

Par **Jean-Marc Laurent** (Général de corps d'armée aérienne (R),
Responsable de la chaire Défense & Aérospatial Sciences Po Bordeaux)

De la space logistics à l'industrialisation de l'espace

Cet article a été rédigé dans la perspective du symposium NextSpace 2023, organisé les 5 et 6 octobre 2023 à Bordeaux, par le centre d'inspiration et d'innovation spatiales Way4Space dont la chaire Défense & Aérospatial est membre associé.

La « space logistics », expression assez trompeuse car elle dépasse la seule notion de logistique spatiale (nous le verrons plus loin), suscite un intérêt mondial sans précédent, fondé sur l'intuition qu'une nouvelle forme d'économie spatiale peut se développer sur une offre et le commerce de services innovants in situ. À ce stade, les études de marché réalisées restent incertaines et varient de façon significative selon les périmètres retenus. Mais on évoque ici et là des valeurs en milliards de dollars dans la décennie et en dizaines de milliards de dollars, voire plus, d'ici à la fin du siècle. Comme tout espoir d'eldorado, celui-ci suscite un engouement qui enfle rapidement et génère de nombreuses initiatives spatiales et, corollairement, des investissements étatiques ou privés de plus en plus importants.

L'attrait pour la « nouvelle frontière », comme John F. Kennedy avait nommé l'espace lors de son discours mémorable de candidature à la présidence américaine⁽¹⁾, mais aussi ce besoin irrésistible de l'humanité à « urbaniser » ses domaines conquis, c'est-à-dire à en faire des lieux de vie, de travail et de production, comme la « Frontier » de l'Ouest américain le fut en son temps, en sont assurément les moteurs. Mais des facteurs propres à ce début de XXI^e siècle, comme une facilité accrue d'accès à l'espace, qu'elle soit technologique ou économique, et l'intuition d'un possible usage privatisé et rentable du voisinage de la Terre en sont aussi les fondements. Derrière l'appellation « space logistics » se profile en fait une véritable industrialisation de l'espace avec la possibilité de développer un nouvel écosystème socio-économique où la dimension « logistique » est essentielle, mais est largement transcendée. Pour en arriver là, de nombreux verrous technologiques et opérationnels doivent être levés, car imaginer des services et une activité industrielle dans l'espace exoatmosphérique est une chose, les concrétiser techniquement et les installer dans une démarche de

cohérence et de pertinence économiques en sont une autre. En outre, plus l'espace perdra de son caractère exploratoire et se fondera dans le fonctionnement courant des sociétés humaines, plus des contingences politiques, juridiques, voire sécuritaires, s'imposeront et obligeront les protagonistes de la space logistics à trouver des réponses permettant de garantir la stabilité, voire la paix, dans un milieu où la mécanique des mouvements et le droit des usages connus dans les environnements terrestres ne sauraient être simplement transposés. Et pour cause, quelle qu'en soit la forme, la space logistics opérera dans un milieu dont l'exploitation, du moins pour les États ayant signé et/ou ratifié le Traité de l'espace de 1967⁽²⁾ :

- doit viser « l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique dans l'intérêt de tous les pays » (article 1) ;
- « ne peut faire l'objet d'appropriation nationale par proclamation de souveraineté, ni par voie d'utilisation ou d'occupation, ni par aucun autre moyen » (article 2) ;
- et doit « s'effectuer conformément au droit international, y compris la Charte des Nations unies, en vue de maintenir la paix et la sécurité internationales » (article 3).

Quoi qu'il en soit, devant l'immense promesse de transformation de l'espace voisin de la Terre en un environnement productif source de valeurs, nul doute que l'humanité saura faire face aux inévitables obstacles liés aux interrogations, voire aux freins de certains États ou mouvements de



pensée, ou saura les contourner. Quitte à ce que des frictions, qui ne seront pas que commerciales, apparaissent.

SPACE LOGISTICS : LES MOTS ET LE SENS DES MOTS!

