

**CONCOURS SUR ÉPREUVES D'ADMISSION
DANS LE CORPS DES OFFICIERS DE LA
GENDARMERIE NATIONALE**

Ouvert aux candidats titulaires d'un diplôme ou titre conférant le grade de master ou d'un diplôme ou titre homologué ou enregistré au répertoire national des certifications professionnelles au niveau 7

- OG SCI -

SESSION 2022

ÉPREUVE DE SYNTHÈSE DE DOSSIER

(Durée : 04 heures – Coefficient : 04 – Note éliminatoire < 05/20)

*La note de synthèse est construite selon un plan classique : introduction, développement, conclusion.
Elle est entièrement rédigée. Seules les grandes parties peuvent éventuellement être précédées d'un titre.
Elle doit être objective, dénuée d'appréciation personnelle.*

*Le candidat doit rédiger en 600 mots (tolérance + 10%) une note de synthèse claire, précise et concise.
Le dépassement du nombre de mots imposé pour la rédaction génère une pénalité fixée dans le tableau ci-dessous :*

NOMBRE DE MOTS ÉCRITS PAR LE CANDIDAT	PÉNALITÉ CORRESPONDANTE
Rédaction de 661 à 670 mots	Moins 1 point
Rédaction de 671 à 680 mots	Moins 2 points
Rédaction de 681 à 690 mots	Moins 3 points
Rédaction de 691 à 700 mots	Moins 4 points
Rédaction de plus de 700 mots	Moins 10 points

« L' Espace. Pourquoi un nouvel engouement ? »

SOMMAIRE			
Pièce	Titre	Nombre de pages	Index
1	Les ambitions spatiales de la Chine. <i>Institut Francais des relations internationales 20/01/2021</i>	2	3
2	La Chine mène un programme concurrent. <i>Ciel et espace – Septembre 2021</i>	1	5
3	Internet par satellite – La ruée vers l'orbite basse <i>01NET – octobre 2021</i>	5	6
4	Thomas Pesquet de retour sur Terre : A quoi servent les expériences menées à bord de l'ISS ? <i>France Info 08/11/2021</i>	3	11
5	La lune en ligne de mire. <i>AIR&COSMOS 15 mai 2020</i>	3	14
6	L' Europe doit investir massivement dans l' Espace <i>Le Monde</i>	1	17
7	Dans l' ISS, les scientifiques changent le monde... <i>SCIENCE Magazine</i>	1	18
8	Extrait <i>Revue internationale et stratégique n°84 – février 2012</i>	2	19
9	Un tir russe ravive le spectre de la guerre spatiale <i>Le Monde – 18 novembre 2021</i>	1	21
10	ESPACE : Pourquoi existe t il un tel engouement autour de Mars ? <i>RTL – Nicolas Barreiro 20/07/2020</i>	1	22
11	Les touristes de l' Espace sont ils des astronautes ? <i>Ciel et Espace décembre 2021</i>	4	23
12	L'Europe lance avec succès Eutelsat Quantum, le premier satellite « flexible » <i>20 minutes - 31/07/2021</i>	1	27
13	Espace : Maïa pour répondre à Elon Musk <i>Rapport France Stratégie Mutations sociales, mutations technologiques</i>	1	28
14	Tourisme spatial : ces hyper riches consomment en 10 minutes autant d'énergie qu'un milliard d'humains en une vie. <i>Révolution énergétique – bernard Deboyser - 24/09/2021</i>	2	29
15	Ce que va changer le télescope WEBB <i>Ciel et Espace décembre 2021</i>	3	31
16	La plus grande batterie du monde sera installée sur... Mars ! <i>Révolutions Énergétique – Bernard Deboyser -01/04/2021</i>	2	34
17	Sans titre <i>www.trends-Tendances.be</i>	1	36
18	La France met ses premiers satellites espions en orbite <i>Le Monde – 16 novembre 2021</i>	1	37

LES AMBITIONS SPATIALES DE LA CHINE

Après plus de 60 ans de recherche et d'innovation erratiques, la République populaire de Chine (RPC) est aujourd'hui une puissance spatiale complète, disposant d'un accès autonome à l'espace extra-atmosphérique et à l'exploration de l'espace lointain. La Chine est actuellement sur le point de construire son propre laboratoire spatial en orbite basse, potentiellement le seul opérationnel dans quelques années.

Au cours de l'été 2020, elle a lancé une ambitieuse mission vers Mars, qui devrait lui permettre de rattraper les autres pays dans l'exploration de la Planète rouge. Elle fait également de rapides progrès dans son programme d'exploration lunaire. En janvier 2019, Pékin a réalisé sa « première première mondiale » en alunissant une astromobile sur la face cachée de la Lune. Et en décembre 2020, elle a réussi une mission des plus délicates en prélevant des échantillons lunaires et en les rapportant sur Terre.

Ses ambitions sont maintenant d'établir une base sur la Lune à l'horizon 2030. Plus près de la Terre, bien qu'à un stade encore relativement précoce, plusieurs projets chinois de constellations de satellites en orbite basse sont en développement, pour étendre la couverture Internet mondiale. Ainsi, la RPC n'est plus un outsider dans le domaine spatial, mais un véritable compétiteur des grandes puissances établies, y compris les États-Unis, bien qu'elle accuse encore un certain retard en termes de technologies et de moyens.

La doctrine spatiale chinoise repose sur trois piliers principaux : le développement national, l'autonomisation militaire et la compétition entre grandes puissances. Les deux premiers ont guidé le développement spatial de la Chine dès le début du programme, tandis que le troisième est une caractéristique qui s'est particulièrement intensifiée au cours de la dernière décennie. L'espace a été pleinement intégré dans le « rêve chinois de grande renaissance de la nation chinoise », cher au secrétaire général Xi Jinping. Il doit contribuer à faire de la RPC la « grande puissance technologique » mondiale d'ici 2049.

Le paysage institutionnel du spatial en Chine est intéressant à étudier, notamment parce qu'il n'est pas tout à fait ce qu'il paraît. L'agence spatiale chinoise (China National Space Administration – CNSA) est en réalité une vitrine pour la coopération internationale, tandis que la prise de décision proprement dite se trouve au sein de la State Administration for Science, Technology and Industry for National Defense (SASTIND), ainsi qu'au sein de l'Armée populaire de libération, et en particulier de la Force de soutien stratégique. C'est cette dernière qui opère la plupart des systèmes spatiaux en Chine (centres de lancement, stations de surveillance de l'espace...). D'autres acteurs jouent un rôle déterminant, tels que les industries aérospatiales d'État, la China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC) et la China Aerospace Science and Industry Corporation (CASIC), ainsi que l'Académie chinoise des sciences et le monde universitaire plus largement.

Le secteur commercial de l'espace est très dynamique en Chine depuis ces cinq dernières années, ce qui pousse nombre d'observateurs à l'appeler « new space », sur le modèle américain. L'industrie spatiale commerciale chinoise cherche à stimuler l'innovation et créer de nouveaux canaux de financement. Cependant, le Parti communiste conserve un contrôle strict sur toutes ces activités. Aussi, la « libéralisation » du secteur est plutôt limitée et la concurrence entre les petits acteurs privés et les géants étatiques est toute relative.

Enfin, un domaine dans lequel Pékin est de plus en plus actif sont les forums internationaux de la gouvernance de l'espace. Maintenant que la Chine est une puissance spatiale majeure, elle entend peser dans les négociations et tirer le meilleur parti du droit international régulant l'espace extra-atmosphérique. Deux sujets l'intéressent particulièrement : l'exploitation des ressources dans l'espace et l'arsenalisation de l'espace.

Les conflits politiques sur Terre concernant le domaine spatial ont tout lieu de s'intensifier dans les années à venir. Outre le renforcement de la fierté nationale et du prestige international, l'espace est un domaine

stratégique où Pékin doit combler le fossé technologique avec les États-Unis et où il recherche les vulnérabilités américaines. Dans ce contexte de rivalité croissante, une question demeure : quel rôle jouera l'Europe dans le paysage spatial de demain ?

20/01/2021 Marc JULIENNE – Institut Français des Relations Internationales

LA CHINE MÈNE UN PROGRAMME CONCURRENT

Parallèlement aux États-Unis, la Chine a lancé son propre programme lunaire, doté de la même ambition : établir une base permanente près du pôle Sud. Le développement d'un lanceur lourd appelé Longue Marche 9, nécessaire à ce plan, est entamé avec un premier vol attendu en 2030. Au cours de ces derniers mois, la Chine a été rejointe par la Russie qui a laissé planer un doute sur le renouvellement de sa participation à la station spatiale internationale au-delà de 2025 (en partenariat avec les États-Unis notamment). La Chine et la Russie ont multiplié les communiqués sur leur volonté d'explorer conjointement la Lune. Et, mi-juin, lors de la conférence The Global Space Exploration, à Saint-Petersbourg, les deux agences nationales, la CNSA et Roscosmos, ont confirmé leur engagement à construire une Station internationale de recherche lunaire (ILRS, pour International Lunar Research Station) en suivant un plan progressif déjà entamé avec l'envoi de plusieurs sondes automatiques (Chang'e 6 et 7 pour la Chine, Luna 25 à 27 pour la Russie). Dès 2026, des éléments de construction de la base devraient être envoyés par des vols automatiques à la surface de la Lune. Quant aux humains, ils ne débarqueraient pas avant 2036.

INTERNET PAR SATELLITE

LA RUÉE VERS L'ORBITE BASSE

Vingt ans après de premiers essais guère concluants, le déploiement de l'internet spatial vit une période faste. États et entreprises privées coopèrent et se concurrencent pour couvrir les zones les moins peuplées de la planète.

Il fut un temps, les satellites envoyés sur orbite pesaient quinze tonnes, coûtaient des centaines de millions d'euros, voire des milliards, et étaient produits sur mesure, à l'unité. Aujourd'hui, certains pèsent cent grammes, tiennent dans la main, coûtent quelques dizaines de milliers d'euros et peuvent être fabriqués sur la table du salon. Ce qui ne change pas, depuis Spoutnik et la guerre froide, c'est que la majorité d'entre eux sont lancés aujourd'hui en orbite basse, c'est-à-dire à 2000 kilomètres au maximum de la surface de la Terre. Cette proximité bénéficie au temps de latence (la durée mise par une donnée pour effectuer l'aller-retour entre un émetteur-récepteur et un satellite), le paramètre le plus important pour convoier internet. Ainsi les satellites de OneWeb – une société détenue par le milliardaire indien Sunil Bharti Mittal, l'État britannique et l'opérateur français Eutelsat – orbitent à 1200 kilomètres au-dessus de nous et communiquent avec une latence de cent millisecondes. ■■■

■ ■ ■ La constellation Starlink du milliardaire américain Elon Musk, qui gravite à 550 kilomètres, affiche, quant à elle, une latence comprise entre dix et quarante millisecondes. La différence entre ces deux opérateurs s'explique certes par la différence d'altitude, mais aussi par d'autres facteurs, comme la qualité de l'antenne du satellite et les performances de ce dernier. Si OneWeb souhaite couvrir les zones non desservies par le réseau terrestre avec une mégaconstellation de 648 satellites (254 déjà en orbite), Starlink veut fournir internet à tous ceux qui en feront la demande, et pas simplement dans les zones rurales, les océans ou les régions désertiques.

La loi de Moore s'applique aussi pour les engins spatiaux

Le principe de l'internet par satellite est simple : plus on s'éloigne, plus le temps du voyage est important. Mais plus l'orbite est basse, plus on a besoin de satellites. Pourquoi ? Parce que l'émission d'un satellite est semblable à un cône dirigé vers la Terre (voir infographie p. 40) : plus il est haut, plus le diamètre de ce dernier est important. C'est pourquoi le projet Starlink est

Starlink, OneWeb, Geespace, Telesat...

Les étoiles ne sont plus l'apanage des États comme durant la guerre froide

passé de 12 000 à 42 000 satellites, après avoir obtenu l'autorisation de la Commission fédérale des communications américaine de les placer sur une orbite plus basse que prévu, à 550 plutôt qu'à 1200 kilomètres de la Terre.

L'engouement vers les orbites basses s'explique aussi par la multiplication des acteurs. L'espace n'est plus l'apanage des États, comme durant la guerre froide. De nombreuses sociétés privées se lancent dans la course avec des milliers de satellites, à l'image de la constellation Starlink d'Elon Musk, qui a déjà signé des contrats gouvernementaux pour proposer de la connectivité dans les ré-

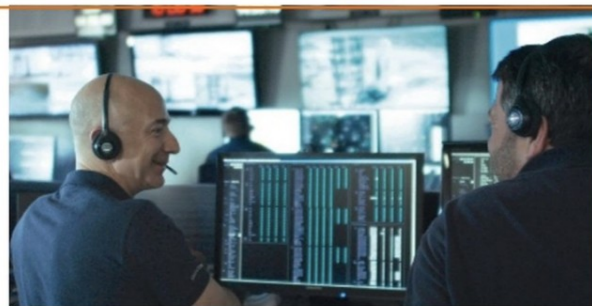


gions les plus reculées des États-Unis. Pour Christophe Bonnal, expert au Centre national d'études spatiales (Cnes), « les progrès réalisés dans le domaine spatial concurrencent ceux de l'informatique », où règne toujours la loi de Moore, selon laquelle le nombre de transistors dans les microprocesseurs double tous les dix-huit mois.

C'est la même chose avec le nombre de satellites envoyés chaque jour dans un lanceur. Les coûts de production ont baissé drastiquement, d'autant plus que leur miniaturisation permet d'atteindre l'orbite basse en dépensant beaucoup moins d'énergie. Il est désormais commun de lancer plusieurs satellites à la fois dans un même lanceur, comme le fait SpaceX, la société d'Elon Musk qui déploie et gère les 1800 satellites Starlink actuellement en orbite grâce à sa fusée Falcon 9. Le lanceur convoie les satellites soixante par soixante, avec un record mondial de 143 mis en orbite

MUSK vs BEZOS, LA GUERRE ORBITALE AURA-T-ELLE LIEU ?

En tout cas, pas tout de suite. Alors qu'Elon Musk, le PDG de SpaceX, prend tous les acteurs de vitesse avec Starlink, la constellation Kuiper de Jeff Bezos « n'existe pour l'instant que sur PowerPoint », dixit Christophe Bonnal, expert au Cnes. Le retard pris par la filiale spatiale d'Amazon, Blue Origin, semble difficilement rattrapable. Tandis que SpaceX lance et fabrique ses satellites avec sa propre fusée (Falcon 9), et commercialise déjà ses services. La société est même tournée vers la prochaine étape : lancer



depuis son pas de tir au Texas et orbiter ses satellites 400 par 400 avec Starship, un lanceur superlourd en cours de développement, afin de maîtriser entièrement la verticalité de son activité. Jeff Bezos, lui, se montre

plutôt mauvais perdant : Blue Origin a déclaré avoir saisi la Cour fédérale des réclamations contre la Nasa, après que SpaceX ait été choisi comme seul fournisseur pour son alunisseur, dans son projet de retourner sur la Lune.

BLUE ORIGIN

36 SATELLITES DANS UNE FUSÉE

Fin 2020, une partie de la constellation OneWeb a été mise en orbite avec un lanceur Soyouz, opéré par Arianespace, depuis le cosmodrome de Baïkonour, au Kazakhstan.



RUSSIAN SPACE AGENCY ROSCOSMOS

lors d'une seule mission à la fin du mois de janvier. Et la production suit, puisque trois ou quatre satellites sont construits chaque jour dans l'usine de SpaceX au Texas, au prix de seulement 500 000 dollars (432 000 euros) l'unité.

