



Secteur **SPATIAL**



Rapport complet



Collectif Pour un réveil écologique

Mars 2025 (V2)

Préfaces

Le tout dernier rapport du collectif "Pour un Réveil Écologique" offre un regard approfondi sur les défis pressants de l'impact environnemental des missions spatiales dans notre ère moderne. Avec une méthodologie rigoureuse, il met en lumière de manière pointue les questions auxquelles la France et l'Europe sont confrontées dans ce paysage en rapide évolution, marqué par la privatisation croissante du secteur spatial.

Ce rapport met en évidence les dilemmes auxquels nous sommes confrontés : l'équilibre entre exploration scientifique et expansion commerciale, les défis éthiques posés par le tourisme spatial et les implications sociétales de l'utilisation exponentielle des orbites terrestres basses.

Il est crucial de noter que notre communauté spatiale est constituée de personnes passionnées et hautement qualifiées. Certaines sont engagées dans des initiatives novatrices au sein des laboratoires de recherche, des organismes régionaux, nationaux et internationaux, cherchant à mieux comprendre l'impact environnemental des missions spatiales. Ces initiatives visent à émettre des recommandations et à proposer des solutions pour une utilisation soutenable de cet espace exceptionnel. L'Europe a une opportunité unique de montrer son engagement en proposant un modèle responsable, illustrant ainsi sa détermination envers la préservation de notre environnement et le bien-être de tous.

Ce rapport nous rappelle également que l'exploration spatiale continue d'inspirer les jeunes et d'incarner des valeurs profondes telles que le courage, le dépassement de soi et la curiosité. En dépit des défis, l'espace reste un domaine d'innovation et d'exploration, nous invitant à réfléchir profondément à notre responsabilité envers notre planète et les générations futures.

Encourageons un dialogue ouvert et constructif sur notre avenir spatial. Ensemble, favorisons l'innovation, la coopération et le sens des responsabilités afin de créer un avenir où l'exploration spatiale coexiste harmonieusement avec la préservation de notre environnement.

Stéphanie Lizy-Destrez

Enseignant-Chercheur à l'ISAE - SUPAERO



Que ce soit pour se défendre, pour communiquer, pour se localiser, observer la Terre ou comprendre l'univers, l'activité spatiale est indispensable. Comme tous les grands systèmes techniques, elle a aussi des conséquences écologiques. Dans ses effets directs, on trouve pêle-mêle les émissions de gaz à effet de serre ou polluantes des lanceurs, l'empreinte environnementale de l'industrie liée mais aussi celle des bases de tir, souvent éloignées et situées dans des zones naturelles, l'augmentation des débris spatiaux et la pollution visuelle des méga-flottes de satellites. L'activité spatiale a aussi des effets indirects car son usage accélère les flux de production au sol, dont certains sont très carbonés. N'oublions pas enfin l'empreinte environnementale de ceux qui suivent les spectaculaires lancements : l'activité spatiale est la seule industrie reconnue comme polluante et suivie avec autant de passion. Doit-on pour autant lui concéder une « exemption culturelle » au sujet de ses conséquences environnementales ?

Née de projets militaires de la Deuxième guerre mondiale, l'industrie spatiale a poursuivi son ascension avec succès depuis plus de soixante-dix ans. Le voisinage terrestre est devenu une zone à usage militaire où la concurrence économique s'exprime largement : un accès autonome à l'espace est désormais une question de puissance. Consommateurs de ressources épuisables, nuisant à l'environnement et exportant dans l'espace les conflits terrestres, il convient de s'interroger sur la légitimité de ces développements. Peut-être faudrait-il n'en conserver que les parties réellement utiles ? La question de la mise à l'écart des technologies « zombies », pour reprendre l'expression du physicien José Halloy, ne concerne pas que le spatial : il faut se séparer des activités qui risquent de déclencher les conditions de leur disparition, et de la nôtre. Il reste essentiel de continuer à rêver, et l'espace est un bon moyen de le faire. Mais il est tout aussi important de rester les pieds sur Terre, notre unique support de vie, dont la détérioration s'accélère. L'avenir du spatial passe par un avenir « for all mankind ».

Roland Lehoucq

Astrophysicien au CEA et vulgarisateur scientifique

La mission d'AÉRO DÉCARBO est d'éclairer les réflexions concernant les trajectoires de transition du secteur aérospatial vers un monde respectueux des limites planétaires, factuellement et, autant que possible, quantitativement. Ceci dans le but de mettre en lumière les risques, les marges de manœuvre et de qualifier les potentiels leviers de décarbonation permettant de définir des trajectoires de développement compatibles avec les enjeux climatiques et énergétiques. Ainsi, lorsque *Pour un Réveil Ecologique* nous a sollicité sur ce projet de rapport sur le secteur spatial, AÉRO DÉCARBO a volontiers accepté d'en être partenaire et de contribuer à instruire la partie 2 de ce rapport "Les impacts environnementaux du secteur spatial".

AÉRO DÉCARBO, en tant qu'association, ne se prononce pas sur les opinions ou les critiques exprimées à l'endroit des acteurs ou des projets pris en exemple tout au long du rapport, et en particulier dans le cadre de l'analyse des différents acteurs effectuée par *Pour un Réveil Écologique* (partie 4). Ce choix de positionnement associatif ne présume en rien des opinions personnelles des membres d'AÉRO DÉCARBO, dont certains sont également membres de Pour un Réveil Ecologique.

Indépendamment des opinions exprimées dans ce rapport, nous tenons à saluer cette démarche didactique entreprise par *Pour un Réveil Ecologique*. Au travers des premiers chapitres, ce rapport est en mesure de répondre à l'attente des lecteurs, même néophytes, intéressés par le sujet, tant en termes de démonstration des réalités effectives actuelles de chaque mission spatiale et de leurs applications dans notre quotidien, que d'organisations, enjeux et marges de manœuvre du secteur en faveur d'un monde décarboné.

La lutte contre le changement climatique ainsi que la maîtrise de l'ensemble des enjeux environnementaux et écologiques restent pour nous un préalable à toute activité humaine. Le secteur spatial ne peut malheureusement pas en être exempté, car bien qu'il rende des services extraordinaires aux terriens et qu'il nous fasse rêver au-delà des galaxies très lointaines, nous pensons qu'il ne peut se développer au détriment d'une réalité physique et écologique sur notre seule planète habitable. Si ce rapport peut contribuer à faire prendre conscience à tous les niveaux qu'il faut agir, des entreprises aux citoyens en passant par les pouvoirs publics, alors il aura atteint son objectif principal, ce que nous lui souhaitons de tout cœur.

Aéro Décarbo

Association spécialisée dans la
décarbonation des secteurs aéronautique et spatial

9 POINTS CLÉS

de notre analyse sur le secteur spatial

1 La France, une nation spatiale

La France a été la **3ème nation** à envoyer un satellite dans l'espace en 1965.

Aujourd'hui, c'est le **2ème pays à investir le plus dans le secteur spatial** (en € / habitant).



2 Un observatoire du climat

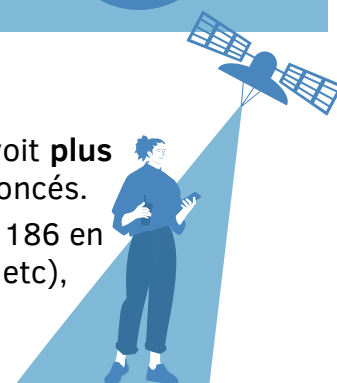
La **moitié des 54 variables climatiques essentielles** utilisées par le GIEC sont mesurées depuis l'espace.



3 Un secteur à la croissance exponentielle

Jusqu'en 2019, 9000 objets ont été lancés tous pays confondus. SpaceX en prévoit **plus de 40 000 satellites en orbite basse**. En tout, 1 000 000 de satellites sont annoncés.

Le nombre de lancements est battu chaque année (114 en 2020, 145 en 2021, 186 en 2022 et 223 en 2023). Avec l'arrivée de nouveaux lanceurs (Ariane 6, Starship, etc), cette tendance n'est pas prête à changer dans les années à venir.



4 Des émissions mal mesurées

Lors de son lancement, une fusée émet des gaz à effet de serre mais aussi **des particules en haute atmosphère**.

Leur impact est largement supérieur à celui du CO₂ et très mal mesuré.



5 Bannir le tourisme spatial

Les vols touristiques suborbitaux de *New Shepard* (Amazon) et orbitaux de *Crew Dragon* (Space-X) émettent respectivement **24 et 660 tCO₂eq par passager et par vol** alors qu'un européen émet **8 tCO₂eq en un an**.

6 Un impact environnemental incertain ...

Selon les modèles, le spatial représente **entre 0,01% et 0,6% de l'impact mondial sur le climat**. De plus, les lanceurs sont une source non négligeable de destruction de la couche d'ozone.

7 ... qui risque de décoller

La multiplication des lancements, des satellites et des acteurs interroge. A cette cadence, quel sera l'impact du spatial sur le climat et l'ozone dans le futur ?



8 L'importance des ACV (Analyses de Cycle de Vie)

Pour chaque programme spatial, il faut utiliser des ACV car **toutes** les étapes de fabrication et **toutes** les émissions doivent être considérées.

9 Questionner les usages

Nous vivons dans un monde avec des limites sur les ressources et les émissions. Pour le spatial aussi, il faut questionner l'utilité sociétale et les impacts environnementaux en amont de chaque projet.

Résumé exécutif

Les **activités du secteur spatial sont bénéfiques à de nombreux égards** : observation de la Terre pour mieux comprendre le changement climatique, recherche sur les origines de l'univers, systèmes de positionnement (GPS, Galileo, etc). Cependant, selon nous, certains usages présentent un intérêt très limité pour la société, c'est notamment le cas du **tourisme spatial et des méga-constellations**. Plus largement, il est nécessaire de questionner l'utilité sociétale de chaque projet en **considérant l'utilité de l'usage final au regard de ses impacts**. Malheureusement, malgré la multiplication des acteurs et la libéralisation du secteur, **les impacts du spatial sont particulièrement méconnus et potentiellement très largement sous-estimés**.

Pour évaluer correctement l'impact d'un projet, il faut considérer **l'ensemble des étapes de son cycle de vie**, et pas uniquement la phase d'utilisation. Or à l'heure actuelle, les processus industriels du spatial étant très spécifiques, on **peine à quantifier les émissions associées à la fabrication d'un sous-produit**. De plus, la composition exacte des produits spatiaux est gardée secrète. Connaissant mal la composition et les émissions associées à chacun de ses constituants, il est très difficile de connaître le coût environnemental d'un produit, que ce soit un satellite ou un lanceur.

Mais la plus grande incertitude reste les **émissions en haute atmosphère** (suies, alumine et vapeur d'eau) générées lors de la phase en lancement ou de rentrées atmosphériques. La mesure précise de ses émissions pourrait **faire exploser la contribution du secteur spatial** au réchauffement climatique, d'un **secteur très peu émetteur (0.01% des émissions mondiales) à un secteur non négligeable (0.6% des impacts mondiaux sur le climat)**. Ces phénomènes sont complexes à évaluer mais malgré leur impact potentiellement énorme, les moyens dédiés à la **recherche sur le sujet sont dérisoires**. Il est donc urgent de se

donner les moyens de mesurer plus finement ces émissions.

Face à ces zones d'ombres, Pour un Réveil Écologique propose **12 leviers d'actions concrets** pour permettre aux organisations du secteur de mieux prendre en compte la dimension environnementale. Ces leviers sont répartis en trois axes majeurs :

- **Améliorer notre connaissance** de l'impact environnemental du secteur,
- Renforcer la prise en compte de ces sujets dans la **gouvernance des entreprises**,
- **Orienter les financements et renforcer la réglementation** pour choisir les projets spatiaux **au regard de leur intérêt sociétal**.

En début d'année 2022, nous avons envoyé un questionnaire et une demande de rencontre aux PDG des grandes organisations françaises du secteur spatial : **Airbus Defence & Space, ArianeGroup, le CNES, l'ESA et Thales Alenia Space**. Les réponses ainsi collectées et les leviers décrits précédemment nous ont permis de dresser un **tableau** de l'état d'avancement de la transition écologique de ces acteurs. **Le secteur spatial semble être le grand oublié de la décarbonation**. Si on note une prise de conscience croissante des questions environnementales, **les actions concrètes mises en place à l'heure actuelle sont largement insuffisantes**. Ce constat n'a rien de définitif, une volonté politique forte et coordonnée entre acteurs publics et privés **pourrait contribuer à mettre sur les rails un secteur spatial décarboné au service de la société**.

Le présent rapport s'adresse en priorité aux étudiants et jeunes diplômés qui, soucieux de la préservation des conditions d'habitabilité de la planète, désirent en apprendre davantage sur l'état d'avancement du secteur spatial et de ses acteurs afin d'**accorder leurs choix de carrière et leurs valeurs**.

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement pour leur relecture et leurs conseils:

Jules **COEUILLET** (Étudiant ISAE-Supaero/Sciences Po), Ryan **DAHOU MANE** (Doctorant en astronomie), Marlène **DE BANK** (Ingénieure programme numérique *The Shift Project*, Présidente de l'association AÉRO DÉCARBO), Olivier **DEL-BUCCHIA** (Membre de l'association AÉRO DÉCARBO), Quentin **GUEHO** (Doctorant en droit spatial, Université Paris-Saclay), Alban **GUYOMARC'H** (Analyste en affaires spatiales), Claire **ELSS** et David **MANY** (Cofondateurs de l'ONG *Cosmos for Humanity*), Roland **LEHOUCQ** (Astrophysicien CEA, vulgarisateur scientifique), Stéphanie **LIZY-DESTREZ** (Enseignante-Chercheuse ISAE-Supaero), Eliott **MARCEAU** (Étudiant ISAE-Supaero, Membre de l'association AÉRO DÉCARBO), Loïs **MIRAUX** (Ingénieur aérospatial, Membre de l'association AÉRO DÉCARBO), Léo **MONTAGNON** (Ingénieur en systèmes spatiaux), Jean-Emmanuel **ROTY** (Ingénieur aérospatial), Sacha **SYLVESTRE** (Ingénieur en systèmes spatiaux), Guillaume **TRUONG-ALLIÉ** (Ingénieur en systèmes spatiaux), Timon **VICAT-BLANC** (Ingénieur en observation de la Terre, Membre de l'association AÉRO DÉCARBO), E. **WOLF** (Fondatrice & présidente de *Ways Ahead*, Experte Durabilité Aerospace) ainsi que deux ingénieurs aérospatial ayant souhaité garder l'anonymat.

Les propos tenus dans le rapport n'engagent pas les relecteurs.

Un grand merci également pour leur temps et la qualité des échanges aux équipes passionnées des organisations rencontrées: Airbus Defence & Space, ArianeGroup, le Centre National d'Études Spatiales, l'Agence Spatiale Européenne et Thales Alenia Space.



Sommaire

<u>Préfaces</u>	1
<u>Résumé exécutif</u>	5
<u>Remerciements</u>	6
<u>Introduction</u>	9
<u>1. Présentation du secteur</u>	10
<u>1.1. Le secteur spatial, un secteur complexe et parfois méconnu</u>	11
<u>1.2. Les acteurs industriels historiques</u>	12
<u>1.3. Les agences spatiales</u>	13
<u>1.4. La géopolitique du secteur spatial</u>	15
<u>1.5. Le New Space</u>	17
<u>1.6. L'évolution récente des acteurs et la libéralisation du secteur</u>	19
<u>1.7. Les différentes activités spatiales</u>	20
<u>1.8. L'utilité sociétale du spatial</u>	21
<u>1.9. Questionner les usages</u>	29

<u>2. Impacts environnementaux du secteur spatial</u>	31
<u>2.1. L'analyse de cycle de vie (ACV)</u>	32
<u>2.2. Le bilan de gaz à effet de serre</u>	34
<u>2.3. Les impacts des émissions en haute atmosphère</u>	36
<u>2.4. Impact climatique actuel et futur</u>	39
<u>3. Leviers d'action</u>	41
<u>3.1. Mieux mesurer et comprendre l'impact environnemental du secteur spatial</u>	42
<u>3.2. Renforcer la place des enjeux environnementaux dans le quotidien des entreprises</u>	46
<u>3.3. Permettre l'émergence d'un secteur spatial durable</u>	48
<u>4. Analyse des acteurs</u>	51
<u>4.1. Lacunes communes</u>	53
<u>4.2. ArianeGroup (AG)</u>	56
<u>4.3. Agence Spatiale Européenne (ESA)</u>	60
<u>4.4. Centre National d'Etude Spatial (CNES)</u>	65
<u>4.5. Airbus Defence & Space (ADS) & Thales Alenia Space (TAS)</u>	69
<u>4.6. Et les autres ?</u>	75
<u>Conclusion</u>	78

Introduction

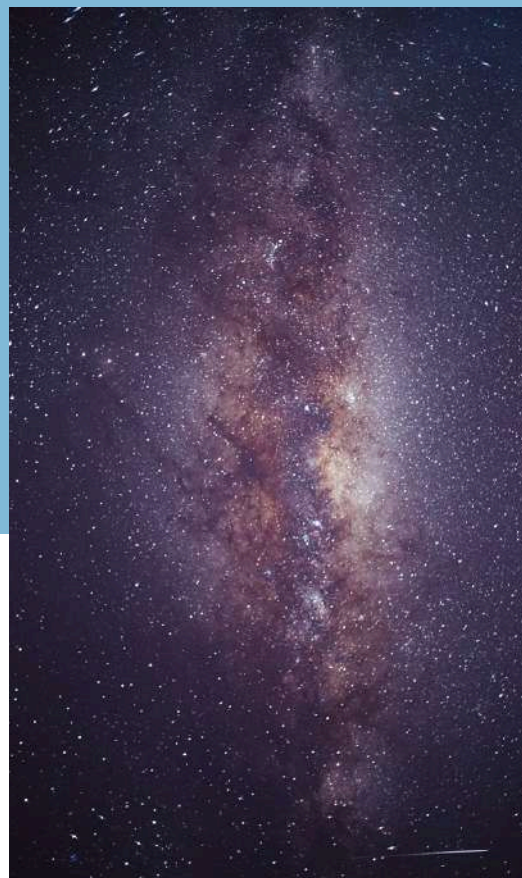
Bienvenue dans les Analyses Sectorielles du collectif *Pour un réveil écologique*.

Dans la continuité du projet *Les entreprises nous répondent* lancé en 2019, ce nouveau projet de sollicitation des grandes entreprises vise à donner une idée de l'avancement de la transition socio-écologique dans certains secteurs clés de l'économie.

Le collectif *Pour un réveil écologique* a été créé fin 2018, suite à la parution du manifeste éponyme. Portant le discours d'élèves de grandes écoles et d'universités qui n'iraient pas travailler pour des employeurs contribuant à détériorer nos conditions de vie sur Terre, le manifeste a rapidement reçu plus de 30 000 signatures.

La critique portant sur l'ensemble du système, économique, éducatif, industriel, les opportunités de rencontres avec des dirigeant.es des grandes entreprises françaises ont été l'occasion de pousser un discours nuancé, puis de rentrer dans le détail de difficultés auxquelles certain.es d'entre eux pouvaient être confronté.es.

Ces opportunités se succédant, le collectif (composé d'étudiant.es et de jeunes diplômé.es bénévoles) s'est fédéré autour de ces sujets. Depuis maintenant 5 ans, nous travaillons donc auprès des entreprises, de l'enseignement supérieur, des pouvoirs publics, des acteurs de la finance et des médias. Enfin, une équipe motivée assure la communication sur les réseaux sociaux, décryptant presque quotidiennement l'actualité via nos réseaux sociaux et portant des campagnes (comme celle sur le GIEC, dans le métro parisien et les gares de France et d'Europe).



Concernant les entreprises, depuis 2018, nous avons pris part à de nombreuses rencontres de dirigeant.es, membres des directions générales, des comités exécutifs et directions RSE. Ces discussions nous ont inspirés des rapports et surtout un questionnaire, dont vous pouvez encore retrouver les réponses des entreprises à celui-ci sur notre site.

Fin 2021, la création d'un nouveau questionnaire s'est lancée, plus quantitatif que le précédent, dans le but de l'adresser aux principales entreprises françaises.

Nous sommes heureux de vous présenter la première synthèse sur le secteur spatial terminée en janvier 2024. Une dizaine d'analyses - pour autant de secteurs - suivront ensuite cette publication, de janvier à avril 2024.



1 Présentation du secteur

L'une des premières choses qui vient à l'esprit quand on évoque le secteur spatial c'est le rêve, l'inspiration, l'exploration de contrées sans limite. On doit cette image à des décennies d'œuvres culturelles cultes, aux récits de fringants astronautes fraîchement revenus du cosmos et à une industrie reposant sur des technologies avant-gardistes.

Le secteur spatial c'est aussi un grand nombre d'emplois hautement qualifiés, que ce soit pour la production de données satellitaires (plus de 33 000 emplois selon l'INSEE) ou pour leur exploitation (près de 30 000 selon le CNES). Au total, ce secteur économique génère chaque année en France un chiffre d'affaires de 10 milliards d'euros.

Mais le secteur spatial ne fonctionne pas en vase clos avec le reste du monde. Les problématiques de changement climatique le concernent tout autant que les autres secteurs. Par exemple, les satellites fournissent des données essentielles à notre compréhension du climat. L'espace nous permet de veiller sur notre monde.

Pourtant, et très ironiquement, la responsabilité du secteur spatial dans la crise climatique est largement méconnue.

Cela s'explique par la complexité de certains phénomènes mais aussi par un manque de visibilité médiatique. Malheureusement, pour le secteur spatial comme pour les autres secteurs, le temps presse. Une transformation à la hauteur des défis qui nous attendent doit être amorcée au plus vite.

Souhaitant à tout prix éviter de grandes assertions manichéennes, l'objectif de ce rapport est de mettre en lumière l'avancement des acteurs afin de **permettre l'émergence d'un débat sourcé et constructif**.

Les acteurs industriels que nous avons interrogés ont un champ d'action international avec une présence et des partenariats actifs à l'étranger. Notre champ d'action étant français, c'est prioritairement aux branches et parties françaises de ces acteurs que nous nous sommes adressés. L'industrie spatiale française est difficile à présenter simplement car elle recouvre des domaines d'activités très variés, sa structuration est en évolution permanente et est fortement imbriquée dans un écosystème européen plus large. Nous avons aussi fait le choix de centrer notre analyse sur les activités spatiales en omettant volontairement les activités militaires.

1.1. Un secteur complexe et parfois méconnu

L'organisation du secteur spatial peut être divisée en deux parties bien distinctes :

L'amont comprend la conception et la production des systèmes spatiaux (lanceurs, satellites, stations spatiales, etc) ainsi que le l'organisation de la mission, le lancement, la mise à poste, les opérations au sol de contrôle et de récupération des données et les opérations de retrait de service.

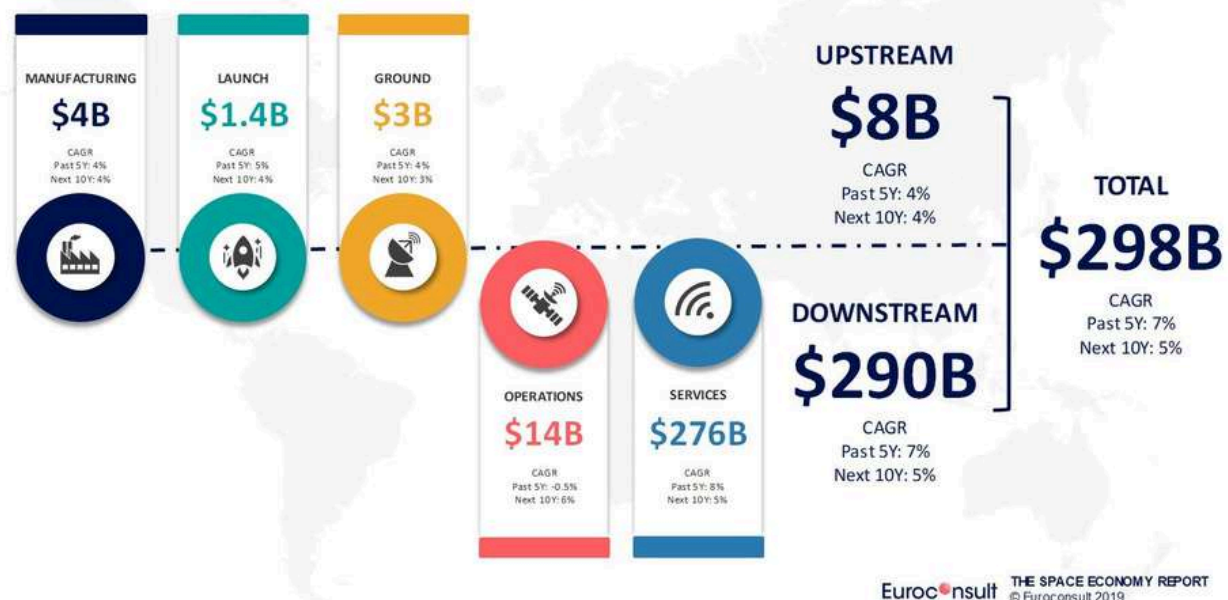
L'autre champ d'activités, **l'aval**, comprend le traitement et la vente de données issues des infrastructures spatiales.

Cette partie aval n'est généralement pas associée au secteur par le grand public. Mais la finalité des activités du secteur (sauf dans le cas particulier du vol habité) reste l'obtention de données.

Le lanceur (la fusée) et le satellite équipé de ses instruments restent des moyens (fonctions intermédiaires) d'obtention de ces données. Bien que moins emblématique, c'est donc en réalité sur l'aval que se trouve le gros du marché spatial.

Toutefois, vis-à-vis des questions de l'impact environnemental, les enjeux de l'aval sont très similaires aux enjeux classiques du secteur du numérique auquel ces activités sont généralement associées. Notre travail s'est donc concentré sur la partie amont bien que l'impact de la part de l'aval soit non négligeable et en constante augmentation.

GLOBAL TRENDS - COMMERCIAL SATELLITE REVENUES IN 2018



Répartition des revenus de l'industrie des satellites commerciaux

Source : Euroconsult, The space economy report, 2019

1.2. Les acteurs industriels historiques

Comme le secteur aérien, le spatial repose sur une large chaîne d'approvisionnement composée de fournisseurs et partenaires industriels. Depuis toujours, quelques acteurs européens (appelés « *primes* ») sont au sommet de cette arborescence et assemblent les satellites et les lanceurs. Pour les satellites, il existe trois entreprises principales : Airbus Defence & Space (ADS, France), Thales Alenia Space (TAS, France) et OHB (Allemagne). Pour les lanceurs, les principaux constructeurs sont ArianeGroup (AG, France) et Avio (Italie).

Un programme « lanceur » ou « satellite » reste un programme industriel complexe au regard des exigences de fiabilité et de qualification particulière des différentes pièces et sous-ensembles mais également de par les faibles flux de production (quelques unités ou dizaine d'unités, jusqu'à très récemment du moins).



Une grande quantité d'entreprises de différentes tailles, parfois des PME ou ETI¹, sont ainsi impliquées dans la fabrication d'un lanceur ou d'un satellite (voir l'exemple d'Ariane 6 ci-dessous). Cette répartition est issue à la fois de contraintes industrielles (domaine d'expertise, etc.) mais également d'une volonté politique de développer une industrie spatiale européenne.



Ancienne organisation industrielle simplifiée des principaux éléments d'Ariane 6

Source : ESA

¹ PME et ETI: Les "Petites et Moyennes Entreprises" et les "Entreprises de Tailles Intermédiaires" (définies ici).

1.3. Les agences spatiales

L'Europe s'est dotée d'une politique spatiale coordonnée, pilotée par une organisation appelée Agence Spatiale Européenne (ci-après désignée par ESA pour *European Space Agency*). L'ESA regroupe 22 pays européens (pas tous membres de l'Union Européenne) et a pour objectif de coordonner les programmes scientifiques spatiaux et de soutenir les activités industrielles du continent. L'agence est dissociée de l'Union Européenne mais collabore avec elle sur certains projets. L'ESA fonctionne suivant des participations financières plus ou moins importantes de ses membres aux différents programmes et projets. Elle assure également une représentation de ses membres au niveau d'instances internationales. La France est le principal contributeur de l'ESA (avec 24,5% de budget et suivi de près par l'Allemagne à 21% en 2022).

