dissuasion..... 30
- Les expériences de tirs de missiles
antisatellites dans le monde..... 32
- Le nouvel art de la guerre réseau-centrée 34

36

Histoire

- L'histoire et les enjeux
de la Station spatiale internationale 36
- La course à la Lune 38
- *Soyouz* : doyen des lanceurs,
faire-valoir de la stratégie spatiale russe 40
- *Corona*, le premier programme de satellite
de reconnaissance américain 42

– Histoire des taïkonautes.....	44
– La naissance du spatial européen	46

48

Lettres - Arts - Société

– L'espace au cinéma : frontière de l'infini et de soi	48
– L'opinion publique est-elle intéressée par l'espace ?	50
– La représentation de l'espace dans la peinture de Vincent van Gogh.....	52
– <i>Orbital Reflector</i> , l'œuvre d'un pionnier de l'art dans l'espace.....	54
– Jules Verne et le roman d'anticipation spatiale	56

58

Sciences et inventions

– Navettes spatiales et avions spatiaux, des projets ambitieux et complexes.....	58
– La fusée <i>Saturn-V</i>	60
– À propos du Big Bang.....	62
– Ambalal Sarabhai, père du spatial indien.....	64
– Gérer le trafic spatial de demain face aux débris : enjeux et perspectives	66
– L'histoire du GPS	68
– Les enjeux de la SSA – <i>Space Situational Awareness</i> ...	70

Espace : entre guerre et paix

En 1994, Serge Grouard publiait un ouvrage de référence intitulé *La Guerre en orbite*. L'auteur décrivait les multiples facettes d'une nouvelle approche de l'espace avec ses volets politique, économique, scientifique et militaire. Il soulignait la nécessité pour un État de bâtir un projet spatial fondé sur une indispensable stratégie de l'espace, préalable à l'établissement de toute puissance spatiale. Le 7 septembre 2018 au CNES, Madame Florence Parly, ministre des Armées, dénonçait la volonté de certains États, dont la Russie, de transformer l'espace en un champ de confrontation pour y asseoir leur domination. Entre ces deux dates, la maîtrise du milieu spatial et des activités associées, s'est affirmée comme une nécessité vitale, favorisée par l'évolution des techniques. Les enjeux sont à la fois politiques, diplomatiques, économiques, industriels, commerciaux, scientifiques, sécuritaires et de défense. Il convient dès lors d'assurer la sécurité des moyens déployés dans l'espace, pour garantir la satisfaction des besoins terrestres depuis l'espace.

Notre capacité à comprendre, décider et agir en toute autonomie, et des pans entiers de notre économie dépendent ainsi de notre maîtrise de l'espace. Une politique spatiale cohérente et complète doit donc intégrer d'abord le moyen de mettre en orbite des types variés de satellites, en constellation notamment, par des lanceurs modulables à un coût compétitif. C'est encore les moyens d'observation de la Terre, de communication, de positionnement, de navigation, de timing, de météorologie dont il convient d'assurer la disponibilité, la fiabilité et l'intégrité. À ce titre, la fonction de surveillance de l'espace s'avère cruciale, en lien avec la problématique des débris et de suivi des systèmes spatiaux. Ce sont les choix fait par les grandes puissances spatiales qui de surcroît développent des capacités antisatellites. Face à cette évolution, l'Union européenne, en collaboration avec l'Agence spatiale européenne, s'est dotée d'une stratégie spatiale en octobre 2016 et a lancé depuis plus de vingt ans de grands programmes couvrant l'ensemble du spectre dont *Copernicus* (observation de la Terre) et *Galileo* (Positionnement/Navigation/Timing). En particulier, la France est le pays de l'UE le plus moteur, qui contribue à placer l'Europe à un niveau spatial de classe mondiale.



UNITED NATIONS
Committee on the Peaceful Uses of Outer Space

OR

Afin d'organiser les moyens de leur action et de protection de leurs intérêts dans l'espace, un nombre croissant d'États se dote d'un commandement de l'espace comme les États-Unis avec son *SpaceCom* créé en août 2019 et la France le 8 septembre 2019. Ces structures étaient déjà en place, au moins partiellement, en Russie depuis 2001 (les Forces spatiales militaires ou troupes spatiales), mais aussi en Chine depuis 2009 avec sa Force spatiale. En 2019, l'Inde annonçait la création d'une agence de recherche sur la défense spatiale pour assurer ses intérêts militaires dans l'espace, mais aussi d'une agence spatiale de défense pour lutter contre les futures menaces. Beaucoup d'autres nations développent une capacité spatiale à des fins scientifiques et industrielles comme le Japon ou l'Afrique du Sud. L'espace offre par ailleurs un cadre idéal de coopération pour protéger notre planète dans des domaines très divers tels que le changement climatique, l'atmosphère, les océans, la surveillance des glaces. L'enjeu principal est ainsi d'assurer une utilisation de l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques.

Pour éviter une militarisation de l'espace, mais aussi pour gérer le trafic spatial toujours plus important, le droit spatial a évolué depuis le traité de l'ONU de 1967 et les Conventions spatiales sous l'égide du CUPEEA⁽¹⁾. Le droit spatial peine toutefois à évoluer face à la réticence de certains États qui y voient la limitation de leur stratégie de domination. Ainsi, en 2014, l'initiative de l'UE pour établir un code de conduite international pour les activités dans l'espace extra-atmosphérique n'a pas abouti à ce jour.

L'espace comporte donc un enjeu politique par le rayonnement, la puissance, la cohésion nationale interne, la capacité d'information, de décision et d'action que sa maîtrise procure. Il véhicule aussi une dimension économique majeure par les activités commerciales qui en découlent dont le *New Space* est un des aspects saillants. C'est encore un enjeu industriel, technique et scientifique. Sa contribution à la sécurité et à la défense des nations est jugée vitale par ses volets capacitaire, opérationnel et de renseignement, avec le risque grandissant de dérapage vers une militarisation de l'espace que le débat juridique vise à limiter par un consensus international qui reste à trouver.

1. Comité des Nations unies pour l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique (CUPEEA).

Les acteurs de l'espace extra-atmosphérique

L'exploitation de l'espace, terrain historique de mesure de la puissance nationale, a jusqu'à l'orée des années 2000 une connotation gouvernementale très marquée. Elle est l'apanage des puissances spatiales, une poignée de pays maîtrisant l'accès à l'espace, critère majeur d'autonomie stratégique. Le secteur privé est impliqué mais avec des financements majoritairement publics. Les télécommunications font exception, avec des opérateurs investissant dès le milieu des années 1970 dans un marché qui se libéralise sous contrôle des États. Cet équilibre bascule au tournant du siècle sous la conjonction de plusieurs facteurs : miniaturisation, accès facilité aux techniques spatiales, investissement privé croissant avec adoption de logique de *start-up* et création de nouveaux produits et services, baisse tendancielle des coûts et perception globale que l'espace devient un secteur économique comme un autre. Ces tendances se traduisent par un nombre de satellites actifs multiplié par deux en 5 ans (1 250 en 2014 ; 2 118 en 2019). Cela tient surtout aux constellations privées (*Starlink*, *Planet Labs*) et, si, 11 pays sont reconnus comme puissances spatiales, 40 pays ont des programmes nationaux et plus de 100 États possèdent des satellites en nombre croissant.

Un « club » spatial dominé par les États-Unis

Les États-Unis sont la seule puissance qui maîtrise tous les aspects des activités spatiales. Concentrant 60 % des budgets spatiaux mondiaux et 80 % de l'activité spatiale militaire, ils disposent des satellites les plus performants techniquement. Au-delà, un premier groupe de pays se dégage, si l'on s'en réfère aux budgets investis, avec l'Europe, la Chine, la Russie, le Japon et l'Inde. Cette apparente similitude ne doit pas cacher les différences d'approche. Même s'il y a encore des caractéristiques liées à la place du spatial dans chaque pays, stratégiques pour la Russie et la Chine, civiles pour l'Inde et le Japon, on observe une place croissante de la dualité. Quant à l'Europe, sa position est singulière car coexistent trois pôles de politique spatiale : nationaux, ESA, et politique communautaire de l'UE. Un deuxième groupe se compose de puissances spatiales émergentes, typiquement l'Iran et les deux Corées. Récemment entrées dans le « club » (Iran 2009, Corée du Nord 2012, Corée du Sud 2013), il s'agit avant tout de démonstration de capacités. Enfin, des pays frappent à la porte mais des difficultés structurelles ou conjoncturelles obèrent le développement de leurs capacités de lancement (Brésil, Argentine).

Une croissance exponentielle des acteurs privés impactant le nombre d'États avec de satellites nationaux...

Bénéficiant de la croissance exponentielle d'une offre privée qui apporte aux pays clients des ouvertures pour exploiter la concurrence assez féroce et accélérer leur développement national, une part croissante de pays se dote de satellites. Parallèlement, l'émergence des Cubesats et des COTS en accès libre permettent l'acquisition de techniques spatiales à faible coût d'entrée avec de petites équipes et des budgets restreints. Deux logiques sont à l'œuvre : développer une filière nationale (Émirats arabes unis, Brésil) ou achat sur étagère pour des applications civiles (Angola, Éthiopie) ou militaires (Maroc, Chili).

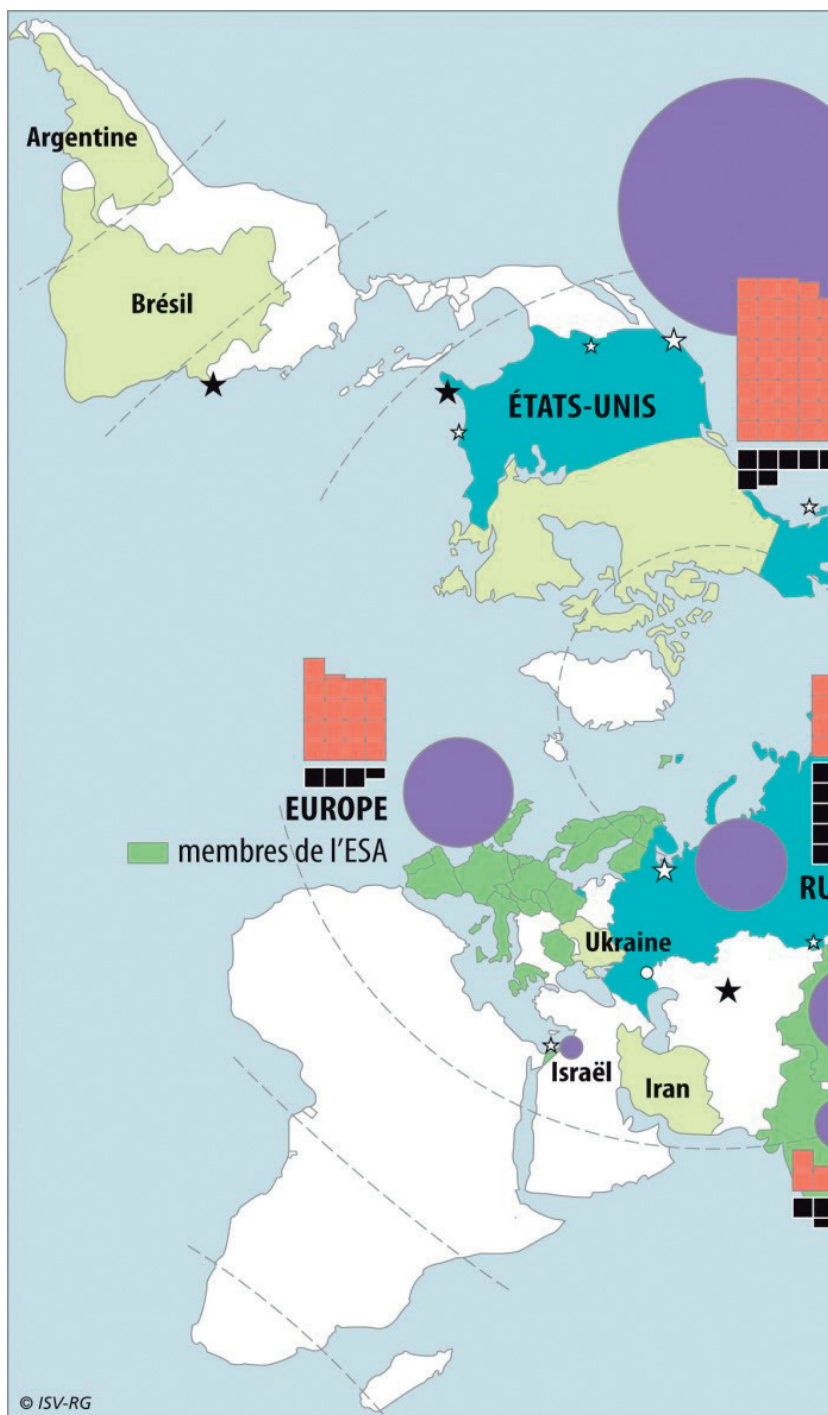
... mais également la filière des lanceurs

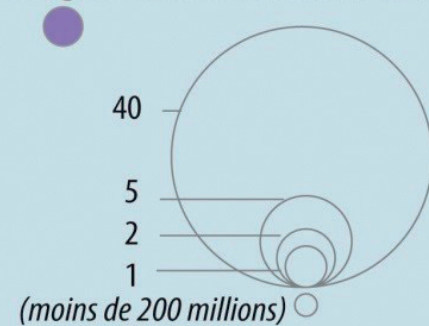
On note ainsi une multiplication de projets de petits lanceurs issus d'acteurs privés, secteur historiquement régalien. Anticipant sur une forte croissance de la demande pour le lancement de petits satellites, ils ont l'ambition de « normaliser » le secteur. Née aux États-Unis, cette tendance se diffuse dans le monde, y compris en Chine dont le spatial est sous fort contrôle étatique. À titre d'exemple, pas moins de 30 projets sont recensés en Europe.

Et des domaines stratégiques comme la SSA

La connaissance de la situation spatiale pour protéger les installations spatiales et prévenir toute mise en danger est un enjeu politique et stratégique majeur car conditionnant l'exercice de la souveraineté. Le développement de capacités dans ce domaine apparaît comme l'une des priorités pour les principales puissances spatiales, au premier rang desquelles les États-Unis, qui possèdent le système le plus complet. Or, une partie des données est aujourd'hui détenue par des acteurs privés (Analytical Graphics Inc. (USA), GEOtracker d'Arianegroup) disposant de capteurs optiques et de radars disposés partout dans le monde, formant des réseaux privés.

La notion d'acteur recouvre donc un paysage très contrasté avec deux dynamiques principales en cours : une utilisation croissante de l'espace par de nouveaux pays et une irruption du secteur privé dans tous les secteurs du domaine spatial, même ceux qui sont les plus en lien avec la sécurité nationale et internationale.

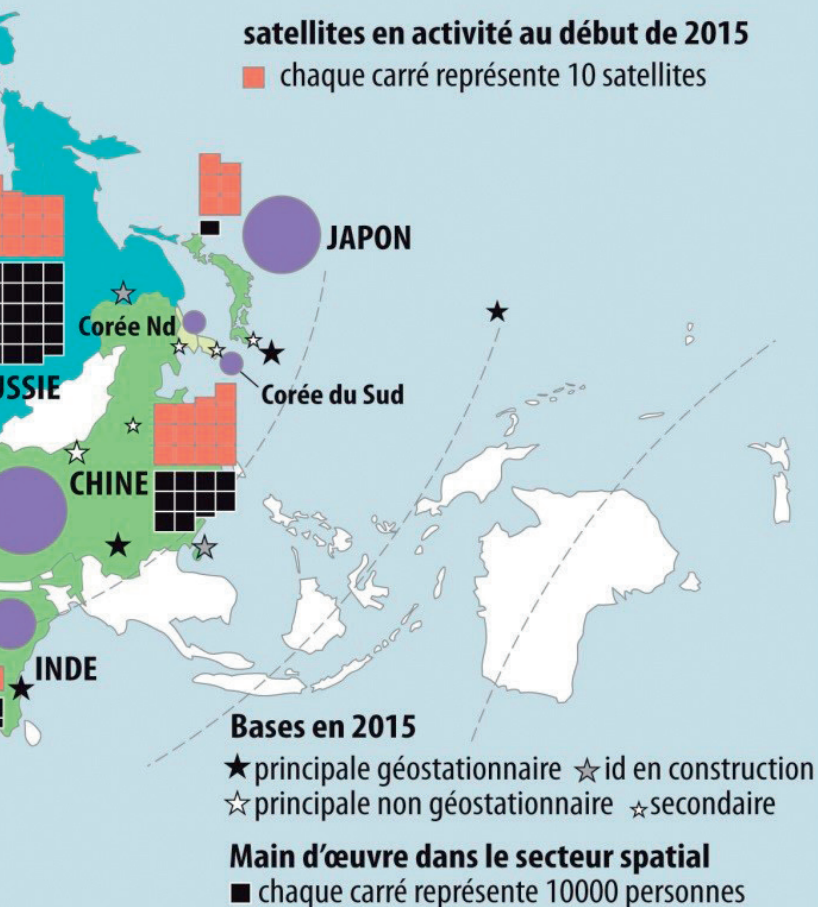


Budgets en 2015 en milliards de dollars**part du budget spatial dans le PNB**

moins de 0,25 ‰ de 0,4 à 2 ‰ plus de 2 ‰

satellites en activité au début de 2015

chaque carré représente 10 satellites



Espace : une hégémonie américaine ?

Y a-t-il une hégémonie spatiale américaine⁽¹⁾ ? *A priori*, la réponse est entendue. Depuis la fin de la guerre froide, l'effort spatial américain existe à part, en cela qu'il grossit au risque de l'hypertrophie la suprématie déjà globale des États-Unis sur le reste du monde, tout autant qu'il en constitue l'un des piliers. Aucun pays ne bénéficie à ce point des avantages militaires, économiques et sociétaux que procurent les satellites.

Aucun autre non plus n'a autant investi, et sur une durée aussi longue. Cela est manifeste du point de vue matériel (ainsi du budget, qui demeure aujourd'hui encore supérieur à celui cumulé du reste du monde). Cela l'est aussi du point de vue plus symbolique (intensité de l'investissement émotionnel et identitaire).

Deux axes structurants émergent et participent de fait à entretenir l'écart avec les autres pays. Le premier est le développement de l'espace militaire, qui est devenu indispensable à la façon même de faire la guerre américaine. Le second est l'exploration spatiale habitée, dont le soutien constant, quoique plus perméable aux aléas politiques, repose en grande partie sur la capacité de la NASA à se donner un rôle.

La puissance, au sens où nous parlons des fondamentaux *hard* et *soft* de la puissance ou encore des ressources accumulées par un État, ne fait néanmoins pas l'influence. Elle renvoie de fait ici à la primauté et relève à ce titre de la contrainte ou du calcul. Elle peut donc provoquer une résistance. Pour cette raison, elle doit être distinguée de l'hégémonie, notion qui suivant l'étymologie grecque évoque davantage une logique d'obligation au sens social du terme. L'hégémon – littéralement, celui qui commande – est d'abord une autorité reconnue et acceptée avant d'être le plus fort ou le mieux doté.

Dans ces conditions, la question liminaire est en réalité double.

Elle consiste d'abord à interroger le degré d'aspiration des États-Unis à incarner cette hégémonie. Au vu de l'obsession à apparaître comme le « *leader* », cette ambition ne fait aucun doute, du moins pour l'observateur extérieur. Car le sentiment outre-Atlantique est paradoxalement qu'il n'y a pas de stratégie guidant la politique spatiale américaine, mais une pluralité d'intérêts, de motivations et d'acteurs évoluant de manière souvent

non coordonnée voire concurrente (la Maison-Blanche, le Bureau exécutif du président, les départements et agences exécutifs, les deux chambres du Congrès, les industriels...).

Un trait pourtant distinctif de la démarche américaine réside dans la capacité sans équivalent à organiser et renouveler ses efforts pour être une puissance spatiale efficace, c'est-à-dire influente : il n'y a pas de « *leader* » sans « *suiveurs* ». Le *New Space* apparaît, dans cette perspective, comme la dernière incarnation d'une tendance déjà à l'œuvre après la fin de la guerre froide. L'Amérique, désireuse d'adapter son outil spatial au nouvel environnement géopolitique, avait alors décidé de pratiquer une politique d'ouverture inédite (invitation de la Russie à participer à la Station spatiale internationale, libéralisation de l'observation de la Terre et des télécommunications, ouverture du signal GPS...) afin de mieux structurer l'activité mondiale et orienter celle de ses alliés, partenaires et éventuels concurrents.