Pourquoi tout ce barnum ? Parce qu'Elon Musk veut prouver que sa technologie est meilleure et moins chère que les réseaux terrestres (5G, fibre optique, câbles sous-marins). Lorsqu'on sait que 99 % des communications internet passent par ces derniers, cela ressemble à une gageure. Pourtant, selon Christophe Bonnal, le milliardaire d'origine sud-africaine est en train de réussir son pari. « *Un ami qui habite aux États-Unis a choisi comme fournisseur internet la constellation Starlink, qui lui procure un débit descendant de 200 mégabits par seconde et de 65 montant. Moi, à Paris, je n'ai que 100 mégabits descendant avec ma fibre, illustre l'expert du Cnes. Son abonnement lui coûte certes 85 dollars*

par mois. C'est encore un peu cher, mais le prix est appelé à diminuer énormément. » En France, l'abonnement s'élève aujourd'hui à 99 euros par mois, auquel il faut ajouter 500 euros pour acheter le terminal.

Les États jamais très loin de leurs grands écrans privés

Si les sociétés privées investissent l'espace, c'est aussi qu'elles bénéficient de capitaux étatiques et de commandes publiques qui leur confèrent un statut officieux d'entreprises parapubliques. « *Les États-Unis sont à la fois demandeurs, initiateurs et clients de Starlink* », rappelle Élodie Viau, directrice des télécommunications et des applications intégrées de l'Agence spatiale européenne (ESA). « *N'oublions pas que les engins spatiaux sont des armes* », renchérit Arnaud Saint-Martin, sociologue au Centre national de la recherche scientifique (CNRS). L'enjeu de cette course à l'orbite ■■■

■■■ basse n'est pas qu'économique ou technologique, c'est aussi un enjeu de souveraineté.

D'ailleurs, le drapeau américain figure sur chacun des satellites de Starlink. Et les pays les plus avancés de la planète dans l'industrie de l'armement (Chine, Russie, Europe, Israël, Inde, Canada...) désirent eux aussi leur mégaconstellation. Si la Chine garde jalousement les informations de ses projets d'internet par satellite (citons notamment la constellation Geely de Geespace, Yinhe de Galaxy Space et les 13 000 satellites espérés de Guo Wang), le canadien Telesat

compte par exemple connecter 40 000 foyers à l'horizon 2024, avec 300 satellites.

Des réseaux complémentaires sur Terre et dans l'espace

Outre la miniaturisation des satellites, une autre évolution est que les réseaux terrestres et spatiaux ne fonctionnent plus en vase clos. « On est passé à l'*hybridation*, explique Pascal Berthou, professeur associé au Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS. *Le principe de toutes ces constellations par satellite est de récupérer l'information du sol vers les*

satellites et de la renvoyer le plus rapidement possible au sol, vers des passerelles connectées aux réseaux terrestres câblés et fibrés. » Le réseau spatial n'est plus isolé. « Il est désormais utilisé comme un outil pour transférer de la donnée rapidement en complément des réseaux terrestres et en interagissant avec le cloud », précise Élodie Viau. C'est une révolution. La quantité d'informations échangées et la qualité du service vont encore augmenter, même si cela ne va pas sans risques. « On se dirige vers l'utilisation des ordinateurs quantiques, capables d'exécuter des calculs ultrarapides. L'inconvénient,

PRENDRE LE POULS DE LA TERRE

Les satellites sont essentiels pour mesurer les paramètres environnementaux de notre planète, réaliser en quelque sorte son bilan de santé. « Il existe une cinquantaine de paramètres (température de l'air, température de l'eau, salinité de l'eau, vitesse des vents, densité de méthane, etc.), précise Christophe Bonnal, expert au Centre national d'études spatiales, et 29 d'entre eux ne sont mesurables que depuis l'espace. Par exemple, pour la température de l'eau, vous n'allez pas planter un thermomètre tous les dix mètres dans le Pacifique. Le seul moyen, c'est d'utiliser la colorimétrie et la spectrométrie. »

PRÉVENIR DES CONFLITS

Les satellites militaires continuent d'être présents dans l'espace et concourent à la dissuasion. « On est maintenant réellement capable de dire à l'Iran, par exemple : on vous a vu, vous avez bougé votre char d'assaut, qu'est-ce que vous faites ? affirme Christophe Bonnal, du Cnes. Cela ressemble au Meilleur des mondes d'Aldous Huxley, mais c'est aussi une des raisons de la stabilité actuelle des conflits entre les grandes puissances. »

c'est qu'ils pourront casser les systèmes de chiffrement avec la même célérité, prévient la directrice des télécommunications et des applications intégrées de l'ESA. Donc, en parallèle de l'interconnexion des réseaux, il faut s'assurer que les satellites soient de plus en plus robustes et résistent aux attaques. On va atteindre tout le monde via internet, mais on veut le faire de façon sécurisée. »

Des connexions qui n'iront pas sans collisions

La seule certitude, c'est que 6000 satellites actifs tournent au-dessus de nos têtes à l'heure actuelle. Si tous

ONEWEB prévoit un internet mondial opérationnel fin 2022 grâce à un réseau de 650 satellites.



DÉVELOPPER L'IOT

L'Internet des objets (IoT) est déjà un gros consommateur de données, et les réseaux terrestres ne lui suffisent plus. Les voitures autonomes, notamment, en produisent de plus en plus à mesure qu'elles progressent en autonomie. Space X a donc acheté Swarm Technologies, une start-up ayant déployé une constellation de picosatellites (cent grammes chacun) afin de connecter ses voitures Tesla.



AIDER LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Les chercheurs se montrent, bien sûr, très friands des services des satellites. L'un d'entre eux, **Microscope**, a ainsi vérifié avec une précision inégalée (dix puissance moins seize !) le principe d'équivalence d'Einstein, c'est-à-dire l'égalité entre la masse grave (quantité de matière d'un corps) et la masse inerte (force nécessaire pour qu'un corps accélère), sur lequel repose la théorie de la relativité générale.

les projets de lancements s'effectuent comme prévu, on devrait atteindre les 100 000 dans une dizaine d'années. Or, le nombre de conjonctions, c'est-à-dire le rapprochement des uns et des autres, varie exponentiellement comme le carré du nombre d'objets (100 000² satellites = 10 000 000 000 conjonctions). Aujourd'hui, « la pire densité que l'on ait dans l'espace

est de l'ordre de dix puissance moins sept objets par kilomètre cube, précise Christophe Bonnal. C'est-à-dire qu'à l'heure actuelle, en prenant une boîte qui mesure 100 x 100 x 1000 kilomètres, vous avez dans cette boîte, statistiquement, un objet de la taille du poing ». Mais avec 100 000 satellites, la boîte n'aura plus pour dimension que 100 x 100 x 60 kilomètres. « S'il y avait 100 000 satellites Starlink, je serais moins inquiet que s'il y avait dix mégaconstellations de 10 000 satellites chacune », avance Christophe Bonnal. Car en attendant que la 5G pour les systèmes satellites soit standardisée par la 3GPP (un organisme de normalisation internationale), tous les systèmes restent propriétaires, ce qui ne facilite pas la communication entre les satellites.

Récemment, des satellites de OneWeb et de Starlink se sont croisés à moins de 30 mètres, ce qui est vraiment une paille dans le spatial. « Statistiquement, il va y avoir une collision, souligne Arnaud Saint-Martin. La question est : qu'est-ce que cela va changer dans les opérations ? Et quid des services au sol ? Car les centres de données, essentiellement celui de Google et un peu celui de Microsoft pour Starlink, sont connectés au cloud. » Le syndrome de Kessler nous guette, c'est-à-dire, selon un scénario envisagé en 1978 par un expert de la Nasa, la multiplication des débris par collision à un rythme plus rapide que le nettoyage atmosphérique. Demain, les coupures internet ne seront peut-être plus dues à des câbles débranchés dans un local partagé, mais à des accidents pas si loin au-dessus de nos têtes... ● Fabrice Mateo

« 100 000 Starlink, cela m'inquiète moins que dix mégaconstellations de 10 000 satellites chacune »

Christophe Bonnal, expert au Cnes

Thomas Pesquet de retour sur Terre : à quoi servent les expériences menées par l'astronaute français à bord de l'ISS ?

Thomas Pesquet a participé à une centaine d'expériences durant les six mois qu'il vient de passer dans la Station spatiale internationale. Une grande partie s'intéresse aux conditions de voyage des futurs vols habités de longue durée.

L'activité de l'astronaute français, de retour sur Terre dans la nuit de lundi 8 à mardi 9 novembre, après plus de six mois passés dans l'espace, ne s'est pas résumée à poster sur les réseaux sociaux [de belles images de la Terre](#) ou [des scènes de vie à bord de l'ISS](#). En orbite à quelque 400 km d'altitude, il a participé à de nombreuses expériences : une centaine pour la mission Alpha. [Selon l'agence spatiale européenne](#) (ESA), Thomas Pesquet a consacré 50% de son temps à la recherche scientifique depuis fin avril. Mais à quoi servent ces expériences ?

Préparer de longs séjours et vols spatiaux

Outre [la partie pédagogique à destination du jeune public, avec les blobs](#), elles peuvent se répartir en deux grandes catégories : l'exploration spatiale et la recherche, résume auprès de franceinfo Rémi Canton, chef de projet de la mission Alpha. La Nasa, qui finance la plus grande partie de l'ISS, fixe les grandes orientations. Et l'agence spatiale américaine a opéré un sérieux changement de braquet pour miser sur l'exploration spatiale, avec en toile de fond la nouvelle course face, notamment, à la Chine, concède Rémi Canton. Dans le viseur : l'installation d'une future base lunaire et l'exploration de Mars.

Pour aider les astronautes à se protéger des rayonnements cosmiques, [qui peuvent provoquer des cancers prématurés](#), Thomas Pesquet a participé à un projet baptisé "Lumina". Il s'agit d'un dosimètre à fibre optique qui mesure les radiations ionisantes (la fibre optique présente la particularité de s'obscurcir sous l'effet des radiations). Le dispositif pourrait prévenir les astronautes en cas de [tempêtes solaires](#) imminentes.

Les voyages spatiaux de longue durée posent aussi des problèmes pour la psychologie des astronautes, et leur sommeil. Concernant ce dernier point, Thomas Pesquet a testé le [bandeau Dreams](#). A terme, il pourrait leur donner accès à des techniques de relaxation inspirées de la sophrologie ou de la [cohérence cardiaque](#).

Anticiper le pilotage de robots sur Mars

Dans l'optique d'explorer la surface de nouveaux corps célestes, les astronautes à bord de l'ISS expérimentent des dispositifs qui visent à faire de la robotique à distance. A l'aide d'un casque de réalité virtuelle et d'un joystick, ils pourraient, par exemple, manœuvrer des véhicules sur Mars.

Ces tests sont complétés par des expériences en neurosciences, comme Grasp, où l'astronaute, toujours muni d'un casque de réalité virtuelle, se pare d'un système de retour de force.

Mais les expériences menées à bord de la Station spatiale internationale sont surtout scientifiques. Il y a d'ailleurs une *"incompréhension"*, notamment du grand public, sur les activités au sein de l'ISS, estime Rémi Canton.

Des laboratoires peuvent demander des manipulations à bord de l'ISS car ils ont besoin de réaliser des observations en impesanteur, soit pour observer ses effets, soit pour éviter la gravité qui s'exerce sur Terre. Thomas Pesquet se retrouve donc laborantin, ingénieur d'études, menant des expériences pour d'autres scientifiques. *"Il n'est pas spécialiste des fluides super critiques"*, précise d'ailleurs Rémi Canton. *"Nous apportons notre pierre à l'édifice en termes de connaissances mais nous ne sommes qu'un maillon de la chaîne"*, fait-il valoir, évoquant *"un long continuum"*.

Les très chères publications scientifiques de l'ISS

Les sujets étudiés sont donc variés et parfois arides. *"Nous avons fait des progrès dans la connaissance des ondes turbulentes dans les milieux diphasiques. Mais je ne suis pas sûr que cela intéresse beaucoup de personnes"*, sourit Rémi Canton. Il mentionne aussi *"la stabilisation des satellites"* ou encore *"les effets marangoni"*. Bref, *"plein de choses complexes qui ont donné lieu à des publications scientifiques avec l'Ecole normale supérieure et différents laboratoires"*.

Jean-Louis Fellous, qui a dirigé les programmes d'observation de la Terre pour le Centre national d'études spatiales (Cnes), vante le bilan scientifique de l'ISS en rapportant que trois ouvrages sont en cours de rédaction. Chacun fera entre 300 et 400 pages, et l'ensemble résumera *"des milliers de pages d'articles scientifiques sur des expériences menées à bord de la station"*, assure à franceinfo l'ancien directeur exécutif du Comité mondial de la recherche spatiale (Cospar).

"Bien sûr que nous avons appris des choses mais il faut mesurer cela avec un rapport coût-résultat", tempère auprès de franceinfo l'ancien astronaute français Patrick Baudry, qui qualifie l'ISS de *"bidon qui tourne autour de la Terre"* dans lequel sont conduites des *"expériences de pimprenelle"*.

Michaël Sarrazin, physicien à l'université belge de Namur, [a fait les comptes pour Le Monde](#) (article abonnés), en 2017. Rapporté au coût de la station, 88 millions d'euros ont été dépensés en moyenne pour chacune des quelque 1 200 publications scientifiques issues de travaux menés à bord de l'ISS, entre 1998 et 2015, selon ses calculs. *"Nous avons à Grenoble un grand instrument assez comparable à l'ISS, l'Institut Laue-Langevin, consacré à la physique des particules. Entre 2012 et 2015, il a produit 1 700 articles pour un coût moyen de 200 000 euros."*

De rares (mais intéressantes) applications terrestres

Si les sommes dépensées sont importantes, les retombées concrètes de ces expériences pour l'ensemble de la population sont mineures. *"Nous ne raisonnons pas en termes d'applications mais en termes de connaissances"*, tranche Rémi Canton. *"Au début de l'ISS, la Nasa a mis en avant le développement d'applications révolutionnaires pour justifier le coût de la station. On en trouve mais, en réalité, ce n'est pas le crédo ici"*, reconnaît-il.

Les éventuelles applications terrestres surviennent après des recherches menées pour les besoins des astronautes. Cela pourrait être le cas de l'expérience Matiss, menée par Thomas Pesquet lors de son premier séjour dans l'ISS, en 2016. Il s'agit de mettre au point des surfaces antibactériennes *"intelligentes"* sur lesquelles les bactéries ne peuvent pas adhérer puis proliférer.

Ce qui est utile au sein de la station – pour limiter le risque infectieux à bord et maintenir les surfaces propres dans des milieux confinés – s'avère également précieux pour les poignées de porte dans les hôpitaux, les transports en commun ou encore les sanitaires. Cinq ans après les premiers tests à bord de l'ISS, les surfaces

en sont à leur troisième version. *"Nous sommes encore loin de pouvoir faire de grandes surfaces"*, avertit Rémi Canton.

Parmi les rares applications qui peuvent servir sur Terre, il mentionne l'expérience Telemaque, menée lors de la mission Alpha. *"L'idée est d'être capable de déplacer et de saisir de petits objets avec des ondes ultrasonores"*, explique Rémi Canton. A l'origine, il s'agit d'un outil pour l'astronaute qui souhaite déplacer des produits qu'il ne voudrait pas souiller ou dont il voudrait se protéger.