La plupart des pays européens possèdent une agence spatiale nationale. C'est le cas de la France avec le Centre National d'Études Spatiales (CNES) dont l'origine remonte aux débuts de l'ère spatiale. Troisième pays à atteindre l'espace en 1965, la France a toujours mis en avant son industrie spatiale et a toujours investi de manière conséquente dans le secteur.

Le rôle du CNES est de structurer les activités du secteur spatial en France sur un grand nombre de thématiques. Le CNES collabore également étroitement avec l'ESA et les autres agences nationales sur de nombreux sujets.

Les agences sont commanditaires et/ou responsables scientifiques de projets spatiaux. Elles peuvent participer à la conception des systèmes et coordonner la maîtrise d'ouvrage des charges utiles scientifiques réalisées par les laboratoires de recherche mais ce sont les industriels qui sont chargés de la fabrication des sondes et satellites.

Lors des développements de projets industriels importants, comme un nouveau lanceur, les agences financent une grande partie du développement. Elles accompagnent également le développement d'un point de vue technique, notamment par l'intermédiaire de revues régulières. Enfin, elles peuvent contribuer à réguler le secteur. C'est par exemple le cas du CNES dans le contexte de la Loi sur les Opérations Spatiales (LOS)¹. Elles ont donc à la fois un rôle de clientes, de coordinatrices, de facilitatrices et de certificatrices.

De plus, les agences ne sont pas les seules clientes de satellites, cela peut aussi être d'autres institutions, d'autres entreprises, des laboratoires, etc. Cependant cette description permet de comprendre le positionnement dans la chaîne de valeur des différentes organisations rencontrées au cours du projet d'analyse des entreprises (partie 4). Enfin, l'Europe ne travaille pas en vase clos avec le reste du monde, certains satellites ou lanceurs sont commandés à l'étranger et inversement.

Le fonctionnement de l'industrie spatiale est fortement influencé par des règles européennes. L'une d'entre elles est le principe du **retour géographique**. Les différents pays membres de l'ESA contribuent financièrement à une certaine proportion de chaque projet. Avec le retour géographique, la répartition des tâches d'un projet doit suivre la répartition des contributions financières. Autrement dit, si un pays contribue à 5% des financements d'un projet, 5% des activités industrielles associées au développement du projet doivent revenir à l'industrie du pays en question.

Cependant, ce principe de retour géographique est de plus en plus décrié. Ses partisans mettent en avant l'importance du dispositif dans le développement d'une industrie spatiale européenne unifiée, en permettant à tous les pays de contribuer aux projets et en développant de nouvelles compétences.

¹ Cette loi rend obligatoire le fait de libérer l'orbite utilisée 25 ans après la fin de service du satellite.

Il permet aussi d'impliquer un plus grand nombre de pays et donc de récupérer davantage de financement tout en contribuant au développement économique de l'ensemble des pays membres, et pas seulement aux principaux acteurs du continent. Ses détracteurs dénoncent une complexification de la chaîne logistique de projets déjà complexe par nature. Il en résulterait une augmentation des coûts et des délais de production des produits. **Le retour géographique limite, quand il ne contraint pas, le choix de sous-traitants.** Cette restriction du marché limite également la réduction des coûts permis par la concurrence.

Néanmoins, assez peu d'entreprises détiennent les savoir-faire spécifiques nécessaires et la maturité acquise avec le fait d'avoir déjà envoyé leur matériel dans l'espace (c'est le fameux *spaceproof*, gage de qualité). Cela représenterait d'autres contraintes limitantes dans le choix des entreprises, même si le retour géographique était suspendu

Là encore, l'objet n'est pas ici de savoir si le retour géographique est pertinent ou non pour l'industrie spatiale européenne. Mais il est important de garder en tête que le secteur ne fonctionne pas comme un secteur traditionnel concurrentiel où chaque acteur dispose d'une autonomie de sélection de sa *supply chain* de fournisseurs et de partenaires industriels.

Le retour géographique est possible car les contributions financières de chaque pays vers l'ESA sont tracées. Ce n'est en revanche pas le cas des financements de la Commission européenne qui n'applique pas le retour géographique. Cette dernière pilote également certains projets spatiaux (Galileo, Copernicus) en collaboration avec l'ESA. Pour ce faire, elle fait monter en puissance une nouvelle entité (une sorte de nouvelle agence spatiale) : l'EUSPA¹. La Commission cherche à renforcer son implication dans le secteur spatial européen.

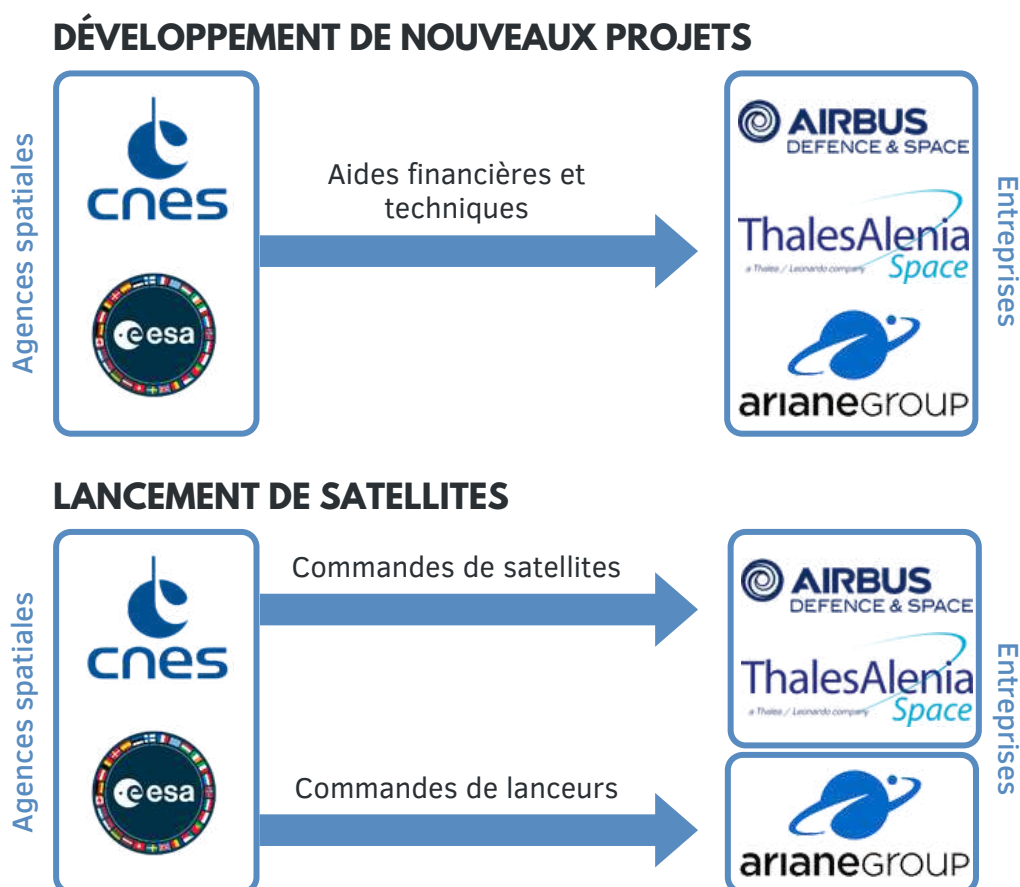


Schéma simplifié des interactions entre agences et entreprises

¹ European Union Agency for the Space Programs (voir plus [ici](#)).

1.4. La géopolitique du secteur spatial

Ce rapport ne peut se lire sans avoir conscience du contexte géopolitique actuel et celui qui se profile pour la prochaine décennie. Ce contexte est d'autant plus important que la France, et plus globalement l'Europe, ont un rôle certain à jouer dans le secteur spatial global.

La Guerre froide fut une période propice au développement compétitif des activités spatiales étatiques. En 1957, l'Union soviétique parvient à placer en orbite un premier satellite artificiel, Spoutnik, qui lance officiellement la course à l'espace. En 1961, un nouvel exploit est accompli avec l'envoi de Youri Gagarine en orbite, le premier humain dans l'espace. La Lune devient alors l'objectif ultime à atteindre, et les États-Unis mettront tout en œuvre pour y marcher. Ils y arriveront en 1969 et reproduiront l'exploit plusieurs fois.

Cette compétition entre les deux blocs se poursuivra jusqu'en 1998 avec la mise en place de la Station spatiale internationale (ISS), véritable exemple de coopération internationale. La fin annoncée de l'ISS pour 2030 concorde avec le changement de paradigme au sein des puissances spatiales. La Russie, en retrait depuis plusieurs années et en difficulté sur la scène internationale depuis l'invasion de l'Ukraine, a laissé la place à la Chine en seconde place. Mais les relations sont beaucoup moins cordiales avec les États-Unis qui refusent catégoriquement de travailler avec la Chine, jusqu'à inscrire cette interdiction dans la loi américaine¹. De son côté, la Chine développe à un rythme effréné toutes ses activités spatiales : rover sur la Lune, méga-constellations, station spatiale, lanceurs réutilisables, capacités militaires...

Le pays souhaite développer avec ses partenaires une station lunaire dès 2030, tout en continuant sur la terre ferme d'étendre ses nouvelles routes de la soie. Ces tours de force sont réalisés alors même que les États-Unis tentent, par l'intermédiaire de l'extraterritorialité de leur droit², de contrôler les exportations de bien militaires à double usage, empêchant par là de nombreux pays à collaborer avec la Chine.

La NASA, agence spatiale américaine, s'assure de cette façon la préférence d'une majorité de puissances spatiales, dont la France, grâce entre autres au programme et aux accords Artemis. Les entreprises américaines incarnant le New Space, SpaceX en tête, s'assurent la dominance du marché des activités spatiales, lanceurs, télécommunications et observation de la Terre.



¹ Department of Defense and Full-Year Continuing Appropriations Act, Public Law 112-10, 2011 (voir plus [ici](#)).

² Secrétariat général de la Défense et de la Sécurité nationale (2020). *Les réglementations américaines de contrôle à l'exportation de biens sensibles*.

Dans ce contexte polarisé par une guerre commerciale et d'influence politique et militaire sino-américaine, que reste-il à l'Europe ? La guerre en Ukraine a mis un coup d'arrêt au projet ExoMars, pensé avec la Russie, et de plus en plus d'États du continent signent les Accords Artemis américains. Sans choisir de camp, ou en tout cas sans en exclure, l'Europe et la France ont cette possibilité de coopérer avec toutes les autres puissances spatiales. Via l'ESA et les industries nationales (dont française), le continent bénéficie d'une expertise de pointe qu'il ne faut pas négliger. Certains champions européens sont d'ailleurs bien implantés au niveau mondial (Airbus, Eutelsat...).

Les États du continent européen ont conscience de l'importance du secteur spatial, et l'Union européenne souhaite à son tour investir ce milieu, avec une nouvelle constellation de satellites (IRIS2) et une loi spatiale européenne, malgré les doutes sur sa compétence juridique à le faire¹.

S'il faut reconnaître que la part du continent dans toutes les problématiques spatiales (pollution atmosphérique, débris spatiaux...) est à relativiser face aux géants américains et chinois, elle n'est pas non plus à minimiser. Surtout lorsque l'on considère l'objectif de neutralité carbone de l'UE pour 2050.

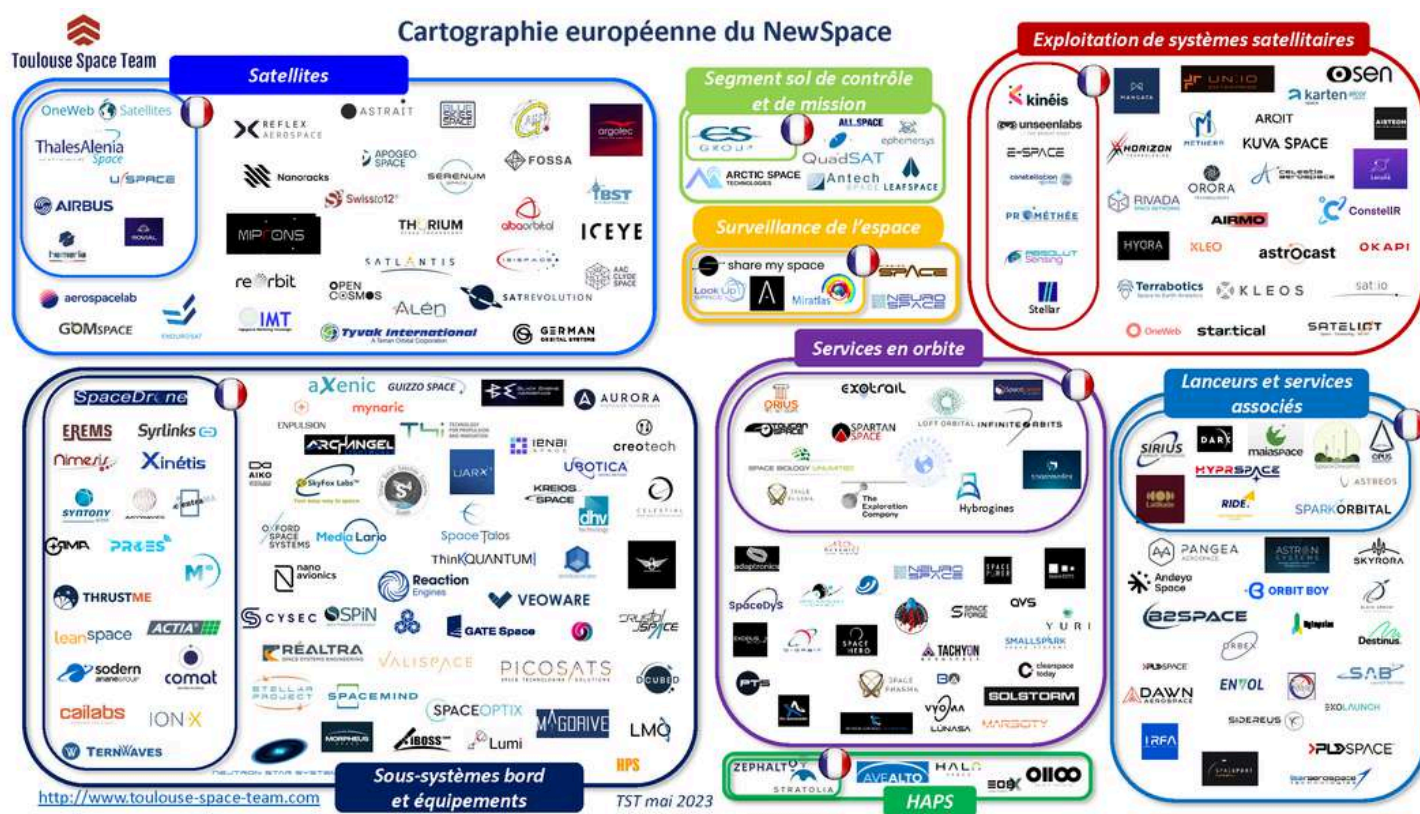
Les acteurs européens gardent une place non négligeable dans le secteur spatial globalisé. Il faut toutefois garder à l'esprit que les budgets publics alloués au développement des activités spatiales sont bien moins importants qu'ailleurs². Cela n'empêche pas le continent d'être un exemple en termes de durabilité spatiale, comme l'a démontré la Charte Zéro Débris de l'ESA présentée à la conférence ministérielle de Séville en novembre 2023.



¹ Selon le Traité sur le Fonctionnement de l'Union Européenne (TFUE), le spatial est une "compétence d'appui" de l'UE et ne peut donc pas, en théorie, proposer de loi spatiale. Toutefois, l'UE se baserait plutôt sur sa "compétence partagée" du marché intérieur pour proposer une loi spatiale européenne.

² Le budget de l'ESA, en y incluant la contribution du budget de l'UE, s'élève à 6,5 milliards de dollars en 2022 : c'est à peu près dix fois moins que le budget spatial américain (62 milliards de dollars), qui représente à lui seul près de 60 % du total mondial (103 milliards de dollars). Voir plus [SENAT2023].

1.5. Le New Space



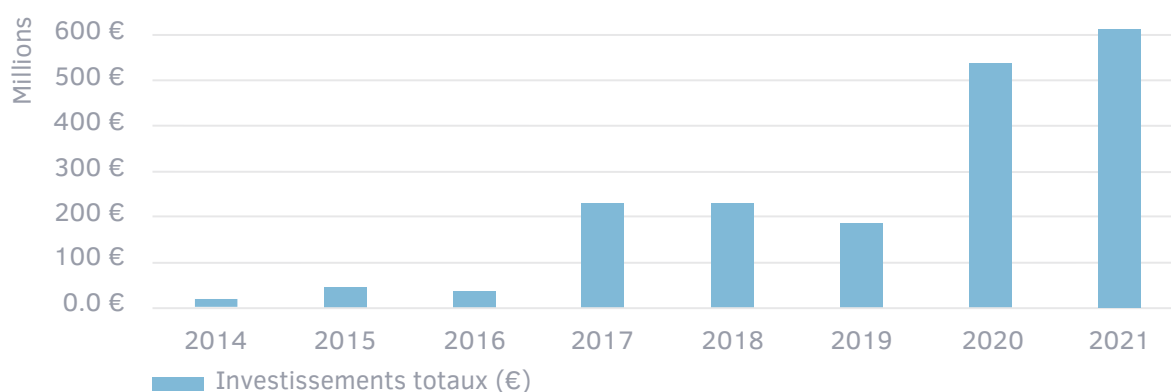
Cartographie européenne du New Space

Source : Toulouse Space Team, mai 2023.

On assiste depuis quelques années à une multiplication des acteurs du spatial, avec l'apparition d'un grand nombre de startups et d'acteurs privés. Ce mouvement débuté aux États-Unis avec des entreprises emblématiques comme SpaceX ou Rocket Lab connaît aussi une déclinaison française et européenne (Kinéis, Aerospacelab, Isar Aerospace, etc).

La miniaturisation d'un grand nombre de composants (et la réduction des coûts associés) est souvent mise en avant comme étant l'une des raisons majeures de l'essor du New Space.

Ce faisant, l'écosystème des acteurs du secteur spatial s'est énormément densifié ces dernières années, permettant de nombreuses synergies.



Investissements privés dans les start-ups européennes

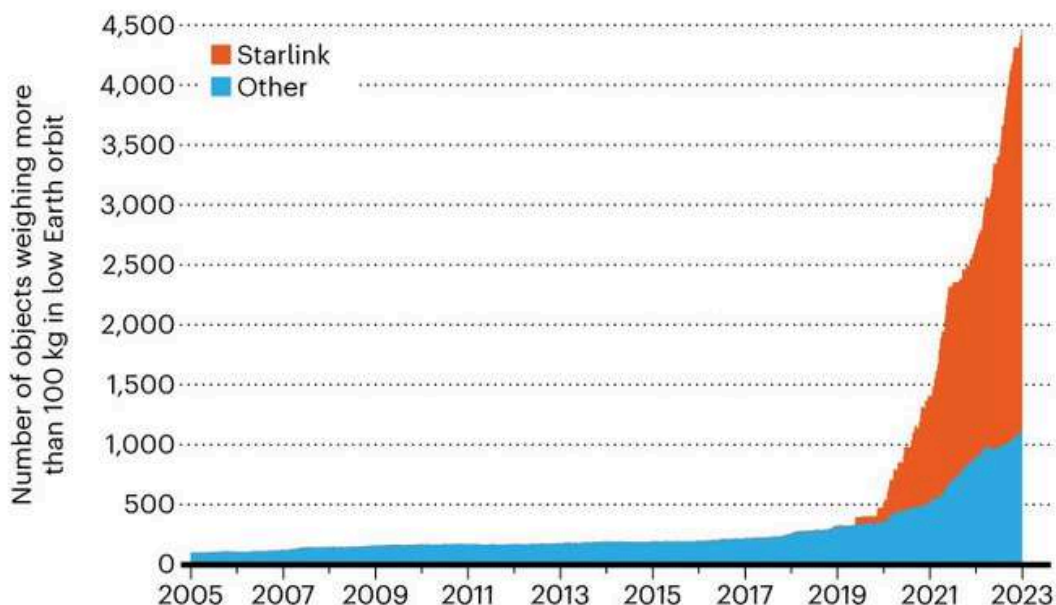
Source : ESPI, mars 2022.

La situation a également radicalement évolué en termes de financement. Le nombre et les montants d'aides publiques, d'incubateurs et de fonds d'investissement dédiés au secteur spatial ont considérablement augmenté en quelques décennies (voir la cartographie ci-dessus). Ces financements ne sont plus uniquement fléchés vers les gros industriels mais alimentent maintenant pléthore d'acteurs de toutes tailles.

Il est important de comprendre que, pour beaucoup d'acteurs, ce développement rapide ne correspond pas à un nouvel état stationnaire du secteur mais bien au début d'une tendance de fond plus large menant à une croissance exponentielle des projets et des marchés. Un bon exemple de cette fuite en avant est le **nombre de satellites mis en orbite**. Jusqu'en 2019, l'humanité avait lancé dans son histoire environ 9000 objets tous pays confondus¹. Bien qu'étant déjà en train de congestionner à elle seule certaines orbites, la **méga-constellation Starlink de SpaceX prévoit à terme l'envoi de plus de 40 000 satellites**². D'autres projets pharaoniques sont prévus aux États-Unis (Astra prévoit l'envoi de plus de 13 000 satellites) ou en Chine (Guo Wang prévoit près de 13 000 satellites).

Ainsi, l'Union Internationale des Télécommunication qui recense les demandes de mise à poste de satellites a annoncé en fin d'année 2023 que 1 000 000 de satellites sont prévus tous pays confondus³. De son côté, l'Europe a des ambitions qui semblent plus raisonnables. La plus grande constellation envisagée est One Web sera constituée de 650 satellites. La constellation IRIS² souhaitée par l'Union Européenne ne devrait pas compter plus de quelques centaines de satellites. Cela ne veut évidemment pas dire que ces constellations ne doivent pas être questionnées. Mais il est nécessaire de rappeler, qu'à l'heure actuelle du moins, le secteur spatial Européen et le secteur spatial Américain sont très différents.

Pour les lancements aussi, les courbes sont à la hausse. Chaque année est une année record en termes de nombre de décollage: 114 en 2020, 145 en 2021, 186 en 2022 et 223 en 2023. Avec le développement de nouveaux lanceurs lourds (Starship, Ariane 6, Vulcain), la suite du déploiement de Starlink et le début de celui de Kuiper, il est probable que la tendance se poursuive et qu'un nouveau record soit battu en 2024.



Traffic en orbite basse

Source : 2022 was a record year for space launches, Nature, janvier 2023.

¹ UN Office for Outer Space Affairs (2020). *Online Index of Objects Launched into Outer Space*.

² 41 493 selon le site www.newspace.im.

³ Ce chiffre prend en compte les demandes de satellites et ne veut pas dire que l'ensemble de ces derniers verront effectivement le jour. Cette annonce témoigne cependant de la hausse aberrante des demandes et de l'absence totale de questionnement quant à l'utilité finale des satellites [FALLE2023].

1.6. L'évolution récente des acteurs et la libéralisation du secteur

Récemment, on a observé une forte mutation du secteur spatial avec un phénomène de libéralisation et le transfert de rôles, d'activités et de compétences d'acteurs étatiques vers des industriels de droit privé. Prenons trois exemples marquants en ce sens :

- Alors que la maîtrise d'ouvrage du développement d'Ariane 5 incombait au CNES, c'est désormais l'industriel ArianeGroup qui a récupéré ce rôle pour Ariane 6.
- Jusqu'en 2020, les activités spatiales étaient pilotées au niveau de l'État par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Ces prérogatives ont dorénavant été affectées au Ministère de l'Économie.
- Certaines activités et compétences du CNES sont désormais transférées à l'écosystème grandissant du New Space. Le CNES, par sa plateforme *Connect by CNES*, contribue d'ailleurs au financement et à la structuration de cet écosystème. Le programme *Scale Up* de l'ESA a le même objectif, accélérer la commercialisation de l'espace en finançant le secteur du New Space, avec l'espoir que la concurrence favorisera l'innovation.

Un autre exemple marquant de cette libéralisation est l'exploration spatiale. Historiquement, le sujet était l'apanage des agences étatiques du fait des coûts importants de tels projets mais aussi du fait de la faible rentabilité à court terme. En effet, il n'y a à première vue pas de modèle économique viable derrière le fait de se poser sur un autre corps céleste. Cependant, avec le regain d'intérêt que connaît la Lune, une course aux capacités d'atterrissage lunaire et à l'**exploitation des ressources** lunaires s'est ouverte. Et les États ne sont plus les seuls à participer, les entreprises entendent contribuer largement à l'aventure. On peut citer par exemple les missions de la sonde israélienne Beresheet (SpaceIL) et le programme japonais Hakuto R (Ispace). Bien qu'elles se soient toutes deux soldées par un échec respectivement en 2019 et 2023, ces missions sont les premières d'une longue série à venir. La NASA, contrairement à l'époque Apollo, compte faire reposer l'effort de développement en grande partie sur des entreprises privées, à l'instar du programme CLPS (*Commercial Lunar Payload Service*). Ce programme doit permettre à l'agence de participer au financement d'atterrisseurs privés pour les inclure dans le programme Artemis, suite du programme Apollo. En Europe aussi, un nombre croissant d'entreprises visent à apporter leur contribution dans les efforts d'exploration.



1.7. Les différentes activités spatiales

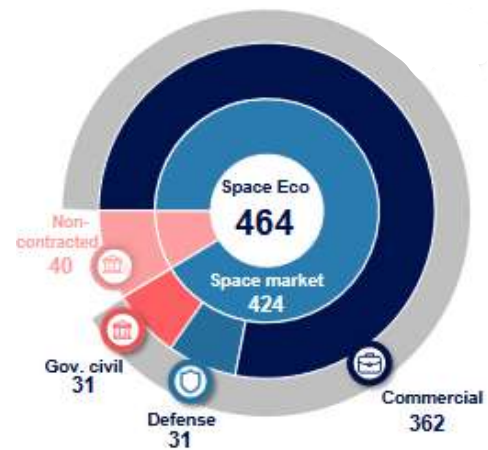
Les activités spatiales et les missions du secteur sont particulièrement protéiformes. On peut toutefois les regrouper en 3 catégories, en fonction du périmètre de la mission et sa destination : les activités scientifiques, militaires et commerciales.

Le périmètre des activités scientifiques comprend :

- Les missions d'exploration, par l'envoi d'humains (dans la station spatiale internationale), de robots (Perseverance sur Mars, Yutu 2 sur la Lune) ou de sondes (Cassini/Huygens, Rosetta/Philae) à travers le système solaire ;
- Les programmes internationaux de conception, lancement et exploitation des télescopes spatiaux qui s'intéressent au cosmos (James Webb, Herschel) ;
- Ainsi que l'ensemble des satellites qui orbitent autour de la Terre et mesurent au travers d'une multitude d'instruments, de nombreux paramètres (Sentinel, SPOT) sur notre planète.

Les activités militaires spatiales se développent rapidement - l'espace étant considéré comme un nouveau champ de bataille à part entière, et il est donc difficile d'en faire une liste exhaustive. Notons que les activités principales portent sur l'observation de la Terre (satellite *Lacrosse*), les capacités de communication sécurisées (satellite *Syracuse*), la connaissance des objets présents en orbite (*Space Situation Awareness*), l'espionnage entre satellite (satellite *Luch-Olympe*) ou à l'inverse, l'escorte en prévention de ces espionnages (satellite *YODA*).

Enfin, la partie commerciale connaît elle aussi une évolution rapide. Historiquement, il s'agissait principalement de satellites de télécommunication en orbite géostationnaire. Avec l'avènement du New Space sont apparues les constellations de satellites en orbite basse, servant aux télécommunications, à l'observation de la Terre, à l'*Internet of Things*¹, etc.



Économie spatiale mondiale (milliards de \$)

Source : Euroconsult, 2022.

Avec la multiplication des acteurs, des projets dédiés au “service en orbite” commencent à voir le jour. Cette sphère est prépondérante au niveau économique (cf figure ci-dessus).