Reste que le « *leadership* » des uns est aussi la « *space dominance* » des autres, ce qui pose une autre question liée à la soutenabilité de l'hégémonie. De ce point de vue, l'effort spatial américain, tout en traduisant une ambition organisatrice et normative évidente, se démarque aussi par la volonté, souvent maladroitement exprimée et dès lors contre-productive, de détention exclusive de certains outils et de refus de toute dépendance. La relation spatiale transatlantique a ainsi beau être étroite et ancienne, elle n'en reste pas moins colorée par la crainte, étayée par l'histoire (*Symphonie*, *Galileo*...), que le déséquilibre capacitaire ne soit synonyme d'abus.

L'hégémon n'est ni bienveillant ni malveillant. S'il est par nature intéressé au maintien de sa domination, il sait néanmoins au besoin reconnaître la soif d'autonomie des autres nations et agir avec modération en donnant l'apparence du consensus à ses actions. C'est cette contradiction inhérente à l'exercice hégémonique que l'actuelle administration est en train de mettre en lumière. Face aux agissements de la Russie et de la Chine et à la montée en puissance de nouveaux acteurs, la tentation est grande de préférer les gains de court terme et d'opter pour le recours solitaire à la puissance brute au détriment des outils d'influence.

1. Nous renvoyons le lecteur intéressé à notre thèse de doctorat dont est inspiré cet article. Voir Guilhem Penent, *L'Amérique en orbite, ou l'anomalie de la sous-arsenalisation de l'espace depuis la fin de la guerre froide. Une analyse réaliste réflexive*, université de Bordeaux, octobre 2017.

La construction de la puissance spatiale chinoise

Érigée par les États-Unis comme leur seul concurrent potentiel, la Chine est désormais perçue comme une puissance spatiale aux ambitions sans limites. Cette perception fait écho à l’affichage d’un nationalisme chinois de plus en plus net alors que l’exploration spatiale – qui fait la une de l’actualité avec les vols habités et les projets lunaires – illustre parfaitement le slogan du « rêve chinois » mis en avant par Xi Jinping.

De fait, les progrès techniques impressionnants de la Chine s’inscrivent dans la durée puisque c’est avant même le lancement de *Spoutnik*, en 1956, que le Comité central du Parti communiste chinois fonde la 5^e Académie chargée de développer un programme de missile et lanceur.

L’état scientifique et technique du pays et les bouleversements de la Révolution culturelle retardent le lancement du premier satellite. Il a lieu le 24 avril 1970 alors que la marche sur la Lune des astronautes américains signe la fin de la course avec l’URSS.

Isolée sur la scène internationale et ne comptant que sur ses propres forces, la Chine met une vingtaine d’années pour acquérir un socle diversifié de compétences spatiales en privilégiant les satellites d’application (observation de la Terre et télécommunications) destinés à contribuer au développement du pays en suppléant à l’absence d’infrastructures terrestres.

La fin de l’Union soviétique en 1991 est l’occasion pour Pékin de reprendre ses projets de vols habités en obtenant à moindre coût des transferts de techniques éprouvées. En parallèle, les années 1990 marquent la confirmation des progrès chinois et le lancement d’un nombre croissant de satellites gouvernementaux. Le rôle de l’Armée populaire de libération (APL) reste limité aux lancements, l’acteur principal étant la COSTIND, entité chargée de l’ensemble des programmes scientifiques, techniques et industriels pour la Défense nationale.

Le lancement du premier taïkonaute en 2003 témoigne d’une nouvelle maturité du secteur spatial. La période de rattrapage initial se termine et la politique spatiale chinoise devient de plus en plus autonome, confortée par une réorganisation administrative. Les budgets augmentent progressivement tout en restant modestes (entre 10 % et 20 % du budget américain). La continuité des plans quinquennaux, l’intérêt de plus en plus reconnu comme stratégique des applications spatiales contribuent à la montée en puissance

régulière des deux grandes entreprises d'État, la CASC et la CASIC atteignant progressivement les standards internationaux.

Soutenues par des besoins en croissance incluant une dimension militaire de plus en plus diversifiée, les activités spatiales se normalisent avec une nouvelle répartition des responsabilités

entre ministères civils et APL. De nouveaux lanceurs sont en développement, ainsi qu'une base spatiale à Wenchang sur la côte, rompant avec la tradition des bases construites dans la profondeur du territoire pour des raisons de sécurité nationale. Toujours isolée, les États-Unis veillant soigneusement à l'interdiction de transferts de techniques depuis le rapport Cox (1998), la Chine propose progressivement une offre à d'autres États en voie de développement et se donne les moyens d'un *leadership* régional.

Les années 2010 confirment l'importance de la Chine sur la scène spatiale. Elle ne cache pas sa volonté de s'affirmer au premier plan comme puissance mais ne précipite pas le rythme. Après le lancement de deux stations spatiales *Tiangong* de taille plus modeste, temporairement occupées en 2012 et 2013, la mise en service d'une nouvelle station plus ambitieuse est annoncée pour 2022. Effet de coïncidence, la fin de vie de la Station spatiale internationale (ISS) fait caisse de résonance, la Chine annonçant, elle, aux Nations unies son ouverture à la coopération internationale. De même, alors que la Chine entreprend de s'aguerrir aux expéditions lunaires avec le retour d'échantillons de la face cachée fin 2020, les indécisions sur les missions américaine *Artémis* et russe *Luna 25* créent un contraste frappant et renforcent le sentiment d'un soutien politique national sans faille, oubliant qu'il reste modeste dans les budgets (environ 1/4 du budget américain total).

De fait, ce sont l'ampleur et la diversité des besoins nationaux qui représentent l'élément décisif de stabilité dans la politique spatiale chinoise. Celle-ci se caractérise désormais par une séparation plus nette entre acteurs civils et militaires, ces derniers disposant d'un nombre croissant de satellites d'observation, d'écoute électronique et de télécommunications dédiés, même si le système de navigation *Beidou* reste dual. Elle prend aussi en compte les changements du paysage spatial, favorisant à son tour le spatial commercial comme « *New Space* » aux caractéristiques chinoises.



DR

Les bases de lancement spatial : entre reliques du passé et infrastructures du futur

Les bases de lancement spatial sont des atouts essentiels pour les puissances spatiales. On recense plus de 36 bases de lancement orbital dans le monde, dont certaines sont temporaires ou mobiles, comme la plateforme *Sea Launch*, voire des sous-marins lanceurs d'engins utilisés pour des lancements de petits satellites. 17 pays abritent ou ont abrité des bases de lancement, parfois abandonnées aujourd'hui.

Elles ont souvent une origine militaire, servant au départ à tester des missiles intercontinentaux équipés de bombes nucléaires. Les bases les plus évoluées sont équipées pour lancer des humains dans l'espace : on compte à ce titre trois bases au monde, le Kennedy Space Center aux États-Unis, le cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan et le centre spatial de Jiuquan en Chine.

Les conditions nécessaires aux opérations spatiales impliquent une localisation géographique particulière : la proximité de l'équateur est une condition pour les centres spatiaux destinés au lancement de satellites en orbite géostationnaire ou aux vols habités afin de profiter de l'« effet de fronde » procuré par la rotation de la Terre, qui permet de satelliser une masse plus importante lorsqu'ils sont lancés vers l'est. Ces centres sont souvent situés en plein désert ou près des côtes afin d'éviter la chute d'étages de lanceur sur les populations civiles. Pour les mêmes raisons, auxquelles s'ajoutent des besoins de confidentialité, ils sont souvent situés dans des régions isolées. Une exception notable à ces conditions est le centre spatial de Xichang, dont les lanceurs larguent régulièrement leurs *boosters* sur des zones habitées situées sur leur trajectoire.

Étant situés dans des zones isolées, ils ont parfois une importance démesurée dans l'économie locale par rapport au volume d'affaires qu'ils produisent. Ainsi le Centre spatial guyanais est à lui seul responsable de 15 % de la valeur ajoutée de la Guyane française, toutefois en baisse par rapport à 28 % en 1990.

Ces centres sont au cœur des enjeux économiques du spatial. Leur volume d'activité est en effet directement influencé par la bonne santé de l'économie spatiale. À titre d'exemple, la fin du programme de navettes spatiales en 2011 avait engendré la perte de 9 000 emplois directs et 14 000 emplois indirects autour du Kennedy Space Center. Le regain d'activité au Centre spatial a depuis permis d'inverser la tendance.

Une conséquence notable du mouvement « *New Space* » est la multiplication des centres de lancement spatial à travers le monde. Cette tendance

est particulièrement notable aux États-Unis, où 11 bases de lancement sont répertoriées par la FAA, dont certaines ont eu une activité spatiale très limitée et parmi lesquelles 5 n'ont jamais vu le lancement ni l'atterrissage d'un vaisseau spatial. Le phénomène n'est pas limité aux États-Unis, car de nombreux autres centres de lancement sont en projet, comme dans le nord de l'Écosse ou aux îles Canaries.

Ces projets sont généralement la conséquence des ambitions d'entreprises privées, qui ont requis des investissements publics pour concevoir des centres de lancement dédiés à leurs activités. Certaines de ces infrastructures, souvent situées sur l'emprise d'aéroports, ont été achevées avant la faillite de ces entreprises. D'autres se sont développées avec succès, à l'image du centre de lancement de Rocket Lab sur la péninsule de Mahia en Nouvelle-Zélande, qui a depuis 2016 accueilli 11 lancements du petit lanceur *Electron*.

Les centres spatiaux sont également au centre des enjeux géopolitiques mondiaux. Infrastructures lourdes, ils ne peuvent être facilement remplacés s'ils devenaient inaccessibles. Le meilleur exemple est le cosmodrome de Baïkonour sur le territoire du Kazakhstan, auparavant partie de l'URSS. Ce centre spatial constitue actuellement le seul moyen pour les cosmonautes d'accéder à la station spatiale internationale (ISS) depuis l'arrêt de la navette spatiale. Il est également nécessaire à la continuité des opérations sur l'ISS par l'envoi régulier de cargos de ravitaillement, ainsi qu'au programme spatial russe.

Baïkonour est au cœur des problèmes de l'industrie spatiale russe. Ses infrastructures sont anciennes et sa gestion est entachée de scandales de corruption. Des activistes écologiques protestent également contre l'utilisation du centre spatial en raison de la toxicité des carburants utilisés par certains lanceurs.

La Russie a loué les infrastructures de Baïkonour jusqu'en 2050. Pour réduire sa dépendance au cosmodrome, la Russie a entrepris la construction d'un nouveau centre de lancement dans l'est de son territoire national, à Vostochny. Bien qu'il représente une possibilité de coopération spatiale accrue avec la Chine voisine, le projet a pris du retard et a dépassé son budget. L'avenir de Baïkonour est de plus menacé par le développement de nouveaux véhicules de vol habités aux États-Unis, qui pourraient remettre en question la dépendance mondiale au centre spatial kazakh.

On peut donc noter que, malgré le développement de nouveaux centres spatiaux à travers le monde, les centres historiques conçus dans les années 1950 et 1960 sont toujours les plus importants du monde et restent des infrastructures essentielles sur lesquelles le futur du secteur spatial continue de s'appuyer.

Les nouveaux acteurs du spatial : nouvelle économie ou rééquilibrage sur les marchés existants ?

Bien que de nombreux nouveaux acteurs industriels aient émergé dans le domaine spatial au cours des deux dernières décennies, il semble exister un écart persistant entre leurs ambitions et les besoins réels du marché.

L'acteur le plus connu de ce mouvement est *SpaceX*, fondé par l'entrepreneur Elon Musk avec pour objectif une installation humaine durable sur la planète Mars. *SpaceX* a tiré son lanceur spatial *Falcon 9* pour la première fois il y a dix ans en mars 2010. L'évolution de ce lanceur a fasciné par sa capacité, dans une version ultérieure, de faire atterrir son premier étage afin qu'il soit réutilisé.

Succès technique, *Falcon 9* a également été un succès économique. La fin de la navette spatiale américaine en 2011 a créé un nouveau marché de ravitaillement de la Station spatiale internationale dont le lanceur a bénéficié. Pour les lancements de satellites institutionnels américains, *Lockheed Martin* et *Boeing* avaient établi en 2006 le consortium *United Launch Alliance* qui disposait d'un monopole de fait. Cette situation était inconfortable pour le gouvernement américain qui souhaitait l'émergence d'un nouvel acteur sur ce secteur afin de pousser les prix à la baisse. Sur le segment des télécommunications commerciales, la fusée *Ariane* maintenait son *leadership* tandis que ses concurrents russes souffraient d'un manque de fiabilité important, ouvrant la porte à une nouvelle offre concurrente.

Le succès de *SpaceX* est donc dû à la fois aux qualités propres de l'entreprise mais également au contexte dans lequel elle a émergé, qui a favorisé son adoption par de nombreux clients. Par comparaison, le contexte actuel ne semble pas aussi propice à l'émergence de nouvelles offres commerciales.

Il apparaît en effet que l'émergence de nouveaux marchés-cibles pour les acteurs les plus récents tarde à apparaître. La plupart des revenus du domaine spatial provient toujours de financements publics, utilisés pour mettre en place des infrastructures satellitaires.

Dans le domaine des services commerciaux, la majorité des revenus provient de la fourniture de service de télévision, actuellement concurrencée par les applications Internet. En conséquence le domaine de la construction de satellites a été durement touché ces dernières années, passant de 24 commandes de satellites géostationnaires commerciaux en 2015 à seulement 5 en 2017.

Les satellites sont mal adaptés à la fourniture d'une couverture Internet en raison du coût et de la latence. Ils sont principalement utilisés pour relier à Inter-

net des endroits isolés non couverts par les réseaux terrestres et représentent actuellement moins de 1 % des abonnements dans la plupart des pays du monde.

Des solutions pour fournir une couverture Internet ont été imaginées par les opérateurs : des satellites à grande capacité (dits HTS pour *High Throughput Satellite*) ont été déployés ces dernières années, mais ne règlent pas le problème de la latence.

La technique qui suscite le plus d'espoir est celle des constellations en orbite basse, qui permettrait de relier des utilisateurs à Internet avec une faible latence. Cependant le coût de mise en place de ces infrastructures, en raison des centaines de satellites nécessaires pour assurer une couverture globale, peut rendre incertaine leur exploitation commerciale. Une des entreprises pionnières en la matière, *OneWeb*, a ainsi demandé le 27 mars 2020 au tribunal des faillites la protection du chapitre 11 dans le but de vendre ses activités. Bien que cette faillite puisse être liée aux perturbations dues au Covid-19, cet événement crée une incertitude pour les autres projets de constellation commerciales, comme le projet *Starlink* de *Space X* ou le projet *Kuiper* de l'entreprise *Amazon*.

Ces dernières années ont vu de nombreux projets abandonnés en raison d'un manque de financement ou de perspective commerciale. Ainsi les entreprises de tourisme suborbital, dont la faisabilité technique avait été démontrée par le vol de *Spaceship One* en 2004, n'ont toujours pas fait voler de client. L'idée d'exploitation minière d'astéroïdes a été poussée par deux entreprises américaines, *Planetary Resources* et *Deep Space Industries*, qui ont même réussi à obtenir un changement de la législation américaine en 2015 pour autoriser ce type d'activité. *Planetary Resources* a été rachetée en 2018 et *Deep Space Industries* en 2019 et se concentrent désormais sur des activités sans lien avec l'exploitation minière d'astéroïdes.

Il ne faut donc pas pronostiquer que le segment commercial représente l'avenir du spatial à brève échéance. Parallèlement, on constate ces dernières années une augmentation modérée des investissements publics dans le spatial. De nouvelles tendances se font jour : reprise des programmes habités ambitieux, progressive militarisation de l'espace⁽¹⁾, modernisation et digitalisation de capacités existantes, qui devraient constituer la majorité des évolutions du domaine spatial durant les prochaines années.

1. La militarisation de l'espace décrit l'évolution politique de la perception de l'espace en tant que potentiel théâtre de conflits futurs. On peut citer comme manifestations récentes les tests antisatellites conduits depuis 2007 par la Chine, les USA et l'Inde, ainsi que la création de l'*US Space Force* et le Commandement de l'Espace français en 2019.

Les enjeux du *New Space*

Fruit d'une évolution ayant débuté à la fin des années 1990, le *New Space* est une tendance de fond du secteur spatial mise en lumière lors de la décennie 2010. Ce phénomène se traduit par une multiplication du nombre d'acteurs privés entrant sur le marché qui, bénéficiant de la miniaturisation des techniques et de la réduction du coût des lancements, proposent des services à moindre prix.

Au-delà de ces considérations générales, le *New Space* se caractérise par six grandes tendances⁽¹⁾:

- l'apparition de nouveaux entrants et d'entrepreneurs, y compris ne venant pas du secteur spatial ;
- la mise en œuvre d'approches industrielles innovantes, notamment au niveau des processus de production (ex. : production en masse, standardisation des satellites) ;
- des offres commerciales disruptives (ex. : fourniture de services « *end-to-end* ») ;
- une conception verticale de l'industrie (ex. : une entreprise construit les satellites qu'elle opère) et la création de nouveaux marchés à travers de nouvelles applications ;
- un investissement privé considérable et diversifié ;
- un rôle de soutien des acteurs publics, ou un partage des coûts avec des partenaires privés.

Le *New Space* vient des États-Unis et reste principalement développé dans ce pays. Un facteur majeur de son irruption a été le choix de la NASA en 2008 de ravitailler la Station spatiale internationale en achetant un service à des entreprises privées, plutôt que de développer ses propres capsules. Cependant, d'autres régions du monde se sont également inscrites dans ce mouvement. Ainsi, en Europe, l'ESA promeut les *start-up* spatiales à travers plusieurs programmes. En Chine, des mesures ont été prises en 2014 afin d'encourager le financement d'entreprises du spatial par des investissements privés, menant à une multiplication des projets de développement de petits lanceurs.

Cette arrivée massive des acteurs privés a des conséquences importantes sur le secteur spatial.

D'une part, elle crée une nouvelle concurrence pour les acteurs traditionnels et bouleverse l'environnement industriel. Ainsi, les entreprises du *New Space* réduisent leurs coûts en utilisant des techniques achetées « sur étagère », plutôt que d'en développer de nouvelles, et en standardisant leurs processus

de production. Nombre de ces entreprises sont à la fois fournisseur de services *via* les satellites qu'elles opèrent et fabricant de leurs propres satellites. Ce mode de gestion vertical est un risque pour les manufacturiers. Cependant, ces derniers ont su réagir en adaptant leur offre (par exemple, en proposant des satellites plus polyvalents) ou en s'associant avec ces nouveaux compétiteurs.

D'autre part, la baisse des coûts permet à un nombre croissant d'acteurs d'envoyer leurs propres satellites en orbite. Ainsi, des États, des universités, des *start-up*, profitent de la démocratisation de l'accès à l'espace, et du développement des *Cubesats*, petits satellites (une dizaine de kilogrammes) faciles à produire et peu chers, afin d'envoyer leurs propres systèmes en orbite. Le concept de méga-constellation de petits satellites s'est également répandu : dans le domaine de l'imagerie spatiale, les entreprises *Planet* et *Spire* possèdent chacune plus de cent satellites en orbite ; dans le domaine des télécommunications, *SpaceX* a commencé le déploiement de sa constellation *Starlink*, pour laquelle elle a obtenu le droit de lancer 12 000 satellites (et potentiellement jusqu'à 30 000 de plus) ; de manière similaire, *Amazon* a annoncé en 2019 le projet *Kuiper* et ses 3 000 satellites. Mais la multiplication des objets spatiaux augmente la congestion des orbites et les probabilités de collision. En effet, au regard du nombre élevé de ces constellations, si 1 % de ces satellites devenait hors contrôle, le nombre de débris spatiaux augmenterait gravement. Le risque est d'aboutir au « syndrome de Kessler » par lequel la multiplication des débris spatiaux provoque de nombreuses collisions qui elles-mêmes créent des débris, allant jusqu'à rendre certaines orbites inutilisables.

Certaines réserves sont également à noter sur le phénomène du *New Space*. Tout d'abord, les modèles économiques de ces entreprises ne sont pas toujours solides : ainsi, *OneWeb*, une figure majeure du *New Space* préparant une méga-constellation de près de 700 satellites de communications, a déclaré faillite en mars 2020 du fait d'un manque de financement. Ensuite, la multiplication des acteurs privés ne signifie pas le déclin des acteurs publics. Certains domaines tels que la science ou la recherche fondamentale sont épargnés par cette tendance. De plus, les organisations publiques sont un soutien du *New Space*, notamment en étant d'importants clients. Plus qu'à leur disparition, le *New Space* conduira donc à une transformation des relations qui donnera plus de responsabilités à l'industrie.

1. European Space Policy Institute, *Space Venture Europe* 2018, février 2019. Source : <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports>

Le droit spatial a-t-il une réelle incidence sur les acteurs ?