Mais de quoi parle-t-on exactement ? La space logistics est une expression de la langue anglaise dont l'homonymie française (logistique spatiale) présente le risque d'une mauvaise compréhension quant à l'exact champ d'activité concerné. En d'autres termes, « space logistics » et « logistique spatiale » ne sont pas totalement synonymes, le terme anglo-saxon couvrant un périmètre plus étendu que la seule gestion des flux matériels, voire virtuels (données), à laquelle le mot français se rapporte généralement. Le mot « logistique » est un terme récent d'origine française⁽¹⁾ (milieu du XIX^e siècle) dont la signification a quelque peu évolué au cours des décennies, mais qui a gardé le sens d'un soutien à l'action, militaire à l'origine puis industrielle ou marchande par la suite. Il concerne d'abord l'approvisionnement et la mise en place des ressources

SpaceX comme Blue Origin développent des techniques de ravitaillement orbital nécessaires au bon fonctionnement des atterrisseurs lunaires du programme Artemis. Ces solutions techniques inédites pourraient simplifier la logistique des futures activités spatiales en mettant en place des sortes de station-service orbitales capables de délivrer des ergols, mais aussi de fournir certaines opérations de maintenance automatisées. (@ SpaceX)

capacitaires et d'environnement ainsi que l'architecture institutionnelle ou industrielle permettant de les animer. La fonction logistique se distingue donc de la fonction opérationnelle, celle qui fait usage de ces moyens, et de la fonction technique, celle qui assure leur bon fonctionnement et leur maintien en

condition opérationnelle (MCO). La logistique, évoquée en français, apparaît ainsi comme l'un des piliers fonctionnels d'une activité à vocation technico-opérationnelle. En langue anglaise, la « logistics » a approximativement le même sens pour le monde professionnel civil, mais s'élargit dans celui des forces armées. Ainsi, nombre d'activités de la fonction technique, comme la maintenance, y sont incluses. Pas simple !

Cet aparté sémantique pourrait paraître superflu, mais, dans le cas de l'espace, il est déterminant. En effet, l'accès à ce milieu et les modes d'action qu'impose la mécanique spatiale entremêlent profondément fonctions logistique, technique et opérationnelle, à tel point que leur ségrégation est difficile à concevoir. Ainsi, les astronautes, au contraire par exemple des pilotes d'avion, sont des acteurs opérationnels, mais aussi des techniciens et des logisticiens. Il en sera peut-être autrement dans un futur où le nombre de travailleurs de l'espace aura considérablement augmenté et où les fonctions pourront de nouveau se distinguer. Mais, pour l'heure, la terminologie « space logistics », qui, même en anglais, reste approximative et insuffisante dans sa définition, permet d'embrasser un champ d'activité plus complet que l'expression « logistique spatiale ». Elle est donc privilégiée. Mais le concours linguistique reste ouvert pour identifier un terme plus approprié, en français et en anglais. L'innovation dans les mots est la bienvenue !

SPACE LOGISTICS : DU SPATIAL EXPLORATOIRE AU SPATIAL PRODUCTIF

Quoi qu'il en soit, pour mieux saisir ce dont on parle, revenons à des considérations plus concrètes. La notion de space logistics est loin d'être nouvelle



et le besoin d'assurer la continuité opérationnelle d'une activité spatiale, voire son développement, est aussi ancien que l'aventure dans le cosmos elle-même. Ainsi, le besoin de ravitaillement dans l'espace est apparu dès les années 1960 avec, par exemple, l'idée de la NASA de transformer les capsules Gemini et Apollo en « transporteurs logistiques automatiques » au profit de la station Skylab (lancée en 1973) et de ses successeurs. Cette option sera néanmoins abandonnée et laissera place au développement d'une navette spatiale habitée à grand gabarit (Space Shuttle) qui fut le formidable vecteur logistique américain jusqu'en 2011. Les drames qui ont touché le programme⁽⁴⁾, mais aussi son exorbitant coût de fonctionnement ont toutefois fini par en avoir raison. De son côté, l'URSS développa des vaisseaux automatiques Progress, dérivés des Soyouz, qui alimentèrent les stations Saliout 1 à Saliout 7 jusqu'en 1986 puis Mir jusqu'en 2000 avant de desservir la station spatiale internationale (ISS) jusqu'au début des années 2020. Les Européens, les Japonais ou les Chinois ne furent pas en reste en matière de ravitaillement spatial avec l'ATV⁽⁵⁾ pour les premiers, le HTV⁽⁶⁾ pour les deuxièmes et Tianzhou⁽⁷⁾ pour les derniers. La longue construction de l'ISS accentua le besoin technico-logistique pour que cette formidable infrastructure humaine dans l'espace puisse soutenir et protéger durablement ses occupants, prolonger sur plusieurs décennies sa mission (réparation, modernisation, traitement des obsolescences, etc.) et développer ses capacités