Cependant, ces sphères scientifiques, commerciales et militaires sont interdépendantes. Un grand nombre de missions sont dites “duales” et servent un objectif civil et militaire à la fois. Un satellite scientifique d'observation de la Terre peut très bien fournir des données militaires lorsqu'il passe au-dessus d'une zone d'intérêt. Si cette dualité peut être questionnée d'un point de vue éthique, elle sert grandement au secteur spatial civil par les financements importants qu'elle apporte et parfois par la proximité des enjeux techniques². De la même manière, le positionnement par satellite est désormais omniprésent dans notre société et alimente les trois sphères. La guerre en Ukraine et l'utilisation de Starlink nous donne un exemple de projet initialement commercial converti à des fins militaires. La constellation est désormais une contribution américaine majeure dans ce conflit. Ainsi, les programmes spatiaux, quelque soit leur type (commercial, scientifique ou militaire), peuvent rapidement devenir des instruments géopolitiques clés et sont des éléments essentiels de la souveraineté des États.

¹ L'IOT consiste à doter des objets de terminaux informatiques et de capteurs afin de les connecter entre eux. Il est souvent décrié pour son impact environnemental conséquent (fabrication de terminaux, génération importante de données), et si certains usages émergents peuvent sembler pertinents (en médecine notamment), d'autres paraissent présenter une utilité plus contestable.

² Lanceurs civils et missiles balistiques sont des systèmes très proches (les premiers lanceurs étaient des missiles reconvertis).

1.8. Les différentes activités spatiales

L'utilité sociétale de l'industrie spatiale va au-delà de la simple exploration de l'espace. Un Français fait usage d'un satellite en moyenne 47 fois par jour¹. Cette utilisation quotidienne des systèmes de positionnement, des prévisions météorologiques ou d'Internet par satellite est une preuve du rôle central que joue l'espace dans nos vies. Plusieurs des différentes technologies que nous présentons ici ont en effet révolutionné notre quotidien.

Recherche en sciences de l'Univers

L'envoi de télescopes et de sondes spatiales permet d'étudier les planètes, les étoiles, les galaxies et d'autres phénomènes cosmiques. Ces missions fournissent des données cruciales pour mieux comprendre les lois fondamentales de la physique, l'histoire de l'univers et l'origine de la vie. À titre d'exemple, les sondes COBE (*Cosmic Background Explorer*) en 1992 et Planck en 2009 ont collecté des données qui après analyse permettent de conforter l'hypothèse de l'origine de l'univers (modèle du *Big Bang*).

Les télescopes spatiaux comme le *James Webb Space Telescope* (JWST), en orbite depuis 2022, permettent d'observer l'univers avec une précision telle qu'elle nous permet de découvrir de nouvelles exoplanètes (planètes hors de notre système solaire). Contrairement aux télescopes spatiaux, les télescopes terrestres perdent de l'information car la lumière est filtrée par l'atmosphère. Enfin, l'envoi de rovers et d'orbiteurs peut améliorer notre compréhension des structures atmosphériques et géologiques des planètes, et donc de l'origine de la vie. Le rover Curiosity de la NASA, arrivé sur Mars en 2012, a donné une preuve expérimentale de la présence d'eau liquide à la surface de Mars à un moment de son histoire.



Image des Cosmic Cliffs prise par le JWST

Source : NASA

¹ Ce chiffre est parfois décrié mais il vient d' Ane Aanesland, CEO de ThrustMe (voir plus [ici](#)).

Observation climatique et géophysique de la Terre

Les satellites orbitaux d'observation de la Terre permettent de récolter un grand nombre de données géophysiques et géographiques précieuses pour la météorologie, l'inventaire des ressources naturelles, la prévention des catastrophes naturelles et l'observation et la modélisation du climat.

Pour la météorologie, les images des satellites (comme les Météosat de l'ESA) fournissent une vue en temps réel des formations nuageuses, des mouvements des masses d'air et des phénomènes météorologiques en développement. L'analyse de ces données permet ensuite des prévisions météorologiques de plus en plus précises. D'autres instruments fournissent des images satellites sources d'informations sur la couverture terrestre,

les forêts, les terres agricoles et les étendues d'eau. Ces données sont utilisées pour surveiller le niveau et la température des océans, la déforestation, l'évolution des sols agricoles et la perte de la biodiversité.

Les données recueillies par les satellites peuvent aussi être utilisées pour surveiller les activités volcaniques, tremblements de terre, glissements de terrain et inondations imminentes ou être exploitées pour mesurer les températures de surface, les concentrations de gaz à effet de serre (GES), les courants océaniques et les variations de la calotte glaciaire. Ces informations alimentent les modèles climatiques qui nous aident à comprendre le changement climatique et anticiper les risques associés. Plus de la moitié des "variables climatiques essentielles" du GIEC sont mesurables depuis l'espace. De plus, 5 d'entre elles n'ont pas d'alternatives terrestres et sont uniquement mesurables depuis l'espace [ESA2015].



Les variables climatiques essentielles

Source : Système mondial d'observation du climat (SMOC ou GMOS)

¹ Nord Stream : l'Agence spatiale européenne fait état de "la plus grande fuite de méthane" jamais détectée par ses satellites, France Info, 2023.

De manière plus spécifique, les satellites peuvent observer les fuites et émissions éphémères de gaz à effet de serre comme ce fut le cas lors du sabotage du gazoduc Nord Stream 2 en septembre 2022¹ ou dans un puits de gaz au Kazakhstan en août 2023.

Les données spatiales ont également un rôle à jouer dans l'adaptation au changement climatique. On peut citer en ce sens le *SCO (Space for Climate Observatory)* qui est une initiative lancée en 2019 comprenant 29 agences spatiales. Son but est d'utiliser les données satellites et socio-économiques afin de renseigner les impacts du changement climatique au niveau local et de fournir des indicateurs d'aide à la décision. Concrètement le SCO labellise des projets qui permettent l'émergence de mesures d'atténuation ou d'adaptation au changement climatique. Les travaux mis en avant ont vocation à être transposés à d'autres territoires. Le SCO fournit aux projets labellisés une aide technique, financière et communicationnelle. L'initiative a le mérite de favoriser le délicat passage des données satellitaires à la compréhension des impacts climatiques locaux en impliquant une multitude d'acteurs complémentaires.

Systèmes de positionnement

Les systèmes de navigation par satellite, appelés de manière générique GNSS (pour *Global Navigation Satellite Systems*) ont plusieurs déclinaisons. Le système le plus connu est le système américain appelé GPS (*Global Positioning System*) mis en fonctionnement en 1993. L'équivalent européen s'appelle Galileo, le russe GLONASS et le chinois Beidou¹. Ces systèmes sont utilisés pour la navigation terrestre, aérienne et maritime. Ils permettent une **géolocalisation très précise** et ont révolutionné notre manière de nous déplacer. Les usages du GPS vont au-delà des services de positionnement, ils assurent la **synchronisation des horloges** à travers le monde, sont utilisés par les cartographes civils et militaires et par le système financier pour l'horodatage des transactions.

Ruissellement technique et scientifique

Lorsque l'on examine les répercussions de l'économie spatiale, il est clair que plusieurs secteurs, notamment les énergies ou le recyclage chimique de l'eau et des déchets organiques, ont profité des retombées techniques de l'industrie spatiale. Une note stratégique de l'Association Nationale de Recherche Technologique met ainsi en avant l'interdépendance spatial/non spatial dans le développement de technologies variées [ANRT2023]. Des techniques telles que la purification de l'eau, la conservation des aliments et les fermes verticales ont été initialement conçues pour survivre dans l'espace, avant d'être adaptées et mises en valeur sur Terre. De la même manière, bien que les technologies solaires existent indépendamment de l'industrie spatiale, certaines innovations dans le domaine des panneaux solaires ont pu être développées grâce aux investissements de recherche du secteur spatial.

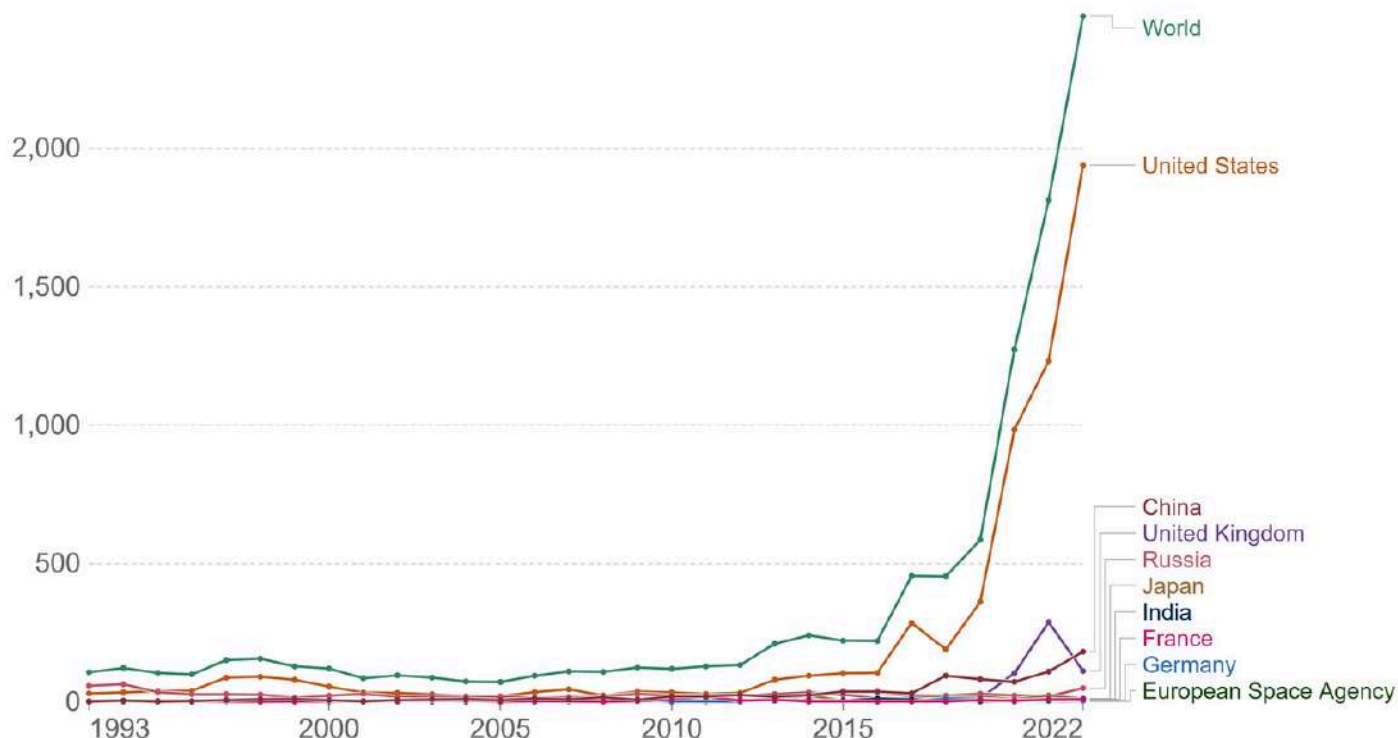
Néanmoins, si le développement de technologies pour le spatial a favorisé les inventions dans d'autres domaines par le passé, il n'existe pas de règle générale selon laquelle cela serait forcément bénéfique *in fine*. Il faut questionner systématiquement et exhaustivement la pertinence des projets.

¹ La multiplication des systèmes vient du besoin de souveraineté. Le signal peut être volontairement crypté en partie (c'est ce qui est fait pour le GPS par exemple) pour dégrader sa précision. Il peut aussi être purement et simplement coupé.

Systèmes de communication commerciaux

Les télécommunications par satellite (satcoms) ont été l'une des premières applications commerciales de l'ère spatiale, marquée par le lancement du premier satellite opérationnel dédié en 1965. Initialement, cette technologie était principalement utilisée pour la diffusion de programmes de télévision (seulement 6.2% des foyers en France aujourd'hui bénéficient de la télévision linéaire par satellites [ARCOM2024]). Son impact s'est rapidement étendu à la téléphonie internationale, puis plus tard à la diffusion d'Internet. Avant les premiers satellites de communication, les communications téléphoniques entre les pays reposaient entièrement sur des câbles sous-marins ou terrestres. Ces câbles sous-marins peuvent présenter des contraintes géographiques et politiques, limitant ainsi la connectivité entre certaines régions du globe.

Les satellites de communication servent de complément au réseau par câbles pour garantir des liaisons entre les différentes parties du monde à des tarifs parfois plus abordables. Une grande majorité de nos activités Internet transitent actuellement par réseaux fixes, qui ont l'avantage d'avoir un débit important et d'être déjà installés, particulièrement en France avec le déploiement de la fibre pour les grandes artères d'abord puis jusqu'à l'abonné (Fiber to the Home) depuis les années 2010. Depuis le début des années 2000, Internet par satellites s'ajoute aux réseaux fixes et aux réseaux mobiles existants. Aujourd'hui, 60% de la population terrestre est connectée à Internet, avec de fortes disparités par exemple entre l'Europe connectée à 86% et l'Afrique connectée à 18%¹.



Nombre annuel d'objets lancés dans l'espace

Ces données comprennent les satellites, sondes, atterrisseurs, véhicules spatiaux habités et les stations spatiales.

Source : United Nations Office for Outer Space Affairs.

¹ Union internationale des télécommunications (UIT) (2023).

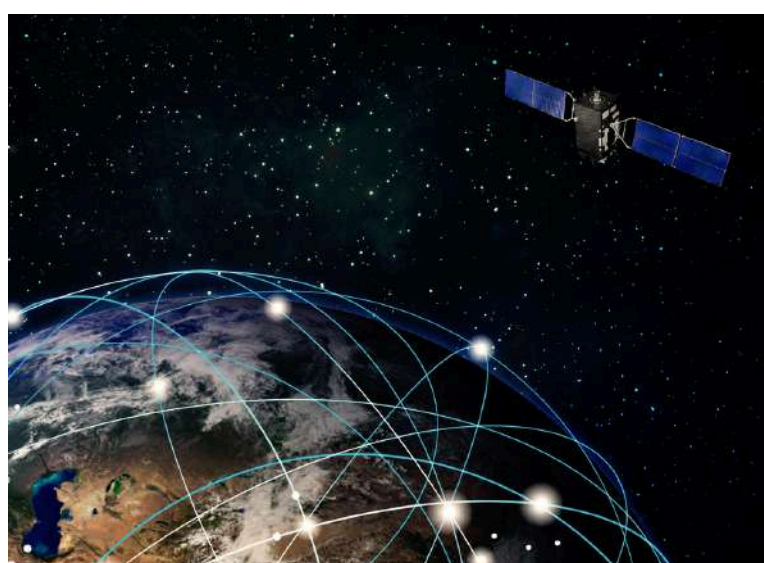
Plusieurs entreprises privées s'emploient à développer des constellations de satellites, à la fois pour améliorer les performances en termes d'accès à Internet à haut débit (faibles latences) et pour améliorer la couverture à l'échelle planétaire ou à l'échelle d'un pays (Starlink pour les zones blanches américaines). Pour la couverture, le réseau satellitaire (satellites et stations sols) peut faire le lien entre le réseau internet et une antenne individuelle dans un pavillon, une station de base (mobile 3G, 4G, 5G) ou un hotspot Wi-Fi¹.

Néanmoins, la multiplication des satellites commerciaux dans l'espace pose différents problèmes. Depuis 2019, les méga-constellations, initiées par SpaceX, ont plus que doublé le nombre de satellites en orbite. Les satellites commerciaux (de communication et de navigation) représentent en 2022 près de 80% du marché des satellites¹. Ils sont particulièrement nombreux en orbite basse. En 2022, autant de masse de charge utile est lancée pour les communications en orbites basses (constellations télécoms) que pour tout le reste des activités spatiales [TSP2024]. Si on projette les annonces de 7 grandes constellations et le renouvellement des infrastructures (durées de vie courtes 5-7 ans), une multiplication par 9 est envisagée d'ici 2050 [TSP 2024].

Il y a deux principales raisons pour lesquelles les entreprises de télécommunication placent leurs satellites sur cette orbite. Premièrement, les orbites basses réduisent la latence des communications ce qui assure un meilleur service. Deuxièmement, il est plus facile et moins coûteux de placer des satellites en orbite basse que sur des orbites plus éloignées de la Terre, car moins d'énergie est nécessaire. Néanmoins, ce gain est compensé par le nombre plus élevé de satellites nécessaires.

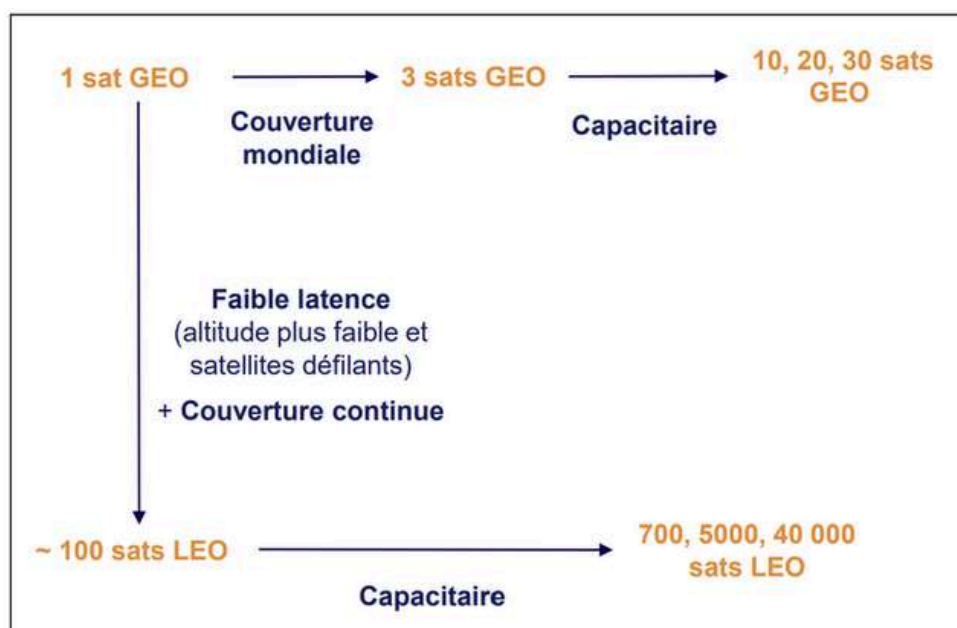
En effet, pour avoir une couverture globale, une constellation placée en orbite basse nécessite plus de satellites qu'une constellation à une orbite plus haute. Notons toutefois que le globe pourrait être couvert avec un nombre bien plus restreint de satellites que ceux proposés par les méga-constellations. Les flottes sans-précédent qui sont déployées visent davantage à augmenter la capacité (bande passante disponible) du service plutôt que sa couverture.

Un satellite plus proche de la Terre couvre donc une zone plus restreinte du globe mais l'orbite basse est également moins vaste que les autres. Ainsi la prolifération des satellites commerciaux crée une congestion, augmentant les risques de collisions. Les collisions génèrent un nombre toujours croissant de débris, menaçant d'entraîner à leur tour de nouvelles collisions. Plusieurs astronomes alertent sur les risques d'une telle réaction en chaîne². Cela pourrait entraîner un "effet boule de neige" et condamner notre accès à l'espace ou à certaines orbites : cela s'appelle le syndrome de Kessler (catastrophe mise en scène dans le film Gravity en 2013). En octobre 2023, un rapport de l'ONU met en garde contre 6 risques de bascule des systèmes indispensables à la vie humaine [ONU2023].



¹ Rapport sur l'économie spatiale de 2023, Euroconsult.

² Pour plus d'info, voir le séminaire de l'Observatoire de Paris [sur le sujet](#).



Nombre de satellites en fonction des orbites et des besoins

Quels choix de services derrière la taille d'une constellation : couverture, latence ou capacitaire (débit, nombre d'utilisateurs et intensité d'usages)

Source : [TSP 2024]

La prolifération des débris spatiaux en fait partie, car elle pourrait rendre les orbites terrestres inutilisables pour nos satellites. La pollution lumineuse générée par les nombreux satellites et les nuages de débris dégradent aussi la qualité des images prises par les télescopes terrestres. En effet, ceux-ci sont perturbés par les traînées lumineuses des satellites qui gâchent les images d'observation. Les astronomes observent aussi une augmentation générale de la luminosité (déjà élevée dans de nombreux endroits à cause de l'éclairage artificiel), appelé effet Skyglow¹, qui est dû aux satellites et aux nuages de débris déjà présents.

A-t-on une idée de l'impact environnemental de ces méga-constellations ? Un rapport de 2024 [TSP2024] estime l'impact carbone des lanceurs, satellites, stations sol et antennes utilisateurs, à 1.6MtCO₂e/an pour une constellation similaire à Starlink (dans sa version fin 2023). Cela équivaut à environ 2 fois les réseaux fixes et mobiles en France en termes d'empreinte carbone annuelle.

De plus, d'après une étude récente [OSORO2024], si l'on prend en compte les évaluations des émissions haute atmosphère, les émissions générées par l'envoi des satellites des constellations comme Starlink, One Web ou Amazon Kuiper (segment lanceur seulement) représentent, en fonction des scénarios, 6 à 14 fois les émissions qui seraient créées par la mise en place d'un réseau terrestre de haut débit pour couvrir une zone équivalente. Cela équivaut à 470 kgCO₂e/abonné/an. Cette comparaison s'appuie sur les données d'opérateurs de réseau mobile, et sur des estimations faites sur les émissions des différents lanceurs connus pour les phase 1 de trois constellations : Amazon Kuiper (3236 satellites), Eutelsat Group's OneWeb (648) et SpaceX Starlink (4425). Ainsi, même dans les zones dont la couverture Internet est limitée, l'utilité et les coûts de nouveaux satellites de télécommunication en orbite est donc à nuancer.

¹ Les objets spatiaux, une pollution lumineuse insoupçonnée, Science & Avenir, 2021.

Défense et sécurité

Le Traité de l'espace de 1967 interdit d'envoyer des armes de destruction massive en orbite et sur la Lune. Les équipements militaires les plus présents dans l'espace sont donc les satellites militaires de surveillance, d'alerte et de communication sécurisée. Les satellites de surveillance et de reconnaissance sont utilisés pour surveiller les activités militaires et les mouvements de troupes, et cartographier les infrastructures. Depuis le début de la guerre en Ukraine, de nombreux journalistes commentent des images satellites montrant le déplacement des troupes russes ou ukrainiennes. Ces images sont issues de satellites commerciaux, car les images des satellites militaires sont secrètes. Néanmoins, soulignons que les satellites militaires ont une résolution supérieure à celle des satellites commerciaux (30cm). Les satellites militaires d'alerte précoce sont un autre type de satellites qui permettent de détecter le lancement de missiles balistiques. L'armée française dispose aussi de son propre réseau de satellites de communication Syracuse qui fournit aux troupes des liaisons sécurisées.

À côté du champ militaire, plusieurs systèmes de satellites ont été développés au niveau international pour assurer la sécurité et le sauvetage lors de sinistres. C'est le cas du système Cospas-Sarsat développé conjointement par les États-Unis, le Canada, la Russie et la France. Ce système composé de satellites et de balises au sol permet de détecter et de localiser un signal de détresse n'importe où sur Terre dans les domaines maritime, aérien ou terrestre.

Coopération internationale et souveraineté nationale

La Station spatiale internationale (ISS) est un exemple remarquable de coopération internationale. Les débuts de discussions entre les États-Unis et l'URSS pour la création de l'ISS ont commencé dans les années 1970 en pleine guerre froide. Elle est finalement fondée en 1998 par cinq agences spatiales : la NASA (États-Unis), Roscosmos (Russie), l'ESA (Europe), la JAXA (Japon) et la CSA (Canada). Occupée en continu par des astronautes de plus de 20 pays différents depuis 2000, l'ISS réussit à préserver une coopération constante entre les agences spatiales, malgré les conflits et les guerres.

Plus généralement, l'espace est un lieu où la coopération internationale a jusque-là été privilégiée, bien que les ambitions nationales puissent très rapidement mettre en péril cet équilibre fragile. Le traité de l'espace de 1967 régissant les activités spatiales demeure par exemple imprécis sur l'exploitation des ressources extraterrestres. Depuis 2020, 31 pays¹ ont signé les accords Artemis de la NASA afin de s'accorder sur une interprétation du droit international autorisant l'exploitation des ressources minières de la Lune.

Parallèlement, le programme américain Artemis auquel participent certains pays européens dont la France devrait envoyer des humains sur la Lune en 2025. Un autre exemple de détérioration récente de la coopération spatiale est l'arrêt en 2022 de l'exploitation du lanceur russe Soyuz au Centre spatial guyanais de Kourou, suite à la décision des autorités russes de suspendre la coopération avec l'Europe, en conséquence de la guerre en Ukraine.

¹ À la date du 07/11/2023 selon [le site de la NASA](#).

En effet, l'espace est un lieu de concurrence géopolitique où les États tentent de se placer, de gagner une course à la technique mais aussi à la connaissance. En effet, avoir des données avant les autres, en particulier sur le changement climatique, est un avantage dans le jeu géopolitique. À titre d'exemple, la France ambitionne de gagner en indépendance dans les mesures d'émissions de CO2 depuis l'espace avec le développement et le lancement de la mission européenne MicroCarb¹. Ce projet spatial peut ainsi être vu comme un bénéfice pour la place de la France et de l'Europe dans les négociations internationales sur les politiques climatiques, dont les expert.es collecteront directement les données et gagneront en indépendance. L'accès à l'espace par la possession de lanceurs est aussi déterminant pour des questions de souveraineté. Un exemple particulièrement marquant de l'importance de cet accès indépendant à l'espace reste la constellation Symphonie, développée conjointement par l'Allemagne et la France dans les années 1960. Suite aux échecs successifs du lanceur Europa, les Européens demandèrent aux Américains d'envoyer les satellites de Symphonie pour eux. Ces derniers acceptèrent à la condition que les satellites ne soient pas utilisés à des fins commerciales car cela concurrencerait les satellites américains. Faute d'alternative, les Européens acceptèrent. Suite de ce camouflet, l'Europe se restructura et un nouveau projet de lanceur vit le jour : c'est le début de la fusée Ariane.

Gestion des catastrophes naturelles

Les différents types de satellites (observation de la Terre, navigation, communication) se complètent à merveille pour fournir des services essentiels de gestion des risques naturels avant, pendant et après les situations de crise.

Les satellites d'observation de la Terre permettent d'alimenter les systèmes d'alerte face aux inondations, canicules, feux de forêts, sécheresse, ouragans, etc. Ils peuvent également cartographier les zones sinistrées après la catastrophe. Les satellites de navigation guident alors les secours et localisent les victimes. Les communications d'urgence sont rendues possibles par les satellites lorsque les infrastructures au sol sont inopérantes ou saturées. Enfin, les données spatiales ont encore un rôle à jouer au moment de la reconstruction et de la prévention des risques futurs.

Autre exemple de coopération internationale, la Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures lancée par le CNES et l'ESA en 1999 permet le partage rapide et gratuit de données spatiales de qualité entre les différents pays du monde. Cette charte comporte aujourd'hui 17 membres parmi les agences spatiales de différents pays du monde. Elle est complétée depuis 2012 par le système d'urgence Copernicus qui vient standardiser et améliorer la qualité, le délai et le contenu des données satellitaires transmises².

¹ Rapport au Commissaire Général à l'Investissement sur le Projet MicroCarb (2021).

² *Gestion du risque et spatial : des usages aujourd'hui, de nouvelles perspectives pour demain*, La Jaune et la Rouge, 2022.

Inspiration de la jeunesse et influence de la représentation collective des sciences

Les réalisations de l'industrie spatiale, comme les missions d'exploration, les atterrissages sur des astéroïdes ou les sorties extravéhiculaires, peuvent donner aux enfants et adolescents le goût des sciences, de la technologie et de l'ingénierie. L'activité spatiale offre des opportunités uniques pour enseigner ces disciplines de manière pratique et appliquée. L'astronaute est par ailleurs une figure qui sert de modèle d'excellence, de courage et de dépassement de soi qui inspire beaucoup de jeunes.

En revanche, dans un contexte d'urgence écologique, on aurait tort de penser et de véhiculer l'idée que tous les problèmes peuvent être résolus par des solutions techniques. Tant par les annonces loufoques de certains industriels que par l'imaginaire véhiculé par la science-fiction, le spatial dépeint souvent un idéal "techno- solutionniste" ("la technologie va nous sauver") et "rassuriste" problématique ("tout va bien car nous trouverons une autre planète grâce à l'exploration spatiale"). Au-delà de ces visions déconnectées du réel, le secteur spatial a un rôle à jouer dans la transition. Mais pour cela, il est nécessaire que le secteur interroge la finalité de ses activités.

