



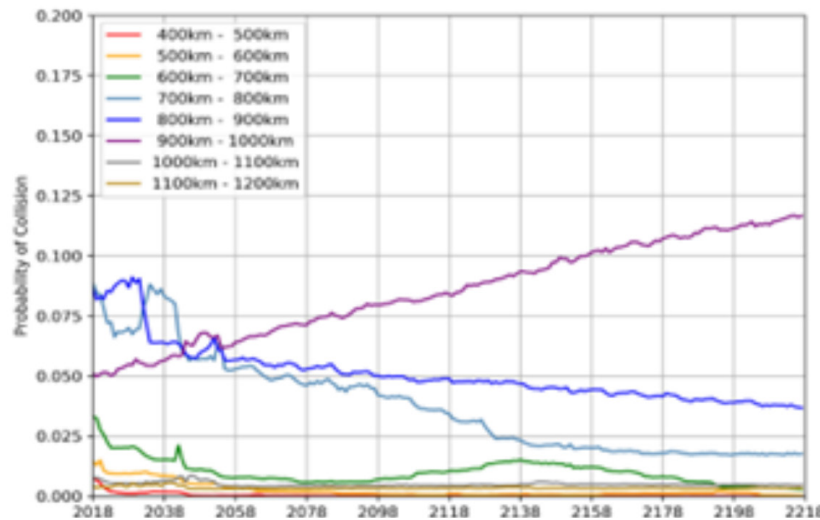
Rapport du Défi spatial 2023

L'INNOVATION AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DE L'ESPACE



L'INNOVATION AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DE L'ESPACE

1. L'enjeu des débris spatiaux à l'ère du développement durable



Dans un contexte où la course à l'espace est de plus en plus pressante, les activités spatiales se sont naturellement développées à grande vitesse et l'accroissement de celles-ci sont inévitables. Ainsi, parallèlement à ces activités, la question des débris et déchets spatiaux est au centre des discussions et constitue un véritable enjeu actuel et à venir. C'est donc dans ce contexte qu'intervient la nécessaire prise en compte du développement durable des activités spatiales et une feuille de route innovante et audacieuse pouvant garantir lesdites activités tant sur le plan de la durabilité que sur le plan économique et juridique.

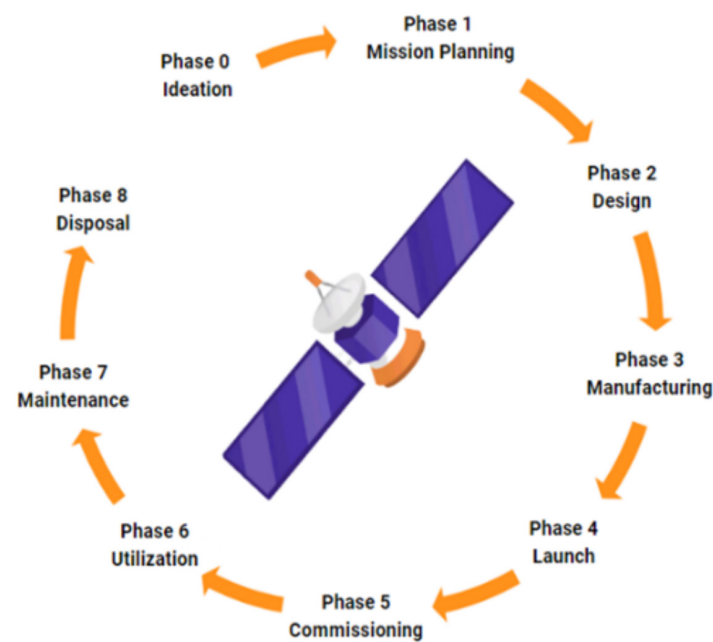
La prolifération des constellations de satellites commerciaux a entraîné une vive augmentation du trafic spatial en orbite terrestre basse¹. Celle-ci s'est traduite par de nombreuses interrogations et inquiétudes quant aux conséquences sur la pérennité des activités spatiales dans un environnement sain. La fragmentation générant un nombre important de débris est à l'origine d'incidents spatiaux et augmente le risque de collisions. Compte tenu de ces préoccupations, la communauté internationale, qui regroupe des acteurs de premier plan², a élaboré des instruments mettant l'accent sur la nécessité de développer des outils afin de réduire les débris spatiaux.

Le Comité de coordination interagence sur les débris spatiaux définit ces derniers comme étant tous les objets fabriqués par l'Homme, y compris les fragments et les éléments de ces objets en orbite terrestre ou rentrant dans l'atmosphère qui ne sont pas fonctionnels³. La vitesse à laquelle se déplacent ces fragments représente un risque pour les engins spatiaux et pour les vols habités. Ainsi, l'accumulation des débris créée par la fragmentation est à l'origine de l'encombrement des orbites, de l'augmentation des risques de collisions et, par conséquent, est susceptible de compromettre la viabilité à long terme des activités spatiales. En 2009, des recherches ont par exemple révélé que les passages rapprochés avec des débris allaient augmenter de 50% au cours de la prochaine décennie et ensuite quadrupler au cours des cinquante années suivantes⁴. Eu égard à la cascade de conséquences notamment décrite par le phénomène du « syndrome de Kessler »⁵, la quête de solutions durables devient vitale.