Développée par la start-up franco-allemande The Exploration Company, la capsule Nyx vise le marché de l'approvisionnement logistique des futures stations spatiales, qu'elles soient institutionnelles ou privées. L'engin pourrait également accomplir des missions scientifiques automatisées de longue durée, et servir de base à une future capsule habitée. (© The Exploration Company)

fonctionnelles (aménagement scientifique, ajout de modules, etc.). Si la space logistics est à l'évidence une histoire ancienne, elle témoigne, dès l'origine, de l'entremêlement des fonctions opérationnelle, technique et logistique. Exemple révélateur : dès l'occupation de Skylab en 1973, des réparations de panneaux solaires sont

effectuées par le tout premier groupe d'astronautes.

Sans remiser l'approche « logistique » née au XX^e siècle, une évolution conceptuelle fondamentale bouscule toutefois la space logistics en ce début du XXI^e. Elle entend la faire passer du statut de soutien à une activité institutionnelle (les stations spatiales sont des objets étatiques) à celui de services spatiaux commerciaux à la demande. Cette mutation s'appuie sur la possibilité d'offres commercialisées qui, à ce jour, sont réduites, voire prospectives, mais qui sont appelées, à l'instar d'Internet ou de la téléphonie, à s'amplifier au fur et à mesure de l'usage, avec des formes que l'imagination peine encore à envisager. On retrouvera dans ce portefeuille d'activités celles du soutien fonctionnel des vaisseaux spatiaux, habités ou non, étatiques ou privés, ou celles relatives au développement d'infrastructures à vocation productive, parmi lesquelles :

- le rechargement de ressources consommables permettant d'allonger la vie des plateformes spatiales : carburant des moteurs

orbitaux, fluides vitaux pour les astronautes, etc. ;

- la surveillance et l'inspection de véhicules spatiaux pour lever des incertitudes sur leur état matériel ou pour évaluer des risques les concernant. Cette activité complètera la surveillance spatiale depuis le sol (Space Surveillance Awareness ou SSA) ;

- l'entretien programmé, la régénération de potentiel, la modernisation de systèmes spatiaux dans une logique de MCO ou de rénovation au cours de leur vie (de type MLU, Mid Life Update) ;

- la réparation d'avaries causées par des phénomènes internes (défauts, pannes, obsolescences) ou externes (collisions avec des débris, agressions spatiales, etc.) ;

- le ravitaillement en équipements, outils divers, voire main-d'œuvre pour faire face à ces aléas techniques internes ;

- l'évolution architecturale de plateformes modulaires ou non (agrandissement, réorganisation, mais aussi démantèlement) ;

- les corrections orbitales des plateformes spatiales (isolées ou en constellations) par des moyens motorisés externes permettant l'allongement de leur vie opérationnelle ou la sécurisation de leurs trajectoires, pour eux-mêmes ou pour d'autres véhicules (relocalisation orbitale, désorbitation en fin de

La mise en orbite de l'Orbiter SNI de l'entreprise Launcher, en février dernier, s'est soldée par un échec. Mais Launcher, comme d'autres entreprises américaines et européennes, va continuer ses efforts afin de proposer à ses clients des solutions de remorquage spatial, permettant ainsi de rehausser une orbite, de prolonger la durée de vie d'un satellite ou au contraire de le désorbiter en toute sécurité. (@ Launcher)

vie pour une rentrée atmosphérique ou placement en orbite cimetière, etc.) ;