Aussi bien l'histoire des vols habités que la recherche sur certains phénomènes spatiaux intrigants comme les trous noirs alimentent les œuvres littéraires, cinématographiques et les revues de vulgarisation scientifique. Dans l'imaginaire collectif, l'espace occupe une place de premier rang dans la représentation que l'on se fait des sciences, des scientifiques, des ingénieurs et des processus de recherche et d'innovation. Ce genre d'histoires souvent inspirées directement de la recherche spatiale permet d'attiser l'intérêt de l'ensemble de la population pour des questions scientifiques et des défis techniques.



Astronautes de l'ESA, promotion 2009

Source : ESA

1.9. Questionner les usages

Malgré ses apports indéniables, au regard des enjeux environnementaux globaux, de l'impact particulier du secteur sur ces enjeux (voir partie 2.), il est important de **conserver un œil critique sur certaines dérives possibles ou probables du secteur** avec l'émergence de nouveaux usages qu'il nous paraît nécessaire et urgent de questionner en termes d'apport à la société. Nous interrogeons ici l'utilité sociétale de quelques projets récents au regard de leur coût environnemental.

La fascination pour les vols habités est un terreau fertile pour le développement du tourisme spatial qui regroupe l'ensemble des vols et séjours spatiaux commercialisés à des particuliers. Les coûts élevés du tourisme spatial limitent l'accès à ces expériences à une élite financière très restreinte ou à des influenceurs à des fins promotionnelles. Ce type de programmes a un intérêt sociétal très faible : l'ensemble de la société devra payer le coût environnemental de ces projets sans en bénéficier, pour le loisir d'un nombre réduit de personnes. Les premiers touristes de l'espace ont déboursé quelques dizaines de millions de dollars par vol, bien que les vols suborbitaux de Virgin Galactic ne coûtent aujourd'hui « que » quelques centaines de milliers de dollars. Les autres projets en cours de développement par des acteurs du New Space américain sont nombreux et leur impact climatique important :

- les vols touristiques suborbitaux déjà réalisables avec Virgin Galactic et Blue Origin (émettant en quelques minutes **24 tonnes de CO2 équivalent par passager**¹, soit autant que les émissions annuelles de 3 citoyens européens) dont l'objectif est la commercialisation à grande échelle²,
- le vaisseau **Crew Dragon de SpaceX** qui a notamment permis à quatre touristes d'effectuer un vol en orbite de trois jours sans astronautes professionnels (émettant **660 tCO2eq par passager**),
- et le développement de stations en orbite pour le tourisme prévu par Axiom et Blue Origin (Orbital Reef) ou encore les projets de tourisme autour de la Lune tels qu'envisagés par le **Starship de SpaceX (1700 tCO2eq par passager)**.

Au vu de la quantité d'émissions engendrée en un laps de temps si court, de leur très faible utilité sociétale et au regard de nos objectifs collectifs de décarbonation, ces projets participent à l'injustice climatique. **Leur développement n'est donc, selon nous, clairement ni justifié ni souhaitable.**

SpaceX projette aussi d'utiliser son lanceur Starship pour des vols Terre-Terre long courrier d'ici 2027. L'idée est de relier n'importe quel point du globe en moins d'une heure. La fusée, qui décollerait de spatioports flottants, pourrait transporter une centaine de passagers. Le Pentagone a signé un contrat avec SpaceX pour le développement de cette technologie qui pourrait aussi permettre d'envoyer des troupes rapidement à n'importe quel endroit. La question du prix du billet n'a pas été abordée, ni la préparation des passagers, mais SpaceX souhaite en faire un moyen de transport utilisé à grande échelle par une élite fortunée soucieuse de voyager rapidement. Or, l'empreinte carbone d'un vol habité au décollage (au moins 15 tCO2eq par passager) est beaucoup plus grande que celle d'un A380 pour un Paris-New York (1,3 tCO2eq par passager d'après l'ADEME). Le ratio utilité sociétale sur impact environnemental est donc aussi très faible pour ce genre de projet.

¹ Pour rappel, afin de respecter l'accord de Paris, nous devons atteindre 2 tonnes de CO2 par habitant et par an.

² Les émissions associées aux activités touristiques de ce paragraphe n'intègrent pas les émissions de particules au lancement et sont toutes issues de [MIRAUX2022].

Projet encore plus contestable, le programme Mars de SpaceX ambitionne d'installer une colonie d'un million d'humains sur Mars d'ici 2050¹. Si la faisabilité d'un projet aussi titanesque est remise en question par de nombreuses études scientifiques, nous pouvons aussi questionner l'intérêt de coloniser la planète rouge. L'objectif d'Elon Musk est de faire survivre l'espèce humaine sur Mars, lorsque la vie sur Terre ne sera plus possible. Or cela pose un grand nombre de questions techniques et éthiques en plus de l'impact environnemental du lancement des lanceurs (droits des colons, protection contre les radiations, production d'oxygène par exemple). En plus de l'envoi du matériel et des humains sur la planète rouge, il faudra réapprovisionner la colonie qui ne sera jamais indépendante. Au vu de ses coûts environnementaux astronomiques et du peu de personnes à qui il bénéficiera, ce projet nous paraît donc insensé.

Si ces projets peuvent sembler ubuesque, il nous semble cependant important de les mentionner car il est probable que l'entreprise américaine tente tout de même de les mettre en place. De plus, SpaceX étant l'entreprise la plus visible du secteur spatial, ce genre d'annonce entraîne tout le secteur dans une dangereuse course au gigantisme, modifiant nos référentiels de ce qu'est "une grosse constellation"² ou une "grosse fusée"³.

Questionner l'utilité sociétale des projets au regard de leurs impacts ne signifie pas que les projets "utiles" sont exempts de tout reproches. Si les missions d'observation de la Terre sont souvent placées sur un piédestal du fait de leur contribution à nos modèles climatiques, ces satellites et leurs données ne restent qu'un outil. **Or comme tout outil, c'est l'utilisation qui en est faite qui va déterminer son utilité sociétale.** Car si l'exemple précédent dédié au climat est particulièrement utile aujourd'hui, on ne peut que s'interroger lorsque les satellites d'observation de la Terre contribuent à l'exploitation d'hydrocarbure, contribuant ainsi au changement climatique qu'il est chargé de monitorer. Une triste ironie dont on se passerait bien. Même l'utilisation de ces outils à des fins louables ne doit pas nous dépareiller de notre sens critique. L'augmentation fulgurante des données générées par l'observation de la Terre doit nous pousser à questionner notre rapport au secteur numérique. Car si on estime que la quantité de données qu'ils génèrent n'est aujourd'hui "que" de 807 PB⁴ n'émettant "que" 4000 tonnes de CO₂, on estime que plus de 100 PB de données supplémentaires sont produites chaque années [WILKINSON2023].

Cette liste est loin d'être exhaustive et doit nous encourager à bannir les projets sans intérêt et à être nuancé sur les projets utiles.

¹ Cette annonce a été faite par Elon Musk dans [cette interview](#).

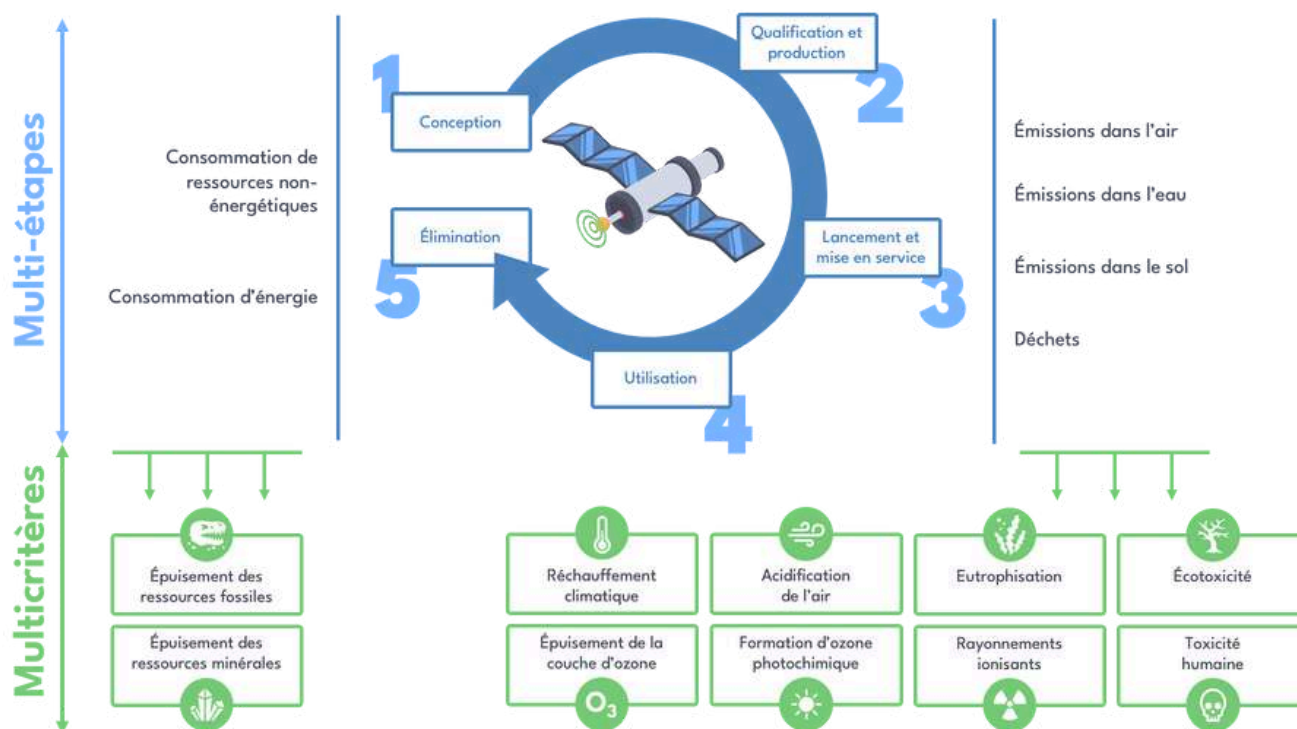
² Avant Starlink, la plus grosse constellation jamais lancée était Iridium qui a comptabilisé 95 satellites envoyés en orbite. On est bien loin des dizaines de milliers de satellites de Starlink.

³ Ariane 5 qui était un "lanceur lourd" pouvait transporter jusqu'à plus de 20 tonnes en orbite basse. SpaceX annonce pouvoir transporter jusqu'à 150 tonnes avec le Starship.

⁴ 1 Pétaoctet = 10¹⁵ bits = 1 000 000 000 000 000 bits

2 Impacts environnementaux du secteur spatial

Concernant le bilan environnemental du secteur spatial, les sujets ne manquent pas : pollutions électromagnétiques, de l'air, de l'eau, des sols, débris spatiaux, impact sur la biodiversité, etc. Dans ce rapport, nous avons fait le choix de nous concentrer principalement sur la contribution au changement climatique et à l'appauvrissement de la couche d'ozone.



Description simplifiée de l'ACV

Source : [AUSTIN2015]

2.1. L'analyse de cycle de vie (ACV)

La méthode la plus rigoureuse pour quantifier l'impact environnemental d'un produit est l'analyse de cycle de vie. Cette approche prend en compte l'ensemble des étapes de la vie d'un projet (de sa conception à sa fin de vie, en passant par sa phase d'utilisation) et l'ensemble des impacts (la contribution au forçage radiatif¹, l'impact sur l'ozone, sur la santé humaine, etc). Elle est donc dite "multi étapes" (toutes les étapes du cycle de vie) et "multi-critères" (tous les impacts). La réalisation d'une ACV est une tâche longue et coûteuse qui implique d'avoir un grand nombre d'informations sur le produit étudié pour donner des résultats précis. Elle suppose également de définir des hypothèses d'entrée qui peuvent être déterminantes sur l'appréciation des résultats. Elle est cependant importante pour éviter des simplifications qui conduisent à des conclusions erronées.

Il est courant de voir des articles de presse qui calculent l'impact environnemental d'un lanceur en ne considérant que la combustion des ergols sur la phase de lancement. Or les produits spatiaux sont complexes, comprennent un grand nombre de pièces, des phases importantes de tests et de qualifications, et impliquent un grand nombre d'employés pour concevoir, fabriquer et opérer ces projets. Ne considérer que le lancement, c'est omettre tout cela.



¹ On utilise comme mesure de la contribution au changement climatique le forçage radiatif direct (en mW/m^2) qui quantifie le déséquilibre énergétique induit par l'ajout d'une espèce dans l'atmosphère. Plus la valeur est élevée, plus l'effet observé est important.

Connaître les composants du matériel

Le secteur spatial est un milieu très compétitif où l'innovation technologique peut être synonyme d'avantages concurrentiels. De plus, connaître la nature des composants d'un satellite peut permettre de déduire ses caractéristiques globales : quelle performance peut-il atteindre ? Quelle est sa durée de vie ? Quelles sont ses capacités de manœuvrabilité ? Partager ces informations peut donc être une aubaine pour la concurrence. Le secteur étant proche de la défense sur de nombreux aspects, on comprend que maintenir une certaine opacité sur les technologies et produits de composition de ces satellites revêt un caractère crucial, voire vital pour les entreprises. Ce niveau de criticité varie évidemment en fonction des missions, mais les acteurs du secteur sont toujours très frileux lorsqu'il s'agit de fournir ce type de données. Or pour réaliser une analyse de cycle de vie précise, il est nécessaire de connaître le bilan matière, c'est-à-dire la composition du produit en question. Pour l'instant, peu de données sont disponibles dans la littérature sur les compositions des satellites, compliquant le calcul d'impact d'une mission par un acteur externe. Malheureusement, pour le moment, les acteurs semblent être très peu enclins à effectuer eux même ce travail et fournir des résultats consolidés.

Connaître les facteurs d'émissions associés aux composants et sous-ensembles spatiaux

Connaître les sous-systèmes d'un produit est une chose mais pour estimer l'impact environnemental, il faut savoir quels sont leurs impacts unitaires respectifs. Pour cela, il faut connaître les méthodes d'extraction et de traitement des matières premières, les techniques d'assemblage des composants électroniques, etc. Il existe des bases de données (Base Empreinte de l'ADEME, *ecoinvent* à l'échelle internationale, etc.) permettant de quantifier la masse de CO₂eq¹ associée à l'utilisation d'une tonne de produit donné. À partir de la liste des sous-composants d'un produit et leurs émissions associées, on peut alors déterminer l'ordre de grandeur de l'impact global de ce produit.

Aujourd'hui, du fait de la particularité des matériaux et procédés utilisés dans l'industrie spatiale, des flux limités et des phases de tests intenses, les bases de données classiques ne répondent pas totalement aux besoins du secteur spatial [ESA2016]. Par exemple, un composant produit en très peu d'exemplaires et avec de nombreuses phases de test aura une empreinte carbone plus élevée que le même composant dans une production industrielle avec peu de test, puisque les émissions fixes (comme les moules de production ou les émissions lors des tests) seront répartis sur l'ensemble de la production. On ne peut donc pas utiliser les mêmes bases de données pour les systèmes de l'industrie spatiale que pour les autres secteurs. Les incertitudes se cumulant, on peut obtenir de grandes variations sur le bilan de chaque composant. Ainsi des bases de données spécifiques au secteur sont nécessaires².

¹ Lire "CO₂ équivalent": il existe différents gaz à effet de serre (GES) avec des impacts sur le changement climatique différents. Pour simplifier tout ça, on prend le CO₂ (le plus commun et celui ayant le moins d'impact) comme référence des GES.

² Ces bases ne sont pas inexistantes mais incomplètes. À notre connaissance, la base de donnée Européenne la plus avancée sur le sujet est celle de l'[université de Strathclyde](#).

2.2. Le bilan de gaz à effet de serre

Les sous parties précédentes, relatives à l'analyse de cycle de vie, sont dédiées à l'évaluation des impacts d'un projet. Pour quantifier les émissions d'une organisation dans son ensemble, on utilise la méthode du bilan de gaz à effet de serre¹. Cette méthode répertorie l'ensemble des émissions de l'entreprise et la classe dans différentes catégories (appelées "scope" selon la méthode du *GHG Protocol*). Le "scope 1" concerne les émissions directes propres de l'entreprise (installations, équipements sur site, flotte de véhicule). Le "scope 2" porte sur les émissions indirectes associées à l'énergie (production d'électricité et réseaux de chaleur ou de froid). Enfin le "scope 3" rassemble le reste des émissions indirectes sur la totalité de la chaîne de valeur.

Ce "scope 3" reste très vaste et est aujourd'hui scindé en 4 catégories et de multiples postes permettant de caractériser les émissions associées aux transports, aux achats, aux produits vendus, aux déchets, etc. Il est souvent également scindé en deux parties désignées « scope 3 amont » qui regroupe l'ensemble des émissions situées en amont de l'activité de l'entreprise (fournisseurs, matières premières, etc.) et le scope 3 aval qui regroupe les émissions en aval des activités (produits vendus, clients, etc.).

L'approche de certains postes de ce scope sont soumis à interprétation ou du moins soumis à une forte variabilité en fonction de la méthodologie employée, des hypothèses considérées et des données utilisées. A ce titre, il est nécessaire, en fonction des spécificités d'un secteur, de se mettre d'accord sur la méthode de calcul employée.

La répartition des émissions d'une entreprise en fonction des scopes (Scopes 1 & 2, scope 3 amont, scope 3 aval) est souvent très liée à son secteur d'activité : une compagnie aérienne aura un scope 1 très élevée du fait de la consommation de sa flotte d'avions, mais pour les entreprises qui gèrent

les aéroports ou le constructeur d'aéronef, ces émissions seront incluses dans le scope 3 aval. La répartition des émissions est une des données récoltées par le questionnaire que nous avons transmis aux entreprises. Remarquons qu'on ne peut pas mesurer les émissions d'un groupe d'acteurs en sommant les émissions de leurs scopes respectifs, puisqu'il y aura alors des recouvrements. Par exemple, les émissions correspondant au scope 3 d'une entreprise correspondent au scope 1 d'une autre entreprise.

Pour le secteur spatial, le scope 3 amont est prépondérant du fait de l'importance de la supply chain de fourniture des matières premières et sous-ensembles (achats) dans ce dernier. Généralement pour calculer ces émissions « achats », l'industriel va utiliser un facteur monétaire (X kg de CO₂ / euro dépensé dans le type d'activité donnée). On obtient donc une valeur avec beaucoup d'incertitudes qui ne tient aucunement compte de la nature particulière des produits (pas de bases de données propres au secteur spatial). Sans parler du fait que l'on valorise ainsi un coût d'achat et non pas des éventuelles activités de décarbonation. Un produit qui coûte plus cher sera considéré comme plus émetteur, ce qui incite plus à faire des économies financières que des économies de CO₂ !

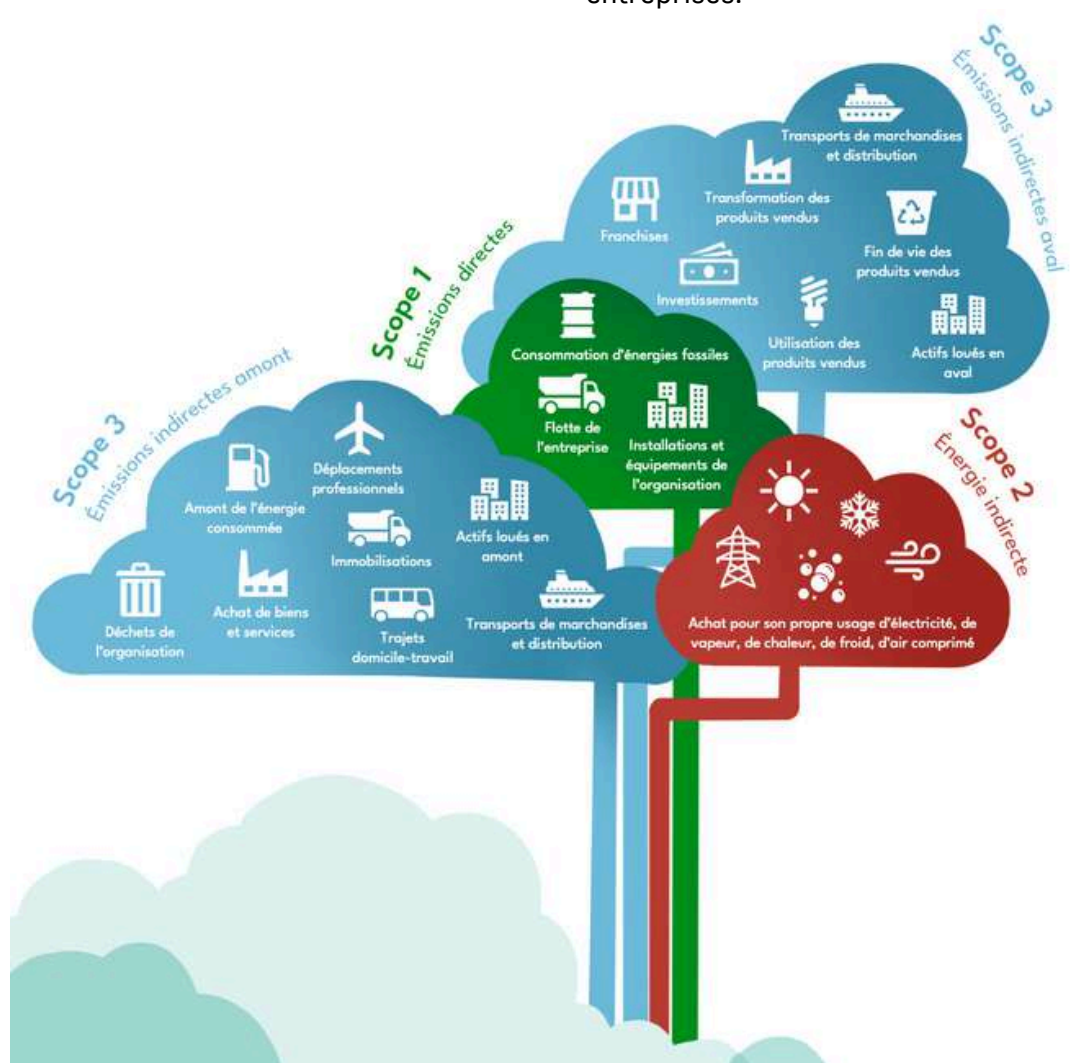
Que faire face à cette limite des bilans de gaz à effet de serre ? Évidemment le recours aux facteurs monétaires lorsque l'on n'a pas le choix est une limite à la pertinence des bilans. Un travail de vulgarisation est nécessaire pour rappeler quel est l'objectif de cet outil : certes la valeur absolue du bilan est importante mais son but est de permettre à l'organisation qui le réalise d'identifier ses principales sources d'émissions et d'identifier des leviers de décarbonation. Une fois cette identification faite, on peut définir un plan de réduction en priorisant correctement les chantiers. Comme nous le verrons dans la partie 4, il est donc crucial pour les gros acteurs du secteur spatial de

¹ Différentes méthodes existent: Bilan carbone, GHG Protocole, ISO 14064.

travailler avec leur chaîne de valeur pour comprendre plus finement les émissions associées à leurs achats et de cartographier les flux physiques associés pour limiter ainsi le recours à des facteurs d'émissions monétaires par essence difficilement exploitables.

La CSRD (*Corporate Sustainability Reporting Directive*), dont la transposition dans le droit français est attendue en décembre 2023, est une nouvelle directive européenne qui réglemente le reporting extra-financier des entreprises¹. Elle succède à la NFRD (Non-Financial Reporting Directive, en place depuis 2014), dont l'équivalent français était la DPEF (Déclaration de Performance

Extra-Financière). Cette directive imposera de publier dans un format standard les indicateurs de durabilité qui sont pilotés au sein des entreprises, notamment le calcul des émissions des scopes 1, 2 et 3 (contre une obligation concernant uniquement les scopes 1 et 2 auparavant). Autre changement majeur : l'élargissement du périmètre. Ce n'est plus 11 000 entreprises, mais plus de 50 000 en Europe qui devront publier leurs objectifs climatiques et communiquer leur plan de transition pour l'atténuation du changement climatique quand elles en ont. Cette directive va dans la bonne direction. Il est néanmoins important de rester vigilant et de suivre sa mise en application et la qualité des travaux qui seront menés par les entreprises.



Répartition des émissions en 3 scopes

Source : ADEME

¹ Les entreprises sont soumises par la réglementation à la déclaration (on parle de reporting) annuelle d'un certain nombre d'éléments en lien avec leur activités. Ces informations sont séparées en deux catégories, financières et non-financières. Le reporting non-financier, aussi appelé extra-financier, qui regroupe donc tout ce qui n'est pas en lien avec les finances de l'entreprise et dont les questions environnementales font partie.

2.3. Les impacts des émissions “Haute atmosphère”

L'impact sur le climat

Même vis-à-vis de l'impact climatique, la démarche Bilan Carbone appliquée au monde du secteur spatial présente de nombreuses limites. En effet, cette méthodologie a été mise en place pour exprimer une augmentation du pouvoir radiatif de l'atmosphère pour des émissions effectuées au sol. Or un lanceur émet non seulement des GES mais également des particules spécifiques en haute atmosphère, ce qui vient ajouter des éléments à l'équation¹.

En effet, pour s'extraire de la gravité terrestre, une fusée utilise l'énergie produite par la combustion des ergols. Il existe plusieurs types de carburant avec des caractéristiques et des produits de réaction chimique différents. Les principaux sont : le kérosène, l'hydrogène liquide, le méthane liquide, les “hypergoliques”², la propulsion solide (SRM pour *Solid Rocket Motors*) et la propulsion hybride (solide et liquide). En fonction du carburant, les réactions chimiques en jeu et donc les produits issus de ces réactions sont différents.

Concernant la contribution au changement climatique, les espèces qui ont un impact sont le dioxyde de carbone (CO₂), la vapeur d'eau (H₂O), les suies (BC pour *Black carbon*), l'alumine (Al₂O₃) et les oxydes d'azotes (NO_x). Du fait de la complexité des phénomènes et des faibles investissements financiers effectués jusqu'à présent, peu de recherches existent à ce jour sur ces sujets.

Il faut donc être extrêmement prudent quant aux conclusions des quelques études disponibles. Toutefois, ces dernières semblent indiquer que le bilan GES au sol est loin d'avoir le plus d'impact sur le climat au regard des émissions des produits identifiées ci-dessus en haute atmosphère.

Le tableau ci-dessous décrit le forçage radiatif direct³ associé à l'utilisation de 500 tonnes de différents ergols⁴. Il détaille également la contribution des différentes espèces. On remarque que le CO₂ est loin d'avoir le plus d'impact sur le climat. En effet, la vapeur d'eau⁵, l'alumine et surtout les suies ont une contribution bien supérieure. On remarque que l'impact des particules dans la haute atmosphère varie drastiquement en fonction des ergols. Parmi les gros émetteurs on trouve le kérosène (~0.325mW/m² pour 500 tonnes), la propulsion solide (~0.285mW/m² pour 500 tonnes) et la propulsion hybride (~0.5mW/m² pour 500 tonnes). Malheureusement, le kérosène est un des ergols les plus répandus, notamment à cause de son utilisation sur les deux étages du lanceur le plus utilisé au monde: la Falcon 9 de SpaceX.

La propulsion solide est également présente sur beaucoup de lanceurs sous forme de “booster” (c'est le cas sur Ariane 5 et 6 par exemple). Enfin la propulsion hybride est moins utilisée pour le moment mais certains projets de développement s'y intéressent.

¹ Animation sur les émissions haute atmosphère développée par CBC Canada à voir [ici](#).

² Ce sont des ergols s'enflammant spontanément lorsqu'ils sont en contact. L'hydrazine utilisé pour le lanceur russe Soyuz en est un exemple marquant.

³ On utilise comme mesure de la contribution au changement climatique le forçage radiatif direct (en mW/m²) qui quantifie le déséquilibre énergétique induit par l'ajout d'une espèce dans l'atmosphère. Plus la valeur est élevée, plus l'effet observé est important.

⁴ Attention car tous les ergols n'ont pas la même efficacité.

⁵ La vapeur d'eau est un GES. Émise dans les basses couches de l'atmosphère, elle va être incluse dans le cycle de l'eau et n'aura pas d'impact. Or dans le cas d'un lancement, cette vapeur d'eau est émise dans l'ensemble des couches de l'atmosphère.