Qu'entend-on par « droit spatial », par « incidence » et bien sûr par « acteurs » (1) ? Pour maintenir la réflexion à ses principes essentiels on verra que l'incidence du droit de l'espace sur les acteurs est réelle (2), mais qu'elle rencontre certaines limites (3).

Définition des concepts pertinents

Le droit de l'espace est l'ensemble des règles applicables aux activités spatiales. Elles sont internationales, comme le traité sur l'Espace de 1967, ou nationales, comme la loi relative aux opérations spatiales de 2008. Elles peuvent avoir force obligatoire ou non, comme les lignes de conduite relatives à la réduction des débris spatiaux. Les textes de droit international sont marqués d'une certaine vétusté, les normes nationales, elles, sont en plein essor. De même, l'émergence de normes non contraignantes est le signe d'un besoin de droit, dépassant les blocages que l'on observe dans l'adaptation du droit à l'évolution des activités spatiales.

L'incidence du droit de l'espace se comprend comme sa capacité à garder sous son emprise les activités des acteurs : il faut qu'elles soient applicables et qu'elles ne puissent pas être contournées.

Deux types d'acteurs peuvent être identifiés : les acteurs étatiques, ou paraétatiques. On y compte bien sûr les États, mais aussi les organisations internationales. Les acteurs non étatiques, principalement les entreprises privées. Leur qualité ne se confond pas avec leurs fonctions : ainsi les États sont créateurs de droit mais peuvent aussi être opérateurs. Les organisations internationales peuvent être des forums de coordination, mais aussi des acteurs effectifs, comme l'Agence spatiale européenne.

L'emprise du droit de l'espace sur les acteurs

De manière générale les États respectent le droit international, dont le droit spatial. De nature contractuelle, ces règles ont pour auteurs les États qui les adoptent, parcimonieusement, afin de régler les problèmes effectifs ou potentiels qu'ils peuvent rencontrer vis-à-vis des autres États. Le respect du droit par un État est sa première garantie de voir les autres États le res-

pecter aussi. Le droit de l'espace a donc une réelle incidence sur les acteurs étatiques ou quasi-étatiques, puisque son non-respect entraînerait *in fine* une situation « perdant-perdant ».

Le droit interne, lui, s'impose de manière verticale aux acteurs sub-étatiques, et fonctionne sur la base d'un système de sanctions. La situation est donc plus subtile car ils ne sont pas directement destinataires des normes de droit international spatial. Le « droit spatial » pour eux, est la « traduction », dans le système juridique national auquel ils sont soumis, des obligations issues du droit international auquel l'État a agréé. Encore faut-il qu'il y agréé, et que cette intégration des règles se fasse conformément aux textes.

Les limites de l'emprise du droit de l'espace sur les acteurs

– Le droit « mal posé » : une des difficultés primaires de l'applicabilité du droit de l'espace est une absence de définition de certains concepts pertinents, comme la frontière entre l'espace atmosphérique et l'espace extra-atmosphérique ; ou des définitions entraînant de grandes difficultés d'application, comme la notion d'État de lancement (qui peut inclure en même temps plusieurs États) ou la notion d'objet spatial (qui ne fait pas de distinction entre objets actifs et débris).

– Le vide juridique : les règles posées à l'époque de l'adoption des traités sont parfois dépassées par l'évolution des activités spatiales. Elles ne sont pas toujours en mesure de répondre aux problématiques actuelles. Par exemple la question des débris fait l'objet de simples lignes de conduite, certes bien respectées, mais qui n'ont pas caractère obligatoire. La situation des armes autres que de destruction massive est aussi une question non résolue.

– Le contournement volontaire du système normatif : si pour l'instant il n'y a pas de phénomène de pavillon de complaisance dans l'espace, plusieurs affaires ont révélé cette possibilité⁽¹⁾. La pression concurrentielle grandissante et la place sans cesse plus importante de l'initiative privée pourrait tendre à rendre moins pertinente la politique du « bon élève ». La tentation pourrait exister pour un État cherchant à développer un marché spatial de ne pas agréer pleinement au droit spatial international, arguant par exemple de son incomplétude ou de son manque de pertinence à l'heure actuelle. Pour une entreprise, il peut y avoir un avantage concurrentiel non négligeable à ne pas être soumise à un régime juridique trop strict, lequel induit des coûts importants.

1. Cf. en particulier l'affaire du royaume du Tonga, dans les années 1990.

L'espace, outil et théâtre d'opérations

Dès les premières missions spatiales, à partir des années 1950, la conflictualité, même symbolique, n'est pas exclue. Aujourd'hui, l'espace est devenu un outil technique stratégique, ce qui, avec les enjeux d'exploitation spatiale, en fait un véritable théâtre d'opérations.

Les prémices de la conquête spatiale

Grâce aux prouesses techniques dérivées des missiles balistiques pendant la deuxième partie du xx^e siècle, la conquête spatiale est un des objectifs premiers des puissances qui s'affrontent pendant cette période. L'ambition n'est pas de s'installer, de durer ou de se servir de ce « nouveau » milieu, c'est un but à atteindre, jusqu'où pousser la découverte scientifique, avec une rude concurrence. L'Union soviétique parvient à placer dès 1957 un objet en orbite autour de la Terre, le satellite *Spoutnik*, et effectue les premiers vols habités avec la chienne Laïka puis le cosmonaute Youri Gagarine. Le 21 juillet 1969, l'astronaute américain Neil Armstrong marche sur la Lune. Encore aujourd'hui, la conquête spatiale est toujours symbolique. La Chine l'a démontré en janvier 2019, en alunissant sur la face cachée de ce satellite de la Terre. Mais depuis les années 1990, avec le rôle grandissant des moyens spatiaux en opérations militaires, notamment depuis la guerre du Golfe, l'espace renforce sa dimension d'utilité et devient un moyen stratégique essentiel.

Les enjeux de conflictualité dans l'espace

Aujourd'hui chaque mission spatiale est motivée par des objectifs commerciaux ou des besoins stratégiques spécifiques. L'espace est incontournable avec le développement de techniques : navigation satellitaire, imagerie, télécommunications, alerte antimissile, mais aussi dans la recherche scientifique, les missions d'exploration et d'exploitation spatiale. C'est un espace stratégique où la non-souveraineté, en règle depuis le traité de l'Espace de 1967, est contrebalancée par le principe de liberté d'utilisation. Apparaît également une volonté croissante d'exploitation des ressources de l'espace, *in situ* ou pour une exportation sur Terre. De plus en plus d'États assument officiellement cette posture ; les États-Unis avec le *Space Act* de 2015, la Chine avec sa « route de la soie » spatiale pour 2050, mais aussi le Luxembourg, le Japon et l'Allemagne.

Cependant, si le traité de 1967 empêche l'arsenalisation de la Lune et la mise en orbite d'armes de destruction massive, l'espace, en tant que milieu à part entière, reste un champ de démonstration et de projection de la puissance des États.

Opérer grâce à et dans l'espace⁽¹⁾

« *Grâce à l'espace* » illustre le rôle incontournable des outils spatiaux dans les opérations militaires. L'espace améliore la connaissance, la planification et le déroulement des opérations, notamment militaires, menées sur terre par chaque État. Ces outils permettent par exemple de créer un réseau reliant entre elles toutes les composantes militaires qu'une ou plusieurs puissances projettent sur un théâtre.

« *Dans l'espace* », les États mettent en œuvre une double stratégie. Ils doivent s'y projeter et durer, mais aussi développer et protéger les moyens géospatiaux qu'ils y déploient. La surveillance spatiale permet de se défendre contre les menaces récurrentes de ce milieu, que ce soit la multiplication du nombre de débris en orbite, ou le développement des techniques de missiles antisatellites, pour l'instant officiellement réservées à la destruction d'objets obsolètes.

Cette militarisation de l'espace ne concerne pas seulement la mise en orbite de satellites militaires. L'espace devient un théâtre d'opérations spatiales élaborées et mises-en-œuvre par les États. Florence Parly, en dénonçant en 2017 les tentatives d'espionnage du satellite d'écoute russe *Luch-Olymp* contre le satellite militaire franco-italien de télécommunications *Athena-Fidus*, a précisé que les services français compétents avaient fait le nécessaire, ayant vu venir cet espion. Les opérations spatiales, en matière de soutien, de surveillance, d'appui aux opérations au sol ou d'action dans l'espace, demandent une anticipation, une gestion de l'action à mener pour répondre à une menace définie. Elles sont d'autant plus nécessaires que, sans cette défense spatiale, les opérations menées sur terre, dépendantes des réseaux spatiaux, seraient compromises. Chaque État reconnaît alors sa dépendance, non seulement militaire mais aussi civile, aux outils spatiaux.

Opérer grâce à et dans l'espace : ces deux termes sont de plus en plus indissociables et indispensables à l'efficacité d'une stratégie spatiale de défense, à l'instar de la France, qui publie une telle stratégie en juillet 2019. Chaque puissance connaît sa profonde dépendance aux systèmes issus des techniques spatiales, mais chacun n'a pas les moyens de mesurer et d'assurer leur sécurité en orbite.

1. Déclaration sur la défense spatiale du ministre des Armées Florence Parly le 7 septembre 2018.

Course aux armements dans l'espace : phénomène ancien, modalités nouvelles

La conquête de l'espace, marquée par la mise en orbite du satellite soviétique *Sputnik* le 4 octobre 1957, est avant tout militaire. La militarisation de l'espace désigne alors l'utilisation de ce milieu à des fins militaires mais non offensives. L'activité spatiale pendant la guerre froide est intimement liée au développement des vecteurs balistiques intercontinentaux, notamment ceux armés de têtes nucléaires. Ces derniers sont un sujet de préoccupation pour les deux Grands dans la mesure où ils pourraient être mis en orbite. D'un commun accord, cette menace est écartée en 1967 par le traité de l'Espace⁽¹⁾ qui interdit tout placement d'armes de destruction massive en orbite. Mais ce garde-fou n'interdit en rien le développement d'armes dans l'espace. Dans ce cas-là, on parle d'*arsenalisation* de l'espace ou de *course aux armements* dans l'espace. Aucun texte juridique, et cela jusqu'à aujourd'hui, ne définit les armes spatiales. Le sujet est d'ailleurs complexe. N'importe quel objet spatial peut se transformer en arme par l'effet cinétique ou non cinétique délivré sur sa cible. Cette non-définition a permis aux États de développer des armes antisatellites (ASAT). Il peut s'agir d'armes placées dans l'espace ayant pour destination la Terre, d'armes embarquées (air) visant l'espace, d'armes espace-espace, d'armes partant du sol vers une cible dans l'espace, etc.

Le premier tir ASAT considéré comme réussi est réalisé par les Américains le 13 octobre 1959 contre le satellite *Explorer 6* à l'aide du missile *Bold Orion* lancé d'un bombardier *B-47*. Le missile est passé à quelques kilomètres du satellite. Équipé d'une tête nucléaire, il aurait atteint sa cible. Pendant les années 1960, les Américains ont également pensé l'utilisation des explosions nucléaires en haute altitude afin de détruire des satellites en orbite. Des tests sont réalisés en 1958 (opération *HardTack*). Un autre est mené en 1962, le *Starfish Prime*. L'impulsion électromagnétique endommage des satellites et interrompt les communications satellitaires au-dessus de l'océan Pacifique. Les armes à énergie dirigée, rendues possibles par la technique des lasers, sont un autre domaine de recherche relatif à l'armement dans l'espace. Côté soviétique, le projet de bombe orbitale est lancé en 1962. Une tentative de relance des projets ASAT a lieu sous la présidence de Ronald Reagan avec le programme désormais connu sous l'expression de « guerre des étoiles » ou

officiellement Initiative de défense stratégique en 1983. Enfin, en septembre 1985, un satellite est détruit en orbite grâce à un ASAT monté sur un corps de fusée, lui-même propulsé par un *F-15* modifié. Ce test et ses conséquences marquent le début de la prise de conscience du risque lié aux débris orbitaux. Plus tard, dès le début du mandat de George W. Bush, une relance des projets de type offensif dans l'espace est amorcée. Cette politique américaine est justifiée par les attentats du 11 septembre 2001. Le 21 février 2008, les Américains n'hésitent pas à démontrer que leur capacité de destruction d'un satellite en orbite par un missile est maintenue. Cette démonstration de force fait suite au même événement réalisé par les Chinois un an auparavant. En mars 2019, les Indiens ont également détruit un de leurs satellites à l'aide d'un missile. Les compétitions interétatiques continuent de s'exprimer *via* l'espace.

Ces démonstrations de puissance ne sont sciemment pas discrètes. Or, ce qui est en développement est davantage l'utilisation de moyens contre-espace discrets qui contribuent à dégrader les capacités des satellites, à en prendre le contrôle, voire à les rendre inopérants. Il s'agit du brouillage (depuis le sol mais également dans l'espace), des attaques électromagnétiques, des attaques cybernétiques ou encore des armes à énergie dirigée. Les pays les plus avancés en la matière sont les États-Unis, la Chine et la Russie. Ces capacités se développent proportionnellement à la dépendance des États aux utilisations de l'espace. Les satellites sont à présent le talon d'Achille des puissances spatiales.

En France, en 2017, la Revue stratégique de défense et de sécurité nationale souligne la difficulté actuelle de détection et d'attribution des actions antisatellites liée pour partie aux nouvelles techniques. En 2019, la stratégie spatiale de défense française ne s'interdit pas d'agir dans, depuis et vers l'espace et à y mener des opérations spatiales dans le but notamment de développer une défense active.

Pour sa part, l'OTAN a reconnu en décembre 2019 l'espace comme « domaine opérationnel ». Pour le moment, les espaces lunaire et lointain sont exempts de manœuvres hostiles. Néanmoins, le redoublement d'intérêt visant la Lune et sa (re)conquête font craindre une hausse des tensions.

1. Plus exactement il s'agit du traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes.

Opérations spatiales : transformations et défis pour l'armée de l'Air et de l'Espace

La vague de banalisation du spatial outre-Atlantique, le *New Space*, révolutionne le domaine au point que des équilibres stratégiques sont rompus. La France, puissance spatiale soucieuse de son autonomie, a répondu en 2019 avec sa Stratégie spatiale de défense (SSD). Parmi les mesures pour préserver ses intérêts dans ce nouveau contexte, l'implication de l'armée de l'Air et de l'Espace dans le spatial est renforcée pour préparer, à terme, de véritables capacités d'action en orbite.

Les opérations classiques

Les opérations spatiales essentielles sont la mise en orbite et le contrôle des satellites : lancement, mise à poste (passage de l'orbite d'injection à l'orbite de mission), réalisation de la mission *via* les « charges utiles », maintien à poste sur l'orbite prévue de la « plateforme » qui les porte, et désorbitation en fin de vie.

Dès la guerre froide, des opérations de rendez-vous entre objets sont réalisées en orbite (ravitaillement de stations spatiales), ainsi que des interceptions *exo-atmosphériques* avec les premières armes antisatellites.

La prolifération des objets en orbite aggravant les risques de collision, les manœuvres d'évitement sont devenues des opérations régulières. La surveillance de l'espace s'est imposée en appui de l'évaluation de ces risques, de même que pour suivre les capacités spatiales adverses et alliées. À l'instar de la surveillance aérienne, elle constitue à la fois un pan et un socle des opérations.

L'armée de l'air américaine est capable de réaliser toutes ces opérations. Le modèle français est à la fois plus rationalisé, entre civil et militaire, et plus fractionné, au sein des armées. Les capacités de lancement sont civiles, partagées entre industriels et agences européennes, avec un port spatial européen à Kourou protégé par les forces armées françaises. Le contrôle des satellites de défense est scindé entre l'opération des charges utiles par des militaires et l'opération des plateformes par le CNES (pour les satellites d'observation, défilant en orbites basses) ou des industriels du spatial (pour les télécommunications en orbites géostationnaires). L'armée de l'Air et de l'Espace, enfin, mène des opérations de surveillance de l'espace depuis le sol, qui sont complétées par des moyens de la DGA, du CNES ou encore des

services industriels.

Or, la SSD mentionne que « *l'évolution de la nature des opérations spatiales militaires amènera les armées à acquérir les compétences nécessaires pour opérer les objets spatiaux* ». L'armée de l'Air et de l'Espace deviendra donc, en particulier, l'opérateur des satellites de défense (les charges utiles restant dans leurs logiques « métier »). Mais ce n'est pas le seul changement à venir.

La révolution en orbite

Aujourd'hui, en France, les satellites de défense sont des bijoux techniques, uniques ou de très courtes séries, conçus pour fonctionner des années en orbite. Comme la quasi-totalité des satellites, ils sont disponibles en permanence, sur des orbites de mission uniques, télécommandés depuis des « segments sol opérateurs » envoyant leurs télémesures à des « segments sol utilisateurs ». Ce sont en quelque sorte des drones perpétuels, sans limites d'accès, mais aux plans de vols répétitifs, et régulièrement hors de portée de télécommandes. Leur caractère prédictif est par ailleurs exploité pour les surveiller depuis le sol et s'en protéger.

Or, dès maintenant, lanceurs réutilisables en séries, *cubesats*, propulsions électriques, communications inter-satellites, réorganisations industrielles convergent, bouleversant les coûts et les usages du spatial. Ce sont des projets d'essaims de satellites, de constellations 100 fois plus denses qu'auparavant, de satellite « jetables », plus manœuvrants, changeant d'orbite ou de cibles, en permanence à portée de nouveaux ordres. La situation spatiale deviendra infiniment plus complexe et surprenante, et nécessite déjà des capteurs en orbite. La crédibilité spatiale de la France et de l'Europe dépendra de leur appropriation de ces bouleversements.

Les enjeux à venir

Pour l'armée de l'Air et de l'Espace il s'agira de mettre en œuvre, avec les partenaires européens, les opérations de soutien, de connaissance et d'action spatiales en cohérence avec ces occasions et menaces. Ces opérations devront s'intégrer avec l'appui spatial d'ores et déjà existant. Toutes ensemble devront fonctionner comme un milieu à part entière pour garantir l'efficacité opérationnelle interarmées. Alors qu'aujourd'hui une opération militaire peut être contrainte d'attendre le passage d'un satellite d'appui, demain l'armée de l'Air et de l'Espace manœuvrera le satellite en fonction de l'opération, en toute sécurité dans le trafic spatial international.

Colonel Damien Gardien
armée de l'Air et de l'Espace

Ronald Reagan et l'Initiative de défense stratégique : l'espace pour dépasser la dissuasion



Ronald Reagan, dans son allocution télévisée du 23 mars 1983, exhorte la communauté scientifique américaine à rendre les armes nucléaires « impuissantes et obsolètes » en intensifiant les recherches sur les antimissiles. Le déploiement de systèmes défensifs doit déboucher sur une sortie de la dissuasion par la menace de destruction.

L'Initiative de défense stratégique (IDS) est lancée. Elle résulte de l'aversion du Président pour une dissuasion reposant sur la vulnérabilité des populations et de son espoir en un monde libéré de la menace nucléaire. De manière plus contingente, le lancement de l'IDS lui permet de reprendre l'initiative alors que le Congrès vient de refuser un nouveau déploiement d'ICBM et que monte une mobilisation contre les armes nucléaires.

Cet appel porte donc la marque personnelle du Président. Il surprend les responsables et les experts, au Pentagone comme au département d'État : ceux-ci ont appris la teneur du discours quelques jours auparavant. Et cette réorientation stratégique, qui se fonde sur des techniques dont les applications militaires ne sont pas encore validées, nourrit les critiques au Congrès comme dans une partie de la presse qui renvoie le projet de « guerre des étoiles » à la science-fiction. Il faut un an pour donner de la consistance à l'annonce présidentielle et confier le projet à une nouvelle agence : la SDIO, chargée d'allouer les crédits de recherche aux universités, laboratoires nationaux et firmes industrielles.

L'IDS mise sur les composantes spatiales et les énergies dirigées ; elle y associe des composantes terrestres et compte aussi sur l'interception par énergie cinétique. L'ambition est le déploiement d'une défense susceptible de détruire des engins durant toutes les phases de leur vol. Au cours du lancement, les missiles seraient frappés par des armes à énergie dirigée ou des armes à énergie cinétique placées en orbite. Des lasers au sol et des armes spatiales à énergie cinétique tenteraient ensuite de les détruire durant la phase intermédiaire. Enfin, des intercepteurs à énergie cinétique basés à terre fourniraient une

ultime barrière lors de la phase terminale. Très vite, il apparaît que les composantes les plus futuristes posent des problèmes immenses.

D'un point de vue doctrinal, l'IDS inspire des positions officielles contradictoires. Pour le Président, l'IDS prépare l'élimination des armes nucléaires en associant défense stratégique et négociations de désarmement : elle est le moyen de dépasser la dissuasion. On retrouve là une approche typique des conservateurs, qui critiquent la stabilité stratégique fondée sur la « destruction mutuelle assurée ». En revanche, les responsables du Pentagone – plus sceptiques – justifient l'IDS en se repliant sur des arguments compatibles avec la dissuasion : l'IDS la renforcerait en compliquant une première frappe ennemie. L'administration finit par mettre de l'ordre dans son discours en distinguant le but ultime du projet et son utilité intermédiaire.