- la construction, l'entretien, le stockage de dispositifs productifs (space manufacturing) pour des biens de consommation humaine (nourriture, médicaments, etc.), des biens matériels (structures, équipements ou outillages ne pouvant être convoyés depuis la Terre), ou des ressources énergétiques (space-based solar power), etc. ;

- l'assainissement de l'environnement spatial (et donc de l'environnement de vie et de travail spatial) par collecte, démantèlement ou désorbitation de débris à risques avec des technologies adaptées à leur taille, à leur comportement (stable ou non), à leur voisinage (débris isolés ou « vol » en essaim agité, etc.) ;

- le soutien aux travailleurs de l'espace, dont le nombre va inévitablement augmenter afin de répondre aux besoins cités supra. Cela comprend le ravitaillement depuis la Terre permettant leur survie (voire, à terme, la Lune et, plus tard, Mars si ces corps célestes deviennent habités). Cela englobe aussi le soutien médical et physique dont la croissance suivra celle des « expatriés » spatiaux (affections corporelles, accidents du travail, activités sportives, accompagnement psychologique, etc.).

Cette tentative de liste est forcément incomplète tant le champ de la space logistics grandit, comme toute révolution industrielle, au fur et à mesure de son développement. En outre, les activités évoquées peuvent se mêler les unes aux autres ou se compléter dans une



dynamique « logistique » intégrée. Enfin, cet inventaire s'est limité aux activités dans l'espace lui-même. À cet égard, d'aucuns diront, avec raison, qu'il ne s'agit que du segment final de la space logistics et qu'il ne doit pas faire oublier qu'elle s'accompagne aussi d'une importante part d'activités sur Terre (que l'on pourrait nommer « land-based segment ») et, bien entendu, un besoin de mobilité spatiale (que l'on pourrait nommer « delivery segment ») permettant de lier les environnements Terre et espace (accès à l'espace, transport spatial, rendez-vous dans l'espace). La space logistics se nourrit de ces différentes composantes et n'aurait pas de réalité sans elles. En outre, les évoquer, c'est rappeler, en creux, l'important travail de planification, d'organisation, de synchronisation, de gestion des flux et des stocks, de réactivité, de simulation, etc., qui témoigne de la dimension multisectorielle et temporelle de la space logistics.

SPACE LOGISTICS : DES CONTINGENCES POLITIQUES, JURIDIQUES, ÉCONOMIQUES ET SÉCURITAIRES

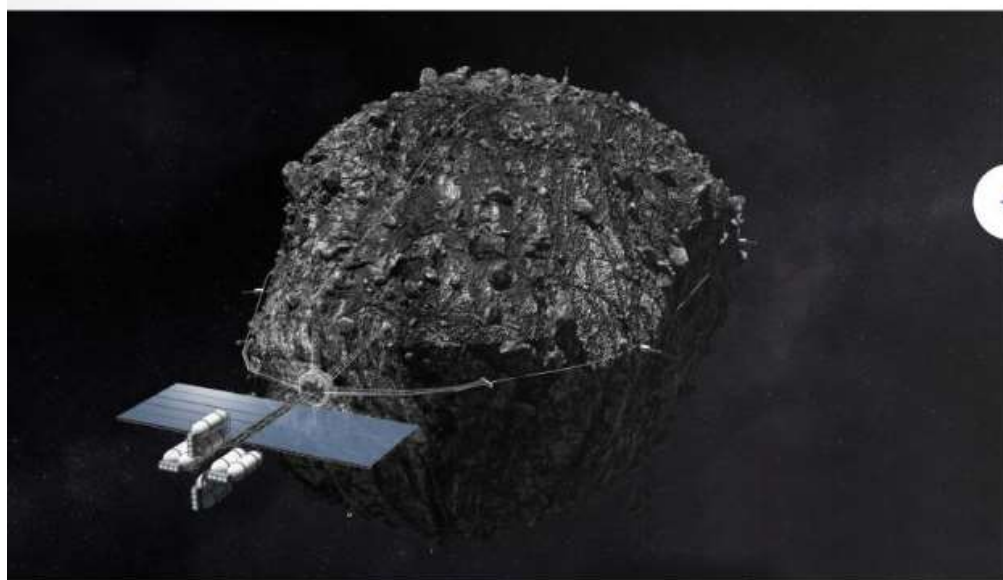
On pourrait achever cet article sur la space logistics à cette description technico-centrée. Néanmoins, ce serait aller vite en besogne. Car si son développement requiert l'effacement de nombreux blocages technologiques qui feront l'objet d'innovations dans les prochaines années et décennies, il ne pourra pas être sans progrès significatifs dans des domaines plus éloignés de l'ingénierie ou de la physique spatiale que sont ceux de la politique et du droit réunis, de l'économie et du commerce associés et de la dimension sécuritaire par ailleurs.