Ergols	Forçage radiatif direct (mW/m ²)			
	CO ₂	H ₂ O	BC	Al ₂ O ₃
Kérosène	6.10 ⁻⁶	5.10 ⁻³	3,2.10 ⁻¹	
Hydrogène		2.10 ⁻²		
Solide	2.10 ⁻⁶	5.10 ⁻³	1.10 ⁻¹	1,8 ⁻¹
Hypergolique	1.10 ⁻⁶	1.10 ⁻³	6.10 ⁻²	
Hybride	1,5.10 ⁻⁶	3.10 ⁻³	5.10 ⁻¹	

Tableau récapitulatif de la contribution au changement climatique pour 500 tonnes de différents types d'ergols

Source : [ROSS2014]

Encore une fois, ces résultats doivent être nuancés au vu du peu d'études sur le sujet. Ils peuvent cependant décrire des débuts de tendance et donner des premières indications sur les technologies qu'il semble pertinent de développer dans les décennies à venir.

Ce constat souligne à nouveau l'importance de l'analyse en cycle de vie pour évaluer l'impact des projets spatiaux. En effet, considérer uniquement le bilan GES CO₂ sur un lancement, c'est masquer une grande partie du problème, voire se tromper de sujet. Cependant, cette quantification ne doit pas être faite à la légère et le nombre d'études reste pour l'instant insuffisant pour avoir des données matures.

Cette caractérisation des résidus de combustion est d'autant plus importante pour les "nouveaux ergols". En effet, les ergols hypergoliques sont de moins en moins utilisés du fait de leur haute toxicité. Mais le méthane liquide est au centre de nombreux projets (lanceur Starship de SpaceX, moteur Prométhée d'Ariane Group, lanceur Zhuque-2 de LandSpace). Pourtant, la quantité de particules (suies notamment) émises par cet ergol est encore très mal connue. Plus largement, les besoins de recherche sur ces sujets sont criants si l'on veut éclairer les choix technologiques et stratégiques du secteur.

Face à la hausse des cadences de lancements, la réutilisation, partielle ou complète, est souvent présentée comme la panacée à nos maux environnementaux. Pourtant, si elle limite l'impact d'une partie de la fabrication, la réutilisation implique la réalisation de nouvelles étapes industrielles. Les premières études s'intéressant au sujet montrent une diminution de l'impact sur les ressources mais montrent qu'il n'y a pas d'effet marqué sur le climat [MIRAUX2022B]. Au regard de l'état actuel de nos connaissances et jusqu'à preuve du contraire, il est erroné de dire que la réutilisation réduit l'impact environnemental des lanceurs (bien que de nombreuses entreprises prétendent l'inverse).

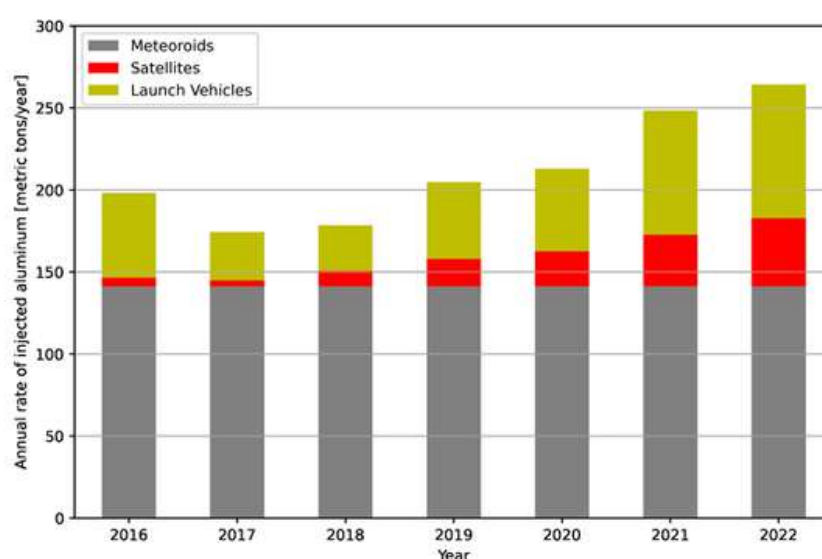
Enfin, le sujet des émissions dans la haute atmosphère porte au-delà du simple choix des ergols du lanceur. Pour éviter d'encombrer l'orbite basse, les satellites en fin de vie vont brûler dans l'atmosphère. Lors de cette rentrée atmosphérique, les satellites émettent à leur tour des oxydes d'azotes (NO_x) et de l'alumine. Forcer les industriels à faire des rentrées atmosphériques pour libérer de la place est une bonne chose pour lutter contre la saturation des orbites. Mais cela contribue également au changement climatique et à la destruction de l'ozone de manière non négligeable si le nombre de rentrées augmentent¹. Le vrai levier de réduction des émissions haute atmosphère est de limiter le nombre de satellites envoyés (voir partie 3).

¹ Certains satellites ne sont pas entièrement consumés dans l'atmosphère et représentent un risque pour les populations locales ou menacent de polluer sols et mers.

Ergols	Facteur d'émission (g/kg)					
	NO _x	H ₂ O	BC	HCl	Cl	Al ₂ O ₃
Kérosène	14	300	35			
Hydrogène	33	1000				
Solide	3	370	4	210	3	380
Hypergolique	20	550	4			

Quantité de polluants émis en fonction du type d'ergols

Source : [RYAN2022]



Rythme annuel de rentrées d'aluminium en orbite basse

Source : [Ferreira23]

L'impact sur l'ozone

La couche d'ozone (O₃) nous protège des rayons ultraviolets. Elle a été appauvrie par l'utilisation de certains gaz et commence à se reconstituer suite à leur interdiction lors du protocole de Montréal en 1987. Le rejet direct de gaz par les fusées endommage également l'ozone. Ces mécanismes sont également complexes et mal compris. Cependant, on sait que les quatre rejets mentionnés précédemment (NO_x, H₂O, suies et Al₂O₃) ont un impact sur l'ozone. A cela vient s'ajouter d'autres gaz qui impactent uniquement l'ozone. C'est le cas du chlore (Cl) ou de l'acide chlorhydrique (HCl). Là encore, aucune solution n'est parfaite mais la quantité de rejets varie fortement d'un ergol à l'autre.

On remarque que la propulsion solide émet dans des quantités importantes l'ensemble des composants qui endommagent l'ozone. On rappelle également que de l'alumine et des oxydes d'azotes sont émis lors des rentrées atmosphériques. Si les niveaux d'appauvrissement de l'ozone par les lanceurs est aujourd'hui relativement faible, ce constat pourrait évoluer dramatiquement à mesure que la cadence des lancements et des rentrées atmosphériques s'envole. En effet, les records de lancement sont battus d'années en années et la tendance ne prévoit pas de s'inverser.

2.4. Impact climatique actuel et futur

Au vu des nombreuses difficultés évoquées, établir l'impact environnemental du secteur spatial reste un exercice difficile. Avec une approche basée sur l'analyse de cycle de vie, des chercheurs ont estimé en 2018 que les émissions du secteur étaient de 6 mégatonnes de CO₂eq sur l'année [WILSON2022], soit 0,01% des émissions mondiales cette année là. Cette étude n'inclut pas les émissions associées aux infrastructures numériques ou aux appareils dont les usages sont permis par le spatial. Avec une approche basée sur les émissions en haute atmosphère (suies, alumine et vapeur d'eau), une autre étude réalisée en 2014 trouve un forçage radiatif de 16 mW/m² (avec une grosse incertitude : +/- 8 mW/m²) [ROSS2014]. Cela correspond à 0,6% de l'impact mondial sur le climat ou à 16% du forçage radiatif de l'aviation¹. Il y a donc une très grande variabilité des résultats (rapport 50 à 100) en fonction de l'approche et du périmètre choisis.

Ces chiffres peuvent sembler faibles au regard d'autres industries. Cependant, il est important de considérer la tendance qu'emprunte le secteur : 186 lancements ont eu lieu en 2022², contre seulement 92 en 2014. Les annonces des industriels indiquent un nombre de lancements sans cesse grandissant dans les années à venir. L'étude précédente, prenant en compte les analyses de cycle de vie, estime qu'en 2050 les émissions du secteur seront de 120 mégatonnes, soit 20 fois plus qu'en 2018 alors que dans le même temps, l'humanité vise la neutralité carbone.

De plus, de nouvelles activités sont prévues, impliquant encore de nombreux lancements. Nous avons déjà évoqué certains projets très gourmands en lancements et avec une utilité sociale limitée comme le tourisme spatial, les mega-constellations, le transport terre-terre, ou la colonisation de Mars. Mais d'autres activités, à la finalité intéressante mais impliquant un grand nombre de lancements, risquent de voir le jour. C'est notamment le cas des projets d'exploration lunaire ou de production d'énergie solaire dans l'espace (SBSP pour *Space Based Solar Power* en anglais) comme le cas de Solaris, porté par l'Europe. Le peu de connaissances scientifiques que nous avons sur les impacts réels du secteur devrait nous encourager à davantage de prudence. D'après une étude publiée en 2022, avec ces activités³, le secteur spatial pourrait multiplier par 9 sa contribution au réchauffement climatique et être responsable à lui seul de 6% de l'appauvrissement de la couche d'ozone [MIRAUX2022]. Si ces ambitions déconnectées du réel voient principalement le jour aux Etats-Unis et en Chine, l'évolution mondiale déraisonnée du secteur apparaît comme extrêmement préoccupante.

¹ Au-delà des incertitudes sur la quantification des phénomènes, ce résultat est à nuancer car les effets hors CO₂ du spatial réchauffent la stratosphère tandis que l'aviation réchauffe la troposphère. Or les impacts réciproques du réchauffement des différentes couches de l'atmosphère sont également très peu connus. La source donne 25% du forçage radiatif de l'aviation pour le trafic de 2009 ce qui correspond à 16% du trafic aérien de 2021.

² Une majorité venant des satellites Starlink de SpaceX.

³ En prenant comme périmètre les activités actuelles, les constellations, le tourisme spatial, l'exploration lunaire et le SBSP.

Le peu de connaissances scientifiques que nous avons sur les impacts réels du secteur devrait nous encourager à davantage de prudence et inciter les principaux acteurs à se saisir du sujet. Pour cela il faut faire avancer la connaissance et mettre en place un modèle de gestion et d'orientation du secteur pertinent. Malheureusement, du fait de sa contribution au changement climatique perçue historiquement comme faible, des difficultés techniques évoquées et du manque de volonté politique et industrielle, il n'existe aujourd'hui pas de trajectoire de décarbonation dédiée au secteur. Le spatial est par exemple l'un des seuls secteurs manquant dans la stratégie française de décarbonation (la Stratégie Nationale Bas-Carbone) même si quelques démarches bien timides semblent vouloir voir le jour.

Dans un contexte où les Etats-Unis et la Chine se sont lancés dans une course à la Lune des temps modernes, le secteur spatial joue un rôle extrêmement ambivalent. **Son développement immodéré, par la génération de débris en orbite, contient le germe de sa propre fin.** De manière contradictoire, il permet d'ouvrir une fenêtre sur notre monde et de mieux comprendre nos impacts tout en y contribuant inexorablement. Il apparaît clair que le manque de régulation nous mène dans le mur. **La France et l'Europe ont la possibilité d'ouvrir la voie en recentrant leurs usages, en faisant les bons choix technologiques, en réduisant leur dépendance aux énergies fossiles et en définissant une trajectoire pertinente et raisonnée.**

3 Leviers d'action

Nous avons décrit dans la partie précédente les nombreux impacts propres au secteur spatial. En échangeant sur ces questions avec les entreprises que nous avons rencontrées dans le cadre du projet Benchmark, nous avons identifié certains freins à la transition du secteur. Les différentes réunions avec les acteurs du spatial nous ont permis d'adopter un point de vue global du sujet et cela nous a motivés à définir **12 leviers** à la fois ambitieux, réalisables, concrets et surtout nécessaires à la décarbonation du secteur.

Nous insistons d'abord sur la grande nécessité de mesurer de manière plus précise et globale l'impact environnemental du secteur spatial. Comme pour n'importe quel secteur, être en mesure d'effectuer un diagnostic précis est indispensable pour prioriser correctement les actions à entreprendre. Nous avons ensuite choisi de proposer un ensemble de mesures visant à donner une place plus importante aux questions environnementales au sein même des entreprises. Ces mesures ne sont pas spécifiques au spatial et pourraient être généralisées à d'autres secteurs de l'économie. Enfin, nous insistons sur l'importance de la coopération entre les pouvoirs publics et les entreprises au niveau national et international. La transition du secteur spatial nécessite de questionner les usages et de mettre en place une réglementation efficace, deux choses qui ne peuvent être réalisées efficacement que si l'ensemble des acteurs collaborent.

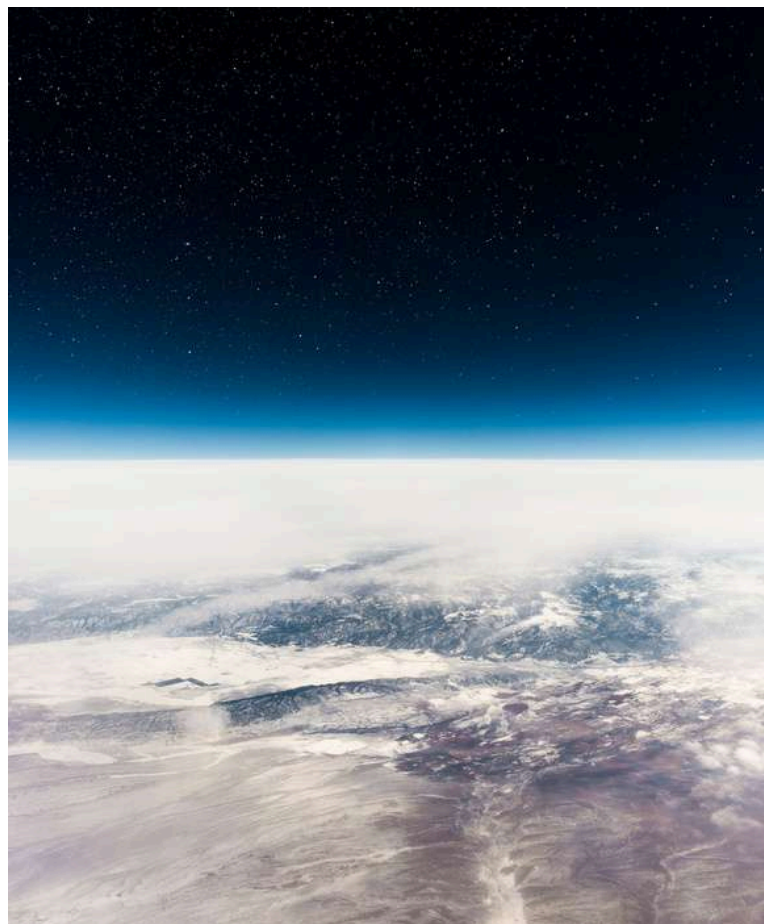
¹ Cette quantification est d'autant plus importante que la France et l'Europe souhaitent atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

3.1. Mieux mesurer et comprendre l'impact environnemental du secteur spatial

Levier 1 : Quantifier les émissions en haute atmosphère

L'impact des émissions haute atmosphère (suies, alumine, vapeur d'eau, etc) reste la plus grande zone d'ombre relative à la compréhension des impacts et enjeux environnementaux globaux du secteur et de sa transition (voir partie 2.3.). Au regard de l'ordre de grandeur possible de leur impact [MIRAUX2022B], ces derniers sont susceptibles de fortement orienter et conditionner l'avenir du secteur. En effet, si les impacts réels sont dans la fourchette haute des premières évaluations disponibles, d'une part, toute solution de décarbonation du secteur ne pourra pas être pertinente une réduction drastique des impacts, d'autre part le déploiement d'applications et solutions techniques terrestres pourrait se révéler moins émetteur que leurs équivalents spatiaux. Il est donc fondamental de **poursuivre, consolider et préciser les premiers résultats disponibles** au travers de l'engagement de travaux conséquents et transparents à hauteur des enjeux.

Certes, face à la complexité des phénomènes en question, la recherche est difficile et coûteuse et il n'est pas aisé de convaincre un acteur privé d'investir dans des études qui peuvent mettre en péril certaines de ses activités. Mais cette recherche n'en reste pas moins absolument nécessaire. Les industriels et les agences spatiales ont une forte responsabilité et un rôle à jouer. Tout comme les compagnies pétrolières vis-à-vis des émissions de GES [BONNEUIL2021], **le secteur ne pourra pas dire qu'il ne savait pas**. Cet effort doit être massif et bien entendu soutenu par les pouvoirs publics nationaux et européens¹.



Les enjeux sont trop grands pour faire la politique de l'autruche plus longtemps. Car si l'impact réel se révèle aussi important tel que suggéré par les premières études, nos priorités (en termes de projets et de choix technologiques) doivent rapidement être revues. Ces résultats vont impacter en particulier les lanceurs dont les temps de développement, de montée en cadence et d'utilisation s'étalent souvent sur plusieurs décennies. Ne pas savoir quels sont les bons ergols pour nos futurs lanceurs européens est une lacune stratégique pour notre industrie et notre accès à l'espace. Les choix faits aujourd'hui déterminent les impacts des lanceurs des prochaines décennies!

¹ Cette quantification est d'autant plus importante que la France et l'Europe souhaitent atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.



Levier 2 : Renforcer les bases de données environnementales

Nous avons besoin de bases de données environnementales spécifiques au secteur spatial (voir partie 2.1.) car, dans la plupart des cas, les bases existantes ne sont pas appropriées. Là encore, ce travail doit être le fruit d'une **collaboration public-privé**. Le travail engagé par quelques acteurs doit être poursuivi et étendu.

Cette volonté se heurte généralement rapidement au refus des acteurs de partager précisément leurs données « produits » pour des motifs de protection de la confidentialité industrielle. Si partager de manière ouverte ces données n'est pas envisageable pour des questions de sécurité, certaines solutions peuvent cependant être trouvées.

On peut par exemple imaginer que les entreprises fournissent des données agrégées ne permettant pas de connaître précisément la composition de leurs produits. Sans forcément fournir une donnée précise, elles peuvent également fournir des ordres de grandeur sur des valeurs stratégiques.

Une autre solution, plus difficile à mettre en place, est le recours à un "tiers de confiance"¹. Cette autre structure pourrait alors centraliser les données, apportant ainsi une vision d'ensemble sur le secteur. Les informations seraient protégées à condition d'avoir recours à une structure suffisamment fiable à laquelle les entreprises puissent faire confiance.

Enfin, dans une logique de coopération du secteur pour accélérer la transition, le partage de certaines données pourrait être envisagé au sein de groupes de travail ou même de manière publique.

¹ Au niveau européen, ce tiers en question peut être l'ESA ou la commission européenne. Au niveau français les acteurs qui semblent pertinents sont le CNES, le ministère en charge des activités spatiales (celui de l'économie à l'heure actuelle) et/ou le Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales (GIFAS).

Levier 3 : Décarboner sa chaîne de valeur

La décarbonation de la chaîne de valeur du secteur spatial est un travail à la fois titanesque et minutieux qu'il faut engager au plus tôt. Le constat à ce jour est malheureusement une **sous-évaluation des enjeux par nombre d'acteurs et l'absence d'engagement sérieux en ce sens**. Les mesures des émissions de la chaîne de valeur sont bien souvent réalisées à l'aide de facteurs monétaires. Comme nous l'avons vu, cette technique peu précise ne permet pas d'identifier les principaux postes d'émission (voir partie 2.1.).

Pour corriger ce constat préoccupant, il faut commencer par **sensibiliser l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur** pour qu'ils comprennent les raisons de cette transformation à venir. Cette action doit bien entendu être portée par les États, les agences nationales et continentales (ESA) et par les principaux acteurs industriels du secteur notamment par l'inclusion de critères dédiés dans les appels d'offres.

Dans un premier temps, il faut comprendre sa chaîne de valeur et les pratiques industrielles sous-jacentes qui la constituent. La simple mise en place d'enquêtes ciblées sur la base de questionnaires, même si elle peut être nécessaire, est bien entendu insuffisante. **Seul un dialogue régulier avec les différentes parties prenantes permet de comprendre et d'évaluer les difficultés qui vont être rencontrées par les fournisseurs.**

Il s'agit ensuite d'identifier les alternatives qui peuvent être mises en place et de fixer des objectifs de décarbonation de manière conjointe. Ces solutions doivent être à la fois décarbonées mais également résilientes et accessibles aux entreprises qui opèrent ces changements. En effet, les finances des PME et ETI françaises sont plus fragiles que celles des figures de proues industrielles. Encore une fois, **la puissance publique sera nécessaire pour rendre certains leviers accessibles**. La concertation et la réflexion coordonnée entre les différents acteurs « clients-fournisseurs » est également fondamentale. La solution ne pourra être trouvée au travers d'injonctions unilatérales de réduction des émissions vers ses fournisseurs amont mais grâce à des décisions partagées sur les besoins et impacts techniques/ qualités/ disponibilités.

Ce travail immense demande beaucoup de coordination et de moyens. Et au vu des investissements consentis, il paraît normal de récompenser les entreprises qui jouent pleinement le jeu en choisissant leurs services plutôt qu'une autre. Cependant, du fait du retour géographique (voir partie 1.3.), les acteurs industriels n'ont pas toujours le choix de leur sous-traitant.

Pour ne pas complexifier davantage une équation industrielle déjà ardue et récompenser les efforts de décarbonation, les institutions doivent rapidement poser un cadre rassurant sur ces questions. Le spectre de leviers à disposition est vaste : **Faut-il favoriser les sous-traitants qui se décarbonent ou aller jusqu'à exclure les autres des appels d'offres ?**

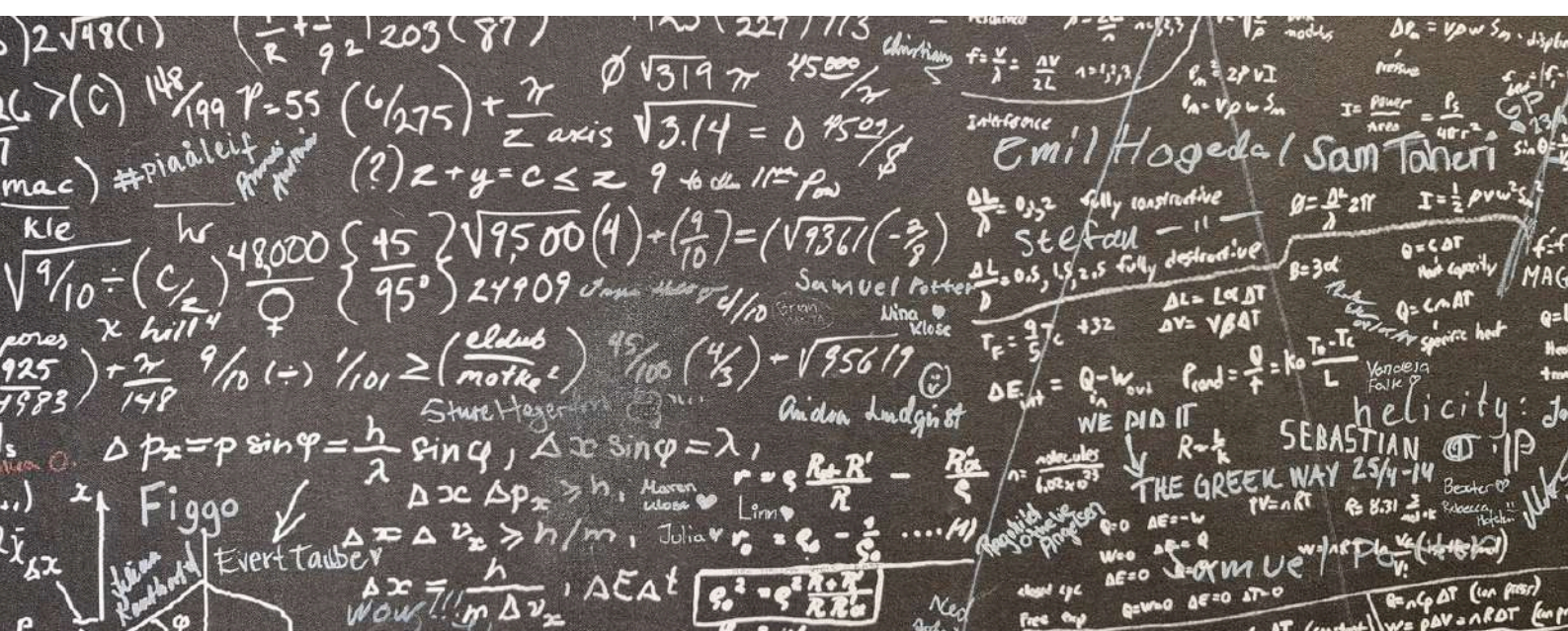
Levier 4 : Systématiser l'éco-conception

L'éco-conception, au sens premier de sa définition, consiste à intégrer la protection de l'environnement dès la conception d'un produit. En termes de méthodologie, celle-ci s'appuie sur de multiples étapes articulées autour de deux principes fondamentaux : l'évaluation des impacts et la réduction de ces impacts.

La phase d'évaluation peut être réalisée de différentes manières, plus ou moins rigoureuses. La méthode considérée comme la plus robuste scientifiquement est l'analyse de cycle de vie (ACV, voir partie 2.1.) qui permet de caractériser la contribution des phases de vie à différents indicateurs environnementaux (par exemple l'impact sur le changement climatique est caractérisé en termes d'émissions de CO₂ équivalentes). Cette vision systémique présente l'avantage de fournir une vision exhaustive et limiter le recours à de mauvaises solutions (solutions permettant de réduire un impact au détriment de l'augmentation d'autres). Au vu de la répartition des émissions sur l'ensemble de cycle de vie et du nombre de rejets différents lors du lancement et en fin de vie, l'ACV est la seule méthode pertinente pour le secteur spatial. Son utilisation doit absolument être systématisée, et ce dès les phases amont du développement des produits et programmes spatiaux. Le développement d'un outil de référence pour les ACV de la filière spatiale est nécessaire.

Grâce aux données issues de l'évaluation initiale d'un projet, il est ensuite nécessaire d'accompagner son développement au travers de propositions adaptées de réduction de ces impacts et d'arbitrage des différentes solutions techniques proposées, que ce soit en termes de conception, de production et d'utilisation du produit et de sa chaîne de valeur.

Pour être efficace, l'éco-conception doit être un pilier du développement de produits et de solutions du secteur. La simple réalisation d'une ACV de mesures des impacts pendant ou a posteriori du développement, sans intégration du critère environnemental dans la prise de décision des choix de conception ne peut en aucun cas être considérée comme de l'éco-conception et s'apparente plus à du greenwashing. Il faut donc impérativement réaliser l'ACV en amont du projet et adapter les phases de conception pour réduire les impacts mesurés.



3.2. Renforcer la place des enjeux environnementaux dans le quotidien des entreprises

Levier 5 : Former l'ensemble des employé.e.s et des membres du conseil d'administration aux questions climatiques globales et aux impacts écologiques du secteur

Pour pouvoir être en mesure d'amorcer les changements systémiques nécessaires à la transition écologique, il est capital de sensibiliser et de former le plus de personnes possible aux enjeux écologiques. Du point de vue des entreprises, ces sensibilisations sont primordiales pour expliquer et faire accepter aux employé.es et aux membres du conseil d'administration les changements qui vont être nécessaires à la transformation du secteur et de leur travail, en leur faisant comprendre les mécanismes en jeu.

En outre, les employé.es ne peuvent être acteurs de la transformation de leur entreprise que s'ils sont formés, c'est-à-dire qu'on leur transmet des compétences qu'ils peuvent appliquer dans leur métier. La résistance au changement, a fortiori au regard de l'ampleur de la transformation nécessaire, reste un frein important qu'il faut « dérisquer » le plus rapidement et en amont possible, sous peine de retard, difficulté ou d'échec de toute politique de transition. Une entreprise qui veut amorcer une transition efficace et acceptée par ses salarié.es a donc tout intérêt à former son personnel. Expliquée, assumée et efficace, une politique de transition de l'entreprise peut avoir un effet mobilisateur fort et être source de création de valeurs et d'engagements partagés pour l'entreprise et chaque employé.e.

Levier 6 : Recruter des expert.es formé.e.s aux enjeux environnementaux

Il s'agit à la fois de recruter des personnes compétentes pour de nouveaux métiers, et d'élargir les compétences des professions existantes. De nombreuses questions environnementales techniques nécessitent des expert.es dédié.es. C'est le cas de la mesure des émissions encore méconnues, la maîtrise de la chaîne de valeur, les analyses du cycle de vie (voir partie 3.1.), la biodiversité ou les questions de droit environnemental. L'exemple courant est l'inclusion d'ingénieur.es environnementaux dans les équipes RSE mais les besoins sont bien plus vastes.