Ce lancement de l'IDS s'inscrit dans l'affrontement avec l'URSS. Elle semble à même d'orienter la compétition vers des domaines d'excellence américains : la détection, l'informatique et les communications. L'IDS peut faire sentir à Moscou combien l'écart technique se creuse en sa défaveur. L'URSS exige donc des États-Unis le respect du traité ABM de 1972 qui, complété du protocole de 1974, limite les déploiements antimissiles à un site de 100 intercepteurs. Elle fait du maintien en laboratoire de l'IDS la condition à un grand accord de désarmement. Cela cause l'échec du sommet de Reykjavik en 1986 : Gorbatchev et Reagan y évoquent des options de désarmement audacieuses (une élimination des armes nucléaires en dix ans !) avant de se quitter sur un désaccord au sujet de l'IDS.

À la fin de la présidence Reagan, l'IDS reste controversée : les conservateurs la défendent avec conviction, les « faucons » la considèrent comme un atout à ménager, les libéraux la dénoncent comme dispendieuse et déstabilisante. Surtout, quand un premier déploiement est débattu, un écart immense apparaît entre les attentes de 1983 et les réalisations envisagées : un dispositif conçu pour intercepter une fraction d'une attaque massive ou une attaque accidentelle. Les plans ne retiennent que des intercepteurs à énergie cinétique au sol et dans l'espace. L'administration Bush se montre ensuite prudente. Sa priorité demeure la crédibilité de la dissuasion et l'IDS est réorientée contre les menaces de l'après-guerre froide. Clinton décide le coup d'arrêt dès 1993 : la SDIO est supprimée, la défense de théâtre devient la priorité et des coupes drastiques freinent les recherches. La relance d'un vigoureux programme antimissile attendra le retour des conservateurs au pouvoir avec George W. Bush en 2001.

Les expériences de tirs de missiles antisatellites dans le monde

Même s'il est né au siècle dernier, l'espace reste relativement nouveau et ne peut pas se prévaloir d'expériences de conflictualité de première main similaires aux autres domaines. Cela explique la difficulté à penser la « menace dans l'espace », en particulier compte tenu de l'inclination à recourir à des modes d'action réversibles et non cinétiques relativement discrets et ambigus (brouillage, éblouissement, cyber...) et à ce titre peu susceptibles de mettre leurs utilisateurs sous les feux des projecteurs.

Dans ce contexte, les expériences de tirs de missiles antisatellites (ASAT), facilement discernables du fait de la pollution qu'elles contribuent à créer, ont de quoi troubler. Non seulement plusieurs occurrences ont été observées par le passé – depuis la surface ou les airs (« *direct ascent* »), ou encore par capacité co-orbitale –, mais ces dernières années paraissent même indiquer une accélération. Alors que le test américain *Solwind* de 1985 semblait avoir fermé une parenthèse, pas moins de trois essais avec interception de la cible, et assumés comme tels, se sont succédés depuis 2007, avec une première démonstration de la Chine contre un de ses satellites, suivie par l'opération *Burnt Frost* américaine l'année suivante, puis par la mission indienne *Shakti* en mars 2019. Or, ce genre de destruction par collision en orbite a potentiellement des conséquences irréversibles et catastrophiques sur l'environnement spatial lui-même et paraît incompatible avec une utilisation durable de l'espace par tous, à commencer par les puissances détentrices qui sont aussi incidemment celles ayant le plus d'enjeux là-haut. Le tir de 2007 constitue ainsi un record avec une interception en haute altitude (865 km) qui a produit des milliers de débris de longue durée de vie. Au point où la probabilité de collision sur ces orbites très fréquentées est devenue non négligeable : c'est d'ailleurs ce qu'a encore prouvé la collision accidentelle en février 2009 entre un satellite russe hors service et un satellite américain actif.

Pour répondre à ce paradoxe apparent, il convient d'abord de concéder que la relation que l'humanité entretient avec ses armements les plus perfectionnés est complexe et peut de fait participer de deux fonctions, à la fois matérielle et symbolique. Ainsi, loin de se réduire à leur seule dimension militaire ou opérationnelle – critiquable vu les conséquences sur l'environ-

nement et l'existence d'autres possibilités –, les missiles ASAT présentent une dimension ostentatoire développée. À l'instar d'autres systèmes d'armes avancés, ils constituent en effet des marqueurs de statut d'autant plus prisés que relevant encore du « bien de club » : outre qu'ils ne sont pas à la portée de tous et tendent ce faisant à distinguer leur détenteur – avant la Chine, la possession d'une telle technique n'était confirmée que par les États-Unis et la Russie –, leur expérimentation est très visible.

De même, il n'est pas superflu de rappeler que ces interceptions ASAT n'ont pas lieu dans un vide technique. De nombreuses similarités existent en effet avec la défense antimissile balistique (il est de fait plus simple d'expérimenter avec un satellite dont la position est connue à l'avance qu'avec un missile). D'ailleurs le système utilisé en 2007 et qui est aujourd'hui sans doute opérationnel aurait été testé au moins encore à trois reprises par la Chine sous couvert de défense antimissile⁽¹⁾. Il n'est néanmoins pas exclu que les États soient intéressés par la technique de destruction par interception (dite « *hit-to-kill* ») davantage pour ce qu'elle est que pour ses possibles applications, notamment spatiales. *A contrario*, la prolifération annoncée de ce genre de technique signifie *de facto* que de nombreux pays pourraient disposer au moins de manière latente d'un armement ASAT.

Ces rappels sont utiles pour mettre en contexte les expériences récentes de tirs ASAT. Les mêmes raisons qui ont poussé la Chine à investir dans ce genre de capacité expliquent l'intérêt chez d'autres nations comme l'Inde. La riposte non avouée des États-Unis en 2008 prend également tout son sens.

Mais il y a une différence de taille : là où le coût politique de l'opération s'est avéré très élevé dans le cas chinois du fait de la réaction de la société internationale, il a au contraire été minime pour les États-Unis et l'Inde, qui ont réalisé leurs tests à moins de 300 km d'altitude de manière qu'un maximum des débris créés retombent rapidement sur Terre. Même si le risque de banalisation est réel, un renoncement des États aux actions génératrices de débris multiples à longue durée de vie serait une bonne nouvelle dans le contexte actuel de blocage des discussions sur la régulation des activités spatiales. Cette solution aurait par ailleurs le mérite d'être pragmatique et applicable immédiatement.

1. Brian Weeden et Victorian Samson (eds.), *Global Counterspace Capabilities: An Open Source Assessment*, Secure World Foundation, avril 2020.

Le nouvel art de la guerre réseau-centrée

La guerre réseau-centrée peut être définie comme la combinaison des tactiques, techniques et procédures qu'une force connectée – d'un point de vue digital – peut employer pour obtenir un avantage décisif sur le champ de bataille. Permise par le développement des moyens d'observation déployés dans l'espace, elle dépend de la manière dont l'information est recueillie, traitée et exploitée au sein d'un réseau.

La notion est développée à la fin du xx^e siècle aux États-Unis. Son succès théorique s'explique notamment par la diffusion des thèses des futurologues Alvin et Heidi Toffler, qui annoncent à l'époque la fin de l'ère industrielle et l'émergence d'une ère de l'information où la connaissance et la qualité seront privilégiées. Les organisations hiérarchiques devraient décliner et être remplacées par des structures plus décentralisées. Par ailleurs, le triomphe des forces américaines lors de la guerre du Golfe en 1991 démontre le potentiel militaire des nouvelles techniques de l'information et de communications (NTIC), qui contribuent à l'effondrement rapide des troupes irakiennes.

La guerre réseau-centrée suppose donc la multiplication des capteurs de tout type sur le champ de bataille pour recueillir le plus de données possibles. À la fin du xx^e siècle, le but des Américains est de pouvoir rendre « transparente » une zone de 100 000 km². Un réseau électronique doit être édifié pour relier entre eux les moyens de commandement, contrôle, communication et les ordinateurs – *computers* en anglais – (C4), les plateformes de tir et les moyens de reconnaissance et de surveillance.

Les vertus de ce « système de systèmes » sont redoutables. Grâce au traitement des données recueillies, la connaissance de l'ordre de bataille ennemi est mise immédiatement à disposition des opérateurs. La chaîne de tir est considérablement réduite. Si un objectif apparaît subitement, il peut être rapidement classifié au niveau des états-majors, qui peuvent ordonner sa destruction dans des délais très courts aux unités les mieux placées pour assurer cette mission.

En outre, la connaissance du champ de bataille est partagée entre les différents acteurs grâce à la présentation d'une image commune. La compréhension des situations tactiques est améliorée, ce qui réduit la confusion dans les phases d'engagement. Les initiatives tactiques peuvent être encouragées, les officiers subordonnés ayant en théorie accès aux mêmes informations que leurs supérieurs.

Enfin, en observant « l'autre côté de la colline » avec une clarté difficilement envisageable précédemment, le décideur dispose de la supériorité informationnelle. Informé des événements plus rapidement que son adversaire, il peut décider avant l'ennemi, observer l'effet de ses actions et les corriger éventuellement pour atteindre le but qu'il s'est fixé (boucle Observer-Orienter-Décider-Agir). Il impose son rythme sur la bataille.

L'organisation des armées est également transformée par ce nouvel art de la guerre. Les cloisons qui limitent la diffusion de l'information doivent être renversées. Les distinctions classiques entre les armées de terre, de l'air et de l'espace ou la marine ou entre les milieux doivent s'estomper au profit d'une interopérabilité accrue, voire d'une intégration complète des moyens.

La notion de masse perd en outre de sa pertinence. Les grandes unités constituées ou les plateformes traditionnelles comme les blindés, avions de chasse ou porte-avions ne sont pas assez discrètes pour échapper au réseau de capteurs. Elles risquent d'être rapidement assaillies. L'avenir semble plutôt appartenir à des effecteurs fonctionnant avec une présence humaine réduite ou aux forces légères et mobiles. Répartis sur le champ de bataille, ces éléments travaillent de manière synchronisée, en tirant notamment des munitions *stand-off* très précises. Ils peuvent agir le cas échéant en essaim. Relié par la main invisible du réseau, ils se dispersent sur le champ de bataille pour se concentrer au moment le plus favorable sur l'ennemi et le vaincre en le submergeant.

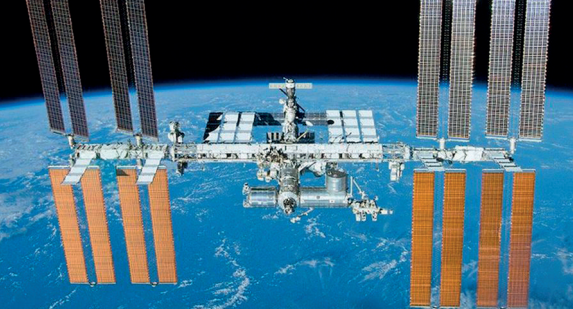
Le retour d'expérience des guerres réseau-centrées menées depuis vingt ans montre l'impérieuse nécessité de contrôler le cyberspace militaire, dans lequel se jouent notamment le traitement et la distribution des données. Une attention particulière doit être accordée aux risques de déception, d'intrusion ou de brouillage. Par ailleurs, la friction et le brouillard de la guerre que décrivait Clausewitz existent toujours, malgré les espoirs initiaux des concepteurs de la guerre en réseau. Enfin, les forces connectées offrent des ressources tactiques remarquables en termes de létalité ou de paralysie des systèmes de commandement adverses. Elles ne garantissent cependant pas la mise en œuvre d'une bonne stratégie, condition indispensable pour obtenir les gains politiques souhaités à la fin de la guerre.

L'histoire et les enjeux de la Station spatiale internationale

Le traité de l'Espace de 1967 prévoit en son article V que « *les États parties au traité considéreront les astronautes comme des envoyés de l'humanité dans l'espace extra-atmosphérique.* ». Dans l'optique d'installer des hommes en orbites durablement, les deux super-puissances russes et américaines lancèrent des stations, *Saliout* et *Skylab*, dans les années 1970, avant de signer un programme commun, *Shuttle-Mir*, en 1992, permettant notamment l'échange d'astronautes et la mise en place de rendez-vous orbitaux. Cet esprit de coopération favorisé par le traité est le premier pas vers la Station spatiale internationale (ISS). Cependant, l'idée est plus ancienne puisque, dès 1984, le président américain Reagan propose à ses alliés, à ce moment-là le Canada, l'Europe et le Japon, de s'associer au projet *Freedom*. La Russie ne rejoint le projet qu'en 1993 et c'est finalement en 1998 que quinze États signent un traité de collaboration donnant officiellement naissance à l'ISS.

La construction commence alors avec l'envoi du module russe *Zarya*, suivi de nombreux ajouts⁽¹⁾ pour atteindre aujourd'hui 109 mètres de longueur sur 73 mètres de largeur, avec une surface pressurisée de 916 m³ dont un espace habitable de 388 m³. C'est le plus grand objet spatial jamais construit et placé en orbite. Voyageant à une altitude comprise entre 330 et 420 km, la Station effectue le tour de la Terre en 90 minutes environ, soit 15 à 16 tours par jour. Cela lui permet d'être un poste d'observation de choix pour la Terre.

Si, au début, la NASA avait eu l'intention d'en faire un avant-poste pour des voyages spatiaux plus lointains, elle a vite trouvé son utilité principale en tant que laboratoire au sein duquel les astronautes peuvent conduire des expériences dans de nombreux domaines, notamment en astronomie, biologie, météorologie et physique. Les résultats obtenus sont ensuite analysés puis mis en œuvre, que ce soit dans l'espace ou sur Terre. Par exemple, une expérience avait été menée pour obtenir un diagnostic à distance à l'aide d'ultrasons sur des astronautes résidant dans la Station et cette technique peut aujourd'hui être retrouvée afin d'établir des diagnostics là où l'accès à un médecin est difficile. La variété des expériences menées est très large et par là, les astronautes participent au développement de nos connaissances et au progrès technique spatial et terrestre.



Cependant, de nombreuses critiques ont pu être faites. Le prix élevé de ces installations en orbites est souvent décrié. En 2015, le coût estimé de la Station était de 150 milliards de dollars, comprenant notamment une

contribution des États-Unis à hauteur de 58,7 milliards, 12 milliards pour la Russie, 5 milliards chacun pour l'Europe et le Japon et 2 milliards pour le Canada. Cette estimation comprenait également 50 milliards environ pour le lancement des 36 navettes ayant permis la construction de la Station et 7,5 milliards en moyenne pour chaque astronaute ayant été envoyé. Par ailleurs, l'absence de visibilité médiatique de l'ISS est également un facteur négatif pour beaucoup. Ainsi, Hervé Morin, ancien ministre de la Défense, avait déclaré en 2017 : « *Les équipages se succèdent dans cet avant-poste orbital, le plus souvent dans l'indifférence générale, tant qu'un compatriote n'est pas concerné* ». Quant aux données collectées, de nombreux scientifiques estiment qu'elles pourraient tout aussi bien l'être par le biais de robots et de sondes, réduisant ainsi les risques humains et le coût financier.

En parallèle, la NASA a mis en œuvre des études pour faire baisser la charge financière qui lui incombe et transformer la Station en un espace commercial ouvert aux industries privées. Toutefois, elle a également déclaré en 2018, par son *Leading Human Spaceflight Act*, qu'elle exploiterait la Station jusqu'en 2030 au moins. Des développements sont d'ailleurs prévus dans les prochaines années, en commençant par le lancement à l'été 2020 d'un nouveau module de recherche russe, *Nauka*, et d'un bras robotique européen.

Le modèle de coopération inter-étatique qu'est l'ISS est exceptionnel et il est primordial de le souligner. Johann-Dietrich Wörner, actuel directeur générale de l'ESA, l'avait d'ailleurs rappelé : « *Voir trois nationalités se serrer dans une petite capsule Soyouz à Baïkonour, pour moi ça signifie que le monde n'est pas encore perdu, qu'on peut encore faire des choses ensemble.* » Ainsi, depuis 2000, la Station a constamment été habitée et a accueilli pas moins de 239 astronautes différents représentant 19 nationalités. Symbole de coopération, d'entraide et de progrès, la Station est un élément indispensable de la conquête spatiale internationale, emmenant l'humanité toujours un peu plus loin.

1. L'ISS est composée de plusieurs modules pressurisés au sein desquels les astronautes évoluent et de plusieurs éléments non pressurisés qui assurent la fourniture, la régulation thermique, la maintenance et le stockage.

La course à la Lune

Dès 1958, la course à la Lune s'est engagée entre les deux superpuissances pour se terminer en 1976. Quatre périodes jalonnent cette compétition.

Période 1 – Les premiers vols vers la Lune (1958-1959)

Les trois premières tentatives soviétiques de vol vers la Lune, entre septembre et décembre 1958, sont des échecs. Les Américains ne sont pas plus chanceux avec 4 échecs entre août et décembre de la même année. Lors de leur quatrième tentative, le 2 janvier 1959, les Soviétiques réussissent à lancer la sonde *Luna 1* vers la Lune qu'elle survole à 5 965 km d'altitude. Les Américains réussissent leur premier survol de la Lune, à 60 000 km d'altitude, avec le lancement de la sonde *Pioneer-4* le 3 mars 1959. Les Soviétiques vont rapidement prendre l'ascendant : le 4 octobre 1959, ils procèdent au tir de *Luna 3*, première sonde à photographier la face cachée de la Lune.

Période 2 – La conquête robotique de la Lune (1960 – 1967)

Pendant cette période, les Américains vont mettre en œuvre trois programmes de sondes automatiques, *Ranger*, *Lunar Orbiter* et *Surveyor*, pour préparer le débarquement de l'homme sur la Lune.

Le programme *Ranger*, entre 1961 et 1965 obtient des vues détaillées du sol de la Lune avec l'envoi de trois sondes, équipées de caméras, s'écrasant sur la planète. Entre août 1966 et août 1968, les cinq sondes *Lunar Orbiter* réussissent à cartographier 99 %, de la surface lunaire avec une résolution métrique pour aider au choix des zones d'atterrissage du programme *Apollo*.

Le programme *Surveyor* vise des atterrissages en douceur sur la Lune et l'étude du sol lunaire. Entre 1966 et 1968, cinq sondes *Surveyor* remplissent leur mission avec succès dont *Surveyor 1* qui atterrit en douceur sur la Lune le 2 juin 1966, quatre mois après la sonde soviétique *Luna 9*.

Pendant la même période, l'URSS poursuit son programme *Luna*. Les Soviétiques cherchent à réaliser des premières techniques. Ils le font avec brio avec le premier alunissage en douceur de la sonde *Luna 9* le 3 février 1966. *Luna 13* réédite l'exploit en décembre 1966. La première mise en orbite d'un engin autour de la Lune est aussi à mettre au crédit de l'URSS avec *Luna 10* le 3 avril 1966.

Période 3 – L'homme sur la Lune (1968 – 1972)

Après le vol dans l'espace du Soviétique Youri Gagarine, le 12 avril 1961, le président américain John F. Kennedy annonce, le 25 mai 1961: « *Je crois que cette nation devrait se donner pour but, avant la fin de cette décennie, de*

faire atterrir un homme sur la Lune et de le faire revenir sain et sauf sur la Terre. » Le programme *Apollo* est lancé. La NASA voit son budget quadruplé entre 1961 et 1963 et ses effectifs doublés. Dans ce cadre sont développés, entre 1961 et 1968 la fusée géante *Saturn-V*, le vaisseau triplace *Apollo* et un module lunaire biplace.

Malgré la perte tragique de trois astronautes lors de l'incendie de leur cabine *Apollo 1* le 27 janvier 1967, le programme *Apollo* va réussir, après quatre missions de préparation, deux en orbite terrestre (*Apollo 7* et *9*) et deux en orbite autour de la Lune (*Apollo 8* et *10*), l'exploit de faire marcher sur la Lune, le 21 juillet 1969, les astronautes Armstrong et Aldrin dans le cadre de la mission *Apollo 11*. Cet exploit sera réédité à cinq reprises, avec les missions *Apollo 12*, *14*, *15*, *16* et *17* entre novembre 1969 et décembre 1972.