Des idées ont ensuite émergé, comme le traitement de calculs rénaux de façon non-invasive. Cela pourrait permettre de les expulser ou de les déplacer dans de meilleurs endroits du corps pour pouvoir les détruire. Une autre application médicale permettrait *"la délivrance ciblée de médicaments, c'est-à-dire la possibilité de libérer des particules médicamenteuses dans un vaisseau ou le long d'une paroi"*, anticipe Rémi Canton. *"Nous n'en sommes pas encore là puisque nous vérifions la possibilité de déplacer ainsi différents matériaux comme du verre, du plastique ou du bois"*, tempère-t-il, avec cet appel à la patience : *"Entre le moment où nous apportons notre contribution et le moment où cela aboutit vraiment, il peut s'écouler dix ou quinze ans."*

Soft power et prestige

La France et l'Europe continuent d'envoyer des hommes à bord de l'ISS principalement pour *"des arguments de prestige"*, des raisons de *"soft power"*, estime auprès de franceinfo Isabelle Sourbès-Verger, directrice de recherches au CNRS, spécialiste des politiques spatiales. *"Le Cnes n' imagine pas qu'il puisse être absent du domaine des vols habités"*, avance-t-elle. En clair : l'Hexagone et l'UE veulent montrer qu'ils comptent dans la conquête spatiale.

Au fond, depuis son origine, l'ISS a une fonction plus politique que scientifique pour les Etats-Unis. Cette vocation redevient particulièrement visible dans la compétition avec la Chine. Mais l'Agence spatiale européenne s'en accomode. *"L'Europe a des intérêts stratégiques, scientifiques et technologiques, donc nous sommes opportuns"*, reconnaît Rémi Canton. Avant d'ajouter aussitôt : *"Dans le bon sens du terme."*

[Louis San](#) France Info - 08/11/2021



CHINE

LA LUNE EN LIGNE DE MIRE

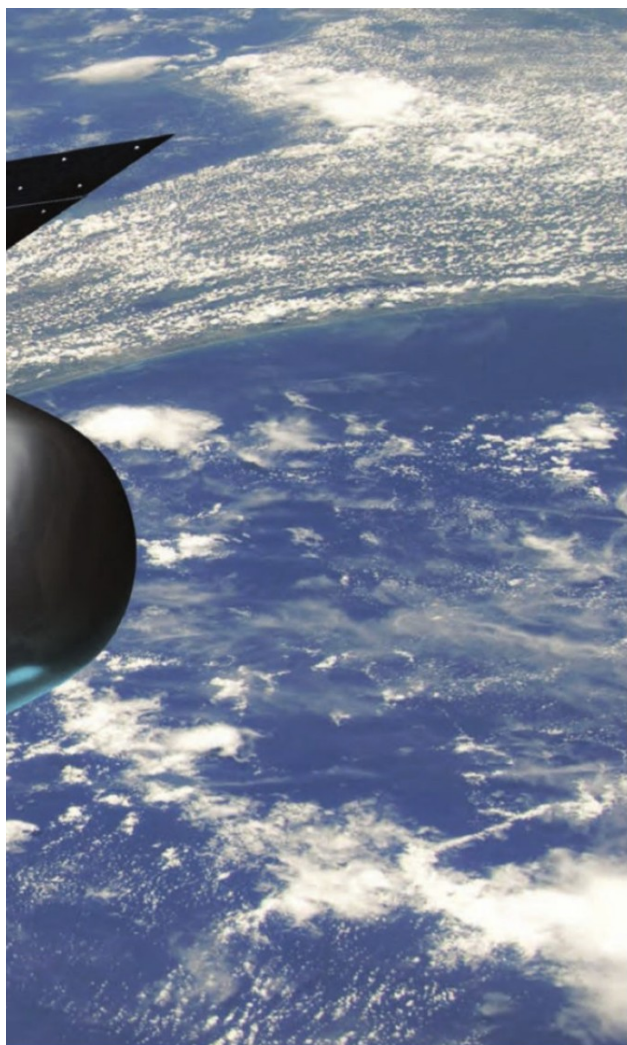
COMME ANNONCÉ DEPUIS PLUSIEURS SEMAINES, LA CHINE A INAUGURÉ UNE NOUVELLE VERSION DE SON LANCEUR LOURD, SIMULANT AU PASSAGE LA FIN D'UNE MISSION LUNAIRE AVEC UN VAISSEAU HABITÉ DE SECONDE GÉNÉRATION.

Pour son quatrième vol depuis sa mise en service en novembre 2016 (dont un échec, en

juillet 2017), le lanceur chinois le plus puissant actuellement a été utilisé pour la première fois le 5 mai dans sa version dépourvue d'étage supérieur, capable

d'expédier 23 t vers l'orbite basse : le Longue Marche 5B. Le décollage est intervenu à 10 heures UTC depuis Wenchang, quatrième base spatiale chinoise, située sur la côte nord-est de l'île de Hainan (sud de la Chine). Développé par l'Académie chinoise de technologie des lanceurs (CALT) et équipé d'une coiffe de 20,5 m de long, le LM 5B

sera essentiellement dédié à l'assemblage des modules de la future Grande station spatiale chinoise, dont le module central Tianhe doit être lancé l'an prochain. En attendant, deux missions d'envergure attendent le « joufflu » : le lancement vers Mars (le 23 juillet) de la sonde Tianwen 1, puis celui vers la Lune (en octobre) de la sonde Chang'e 5, chargée de récolter



M. CHEFFI / AIR & AMP / COSMOS

des échantillons. La Chine est définitivement entrée dans la cour des grands.

RETOMBÉE ALÉATOIRE.

Pourtant, ce premier succès du LM 5B contraste avec une fin de mission chaotique : au mépris des conventions internationales, aucun moyen de contrôle ne semblait prévu pour le retour sur Terre de son étage central, placé sur une orbite de 155 x 366 km, inclinée de 41° ; seul était annoncé un plongeon dans l'atmosphère après six jours de vol, mais sans zone de retombée précise, alors qu'il s'agit d'un objet deux fois plus massif que le laboratoire chinois Tiangong 2 (retombé au-dessus de l'océan Pacifique en avril 2018) : 32 m de long, 5,2 m de diamètre, et une masse

à vide de 17,3 t – sans oublier ses deux moteurs YF-77, de 2,7 t chacun... C'est de fait six jours après le lancement, le

11 mai à 15 h 33 UTC, que l'étage s'est consumé au-dessus de l'Atlantique, à l'ouest de la Mauritanie (20° de latitude nord)... après avoir notamment survolé les Etats-Unis de Los Angeles à New York, à seulement 170 km d'altitude pour cette dernière. L'événement a été notifié à peine 90 minutes plus tard par le 18e escadron de contrôle spatial de l'US Air Force (18 SPCS), basé à Vandenberg, en Californie.

CHARGE UTILE SECONDAIRE SURPRISE.

La mission embarquait un prototype (inhabité) de vaisseau de transport d'équipage de nouvelle génération, pour le moment baptisé XZF (Xinyidai Zairen Feichuan – « vaisseau habité de nouvelle génération »), qui abritait lui-même un module de retour de fret d'1 m de large, non annoncé. Ce dernier, conçu par le groupe China Aerospace Science and Industry Corporation (Casic), était équipé d'un prototype de bouclier thermique gonflable d'environ 3 m et devait se poser sur Terre le 6 mai vers 5 h 20 UTC. Malheureusement, il s'est visiblement consumé dans l'atmosphère lors de sa rentrée.

Pour mémoire, le premier bouclier thermique gonflable testé sur orbite fut l'IRDT (Inflatable Reentry and Descent

Technology), qui reprenait un concept développé pour la mission Mars-96 par le centre spatial Babakine (filiale de NPO Lavotchkine), avec le soutien notamment du constructeur allemand Dasa et de l'Agence spatiale européenne. L'IRDT pesait 110 kg avec sa charge utile factice, et mesurait 8 m de diamètre une fois déployé. A l'occasion du vol de qualification de l'étage supérieur Fregat du Soyouz (septième mission Starsem), le 8 février 2000, il fut placé à 600 km d'altitude puis, après cinq orbites, entama un retour sur Terre qui dura environ huit heures. La Nasa envisage pour sa part de mener une expérience similaire, baptisée Loftid (Low-Earth Orbit Flight Test of an Inflatable Decelerator), qui sera embarquée en mars 2022 sur un lanceur Atlas 5.

RETOUR À GRANDE VITESSE.

La capsule XZF, en revanche, a parfaitement terminé sa mission. Elle a d'abord déployé ses panneaux solaires, puis entamé ses communications avec les équipes de contrôleurs au sol. Elle a ensuite rehaussé son apogée à sept reprises, atteignant une orbite finale très elliptique de 523 x 8 013 km, inclinée de près de 43°. La Télévision centrale de Chine (CCTV),

Principales séquences de la première mission du XZF (en heures UTC)

- Lancement depuis Wenchang : le 5 mai à 10 h 00.
- Première modification d'orbite : le 5 mai à 14 h 12 (162 x 377 km - 41,09°).
- Deuxième modification d'orbite : le 5 mai à 18 h 49 (227 x 614 km - 41,12°).
- Troisième modification d'orbite : le 5 mai à 23 h 58 (299 x 719 km - 41,1°).
- Quatrième modification d'orbite : le 6 mai à 15 h 05 (321 x 4 980 km - 41,1°).
- Cinquième modification d'orbite : le 6 mai à 21 h 55 (320 x 4 971 km - 41,09°).
- Sixième modification d'orbite : le 6 mai à 1 h 01 (523 x 6 278 km - 42,85°).
- Septième modification d'orbite : le 7 mai à 11 h 30 (523 x 8 013 km - 42,85°).
- Rétrofreinage : le 8 mai de 4 h 14 à 4 h 21.
- Largage du module de service : le 8 mai à 5 h 33.
- Début de la rentrée atmosphérique : le 8 mai à 5 h 38.
- Atterrissage : le 8 mai à 5 h 49.

ESPACE

accessible à plus d'un milliard de spectateurs, a partagé des images de l'intérieur et de l'extérieur du vaisseau évoluant sur orbite, montrant en particulier une expérience d'impression 3D, capable de construire des objets de forme polygonale, mais également le logo de la Société de sciences et technologies aérospatiales de Chine (Casc). Surtout, la capsule XZF a effectué un retour sur Terre à grande vitesse (environ 9 km/s), simulant la fin d'une mission lunaire et subissant probablement une accélération de 5 g. L'atterrissage est intervenu le 8 mai à 5 h 49 UTC dans le désert de Gobi (nord-est du pays), au terme d'un vol de deux jours, 19 heures et 49 minutes. Il a été réalisé à l'aide de trois parachutes (contre un seul sur le Shenzhou), d'un rétropropulseur et d'un système d'airbags.

En décembre 2014, la Nasa avait mené une mission équivalente, EFT-1 (Exploration Flight Test-1), avec la première capsule Orion. Celle-ci, lancée



La capsule XZF après son retour atmosphérique.

Comparaison des lanceurs LM 5, LM 9 et SLS

Lanceur	Longue Marche 5	Longue Marche 9	Space Launch System
Constructeur	Calt	Calt	Boeing
Date du vol inaugural	3 novembre 2016	2028 ?	Novembre 2021
Nombre d'étages	1 (5B), 2 ou 3	3	2
Nombre de propulseurs d'appoint	4	0 (9B), 2 (9A) ou 4	2
Hauteur totale	62 m	93 m	98 - 111 m
Diamètre maximal	5 m	10 m	8,4 m
Masse au décollage	867 t	> 4 000 t	3 000 t
Poussée au décollage	10 631 kN	< 60 000 kN	7 440 kN
Capacité vers l'orbite basse	23 t	140 t	95 t
Capacité vers l'orbite translunaire	8 t	55 t	26 t

Comparaison des vaisseaux Shenzhou, XZF et Orion

Vaisseau	Shenzhou	XZF	Orion
Constructeur	Cast	Cast	Lockheed Martin
Date du premier vol orbital	19 novembre 1999	5 mai 2020	5 décembre 2014
Lanceur pour vols orbitaux	LM 2F	LM 5B	Delta 4 Heavy
Base de lancement	Jiquan	Wenchang	Centre spatial Kennedy
Nombre de passagers	3	6	7 sur orbite basse, 4 vers la Lune
Masse au décollage	7,84 t	21,6 t	21,25 t
Longueur totale	9,1 m	8,8 m	~ 7 m
Longueur du module orbital	2,5 m	3 m	3,3 m
Diamètre	2,8 m	3,3 m	5,02 m
Autonomie	15 jours	3 jours	21 jours
Zone d'atterrissage	Terre	Terre	Mer

sur Delta 4 Heavy, avait atteint un apogée de 5 800 km lors de sa seconde orbite terrestre, puis effectué une rentrée atmosphérique, à la vitesse de 8,9 km/s. Encore plus loin dans le temps, citons la mission Apollo 4, le 9 novembre 1967, destinée à valider plusieurs étapes nécessaires à l'envoi d'hommes sur la Lune, durant laquelle un module de commande avait culminé à près de 18 100 km, avant de rentrer sur Terre à plus de 11 km/s.

OBJECTIF 2030.

Développée par l'Académie chinoise de technologie spatiale (Cast), la plus importante des filiales de Casc, la capsule XZF sera capable d'accueillir six taikonautes (ou trois taikonautes et 500 kg de fret) pour des missions lunaires confiées au superlanceur Longue Marche 9 (six fois plus puissant que le LM 5). XZF mesure 8,8 m et pèse 21,6 t au décollage. Elle est classiquement composée de deux modules : un module de

service et un module de commande. Celui-ci, beaucoup plus volumineux et lourd que le vaisseau Shenzhou utilisé depuis novembre 1999, dispose de panneaux de protection thermique remplaçables, ce qui permettrait de réutiliser l'engin à dix reprises.

Si la Chine dispose désormais d'une capsule capable d'emporter des taikonautes vers la Lune, le grand voyage n'est cependant pas prévu avant le début des années 2030. L'empire du milieu, qui n'a pas effectué de vol habité depuis la mission Shenzhou 11, en octobre-novembre 2016, ne semble donc pas engagé dans une course de vitesse avec les Etats-Unis, qui visent encore la date de 2024. Mais sa détermination à long terme semble inébranlable, alors que le programme Artemis de la Nasa pourrait connaître des remises en question. L'Europe spatiale, pour sa part, ne s'est pas encore décidée à dépasser son statut de second couteau.

■ Pierre-François Mouriaux

« L'Europe doit investir massivement dans l'espace »

André-Hubert Roussel, le président exécutif d'ArianeGroup, souligne la nécessité de « garantir la souveraineté européenne »

ENTRETIEN

A l'occasion du 72^e Congrès international d'astronautique, qui se tient à Dubaï du 25 au 29 octobre, les Européens présentent leurs ambitions dans l'exploration spatiale. Le futur lanceur Ariane-6 attendu en 2022 sera indispensable pour mener ces projets. Malgré les difficultés rencontrées, le président exécutif d'ArianeGroup, André-Hubert Roussel, revient sur l'importance stratégique de cette fusée « pour garantir la souveraineté européenne »

Elon Musk avec SpaceX, ses vols low cost et ses fusées réutilisables chamboule le marché, obligeant ArianeGroup à s'adapter en permanence. Cet été, Français et Allemands sont parvenus à un accord. Est-ce qu'Ariane-6 est sauvée ?

Pour commencer, Ariane-6 est un lanceur exceptionnel, qui est en bonne voie et n'a pas besoin d'être sauvé. Mais, entre le moment où nous avons lancé Ariane-6 en 2014 et aujourd'hui, l'environnement spatial a profondément changé. Tout d'abord, nous assistons à une multiplication des acteurs pouvant aller dans l'espace, passant de quelques grands institutionnels à des groupes privés comme SpaceX qui se dote de sa propre constellation de satellites. En même temps, les usages se sont multipliés et le transport spatial devient une réalité. Cet été, l'Europe, par l'intermédiaire de l'Agence spatiale européenne (ESA) a renouvelé sa confiance dans Ariane-6 et, surtout, a rappelé son besoin d'avoir son propre accès à l'espace. L'accord entre la France et l'Allemagne, qui sont les deux plus grands contributeurs du programme Ariane-6 [56 % Paris et 22 % Berlin], permet de se battre à armes un peu plus égales sur le marché commercial, et aussi à l'industrie européenne de maintenir des cadences relativement élevées.