En dehors de ces nouveaux métiers qui vont être créés, il faut aussi adapter les compétences métiers de l'ensemble des professions aux enjeux de la transition écologique. Cela passe, par exemple, par l'inclusion des achats responsables dans les compétences des acheteur.ses ou de l'éco-conception dans les compétences des ingénieur.es de bureaux d'étude. Chaque département (achat, finance, gestion de projet, R&D, ...) doit avoir des spécialistes durabilité compétent.es.

Levier 7 : Intégrer la RSE au cœur de la stratégie et de la gouvernance des entreprises

Le périmètre de la Responsabilité Sociétale des Entreprises¹ est souvent voué à un rôle secondaire dans l'organisation et la prise de décision des entreprises qui se limitent souvent à répondre à leurs obligations de transparence réglementaire en la matière, sans intégration de la dimension au sein des organes de décision.

Pour changer cet état de fait, il faut **consacrer les moyens financiers et humains suffisants pour permettre aux équipes de réaliser les changements qui s'imposent**. La tâche est immense et quelques personnes, aussi motivées et compétentes soient elles, ne peuvent transformer des mastodontes industriels avec quelques dizaines de milliers d'euros.

De plus, ces travaux doivent être pilotés et intégrés au plus haut niveau de l'entreprise. Un membre clairement identifié siégeant au COMEX² doit être le porte-parole de ces activités RSE. Dans ce sens, on peut imaginer que le rapport de durabilité³ qui doit voir le jour en lieu et place de la DPEF⁴ et sur un périmètre beaucoup plus large soit systématiquement présenté en détail en conseil d'administration. Cela leur permettant ainsi de mieux appréhender les impacts résultant de l'activité de l'entreprise (sociaux, sociétaux, environnementaux) mais aussi les risques économiques et opérationnels résultant de la transition, du climat ou encore afférents au syndrome de Kessler évoqué ci-dessus. De plus, les questions environnementales et sociétales ne doivent pas concerner uniquement ce porte-parole, mais bien l'ensemble des décideurs au même titre que la réussite financière de l'entreprise. Il faut que toutes les directions portent en partie la charge de ces transformations en suivant leurs propres indicateurs. Pour s'assurer de la motivation collective sur ces sujets, on peut imaginer qu'une partie des rémunérations des dirigeant.es soit indexée sur ces indicateurs⁵. Pour ancrer la RSE dans la gouvernance, il est souvent préconisé de mettre des bonus associés aux objectifs RSE à tous les niveaux.

Levier 8 : Analyser les risques pour s'adapter

Il ne fait plus de doute que le changement climatique amplifiera la fréquence et l'amplitude des événements climatiques extrêmes. De plus, nombre d'investissements et d'installations du secteur sont conçus et exploités sur le temps long impliquant une forte incertitude sur les conditions d'usage et d'exploitation dans les décennies à venir. Face à ces risques croissants, **chaque entreprise doit conduire une analyse d'exposition au risque** afin d'intégrer ses éléments dans ses futurs projets et d'établir un plan d'adaptation de ses infrastructures, moyens et activités existantes.

Au-delà des risques physiques associés aux aléas climatiques, la raréfaction des ressources, en raison de leur épuisement ou d'enjeux géopolitiques liés au réchauffement climatique, menace les approvisionnements des entreprises. Il est important d'identifier en amont les ressources concernées par ces éventuelles pénuries, pour pouvoir sécuriser les chaînes d'approvisionnement ou réduire la dépendance à ces dernières.

¹ Le terme de RSE n'est pas celui qui nous paraît le plus pertinent, mais nous l'utilisons car il nous semble être plus parlant pour un public de non initiés.

² Le COMité EXécutif.

³ La Directive on corporate sustainability reporting (CSRD) européenne élargira la DPEF.

⁴ La Déclaration de Performance Extra-Financière est un document réglementaire qui détaille les actions sociales, environnementales et sociétales menées par l'entreprise.

⁵ Ces dispositions font également parties des propositions des normes de durabilité européenne.

3.3. Permettre l'émergence d'un secteur spatial durable

Levier 9 : Questionner les usages

Au vu des conséquences à venir du changement climatique et de l'urgence à l'atténuer, il est primordial de réorienter dès à présent le secteur spatial. Arrêtons d'investir dans des projets polluants et à l'utilité sociétale limitée voire contre-productive (voir partie 1.8.). Pour amorcer cette réorientation, toute décision de développement de projet doit intégrer, au même titre que sa dimension financière et économique, son impact environnemental et son utilité sociétale. Pour cela, il faut généraliser l'usage des études coût bénéfices environnementaux. Cet outil doit être utilisé aussi bien pour les investissements publics que par les entreprises lors du choix de nouveaux marchés.

Aussi, il faut dès à présent commencer à prendre en compte la partie "aval" dans l'évaluation des impacts des projets spatiaux.

En particulier, il s'agit de mesurer les émissions issues des quantités astronomiques de données satellitaires dont le traitement et le stockage consomment énormément d'énergie. Au-delà des données, les satellites rendent possibles des applications nécessitant un grand nombre de terminaux qui n'auraient pas vu le jour autrement : il est grand temps de reconsidérer l'usage final qui peut changer du tout au tout l'ordre de grandeur de l'impact d'un projet.

Il est urgent de prioriser les projets avec un impact sociétal positif. Le financement de nouveaux projets avec une faible utilité sociétale et un fort impact environnemental doit ainsi être remis en question. Il faut par exemple se désengager formellement de tout projet de tourisme spatial.

Levier 10 : Orienter les investissements

Les investissements publics, français et européens, guident les évolutions du secteur spatial. C'est pourquoi nous ne pouvons plus nous permettre de financer des projets qui ne vont pas dans le sens de la transition.

Pour pouvoir prendre en compte les aspects environnementaux dans les délibérations d'un appel à projet, il faut que chaque projet soit le plus transparent possible vis-à-vis de son impact. Pour cela, il s'agit donc de systématiser les analyses de cycle de vie, en particulier pour les appels à projet public français. De plus, la prise en compte des impacts environnementaux tout au long du projet doit être mise en avant et récompensée lors des choix de projet. On peut ainsi imaginer que les financements étatiques soient conditionnés à l'atteinte d'objectifs de décarbonation.

Au niveau européen, il est nécessaire d'orienter les investissements vers les entreprises participant à la transition du secteur. Ainsi, une déclinaison de la taxonomie au secteur spatial semble pertinente afin de favoriser le financement de projets dans le secteur et d'orienter ses futurs investissements vers les technologies de décarbonation et les entreprises les moins polluantes.

Levier 11 : Renforcer la réglementation internationale

La trajectoire actuelle du secteur spatial n'est pas compatible avec nos objectifs climatiques et menace le secteur lui-même. Il apparaît urgent de réguler le secteur pour minimiser son impact climatique (surtout au vu des incertitudes actuelles), limiter les injustices climatiques (dus au tourisme spatial notamment), préserver les orbites, protéger la couche d'ozone, réduire la pollution lumineuse et préserver les bandes de fréquences. Si les réponses technologiques ont leur rôle à jouer (écoconception et retrait actif de satellites en orbite), **la nécessité d'une sobriété et d'une réglementation spatiale apparaît comme évidente.**

Sur quoi pourraient donc porter ces éventuelles réglementations ? L'évaluation de l'utilité et de l'impact de nos missions spatiales est un prérequis essentiel qui devrait déjà être mis en place par la **rédaction d'études "coûts bénéfiques" environnementaux et d'ACV de manière systématique.** Si la limitation du nombre de débris est une bonne chose, n'oublions pas que leurs rentrées dans l'atmosphère ont un impact méconnu sur notre climat. Il faut donc trouver un moyen de fixer une limite. Au vu de la forte variabilité de taille des lanceurs¹ et des impacts des satellites², il est plus sage de raisonner en masse envoyée en orbite avec une différenciation en fonction des orbites³.

Définir un accord international contraignant est une entreprise délicate. Et il est illusoire d'espérer la création d'un nouveau traité de l'espace dédié au sujet environnementaux. N'oublions cependant pas que la **Loi française sur les activités spatiales de 2008 (LOS) a servi de modèle pendant des années à d'autres pays**, comme les Etats-Unis par exemple, pour imposer une désorbitation rapide des satellites en fin de vie.

La France et l'Union européenne, au rôle réglementaire et spatial grandissant, peuvent plaider dans les forums internationaux pour une réglementation juste mais internationale permettant une préservation de l'espace et des activités étatiques et commerciales.

La commission européenne est justement en train de travailler sur une loi spatiale (appelée EU Space Law). Si les enjeux liés au débris spatiaux sont bien présents, les impacts environnementaux du secteur sont complètement mis sous le tapis à l'heure actuelle. Un des points de discussion au moment où sont écrites ces lignes est le périmètre d'application de la loi: concernera-t-elle uniquement les opérateurs européens ou tous les opérateurs délivrant des services sur le sol européen ? La nuance a son importance puisque la seconde option permettrait à la loi d'avoir une portée mondiale, comme cela a été fait pour le **RGPD**. S'il apparaît comme évident qu'une loi avec une portée mondiale est largement préférable, il semble également essentiel **d'ajouter dès maintenant des éléments sur les impacts environnementaux.**

Au-delà d'une réduction de l'empreinte du secteur au niveau mondial, la France et l'Europe sont engagées dans une décarbonation plus ambitieuse que les États-Unis ou la Chine. **L'inclusion de critères environnementaux permettrait alors de nous aligner davantage avec nos objectifs climatiques tout en favorisant notre industrie.**

¹ Fixer une limite sur le nombre de lancement, c'est prendre le risque de favoriser les lanceurs "ultra-lourd" comme le Starship.

² Si les émissions en haute-atmosphère ont effectivement un impact prépondérant, il faut prendre en compte la masse des satellites car c'est ce qui va dimensionner l'énergie requise par le lanceur pour atteindre l'orbite ainsi que la quantité de particules émises lors de leur désintégration dans l'atmosphère.

³ Certaines orbites sont plus congestionnées que d'autres. C'est le cas des orbites basses notamment. Mais l'envoi d'un satellite sur une orbite plus élevée implique également une dépense énergétique supérieure.

Levier 12 : Définir une trajectoire de décarbonation nationale et européenne

La stratégie de réduction des émissions françaises (SNBC) n'a pas précisé d'objectif de décarbonation spécifique au secteur spatial. Il n'existe pas non plus de trajectoire de décarbonation internationale. Le CNES a été missionné en fin d'année 2023 par le ministère de l'économie (en charge des questions spatiales) de piloter la réalisation d'une trajectoire de décarbonation du secteur spatial.

L'ensemble des leviers décrit précédemment sont des leviers concrets permettant in fine la réduction de l'empreinte du secteur. Au vu des contraintes temporelles qui pèsent sur notre besoin de décarbonation, ces derniers doivent être utilisés de concert. Cela implique une coordination fine d'acteurs institutionnels. Il faut mener ces actions avec des priorités et un calendrier clairement établis. Pour cela, ces transformations industrielles doivent être incluses dans les plans de transformation de l'appareil industriel français et à ce titre inclus dans la stratégie nationale.

Cependant, l'industrie spatiale est une industrie européenne. Ainsi la décarbonation efficace d'un projet européen ne peut se faire que si l'on travaille à cette échelle. Même si la France décarbone massivement les pièces issues de son industrie, le résultat ne sera qu'en demi-teinte si le reste des composants est fabriqué à l'aide d'électricité produite au charbon. C'est pourquoi un acteur européen devra également entreprendre des travaux similaires au CNES à plus large échelle. La France a donc l'opportunité de s'afficher en Leader européen sur la décarbonation en prenant de l'avance et en servant d'exemple au reste du continent.



4 Analyse des acteurs

L'objectif de ce rapport sectoriel est aussi de questionner les acteurs d'un même secteur de l'économie sur leur prise en compte des enjeux climatiques pour pouvoir dresser un bilan de la transition environnementale du secteur. Après l'envoi des questionnaires aux PDG, **seulement deux organisations du secteur spatial, ArianeGroup et l'ESA, ont accepté de répondre à ce questionnaire** et nous disposons donc de chiffres et de faits précis les concernant. En complément des réponses aux questionnaires et pour préparer celles-ci, nous avons organisé plusieurs réunions avec chacun des acteurs. Pour les entreprises n'ayant pas répondu aux questionnaires, ces réunions nous ont permis de nous faire une idée, bien que non chiffrée, de leur manière d'aborder les enjeux environnementaux.

Nous avons ainsi rencontré à plusieurs reprises des responsables des questions environnementales d'Airbus Defence and Space (ADS), d'ArianeGroup (AG), du Centre National d'Etudes Spatial (CNES), de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et de Thales Alenia Space (TAS). Ces réunions nous ont permis de mesurer l'avancement global des différentes entités sur la voie de la décarbonation, de relever des mesures intéressantes déjà mises en place ou en cours de réalisation, mais aussi des freins internes ou externes à l'avancée de la thématique au sein des organisations et du secteur. Nous avons alors pu établir un certain nombre de mesures ambitieuses que nous pensons réalisables (les mesures développées dans la partie 3).

Puisque ces organisations, de par leur positionnement dans la chaîne de valeurs, ont des moyens et des contraintes différents, il ne paraît pas pertinent de comparer directement les mesures qu'elles mettent en place. En effet, **une entreprise et une agence spatiale ont des modes de financements, des activités, des objectifs économiques et des capacités d'actions qui ne peuvent être comparés. C'est ainsi leur volonté d'aller dans le sens d'une transition qui est évaluée.** Nous faisons ici un bilan, pour ces différents acteurs, des points positifs et négatifs que nous avons relevés, de leurs mesures intéressantes d'ores et déjà mises en place et des critiques que nous pouvons éventuellement leur adresser, au regard des leviers d'action que nous avons identifiés. Cette analyse est scindée en trois sous-parties correspondant aux trois groupes de leviers décrits dans la partie 3.

Cette étude est le fruit d'un travail de bénévoles étudiant.es et jeunes diplômé.es, travaillant ou étant intéressé.es par le secteur, sans être des expert.es des sujets environnementaux. Nous avons essayé de garder un point de vue le plus objectif possible mais sommes **conscients que les avis énoncés revêtent nécessairement un caractère subjectif.**

Au vu des ressources à notre disposition, **ce travail n'a pas la prétention d'être exhaustif.** Son but est de fournir une grille de lecture aux personnes soucieuses de l'habitabilité de notre planète quant à la pertinence des actions concrètes menées par les organisations, au-delà des discours et des effets d'annonce.

Deux sujets nous semblent importants et sont malheureusement lacunaires pour l'ensemble des acteurs. Ceux-ci sont donc traités de manière indépendante dans la sous-partie suivante pour éviter les répétitions.

4.1. Lacunes communes

Émissions en haute atmosphère

Bien qu'il s'agisse là d'une thématique complexe sur le plan scientifique avec d'importantes incertitudes, les quelques éléments bibliographiques disponibles la positionnent comme une composante centrale de l'influence de l'activité du secteur sur le climat. Malheureusement, le sujet reste encore à ce jour dans l'angle mort de la thématique de contribution du secteur spatial au changement climatique, peu étudié scientifiquement et complètement oublié médiatiquement.

Un besoin de recherche criant

Alors que l'étude "fondatrice"¹ date de près de dix ans, les moyens investis dans la quantification des impacts des émissions en haute atmosphère sont dérisoires.

Pourtant, l'industrie spatiale est proche de celle de l'aéronautique qui fait elle aussi face à la problématique des effets "hors CO2". En effet, les avions produisent d'autres émissions que le CO2 lié à la combustion du kérosène qui démultiplie l'impact de l'aviation sur le climat. L'industrie aéronautique déploie des moyens conséquents pour tenter de quantifier l'impact de ces émissions

Malgré cela, l'exercice reste complexe et les incertitudes restent importantes: on estime leur impact deux à trois fois supérieur² à celui des émissions de CO2. Dans le cas des lanceurs, les effets "hors CO2"³ sont encore plus difficiles à quantifier. En effet, les lanceurs traversent l'ensemble des couches de l'atmosphère. Ces dernières étant très différentes, les impacts produits sont également distincts. Les ergols utilisés (et donc les produits de combustion)

varient drastiquement d'un lanceur à l'autre. L'obtention de mesures in situ est très délicate surtout si l'on souhaite récupérer des échantillons de l'ensemble des couches avant la dispersion des particules. La distribution de ces substances en haute atmosphère (effet local ou global) est également difficile à évaluer. **En traitant un sujet plus complexe avec moins de moyens, l'industrie spatiale a nécessairement des résultats plus limités que l'industrie aéronautique.**

Comme identifié dans la méthode d'évaluation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre, les entreprises dont l'activité génère des effets sur le changement climatique autres que par émissions de GES⁴ devraient intégrer et préciser ces effets dans leur bilan, d'autant plus au regard de l'importance de ces effets. **L'estimation des impacts de ces émissions est donc en partie de leur responsabilité et les engage à financer des équipes scientifiques compétentes pour creuser le sujet sans attendre.**

Cette quantification rapide est nécessaire pour orienter les choix de conception des futurs lanceurs. Mais c'est également une brique essentielle dans l'évaluation de l'impact d'une mission spatiale. **À l'heure actuelle, l'ordre de grandeur des impacts d'un projet peut changer en fonction de la modélisation de ces phénomènes.** La comparaison entre missions spatiales et infrastructures terrestres ainsi que les analyses coûts bénéfices s'en trouvent donc profondément impactées. Cette quantification est donc une donnée essentielle dont nous avons besoin pour prendre des décisions éclairées qui nous engageront pour des décennies.

¹ [ROSS2014]

² [LEE2021]

³ Il s'agit principalement d'oxyde d'azote, de vapeur d'eau et d'aérosol.

⁴ Méthode pour la réalisation d'un bilan de gaz à effet de serre Version 5, Juil 2022, § 5.5.3

La problématique est clairement identifiée en interne et quelques nouveaux travaux de recherche vont débiter en 2024. Néanmoins, cela est clairement insuffisant face à la complexité de la problématique. Les agences et les industriels doivent monter en cadence rapidement en engageant dès maintenant des moyens conséquents à ces recherches.

Une vulgarisation à amorcer au plus vite

La question de la communication autour de ce sujet doit être traitée en parallèle de la montée en cadence de la recherche scientifique. En effet, comme dit précédemment, cette quantification peut profondément impacter les analyses coûts bénéfices. Il est donc **important d'informer correctement les décideurs politiques** sur cette thématique afin qu'elles soient prises en compte dans les arbitrages de lancement de projet. De plus, le sujet est complexe et va nécessiter des moyens financiers importants. Or il est délicat de demander des fortunes pour creuser une thématique que personne ne connaît. Il est donc important de visibiliser ce sujet pour que l'Etat accompagne, sans se substituer aux industriels, les efforts de recherche.

Il est également important de communiquer auprès du grand public afin de donner les clefs de lecture permettant de construire un esprit critique collectif sur ces sujets et de déjouer les effets d'annonce malhonnêtes. Le manque de transparence du secteur risque d'affecter la confiance du grand public. Nul doute cependant que cet exercice de vulgarisation est périlleux. Les phénomènes physiques en jeu sont complexes et la compréhension de leurs impacts nécessite une connaissance de base des mécanismes impliqués dans le changement climatique. On imagine une certaine frilosité des industriels pour qui la communication sur ce sujet implique de révéler que les impacts environnementaux de leurs activités sont sous-évalués et que la compréhension de leur propre externalité négative est lacunaire. Le risque de distorsion du message et de simplification à outrance de relais de communication peu rigoureux est également présent. C'est également un risque concernant ce rapport. **Nous souhaitons à tout prix que le message "les impacts environnementaux sont sous-évalués" ne se transforme pas en "l'industrie spatiale est très polluante".**

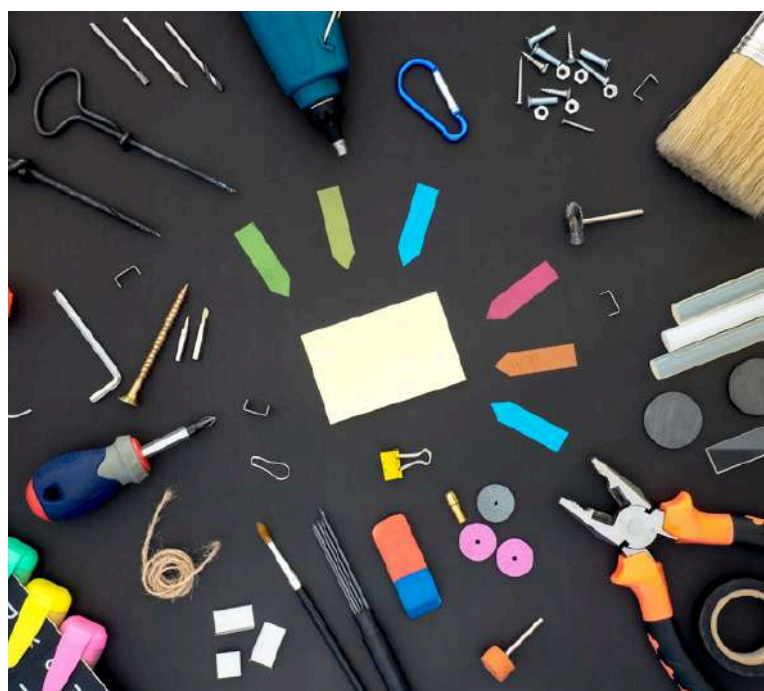


Les phénomènes physiques en jeu sont complexes et la compréhension de leurs impacts nécessite une connaissance de base des mécanismes impliqués dans le changement climatique. On imagine une certaine frilosité des industriels pour qui la communication sur ce sujet implique de révéler que les impacts environnementaux de leurs activités sont sous-évalués et que la compréhension de leur propre externalité négative est lacunaire. Le risque de distorsion du message et de simplification à outrance de relais de communication peu rigoureux est également présent. C'est également un risque concernant ce rapport. Nous souhaitons à tout prix que le message "les impacts environnementaux sont sous-évalués" ne se transforme pas en "l'industrie spatiale est très polluante".

Malgré la difficulté, cette vulgarisation est absolument nécessaire et doit être entamée progressivement. La coordination entre les agences, les industriels, les associatifs et les médias est un prérequis indispensable à l'établissement d'une information claire et rigoureuse sur cette question délicate. Cet exercice de communication semble être un sujet pour lequel des astronautes bien formés aux sujets environnementaux pourraient être d'une aide précieuse.

Les compétences spécifiques

Les organisations rencontrées semblent toutes manquer de profils spécialisés en compétences environnementales capables d'être rapidement mobilisables pour conduire des études d'impacts de systèmes spatiaux. Si de telles personnes existent, leur nombre est insuffisant pour être déployé sur l'ensemble des projets dès les phases amont. Ces compétences en durabilité sont également nécessaires pour l'ensemble des besoins de l'entreprise (les achats, la communication, la gestion de l'immobilier etc).



Ce constat est bien souvent partagé par les organisations rencontrées qui déplorent la disponibilité de ces profils en sortie d'enseignement supérieur. Prenons l'exemple des ingénieur.es en environnement travaillant dans le secteur spatial. Bien souvent, les jeunes diplômés sont soit formés aux systèmes spatiaux, soit aux impacts environnementaux. La double compétence est très rare ce qui implique pour l'entreprise de les former à leur embauche. Face aux défis qui nous attendent, l'enseignement supérieur doit également s'adapter pour former les professionnels de demain dont la société a besoin.

4.2. ArianeGroup (AG)

Les équipes d'ArianeGroup ont été très proactives dans le cadre de ce projet. Le questionnaire a été remis rapidement et trois rencontres (dont une avec le PDG) ont été effectuées. Ce faisant, nous avons davantage d'informations à disposition pour analyser les actions de cette entreprise. La transparence des échanges avec les acteurs internes doit être soulignée, ceux-ci semblant conscients du chemin à parcourir et des freins et limites actuels d'engagement.

ArianeGroup et la compréhension des impacts environnementaux du secteur spatial

De par son positionnement dans la chaîne de valeur, ArianeGroup a une responsabilité particulièrement forte sur les émissions dans la haute atmosphère. Les choix technologiques de motorisation du lanceur contribuent directement à la nature des émissions et donc à l'impact associé (voir partie 2.5). Il est ainsi regrettable de constater que les lanceurs passés (Ariane 5) et futurs (Ariane 6) soient basés en partie sur des motorisations à propulsion solide, dont l'impact reste important au regard d'autres solutions. Le design du lanceur européen Ariane 6 a été décidé avant les premières publications scientifiques sur les émissions haute atmosphère, il est donc difficile de condamner l'entreprise sur ce point. On peut cependant regretter que, malgré le recrutement d'expert.es de ces sujets, la contribution scientifique de l'entreprise à ces questions reste désespérément dérisoire.

ArianeGroup au travers de sa filiale Maia Space est bien en train de développer un lanceur en partie réutilisable avec une propulsion méthane liquide censée être moins émissive¹. De plus, contrairement à ce qui a été fait pour Ariane 6, Maia Space a réalisé une ACV et mis en place une démarche d'éco-conception dès les premières phases du projet. Cette technologie est également envisagée comme potentielle évolution d'Ariane 6. On peut toutefois regretter que cette modification arrive tardivement, ne permettant ainsi pas de remplacer la propulsion solide au début de l'exploitation du lanceur.

ArianeGroup dispose d'un service d'éco-conception qui monte en cadence. Une ACV (voir partie 2.1) a d'ailleurs été réalisée (hors impacts haute atmosphère) sur le produit phare de l'entreprise, Ariane 6. Toutefois, ce travail a été mené pour évaluer les impacts, ce qui est un premier pas pour intégrer les conclusions dans les arbitrages de conception qui doivent ensuite permettre de réduire les impacts. Il aurait cependant été préférable que cette ACV soit réalisée dans les phases amont de conception du lanceur afin de réduire son impact de manière effective.

Un bel exemple d'innovation et d'investissement permettant de réduire l'empreinte carbone d'Ariane 6 est le bateau hybride *Canopée* permettant d'acheminer le lanceur en Guyane. L'utilisation de voile pilotable doit permettre au navire d'économiser 30% de sa consommation de carburant. Bien qu'ArianeGroup ait été impliqué dans la réalisation, c'est l'ESA qui a financé le projet.

¹ Cette technologie est beaucoup moins émettrice de particules dans la haute atmosphère (cf. partie 2.5.1). Les raisons qui ont poussé à ce choix semblent cependant être davantage liées à des questions économiques et de cadence de lancement, plutôt qu'à un choix écologique.



Bateau “Canopée” permettant de transporter Ariane 6 en Guyane

Crédit: Tom Van Oossanen

Côté bilan d'émissions de gaz à effet de serre, ArianeGroup calcule l'ensemble des scopes, ce qui est déjà une prise de conscience de l'importance d'évaluer les enjeux sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Comme attendu pour une entreprise du secteur, les émissions associées au “scope 3” et en particuliers aux achats sont particulièrement élevées (respectivement 88 et 67%¹ du total). La décarbonation de l'amont de la chaîne de valeur apparaît donc comme particulièrement cruciale. Les travaux sont cependant à leurs balbutiements et les moyens engagés semblent très faibles au vu de l'ampleur de la tâche. Ils ne s'accompagnent pas non plus à ce jour d'une trajectoire claire d'atténuation des émissions et de décarbonation².

Place des enjeux environnementaux au sein d'ArianeGroup

ArianeGroup souhaite sensibiliser l'ensemble de ses employé.es à l'aide d'une formation interne d'une durée de 2h d'ici 2025. L'objectif est louable, nous espérons donc qu'il sera bel et bien validé et qu'il ne s'agit pas là d'un effet d'annonce. De plus, une formation d'une durée si courte ne constitue qu'une introduction qu'il faut par la suite largement étayer pour que les employé.es soient en mesure d'intégrer les enjeux de transition dans leur quotidien professionnel.

À notre connaissance, peu d'expert.es en environnement sont aujourd'hui employé.es au sein d'ArianeGroup sur les questions de décarbonation. La déclinaison de ces enjeux dans l'ensemble des métiers et directions de l'entreprise reste un point que l'entreprise doit éclaircir.