Il faut attendre 1964 pour voir les Soviétiques se lancer dans la course au vol habité lunaire avec deux programmes. Le premier programme, dénommé *Zond*, a pour objectif le survol de la Lune par deux cosmonautes. Il s'appuie sur le lanceur *Proton* avec un étage supérieur *Block-D*, et un vaisseau *Soyouz* sans module orbital. Seuls trois de ces vols sur 15 tentatives, sans homme à bord, sont globalement réussis entre septembre 1968 et octobre 1970. Le second programme lunaire habité soviétique, dénommé *N1/L3*, vise l'alunissage d'un homme. Il conduit au développement de la fusée géante *N1* et du train lunaire *L3* constitué du vaisseau *LOK*, version lourde du vaisseau *Soyouz*, et du module lunaire *LK*. Par quatre fois, les Soviétiques essaient la fusée *N1*, entre juillet 1969 et novembre 1972. Les quatre vols sont des échecs. Le programme est abandonné en 1974.

Pendant cette période, les Soviétiques réussissent deux missions robotiques (*Luna 16* et *20*) de collecte et de retour d'échantillons lunaires sur Terre. Enfin la mission 17 réussit la dépose sur la Lune du premier rover télépiloté *Lunokhod 1*.

Période 4 – Le crépuscule de la course à la Lune (1973 – 1976)

Cette courte période est marquée par la réussite de trois missions robotiques soviétiques : *Luna 21* qui dépose sur la Lune, en janvier 1973 le rover télépiloté *Lunokhod 2*, *Luna 22* qui orbite autour de la Lune de mai 1974 à septembre 1975 et *Luna-24*, en août 1976, qui ramène sur Terre 170 grammes d'échantillons lunaires.

Le vol historique *Apollo-Soyouz Test Project* de juillet 1975, qui voit l'amarrage en orbite terrestre d'un véhicule *Soyouz* et d'un vaisseau *Apollo*, marque la fin de cette course à la Lune.

Soyouz : doyen des lanceurs, faire-valoir de la stratégie spatiale russe

Galileo, Pléiades, les satellites CSO 1 et 2, la Station spatiale internationale, OneWeb. Un point commun relie ces programmes spatiaux : le lanceur russe Soyouz, dont le nom signifie « Union ». Cette « 2CV de l'espace »⁽¹⁾ a mis en orbite depuis 1966 plus de 1 000 objets spatiaux : satellites, vols habités, sondes planétaires etc. Sa fiabilité et son faible coût de production en font depuis sa conception dans les années 1950 un instrument de référence mondiale et la pièce maîtresse de la stratégie spatiale de la Russie.

Un projet issu de la technique balistique

La genèse du projet remonte aux prémisses de la conquête spatiale, au lendemain de la seconde guerre mondiale. S'inspirant du programme de missiles V2 mis au point par Wernher von Braun pour l'Allemagne nazie, Sergueï Korolev, père de l'aéronautique russe, conçoit entre 1954 et 1957 le premier missile intercontinental au monde, le R-7. Sous son influence, la technique balistique est rapidement utilisée pour mettre en orbite des objets spatiaux, donnant à l'Union soviétique une longueur d'avance dans la conquête spatiale qui débute. En 1957, le lanceur R-7 met en orbite le premier satellite *Sputnik* et le premier être vivant, la chienne Laïka. La fusée soviétique *Vostok* lance le premier vol habité en 1961, avec le cosmonaute Youri Gagarine. La mort prématurée de Korolev en 1966 n'empêche pas le lanceur soviétique *Soyouz*, héritier direct de ces techniques, de devenir progressivement un lanceur de référence.

Un outil fiable depuis sa conception

De conception exclusivement russe, même pour les prototypes lancés depuis Kourou, le programme *Soyouz* a beaucoup évolué depuis les années 1970, s'adaptant aux missions et aux nouvelles exigences techniques. Les prototypes actuels disposent d'une charge utile moyenne, capable de mettre en orbite basse (entre 150 et 1 500 km d'altitude) un objet spatial de 9 000 kg, ou de 3 200 kg en orbite de transfert géostationnaire (36 000 km d'altitude). À l'origine, le premier *Soyouz*, à trois étages, lançait en 1967 le vaisseau spatial habité du même nom. Devancé par *Apollo*, le projet *Soyouz L*, prévu pour une mission lunaire, est ensuite abandonné. C'est avec la chute de l'Union soviétique que le programme est transformé. Dans les années

1990, l'adjonction d'un quatrième étage (« *Ikar* » puis « *Fregat* ») au modèle *Soyouz U*, incontournable de 1973 à 2017, diversifie les missions réalisées. Grâce aux capacités de rallumage de son moteur – jusqu'à une vingtaine de fois - ce prototype peut placer des objets (satellites, sondes planétaires) sur différentes orbites au cours de la même mission. Depuis les années 2000, la nouvelle génération de lanceurs, *Soyouz 2*, constamment adaptée aux transformations numériques, accroît la capacité de charge utile et la précision de sa mise en orbite. Depuis l'arrêt en 2011 du programme de navettes spatiales américaines, c'est actuellement le seul lanceur, avec la fusée chinoise *Longue Marche*, capable de réaliser des vols spatiaux habités et ainsi de rallier la Station spatiale internationale.

L'importance des infrastructures dans la performance des missions

Le programme *Soyouz* est conduit depuis quatre pas de tir. Autrefois situé en Union soviétique, Baïkonour a été son premier terrain d'expérimentation et est toujours la référence dans le lancement des vols habités à destination de la Station spatiale internationale. Dans un souci d'autonomie nationale, la Russie veut diminuer sa dépendance au cosmodrome kazakh, souhaitant à terme un transfert de l'ensemble du programme habité à Vostotchny, en Sibérie orientale. À 800 km au nord de Moscou, Plesetsk s'est spécialisé dans la mise en orbite (polaire) des satellites militaires russes. Enfin, avec la création de Starsem, né d'une fusion entre Roskosmos et Arianespace et depuis l'accord intergouvernemental franco-russe signé en 2003, le Centre spatial guyanais, situé à Kourou, dispose également de « l'option *Soyouz* ». L'alliage entre la situation géographique de la Guyane et la technique adaptée du lanceur a permis à la Russie et à l'Europe de réaliser un quasi sans-faute dans la mise en orbite géostationnaire de satellites (notamment militaires français et européens) et l'envoi de sondes planétaires.

En 2019, 17 des 25 lancements russes étaient réalisés par *Soyouz*. C'est la Chine qui réalise le plus grand nombre de lancers, avec les 21 tirs de *Longue Marche*. Le *Falcon 9* américain, quant à lui, n'est choisi que 11 fois, sur les 21 tirs du pays. La fiabilité de *Soyouz* était questionnée dans les années 1990, mais c'est actuellement le seul programme cumulant, avec une telle durée de vie, autant de missions à échelle internationale. Le choix de *Soyouz* pour le lancement à partir de 2019 de la constellation de 600 satellites de télécommunications de nouvelle génération *OneWeb* en témoigne.

1. Surnom donné par les ingénieurs français.

Corona, le premier programme de satellite de reconnaissance américain

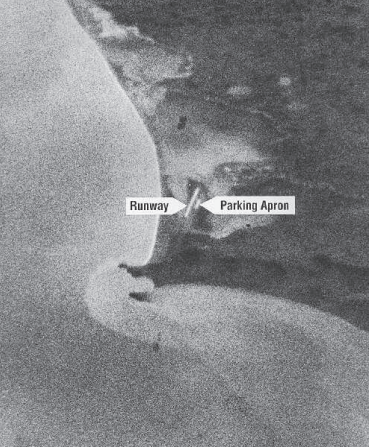
Il y a près de soixante ans, en août 1960, les États-Unis réussissaient pour la première fois à obtenir des images de la part d'un satellite de reconnaissance.

Alors que le premier satellite américain vient d'être lancé (*Explorer-1*, 1^{er} février 1958), l'US Air Force (USAF) préconise le développement d'un satellite récupérable, capable d'embarquer toute sorte de charge utile au service de la sécurité du pays. L'idée n'est pas nouvelle, alors que la guerre froide fait rage et, surtout, à partir du moment où les Soviétiques ont placé sur orbite en octobre 1957 le premier satellite artificiel *Sputnik*. Avec la création de la NASA en juillet 1958, la responsabilité des différents programmes spatiaux est réorganisée. En ce qui concerne le projet de satellite de reconnaissance (WS-117L), il est confié à l'USAF et la CIA.

WS-117L est engagé sous le nom de *Discoverer* (« Découvreur »), laissant ainsi croire aux médias un peu trop curieux à un programme scientifique. La réalité est toute autre : l'objectif est la maîtrise du lancement d'un satellite de reconnaissance, son déploiement sur orbite et la capacité de photographier le territoire ennemi avec la récupération des précieuses informations à l'aide d'une capsule éjectée. En attendant, les services secrets américains exploitent des photographies prises par des caméras embarquées dans des avions de type *U-2*, opérationnels depuis 1956.

Stabilisé sur trois axes, l'engin *Discoverer* est commandé depuis une station au sol. À l'issue d'un certain nombre d'orbites, la capsule est donc éjectée et, après s'être débarrassée du bouclier thermique, un système de parachute se déploie. En fin de chute, vers 3 000 m d'altitude, la capsule est saisie au vol par un avion *C-119* (puis *C-130*) à l'aide d'une sorte de crochet ; si l'avion n'arrive pas à saisir la capsule, celle-ci est alors prévue pour flotter suffisamment longtemps pour qu'un hélicoptère puisse la prendre. Si au bout de trois jours elle n'est pas récupérée, un dispositif permet de la faire couler.

Après l'échec au lancement du 21 janvier 1959, le tir du 28 février suivant depuis la base aérienne de Vandenberg permet de placer sur orbite *Discoverer-1*, l'étage supérieur cylindrique d'*Agna A*. La charge utile est uniquement constituée d'un système de communication et de télémétrie, sans



Première photo prise par un satellite *Corona*, le 18 août 1960. Il s'agit de la base aérienne soviétique de Mya Schmidt au bord de la mer des Tchouktches (copyright : National Photographic Interpretation Center)

caméra et sans capsule, logé dans le cône nasal du vaisseau. L'objectif est d'abord de tester l'ensemble du système. Retombant quelques jours plus tard près du pôle sud, *Discoverer-1* est devenu le premier objet artificiel placé sur une orbite polaire.

Les lancements suivants rencontrent tous des échecs, notamment à cause de l'éjection ou de la récupération de la capsule, des rétrofusées qui fonctionnent mal, des dysfonctionnements du contrôle d'attitude, etc. Le premier succès intervient finalement le 10 août 1960 avec *Discoverer-13*, dont la capsule est bien récupérée une fois tombée à l'eau (mais qui n'emportait pas de caméra). Cinq jours plus tard, la capsule est fièrement montrée au président Eisenhower. Ce dernier est désormais convaincu de l'utilité stratégique d'un tel système qui permet d'observer de plus larges étendues de territoire que ne peut le faire un avion espion mais, aussi et surtout, parce que, le 1^{er} mai précédent, un *U-2* avait été abattu au-dessus de l'Union soviétique.

Le succès est total le 18 août suivant avec *Discoverer-14* qui, pour la première fois, remplit parfaitement sa mission avec la capsule récupérée comme prévu avec ses précieuses photographies d'une résolution spatiale d'environ 12 mètres. *Discoverer-14* a photographié 4,2 millions de km² de l'URSS et des pays de l'Est et, à partir de cette imagerie, 64 aérodromes soviétiques et 26 nouveaux sites de missiles de type sol-air ont été identifiés.

Très vite, se succèdent des versions améliorées de *Discoverer*. Avec *Discoverer-38*, lancé le 27 février 1962, le système de reconnaissance entre dans sa quatrième version. Le satellite est équipé de deux caméras, permettant ainsi de fournir une imagerie stéréoscopique.

Le programme *Corona* a véritablement révolutionné le monde de l'espionnage. Il a notamment permis d'obtenir des informations précises sur des territoires ennemis totalement secrets. En les survolant, il devenait possible d'en savoir plus sur les forces militaires du camp opposé, ses bases, ses infrastructures, les sites où étaient entreposés les redoutables ICBM. Jusqu'en 1972, ce ne sont pas moins de 145 lancements qui ont été effectués.

Philippe Varnoteaux
docteur en histoire, membre de l'Institut français d'histoire de l'espace (IFHE)

Histoire des taïkonautes

L'histoire des taïkonautes est calquée sur l'histoire de la conquête spatiale et de sa géopolitique. Le programme spatial chinois, nourri d'ambitions, s'inscrit d'une part dans l'exploration de la deuxième moitié du xx^e et du xxi^e siècles (dominée par les puissances occidentales, URSS, puis Russie) et, d'autre part, dans une projection de puissance du régime chinois dans la course à l'espace. Très récents dans l'histoire de la conquête spatiale, les taïkonautes font figures de héros nationaux, reflets des velléités hégémoniques chinoises au xxi^e siècle.

Sémantique et étymologie

Le mot taïkonaute vient du chinois (*taikongren*), signifiant « homme du grand vide ». Ce terme utilisé depuis plusieurs décennies, surtout en Occident, l'est assez peu par les spécialistes, préférant la traduction de spationaute (littéralement en chinois « navigateur de l'univers »). Chaque nation, dans la course à l'espace, fait le choix de termes spécifiques, tous synonymes : astronaute aux États-Unis, cosmonaute en Russie, spationaute en France.

Une histoire très récente et très ambitieuse, calquée sur les prémices de la conquête spatiale

Contemporains de la montée en puissance économique et diplomatique de la Chine, les taïkonautes ont pour double objectif de multiplier les missions spatiales et scientifiques, mais aussi d'égaliser les pays qui ont fait l'essentiel de la conquête de l'espace depuis plus de cinquante ans. Depuis 2003, la Chine a envoyé onze taïkonautes dans l'espace. Les voyages dans l'espace représentent l'accomplissement d'un programme spatial après le développement de techniques, de lanceurs et de satellites. Ce programme a largement bénéficié du soutien technique et d'ingénieurs de l'URSS, puis de la Russie, y compris la formation des taïkonautes. En octobre 2003, Yang Liwei, devenu une icône nationale, est le premier taïkonaute embarqué à bord du vaisseau *Shenzhou* (copie du vaisseau *Soyouz*). À l'instar des premiers astronautes américains, soviétiques ou français, Yang Liwei a été recruté parmi les pilotes de chasse. En 1998, il fait partie de la première sélection des pilotes de chasse entraînée pour le premier vol habité. Parmi eux se trouvent aussi Fei Junlong, Liu Boming et Zhai Zhigang qui effectueront tous des missions ultérieurement. Tous sont recrutés pour leur expérience, leur capacité physique et leur jeune âge (en moyenne autour de 25 ans). Jusqu'à nos jours, la totalité des astronautes chinois est issue de l'armée, précisément du corps

de pilote de chasse de l'armée de l'air. Les exigences de formation des taïkonautes (entraînement, compétences scientifiques et linguistiques) sont globalement moins élevées que celles des autres puissances spatiales. Cela s'explique par le fait que les taïkonautes n'évoluent pas dans la Station spatiale internationale (ISS), ni en coopération avec un pays tiers.



Le 28 septembre 2008, les taïkonautes ZhaiZhigang, Liu Boming et Jing Haipengfont après leur sortie de la capsule de retour du vaisseau *Shenzhou 7*.

Montée en puissance progressive et singulière des taïkonautes

Après la première mission réussie, Yang Liwei sera élevé au rang de héros national, objet de fierté relayé dans l'opinion chinoise par les autorités centrales à des fins de *soft power* interne. Puis, à un rythme assez lent, contrastant avec l'intensité de la propagande, une nouvelle mission envoie deux nouveaux taïkonautes en 2005. Enfin, en 2008, une première sortie extravéhiculaire est réussie. À partir de 2011, Pékin procède à la réalisation d'une station spatiale sur le modèle de l'ISS. Liu Yang est en 2012 la première femme chinoise envoyée dans l'espace. En 2016, Chen Dong et Jing Haipeng, deux astronautes sélectionnés parmi les premiers en 1998, effectueront une nouvelle mission *Shenzhou* en équipage à destination de la station spatiale *Tiangong 2*. Cette mission d'un mois est à ce jour la plus longue. Jing Haipeng a assuré trois missions spatiales entre 2008 et 2016 et cumule un total de 47 jours de mission. Il est le taïkonaute ayant effectué le plus de missions et de jours dans l'espace.

Depuis 2003, le programme *Shenzhou* a envoyé plus d'une dizaine d'astronautes chinois dans l'espace. Ce programme ambitieux table sur l'envoi de plusieurs dizaines de taïkonautes dans les années à venir.

Vers une mission lunaire des taïkonautes ?

Le programme spatial chinois ambitionne un vol habité et une mission sur la Lune. Depuis 2010 (au moins), Pékin étudie le développement de lanceurs (appelés « *Longue Marche* ») capables de placer en orbite basse des engins de taille importante (plus de 100 tonnes). Après plusieurs échecs, la Chine prévoit un programme lunaire pour 2030 et après, comme projection de la Grande Station spatiale modulaire chinoise.

La naissance du spatial européen

Si le contexte de l'après-guerre a conduit les Européens à tenter de donner un contenu plus précis à une notion jusqu'alors restée très vague, celle de construction européenne, c'est bien la prise de conscience des conséquences de l'apparition de la technique satellitaire sur de larges pans de l'activité humaine, le danger qu'il y avait à rester spectateur des développements en cours en URSS et aux États-Unis, et la reconnaissance des spécificités du secteur qui les ont amenés à tourner leur attention vers l'espace. Cela s'est fait de manière pragmatique, graduelle et sélective. Cette genèse explique l'originalité de l'effort spatial européen, en particulier sa variante de « l'union dans la diversité » qui fait sa force – une excellence technique et scientifique comparable à celle des États-Unis pour un investissement six fois moindre – et sa faiblesse – un effort lacunaire et dispersé et, de fait, au demeurant inachevé. Non pas une, mais trois naissances peuvent ainsi être distinguées.



Quartier général de l'ESA à Paris

8

Tout d'abord, le spatial européen s'est établi en marge du processus communautaire, dans le cadre d'une démarche *bottom-up* liée à la création des agences spatiales.

Européens convaincus ayant déjà à leur actif la création du CERN, qui aujourd'hui encore nous permet de disposer des moyens de jouer un rôle majeur dans le domaine de la physique des particules, les pères fondateurs du spatial européen n'ont pas pour origine le monde politique, mais sont issus de la communauté scientifique. La première agence spatiale européenne, l'ESRO (Conseil européen de recherches spatiales), née en 1962, limite ainsi son domaine d'action aux seules activités scientifiques. Volontairement oublié, le développement des applications spatiales est laissé aux agences spatiales nationales qui apparaissent au même moment dans certains pays européens, dont la France avec le CNES, créant ce faisant ce dualisme caractéristique du spatial européen. Quant à l'accès à l'espace considéré comme une activité stratégique, il est au cœur d'une autre organisation européenne, l'ELDO (Centre européen pour la construction de lanceurs d'engins spatiaux), qui se distingue de la première par ses origines gouvernementales.

Loin d'être un objet figé une fois pour toutes, le spatial européen procède toutefois d'un mouvement constant, perpétuellement hésitant entre « le déclin ou le sursaut »⁽¹⁾.

Sa première réforme est liée à l'échec des tentatives précédentes. De la fusion de l'ELDO – victime de n'avoir jamais été plus qu'une juxtaposition d'intérêts nationaux – et de l'ESRO – performante mais centrée exclusivement sur la science –, naît ainsi, en 1975, l'ESA (Agence spatiale européenne). Celle-ci reste marquée par la volonté de préserver les intérêts nationaux à travers le principe « un État, une voix » et la règle du « juste retour industriel ». Preuve néanmoins du retour d'expérience, elle s'appuie sur un programme scientifique « obligatoire » abondé au prorata du PIB par tout pays souhaitant rejoindre le « club spatial européen », et en cela véritable colonne vertébrale de l'Europe spatiale. Elle bénéficie par ailleurs d'un programme « à la carte » dans lequel elle puise son dynamisme et qui lui donne d'emblée les outils pour envisager sereinement l'avenir, en particulier *Ariane 1* qui, en misant sur des techniques éprouvées face à la navette spatiale américaine, se transforme à partir de 1979 en symbole éclatant de la coopération européenne. L'histoire du spatial européen s'incarnera désormais pour le meilleur et pour le pire dans des arrangements croisés (« *package deal* ») entre grands pays, en particulier France et Allemagne.

Enfin, le spatial européen s'est construit sans base politique stable et en excluant l'espace militaire, qui apparaît aujourd'hui encore comme le parent pauvre.