Quelles en sont les modalités ?

Les Européens vont faire comme les Américains. Quand SpaceX s'adresse à la NASA ou au département de la défense, il facture les lancements de 200 millions à 300 millions de dollars [172 millions à 258 millions d'euros]. Cela lui permet de faire chuter les prix sur le marché commercial en proposant sa Falcon 9 à 50 millions de dollars, soit près de moitié moins cher qu'Ariane-5. Pour faire face à cette distorsion de marché, l'Europe s'est engagée à garantir à son industrie quatre missions et un mécanisme assurant une cadence minimale de production. Cela permettra d'être à l'équilibre à partir de sept Ariane-6 par an. Les trois autres lanceurs seront proposés sur le marché commercial, sachant que nous pourrions fabriquer jusqu'à douze fusées par an selon les besoins.

Avant cet accord, les tensions ont été vives entre Paris et Berlin, les Allemands affirmant vouloir développer seuls une industrie de microlanceurs. Qu'en est-il aujourd'hui ?

C'est vrai qu'il y a une multiplication du nombre des micros-satellites de quelques dizaines de kilos à 500 kilos à lancer dans les prochaines années. Or 80 % à 90 % d'entre eux font partie de constellations en orbite basse et doivent être envoyés par dizaines voire centaines à la fois. Pour les emporter, il faut donc des lanceurs lourds et Ariane-6 est parfaitement adaptée, puisqu'elle peut embarquer jusqu'à 20 tonnes. Il faut noter aussi que le marché des microlanceurs est petit comparé aux autres, mais c'est vrai qu'il intéresse de nombreuses start-up en Allemagne, mais aussi en Espagne et en France. Cela va peut-être générer des innovations intéressantes mais je pense que l'avenir est dans une famille de lanceurs européens autour d'Ariane qui vont partager des briques essentielles, en particulier la propulsion.



André-Hubert Roussel, mercredi 20 octobre, au siège d'ArianeGroup, à Paris. ANTOINE DOYEN POUR « LE MONDE »

« Nous sommes persuadés que dans le futur il y aura des hubs dans l'espace »

En contrepartie d'un apport financier, l'Allemagne a obtenu le transfert de l'activité intégration des moteurs Vinci située à Vernon, dans l'Eure, à Lampoldshausen. Cette règle européenne de contrepartie n'est-elle pas pénalisante ?

C'est effectivement parfois un inconvénient, mais il faut avant tout voir les avantages de mener un projet européen qui rassemble treize pays – c'est unique au monde. Aucun d'entre eux seul ne peut prétendre assurer son autonomie et encore moins celle de l'Europe. Dans ce cas précis, l'Allemagne fait traditionnellement l'étage supérieur d'Ariane, et donc rassembler l'ensemble de

son intégration dans un même pays est dans la logique de la rationalisation en cours. Ce n'est pas affaiblir Vernon qui conservera la production du moteur Vulcaïn de l'étage principal et développera le futur moteur réutilisable Prometheus.

ArianeGroup a annoncé 600 suppressions d'emplois en septembre, représentant 8 % des effectifs. Pourquoi une telle ampleur ?

Cette adaptation des effectifs se fera sur le volontariat, sans licenciement. Nous devons retrouver de la compétitivité sur le marché commercial. Cela conduit à réduire nos frais de structure, en rééquilibrant nos efforts et nos ressources humaines au profit des activités en lien direct avec nos programmes, y compris Ariane-6.

Quel est le coût d'Ariane-6, et son calendrier sera-t-il tenu ?

Le programme financé par l'ESA comprenant le pas de tir et les lanceurs reste dans son enveloppe de

4 milliards d'euros. Quant au lancement, il est attendu vers la mi-2022. La fin du développement d'un tel programme comporte – et c'est normal – des phases de test à risques et je ne peux pas vous donner de date précise. Mais, il faut savoir que c'est la première fois dans l'histoire qu'un lanceur a son carnet de commandes rempli pour plusieurs années, jusqu'en 2027, avant même d'être en service. Cela prouve qu'Ariane-6 répond aux évolutions actuelles. Nous avons une Ariane-5 spécialisée dans le transport des satellites géostationnaires. La nouvelle fusée va permettre d'atteindre toutes les orbites et sera adaptée à tous les types de missions spatiales : commerciales, gouvernementales, scientifiques.

ArianeGroup est engagé dans une course derrière SpaceX. N'est-elle pas perdue d'avance ?

Nous ne faisons pas la course contre SpaceX, mais contre l'indifférence qui gagne l'Europe concernant son autonomie d'accès

« Nous ne faisons pas la course contre SpaceX, mais contre l'indifférence qui gagne l'Europe concernant son autonomie d'accès à l'espace »

à l'espace et l'importance du spatial pour nos sociétés. Si nous n'arrivons pas à réveiller cette fierté, nous aurons un problème, et ce ne sera pas parce que SpaceX aura lancé 3 000 satellites de plus. L'Europe doit investir massivement dans l'espace.

Avez-vous réellement l'impression que les politiques sont indifférents ?

C'est un risque à un moment où les regards se tournent vers les projets extrêmement importants et les investissements spatiaux colossaux aux États-Unis et en Chine. Le modèle de l'Europe spatiale a toujours reposé sur une compétitivité bien plus importante qu'aux États-Unis, fondée sur l'innovation technologique. Il faut que cette ambition ne se délite pas. Je me réjouis que la Commission européenne veuille créer une constellation souveraine. Je ne me réjouis pas à ce qu'à l'avenir nos concitoyens n'aient pour communiquer que le choix entre les infrastructures spatiales de SpaceX ou d'Amazon.

Comment voyez-vous l'évolution de l'exploration spatiale ?

Jusqu'à présent les fusées vont d'un point à un autre. Nous sommes persuadés que dans le futur il y aura des hubs dans l'espace à partir desquels partiront et reviendront d'autres lanceurs, comme les avions depuis les aéroports. Il ne faudra pas se reposer sur un modèle unique. Nous proposons une famille de fusées réutilisables qui iront des gros lanceurs type Ariane aux petites fusées. Et tout cela à une échelle de dix ans. Nous devons dès maintenant sensibiliser les Européens.

Et qu'en est-il des vols habités ?

Le nouveau directeur général de l'ESA, Josef Aschbacher, a raison de mobiliser les gouvernements autour de grands projets après les réussites du système de navigation Galileo et de Copernicus pour l'observation de la Terre. Le vol habité fait partie des projets. Face aux Américains, aux Chinois, désormais aux Indiens qui ont des projets très offensifs, il serait inconcevable que les Européens ne puissent pas le faire. Il en va là aussi de la souveraineté européenne. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR DOMINIQUE GALLOIS (AVEC LE « FRANKFURTER ALLGEMEINE ZEITUNG »)



©NASA / Mark Garcia

DANS L'ISS, LES SCIENTIFIQUES CHANGENT LE MONDE...

A quoi sont donc si occupés les astronautes dans la Station spatiale internationale ? Pourquoi est-il utile d'effectuer des recherches en impesanteur ? Quelles sont les retombées pour les Terriens ? Depuis plus de 20 ans, des expériences scientifiques se déroulent dans l'ISS. Au cours de la première mission de Thomas Pesquet, Proxima (en 2016-2017), l'équipage avait établi un nouveau record du nombre d'heures consacrées à la recherche scientifique à bord de la station.

A son bord d'avril à octobre 2021 pour la mission Alpha, l'astronaute est devenu le Français ayant passé le plus de temps dans l'espace. « *Le travail que nous effectuons dans l'espace prépare l'humanité aux prochaines grandes étapes de l'exploration spatiale, tout en faisant avancer la recherche pour tous sur Terre* » souligne-t-il. L'ISS rend possible la vie et le travail en impesanteur depuis maintenant deux décennies, constituant un magnifique exemple de coopération à grande échelle, rassemblant l'Europe, les Etats-Unis, la Russie, le Japon et le Canada.

C'est au sein du laboratoire européen Columbus, un environnement unique dédié à la recherche à long terme en impesanteur, que se déroulent les expériences sur lesquelles a travaillé Thomas Pesquet, en relation avec des scientifiques au sol. Se libérer de la pesanteur peut permettre de mieux comprendre les phénomènes naturels. C'est l'occasion de mener des recherches de pointe, de

tester de nouvelles technologies, enfin d'effectuer des expériences qui ne sont pas réalisables sur Terre.

Les disciplines abordées sont variées. Une centaine d'expériences figuraient au programme de la mission de l'astronaute français, dont certaines conçues par le CNES. Les études portent sur le vieillissement du cerveau, la capacité à manipuler des objets à distance, ou encore la conception d'emballages recyclables voire comestibles. « *Chaque jour est différent ; nous menons tellement d'expériences qu'il est difficile de se souvenir de toutes. Un matin, on incube des cellules souches, on enchaîne avec le lancement de nano-satellites, et dans l'après-midi on charge de nouvelles cartouches dans le four à métaux pour améliorer les alliages. C'est fascinant !* », s'exclame l'astronaute français.

L'objectif de beaucoup de ces expériences consiste à se préparer aux vols habités de longue durée vers Mars ou à un séjour dans une base lunaire : savoir faire une suture dans l'espace, avoir un système de support de vie en circuit fermé ne nécessitant plus d'approvisionnement en eau de la Terre pour fabriquer l'oxygène, étudier les effets du rayonnement cosmique sur l'ADN...

Certaines auront des retombées importantes pour des applications terrestres, notamment pour vivre mieux et plus longtemps sur notre planète.

Sacha Lorens

Extrait de la revue Internationale et stratégique (n°84 – février 2012)

Au cours de la Guerre froide, le rapport de force américano-soviétique s'était aussi matérialisé hors de l'atmosphère, notamment lors de la course à la lune des années 1960 ou au temps des projets balistiques et antibalistiques spatiaux des années 1980.

Si le spatial reste un domaine où s'expriment les rapports de force interétatiques, la nouveauté provient de l'importance critique de l'espace dans les activités terrestres, civiles ou militaires : navigation satellitaire, communication, télévision, météorologie, exploration scientifique, observation des phénomènes naturels, sécurité, (anti-)balistique, etc.

En plus des retombées technologiques, sécuritaires et commerciales, et à l'instar d'autres programmes stratégiques tels que le nucléaire, la maîtrise autonome de l'espace confère au pays qui la détient un statut privilégié dans la hiérarchie des nations. D'où le développement grandissant ces dernières années de nouveaux programmes spatiaux : Iran, Corée du Sud, Brésil, Argentine, en plus des puissances spatiales déjà émergées (Chine, Inde, Japon). Ces nouvelles politiques spatiales bousculent la hiérarchie traditionnelle de l'espace composée des États-Unis, de la Russie et de l'Europe (principalement la France). Alors que le spectre d'une nouvelle course à l'espace revient de façon lancinante dans les débats stratégiques, la crise financière et les dysfonctionnements internes fragilisent les programmes spatiaux des États spatiaux traditionnels. Quelle est la portée de ces dernières évolutions ? Sont-elles susceptibles à terme de relancer la course à l'espace ? À la différence, par exemple, des programmes nucléaires, relativement homogènes entre eux, les politiques spatiales peuvent prendre de multiples formes et applications qui rendent les comparaisons internationales difficiles voire trompeuses. Il convient donc d'étudier les caractéristiques endogènes de ces différentes stratégies afin d'identifier les éventuels segments de rivalités.

En plus des retombées technologiques, sécuritaires et commerciales, la maîtrise autonome de l'espace confère au pays qui la détient un statut privilégié dans la hiérarchie des nations

La volonté des États-Unis de garder la mainmise sur le spatial est particulièrement forte et n'a pas été remise en cause par la Présidence Obama : tant la dernière politique spatiale (énoncée en juin 2010) que la stratégie spatiale militaire (datant de février 2011) manifestent l'intérêt du pays à rester la puissance dominante de l'espace circumterrestre.

Pourtant l'année 2011 a fortement ébranlé l'assurance du pays. Les difficultés dans la négociation du budget fédéral et les restrictions financières n'ont pas épargné les activités spatiales et, surtout, la fin très médiatisée du programme des navettes laisse la nation pionnière de l'espace sans accès autonome à l'orbite pendant de nombreuses années. Comment expliquer cette situation ?

Les navettes spatiales n'ont jamais pu réaliser les ambitions qui avaient suscité la signature du programme *Shuttle* par Nixon en 1972. À l'époque, l'Administration souhaitait rebondir sur le succès des missions *Apollo* et banaliser le transport spatial, d'où les « navettes », à raison de quarante décollages prévus par an. Ce rythme élevé devait ainsi permettre de réduire les coûts unitaires de lancements. Le mythe de la conquête spatiale, celui de la « nouvelle frontière » inauguré par le discours de Kennedy en mai 1961, battait encore son plein et les navettes devaient en être les nouveaux symboles. Mais jamais le rythme de décollage n'a dépassé le record de neuf

missions par an établi en 1985. En outre, l'explosion de la navette *Challenger* en février 1986 entraîna un arrêt de plus de deux ans des vols habités américains. La poursuite du programme fut caractérisée par des surcoûts et des dysfonctionnements qui n'enlèveront toutefois rien à la prouesse technique de ces navettes, qui restent à ce jour les seuls engins spatiaux (partiellement) réutilisables, capables d'emmener une dizaine d'astronautes et vingt tonnes de charge utile en orbite.

La catastrophe *Columbia* en janvier 2003 porta un coup fatal au programme. Dès 2004 l'Administration Bush inaugure le programme *Constellation* qui devait ouvrir une nouvelle ère spatiale pour les États-Unis en prévoyant de faire retourner les astronautes américains sur la lune avant 2020 puis de poser le pied sur Mars dans les années 2030.

Inquiétée par les dépassements budgétaires et les retards déjà à l'œuvre en 2008, l'Administration Obama fit annuler le programme et proposa en 2010 une voie intermédiaire, le *flexible path*, qui conserve certaines fonctionnalités techniques de *Constellation*, mais subordonne la fixation d'objectifs lunaire ou martien à la réalisation de certains sauts technologiques. L'Administration Obama préfère donc se concentrer sur le développement technologique, la coopération internationale et l'utilisation de sociétés privées pour assurer le transport spatial en orbite basse. Décidée sur le tard et freinée par des dissensions politiques, cette nouvelle stratégie ne sera pas fonctionnelle avant de longues années. Le problème n'est donc pas tant la fin des navettes, qui au contraire permet aux États-Unis de se débarrasser d'un programme trop coûteux, peu fiable et qui concentrait les activités spatiales sur l'orbite basse. Le véritable enjeu qui fragilise la stratégie spatiale américaine est plutôt le manque de certitudes quant à la mise en œuvre et les résultats du *flexible path*.

La première incertitude concerne l'état des finances américaines ayant entraîné des restrictions déterminantes dans l'annulation du programme *Constellation* et qui continue de menacer certains programmes en cours. À titre d'exemple la NASA, dont le budget pour 2012 a été gelé à son niveau de 2010, soit 18,7 milliards de dollars, a souhaité revoir sa contribution au programme d'exploration martienne *ExoMars* mené en coopération avec l'Agence spatiale européenne. Les programmes scientifiques et d'exploration sont les premiers affectés, mais le budget des programmes militaires a également été réduit. Les négociations en cours au sein du Congrès tendent à une légère réduction du budget de la NASA pour les prochaines années, à l'heure où l'agence fédérale doit pourtant mettre en place les instruments du *flexible path* (fusées et capsules de transport spatial) et aider les sociétés privées à développer leurs capacités.