L'enjeu politique et juridique traduit l'acceptabilité des États et des sociétés face à une forme d'industrialisation

de l'espace dont certains ne manqueront pas de souligner les possibles contestations sociétales. Citons-en quelques-unes sans prétendre être exhaustif. Ce sont d'abord les risques matériels et humains de la space logistics, avec une forme d'encombrement spatial et la possibilité de génération de débris qui peuvent inquiéter alors que réglementation et standardisation internationale sont encore inexistantes. C'est aussi la possible mise en danger de travailleurs spatiaux qui peut engendrer des revendications sociales et créer des besoins en droit et gestion du travail spatial ou en sécurisation des activités et protection des travailleurs spatiaux bien au-delà de ce que l'on accepte aujourd'hui pour les astronautes. Ce sont, inévitablement, les interrogations environnementales en mesure de générer des oppositions face à l'augmentation très sensible des lancements dont on craindra un possible impact atmosphérique. Ce sont par ailleurs, mais ce ne sont pas les moindres, les obligations financières des États concernés, avec des investissements publics qui devront être significatifs, même si l'activité se privatise, et obligeront à de difficiles priorisations

budgétaires, voire à des choix en matière de politiques publiques. Beaucoup de travail de conviction en perspective !

L'enjeu économique et commercial n'est pas moindre. Le développement de la space logistics ne peut se concrétiser sans que la pertinence économique et la rentabilité commerciale soient assurées, du moins à terme. Or prouver l'opportunité d'investissements qui seront inévitablement lourds et incertains, technologiquement, politiquement et budgétairement, ne va pas de soi. Bien entendu, toutes les évolutions industrielles qu'a connues l'humanité ont commencé par une prise de risque et seuls ceux qui ont osé ont pu gagner, mais d'autres s'y sont perdus. La space logistics est donc un défi, voire un pari, que certains voudront relever, mais qui en fera hésiter d'autres. Pour cela, une relation étroite entre les États et les entreprises motivées devra s'établir. De fait, si le marché constitué sera fortement lié à des intérêts privés, les gouvernements des puissances spatiales devront inévitablement s'impliquer pour faciliter, soutenir, organiser, coordonner et maîtriser les engagements industriels, mais aussi sécuriser une activité qui sera



✦ Certaines start-ups ont imaginé la possibilité de remorquer des astéroïdes en orbite terrestre afin de les miner et d'acheminer vers la Terre leurs précieux éléments. Outre d'énormes défis techniques, une telle entreprise serait inévitablement confrontée à des problèmes d'ordre juridique, sociaux, écologiques, voire même éthiques pour peu qu'elle requière le déploiement de travailleurs en orbite. (© Deep Space Industries)



de plus en plus stratégique pour leur économie. Le choix et le dynamisme des capitales ainsi que leur capacité à franchir les obstacles politico-économiques et industriels conduiront, à terme, à leur autonomie spatiale ou à leur dépendance dans ce secteur d'activité. Espérons que l'Europe spatiale et ses États ne succomberont pas à la facilité de cette seconde hypothèse et, qu'au contraire, ils prendront les devants avec, entre autres, une initiative de développement d'indispensables normes et standards internationaux qu'ils maîtriseront (nous savons que la réflexion est en cours à l'ESA).