¹ Voir Questionnaire de l'entreprise

² Les travaux sont cependant en cours puisqu'une trajectoire doit cependant être publiée d'ici la fin de l'année.

Côté risques de transition, la partie civile d'ArianeGroup bénéficie de la sécurisation des chaînes d'approvisionnement en matières premières critiques imposées par les activités militaires. Le sujet semble donc bien traité. Concernant l'adaptation aux conséquences du changement climatique, fondamentale pour des projets et programmes au temps long, il semblerait que des travaux d'évaluation des risques physiques climatiques soient en cours de réalisation. Le traitement des déchets fait l'objet d'une attention particulière, notamment du fait d'obligations réglementaires (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, ICPE). L'entreprise s'évertue également à réduire sa consommation d'énergie, planifiant une diminution de 25% en 2024 par rapport à 2017. Pour l'instant, 20% de réduction ont déjà été effectuées entre 2017 et 2023.

La décarbonation est une tâche complexe qui nécessite des moyens humains importants. Or l'équipe RSE, bien que s'appuyant sur des compétences issues de différentes directions, est composée de trop peu de personnes au vu de la taille de l'entreprise. La responsable RSE ne fait malheureusement pas partie du Comité Exécutif mais anime un comité de pilotage RSE, où siègent des membres du Comité Exécutif d'ArianeGroup (Directions des Ressources Humaines, Technique, Communication et Secrétaire Général). Les activités RSE sont reportées auprès du secrétaire général. Cette organisation permet, de manière théorique du moins, de reporter les actions au plus haut niveau de l'entreprise puisqu'il a accès au président du groupe, au comité exécutif et au conseil d'administration.

Contribution d'ArianeGroup à l'émergence d'un spatial durable

Les produits d'ArianeGroup permettent la mise en service de nombreuses missions institutionnelles nécessaires à la société. Certaines missions commerciales à l'intérêt sociétal plus discutable sont parfois également envoyées. On peut cependant être très critique vis à vis de la signature du contrat avec Amazon portant sur le déploiement de la méga-constellation *Kuiper*. L'accord implique 18 lancements d'Ariane 6 parmi les 83 totaux prévus par *Amazon* permettant de mettre en orbite plus de 3000 satellites. Ce projet semble être extrêmement questionnable. En théorie, les méga-constellations sont très utiles pour desservir des populations vivant dans des zones exemptes de services au sol et réduire les fractures numériques. Mais si le prix de l'utilisation de ces services est acceptable pour le niveau de vie américain, son coût peut facilement être rédhibitoire pour une population modeste (pour *Starlink*, il faut compter 450€ pour l'antenne et 70€/mois pour l'abonnement). Finalement il est probable que les utilisateurs en zone blanche soient une minorité et que les méga-constellations visent principalement à concurrencer les services existant dans les pays développés ayant déjà une

couverture au sol suffisante. Au niveau géopolitique, les méga-constellations peuvent permettre de renforcer l'autonomie d'un pays et être utiles sur le plan international. Mais le projet n'est pas européen et contribuer au déploiement de *Kuiper* c'est asseoir davantage la domination états-unienne sur l'espace. Cela est d'autant plus problématique que les États membres de l'ESA ont acté au sommet spatial de Séville en novembre 2023 le renforcement des subventions publiques au lanceur (jusqu'à hauteur de 340 millions d'euros par an). Si un acteur européen décide demain de rejoindre la course aux méga-constellations, il est cocasse de voir que l'un de ses concurrents outre-Atlantique aura été massivement subventionné par l'Europe.

De plus, le déploiement de la constellation entraînera la fabrication d'une armée de terminaux informatiques supplémentaires, augmentant ainsi l'empreinte sans cesse grandissante du secteur numérique (4% des émissions totales en 2019 et une croissance de 9% de la consommation énergétique). Enfin, l'envoi de plus de 3000 satellites en orbite basse n'a rien d'anodin à une

époque où certaines orbites sont déjà saturées. *Kuiper* renforce, en partie au frais du contribuable européen, la main mise américaine sur l'espace et au prix d'un impact environnemental important¹ et d'une pression supplémentaire sur la préservation des orbites.

Pourtant, pour ArianeGroup qui ne considère pas l'impact final des projets qu'elle rend possible, la signature du contrat qualifié de "sans précédent" fut considérée comme une véritable victoire. Il est vrai que cette signature remonte à une époque où le carnet de commande d'Ariane 6 restait désespérément léger alors que le projet commençait à accumuler les difficultés, menaçant la survie de l'entreprise. Cependant, d'un point de vue environnemental, *Kuiper* apparaît comme l'un des pires projets que l'entreprise pouvait soutenir. Au-delà de ce contrat en particulier, la question de l'usage devrait être absolument fondamentale pour ArianeGroup. Quel intérêt à investir massivement des financements européens pour développer un lanceur souverain "bas-carbone" mettant en orbite des projets américains ultra-polluants ?

L'entreprise peut jouer un rôle dans la définition de la position de la France et de l'Europe sur la régulation des nombres de lancement. Demander à une entreprise d'être proactive pour contraindre sa propre activité peut sembler illusoire. Cependant il faut garder en tête que l'activité d'ArianeGroup, comme toutes les autres activités spatiales, dépend directement de la préservation des orbites.

Ensuite, le spatial reste un secteur essentiel de la société. Au vu des cadences maximales envisagées pour Ariane 6 (12 lancements par an²), il est probable qu'une éventuelle limitation des vols par zone géographique n'affecte pas ou peu le marché de l'entreprise. Au contraire, cela pourrait se révéler être un avantage concurrentiel. Si une telle réglementation paraît aujourd'hui inconcevable, nul doute que l'entreprise doit jouer un rôle majeur pour permettre son hypothétique émergence dans le futur.

Enfin, l'entreprise doit continuer sa contribution positive aux travaux français et européens de définition de trajectoires de décarbonation du secteur.

Conclusion sur ArianeGroup

Malgré sa proactivité et des améliorations notables, l'entreprise part de loin en matière de prise en compte des enjeux environnementaux climatiques et de décarbonation et conserve quelques lacunes majeures, notamment sur les émissions haute atmosphère. Ces questions commencent à se faire une place au sein de l'entreprise mais à une vitesse et avec des moyens insuffisants. En tant que fournisseur de lanceurs, les responsabilités de l'entreprise sont importantes et ses choix influencent l'ensemble du secteur spatial européen.

Il nous a cependant semblé qu'ArianeGroup était dans une bonne dynamique tout en étant consciente du fait qu'elle parte de loin sur ces questions. Cette humilité et cette motivation s'est ressentie jusqu'au plus haut niveau de la hiérarchie lors de notre rencontre avec l'ex-PDG en Septembre 2022. Si nous ne pouvons que nous réjouir de cette volonté d'agir, cette dernière ne remplacera pas la mise à disposition de moyens financiers importants ainsi que la **nécessité d'un appui politique fort, notamment de la part du nouveau PDG.**

¹ Dans le "pire scénario" en termes d'impact, Kuiper est la constellation la plus polluante, 91 fois plus émettrice qu'un équivalent terrestre selon cette étude préliminaire [OSORO2023]

² À titre de comparaison, SpaceX a effectué 107 lancements en 2023.(voir [ici](#))



4.3. Agence Spatiale Européenne (ESA)

Si le prisme de ce projet est avant tout français, il est difficile de parler de décarbonation du secteur sans inclure l'agence spatiale européenne qui a un rôle central sur le sujet. Ses actions et l'importance que l'agence donne à cette thématique ont un impact prépondérant sur le reste de l'industrie spatiale européenne. L'ESA est donc la seule partie prenante non française présente dans le cadre de notre analyse. La gestion des impacts environnementaux est découpée en deux organes au sein de l'ESA : le bureau "climat et durabilité" et l'initiative Cleanspace. Le premier est en charge de l'application de la feuille de route environnementale de l'agence (*ESA green agenda*). Il représente l'interface privilégiée avec les parties prenantes externes, dont les industriels. La seconde est responsable de l'expertise en éco-conception et du développement du cadre méthodologique des outils pour le secteur spatial européen.

L'ESA a été avec ArianeGroup, le seul acteur à répondre à notre questionnaire. Une rencontre avec le responsable du bureau "climat et durabilité" de l'agence et une bonne partie de son équipe a été effectuée. L'agence a fait preuve d'une transparence très appréciée dans les échanges. Ce faisant, nous avons davantage d'informations à disposition pour analyser ses actions. Notre analyse est donc plus poussée que pour d'autres parties prenantes.

Afin de mieux appréhender les passages suivants, rappelons que l'ESA est une structure particulière. Elle n'est ni une organisation internationale, ni une instance de l'Union Européenne, ni une entreprise. Bien que la direction générale puisse orienter certains axes politiques, l'ESA est avant tout un outil à destination des États membres qui met en place la politique dictée par ces derniers. Si une problématique n'est pas suffisamment prise en compte par l'agence, il en va également de la responsabilité des États membres.

L'ESA et la compréhension des impacts environnementaux du secteur spatial

Il convient avant tout de rappeler le rôle structurant de l'ESA dans la coordination et le partage des connaissances sur l'impact environnemental du spatial. L'agence est notamment l'organisatrice depuis 2017 des Clean Space Industrial Days, la grande messe européenne dédiée au sujet. Une partie de cette conférence est centrée sur les émissions en haute atmosphère et quelques études ont déjà vu le jour.

Le sujet de la décarbonation de la chaîne de valeur est épineux pour l'ESA. Comme mentionné dans la partie 3, pour que cette décarbonation soit réellement efficace, il faut pouvoir être en mesure de prioriser les industriels qui se décarbonent plutôt que ceux qui ne le font pas. Or les plus gros industriels sont notamment contraints sur les choix de leurs sous-traitants du fait du retour géographique (voir levier 3, partie 3.1). Bien que ce principe ne soit pas incompatible avec l'émergence de critères de préférence industrielle pour les acteurs qui se décarbonent, cela complique la tâche. Si certains États membres peuvent être tentés de vouloir supprimer ce principe (pas forcément pour des raisons écologiques), cela risque d'autant plus de favoriser les entreprises des "gros" pays européens car leurs institutions seront plus à même d'accompagner leur décarbonation. Que cette décarbonation devienne un avantage compétitif n'est pas une mauvaise chose d'un point de vue environnemental, mais pour éviter que cela renforce le schisme "petites / grosses" nations, la levée du retour géographique au profit d'un marché basé sur l'intensité carbone des activités doit s'accompagner de subventions pour la décarbonation.

Une première étape intermédiaire pour l'ESA serait de contraindre uniquement les activités industrielles les plus émettrices. Cependant, cela nécessite de connaître suffisamment les émissions de la chaîne de valeur pour être en mesure

d'identifier ces activités. Or cette identification est pour le moment compliquée du fait de notre manque de données sur la composition des sous-systèmes et des bases de données spécifiques au secteur. Ce sujet montre à quel point toutes les thématiques d'estimation et de réduction d'impact sont connectées et nécessitent dès maintenant des efforts en parallèle.

Malgré les contraintes contractuelles liées au principe du retour géographique (voir levier 3, partie 3.1), l'ESA peut en revanche agir en amont et sur l'ensemble de la chaîne de valeur, notamment par la mise en place d'exigences environnementales et un soutien aux industriels.

C'est notamment ce qu'a fait l'ESA en soutenant financièrement le développement du navire Canopée (voir partie 4.2.) ou en contribuant à la rénovation du centre spatial guyanais.

L'ESA est proactive sur la question des bases de données environnementales. On peut par exemple citer son soutien aux travaux de l'université de Strathclyde (voir partie 2.1.2.2). En complément, en 2016, l'ESA a mis à disposition un guide de recommandation sur la réalisation d'analyses de cycle de vie des systèmes spatiaux¹. Ces deux briques ont servi à la définition d'un premier cadre méthodologique qui a notamment permis, soit par exigence contractuelle, soit par financement propre, la réalisation d'ACV sur les grands lanceurs européens (Ariane 5, Ariane 6), sur certains grands projets européens (Galileo, Copernicus, etc) et sur les segments-sol. Cependant, malgré leur importance et faute d'une volonté politique forte, ces travaux sont ralentis par le manque de partage de données nécessaire à la consolidation des bases de données propres au spatial. De plus, on peut regretter que la réalisation d'ACV ne soit pas systématisée par l'ESA dans les cahiers des charges de l'ensemble des projets spatiaux.

¹ Ce guide doit être mis à jour en 2024 mais la version actuelle est disponible [ici](#).

Place des enjeux environnementaux au sein de l'ESA

Des sensibilisations “générales” sur les enjeux climat, comme La “Fresque du Climat”, ainsi que des sensibilisations spécifiques au secteur spatial commencent à être doucement déployées en interne. Il est absolument crucial que ces sensibilisations s'appliquent également aux astronautes, véritables porte-paroles de l'agence et de ses valeurs dont la renommée dépasse parfois celle de l'ESA elle-même. À l'heure actuelle, la formation des astronautes sur les sujets environnementaux est lacunaire.

Il est cependant lassant de voir le discours des astronautes sur les sujets environnementaux être globalement stationnaires au fil des décennies. L'élément phare de cette rhétorique vieillissante est l'*overview effect* (“effet de surplomb” en français), cette prise de conscience de la fragilité de la Terre permise aux explorateurs du cosmos lorsqu'ils aperçoivent la minuscule atmosphère qui abrite la vie et l'immensité sombre de l'espace environnant. Ce phénomène, comme la recherche de vie sur d'autres corps célestes, est un excellent moyen de faire partager au grand public que l'habitabilité de notre planète et la diversité des formes de vie qu'elle abrite sont un miracle qu'il faut préserver. Pourtant, le changement climatique est plus pernicieux et une simple prise de recul de l'observateur ne permet de voir que les manifestations les plus visibles. Il existe nombre de sujets sur lesquels les astronautes pourraient également se positionner en allant plus loin que la simple mention de l'*overview effect* (biodiversité, épuisement des ressources, etc).

Il faut cependant noter que certaines prises de positions récentes de Thomas Pesquet viennent nuancer ce propos. Ce dernier alerte par exemple sur le techno-solutionnisme, annonçant ne “pas croire à la baguette magique scientifique et technique”. De la même manière que nous insistons sur l'importance de questionner l'utilité sociétale des projets, Thomas Pesquet rappelle l'importance de “tracer des lignes entre les activités utiles et futiles”. Il semble cependant s'agir ici d'une initiative personnelle prise par l'astronaute français et pas d'une volonté de l'agence¹. **Les astronautes sont des ambassadeurs formidables qui mériteraient d'être davantage formés afin que leur discours évoluent à mesure que les conséquences du changement climatique s'aggravent.**

Validée lors de la conférence ministérielle de 2022, la feuille de route environnementale de l'agence (*ESA Green Agenda*) repose sur cinq grands piliers. Ils vont de la mise en place d'une stratégie d'évaluation de la durabilité des futurs programmes spatiaux, à la décarbonation des infrastructures et actifs, l'intégration de l'éco-conception dans l'ensemble des nouveaux programmes, le renforcement des attentes de l'ESA vis-à-vis de la supply chain et la mise en place d'une approche de gestion du changement. L'équipe du bureau “climat et durabilité” est chargée de l'application du *Green Agenda*. S'il s'agit là d'une des équipes les plus fournies que nous ayons rencontré, elle semble tout de même trop limitée pour infléchir à elle seule les actions du continent. Bien que hiérarchiquement rattaché au directeur général, le bureau ne bénéficie pas d'un représentant au sein du comité exécutif. Pour renforcer la transversalité de ces thématiques et permettre à la personne responsable de peser sur les décisions à l'échelle de toute l'agence, cela semble pourtant être nécessaire.



¹ Mentionné dans l'autobiographie de l'astronaute “Ma vie sans gravité”.

Contribution de l'ESA à l'émergence d'un spatial durable

Comme beaucoup d'institutions, l'ESA souffre d'une dissonance importante. D'un côté, elle se doit d'être un acteur moteur de la décarbonation du secteur et en a fait du sujet l'une de ses priorités. De l'autre, elle encourage le développement commercial effréné du secteur spatial. Ce décalage se retrouve dans le discours des dirigeant.es qui vantent avec justesse les mérites des données satellites pour mesurer l'évolution des conséquences du changement climatique. En parallèle, ces mêmes personnes prônent la montée en cadence d'une myriade de petites entreprises à l'utilité sociétale parfois questionnable pour la transition écologique. C'est également le cas du projet pharaonique Solaris (voir partie 2.6). À l'heure actuelle, ce dernier n'est pas pleinement amorcé et seul le financement d'une étude de faisabilité a été validé à la conférence ministérielle de 2022. Certes cette initiative s'insère dans un des enjeux majeurs de notre temps : produire de l'énergie décarbonée. Simplement, au vu des incertitudes sur l'impact des lancements que l'agence connaît elle-même très bien, est-il bien sage de se lancer dans un projet d'une telle ampleur ? Mais quelles seront les conséquences pour l'ESA si l'on s'aperçoit que des dizaines de milliards de fonds publics qui devaient permettre de produire de l'énergie moins carbonée que les parcs de production photovoltaïques ont été investis à perte dans un projet plus émetteur qu'une centrale à charbon¹ ? S'il serait effectivement absurde de se priver d'un tel outil avant même de connaître ses impacts, espérons que l'évaluation des impacts environnementaux sera particulièrement rigoureuse et transparente.

Au-delà du financement de projets spécifiques en lien avec la décarbonation, l'agence entend tout de même accélérer la prise de conscience sur les enjeux environnementaux dans le secteur en accompagnant son écosystème industriel. Pour cela elle a mis en place un premier cadre qui prend la forme d'une déclaration signée par les principaux acteurs européens.

Annoncé en grande pompe, ce statement devait attester de la bonne volonté des acteurs et être le socle de la décarbonation du continent. Au lieu de ça, le texte apparaît comme particulièrement creux, ne mentionnant aucune action concrète ni n'engageant les acteurs dans aucune mesure. Si on peut suspecter que le document ait été progressivement vidé de sa substance à mesure des échanges, le faible niveau d'engagement du résultat final interpelle et pourrait même être considéré comme du *greenwashing*. Une telle déclaration peut effectivement être très utile si elle s'accompagne de réalisations effectives. Mais cela n'est clairement pas le cas du document actuel. Ce résultat n'est pas issu d'un manque de volonté de l'ESA ou de l'incompétence des équipes qui, bien au contraire, se sont démenées tant bien que mal dans ce projet. Cette déclaration est le miroir de la volonté des industriels du spatial européen à ne pas se décarboner.

L'autre constat accablant est ce qui semble être une incapacité structurelle de l'ESA à impulser un changement de paradigme sur un sujet qui n'est pas consensuel. Cela nous amène à nous poser une question lourde de sens : l'ESA est-elle la structure la plus adaptée pour diriger la décarbonation du continent ? Doit-elle se réformer en profondeur pour jouer ce rôle ?

Encore une fois, l'ESA n'est qu'un outil au service des États membres. Ce sont bien eux qu'il faut blâmer face au manque d'ambition du *statement* ou dans la lenteur de la décarbonation du secteur spatial européen. Même une réforme profonde de l'ESA pour mener à bien ce travail doit être décidée par les États membres. Pourtant, l'agence européenne a, par son expertise technique, son historique de succès et ses relations permanentes avec les acteurs industriels, beaucoup d'arguments en sa faveur pour remplir ce rôle.

¹ Les annonces actuelles sur Solaris font effectivement mention d'une empreinte carbone en gCO₂eq/kWh inférieure à celle du photovoltaïque. Les détails de l'étude ayant conduit à ce résultat ne nous ont pas été rendus publics.

Quelles que soient les réponses à ces questions, l'agence doit jouer un rôle clé dans la systématisation de la démarche d'éco-conception et des analyses coûts/bénéfices environnementaux dans les cahiers des charges des projets. Que les questions de durabilité soient au cœur des préoccupations de l'agence est une très bonne chose. Il faut maintenant que ses financements

s'orientent dans des projets qui suivent la même direction. L'ESA a également un rôle fort à jouer dans la définition d'une trajectoire de décarbonation européenne qui pourra ensuite être déclinée au niveau national ou exportée aux restes du monde. C'est là une forme de *soft power* indéniable dont l'agence européenne a les moyens de se doter.



Conclusion sur l'ESA

La question de la formation des astronautes peut sembler anecdotique. Mais on ne peut s'empêcher de penser qu'avec un Thomas Pesquet prenant autant position sur le climat que sur le rugby¹, la transition écologique du pays serait enfin en mesure de décoller.

Plus sérieusement, l'ESA est globalement un acteur très proactif essentiel à l'effort de décarbonation du spatial européen. Les équipes dédiées sont particulièrement investies et mobilisées sur une grande variété de sujets. Cependant, force est de constater que ces efforts ne conduisent en l'état qu'à peu de résultats concrets (le *statement* en est un exemple flagrant). Avant même une question de moyens, ce constat semble être le résultat de la volonté politique des États membres de ne pas hâter la décarbonation. L'ESA n'étant que le reflet des volontés de ses membres, il lui est aujourd'hui impossible d'accélérer la cadence contre leur volonté. L'absence d'évocation des problématiques environnementales lors du sommet de Séville en Novembre 2023 en atteste.

Cette conclusion s'adresse donc aux équipes qui définissent la vision la France auprès de l'agence: si on lui en donne les moyens, l'ESA peut être un outil formidable pour coordonner de manière cohérente l'effort de décarbonation dont nous avons tant besoin à travers le continent, faites en sorte que ce soit là sa mission !

¹ Mais nous sommes d'accord, l'arbitrage de ce quart de finale de coupe du monde 2023 est proprement honteux !

4.4. Centre National d'Etude Spatial (CNES)

Si le CNES n'a pas souhaité répondre au questionnaire, nous avons toutefois pu rencontrer à plusieurs reprises la directrice Développement Durable. L'agence s'est montrée proactive dans les échanges.

Le CNES et la compréhension des impacts environnementaux du secteur spatial

Quelques travaux de recherche sur la quantification des impacts des émissions en haute atmosphère vont voir le jour l'année prochaine grâce au concours du CNES. L'agence bénéficie d'une expertise très avancée dans les lanceurs. L'agence est moins contrainte que les industriels sur le besoin de rentabilité des sujets de recherche. Ce sujet complexe est une formidable opportunité pour le CNES de faire travailler de concert nombre de prestigieux organismes de recherche français sur une thématique en lien avec l'espace et de devenir un leader européen, voire mondial, d'une thématique importante tout en orientant son industrie.

Un outil d'éco-conception appelé *OASIS* doit sortir prochainement. Nous resterons vigilant sur quelques points dont: la manière dont sont modélisées les émissions haute atmosphère, la fiabilité et l'exhaustivité des données, le caractère open source de l'outil. Le développement d'un tel logiciel est cependant complexe et coûteux, il ne faut pas attendre de l'outil d'être parfait dès sa sortie. Espérons simplement qu'*OASIS* soit suffisamment avancé pour guider ou inspirer rapidement et efficacement l'industrie. En effet, si les principaux acteurs industriels possèdent des services d'éco-conception dédiés, ce n'est sûrement pas le cas de la constellation de start-up spatiales. Ces dernières tireront grandement profit d'un tel outil si elles souhaitent mettre en place une démarche d'éco-conception. Le CNES serait alors pleinement dans son rôle de facilitateur.

La fabrication des ergols est un contributeur important des émissions de GES d'un lanceur (un peu moins de 50% des émissions pour Ariane 6¹). De plus, le Centre Spatial Guyanais (CSG) est un important consommateur de l'électricité de Guyane dont le mix électrique est fortement carboné. En effet, en sus des obsolètes centrales à fioul de Cayenne, une part importante de cette électricité est produite par le barrage de Petit-Saut dont la particularité est d'être une vaste zone forestière immergée. La décomposition des végétaux entraîne la libération de méthane² faisant de ce dernier une énergie certes renouvelable mais aucunement "bas carbone".

Pour répondre à ces problématiques, le CNES, avec d'autres partenaires dont l'ESA, font d'importants efforts pour décarboner le mix électrique et la production d'ergols. Adossée à des champs photovoltaïques et des centrales biomasse, les projets HYGUANE et BIFROST permettront de produire respectivement de l'hydrogène³ et du méthane⁴ "bas carbone". Ces investissements conséquents (environ 250 millions d'euros) sont absolument nécessaires pour décarboner le CSG et accroître sa résilience.

¹ Selon l'ACV faite pour Ariane 6. Attention cependant au périmètre de l'étude qui n'inclut pas les émissions haute atmosphère par exemple. Gallice, A., Maury, T., & Olmo, E. (2018). *Environmental impact of the exploitation of the Ariane 6 launcher system*. Cleanspace Industrial Days.

² Un gaz à effet de serre environ 30 fois plus contributeur au réchauffement climatique que le CO₂.

³ À l'heure actuelle, l'hydrogène liquide est produit par reformage de méthanol importé de Trinidad et Tobago (voir [ici](#))

⁴ Ariane 6 n'utilise pas de méthane mais c'est le cas de plusieurs lanceurs prévus prochainement (Themis, Maia).

La forêt guyanaise fait l'objet d'une protection particulière au regard de sa richesse écologique et l'usage de la biomasse qu'elle génère reste très réglementé. Lors du dépôt d'un amendement dérogatoire excluant potentiellement la forêt guyanaise de cette protection, plusieurs associations ont craint que des coupes de bois soient effectuées et utilisées pour alimenter les

centrales biomasse. Le sujet de l'origine de l'alimentation des systèmes énergétiques biomasse reste un sujet fondamental de la durabilité de ses solutions. Le CNES a souhaité nous rassurer sur le sujet mais restons vigilant à ce que ce projet ne soit considéré que sous l'angle « décarbonation » sans intégrer l'ensemble des enjeux environnementaux sous-jacents.

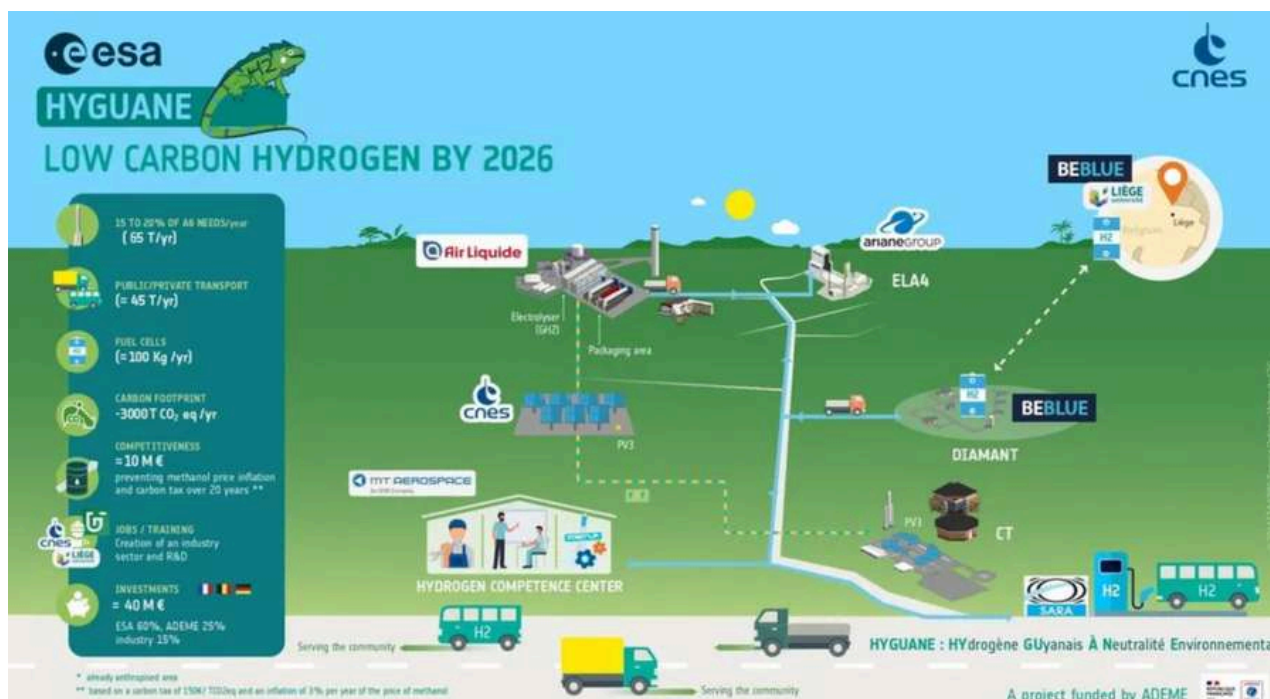


Schéma d'explication du fonctionnement du projet HYGUANE

Source : CNES

Place des enjeux environnementaux au sein du CNES

Le CNES a la volonté d'aller plus loin en termes de sensibilisation que de simples fresques du climat avec notamment la mise en place, avec le support de l'association Aéro Décarbo, d'un parcours de formation assez complet en 5 modules.