La deuxième grande incertitude qui entoure la politique spatiale américaine est justement cette responsabilité inédite confiée aux sociétés spatiales commerciales d'assurer le transport de fret et d'astronautes en orbite basse, principalement vers la Station spatiale internationale (SSI). Space X a été la première société privée à mettre en orbite puis récupérer une capsule de transport spatial (*Dragon*) grâce à sa fusée *Falcon 9*. Trois autres entreprises bénéficient de crédits de la NASA pour développer leurs capacités : Boeing, Sierra Nevada Corporation et Blue Origin.

MILITARISATION DE L'ESPACE

Un tir russe ravive le spectre de la guerre spatiale

Très critiquée, l'initiative de Moscou souligne le manque de règles face à une militarisation croissante

Vingt-quatre heures après un tir antisatellite russe, lundi 15 novembre, contre l'un de ses vieux satellites qui n'était plus opérationnel, les interrogations demeurent sur les véritables motivations de la Russie. Pourquoi la Russie a-t-elle pris le risque d'un tel tir alors qu'elle avait elle-même deux cosmonautes à bord de la Station spatiale internationale (ISS) et que les débris provoqués par cette manœuvre pouvaient potentiellement les exposer? S'agissait-il d'une pure démonstration de puissance opportuniste dans un contexte de regain de la compétition stratégique?

Dès le lendemain de la confirmation de ce tir par les autorités russes qui se sont félicitées du « succès » de leur opération, les réactions internationales ont toutefois été unanimes pour dénoncer cette opération. « La sûreté et la sécurité de tous les acteurs qui cherchent à explorer et à utiliser l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques ont été imprudemment mises en danger », a notamment critiqué le secrétaire d'Etat américain, Antony Blinken. C'est « un acte irresponsable », a, de son côté, déclaré le secrétaire général de l'OTAN, Jens Stoltenberg.

A Paris, la ministre des armées, Florence Parly, a, elle, qualifié les Russes de « saccageurs de l'espace » tandis que le ministre des affaires étrangères, Jean-Yves Le Drian, a condamné « une action déstabilisatrice ».

« Ce n'était pas une erreur »

Selon un certain nombre d'observateurs, ce tir était toutefois en partie prévisible. « Ce n'était pas une erreur », a confirmé au Monde le porte-parole du ministère des armées, Hervé Grandjean, mardi 16 novembre. « Nous savions que la Russie avait déjà procédé à une dizaine de tentatives de ce type de tir. Cet essai n'est donc pas une surprise stratégique pour la France », a-t-il assuré.

Les Etats-Unis, dont la supériorité est incontestée à ce jour dans l'espace, ont été les premiers à attribuer, dans la nuit de lundi à

Décollage de la fusée Vega, emportant les satellites militaires français Ceres, le 16 novembre, à Kourou, en Guyane.

P. PIRON/ESA CNES
ARIANESPACE



mardi, ce tir à la Russie, avant même sa confirmation officielle par Moscou. Concernant le sous-texte géopolitique d'un tel tir, les sources françaises sont beaucoup plus prudentes. Aucune association n'a été faite, par exemple, avec les tensions actuelles à la frontière ukrainienne et en Biélorussie.

Dans un domaine par nature extrêmement confidentiel où tout est classifié, l'analyse publique se borne à regretter un geste d'opportunité qui serait destiné, pour la Russie, à démontrer ses capacités spatiales. Analyse en partie confirmée par Moscou qui est allé jusqu'à considérer les accusations de Washington comme « hypocrites » estimant que les débris engendrés ne représentaient « aucune menace » pour « l'activité spatiale ».

Le tir antisatellite russe n'en demeure pas moins un signal de

plus que l'espace est en train de devenir un champ de conflictualité comme un autre. Les spécialistes le théorisent depuis longtemps. L'augmentation importante des budgets consacrés ces dernières années au spatial par la plupart des grandes puissances en était un des signaux annonciateurs. Là où le tir russe vient tirer le signal d'alarme de la communauté internationale, c'est qu'il s'inscrit dans un contexte de flou absolu sur ce que les experts appellent les « normes responsables dans l'espace ». Un vieux débat jamais tranché depuis 1967, date du seul et unique traité qui régle encore aujourd'hui l'espace.

Or, ces « normes responsables » recouvrent à la fois la question de la multiplication des débris, mais aussi celle de la « militarisation » de l'espace. Si les puissances occidentales comme les Etats-Unis ou la France se sont ainsi empressés,

mardi, de dénoncer le nombre de débris engendré par ce tir russe – environ 1500 –, elles ont été beaucoup plus silencieuses sur le second aspect, dont la définition elle-même n'est pas arrêtée. Le traité de 1967, interdit ainsi les armes de destruction massive en orbite, mais pas stricto sensu la militarisation de l'espace.

Projet « Yoda »

La France, par exemple, défend un usage « pacifique » de l'espace. Les moyens satellitaires qu'elle y déploie, essentiellement à des fins de renseignement, sont considérés comme uniquement « défensifs ». Toutefois, face à la multiplication d'acte d'espionnages dans l'espace (comme de la part de la Russie, en 2017, contre un satellite de communication militaire franco-italien Athena-Fidus), et la multiplication de tirs de destruction de satellites,

comme viennent de le faire les Russes mais ont aussi pu le tester les Etats-Unis (dans les années 1980 et en 2008), la Chine (en 2007), ou encore l'Inde (en 2019), elle a amorcé un changement de posture.

Au ministère des armées, on parle ainsi de plus en plus de développer des moyens de « défense active » dans l'espace. Au-delà de l'amélioration des moyens de surveillance par voie satellitaire – comme Paris a pu le faire, mardi 16 novembre, avec l'envoi d'une nouvelle constellation destinée au renseignement d'origine électromagnétique –, la France pourrait, dès 2023 ou 2024, être en mesure d'envoyer dans l'espace pour les tester de premiers petits satellites patrouilleurs afin de protéger ses installations. Un projet baptisé « Yoda » qui pourrait véritablement être opérationnel à partir

L'ENJEU POUR TOUTES LES ARMÉES EST DE PARVENIR À DÉFINIR CE QU'EST UN ACTE HOSTILE DANS L'ESPACE, ET DONC CE QUI POURRAIT DÉCLENCHER UNE ÉVENTUELLE RIPOSTE

de 2030. A terme, l'objectif des armées françaises est, par ailleurs, de pouvoir mener des opérations « combinées » entre terre et espace. L'enjeu aujourd'hui pour toutes les armées du monde, reste néanmoins déjà de parvenir à définir ce qu'est un acte hostile ou pas dans l'espace, et donc ce qui pourrait déclencher une éventuelle riposte. Le seul relatif consensus qui existe aujourd'hui, concerne la lutte contre les débris spatiaux.

Mais, dans d'autres domaines, les doctrines sont loin d'être arrêtées. A partir de quelle distance, par exemple, considérer que l'approche d'un satellite par un autre est un acte d'espionnage? Le débat est autant technique, juridique, que politique : à l'heure actuelle, il n'existe en effet pas formellement de « territoire » dans l'espace.

Alors que de nombreuses discussions sont en cours sur le sujet, notamment au sein des Nations unies, lors de son dernier sommet, à Bruxelles, mi-juin, l'OTAN a d'ores et déjà décidé de considérer que « les attaques dirigées vers l'espace, en provenance de l'espace, ou dans l'espace » représentaient « un réel défi » pour la sécurité de l'Alliance. Comme cela avait été acté en 2019 avec le cyber, elle a donc entériné le fait que des attaques dans le domaine spatial pourraient dorénavant conduire à l'invocation de l'article 5 du traité de l'Atlantique Nord. C'est-à-dire l'article qui organise la défense collective et prévoit qu'une attaque contre un des membres de l'Alliance est considérée comme une attaque dirigée contre tous les alliés. ■

ÉLISE VINCENT

Espace : pourquoi existe-t-il un tel engouement autour de Mars ?

L'Europe, les États-Unis, la Chine, l'Inde, la Russie et maintenant les Émirats arabes unis, tout le monde s'intéresse de près à l'exploration de la Planète rouge.

Après deux reports à cause du mauvais temps, la sonde émiratie "Al-Amal" a finalement [décollé de Tokyo en direction de Mars](#) dans la nuit du dimanche au lundi 20 juillet. Une première pour les Émirats arabes unis, mais pas pour l'Humanité.

À ce jour, les États-Unis, l'Inde, la Russie et l'Agence spatiale européenne sont déjà parvenus à placer des sondes autour de la planète Mars. Les Américains ont même réussi à faire atterrir des robots intacts, à savoir quatre atterrisseurs et quatre rovers, des véhicules capables de se déplacer. Les États-Unis et la Chine comptent d'ailleurs y envoyer prochainement des engins. Respectivement un nouveau rover nommé "[Perseverance](#)" et un petit robot téléguidé sous le nom de la mission "Tianwen-1" d'ici fin juillet 2020.

Toutes ces missions sur Mars ont un objectif en commun, la conquête de cette planète. Même s'il reste beaucoup à faire d'ici-là, la Planète rouge est abordable. Tous ces robots et satellites visent à préparer l'accueil des premiers humains sur place.

La prochaine étape de la conquête spatiale

Le XXème siècle était le siècle de la conquête lunaire, le XXIème sera probablement celui de la conquête martienne. Des [simulations ont déjà eu lieu en 2016](#). Une équipe a ainsi passé un an dans un dôme blanc de 11 mètres de diamètre sur les flancs d'un volcan, à Hawaï.

Certains voient dans l'exploration de Mars un moyen de prouver qu'il existe une forme de vie extra-terrestre. D'autres comme [Elon Musk](#), le PDG de [Tesla](#) et [SpaceX](#), y voient plutôt une occasion de [coloniser une nouvelle planète](#) pour y faire vivre des humains.

Rien n'est pour l'instant annoncé au sujet du premier pas sur Mars. On sait néanmoins que les hommes devront faire une escale par la Lune avant de se rendre sur la Planète rouge. Le satellite pourrait ainsi devenir une base avancée pour préparer ce long voyage, que l'on pourrait connaître entre 2040 et 2050.

[Nicolas Barreiro](#) 20/07/2020 RTL

LES TOURISTES DE L'ESPACE SONT-ILS DES ASTRONAUTES ?

Trois sociétés privées offrent aujourd'hui à des passagers fortunés l'accès à l'espace. Elles se sont livrées cet été à une surenchère médiatique à qui ira le plus loin ou le plus longtemps.

Le concours de phallus a eu au moins le mérite d'être franchement assumé. En juillet 2021, Richard Branson et Jeff Bezos ont livré à la planète le spectacle d'une course à l'espace ultramédiatisée entre milliardaires occidentaux blancs, dans la force de l'âge et de sexe masculin. Coup sur coup, les deux rivaux ont pris place dans leur vaisseau respectif — l'avion spatial Spaceship 2 pour Branson et la fusée New Shepard pour Bezos — pour aller goûter avec d'autres

passagers à quelques secondes d'apésanteur aux frontières de l'espace. Une course qui s'est poursuivie un cran plus vite et plus haut, le 16 septembre 2021, avec l'arrivée d'un troisième larron : Elon Musk, patron de la société Space X. Lors de la mission Inspiration 4 qui a duré trois jours, sa capsule Crew Dragon a emmené quatre passagers contempler la Terre à 500 km distance.

Le premier, Branson a coiffé Bezos au poteau en programmant au dernier

moment son vol le 11 juillet, soit neuf jours avant celui annoncé de son concurrent. Comme pour s'assurer la première place dans l'histoire du tourisme spatial privé. Mais c'était sans compter sur la contre-attaque de Bezos, qui n'avait nullement l'intention de renoncer si facilement à la postérité. Le fondateur d'Amazon s'est envolé le 20 juillet, date anniversaire du premier pas d'un homme sur la Lune. Quelques jours avant de décoller, il a pris soin de poster sur Twitter une infographie qui sonnait comme un ultime tackle avant le coup de sifflet final. En plus de vanter les nombreux atouts de sa New Shepard par rapport au Spaceship 2 de Branson (d'immenses fenêtres pour observer la courbure de la Terre et non de vulgaires hublots ; un vaisseau qui ressemble à une fusée et pas à un avion ; un véhicule des centaines de fois moins polluant), il tenta de disqualifier carrément son adversaire.

LÀ OÙ LES AVIONS NE VOLENT PLUS

En effet, si l'on en croit cette publicité comparative retweetée 2 600 fois, qui vole avec Air Bezos est assuré de bel et bien franchir les frontières de l'espace. "Depuis le départ, la New Shepard a été conçue pour voler au-dessus de la ligne de Kármán, écrit-il dans son tweet du 9 juillet. Pour 96 % de la population mondiale, l'espace commence à 100 km

d'altitude, au-delà de la ligne de Kármán, reconnue internationalement." Le 20 juillet, Bezos, son frère, Wally Funk et Oliver Deamen ont atteint 107 km d'altitude. Sur le Spaceship 2 de Virgin Galactic le 11 juillet, l'altimètre n'a pas dépassé 85,9 km. Les passagers de la New Shepard sont-ils les seuls, dans ce duel entre milliardaires narcissiques, à être allés dans l'espace ? Les seuls à mériter le titre d'astronautes à côté d'un Alan Shepard, d'un Neil Armstrong ou d'un Thomas Pesquet ? N'en déplaise au fondateur d'Amazon, c'est beaucoup plus compliqué que cela. La ligne de Kármán doit son nom à Theodore von Kármán. Dans les années 1960, ce pionnier de l'aéronautique calcule la limite au-delà de laquelle l'air est si raréfié qu'il ne peut plus porter les ailes d'un avion. "Son étude révéla que cette limite se trouvait vers 80 km, raconte Jonathan McDowell, du Harvard Smithsonian Center for Astrophysics, spécialiste de l'histoire des vols spatiaux. Mais dans les années qui suivirent, d'autres experts notèrent que la densité de l'air devait fortement varier en fonction de l'heure et des conditions météo, et avec elle la limite théorique de l'espace. Ils proposèrent donc de fixer une limite arbitraire à 100 km tout rond. Avis auquel se rangea Kármán lui-même.

Cette limite est aujourd'hui utilisée par la Fédération aéronautique internationale, mais non par les institutions aéronautiques américaines. Pour la Nasa, la Federal

Aviation Administration (FAA) et l'armée, la frontière est fixée à un autre chiffre rond : 50 miles, soit environ 80 km. C'est parce que les Américains représentent environ 4 % de la population mondiale que Jeff Bezos affirme que "96 % de l'humanité utilise la ligne de Kármán". Il oublie au passage que c'est aux Américains que l'on doit l'immense majorité des vols habités de l'histoire et qu'à cet égard, leurs us et coutumes aéronautiques pèsent lourdement dans la balance.

UNE LIMITE FLOUE

Il oublie surtout que cette limite à 100 km n'est nullement fondée sur des bases scientifiques solides. Ce qu'a confirmé Jonathan McDowell en 2018 dans la plus vaste étude jamais réalisée sur cette zone floue où cesse le ciel et où commence l'espace. "J'ai analysé des millions de trajectoires de satellites lancés durant 60 ans. Il apparaît que les satellites aux orbites elliptiques dont le périhélie [point le plus bas de l'orbite] est situé entre 80 et 90 km survivent durant plusieurs semaines. Mais une fois en dessous de 80 km, les frottements deviennent tels que les engins décèlent avant de plonger rapidement vers la Terre, détaille l'astrophysicien. Si mon travail avait montré que ce point de rupture entre le ciel et l'espace se situe tantôt à 70 km, tantôt à 150 km en fonction des conditions météorologiques, j'aurais admis qu'une limite arbitraire à 100 km était sans doute le choix le plus raisonnable. Mais ce n'est pas le cas : la limite oscille toujours autour des 80 km. Avec des moyens beaucoup plus sophistiqués, je retrouve donc le résultat initial de Kármán." L'espace commence non pas à 100, mais à 80 km. C'est donc avec un argument fallacieux que Jeff Bezos a tenté de prendre l'avantage sur son concurrent. Tout comme lui, Richard Branson et son équipage se sont donc bel et bien rendus dans l'espace le 11 juillet 2021. Égalité, la balle au centre.