2. Conception, fabrication et optimisation des ressources

Au centre des préoccupations de l'ensemble des acteurs, le mouvement britannique Astra Carta propose des recommandations sur la manière dont les entreprises pourraient se saisir de la problématique. De même, le Forum économique mondial a émis des recommandations en ce qui a trait à la réduction des débris. Au niveau régional, l'Agence spatiale européenne (ESA) souhaite mettre en place la Charte « zéro débris » d'ici 2030⁶. Enfin, au niveau national, l'Agence spatiale canadienne a annoncé la participation du Canada au Programme de sécurité spatiale de l'ESA. Cette participation marque le début d'une nouvelle ère, car elle rend pour la première fois les organisations canadiennes admissibles à des contrats spécifiquement liés à cette initiative⁷.

C'est donc en tenant compte de tous ces éléments qu'a été dégagée une piste de réflexion orientée vers l'industrie. Celle-ci se focalise sur le cycle de vie d'un satellite commercial séquencé en huit phases : de l'étape 0 (idéation) à l'étape 8 (élimination). Chaque phase de cycle de vie mettra notamment en évidence des concepts et méthodologies de l'analyse pouvant être utilisés pour formuler des recommandations afin de relever les défis relatifs à la durabilité de l'espace.



■ **Phase 0** – Idéation - repose sur la nécessaire participation de tout l'écosystème à des groupes de travail/réflexion permettant d'établir une base solide et consensuelle entre tous les acteurs.

■ **Phase 1** – Planification - consiste à produire un plan complet tenant compte de différents paramètres⁸ incluant une analyse de l'impact potentiel sur l'environnement des objets tout au long de leur cycle de vie. Cette analyse serait notamment permise grâce à la base de données

ACV de l'ESA – Clean Space et en adoptant les indicateurs du Space Sustainability Rating.

- **Phase 2** – Conception - consiste à procéder à l'analyse du cycle de vie et permet de relever les défis de la durabilité en s'appuyant sur l'optimisation de la conception, la sélection des matériaux et l'analyse des compromis. Cela se traduit par l'incorporation et la promotion des pratiques d'écoconception, par la priorisation des matériaux non dangereux et autocicatrisants et par la réalisation des analyses de compromis.
- **Phase 3** – Fabrication - repose sur une formation adéquate, une sélection de fournisseurs écoresponsables et le maintien de mesures rigoureuses de contrôle de la qualité.
- **Phase 4** – Lancement - se focalise sur les moyens pouvant être mis en place afin d'atténuer les débris générés par les lancements spatiaux. Pour ce faire, une recherche approfondie sur l'élimination et l'atténuation des impacts de particules sera nécessaire. Soutenir la R&D sur les mécanismes de séparation et de déploiement des charges utiles ainsi que la mise en place d'un système de propulsion écologique est préconisée.
- **Phase 5** – Mise en service – propose d'améliorer la coordination entre les opérateurs de satellites et d'organiser des sessions de planification conjointe ou des groupes de travail.
- **Phase 6** – Utilisation – repose sur l'optimisation des ressources, soit l'équipement des satellites de capacités de navigation autonome et d'évitement automatique

des collisions et le développement des technologies émergentes qui optimisent les opérations de satellites. Ici, des algorithmes et des modèles avancés pour l'estimation du carburant ainsi que des capteurs d'ergols de haute précision.

■ **Phase 7** – Maintenance – Parmi les activités importantes que contient cette phase, l'entretien en orbite d'un satellite doit idéalement pouvoir prévenir le risque d'élimination prématurée liée à la formation de débris et à l'encombrement des orbites. De plus, l'absence d'un entretien pourrait entraîner un gaspillage de composants précieux qui, de facto, porterait atteinte au budget de la mission. Soutenir la R&D des technologies en orbite améliorerait non seulement la flexibilité des missions des satellites, mais également l'innovation des technologies spatiales, procurant ainsi un meilleur avenir à la durabilité de l'espace⁹.