Sa deuxième réforme est liée à l'entrée en scène de l'Union européenne qui, à partir des années 1990, permet au spatial européen de s'incarner dans deux programmes d'envergure : *Galileo*, pour la navigation par satellite, et *Copernicus*, pour la surveillance de l'environnement. En parallèle, l'inclusion du spatial en 2009 dans le traité de Lisbonne participe à normaliser le spatial européen en garantissant un traitement au plus haut niveau politique à l'instar des autres puissances. À l'heure où une nouvelle direction générale de l'industrie de défense et de l'espace s'installe à Bruxelles, l'effort vise désormais à investir le spatial de défense défini par un sous-investissement chronique – en dehors de la France – et une coopération très limitée face à aux impératifs de souveraineté. La surveillance de l'espace, duale par nature, constitue à ce titre une piste de relance prometteuse qui fournirait par ailleurs la preuve que les Européens ont la volonté de maintenir leur effort spatial dans la durée.



Centre de contrôle des satellites de l'ESA de l'ESOC à Darmstadt (Allemagne)

1. Guilhem Penent, *L'Europe spatiale : le déclin ou le sursaut*, Paris, Argos, 2014.

L'espace au cinéma : frontière de l'infini et de soi

« À 600 km au-dessus de la Terre, la température fluctue entre +258° et -148 degrés Fahrenheit. Il n'y a rien qui puisse porter le son, pas de pression atmosphérique, pas d'oxygène. La vie dans l'espace est impossible. »

C'est sur ces quelques lignes au capital anxiogène élevé, que s'ouvre le film *Gravity* (Alfonso Cuarón, 2013), dans lequel le personnage principal, interprété par Sandra Bullock, doit survivre dans ce milieu hostile, suite à la destruction d'une navette spatiale. L'espace, en tant que dispositif cinématographique, est empreint d'hostilité du fait de l'absence totale des éléments primordiaux à la vie. À cela s'ajoute l'absence de repères sensoriels, à commencer par l'ouïe. L'astronaute, prisonnier de son scaphandre ou de sa capsule, essentiels à sa survie, voit également tous ses autres sens fortement contraints, de même que son sens de l'orientation. Il n'est ainsi pas surprenant de voir nombre de réalisateurs jouer avec cette perte de repères, plongeant le spectateur dans des mouvements de caméra tournoyants et mettant en scène des personnages perdant le contrôle de leur corps ou de leurs engins. Au-delà de ces sensations, l'espace impose l'isolement, de par la nature même du milieu et de par la distance entre le lieu de l'action et de destination ou de départ, comme dans *Apollo 13* (Ron Howard, 1995). Ainsi, nombreux sont les films « spatiaux » prenant la forme de huis-clos où les personnages sont soit confrontés à eux-mêmes, comme dans *Ad Astra* (James Gray, 2019) ou bien face à une entité non humaine dans *Life* (Daniel Espinosa, 2017). Cette conjonction de l'hostilité et de l'isolement fait donc de l'espace un milieu idéal pour tout film à suspense, voulant jouer de la psychologie des personnages, désorientés par la perte de leurs références habituelles, livrés à eux-mêmes. En effet, comme le mentionne la célèbre accroche de l'affiche du film *Alien* (Ridley Scott, 1979) : *Dans l'espace, personne ne vous entend crier.*

Pour autant, ce milieu dans lequel l'homme est privé de sa forme d'expression la plus primaire émise dès la naissance, le cri, comporte également une dimension salvatrice. Il permet à l'humanité de se transcender, non seulement en tant que société, mais également en tant qu'espèce. L'espace instaure un nouveau rapport à l'Autre. Ce dernier, qu'il soit un corps céleste ou une intelligence extraterrestre, pousse l'humanité à reconstruire son identité

en tant qu'unique entité intelligente et consciente. Cette rencontre avec cet Autre peut être de nature menaçante, voir cataclysmique comme dans *Armageddon* (Michael Bay, 1998) et dans *La Guerre des mondes* (Byron Haskin, 1953) ou être rassurante et pacifique comme avec *Close Encounters of the Third Kind* (Steven Spielberg, 1977). Ces rencontres interstellaires sont alors l'occasion pour l'humanité de dépasser ses clivages habituels, terrestres, et de faire corps comme une unique société planétaire. Mues par la volonté de survivre ou de savoir, les sociétés se transcendent et s'unissent, oubliant leurs différences. Dans les films cités précédemment, l'humanité subit l'espace mais, dans d'autres, l'espace est une épreuve à surmonter. Dès lors, il transcende les Hommes qui sont appelés à s'y rendre. Cette transcendance peut se faire *via* la préparation à la mission, l'une des plus difficiles, mais aussi l'une des plus prestigieuses et qui est un des thèmes centraux de *The Right Stuff* (Philip Kaufman, 1984). Ces derniers films nous rappellent aussi que l'espace en tant que milieu est un enjeu politique et stratégique, que ce soit en matière de compétition, mais aussi de coopération. Ainsi le film *Marooned* (John Sturges, 1969) aurait inspiré la première mission de rencontre entre Américains et Soviétiques dans l'espace. Mais, au-delà, l'espace est aussi synonyme de salut pour l'humanité. Celle-ci doit alors le parcourir, voire le maîtriser, si elle veut devenir plus grande en tant qu'espèce. C'est le cas dans *Interstellar* (Christopher Nolan, 2014) où l'accroche de l'affiche indique que l'avenir de l'Homme n'est plus sur Terre.

Le film de Stanley Kubrick, *2001, l'Odyssée de l'espace* synthétise tous ces thèmes : l'hostilité, l'isolement, la menace non humaine et enfin la transcendance du héros qui renaît littéralement dans l'espace. Plus rarement, il peut arriver que l'espace soit complètement maîtrisé au sein de la diégèse



de l'œuvre. Il devient alors un non-objet et n'est plus qu'un lieu de transit, comme dans la saga *Star Wars* où l'espace est banalisé au point de pouvoir y survivre lorsqu'on y est projeté. L'espace est donc un dispositif de cinéma à la fois porteur de craintes et d'espairs, donnant un sens concret à la notion d'humanité puisqu'il représente cette frontière entre Nous et un Autre.

2001, l'Odyssée de l'espace de Stanley Kubrick (1968) © AFP / Archives du 7^e Art / 12

L'opinion publique est-elle intéressée par l'espace ?

Au sein de l'opinion publique, l'espace extra-atmosphérique est dominé par la « pensée-fiction » plutôt que la « pensée-réflexion »⁽¹⁾. Cet imaginaire est alimenté par une abondante bibliographie et filmographie. L'« espace rêvé » est aujourd'hui entretenu par certaines communications telle celle d'Elon Musk ou par les *tweets* de l'Agence spatiale européenne (ESA) *via* ses astronautes, dont Thomas Pesquet est un des plus emblématiques. Pour beaucoup, la conquête spatiale se résume aux vols habités et aux premiers pas de l'Homme sur la Lune. Cet espace est loin de l'espace utile, celui qui fait que l'utilisation des satellites est omniprésente dans notre quotidien (payer, se déplacer, utiliser Internet etc.). Ils sont du domaine de l'acquis et de l'inconscient.

En France, le Parlement est relativement actif sur les questions spatiales. Les deux entités (Assemblée nationale et Sénat) effectuent des consultations et éditent des rapports d'orientations en la matière. En amont par ses avis et en aval par la validation des crédits, le Parlement valide la politique spatiale arrêtée par l'exécutif. Son rôle institutionnel lui attribue donc la possibilité d'interactions multiples avec les acteurs individuels et corporatifs. Les rapports parlementaires concernant le secteur spatial sont relativement récents, les travaux du premier datent d'octobre 1989.

En 2012, un rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) juge l'opinion publique « *peu intéressée par le sujet* ». Composé de sénateurs et de députés, l'OPECST est chargé d'informer le Parlement des conséquences des choix de caractère scientifique et technique afin d'éclairer ses décisions. Les parlementaires débattent donc du sujet au niveau politique, et le portent au niveau de leurs électeurs. En parallèle, un Groupe parlementaire pour l'espace (GPE) est créé en 1994. Bien que peu influent, il tisse des relations avec les parlementaires étrangers. En règle générale, les parlementaires français imaginent un Parlement plus impliqué dans l'élaboration de la politique spatiale, à l'instar, selon leur perception, des relations entre la NASA et le Congrès américain.

Sans aucun doute, le poids de la culture spatiale est plus fort aux États-Unis qu'en France. La Chine a su, au moins en apparence, galvaniser sa population à chaque lancement spatial célébré comme un événement national. Néanmoins, dans tous les cas, la définition de la politique spatiale relève du monopole étatique, qui plus est pour les questions militaires. Le Parlement français a une responsabilité dans ce domaine en votant les lois quinquennales de programmation militaire. Elles font suite aux orientations impulsées par les Livres blancs ou revues stratégiques qui déterminent les objectifs en matière d'espace militaire notamment, et exposent ainsi les moyens financiers mis à disposition afin de mettre en œuvre cette politique. Quelques auteurs soulignent néanmoins ce qui à leurs yeux s'apparente à un déficit démocratique⁽²⁾. Le sujet spatial, considéré comme « trop technique » pour l'opinion publique, est laissé aux experts et aux décideurs politiques. Pourtant les citoyens sont les premiers utilisateurs de l'espace, et les investissements nécessaires pour garantir la liberté d'accès et d'action de la France dans l'espace engagent tous les Français.

L'opinion publique pointe régulièrement du doigt le coût des programmes spatiaux et interroge leur utilité. Les coûts sont à relativiser au regard de la durée de vie des satellites, de leur apport à la sécurité nationale ainsi que de leur utilité dans la vie quotidienne. Une étude⁽³⁾ publiée en 2019 et réalisée au profit de l'ESA montre que les Européens surestiment considérablement le poids des activités spatiales dans les finances publiques de leur pays. Par exemple, les Français estiment le coût des activités spatiales civiles à 205 € par an et par habitant alors qu'il est en moyenne d'environ 35 €. Cette vision biaisée peut nuire au soutien que la population doit nécessairement apporter aux projets spatiaux, très ambitieux et exigeants par définition, mais porteurs d'avenir et potentiellement vecteurs de cohésion nationale. L'ambition spatiale se doit donc d'être portée aux niveaux politique et administratif afin d'être partagée par la population.

1. Serge Grouart, *La guerre en orbite. Essai de politique et de stratégie spatiales*, Paris, Economica, Bibliothèque stratégique, 1994, p. 10.

2. Roger Lesgards, *Conquête spatiale et démocratie*, Paris, Presses de Sciences po, mars 1998.

3. http://harris-interactive.fr/wp-content/uploads/sites/6/2019/01/Rapport_Harris-Les_Europeens_et_les_activites_spatiales_ESA.pdf

La représentation de l'espace dans la peinture de Vincent Van Gogh

Vincent Van Gogh (1853-1890), dont la vie fut si dure et la carrière si tragique, est définitivement, aux yeux des experts comme à ceux du public, l'un des très grands peintres du dix-neuvième siècle, dont l'œuvre a tant apporté à la modernité. Amoureux de la couleur, de la lumière, grand paysagiste, excellent portraitiste aussi, peintre des fameux *Tournesols* (1888), bouillant dessinateur, il a su exprimer à sa manière les mouvements de la nature et en particulier du ciel, dépassant les expériences impressionnistes et post-impressionnistes, proche de l'expressionnisme et annonçant les fauves. Sa vie intérieure submerge l'espace de sa peinture et ses tableaux concentrent cette énergie spirituelle.

La représentation de l'espace peut être entendue comme celle de l'étendue d'un lieu, terrestre, céleste, diurne, nocturne, c'est aussi la tentative de faire ressentir la grandeur d'un site, l'infini du cosmos. C'est aussi celle de l'espace du tableau, comme ouverture au monde, à travers le regard de l'artiste, que l'on raconte une histoire ou que l'on invite le spectateur à une méditation singulière. Le tableau, cet espace en deux dimensions, limité par son cadre, offre l'illusion d'une échappée vers les hauteurs célestes, dans les paysages que Van Gogh a connus, passionnément observés, restitués en choisissant les éléments les plus intenses pour transmettre un message artistique nouveau. Il a interprété ces paysages de la Provence, notamment, comme un morceau de musique, une musique faite d'éclats, de matières, de textures, d'accents légers et puissants à la fois, de vagues de chaleur (*La plaine de la Crau avec la ruine de Montmajour*, 1888 ; *Oliviers avec les Alpilles à l'arrière-plan*, 1889), d'astres étincelants dans la *Nuit étoilée sur le Rhône* (1888). Et, toujours, l'échappée vers les hauteurs est sensible, cet au-delà de la vie terrestre. Japoniste, il a étudié la spatialité des estampes nippones (*Le Semeur au coucher du soleil*, 1888), avec leurs obliques, leurs aplats, leurs couleurs, les étendues célestes qui donnent aux paysages leur profondeur tout en redressant le plan de la représentation. Ces images libératrices ont inspiré nombre de ses contemporains, dont Paul Gauguin (1848-1903). Ce dernier alla plus loin encore rencontrer d'autres immensités en Polynésie, il alla se perdre et se retrouver dans des espaces denses, saturés de couleur et de lumière, peu-

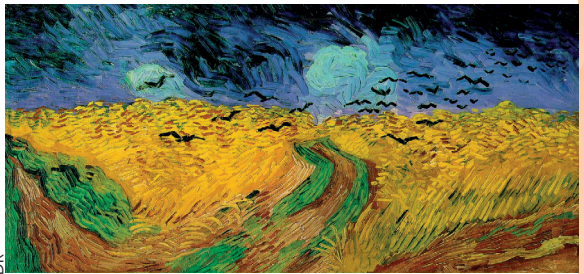
plés d'habitants dont le mystère reste entier. Les nuits polynésiennes sont hantées d'ancêtres invisibles dans les forêts profondes, sous les cieus infinis. Van Gogh avait rêvé d'un atelier avec Gauguin. Le projet n'aboutit pas, la rupture fut terrible entre les deux artistes et conduisit Vincent vers la folie. Dans l'asile Saint-Paul-de-Mausole à Saint-Rémy-de-Provence, il réussit



cependant à recréer ses visions, à poursuivre son travail de peintre. *La Nuit étoilée* (1889) reste l'un des fameux chefs-d'œuvre de Vincent. L'artiste représente ce qu'il voit de la fenêtre de sa chambre à l'asile. Cette énorme échappée céleste déploie la grandeur fantastique de sa puissance poétique. Les formes nuageuses tourbillonnent, s'étirent en volutes, traitées par hachures claires sur un bleu qui semble reculer au profit de leur dynamique. Et le croissant de lune jaune (couleur tant aimée de

Vincent), en haut sur le bord droit du tableau, brille au centre de son halo frémissant. Les étoiles sont énormes, issues d'un ailleurs cosmique. Alors le paysage sous ce ciel fou et magnifique paraît presque écrasé. En réalité, il sous-tend cette merveilleuse apparition, tandis qu'un très grand cyprès sombre contraste par sa verticalité décalée avec le flux horizontal du ciel étoilé. La couleur des tableaux de Van Gogh est un hymne à la beauté charnelle du geste pictural, même si la solitude et le désespoir demeurent sous-jacents. Vincent transforme ce qu'il voit en paysage intérieur. En 1890, il peint *Les Chaumes de Cordeville à Auvers-sur-Oise*, fantastique scène rurale mouvante au ciel nuageux, en pleine pâte.

La dernière toile avant son suicide, *Le Champ de blé aux corbeaux*, apparaît comme un intense paysage solitaire d'été. Le ciel bleu, tourbillonnant, est plus que jamais présent au-dessus des blés en désordre. Les corbeaux en vol deviennent les derniers signes d'une vie brisée, de sa passion totale pour l'art. Et la ligne d'horizon, tourmentée, si proche et si lointaine dans le regard halluciné de l'artiste, sépare une dernière fois la terre et le ciel.



Orbital Reflector, l'œuvre d'un pionnier de l'art dans l'espace

En 2017, Trevor Plagen, un artiste américain, imagine placer en orbite une création artistique *Orbital Reflector* qui est conçu comme « *un point lumineux qui flotte dans le ciel* ». Cet objet spatial artistique en forme de diamant est mis en orbite par une fusée *Space X* et doit circuler autour de la Terre pendant quelques mois avant de brûler au contact de l'atmosphère.

« *L'art nous donne une raison de regarder quelque chose. Je veux vous donner une raison de lever les yeux vers le ciel.* »

Trevor Plagen

Pour la plupart des artistes, la consécration consiste à être exposé dans une galerie ou un musée pour que le plus grand nombre puisse venir admirer son œuvre. Trevor Plagen adopte une démarche inverse : c'est l'œuvre qui va à la rencontre du plus grand nombre. Il rêve ainsi de rendre visible gratuitement depuis la Terre une construction humaine qui flotte dans l'espace. Ses détracteurs lui rétorquent que, pour cela, il suffit de regarder le ciel de nuit pour voir défiler des points lumineux qui sont autant de satellites éclairés par le soleil. Toutefois, l'objet imaginé par l'artiste est sans utilité commerciale, militaire ou scientifique. Il flotte dans l'espace pour le simple plaisir des yeux.

Des œuvres dans l'espace

Plagen n'est cependant pas le premier à envisager d'utiliser l'espace comme support pour des œuvres d'art. Dans les années 1920, l'artiste russe Kazimir Malevitch imagine placer en orbite des planètes artificielles autour de la Terre. En 1969, Forrest Myers place dans la capsule *Apollo 12* une plaquette de silicium sur laquelle est disposée une série de dessins réalisés par de nombreux artistes, dont Andy Warhol. En 2012, Plagen développe le projet *The Last Pictures* au cours duquel il place sur orbite, avec l'aide d'un ingénieur de la NASA, un disque sur lequel sont gravées cent photographies. Ce dernier est placé à la surface du satellite *EchoStar XVI* qui tourne autour de la Terre en orbite perpétuelle.

Le projet *Orbital Reflector*, dont le budget avoisine 1,3 million de dollars, est financé par le Nevada Museum of Art de Reno ainsi que par des dons privés. Il est mis au point avec l'aide des ingénieurs de *Space X*. La sculpture est réalisée en mylar, un polyester résistant recouvert de dioxyde de titane pour réfléchir les rayons du soleil. Elle doit être transportée par le *CubeSat*, un satellite miniature de la taille d'une boîte à chaussures. Une fois



en orbite, *Orbital Reflector* se déploie. Ce ballon en forme de diamant longiligne mesure 30 mètres de long et 2 mètres de large. Toutefois, loin de l'utopie de l'artiste, pour apercevoir

cette œuvre d'art, il faut regarder le ciel au crépuscule à l'instant précis où les rayons du soleil éclairent la sphère du ballon. De plus, pour suivre l'orbite de cet objet céleste, il faut télécharger l'application *Star Walk*.

Un projet contesté et une fin pathétique

Ce projet artistique ne fait pas l'unanimité dans la communauté des astrophysiciens. En effet, alors que les programmes de recherche spatiale étatiques connaissent des restrictions budgétaires, ils admettent mal que l'on puisse consacrer à une œuvre éphémère autant d'argent. À ces critiques Plagen rétorque : « *Le projet Orbital Reflector s'inscrit dans la même réflexion sur notre géopolitique spatiale. Après avoir compris à quel point l'espace est occupé par les armées et les multinationales du monde entier, je souhaitais construire un satellite sans aucune fonction commerciale, militaire ou scientifique. Le but est d'interroger l'être humain sur sa destinée : qui sommes-nous ? d'où venons-nous ? Où allons-nous ?* »

Cette démarche artistique interroge aussi sur qui a le droit d'envoyer des objets dans l'espace et plus largement à qui appartient l'univers. Elle propose ainsi que l'espace ne soit plus le domaine réservé des agences spatiales étatiques ou des compagnies privées mais un lieu d'une libre expression artistique où tout citoyen devrait pouvoir s'exprimer.

Le 3 décembre 2018, *Orbital Reflector* décolle avec 64 autres satellites dans un lanceur *Falcon 9* de Space X. Toutefois, *Orbital Reflector* ne sera jamais déployé. En effet, les ingénieurs de la NASA dédiés à ce projet sont en chômage technique imposé par l'administration Trump suite au désaccord financier avec le Congrès. Le personnel de la NASA ne peut donc lancer la procédure de mise en orbite. Le satellite qui le transporte vole donc désormais parmi les innombrables déchets spatiaux. Malgré cela, lors de ce lancement, l'artiste Tavares Starchan a placé en orbite un buste en or qui rend hommage à Robert Henry Lawrence, le premier astronaute afro-américain, décédé en 1967, sans jamais avoir été dans l'espace.