Seconde manche. De tous ces nouveaux passagers spatiaux, qui a le droit au glorieux titre d'astronaute ? La question a fait l'actualité juste après le duel Branson-Bezos. Le 25 juillet, comme pour faire taire l'arrogance de milliardaires à l'égo trop enflé, la FAA publie un décret dans lequel elle révisé les critères d'attribution de ses fameuses "ailes" d'astronaute pour quiconque emprunte un vol commercial. Désormais, pour les obtenir, détaille le décret, il faut non seulement être monté dans un vol certifié par la FAA (ce qui était le cas des vols de juillet estampillés Virgin Galactic

et Blue Origin) et se rendre au-delà de 80 km, mais aussi "avoir mené durant le vol des activités essentielles à la sécurité du public, ou contribué à la sécurité des vols spatiaux habités".

Avantage Branson. Durant le vol Unity 22 du Spaceship 2 en effet, Beth Moses, instructrice en chef des astronautes chez Virgin Galactic, les deux pilotes et les autres membres d'équipage, tous des salariés de Virgin, ont effectué un vol de test, notamment destiné à vérifier tous les dispositifs de sécurité. Dans la New Shepard tout automatisée en revanche, les quatre passagers se sont contentés d'attacher leur ceinture et d'admirer la vue.

Outre-Atlantique, diverses administrations jugent de qui est digne ou non du statut d'astronaute. La Nasa auréole ses recrues de "pin's" : en argent si elles ont terminé leur formation ; en or dès qu'elles ont effectué un premier vol au-dessus de 80 km. De leur côté, les instances militaires délivrent chacune leur décoration au design spécifique à chaque corps (US Army, Marine...). La FAA, quant à elle, ne décerne "que" des ailes d'astronautes "commerciaux" et définit ceux-ci

En avril 2001, Dennis Tito séjourne à bord de la station spatiale internationale. L'homme d'affaires californien achète son vol 20 M\$ à l'agence spatiale russe. © M. Metzler/AP



poussée d'un moteur-fusée...” En avril 2021, l'Association of Space Explorers (ASE), dont il est membre au même titre que quasiment tous les astronautes français et qui regroupe 400 membres désignés comme *space flyers*, a mis en place le premier insigne universel d'astronaute. Objectif : réunir tous ceux qui sont allés dans l'espace, quelles que soient leur nationalité et l'agence ou la société privée qui les a fait voler. L'insigne, un chevron en or surmonté d'une étoile, symbolise un décollage et un retour sur Terre. Il existe en deux versions. L'une simple est attribuée à toute personne qui a atteint l'espace lors des vols suborbitaux. L'autre agrémentée d'un cercle est destinée à celle ayant effectué au moins une orbite autour de la Terre. Le premier exemplaire de ce nouvel insigne à séjourner dans l'ISS est porté par Soichi Noguchi. L'astronaute japonais, qui a rejoint l'ISS en novembre 2020 avec le vaisseau Crew Dragon, a déclaré une fois à bord : “Il est désormais entendu que tous les voyageurs de l'espace ont le droit de porter l'Insigne universel des astronautes.” Sous-entendu : que quiconque s'est rendu au-delà de 80 km d'altitude est officiellement un astronaute. Aussi bien Neil Armstrong que Thomas Pesquet. Tout autant Richard Branson que Jeff Bezos.

LES PROS ET LES AUTRES

Pour autant, le public utilisera-t-il ce terme pour désigner les milliardaires qui se sont envoyés en l'air, ou bien la dénomination moins glorieuse de “touriste de l'espace” ? “Le mot évoluera et prendra tout son sens avec le temps”, estime Jonathan McDowell. On peut faire le parallèle avec les premiers temps de l'aviation. Les premiers acteurs de cette nouvelle ère étaient tantôt appelés *flyers* [qui n'a pas vraiment de bonne traduction en français, NDLR], pilotes, aviateurs... Le terme qui, dans nos esprits, désigne aujourd'hui “membre actif d'équipage” est clairement *pilote*. *Flyer*, quant à lui, est devenu synonyme de *passager*. On ne peut donc pas encore savoir quel lexique l'histoire va retenir pour les voyageurs spatiaux. Peut-être qu'*astronaute* finira par désigner quiconque s'est rendu dans l'espace et qu'on trouvera un autre terme pour désigner les membres actifs et entraînés d'équipage. Pourquoi pas *spacer*, comme dans les premiers *comic books* sur les voyages spatiaux ? Mais il faut noter que pour l'heure, les milliardaires ne jouissent pas d'une forte popularité auprès du public. Il se pourrait bien, de ce fait, qu'ils ne montent jamais en grade et restent à jamais de “vulgaires” touristes.

ÉMILIE MARTIN

comme *“des personnes qui ont commandé, piloté ou servi comme membres actifs d'équipage au sein d'un vaisseau dont le financement est privé”*. À ce jour, onze personnes (dont Beth Moses) ont reçu ces ailes commerciales. Sept ont volé sur les vaisseaux Spaceship 1 ou 2. Les quatre autres les ont gagnées lors de la mission Inspiration 4 de Space X. Le nouveau décret pourrait bien empêcher Bezos et ses équipiers de rejoindre ces *happy few*. *“Je ne comprends pas bien ce nouveau serrement de vis de la FAA, commente Jonathan McDowell, d'autant qu'ils annoncent aussi se réserver le droit d'accorder des ailes à titre honorifique. À la tête du client quoi... Ce n'est pas très sérieux.”*

L'EXPÉRIENCE DE L'APESANTEUR

Et si la FAA est compétente aux États-Unis, elle n'a bien sûr pas vocation à légiférer pour le monde entier. Ce qui est en revanche le cas de la division *“affaires spatiales”* de l'ONU, l'Unoosa (United Nations Office for Outer Space Affairs). Or, dans son Outer Space Treaty de 1967, qui reste à ce jour le seul traité régissant les activités spatiales à l'échelle internationale, l'article 1 indique que *“l'exploration et l'usage de l'espace doivent être menés au bénéfice et dans l'intérêt de toutes les nations”*, puis l'article 5 souligne *“les parties doivent considérer les astronautes comme des envoyés de l'humanité”*. À regarder les milliardaires et leurs invités VIP sabler le champagne au bas de leur fusée, il est évident qu'ils sont sacrément loin du vœu de l'Outer Space Treaty.

Mais c'est un vœu pieux, formulé dans les années 1960, où le voyage spatial était l'apanage des agences

publiques. Dans ce nouveau paysage où apparaissent les acteurs privés, il faut d'urgence rédiger un nouveau traité international, plaident certains observateurs. À qui un nouveau concordat spatial donnerait-il des ailes ? Aux seuls professionnels qui s'entraînent de longs mois afin de savoir manipuler des engins ultratechniques, gérer les éventuels problèmes qui surviennent en milieu extrême et mener des expériences en apesanteur ? Si tel est le cas, alors il faut sans doute compter dans le lot Denis Tito et les six autres civils qui, dans le sillage de cet homme d'affaires californien au début des années 2000, se sont chacun entraînés plusieurs mois avant de séjourner dans la station spatiale internationale (ISS) et ont, pour certains, conduit une série d'expériences à bord. *“À l'inverse, on pourrait arguer du fait que les vaisseaux actuels, tel le Dragon de Space X, sont si faciles à manier qu'ils ne nécessitent plus autant d'expertise et de formation qu'il n'en fallait pour piloter Apollo, le Soyouz ou la navette, note Jonathan McDowell. Alors combien de boutons faut-il pousser pour être officiellement astronaute ? À mon sens, le curseur de l'expérience et de la formation mène à des questions ubuesques.”*

“Je suis favorable à ce que l'on donne le statut d'astronaute à toute personne qui a l'expérience humaine du vol spatial, sans qu'il ait forcément des tâches opérationnelles à accomplir, estime Jean-François Clervoy, ancien astronaute européen et qui compte à son actif trois missions à bord de la navette. C'est-à-dire voir le ciel noir en plein jour, la courbure de la Terre, ressentir l'apesanteur, la puissante

Espace : L'Europe lance avec succès Eutelsat Quantum, le premier satellite « flexible »

Une première mondiale depuis la [base de Kourou, en Guyane](#). La fusée [Ariane 5](#) a lancé ce vendredi Eutelsat Quantum, le premier [satellite](#) commercial dit « flexible ». Cette première Ariane 5 de l'année a décollé à l'ouverture de sa fenêtre de tir, à 18h (23h à Paris), avec deux satellites à son bord pour le compte des opérateurs satellitaires Embratel, le plus important du Brésil et d'Amérique latine, et Eutelsat donc, un des leaders mondiaux du secteur.

Eutelsat Quantum permettra aux clients d'Eutelsat de reconfigurer le satellite en temps réel, de sa puissance à son spectre en passant par sa fréquence. L'autre satellite de télécommunication lancé est Star One D2 qui, avec ses six tonnes, est le plus gros jamais commandé par Embratel.

Des changements en quelques minutes

Commandé il y a cinq ans, Eutelsat Quantum est le fruit d'un partenariat public-privé impliquant l'[Agence spatiale européenne](#), l'opérateur Eutelsat et Airbus Defense and Space. L'opérateur européen attend beaucoup de cette nouvelle technologie, présentée comme une première mondiale. Chacun des huit faisceaux de Quantum sera modulable, aussi bien en zone de couverture qu'en puissance ou en fréquence, « en quelques minutes », via un logiciel mis à la disposition du client, selon Eutelsat.

Cette souplesse d'utilisation permettra par exemple d'assurer une couverture mobile pour des avions, des navires, ou des services gouvernementaux, par exemple en cas de catastrophes naturelles ou d'évènements ponctuels. Elle ouvre aussi la voie à une production plus proche de la série des satellites, qui sont jusqu'ici des objets uniques. « Quantum est à la pointe des solutions de logiciels pour engins spatiaux commerciaux car nous sommes les premiers à répondre à la demande du marché pour une extrême flexibilité pour les clients », s'est félicitée Elodie Viau, directrice des télécommunications et des applications intégrées à l'Agence spatiale européenne.

Le lancement de cette première Ariane 5 de l'année sera suivi de deux autres Ariane, sans oublier une Véga et une [Soyouz](#) cet été, a rappelé le PDG d'Arianespace, Stéphane Israël.

20 MINUTES 31/07/2021

Espace : Maïa pour répondre à Elon Musk

Le ministre de l'économie, Bruno Le Maire, a annoncé que ArianeGroup allait développer un mini-lanceur réutilisable

Tout faire pour rattraper le retard pris par les Européens face à l'américain SpaceX dans le spatial, que ce soient les fusées réutilisables ou les constellations de satellites. Lundi 6 décembre, le ministre de l'économie, Bruno Le Maire, a annoncé qu'ArianeGroup allait développer un minilanceur réutilisable. Cette fusée « doit être opérationnelle en 2026 », a indiqué le ministre de l'économie en présentant le projet appelé Maïa Space. Il concrétise ainsi les engagements pris par Emmanuel Macron lors de la présentation, en octobre, de son programme France 2030 où 1,5 milliard d'euros seront consacrés à l'espace. Le futur lanceur pourra embarquer des satellites pesant entre 500 kg et une tonne pour les placer entre 200 et 2000 kilomètres de la Terre, l'orbite basse étant devenue l'un des endroits privilégiés pour les satellites de télécommunications ou d'observation, sans parler des constellations destinées à fournir l'Internet haut débit. La fusée sera fabriquée à Vernon, dans l'Eure, ce qui permettra de créer une certaine d'emplois supplémentaires et de compenser le transfert vers l'Allemagne de l'activité intégration des moteurs Vinci.

Calendrier serré

Il s'agit d'un pari ambitieux, puisque Maïa devra être réalisé en moins de quatre ans. Certes, le moteur Prometheus qui l'équipera est déjà bien avancé, tout comme l'étage récupérable Themis, mais le calendrier est très serré. L'enjeu est de taille face à Elon Musk, qui domine et donne le ton sur le marché spatial avec sa fusée réutilisable Falcon 9 et sa constellation de satellites Starlink. « Nous allons

rattraper un mauvais choix stratégique fait il y a dix ans pour que la France et l'Europe aient enfin un lanceur réutilisable », a précisé Bruno Le Maire, en ajoutant être « convaincu que cette approche est complémentaire d'Ariane 6 ». Une manière de rappeler que le différentiel entre la France et l'Allemagne, les deux principaux contributeurs de ce projet (56 % pour Paris et 22 % pour Berlin), qui a éclaté cette année, était terminé.

« Nous avons mis un coup d'arrêt à ce dans quoi l'Europe était en train de s'engager : la division, la rivalité et, dans le fond, l'affaiblissement de tous les acteurs spatiaux européens, pour rassembler nos forces, faire une division du travail et des compétences qui sera plus efficace », a précisé le ministre de l'économie. Cela nous met en ordre de marche pour pouvoir rivaliser avec [les acteurs] américains et bientôt chinois. » Chaque pays partenaire préférera la future fusée européenne pour ses lancements dits institutionnels (militaires, scientifiques) aux lanceurs américains. Le premier vol du successeur d'Ariane 5 est prévu en 2022.

Si ArianeGroup développe seul sa gamme de fusées comprenant le lanceur lourd Ariane 6 et la minifusée Maïa, le créneau des microlanceurs réutilisables pouvant embarquer des satellites de quelques dizaines de kilos à 500 kg sera, lui, ouvert à la concurrence. Dans le cadre de France 2030, un appel à projets sera lancé d'ici la fin de l'année auprès de start-up et de PME. « Nous apporterons des financements, du soutien technique, du soutien technologique, et nous garantirons les premières commandes », a affirmé Bruno Le Maire. ■

DOMINIQUE GALLOIS

Tourisme spatial : ces hypers riches consomment en 10 minutes autant d'énergie qu'un milliard d'humains en une vie

Virgin Galactic, Blue Origin, SpaceX : l'envolée du tourisme spatial a marqué par trois fois l'actualité de ces dernières semaines. Lorsque le 20 juillet, Jeff Bezos, l'homme le plus riche de la planète, s'est élevé dans l'espace avec ses 3 invités, ils ont émis chacun, en 10 minutes, 75 tonnes de CO₂. Le milliard d'humains les plus pauvres n'en émettent pas autant pendant toute leur vie. N'est-ce pas scandaleux ?

SpaceX, l'entreprise d'Elon Musk, a envoyé ce 16 septembre 2021 quatre touristes dans l'espace pour une petite « balade » de trois jours, à une altitude supérieure à celle de la Station Spatiale Internationale (**ISS**). Si les escapades scandaleuses de ces hyper riches ont marqué par trois fois l'actualité de ces dernières semaines, le phénomène n'est pas nouveau.

A la suite de **Denis Tito**, un businessman américain qui a été le 28 avril 2001 le premier touriste de l'espace, huit billets pour embarquer à bord du vaisseau russe Soyouz ont été vendus entre 2001 et 2009. Une « excursion » qui a coûté à ces voyageurs d'un nouveau genre, entre 20 et 35 millions de dollars par personne. Cela représente le budget quotidien d'une quinzaine de millions d'humains vivant au [seuil de pauvreté](#).