L'enjeu de sécurité, enfin, est essentiel et les réponses apportées seront déterminantes pour l'avenir de la space logistics. En effet, sans que les propos précédents y fassent directement référence, on comprendra aisément que, tout comme la plupart des activités spatiales, la space logistics est marquée par sa forte dualité, c'est-à-dire sa bivalence civile et militaire. Celle-ci ouvre des perspectives sécuritaires inédites qui ne sont pas liées au seul fait que les plateformes spatiales, institutionnelles ou commerciales, sont assez semblables à celles des forces armées (du moins dans leur partie structurelle). Non, c'est l'émergence de certaines activités de la space logistics qui peut susciter le doute et l'inquiétude sur les intentions et leur capacité à être détournée vers

L'essor des activités spatiales devra s'appuyer sur des moyens logistiques importants, non seulement pour construire l'infrastructure orbitale, mais aussi pour la maintenir en activité. De gros efforts devront inévitablement être déployés pour éviter les collisions, imposant une collaboration étroite entre les acteurs privés et étatiques.

(© Shutterstock/Christoph Burgstedt)

un usage menaçant, voire potentiellement agressif ; ainsi, pour exemple, la capacité d'intervention technique sur un satellite donne aussi celle d'intervention hostile sur un satellite considéré comme adverse. La space logistics « pacifique » risque donc de devoir se compléter de dispositifs de surveillance, de précaution, de réaction rapide, voire de défense, contre des activités « logistiques » déviées de leur but initial. L'histoire militaire regorge, sur Terre, de ce type de détournement et ne relève malheureusement pas de la paranoïa ! En synthèse conclusive, la space logistics apparaît comme le signal d'une nouvelle ère spatiale. Une ère encore méconnue, imprécise, mais inspirante. Il ne s'agit plus d'accéder à l'espace uniquement pour des raisons scientifiques (observation du

cosmos, expériences en apesanteur, etc.), stratégiques (renseignement, alerte, connectivité opérationnelle, etc.) ou à des fins de soutien des sociétés terrestres (communication, observation de la Terre, géopositionnement, etc.). Il ne s'agit pas non plus de seulement soutenir techniquement l'activité spatiale telle qu'elle existe à ce jour. Avec la space logistics, ce n'est ni plus ni moins que l'industrialisation de l'espace qui est en route : travail et production dans l'espace avec de nouveaux outils, machines ou usines qui agiront in situ et une nouvelle génération de « travailleurs spatiaux » (humains ou robots). La space logistics est la première étape d'une révolution industrielle de (ou dans) l'espace. Et comme toutes celles que nos sociétés ont connues, elle sera bénéfique aux États qui regarderont l'avenir avec ambition, qui feront les efforts technologiques, mais aussi, et peut-être avant tout, politiques, juridiques, économiques et industriels nécessaires, et qui sauront, seuls ou en coopération, maîtriser leur indépendance. La space logistics n'est donc pas qu'un marché. Elle est avant tout une rupture stratégique que les puissances spatiales qui souhaitent le rester doivent affronter avec détermination. ▮

NOTES

- (1) Discours prononcé lors de la Convention du parti démocrate, le 15 juillet 1960 à Los Angeles.
- (2) Nations unies, Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, entré en vigueur le 10 octobre 1967.
- (3) Trouve ses racines dans « logeis », mot français du Moyen Âge emprunté par les armées d'alors qui signifiait « logement ». Il a donné, par la suite, le terme « logis » que l'on retrouve dans le vocabulaire civil comme militaire (maréchal des logis).
- (4) Explosion de Challenger en 1986 et destruction de Columbia lors de sa rentrée atmosphérique en 2003.
- (5) ATV (Automated Transfer Vehicle). Ce vaisseau cargo a desservi l'ISS de 2008 à 2014. Il est aujourd'hui abandonné.
- (6) HTV (H-II Transfer Vehicle). Ce vaisseau cargo a desservi l'ISS de 2009 à 2020. Une version modernisée est à l'étude.
- (7) Tianzhou : vaisseau cargo qui dessert les stations spatiales chinoises depuis 2021.