L'espace est tel les océans dans les temps anciens, un monde inconnu réservé à des initiés, mais qui peu à peu s'ouvre au profane. *Orbital Reflector* nous interroge sur son utilité mais peut-être devrions-nous faire nôtre la citation de Nietzsche : « *Ce n'est pas l'histoire, mais l'art qui exprime la vraie vie.* »

Adjudant-chef Jean-Paul Talimi
rédacteur au CERPA - CESA

Jules Verne et le roman d'anticipation spatiale

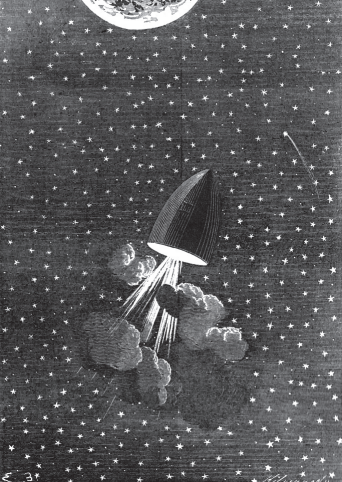
L'écrivain Jules Verne (1828-1905) a révolutionné le genre littéraire de la science-fiction en vulgarisant les connaissances scientifiques de l'époque. Visionnaire, il a notamment prévu les progrès dans le domaine spatial. Au regard des innovations de la deuxième moitié du ^{xx}e siècle, *De la Terre à la Lune* (1865) et *Autour de la Lune* (1869) représentent ses deux ouvrages d'anticipation les plus réalistes dans le domaine.

Naissance de la science-fiction

Pendant la révolution industrielle, les découvertes se multiplient dans tous les domaines. L'opinion publique est curieuse des progrès techniques. La science devient alors porteuse pour la littérature moderne. Jules Verne fait partie des écrivains qui inaugurent cette nouvelle branche de la littérature. Son éditeur, Pierre-Jules Hetzel, lui propose de retracer « *l'histoire de l'univers* », d'entremêler de la documentation et des intrigues romanesques pour instruire les lecteurs de façon distrayante, tout en apportant une dimension philosophique sur le sens du progrès et la place de l'homme dans le monde. Entre 1863 et 1905, Jules Verne écrit 62 romans et deux recueils de nouvelles, les *Voyages extraordinaires*. Son premier roman, *Cinq semaines en ballon* (1863), illustre son intérêt pour le développement aéronautique ; ce sera bientôt au tour de l'espace !

Les romans d'exploration de la Lune

Dans la deuxième moitié du ^{xix}e siècle, l'astronomie est une science populaire. L'engouement pour la Lune commence aux États-Unis en 1835. Dans *De la Terre à la Lune*, Jules Verne fait le récit d'une tentative de conquête lunaire. Après la guerre de Sécession, les artilleurs américains du Gun-Club de Baltimore s'ennuient. Leur président, Impey Barbicane, leur propose alors de fabriquer un canon géant pour envoyer un énorme boulet sur la Lune. Alors que le Français Michel Ardan se porte volontaire pour rejoindre l'expédition, le boulet est creusé pour former une capsule wagon-lit. Ardan n'est autre que l'anagramme de Nadar, ami de l'écrivain et pionnier de l'aéronautique – il est notamment à l'origine de la constitution d'une flotte de 66 ballons en 1870. L'obus est tiré depuis une colline de Floride avec à son bord le Français, Barbicane et un autre membre du Gun-Club, Nicholl. Le récit permet de découvrir les bases de l'optique, de l'artillerie, de la balistique et de l'astronomie. Dans le deuxième volet intitulé *Autour de la Lune*, le lecteur



apprend que l'obus a manqué sa cible. L'équipage se retrouve en orbite autour de la Lune et en profite pour explorer l'ensemble de sa surface. Pour finir, le boulet quitte son orbite et atterrit sur Terre.

Roman d'anticipation ?

Jules Verne fait état des progrès scientifiques et de leurs applications avec une certaine modernité. Il a étudié des dizaines de livres, de revues, d'encyclopédies, ainsi que des milliers de fiches techniques (jusqu'à 20 000). Il fait appel à des spécialistes pour fonder ses théories, comme son cousin, le mathématicien Henri Garcet, et le mathématicien Joseph Bertrand. Au-delà de ses connaissances, Jules Verne semble avoir prévu des éléments majeurs de la conquête spatiale, qui a lieu cent ans après la parution de *De la Terre à la Lune*. La capsule est en aluminium, comme il l'avait imaginé, et transporte trois astronautes comme dans son roman. Elle est bien lancée lorsque la Lune est au périgée, la distance Terre-Lune la plus courte. Les dispositifs spatiaux utilisent, comme il l'avait prédit, la propulsion grâce aux radiations, par l'intermédiaire des voiles solaires. Certains effets de l'apesanteur sur le corps humain ont aussi été imaginé par Jules Verne. Enfin, la capsule est tirée depuis la Floride comme dans son roman. Pour ce qui est de la fusée, le romancier l'avait imaginée comme un correcteur de trajectoire en vol, contrairement à Achille Eyraud dans *Voyage à Vénus* (1865) qui a bien décrit une fusée comme propulseur spatial. L'ancienne activité volcanique de la Lune et la présence d'eau auxquelles l'écrivain fait référence sont aujourd'hui confirmées.

Les autres romans de conquête spatiale sont plus fantaisistes mais s'appuient toujours sur les lois de la physique comme *Hector Servadac* (1877), le voyage d'un groupe d'hommes à travers l'univers sur une comète, et *Sans Dessus Dessous* (1889), où les personnages du Gun-Club tentent de faire basculer le globe terrestre grâce à un coup de canon pour pouvoir exploiter les mines de charbon du Pôle Nord. Dans le roman posthume *La Chasse au météore*, il imagine les conséquences de l'arrivée d'un météore en or sur Terre : une guerre sans merci pour se l'approprier.

Passionné, visionnaire, Jules Verne a fait rêver des milliers de lecteurs avant la naissance de la conquête spatiale. Plus sceptique à partir des années 1880, il dévoile entre les lignes les dangers du progrès grâce à un outil redoutable : l'humour.

Navettes spatiales et avions spatiaux, des projets ambitieux et complexes

Imaginé dès les premières heures de l'astronautique, l'avion spatial, engin capable d'évoluer dans l'espace et de revenir sur Terre à la manière d'un avion, connaît plus de difficulté à la conception que le couple fusée et capsule balistique. Bien que ces appareils suscitent beaucoup d'intérêt, les coûts de développement élevés, la faible rentabilité des projets et leur utilité discutable sont des freins majeurs pour la réalisation des nombreux concepts en étude. Après l'arrêt prématuré du programme de la navette spatiale américaine en 2011, le *X37-B* de l'USAF reste à ce jour le seul avion spatial opérationnel.

Les débouchés restreints de l'avion suborbital

Le *North American X-15* est le premier avion à avoir franchi la frontière de l'espace à deux reprises en 1963. Engin expérimental de la lignée des *X-Planes*, le *X-15* enchaîne les records de vitesse et d'altitude tout en accumulant des connaissances techniques utiles pour la conception de la future navette spatiale. Il est qualifié d'avion suborbital car, bien qu'il puisse atteindre l'espace exo-atmosphérique, le *X-15* n'est pas en mesure d'arriver à l'altitude et à la vitesse suffisante pour se satelliser et évoluer en orbite. Outre l'aspect de recherche expérimentale, l'avion suborbital présente peu d'utilité. Il peut au choix servir d'étage intermédiaire pour des micro-lancements, ou être utilisé pour des vols touristiques. En 2004, l'avion expérimental privé *SpaceShipOne* de *Scaled Composite* réalise lui aussi deux vols au-dessus de la ligne de Karman et établit un nouveau record d'altitude à près de 112 km. Le concept est ensuite repris par la société *Virgin Galactic* qui souhaiterait ouvrir un marché de vols touristiques suborbitaux. Le *SpaceShipTwo* n'a toutefois pas encore dépassé les 100 km d'altitude et n'a réalisé qu'un seul vol touristique en 2018.

Les navettes pour l'optimisation du lancement spatial

Avec une finalité plus concrète qu'un avion suborbital, les projets de navettes comme substituts aux lanceurs spatiaux ont connu un succès plus manifeste, notamment à travers le programme de navette spatiale américaine. Lancé en 1972 dans un but de standardiser les lancements et d'en réduire les coûts, le programme *Space Transportation System (STS)* mise sur le réemploi de

l'orbiteur et de ses deux *boosters* récupérés en mer. Produit en 5 exemplaires, il effectuera 135 missions telles que l'assemblage, l'entretien et la desserte de la Station spatiale internationale. Le programme est néanmoins arrêté en 2011, jugé dangereux après les catastrophes de *Challenger* et *Columbia*, et trop coûteux à l'entretien. La navette américaine a toutefois inauguré le développement d'une multitude d'avions lanceurs et micro-lanceurs, à commencer par la navette soviétique *Bourane*, qui n'a réalisé qu'un unique vol orbital en 1988. Les autres projets, pourtant nombreux, restent souvent à l'état de concept car la rentabilité et l'utilité des programmes ne sont pas des plus certaines. Le démonstrateur européen de mini-navette *Space Rider* est le programme le plus avancé à ce jour avec un premier vol potentiel en 2022. Le projet le plus innovant est certainement le programme britannique de lanceur monoétage *Skylon*, fondé sur un moteur biphasique, plus économe en carburant.

Le drone spatial, nouvel outil militaire de maîtrise de l'espace ?

Avant même les concepts d'optimisation de lancement, les premiers avions spatiaux trouvent une utilité dans la sphère militaire, à l'instar du bombardier intercontinental *Silbervögel*, ou des intercepteurs de satellites américain et soviétique *Dyna-Soar* et *Spiral* imaginés au début de l'ère spatiale. C'est aujourd'hui le drone américain *X37-B* qui illustre cette tendance. Opérationnelle depuis 2010 au service de l'*US Air Force*, la mini-navette, conçue en deux exemplaires, est non-habité, ce qui lui permet d'effectuer des missions de longue durée (780 jours pour la dernière). Elle bénéficie d'une manœuvrabilité étendue qui suggère une capacité à changer d'orbite et à approcher d'autres objets spatiaux. Les missions du *X37-B* sont toutefois mystérieuses : l'*USAF* présente le drone comme un appareil expérimental dédié à l'amélioration des matériaux et des techniques spatiales. Malgré le secret entretenu autour de ce genre de programmes militaires, la Chine et l'Inde ont dévoilé dans les années 2000 l'existence des projets similaires *Shenlong* et *Avatar*, toujours en cours de développement.

Depuis l'arrivée sur le marché en 2015 de fusées réutilisables, la solution d'un lancement par avion spatial paraît assez incertaine pour attirer suffisamment d'investissements. Les multiples projets de micro-navettes, cargos ou autres avions suborbitaux touristiques atteignent rarement une phase opérationnelle. Manœuvrant, polyvalent, réutilisable et réadaptable, le drone orbital américain *X37-B* présente toutefois des attraits intéressants au vu des problématiques de défense spatiale, en constante évolution.

La fusée *Saturn-V*

Les missions vers la Lune du programme *Apollo* n'auraient jamais pu avoir lieu sans le lanceur d'exception qu'était la fusée *Saturn-V*. Cette fusée tri-étages, haute de 111 mètres, ayant un diamètre maximal de 10 mètres, pesant au décollage 2 767 tonnes, est encore aujourd'hui inégalée en termes de performances avec la capacité de placer une charge utile de 113,4 t sur une orbite circulaire à 185 km d'altitude et d'envoyer vers la Lune une masse de plus de 43 t.

Elle fut conçue par les ingénieurs du Centre Marshall de la NASA, sous la direction de Wernher Von Braun pendant l'année 1961 et le début 1962. La fabrication de la fusée, qui sera construite au total en 15 exemplaires, a été réalisée dans les installations du Centre Michoud de la NASA localisé à l'est de la Nouvelle-Orléans.

1 – Les caractéristiques techniques

Dès le début du programme *Saturn-V*, il fut décidé de faire appel au maximum à des composants, systèmes et techniques ayant déjà fait leur preuve dans le cadre du développement des fusées *Saturn-I*. Cela explique que le troisième étage de la *Saturn-V* soit dérivé du second étage de la *Saturn-I*. Il en est de même pour la case à équipement. Cependant les performances demandées à la *Saturn-V* requéraient deux premiers étages de conception entièrement nouvelle.

1.2 – Deuxième étage (S-II)

Haut de 24,9 m, pour un diamètre de 10 m, d'une masse à vide 43,1 t en tenant compte de l'interétage 1-2, l'étage S-II était propulsé par cinq moteurs J2 qui fournissaient une poussée totale de 454 t. L'emport de 358 t d'oxygène liquide et de 69,4 t d'hydrogène liquide permettait le fonctionnement des moteurs J2 pendant 6 minutes. La société North American Aviation Inc. assurait la maîtrise d'œuvre de cet étage.

1.3 – Troisième étage (S-IVB)

Équipé d'un seul moteur J2, assurant une poussée dans le vide de 102 t, l'étage S-IVB assurait sa mise en orbite terrestre avec le composite véhicule *Apollo*-module lunaire en fonctionnant 2 minutes quarante secondes. Pour des missions vers la Lune, l'étage S-IVB était rallumé pendant 5,2 minutes pour insérer le composite véhicule *Apollo*-module lunaire sur une trajectoire





Terre-Lune. D'un diamètre de 6,6 m, pour une hauteur de 17,9 m, l'étage S-IVB, d'une masse à vide de 15,4 t incluant l'interétage 2-3, emportait 86,6 t d'oxygène liquide et 16,8 t d'hydrogène liquide. Le maître d'œuvre de l'étage S-IVB était la société Douglas Aircraft.

2 – Historique des lancements

Sur les 15 exemplaires fabriqués, 13 voleront avec succès et deux exemplaires (SA-514 et SA-515) ne voleront jamais à la suite de l'annulation des missions *Apollo 18* et *19*.

Les deux premiers exemplaires ont été utilisés pour des vols d'essai et de qualification du lanceur. Le premier vol intervient le 9 novembre 1967. Ce vol (SA-501) est un succès et permet la mise en orbite terrestre du vaisseau *Apollo 4*. Le second vol d'essai, dans le cadre de la mission *Apollo 6*, est réalisé le 4 avril 1968. Ce vol (SA-502) est émaillé par plusieurs incidents comme l'arrêt prématuré de deux des cinq moteurs J2 équipant le deuxième étage et le non-rallumage du troisième étage après la mise en orbite autour de la Terre du composite étage - véhicule *Apollo-6*.

Le premier vol opérationnel du lanceur *Saturn V* (SA-503) intervient le 21 décembre 1968 et permet au véhicule *Apollo 8* d'être le premier vaisseau habité de l'histoire à orbiter autour de la Lune. Le 3 mars 1969 est lancé la quatrième *Saturn-V* (SA-504) dans le cadre de la mission *Apollo 9*, premier essai en vol en orbite autour de la Terre de l'ensemble des engins prévus pour un vol lunaire (fusée *Saturn-V*, véhicule *Apollo* et module lunaire). Le lancement, le 18 mai 1969, de la *Saturn V* (SA-505) permet, dans le cadre de la mission *Apollo 10*, le deuxième essai en vol du véhicule *Apollo* avec le module lunaire en orbite autour de la Lune. Le 16 juillet 1969, la sixième *Saturn V* assure le lancement de la mission historique d'*Apollo 11* qui permet le 20 juillet 1969 les premiers pas d'un homme sur la Lune.

Les six vols suivants de fusées *Saturn V* (SA-507 à SA-512) permettront entre novembre 1969 et décembre 1969 le lancement des missions *Apollo 12* à *Apollo 17*. Seule la mission *Apollo 13*, en avril 1970, ne pourra aboutir à un alunissage suite à l'explosion d'un réservoir d'oxygène dans le module de service du véhicule *Apollo*.

Le dernier vol d'une fusée *Saturn V* (SA-513) assure, le 14 mai 1973, la mise en orbite terrestre de la première station orbitale américaine *Skylab*.

À propos du Big Bang

En 1949, l'éminent astrophysicien Fred Hoyle, partisan d'un Univers immuable et statique, avait inventé ce terme pour habiller d'ironie le modèle d'un Univers issu d'une phase primordiale extraordinairement dense et chaude, proposé par l'abbé astronome Lemaître vingt ans plus tôt. Ironie qui se retourne lorsque le « Grand Boum », pour franciser, représente désormais le modèle cosmologique « standard », adopté par la très grande majorité des astrophysiciens pour décrire notre Univers, ses instants primordiaux et au-delà son évolution tout au long de ses 13,8 milliards d'années.

En passant, si l'on considère l'ampleur de ce phénomène cosmique et universel qu'est le Big Bang dont est issu l'ensemble du réel, on ne pourra que trouver dérisoire cette appropriation du terme appliquée à des projets portés par des personnages en mal de publicité.

Cette appellation peut véhiculer deux contresens qu'il importe de souligner :

- le « Grand Boum » n'a trait en aucun cas à une explosion qui se serait produite quelque part. Il signifie « simplement » que la matière de tout l'Univers, dont celle de l'Univers observable actuellement n'est probablement qu'une infime partie, est dans un état d'extrêmes densité, énergie, température. Si observateur de l'explosion il y avait eu, il aurait fait partie de l'explosion...

- le Big Bang n'entraîne pas Création. Pas un « Fiat Lux » comme a pu l'avancer la papauté. Il correspond à un temps où les grandeurs physiques ci-dessus deviendraient infinies, selon la relativité générale d'Einstein. C'est dire qu'en fait la science moderne, qui devrait trouver une théorie alliant la relativité générale, applicable à la physique des grandes quantités, et la physique quantique, décrivant la matière aux très petites échelles, est impuissante à remonter complètement le cours du temps, le fameux « mur de Planck ». Les cosmologistes ambitionnent de trouver le Graal de la « Gravitation quantique », ou de la « Théorie du Tout », en même temps qu'ils élaborent des modèles d'un « pré Big Bang » (univers cyclique, supercordes, gravitation quantique à boucles,...).

Le modèle du Big Bang, en ce qu'il explique l'amorce et l'évolution de l'Univers, repose sur trois piliers observationnels très solides :

- l'expansion, découverte au cours des années 1920, avec la fuite des galaxies, dont on a trouvé il y a 20 ans qu'elle s'accélérait depuis environ 5 milliards d'années.

- l'abondance universelle des éléments chimiques, étayée dans les années 1950 par la nucléosynthèse primordiale et stellaire.
- le rayonnement (microonde) de fond cosmologique à 3 K, découvert en 1964, reliquat de la phase chaude primordiale, refroidie par l'expansion.

Ces observations, de plus en plus affinées, jointes à la confirmation récurrente de la validité de la relativité générale, et à l'affirmation de principes fondamentaux comme celui d'homogénéité et d'isotropie de l'Univers et celui d'universalité des lois physiques, toujours valides, ont installé l'Univers comme objet scientifique spécifique et la science qui l'étudie, la cosmologie, comme discipline à part entière.

Et donc, puisqu'il s'agit de science et non de vérité révélée d'essence dogmatique, la connaissance de l'Univers ne cesse de progresser, en même temps qu'elle s'accompagne de questions non résolues, qui stimulent sa quête, notamment :

- quelle est la valeur du taux d'expansion, pour lequel il y a divergence chez les scientifiques ?
- alors que le modèle prévoit que seulement 5 % de l'Univers soit sous forme de la matière (baryonique) qui est celle des étoiles (et donc la nôtre), 26 % et 69 % seraient respectivement constitués d'une matière « sombre » et d'une énergie « noire », dont les qualificatifs prouvent assez le caractère complètement inconnu. Quelles sont-elles ?
- alors qu'il prévoit la formation d'autant de matière que d'antimatière, pourquoi la seconde a-t-elle disparu au profit de la première (baryogénèse) ?
- Y avait-il un avant Big Bang ? Quel est-il ? Est-il appréhendable scientifiquement ?
- Y a-t-il d'autres univers (notre Univers, partie d'un Multivers infini...) ?

In fine, le Big Bang en tant que modèle global est par nature scientifique, donc nécessairement perfectible, dont on imagine aisément, et sans doute arbitrairement, les relations avec les questions ontologiques du sens des choses et de la place de l'Homme. Cependant, ces questions sortent du champ de la science, pour aborder des interrogations de nature philosophique, voire métaphysique. Ce n'est pas la place ni le rôle de la cosmologie de répondre à l'existential, qui ressort en propre à la liberté de chacun.

Ambalal Sarabhai, père du spatial indien

Le 15 août 1947, l'Inde devenait indépendante et un brillant étudiant terminait sa thèse de doctorat à Cambridge. À son retour la même année, il a monté de toutes pièces le Physical Research Laboratory dans une annexe de la maison familiale à Ahmedabad. Le nouveau laboratoire allait vite former le centre d'une agitation scientifique. Ce jeune astrophysicien plein d'intuition, c'était Vikram Ambalal Sarabhai.

Sarabhai travaillait sur les rayons cosmiques, tout comme son ami et collègue Homi Jehangir Bhabha, de dix ans son aîné. En 1948, Bhabha a créé la commission de l'énergie atomique portant les germes du programme nucléaire. Nehru et Bhabha, devenus son proches collaborateurs, partageaient la vision de développer le pays par la science. L'ère spatiale a commencé en 1957. En 1958, Nehru a proclamé la *Science Policy Resolution* comme un pilier fondateur de la jeune nation. Sarabhai a su saisir cette concordance pour convaincre les deux hommes que l'Inde, contre toute attente, devait avoir son propre programme spatial.