Mais le plus grave dans cette histoire c'est que le nouveau tourisme de luxe risque de prendre dangereusement de l'ampleur dans l'avenir. **SpaceX**, **Blue Origin** (la société du patron d'Amazon), et **Virgin Galactic**, celle de **Richard Branson**, le premier milliardaire à avoir, le 11 juillet 2021, voyagé dans l'espace à bord d'un engin conçu par sa propre compagnie, ont lancé un nouveau marché. Mais ces trois-là ont donné des idées à une multitude de plus petites entreprises qui rêvent de s'y engouffrer et d'envoyer à leur tour des richards dans le cosmos, sur la Lune ou sur Mars, d'y établir des hôtels, voire de véritables colonies.

Selon une info parue dans *Libération*, plus de 50.000 personnes dans le monde seraient déjà prêtes à dépenser 200.000 à 300.000 dollars pour un tour dans l'espace. C'est le prix annoncé par Blue Origin pour les voyages dans sa navette que la société de **Jeff Bezos** compte mettre en vente prochainement.

En septembre 2018, le milliardaire japonais **Yusaku Maezawa** a acheté à Elon Musk une place à bord de **Starship**, le vaisseau mis au point par SpaceX pour voyager vers la Lune, à partir de 2023.

Une tendance qui ne fera que croître puisque UBS, une société suisse spécialisée dans les services financiers estime le marché potentiel du tourisme spatial à 3 milliards de dollars. La principale raison d'un tel engouement ? Une baisse drastique des coûts de production et d'exploitation. Les fusées modernes sont aujourd'hui moins coûteuses et bien plus fiables grâce à l'innovation technologique.

Un coût environnemental astronomique

Or pour vaincre l'attraction terrestre et s'élever au-delà de l'atmosphère, ces fusées touristiques doivent dépenser de l'énergie, énormément d'énergie, fossile de surcroît. Et par conséquent, émettre des quantités astronomiques de gaz à effet de serre. Dans un article publié par *The Conversation*, trois physiciens ont évalué le coût environnemental de ces caprices pour ultra-riches.

Toutes les missions ne dépendent pas autant d'énergie, précisent les chercheurs. Plus l'altitude atteinte est élevée, plus la facture est « salée ». Les plus « sobres » sont les [vols paraboliques](#) à bord d'un avion. Déjà très pratiqués puisqu'ils ne coûtent « que » 6.000 €, ils consistent à effectuer une série de paraboles qui permettent, pendant une vingtaine de secondes, de créer dans la carlingue de l'appareil une situation proche de l'apesanteur. Pour cette petite lubie, chaque passager émet autant de carbone qu'un trajet Paris-Varsovie.

Pendant un [vol suborbital](#) comme ceux que proposent Virgin Galactic et Blue Origin, les « dépenses » énergétiques explosent tout comme le prix à payer. Ces touristes-là émettent pour s'extraire de l'attraction terrestre pendant leur courte escapade, environ 4,5 tonnes de CO₂, soit près de la moitié des [émissions annuelles](#) d'un Français. Mais si l'on ajoute le coût climatique de toutes les activités annexes nécessaires à la réalisation de l'envol, il s'agit au total de 11,5 tonnes de gaz carbonique. Pour rappel, les Français ne devraient pas produire d'ici 2050, plus de 2 tonnes de CO₂ par an pour atteindre l'objectif fixé par l'Accord de Paris.

Quant aux vols orbitaux ou vers l'ISS, les chercheurs ont calculé que le voyage d'une fusée **Falcon 9**, celle dans laquelle ont embarqué les quatre touristes de SpaceX, engendre plus de 1.150 tonnes de CO₂, soit « 638 ans d'émissions d'une voiture moyenne parcourant 15 000 km par an ». Chaque passager d'un tel vol produit donc 26 fois plus de gaz à effet de serre qu'un Français moyen au cours d'une année.

Révoltant

Mais à ces émissions et dépenses d'énergie directes générées pendant le voyage il faut encore ajouter celles qui sont provoquées par la fabrication et la construction des engins, matériaux, infrastructures et bases de lancement nécessaires à la réalisation des missions. **Spaceport America**, la base de Virgin Galactic, au Nouveau-Mexique, couvre 73 km², soit plus de deux fois la superficie de l'aéroport Roissy-Charles-de-Gaulle.

Lucas Chancel, le codirecteur du laboratoire sur les inégalités mondiales à l'École d'économie de Paris, a estimé l'empreinte carbone totale des voyages spatiaux proposés par Blue Origin. « *En 10 minutes, Bezos et ses trois clients vont émettre chacun 75 tonnes de CO₂. 10 minutes. Sur terre il y a un milliard de personnes qui n'atteignent pas ces niveaux d'émissions sur une vie entière* » dénonce-t-il [dans un tweet](#).

Révolution énergétique – Bernard Deboyser - 24/09/2021

CE QUE VA CHANGER LE TÉLESCOPE WEBB

Les attentes sont énormes. Le 18 décembre, si tout se passe bien, une fusée Ariane 5 décollera de Kourou en emportant sous sa coiffe le plus précieux télescope spatial jamais lancé. Doté d'un miroir de 6,5 m de diamètre et d'une technologie cryogénique, observant l'Univers depuis un poste avancé à 1,5 million de kilomètres de la Terre, le James Webb Space Telescope (JWST) sera chargé de répondre aux questions laissées en suspens par Hubble. Comme son célèbre prédécesseur, le bijou à 10 milliards de dollars de la Nasa sera un observatoire généraliste. Il étudiera aussi bien les galaxies primordiales que les étoiles de la Voie lactée. Il sondera les exoplanètes tout comme les corps de notre Système solaire. Mais contrairement à Hubble, le JWST n'observera pas le rayonnement visible. Son royaume sera le domaine infrarouge. À ces longueurs d'onde, le James Webb remontera plus loin dans le passé de l'Univers. Il plongera plus profondément dans les cocons de gaz et de poussières où

naissent les étoiles. Et grâce à son extrême acuité et sa sensibilité, il pourra analyser l'atmosphère de planètes aussi petites que la Terre. Une première !

L'Europe est partie prenante de cette aventure commencée il y a trente ans. Parce qu'elle est chargée de lancer le télescope de 6 tonnes, bien sûr, mais aussi parce qu'elle a entièrement conçu l'un de ses quatre instruments, et la moitié d'un autre. En France comme à travers le monde, énormément d'astrophysiciennes et d'astrophysiciens attendent les premières données du JWST. Les observations scientifiques commenceront six mois après le lancement. Leur potentiel de découvertes est énorme, avec sans doute plusieurs prix Nobel à la clé. Mais dans l'espace, beaucoup de manœuvres complexes devront être réussies avant que l'œil du futur télescope spatial ne s'ouvre [lire C&E 579 p. 26]. Toute une génération d'astronomes en dépend. Qu'il triomphe ou qu'il échoue, il y aura un avant et un après-JWST.

DOSSIER RÉALISÉ PAR DAVID FOSSÉ

“C'est le plus grand télescope spatial jamais lancé pour une mission scientifique !” Instrumentaliste, spécialiste de l'observation des galaxies, Pierre Ferruit, 52 ans, est responsable de la contribution scientifique de l'Agence spatiale européenne (ESA) pour le James Webb Space Telescope. À l'interface entre les chercheurs et les ingénieurs depuis 2012, il connaît mieux que quiconque les attentes des scientifiques vis-à-vis de ce télescope hors-norme. “Le Webb produira des images aussi fines que Hubble, mais verra des objets 100 fois plus faibles”, précise-t-il. Il sait aussi quels défis il a fallu relever pour le fabriquer...

Le JWST est souvent présenté comme le successeur de Hubble. Comme lui, c'est en effet un télescope spatial généraliste qui va contribuer à tous les domaines de l'astronomie. Mais il y a une différence importante : le JWST n'observera pas dans le visible, mais dans l'infrarouge. Pourquoi ce choix ? Pierre Ferruit : Ce sont ses objectifs scientifiques qui ont déterminé



Pierre Ferruit est un spécialiste d'instrumentation en astrophysique. Il a travaillé pour plusieurs expériences au sol avant de rejoindre l'Agence spatiale européenne. © P. Ferruit

toute son architecture. La Nasa a commencé à réfléchir à l'après-Hubble au début des années 1990, peu après son lancement. La grande question alors était de savoir comment s'étaient formées les premières étoiles et les premières galaxies. On savait que, pour les observer très loin dans le passé de l'Univers, presque à ses débuts, il fallait aller au-delà du rayonnement visible. C'est à cause de l'expansion cosmologique, qui étire les longueurs d'onde : les photons ultraviolets d'une jeune étoile émis il y a plus de 13 milliards d'années ne peuvent être détectés aujourd'hui que dans l'infrarouge. Les missions de maintenance de Hubble ont permis de le pousser aussi loin que possible dans cette direction, notamment avec l'installation en 2009 de la caméra WFC3, qui peut observer dans l'infrarouge proche jusqu'à une longueur d'onde de 1,7 μm . Mais pour remonter plus loin dans le temps, il faut un observatoire spatial optimisé pour les longueurs d'onde supérieures [voir p. 51]. Et aussi un

Pouvez-vous nous décrire ceux-ci ? Il y en a quatre : Miri, Niriss, Nirspec et Nircam. Miri a été conçu en Europe conjointement avec la Nasa. Il observera dans l'infrarouge moyen, entre 5 et 29 μm . Il sera capable de faire des images et des spectres — si une image vaut mille mots, en astrophysique on a coutume de dire qu'un spectre vaut mille images ! — et est équipé de coronographes. Notamment pour réaliser des images d'exoplanètes. C'est le seul instrument qui sera refroidi à plus basse température que le télescope : il fonctionnera à $-266\text{ }^\circ\text{C}$. Niriss est un imageur et spectrographe de l'agence spatiale canadienne qui observera entre 0,6 et 5 μm . Lui aussi a été modifié pour étudier les exoplanètes. Le spectrographe de l'ESA Nirspec observera également entre 0,6 et 5 μm . Il a été conçu à la base pour étudier l'Univers lointain.

Il pourra analyser jusqu'à 200 objets à la fois. Idéal pour l'étude des champs de galaxies ! Enfin, Nircam travaillera dans la même gamme de longueurs d'onde que Niriss et Nirspec. Cet instrument réalisé par l'université d'Arizona fera surtout des images à haute résolution. Il est aussi équipé de coronographes. Un point intéressant à noter : le Webb pourra étudier avec plus d'un instrument à la fois, typiquement deux, sur deux champs différents.

Il observe dans l'infrarouge, mais il y a une autre différence importante avec Hubble. Il sera à 1,5 million de kilomètres de la Terre. Pourquoi ne pas l'avoir placé en orbite terrestre, où il serait accessible pour d'éventuelles réparations ? Parce que pour le JWST, observer hors de l'atmosphère terrestre ne suffit pas. Il faut en plus qu'il observe depuis un

endroit où il peut se refroidir facilement. S'affranchir de l'atmosphère, c'est une évidence dans l'infrarouge car à ces longueurs d'onde elle est quasiment opaque, sauf dans certaines fenêtres qu'on exploite depuis le sol. Mais il y a autre chose : si on laissait le JWST à la température ambiante, son propre rayonnement l'aveuglerait ! C'est lié au fait que tous les objets émettent un rayonnement dont la longueur d'onde dépend de leur température — le corps humain, par exemple, brille fortement vers 10 μm , dans l'infrarouge thermique. Là d'où il observera, autour du point de Lagrange L2, le Webb sera plongé dans l'ombre en permanence, sa température descendant à $-233\text{ }^\circ\text{C}$, dos à notre étoile et à la Terre derrière son pare-soleil.

Donc ce télescope à 10 milliards de dollars ne pourra jamais être réparé ? Non, ce n'est pas prévu. Comme

miroir qui collecte plus de lumière, car nous visons des objets très faibles. C'est une des raisons pour lesquelles celui du Webb fait 6,5 m de diamètre, contre 2,4 m pour Hubble. L'autre raison est que, pour une taille de miroir donnée, l'acuité maximale d'un télescope décroît lorsque la longueur d'onde augmente. Pour obtenir dans l'infrarouge des images aussi fines que dans le visible, il faut donc agrandir le miroir.

Voir les premières étoiles et les premières galaxies est donc l'objectif principal du JWST ? C'est la thématique qui est à la genèse du Webb, quand il s'appelait encore le NGST [NDLR : Le Next Generation Space Telescope a été rebaptisé en 2002],

mais d'autres ont joué un rôle. La formation des étoiles et des systèmes planétaires, par exemple... Dans le domaine visible, les nuages de gaz et de poussières où naissent les étoiles sont opaques. Mais dans l'infrarouge, ils sont pratiquement transparents. Avec le JWST, nous allons pouvoir sonder ces endroits cachés où se forment les étoiles avec une précision jamais atteinte ! Très tôt, l'étude du Système solaire externe a aussi été identifiée comme un sujet important. Les petits corps congelés en orbite au-delà de Pluton, les objets de Kuiper, sont des cibles idéales pour le Webb car les signatures chimiques des glaces tombent dans l'infrarouge. Idem pour les lunes glacées des planètes géantes, et pour les planètes

elles-mêmes : la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et la plupart des molécules volatiles qui les composent ont leur signature dans l'infrarouge. Par ailleurs, nombre de ces corps froids ont un rayonnement thermique qui tombe dans la gamme d'observation du Webb. Et puis, bien sûr, il y a les exoplanètes ! Cette thématique s'est greffée relativement tard dans le projet — il faut dire qu'il y a trente ans, on ne connaissait aucune planète extrasolaire... — mais elle a pris une grande importance : un quart du temps attribué pour la première année d'observation du JWST y est consacré. La découverte des exoplanètes a d'ailleurs influencé le développement des instruments du télescope James Webb.

Herschel ou Planck avant lui, qui observaient aussi depuis le point L2, le JWST ne sera pas réparable. Mais ce n'est pas qu'à cause de sa distance. Il ne faut pas oublier que le Webb est un télescope cryogénique très complexe. En particulier, ses instruments installés à l'abri derrière des couches isolantes sont difficiles d'accès. Nous ne sommes pas du tout dans la configuration de Hubble, avec des instruments placés dans des casiers extractibles par des astronautes ! C'est aussi pour cela que les tests ont été si longs et si difficiles : il doit durer.

Combien de temps ?

La mission nominale du JWST est de cinq ans, mais tout a été prévu pour fonctionner au moins le double. En fait, le seul consommable à bord est le combustible qui lui permettra de maintenir son orbite. Grâce à la puissance de la fusée Ariane 5, le Webb en emporte pour dix ans.

Ce lancement n'est que la première étape d'un long chemin pour le JWST. Il va falloir que le télescope se déplie, atteigne son orbite... Quand peut-on espérer voir sa première image ? Les premières belles images seront réalisées dès la fin de la recette en vol des instruments [la vérification de leur bon fonctionnement, NDRL], juste avant le début des observations scientifiques. C'est-à-dire environ six mois après le lancement. Des cibles emblématiques ont été sélectionnées par la Nasa, mais même moi, je ne les connais pas ! Leur rôle sera de montrer à tous ce dont le JWST est capable. Cela dit, des images techniques pourront être diffusées avant. Par exemple, des images seront prises lors de l'alignement des miroirs et la Nasa pourrait communiquer dessus.

Et le déploiement du télescope lui-même, pourra-t-on y assister ?

Non, il n'y a pas de caméras pour ça. De toute façon, une fois que le pare-soleil sera déployé, le télescope sera dans le noir ! Mais il enverra énormément d'informations. Nous saurons ce qui se passe.

Finalement, avec le recul, quel a été le plus grand défi de ce projet ?

Gérer sa complexité et sa durée. Le JWST, c'est un observatoire de haute technologie conçu et fabriqué par des équipes internationales sur plus de 20 ans ! Au niveau technique, le fait qu'il doive fonctionner à -230 °C a rendu tout plus compliqué.