■ **Phase 8** – Élimination – Bien que la mise en orbite cimetièrè soit possible, elle demeure une solution inefficace et favorise la prolifération des débris spatiaux tout en étant contraire au droit international de l'espace. En plus de soutenir la recherche et le développement de technologies actives d'enlèvement des débris, les lasers terrestres et spatiaux ainsi qu'un balayeur physique en orbite pourraient s'avérer des solutions intéressantes pour l'enlèvement des petits débris. C'est d'ailleurs en ce sens que s'articule la première mission européenne de prélèvement des débris (ClearSpace-1) dans l'espace prévue pour 2025/2026, pour laquelle l'entreprise suisse ClearSpace est à la manœuvre. À ce titre, nous pouvons également citer les activités de l'entreprise japonaise Astroscale, qui œuvre activement à l'élimination des débris spatiaux. Quant aux gros débris, le remorquage vers une rentrée contrôlée ou non contrôlée serait également envisageable.

Enfin, la gestion du trafic spatial fait également partie de l'équation, dans la mesure où le suivi, l'enregistrement précis des objets spatiaux, les mesures de prévention d'abordage, les normes de communication et d'échange de données ainsi que l'élimination des objets en fin de vie sont des éléments favorisant le développement durable de l'espace.

3. Soutenir la R&D pour une innovation audacieuse des technologies de l'espace

Alors même que les activités spatiales se multiplient à une vitesse jamais vue et représentent des enjeux multiples, celles-ci mettent également en lumière la problématique des débris et déchets spatiaux. Bien que le Traité sur l'espace sur les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, ratifié en 1967, prévoit l'utilisation responsable de l'espace, il demeure silencieux sur le développement durable de celui-ci. De plus, la règle des vingt-cinq ans pour désorbiter un satellite n'est pas forcément respectée, mais, surtout, n'est plus adaptée¹⁰. Ainsi, la première recommandation serait d'élaborer au niveau international et national un cadre réglementaire et des lignes directrices qui puissent poser un cadre solide relatif au développement durable de l'espace. Ensuite, une campagne de sensibilisation de défense des intérêts et action de proximité serait une piste intéressante à exploiter. Démarrer l'initiative « Demandez à un expert en durabilité de l'espace », élaborer des campagnes de sensibilisation du public et organiser des pétitions publiques permettrait de donner de la visibilité à cette problématique et sensibiliserait les dirigeants politiques. En outre, les possibilités que représente ce marché sont autant d'opportunités d'investissements maîtrisées tant pour les gouvernements que pour l'industrie. Ces derniers permettraient à la R&D de se développer et de mettre en place des solutions du type laser ou robotique. Sans qu'il ne s'agisse d'une liste exhaustive, ces recommandations pourraient faire partie d'un groupe de pistes de réflexion.

4. La recherche collaborative au centre du développement durable de l'espace

La question du développement durable de l'espace concerne tous les acteurs, qu'ils soient issus de l'industrie, de milieu académique, des gouvernements ou des organisations internationales et transcendent les frontières et territoires. La transversalité des enjeux appelle à une recherche collaborative dans laquelle chacun apportera son expertise et son savoir-faire. S'il est vrai que les activités spatiales ne sont pas récentes, la question du développement durable et donc de l'enlèvement des débris spatiaux est, en revanche, relativement nouvelle et nécessite une réponse qui dépend en grande partie de l'innovation des technologies spatiales et de l'appui des dirigeants politiques et industriels. En outre, il est important de souligner qu'en parallèle de cette recherche, un nouveau régime juridique de responsabilité devra être réfléchi, au même titre que le modèle d'affaires des entreprises, notamment les compagnies d'assurance¹¹.



Bibliographie

1. K.Tarek & G.Olano-O'Brian, « Rapport sur le développement durable de l'espace » pour le CRIAQ, 2023 à la p 18.
2. Le World, Economic Forum, l'Astra Carta Agence Spstiale européenne, Agence spatiale canadienne, ibid à la p 19. (Recommandations de l'industrie spatiale en matière de réduction des débris, la Charte Zéro débris).
3. Ibid à la p 26.
4. Ibid à la p 29
5. Ibid à la p 32. Phénomène proposé par Donald Kessler dans lequel la densité des débris spatiaux est si élevée qu'elle provoque un effet de cascade de collisions qui, à leur tour, génèrent encore plus de débris rendant les orbites inutilisables pendant des décennies.
6. Ibid à la p 42. Voir également : L'annonce de'ESA Airbus Defence and Space, OHB SE et Thales Alenia Space relative à la promotion de la sécurité et de la durabilité des opérations spatiales.
7. Ibid à la p 43.
8. Ibid voir p 50-51.
9. Ibid à la p 92.
10. Sur ces questions voir, M. Couston, « Le droit spatial » éd. Éllipses, Paris, 2014; P.Achilleas & W. Mikalef, « Pratiques juridiques dans l'industrie aéronautique et spatiale », éd. Pédone, Paris, 2014.
11. Sur le régime de responsabilité voir K. Tarek in le rapport à la p 176 et suivantes et sur le modèle d'affaire voir G.Olano-O'Brien in le rapport à la p 105 et suivantes. Voir A. Harrington, « Space Insurance and the Law : Maximizing Private Activities in Outer Space » éd. EE. Elgar.