La cinquième assemblée planétaire du comité de la recherche spatiale (COSPAR) s'est tenue à Washington en 1962. Sarabhai y a rencontré Jacques Blamont. Blamont a été l'un des pionniers du programme spatial français et venait de créer le Centre National d'Études Spatiales sous l'impulsion du général De Gaulle. À Washington, Sarabhai a expliqué ses idées à Blamont dans un enthousiasme débordant. Il utilisait le terme de « *leapfrogging* », persuadé que le seul moyen pour l'Inde de rattraper les occidentaux était de sauter les étapes.

Sarabhai relevait alors que : « *Certains remettent en question la pertinence des activités spatiales dans un pays en développement. Pour nous, il n'y a pas d'ambiguïté quant à l'objectif. Nous n'avons pas le fantasme de rivaliser avec les nations économiquement avancées dans l'exploration de la Lune ou des planètes ou pour effectuer des vols spatiaux habités. Mais nous sommes convaincus que si nous voulons jouer un rôle significatif au niveau national et dans la communauté des nations, nous devons être les meilleurs dans l'application des technologies de pointe aux vrais problèmes de l'homme et de la société tels que nous les constatons dans notre pays. Et nous devons retenir que l'application de technologies et de méthodes d'analyse sophistiquées à nos problèmes ne doit pas être confondue avec le lancement de projets grandioses, dont l'impact principal est le spectacle plutôt que le progrès mesuré en termes purement économiques et sociaux.* »

Le comité des Nations unies pour l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique et le COSPAR étaient arrivés à un consensus sur le lancement d'une fusée sonde depuis l'équateur. La station de lancement de fusées équatoriales (TERLS) a été installée en 1963 à Thumba dans l'état du Kérala. Ce fut l'occasion pour l'Inde de sauter les étapes.

L'Inde a ainsi suivi le modèle français, se formant aux techniques spatiales en commençant par lancer des fusées sondes.

Au TERLS, le programme spatial indien a été mis sur les fonts baptismaux avec le lancement d'une fusée sonde américaine *Nike-Apache* le 21 novembre 1963. Jacques Blamont a personnellement apporté la charge utile, l'éjecteur de sodium fabriqué dans les laboratoires du CNES. Ce fut la naissance du programme spatial indien. Trois autres lancements ont immédiatement suivi. Il s'agissait de fusées *Centaure* françaises, à deux étages de propergol solide, dont quelques dizaines furent ensuite construites localement sous licence du CNES. C'est de cet apprentissage qu'est né le premier lanceur indien : *Rohini*.

Plusieurs années plus tard, Jacques Blamont écrira : « *J'étais devenu un ami proche de Vikram et maintenant je regrette de ne pas avoir pu lui consacrer plus de temps. Je ne me souviens pas à quel moment, vers 1967, il m'a emmené un soir dans un village, à 50 kilomètres de New Delhi. Au milieu de la place trônait un récepteur de télévision installé sommairement devant environ 200 paysans qui essayaient de saisir l'image. Heureusement, le haut-parleur était bon. Un programme éducatif était diffusé par la télévision nationale de New Delhi. En revenant avec Vikram dans sa voiture, nous n'étions pas certains que le système avait démontré une quelconque efficacité, mais il avait évidemment un énorme potentiel, comme l'ont prouvé par la suite les programmes spatiaux indiens SITE, INSAT et EDUSAT. Lorsque Vikram a réussi à créer l'ISRO (Indian Space Research Organisation), j'ai pu l'aider de diverses manières jusqu'au moment de sa mort malheureuse. Il y avait quelque chose d'unique entre nous depuis novembre 1963.* »

L'Inde vit l'héritage de Sarabhai et continuera de le faire. C'est à travers sa vision que le pays a pu développer un programme spatial en parallèle de son programme nucléaire. Sarabhai disait qu'il fallait avoir la capacité de distinguer de la musique au milieu du bruit pour pouvoir accomplir de grandes choses. L'Inde est aujourd'hui l'une des plus grandes puissances spatiales mondiales.

Gérer le trafic spatial de demain face aux débris : enjeux et perspectives

Le 11 janvier 2007, lorsque la Chine tire un missile pour détruire son satellite *Fengyun-1C* de 750 kg, placé en orbite basse, elle engendre la création de plus de 3 000 débris repérés et quelque 32 000 particules non traçables. Ces débris resteront en orbite plus d'un siècle. Outre la condamnation d'une partie de la communauté internationale, cet épisode provoque un sursaut d'intérêt pour la problématique des débris. Aujourd'hui on estime le nombre de débris en orbite compris entre un et dix centimètres à 300 000, et à 20 000 le nombre d'objets de plus de dix centimètres. À terme, la crainte est d'arriver à un syndrome de Kessler, selon lequel le nombre de débris est tel qu'il s'auto-entretient par phénomène de cascade. La menace deviendrait alors impossible à juguler. Cette problématique, qui revêt des enjeux géopolitiques, économiques et militaires, nous amène également à nous questionner sur la mise en place d'un *Space Traffic Management* (STM).

Gestion du trafic en orbite : un dialogue désaccordé

En septembre 2019, une collision d'une probabilité de 1 sur 1 000, entre un satellite *Starlink*, et le satellite *Aeolus* de l'Agence spatiale européenne (ESA) a été évitée. Cet événement a révélé des failles de communication importantes. L'ESA s'est résolue à effectuer une manœuvre d'évitement, après avoir tenté d'échanger par mail avec l'opérateur américain. Elle n'a obtenu aucune réponse. *Starlink* justifie ce silence par un problème informatique sur ses boîtes mails. Or, au moment des faits, la constellation *Starlink* ne comptait que 60 satellites sur les 12 000 qu'elle doit exploiter à terme. Comment les opérateurs pourront-ils gérer ce futur flux de trajectoires ? L'espace compte en 2020 un peu plus de 2 000 satellites actifs, et les prévisions parlent d'un décuplement d'ici une dizaine d'années. Nous savons aujourd'hui qu'il est nécessaire de réfléchir à un système de gestion du trafic spatial beaucoup plus abouti. Les États-Unis l'ont compris.

Le STM comme nécessité ?

Depuis 2009, les collisions en orbite sont évitées essentiellement grâce au réseau de capteurs américains : radar et optique. Les États-Unis émettent quotidiennement et gratuitement *via* leur *Combined Space Operations Cen-*



ter (CSpOC) des alertes de rapprochement aux opérateurs de satellites du monde entier. Il revient à ces derniers d'effectuer les manœuvres d'évitement appropriées.

Toutefois, en mai 2018, l'administration Trump a annoncé le transfert des services du CSpOC, jusqu'ici rattaché au *Department of Defense* (DoD), vers le *Department of Commerce* (DoC). Tandis que les États-Unis se montrent de plus en plus réticents à financer la sécurité de leurs alliés, nous pourrions voir dans ce transfert l'amorce d'un changement de paradigmes, avec à terme une vocation commerciale qui évacuerait le service public international qui prévaut jusqu'alors. Nous passerions d'un système basé sur une gestion anticollision prédictive sur le court terme, à un processus beaucoup plus complexe de prédiction du trafic à long terme, le *Space Traffic Management*. En conséquence de l'accroissement de la population en orbite, il semble plus nécessaire que jamais de s'accorder sur la mise en place de règles internationales. Toutefois, au regard des capacités américaines en matière de surveillance de l'espace – 26 capteurs répartis au sol et en orbite, ainsi que de nombreuses entreprises privées, loin devant les autres puissances spatiales –, il semblerait que les États-Unis aient tous les atouts pour imposer les règles de demain. En 2018, Scott Pace, secrétaire exécutif du *National Space Council* des États-Unis, déclarait vouloir « *établir une architecture STM moderne et promouvoir des normes de sécurité au sein de la communauté internationale* ». Que pourront faire les opérateurs de satellite ou de lanceurs, dès lors que les assureurs les contraindront tacitement à se conformer aux normes américaines pour bénéficier d'une assurance ?

La Russie et la Chine auront probablement suffisamment d'atouts pour valoriser leurs propres modèles en matière de STM. L'Inde, prompt à coopérer avec l'ensemble des partenaires, n'a pas encore montré de dynamique qui permettrait de contrer l'influence des États-Unis. Quant à l'Europe, elle semble démunie face à ces changements. L'absence de programme ambitieux de surveillance de l'espace montre qu'elle ignore le risque qu'implique la dépendance aux normes et aux yeux d'autrui dans l'accès à l'espace. L'Europe pourrait se confronter à une autonomie d'appréciation réduite, sur le plan normatif, militaire ou économique.

Vincent Aquilina
analyste en géopolitique du spatial

L'histoire du GPS

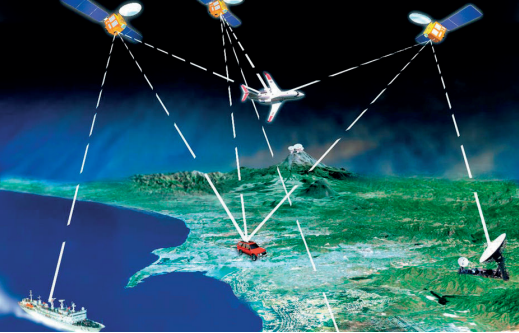
Se localiser et localiser son ennemi est une nécessité pour le militaire. Cela peut sembler anodin lorsqu'on évolue dans un environnement connu et maîtrisé mais la situation peut rapidement se compliquer lorsque les opérations sont conduites dans un lieu peu voire pas cartographié. Il est alors nécessaire de se raccrocher à des repères, des points connus. Depuis très longtemps, l'homme s'est tourné vers les étoiles pour trouver ces repères. Avec la conquête de l'espace, il a pu en déployer d'autres autour du globe dans le but de pouvoir se localiser en tout lieu et en tout temps. Si le principe de fonctionnement est simple en théorie, trilatération sur des satellites, la pratique l'est un peu moins car le mouvement permanent de ces derniers impose au système une parfaite maîtrise du temps. Ces systèmes apportent ainsi des réponses aux questions : Quelle heure est-il ? Quelle est la position ? Quelle est la vitesse ? Ces systèmes de positionnement, basés sur des signaux émis par des satellites en orbite autour de la Terre sont communément appelés GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Dès les années 1960, l'*US Navy* s'est équipée d'un système de positionnement par satellite : *Transit*. Ce premier système ne permettait généralement pas une localisation meilleure que le kilomètre. En raison de cette précision insuffisante, le département de la Défense américain a donc lancé le développement d'un nouveau système de navigation par satellites : le NAVSTAR GPS (*Navigation System by Timing And Ranging Global Positioning System*). Le premier satellite a été mis en orbite en 1978 et le système déclaré pleinement opérationnel en 1995. Les spécifications techniques initiales visaient à obtenir un positionnement absolu avec une précision de 20 mètres dans un système de référence mondial ainsi qu'une précision temporelle de l'ordre de la milliseconde.

Le système GPS se compose de trois segments : le segment spatial, le segment de contrôle et le segment utilisateur.

Le **segment spatial** est constitué d'une constellation de satellites. L'atteinte des objectifs nécessite la présence d'au moins 24 satellites, répartis en orbite à 20 200 km d'altitude, de façon à assurer en tout lieu une visibilité simultanée de 4 à 8 satellites. Pour maintenir cette capacité dans la durée, les États-Unis ont lancé 74 satellites depuis le début du programme, ce qui leur permet de disposer en 2020 de 31 satellites opérationnels.

Le **segment de contrôle**, armé par le 2nd *Space Operations Squadron*, assure le pilotage du système. À sa tête, le MCS (*Master Control Station*), basé à



DR

la *Shriever Air Force Base*, dans le Colorado, s'appuie sur six stations de suivi des satellites (Kwajalein, Ascension, Diego Garcia, Hawaii, Colorado Springs et Cap Canaveral). Les données fournies par ces six stations au MCS lui permettent de corriger les informations de navigations dif-

fusées par chaque satellite. Ces corrections sont régulièrement transmises à ces derniers par des antennes dédiées (Kwajalein, Ascension, Diego Garcia) ou mutualisées (notamment avec la *National Geospatial and Intelligence Agency*).

Le **segment utilisateurs** regroupe, comme son nom l'indique, l'ensemble des utilisateurs du système. Initialement conçue pour les besoins de l'armée américaine, l'utilisation du système a rapidement été élargie. En effet, suite à l'erreur de navigation d'un avion de ligne coréen abattu par un chasseur soviétique en septembre 1983, le président Reagan proposa que le GPS soit rendu accessible pour une utilisation civile. Depuis, l'utilisation du GPS s'est généralisée. Avec la miniaturisation des composants électroniques il se retrouve embarqué dans les voitures, les téléphones ou même dans les montres, devenant indispensable dans la vie quotidienne.

Depuis la mise en service des premiers satellites, le système est en constante évolution, gagnant notamment en précision et en fiabilité. Le dernier satellite, mis en orbite en 2019, appartient à la première série de la troisième génération (block III). Il a une espérance de vie de 15 ans et la puissance du signal au niveau de la surface de la Terre a été augmentée de près de 20 % par rapport aux générations précédentes. La précision de son horloge est de l'ordre de 10 nanosecondes.

Par ailleurs, le déploiement de cette nouvelle génération sera accompagné par la mise en place de nouvelles fréquences (pas avant 2022) qui permettront en particulier aux utilisateurs civils de s'affranchir des erreurs dues à la traversée de l'ionosphère par le signal.

Le système GPS s'est imposé comme le système de référence, au point de nous rendre particulièrement dépendants des États-Unis. Cela ne doit pas nous faire oublier les autres acteurs de l'univers GNSS qui sont *Glonass* (Russie), *Beidou* (Chine) et bien entendu *Galileo* (Union européenne) qui doit nous apporter une capacité équivalente à celle du système GPS.

Lieutenant-colonel Jean-Christophe Barreteau
commandant l'Établissement géographique interarmées

Les enjeux de la SSA – *Space Situational Awareness*

Les sociétés modernes dépendent aujourd'hui massivement d'une multitude de services spatiaux tels que le positionnement, l'imagerie ou les télécommunications. Les horloges des satellites GPS sont utilisées comme référence de temps dans de nombreux secteurs tels que la finance, pour la datation des transactions, mais aussi pour synchroniser les systèmes et actions militaires. Devant ce constat de dépendance, la SSA répond à une nécessité de maîtriser le domaine spatial afin de garantir son accès et son utilisation.

6 000 lancements ont été réalisés depuis *Spoutnik 1*, en 1957. Aujourd'hui, environ 2 600 satellites actifs sont opérés par une multitude d'acteurs étatiques ou privés. La démocratisation de l'accès à l'espace préfigure un nombre de lancements en forte hausse dans les années à venir. À lui seul, le constructeur américain *SpaceX* prévoit de déployer la constellation *Starlink* constituée de 12 000 satellites d'ici à 2025. Cette tendance participe au risque de congestion d'un milieu déjà pollué par des centaines de millions de débris.

La retombée d'objets massifs ou contenant des matières dangereuses constitue un risque pour les biens et les personnes : il engage la responsabilité des États. En 1978, le satellite russe *Cosmos 954* contenant un générateur nucléaire s'écrase sur le Grand Nord canadien, déclenchant la première activation historique des dispositifs de réparations prévus dans le traité de l'Espace de 1967. En 1996, le satellite français *Cerise* est perdu après avoir été percuté par un débris de lancement. Sans coordination du trafic spatial, une collision majeure produirait des débris de manière exponentielle, détruisant la majorité des satellites et interdisant l'accès à l'espace pour très longtemps.

Ces risques sont la raison d'être du volet « *Space Surveillance and Tracking* » (SST) de la SSA. Il consiste en un effort international coordonné d'une mutualisation de données, plutôt que de moyens, dans le but principal d'éviter les collisions et de suivre les rentrées atmosphériques à risques. Les moyens de surveillance de l'espace peuvent être basés au sol (radars, télescopes) ou dans l'espace (capteurs optiques à bord de satellites dédiés). Les données partagées sont les paramètres orbitaux actualisés de la liste des objets spatiaux actifs ou inactifs. Les États-Unis sont les acteurs majeurs de ce partage à travers l'entretien et la diffusion du « *Satellite Catalog Number* »

(SCN) depuis 1957. En France, le radar GRAVES a été livré officiellement en 2005 à l'armée de l'air. Il est opéré par le Centre opérationnel de surveillance militaire des objets spatiaux, unité du Commandement de l'espace. Il réalise la veille des objets sur les orbites comprises entre 400 et 1 000 km d'altitude. Cette capacité unique en Europe a permis de développer un partenariat privilégié avec les États-Unis.

L'espace est également devenu un milieu de confrontation, devenant de fait un nouveau domaine opérationnel : le 7 septembre 2017 le ministre des Armées Florence Parly a dévoilé publiquement l'activité suspecte du satellite russe *Luch-Olymp* s'étant approché du satellite franco-italien *Athena-Fidus*. Cette dernière décennie a été le théâtre de nombreuses démonstrations techniques non conventionnelles : des satellites pourraient réaliser l'entretien en orbite de satellites afin de prolonger leur durée de vie. Si elle ne l'est pas par nature, cette technique peut constituer une arme par destination. Limitée à la coordination du trafic, la SST ne suffit pas à garantir à un État la libre utilisation de l'espace dans un contexte de menaces intentionnelles émergentes. À l'aide de moyens transverses aussi bien techniques (optique haute résolution, spectrophotométrie, écoute radiofréquence), informatiques (émergence de l'intelligence artificielle) ou cyber (prise en compte du segment sol), la SSA complète la SST afin de constituer une situation militaire d'intérêt spatial au travers d'une profondeur d'analyse nécessairement souveraine. Les opérations militaires exigent la connaissance des créneaux de passages de satellites d'écoute ou d'observation au-dessus d'une zone donnée : cet état de fait devrait largement évoluer avec l'arrivée des constellations et de la polyvalence multi-missions des satellites qui offriront dès lors un taux de revisite important, voire une constance de l'observation et de l'écoute. La connaissance de l'état et de la géométrie instantanée de la constellation GPS permet de déterminer à quel moment une munition atteindra sa cible avec la meilleure garantie de précision.

Enfin, l'activité solaire et la prédiction de ses effets sur les télécommunications ou l'intégrité des satellites constituent le volet météorologie de l'espace de la SSA. Cet élément d'environnement associé à une situation spatiale renseignée constitue une aide à la décision et contribue à sécuriser l'emploi de la force.

À l'avenir, le développement des opérations spatiales militaires permettra à la France de protéger et de défendre ses intérêts spatiaux, en situation de légitime défense, avec le souci constant du respect du droit international.

Le comité pédagogique

sous le patronage du général d'armée aérienne Philippe Lavigne,
chef d'état-major de l'armée de l'Air et de l'Espace

Général de brigade aérienne Julien Sabéné,

directeur du Centre études, rayonnement et partenariats de l'armée de l'air (CERPA) - Centre d'études stratégiques aérospatiales (CESA).

Jean-Marc Albert, *professeur d'histoire de première supérieure.*

Jean-Yves Daniel, *inspecteur général de l'Éducation nationale.*

Christophe de Dreuille, *directeur de programmes, Airbus Defence and Space.*

Denise Flouzat, *recteur d'académie, professeur des Universités
et ancien membre du conseil de la politique monétaire de la Banque de France.*

Colonel Sébastien Fontaine, *commandant du Centre d'enseignement militaire supérieur air.*

Odile Fuchs-Taugourdeau, *magistrate et présidente de chambre à la cour administrative de Paris.*

Patrick-Louis Hubert, *juge à la Cour d'arbitrage international.*

Michèle Jouve, *auteur, professeur de sociologie et sémiologie.*

Jérôme de Lespinois, *membre de l'Académie de l'air et de l'espace.*

Patrick Meneghetti, *avocat.*

Emmanuel Nal, *maître de conférences en philosophie à l'université de Mulhouse.*

François Pernot, *professeur d'histoire moderne à l'université de Cergy-Pontoise.*

Claude Ribbe, *écrivain.*

Hélène Sirven, *maître de conférences en architecture et arts appliqués à l'université Panthéon-Sorbonne.*

Gérard Teboul, *professeur de droit public à l'université Paris XII.*

Jean-Louis Tertian, *contrôleur général économique et financier.*

Hervé Théry, *professeur agrégé de géographie et spécialiste du Brésil.*

Marie-Catherine Villatoux, *docteur et agrégée en histoire, enseignant-chercheur
au Centre de recherche de l'armée de l'air (CReA).*

Igor Yakoubovitch, *professeur agrégé de lettres classiques, docteur en langues et littératures
anciennes.*