Un exemple : comment tester un télescope de 6,5 m de diamètre à ces températures ? Il a fallu reconfigurer la gigantesque chambre à vide du centre spatial Johnson de la Nasa (là où avaient été testées les capsules Apollo) pour en faire la plus grande chambre cryogénique du monde [NDLR : elle fait 16,8 m de diamètre pour 27,4 m de haut].

Un autre défi a été de concevoir le

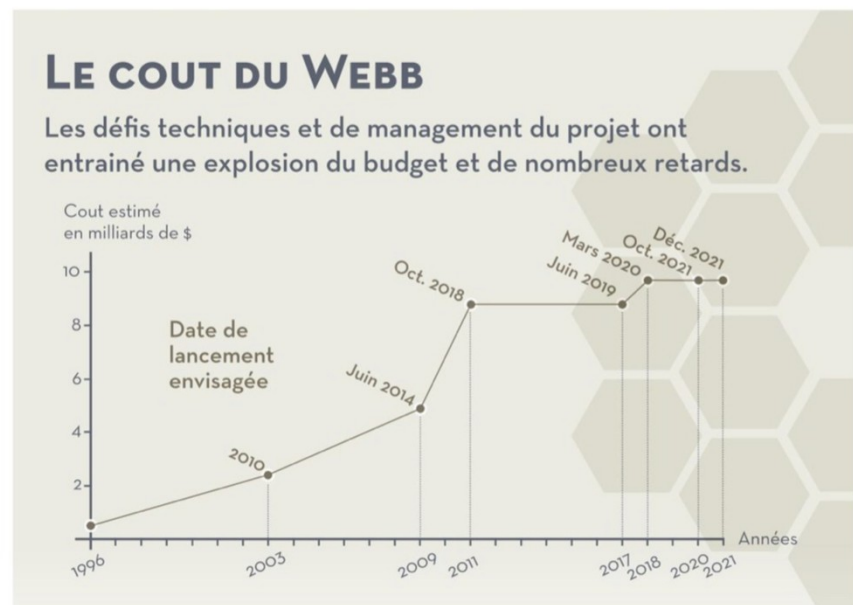
pare-soleil. Grâce à lui, en 1,5 m de distance, on passe de 80 °C à -220 °C . Et il est pliable ! Parmi les innovations, je pourrais aussi citer les matrices de micro-obturbateurs de Nirspec. Pour pouvoir faire les spectres simultanés de 200 objets dans n'importe quel champ céleste, Nirspec utilise des masques composés de presque 250 000 obturbateurs de 100 par 200 microns chacun, actionnables individuellement par le passage d'un aimant. Ces matrices ne font que quelques centimètres de côté.

Avez-vous envisagé l'échec

du JWST ? Une panne, le miroir qui ne se déplie pas ?

Ce serait une catastrophe pour toute l'astronomie. Beaucoup de scientifiques à travers le monde attendent avec impatience le Webb. En particulier la génération qui arrive et dont l'avenir dépend de ses données. Je préfère penser aux découvertes que nous allons faire. Nous attendons beaucoup du JWST.

PROPOS RECUEILLIS PAR DF



La plus grande batterie du monde sera installée sur ... Mars !

Elon Musk, le fantasque patron de Tesla et de SpaceX a depuis longtemps révélé son projet d'aller sur Mars et même ... d'y mourir. Dans un nouveau tweet – son moyen d'expression favori – il a évoqué, ce 1^{er} avril le projet de construction d'une ville martienne « avant la fin de cette décennie » en ajoutant qu'elle serait alimentée en énergie par « la plus grande batterie du monde ».

Fin 2017, Elon Musk avait fait sensation en tenant son engagement de construire en moins de 100 jours la plus grande batterie du monde. Friand de défis sensationnels il annonce maintenant l'installation d'ici 2050 d'une **méga batterie** sur ... **Mars**. Disposant d'une capacité phénoménale elle sera destinée à alimenter en énergie la ville de Nüwa. Car le projet d'une cité sur la planète rouge existe bel et bien. Le bureau d'architectes américain Abiboo y travaille depuis plusieurs années. Il a imaginé une ville verticale dont les bâtiments, reliés entre eux par des ascenseurs et des tunnels, seront creusés dans la roche, pour protéger ses habitants des radiations et des météorites. Des serres géantes produiront leur nourriture, en majorité végétale. L'eau et le CO₂ présents sur la planète pourraient contribuer à générer les matériaux de construction nécessaires. Selon ses concepteurs, Nüwa pourrait accueillir 250.000 personnes.

Quelle énergie pour alimenter Nüwa ?

Mais, comme sur Terre, la construction de cette cité, puis la vie de ses habitants nécessitera de l'énergie, **beaucoup d'énergie**. Or il ne faut pas espérer trouver du pétrole, du gaz ou d'autres ressources fossiles sur la planète rouge. Et l'eau y est trop rare et trop précieuse pour la transformer en hydrogène par électrolyse. Oubliez aussi les parcs éoliens : si les vents dans une tempête martienne peuvent atteindre 100 km/h, la pression atmosphérique y est inférieure à un centième de celle qui règne sur Terre. Cela veut dire que la puissance de ces vents est beaucoup trop faible pour espérer produire de l'énergie avec des éoliennes.

Reste, l'**énergie solaire**, heureusement très abondante sur Mars. D'immenses **fermes photovoltaïques** pourraient y être installées aux alentours de Nüwa. Pour stocker l'électricité qu'elles produiront et la restituer en fonction des besoins, Elon Musk imagine une batterie géante construite par des robots avec les fameux **megapacks de Tesla**. Ce sera la « *plus grande batterie du monde* » a précisé le fantasque milliardaire dans un tweet, son moyen d'expression favori.

1000 Starships seront nécessaires

En réponse aux interrogations d'internautes sur Twitter, Musk a expliqué qu'il compte utiliser **Starship**, le vaisseau spatial à tout faire de **SpaceX**, pour transporter tous les matériaux nécessaires. En cours de développement cette fusée sera capable, dans sa version habitée de transporter une

centaine de passagers vers Mars. Et dans sa version cargo, elle pourra embarquer 100 tonnes de fret avant de les convoier jusqu'à la planète rouge.

Au-delà de la prouesse technique que nécessitera ce projet, se pose le problème de son prix. Mais l'un des principaux atouts de SpaceX réside dans la possibilité de réutilisation de ses vaisseaux. Ils ne sont en effet pas abandonnés dans l'espace, mais rapatriés sur Terre, ce qui permet de réduire les coûts.

Selon Elon Musk, 1000 Starships seront nécessaires pour construire et coloniser Nüwa. Ils seront produits au rythme d'une centaine chaque année pendant 10 ans et chacun d'eux aura une durée de vie de 20 à 30 ans.

Le but de sa vie

Pour celui qui est devenu depuis peu l'homme le plus riche du monde cette idée de coloniser Mars n'est pas une simple fantaisie. Il s'agit tout simplement du « but de sa vie » comme il l'a souvent répété aux journalistes qui l'interrogeaient. Musk explique notamment que c'est la raison pour laquelle il a fondé SpaceX en 2002 et qui l'a incité à s'enrichir. Il craint en effet que « *l'humanité s'apprête à vivre des jours sombres, voire à disparaître* ». Plus que les changements climatiques, Elon Musk redoute l'avènement de l'intelligence artificielle et de robots de plus en plus intelligents. Son espoir est donc d'établir une colonie martienne pour préserver l'humanité. Dans un premier temps, elle dépendrait de la Terre pour « survivre », puis au fil des années deviendrait autonome et finirait vraisemblablement par faire sécession.

Revolution Energétique – Bernard Deboyer - 1^{er} avril 2021

Tout un symbole. Le 3 septembre 1976, le désert rougeâtre d'Utopia Planitia recevait la visite de Viking 2, l'une des deux sondes jumelles de la Nasa (Viking 1 s'était posé le 20 juillet précédent 6.725 kilomètres plus à l'ouest) par lesquelles l'ère de l'exploration in situ de Mars a commencé. Quarante-quatre ans et huit mois plus tard, les Chinois ont choisi ce même site d'Utopia Planitia pour y déposer [le 15 mai dernier] leur propre atterrisseur, Tianwen-1, [devenant] la deuxième nation du monde, après les Etats-Unis, à parvenir à faire fonctionner un robot sur une autre planète. Une prouesse jusqu'ici hors de portée de toutes les autres puissances spatiales, qu'il s'agisse des Soviétiques de la grande époque (en décembre 1971, leur petite sonde Mars 3, première de l'histoire à réussir l'atterrissage en douceur sur la Planète rouge, n'a donné signe de vie que pendant 20 secondes) ou des Européens d'aujourd'hui (Beagle 2 a connu le même triste sort que Mars 3 en 2003; Schiaparelli s'est écrasé à l'atterrissage en 2016).

L'audace des Chinois

Certes, le *rover* Tianwen-1 ne boxe pas du tout dans la même catégorie que Perseverance, déposé le 18 février dernier par la Nasa, au terme d'un sinueux voyage de 471 millions de kilomètres, dans le cratère Jezero. Ou même que le prédécesseur de Perseverance, Curiosity, toujours actif dans le cratère Gale. Un "poids lourd" d'une tonne mu par une pile nucléaire côté américain, un "mi-mouche" de 240 kg alimenté par de simples panneaux solaires côté chinois, le match est plié d'avance. Mais

il n'empêche : ce premier *rover* martien made in China [vient] prouver à ceux qui en doutent encore que le programme spatial chinois a pris son essor avec la même irrésistible puissance de feu qu'une fusée Longue Marche.

La République populaire ne lésine pas sur les moyens : loin de se résumer à une seule agence, le complexe militaro-spatial chinois, dont le moins qu'on puisse dire est qu'il ne brille pas par sa transparence, compte pléthore d'organisations, qui emploient à elles toutes plusieurs dizaines de milliers d'ingénieurs et de scientifiques – plus que n'en mobilisait le programme Apollo à son apogée. Particulièrement opaque, le budget spatial chinois avait été estimé par l'OCDE, en 2017, à 8,4 milliards de dollars. Soit le même ordre de grandeur que la somme dépensée par tous les pays du Vieux Continent réunis (en cumulant les enveloppes de l'Agence spatiale européenne, de l'Union européenne et de leurs Etats membres respectifs).

Premier défi : rapporter des échantillons

C'est certes encore loin des investissements consentis par l'hyperpuissance américaine pour conserver sa suprématie spatiale (plus de 40 milliards de dollars par an, dont 22,6 milliards pour la Nasa en 2020), mais assez pour hisser la Chine, qui envoie désormais plus de fusées en orbite que n'importe quel autre pays, au rang de deuxième puissance spatiale. Et lui permettre de franchir en accéléré toutes les étapes qui ont fait la gloire des patries de Youri Gagarine et de Neil Armstrong. ➔

La France met ses premiers satellites espions en orbite

Les Ceres, lancés mardi de Kourou, permettront le repérage et l'écoute de signaux radars et de télécommunications des systèmes adverses

Ils s'appellent « Ceres ». Ils sont au nombre de trois. Et grâce à leur lancement réussi, mardi 16 novembre, à partir de la base de Kourou, en Guyane, les armées françaises devraient dans les prochains mois disposer d'une capacité de renseignement unique en Europe : l'écoute des signaux radars et de télécommunication. Ce que les spécialistes appellent le renseignement d'origine électromagnétique (ROEM).

Jusqu'à présent, la France devait principalement s'en remettre aux Etats-Unis en la matière. Avec ce lancement, elle estime défendre son autonomie stratégique et rejoint le club des rares puissances militaires mondiales disposant de cette capacité, comme la Russie, la Chine et les Etats-Unis.

Concrètement, les satellites Ceres construits par Airbus Defence and Space et Thales ont deux buts principaux. Le premier est de monter en gamme en matière de renseignement « stratégique ». Il

s'agit d'être capable de mieux cartographier le monde des émetteurs, c'est-à-dire l'emplacement des centres de télécommunication ou tous les radars qui détectent, déclenchent ou pilotent des systèmes adverses, notamment liés à des missiles. « On pourra ainsi mieux se protéger de systèmes sol-air ennemis », explique le général Thierry Blanc, adjoint du commandement de l'espace.

« Appui aux opérations »

Le second intérêt des satellites Ceres pour les armées concerne « l'appui aux opérations », que ce soit pour protéger les troupes intervenant au sol ou les avions durant leurs raids. Ils donnent la possibilité de surveiller « dans la profondeur », selon le général Blanc, des zones peu accessibles jusqu'à présent aux moyens classiques d'interception des signaux ROEM, comme les avions type Awacs ou le navire « collecteur de renseignements » Dupuy-de-

« ON POURRA AINSI MIEUX SE PROTÉGER DE SYSTÈMES SOL-AIR ENNEMIS »

THIERRY BLANC
général, adjoint du
commandement de l'espace

Lôme. Une façon de contribuer à la supériorité aérienne de l'aviation française et de limiter les zones dites de « déni d'accès ».

Ces satellites comportent aussi un intérêt pour la marine. Il sera désormais possible de pister beaucoup plus facilement qu'auparavant, en particulier sur la durée, des navires de toutes sortes. Un enjeu important à l'heure où le domaine maritime devient de plus en plus conflictuel, notamment en Méditerranée et en Indo-Pacifique. Comme tous les satellites français, les Ceres seront opérés à distance par

le Centre national d'études spatiales, basé à Toulouse. Les missions qui leur seront confiées et le choix de leur positionnement, en revanche, seront décidés et préparés depuis la base de Creil (Oise), où la direction du renseignement militaire a une bonne part de ses effectifs. C'est aussi à Creil que seront réceptionnées toutes les données collectées. Un énorme enjeu en matière de tri, d'analyse et de stockage.

Un capteur unique

Le lancement des satellites Ceres est, à ce titre, l'aboutissement de plus de vingt ans de travaux de recherche pilotés par la direction générale de l'armement. Avant de parvenir à Ceres, il a fallu lancer dans l'espace pas moins de quatre prototypes. Les premiers ont été lancés dans les années 1990, les derniers au début des années 2010. L'une des prouesses technologiques du programme Ceres, selon l'ingénieure Laurence, di-

rectrice du programme Ceres, est la conception du « capteur » : « Les bandes de fréquences utilisées par les radars à détecter sont très larges. Par ailleurs, certains émetteurs sont peu puissants ou n'émettent pas en permanence. Or, il fallait un seul et même capteur capable de tous les repérer. »

Le lancement des satellites Ceres s'inscrit par ailleurs dans un mouvement plus large, décidé en 2019, de renouvellement des capacités militaires spatiales de la France allant de l'observation image à l'écoute des télécommunications, en passant par la sécurisation des échanges de données.

En octobre, un satellite baptisé Syracuse – qui devrait être rejoint par deux autres d'ici à 2025 – a ainsi été lancé afin de permettre aux armées de tripler leurs capacités d'échange de données de manière sécurisée. En décembre 2020, les armées ont aussi poursuivi le renouvellement de leurs satellites de renseignement

optique, avec le lancement d'un deuxième satellite d'observation (dit CSO, « composante spatiale optique »). Ils doivent permettre d'exploiter des images couleur en très haute résolution.

Si le programme Ceres aura coûté 450 millions d'euros pour sa seule réalisation finale (hors études préparatoires), les autres renouvellements satellitaires ont été sanctuarisés dans la loi de programmation militaire 2019-2025, dont le budget global consacré à l'espace sur sept ans est de 4,3 milliards d'euros (contre 1,9 milliard sur la période 2014-2019). Le budget annuel de la France en matière spatiale – qui inclut l'achat de services auprès de sociétés privées – reste toutefois bien en deçà de celui des Etats-Unis (plus de 44 milliards d'euros) ou de la Chine (estimé à près de 9 milliards d'euros) et de la Russie (plus de 2 milliards d'euros). ■

É.V.