On peut espérer que ces efforts se poursuivent et s'accompagnent d'une part de l'accroissement de dispense de ces modules au plus grand nombre, d'autre part de la mise en place de nouvelles formations spécifiques en lien direct avec les métiers.

En termes de gouvernance et de représentation des thématiques environnementales, le CNES est exemplaire puisque la directrice développement durable siège au COMEX. Cela permet aux sujets d'avoir davantage de transversalité et renforce leur poids dans les prises de décision. Les enjeux écologiques sont capitaux pour nos institutions et méritent une voix forte au sein des plus hautes instances de décision.

Cependant les équipes chargées des questions environnementales semblent être bien trop restreintes pour pouvoir impulser la décarbonation du spatial français. Les équipes ne comptent par exemple pas d'ingénieur.e avec une spécialisation environnementale.



Contribution du CNES à l'émergence d'un spatial durable

Le CNES a un rôle fondateur et moteur dans la "Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeurs" (voir partie 1.8.8) et le SCO (voir partie 1.8.2), initiatives utilisant les données spatiales à des fins particulièrement utiles à la société. Pourtant, comme l'ESA, le CNES souffre d'une profonde dissonance. Il annonce vouloir prioriser la transition du secteur tout en finançant une myriade d'acteurs sans prendre en compte de manière suffisante la dimension environnementale. Il est frustrant de constater que malgré l'urgence, l'utilité finale des projets n'est, aujourd'hui encore, pas systématiquement questionnée. Tous les appels à projets du CNES devraient inclure une part importante d'indicateurs en lien avec les impacts environnementaux et contenir une analyse coût/bénéfice environnemental. De plus, dans un souci de crédibilité, l'agence doit s'assurer de la continuité de cette démarche lorsqu'elle est impliquée dans des processus de financement (incubateurs de start-up, financements France 2030, etc) et jouer un rôle de conseiller technique également pour le volet environnemental. Le CNES joue déjà ce rôle de figure de proue du spatial France, reconnu pour son expertise technique et son importante capacité de financement.

Cependant, le volet environnemental est pour l'instant terriblement lacunaire et les équipes du CNES doivent s'étoffer de davantage d'expert.es durabilité pour pouvoir aiguiller l'ensemble de l'industrie sur la plupart des appels à projets.

Sur la question des débris, la France et le CNES ont ouvert la voie en mettant en place une réglementation contraignante qui a servi d'exemple au reste du monde. En effet, dès 2008, la loi sur les opérations spatiales a fixé une limite forte et contraignante : la libération de leur orbite par les satellites au maximum 25 ans après leur fin de service pour éviter la congestion. Cette réglementation a évidemment engendré des surcoûts pour les opérateurs mais a été saluée car elle permet la protection d'un bien commun nécessaire à tous. Plus de 10 ans après, si on peut saluer l'esprit visionnaire du CNES à l'époque, on peut également regretter qu'une volonté similaire ne soit pas présente sur les questions environnementales. La mise à jour du texte qui interviendra courant 2024 n'inclut toujours pas de mention de l'impact environnemental des lanceurs et des satellites¹.

Le CNES est mandaté pour piloter la définition de la trajectoire de décarbonation du secteur demandée par sa tutelle, le ministère de l'économie. Espérons que ces travaux aboutiront à une trajectoire ambitieuse qui servira de modèle au reste de l'Europe et du monde.

¹ Si cette loi dédiée aux opérations spatiales n'est pas forcément le meilleur endroit pour légiférer sur cette question, elle aurait été une formidable opportunité de poser les premières bases. Aucun texte de loi n'évoque à l'heure actuelle l'impact environnemental du spatial.

Conclusion sur le CNES

De nombreux chantiers sont engagés par le CNES et la dynamique de la direction développement durable est positive. Il reste maintenant à mener à bien les plans d'action amorcés et à renforcer la cohérence de l'agence sur l'ensemble des volets (notamment sur l'orientation des financements). Le rôle du CNES ne se limite pas à décarboner ses propres activités et installations mais doit jouer pleinement son rôle de moteur auprès de l'écosystème français et européen. Toute autre vision réduirait la portée de son action voire serait contre-productive si elle consistait en partie à soutenir des acteurs ou des projets qui ne le sont pas.

Le CNES a une responsabilité forte sur ses impacts et leurs communications auprès du grand public. L'omerta sur les émissions en haute atmosphère ne peut plus durer. En plus d'engager d'importants moyens dans la recherche, l'agence doit débiter la délicate vulgarisation du sujet.

Être intransigeant sur les questions environnementales, c'est aussi permettre au secteur spatial de rester aligné avec les enjeux de demain. C'est s'assurer de la pérennité du CNES dans un contexte dynamique où la commission européenne est en passe de récupérer des prérogatives spatiales et où les industriels sont en charge de la maîtrise d'ouvrage des futurs lanceurs. Le pilotage de la trajectoire sectorielle demandée par Bercy offre au CNES une opportunité unique de faire du spatial français un exemple à suivre.

Pour son avenir, celui du secteur et plus largement celui de la société, le CNES doit façonner une industrie spatiale française qui devienne un acteur incontournable de la compréhension, l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.

4.5. Airbus Defence & Space (ADS) & Thales Alenia Space (TAS)

Les deux acteurs nationaux majeurs du segment satellite n'ont pas fait l'objet d'une écoute, d'une attention et d'une transparence importante lors des tentatives de dialogue et d'échanges.

Ainsi, pour ADS, une seule rencontre très tardive a pu être organisée avec le secrétaire général du groupe chargé de ces questions. La réponse au questionnaire n'a été que partielle et surtout sous la forme de données agrégées pour l'ensemble du groupe Airbus. Sous cette forme, les données ne permettent aucunement une analyse pertinente du secteur spatial (la prédominance des problématiques de l'aérien au regard du champ d'activité du groupe rend totalement illisible l'identification de paramètres pertinents pour le secteur spatial).

Thales Alenia Space de son côté n'a pas souhaité répondre à notre questionnaire. Deux rencontres ont toutefois pu être organisées dont une avec la directrice stratégie et le directeur développement durable.

Rappelons que ces deux entreprises sont les plus gros fabricants de satellites en Europe. On peut ainsi regretter de ne disposer que de très peu d'informations sur ce segment fondamental du périmètre des activités spatiales. En effet, même si les enjeux associés aux lanceurs sont bien évidemment importants, le positionnement de ces acteurs dans la chaîne de valeur du secteur, entre l'amont des lanceurs qui restent un moyen de mise en orbite et l'aval associées à l'usage des solutions, leur confère une responsabilité structurante de l'évolution du secteur. Dit autrement, le flux de « fret spatial » (lanceur) ainsi que les impacts de l'aval reste intimement lié aux décisions stratégiques de développement des solutions de ces acteurs satellite.

L'absence de considération de nos demandes peut également être comprise comme un intérêt limité pour le sujet au sein de ces entités, ce que l'on ne peut que regretter.

Au regard de la faiblesse des éléments récoltés et de la relative cohérence du ressenti pour ces deux entités aux activités communes, nous avons pris le parti de les traiter de manière conjointe au sein d'une sous-partie commune.

ADS/TAS et la compréhension des impacts environnementaux du secteur spatial

Concernant les émissions en haute atmosphère, l'impact important des lanceurs ne doit pas masquer la question de la fin de vie des satellites. En effet, la destruction thermique des satellites conduit également à l'émission de particules en haute atmosphère avec des effets sur le changement climatique et la couche d'ozone. Ainsi, ces acteurs majeurs du segment satellite doivent être partie prenante et s'engager sur la compréhension et limitation de ces phénomènes et enjeux.

Sur la question de l'éco-conception et de la mise en place de données partagées sur les spécificités du domaine, TAS est favorable à l'intervention d'un acteur neutre pour moyenniser les données confidentielles de chacun afin d'éviter les problèmes de concurrence. La société nous a également annoncé travailler avec le groupe Thales sur l'implémentation d'un outil d'éco-conception propre au groupe. On ne peut que saluer ces annonces, qui vont dans le bon sens. Nous restons

toutefois vigilants sur les délais effectifs de mise en place, le périmètre effectif de déploiement (quelle partie des projets ? quelles émissions ?) et l'usage qui en sera fait (véritable démarche d'éco-conception ou simple analyse des impacts environnementaux).

Comme énoncé en introduction, la globalisation des démarches au niveau du groupe nuit à l'efficacité des mesures de réduction d'émissions qui nécessitent d'être sectorielles.

En termes d'actions concrètes de décarbonation de sa chaîne de valeur, TAS a engagé un plan dédié « fournisseurs » axé dans l'immédiat sur une compréhension de l'écosystème. Des questionnaires ont été envoyés aux fournisseurs principaux de premier rang¹ et des échanges mis en place pour envisager des trajectoires communes partagées de réduction de l'impact. TAS annonce vouloir prendre en compte le facteur environnemental dans le cadre de la sélection de ses nouveaux partenaires. ADS de son côté envoie le questionnaire environnemental et social CDP à ses fournisseurs.

Il est important également de noter que les deux sociétés sont engagées au niveau groupe (Thales et Airbus) par les trajectoires SBTi 1,5°C que les deux sociétés ont signées. Toutefois, l'efficacité et la déclinaison de ces trajectoires générales à l'échelle du groupe vers ces deux entités intervenant sur un secteur aussi particulier que le spatial reste à démontrer.

Même si les échanges avec nos interlocuteurs tant ADS que TAS ne semblent pas remettre en cause la compréhension des enjeux, les démarches en cours semblent toutefois embryonnaires voire à l'état d'intentions, ce qui ne peut conduire à des résultats importants à court terme.



Place des enjeux environnementaux

Airbus Defence & Space

ADS met en place des ateliers de sensibilisation auprès de ses employé.es (Fresque du Climat auprès de 1300 employé.es depuis un an) et des formations (ACV).

Le reporting carbone des émissions d'ADS semble aujourd'hui être géré au niveau d'Airbus Group. Comme énoncé en introduction, la structure du groupe Airbus et le poids relatif d'Airbus DS dans le groupe ainsi que la spécificité du secteur spatial constituent, en l'état, une difficulté supplémentaire pour la décarbonation de la société.

En effet, d'une part les émissions des activités spatiales d'ADS sont très faibles comparativement au reste des émissions d'Airbus Group, d'autre part, les leviers disponibles présentent de nombreuses différences au regard de la répartition de ces émissions : là où pour la partie aéronautique, la grande majorité des émissions vient de l'utilisation des avions¹ (comptabilisé dans les "produits vendus" du scope 3), pour les satellites, la part prépondérante des émissions est issue des achats (voir partie 2.4) (lanceur et matériaux).

¹ Principaux fournisseurs en contact direct avec l'entreprise.

¹ Voir notre analyse sectorielle dédiée pour plus de détails.

Thales Alenia Space

Ainsi, les stratégies de décarbonation de ces deux catégories d'émission n'ont rien à voir (efficacité énergétique des avions versus connaissance de sa chaîne de valeur amont). L'engagement d'Airbus de suivre une trajectoire SBTI à 1.5°C montre bien cet angle mort pour le périmètre spatial puisque celle-ci s'articule autour d'une réduction des émissions des scopes 1 & 2 (énergie site) et pour le scope 3 d'une réduction des émissions de GES de ses avions en service, objectif par essence inexploitable au secteur spatial.

Une feuille de route dédiée au périmètre espace ADS est ainsi nécessaire pour rendre la société maître de sa trajectoire. Avec le fonctionnement actuel, il y a clairement un problème de reporting interne. **Le spatial et l'aéronautique restent des secteurs très différents avec des problématiques et des leviers spécifiques qui doivent bénéficier de stratégies dédiées.** Là où l'aéronautique produit en série un nombre réduit de modèle, les satellites sont (à l'exception des satellites télécoms) bien souvent uniques. De plus, contrairement à l'aéronautique où la phase de combustion écrase les autres contributeurs, les émissions du secteur spatial sont étalées tout au long de la chaîne de valeur en impliquant de multiple acteurs. Il faut donc une direction claire et une coordination rigoureuse pour engager une décarbonation efficace.

Les équipes rencontrées et chargées de ces questions font un très bon travail mais comme identifié précédemment avec des effectifs bien trop limités. Une entreprise de cette taille ne peut se reposer sur quelques individualités, aussi motivées soient elles. Que se passe-t-il si elles quittent l'entreprise ? La structuration d'une organisation pertinente au bon niveau de décision pour piloter ces enjeux et coordonner l'engagement des autres secteurs de l'entreprise (R&T, Logistique, RH, achats, etc) nous semble un préalable à toute action efficace.

A l'instar d'ADS, le reporting carbone des émissions de TAS et la politique globale est portée au niveau du Groupe. Les mêmes maux sont ainsi attendus dans la compréhension et la mise en œuvre des leviers d'action pertinents du secteur.

Un certain nombre de leviers de sensibilisation des effectifs semblent avoir été mis en place : fresques du climat et de la biodiversité (60 formateurs en interne), formations à l'éco-conception, formations « achats responsable » dédiés aux acheteur.ses.

La gouvernance des sujets "durabilité" se décline en deux temps dans l'entreprise: Une partie est portée par la stratégie et compte la directrice de la stratégie ainsi que deux personnes.

Les décisions sont alors appliquées de manière opérationnelle par les réseaux d'équipes existant (achats, HSE¹ au niveau du site, HSE au niveau des produits, etc). Dans l'équipe stratégie, le directeur innovation (de rupture) et *business intelligence* ne s'occupe plus de *business intelligence*, il est désormais directeur innovation et développement durable.

Malheureusement, aucun membre du comité exécutif n'est exclusivement dépositaire du mandat des questions environnementales.

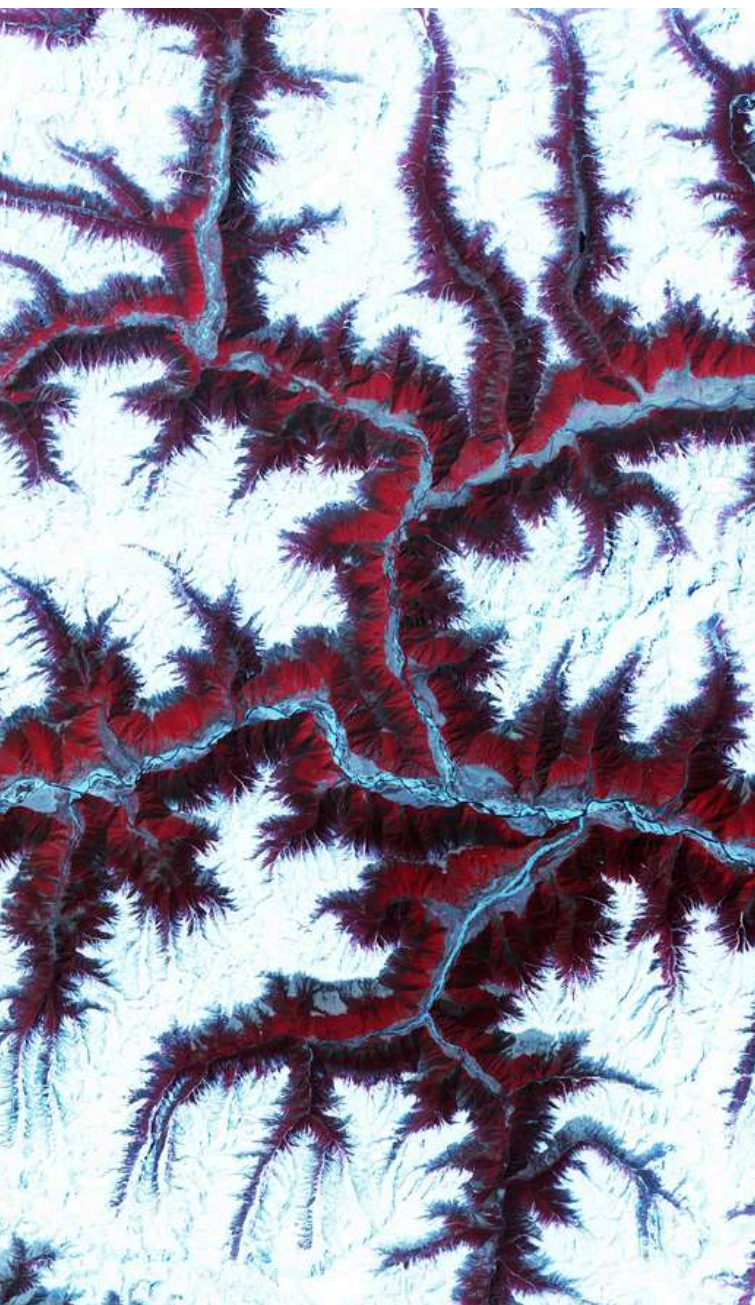
Le portage de ces sujets par la stratégie peut permettre d'avoir une vision globale. Mais le risque est que ces sujets soient invisibilisés avant même d'atteindre le COMEX sur des décisions importantes. On peut s'étonner de voir le directeur développement durable être également chargé de l'innovation dont les orientations peuvent s'avérer à certains moments antinomiques.

Comme pour ADS, nous ne doutons pas de la bonne volonté des équipes mais les ressources engagées au quotidien, au regard de l'immensité de la tâche, semblent largement insuffisantes.

¹ Hygiène Sécurité Environnement

Contribution à l'émergence d'un spatial durable

En tant que fabricants et distributeurs de solutions spatiales satellitaires permettant l'acquisition de données pour la partie "aval" (voir partie 1.1) du secteur, l'activité économique d'ADS et de TAS est également dépendante de l'exploitation de ces données et donc de leurs émissions. Cette dépendance doit donc être interrogée au regard du monde de demain. De plus, en tant que concepteurs de leurs plateformes, ils détiennent une partie des solutions à déployer pour réduire l'impact de ces dernières sur le changement climatique et l'environnement en général.



Airbus Defense & Space

Les leviers décrits dans la partie 3.3 (sur l'émergence d'un secteur spatial durable) impliquent une certaine prise de recul et un niveau d'engagement sur les questions écologiques qui ne sont pas atteint par ADS.

Le travail à mener démarre par une meilleure mesure et compréhension des enjeux de la société en matière de changement climatique, loin de l'ombre déformante de l'activité aéronautique principale du groupe. Le reporting doit être scindé pour rendre visible les problématiques et leviers propres au secteur spatial.

Il faut cependant noter que contrairement à TAS (voir partie 4.4.3.2), ADS n'est à l'heure actuelle pas impliqué dans des projets de tourisme spatial.

Airbus Group peut également utiliser sa position d'actionnaire d'ArianeGroup pour inciter à mettre le sujet sur la table. Plus largement, c'est l'un des principaux acteurs, si ce n'est le plus important, de l'industrie européenne d'aérospatiale. Malgré la vacuité des actions climatiques initiées jusqu'à présent, l'entreprise peut à elle seule déclencher la décarbonation du secteur. Après avoir défini une feuille de route pour le spatial avec ADS, l'entreprise peut faire en sorte de la décliner pour le reste du continent. Les enjeux climatiques vont devenir de plus en plus prégnants dans tous les secteurs et dans toutes les industries et Airbus Group à l'opportunité de faire en sorte de prendre de l'avance sur la concurrence internationale.

Thales Alenia Space

Les satellites d'observation de la Terre peuvent permettre de monitorer les conséquences du changement climatique et suivre les sources d'émissions de GES. Bien que fort utiles, ils ne permettent pas de réduire directement les émissions. Peut-on alors imaginer un projet spatial qui aille dans ce sens ?

Cette question est éminemment cruciale pour l'industrie spatiale qui peut alors légitimer des projets d'envergure malgré la contrainte climatique. En proposant une source d'énergie renouvelable, Solaris est une de ces réponses. Mais comment peut-on s'assurer de la réelle plus value d'un tel projet par rapport à une application terrestre ? La réponse n'est pas simple et passe par une étude d'impact rigoureuse et transparente. De plus, il faut accepter la possibilité de laisser tomber le projet si les résultats ne sont pas concluants.

Au vu des annonces faites par TAS et le consortium qui l'accompagne, une telle étude est en cours pour le projet ASCEND. L'objectif est de mettre en orbite des serveurs alimentés par énergies solaires. Il faut évidemment rester prudent pour s'assurer que le périmètre de l'étude est suffisamment vaste, que l'ensemble des émissions (même en haute atmosphère) et des impacts sont pris en compte. Le projet verrait potentiellement le jour dans plusieurs décennies. L'évaluation de ses impacts constitue en partie un exercice de prospective. Il faut alors s'assurer de la pertinence des hypothèses d'évolution technologique et s'assurer qu'elles ne sont pas sur-optimistes. Si elle est menée jusqu'au bout en toute transparence, l'étude d'ASCEND pourrait ouvrir la voie à beaucoup d'autres travaux et devenir une référence pour le secteur. Des travaux similaires doivent voir le jour pour Solaris¹ mais la volonté de transparence sur l'étude d'impact semble cependant malheureusement être nettement moindre.

S'il est nécessaire de saluer les efforts de TAS (en espérant que la volonté de transparence affichée ne soit pas un effet d'annonce) quant à l'étude d'impact, on ne peut s'empêcher de s'interroger sur l'utilité finale d'ASCEND. Mettre des serveurs en orbite pour limiter leurs impacts, n'est ce pas prendre le risque d'un fulgurant effet rebond alors même que l'on devrait prôner la sobriété numérique ?

L'implication de TAS dans les projets de tourisme spatial de la start-up américaine Axiom space est regrettable et témoigne du manque de questionnement de l'entreprise quant à l'utilité finale de ses produits. Même en se décarbonnant partiellement, au vu des besoins énergétiques nécessaires pour lutter contre la gravité, le tourisme spatial restera une activité très carbonée ne bénéficiant qu'à une fraction extrêmement réduite de la population. Dès lors, est-ce utile d'investir de gros efforts pour réduire les émissions d'une industrie qui s'empressera de se présenter comme "bas carbone" ? La décarbonation est certes importante mais le choix de nos activités l'est tout autant.

¹ Pour rappel, Solaris est un projet de fermes solaires en orbite porté par l'ESA et dont TAS est chargé de l'étude de faisabilité.



Vue artistique du projet ASCEND

Source : TAS

Conclusion sur ADS / TAS

Bien que très loin de la démesure de certains acteurs américains ou chinois, les deux entreprises semblent conduire une myriade de petites actions pour pouvoir justifier d'agir pour l'environnement à moindre frais.

À l'exception de quelques sujets, les deux acteurs satellites semblent peu proactifs. Pourtant, comme exprimé en introduction de cette partie, le positionnement de ces entités à la genèse des solutions techniques satellitaires entre les acteurs du lancement en amont, et les opérateurs et exploitants des données en aval leur donne un rôle central dans l'avenir du secteur, qu'il soit décarboné ou non.

Il semble que ces deux géants s'attendent mutuellement. L'un ne bougera pas si l'autre ne le fait pas, et vice versa. On aimerait pourtant que la compétition fasse son office et que la prise en compte des sujets environnementaux soit perçue comme un moyen de distancier l'autre.

Les seuls motifs d'espoir perçus : la motivation et l'engagement sincère sur les questions de transition de certain.es salarié.es mais il s'agit là uniquement des personnes en interface pour la plupart sans responsabilité et marge de manœuvre claire permettant d'engager des changements en profondeur. Si ces entreprises peuvent se réjouir de compter des personnes motivées dans leurs rangs, on ne peut que déplorer qu'elles n'en soient qu'aux balbutiements de sa transition. Faut-il attendre que ces employé.es, jeunes et moins jeunes, préoccupé.es par l'écologie se désintéressent massivement de ces entreprises pour enfin amorcer la course au progrès dont nous avons tant besoin ? Doit-on attendre un *space bashing* comparable à celui existant sur l'aéronautique pour commencer à considérer en profondeur ces sujets ? Ces questions environnementales, au-delà de préservation de l'habitabilité de la planète, sont de réels leviers de recrutement et de résilience pour TAS et ADS. S'il est indéniable que les discours évoluent dans le bon sens, les actions prises en conséquence sont encore bien trop marginales pour considérer que ces géants européens ont véritablement amorcé leur transition.

4.6. Et les autres ?

Si les cinq organisations rencontrées dans le cadre de ce rapport sont essentielles à la transition du secteur spatial en France, cette dernière nécessite l'implication franche et coordonnée de bien d'autres parties prenantes. Étendre l'envoi de questionnaires et les rencontres régulières à davantage d'acteurs nous a semblé incompatible avec une charge de travail soutenable par quelques bénévoles. Nous remercions cependant les équipes de la *Direction Générale des Entreprises (DGE)* du Ministère de l'Économie et des Finances (ministère chargé des questions spatiales) ainsi que de *Kinéis* et *VorteX-io* d'avoir accepté une rencontre ponctuelle. Si les leviers d'actions de la partie 3 restent applicables pour la majorité des parties prenantes, il nous semble nécessaire de préciser certains points.

La puissance publique

La transition du secteur spatial est un exercice compliqué pour l'État qui implique de faire travailler de concert un grand nombre d'acteurs pour être réalisée de manière efficace.

L'État a un rôle à jouer dans la co-définition avec le CNES et les industriels de la trajectoire de décarbonation mais aussi dans son pilotage. De la même manière que la France doit davantage missionner l'ESA sur les questions de décarbonation, l'État peut explicitement renforcer le rôle du CNES sur ces questions dans le prochain Contrat d'Objectif et de Performance¹.

Un des défis majeurs nous semble être l'orientation des financements. En effet, cela implique de coordonner des acteurs avec des niveaux d'expertise très différents des questions spatiales.

Ces financements peuvent intervenir pour décarboner la chaîne de valeur. Le projet HYGUANE (voir partie 4.3.) auquel le CNES, l'ESA et l'ADEME² ont contribué en est un exemple. La décarbonation des PME et ETI fournissant des pièces aux plus gros acteurs sera plus laborieuse et doit également impliquer la BPI³. L'ADEME a également un rôle à jouer en partenariat avec le CNES pour enrichir ses bases de données de manière à inclure des informations spécifiques au secteur spatial. Cette orientation des financements doit également se faire au moment du soutien à l'émergence de nouveaux acteurs français en priorisant dès maintenant certains acteurs au regard de critères environnementaux et en questionnant l'utilité finale des projets. Cela concerne en particulier la BPI et le SGPI⁴ (Secrétariat en charge du programme de financement *France 2030*). Lors du lancement d'un projet, les appels d'offres de projets spatiaux doivent eux aussi intégrer des critères environnementaux.

Enfin, tout en faisant du spatial français un acteur exemplaire, l'État peut œuvrer à exporter nos exigences environnementales à l'internationale (La *Space Law* en discussion à la commission européenne en est un parfait exemple).

¹ Il s'agit du document dans lequel l'Etat missionne le CNES en définissant les grandes priorités (voir plus [ici](#)).

² [L'Agence Française de la Transition Ecologique](#).

³ [La Banque Publique d'Investissement](#).

⁴ [Le Secrétariat Général Pour l'Investissement](#).

Les opérateurs satellites

Les opérateurs sont les sociétés qui exploitent les données des satellites une fois que ces derniers ont été conçus, fabriqués (par TAS ou ADS par exemple) et mis en orbite (par ArianeGroup par exemple). Parmi ces entreprises, on trouve certains grands acteurs comme Eutelsat, SES ou encore Inmarsat. On peut faire un parallèle entre un opérateur de satellites et une compagnie aérienne dans l'industrie aéronautique. Ces entreprises sont en bout de chaîne de valeur, elles utilisent des produits fabriqués par d'autres. Il serait cependant erroné de croire que les opérateurs n'ont pas de leviers pour réduire l'impact environnemental des missions. Un opérateur est impacté par les émissions du reste de la chaîne (ces émissions apparaissent dans son scope 3). Un moyen de réduire ces dernières est donc de choisir des services les plus décarbonés possible en amont (sur le choix du satellite et du lanceur). Ainsi, **des opérateurs avec des exigences environnementales qui se renforcent sont autant d'incitation à la décarbonation pour les fabricants de satellites et de lanceurs**. Il est donc important d'être tout aussi exigeant dans la volonté de ces opérateurs à décarboner leur chaîne d'approvisionnement.

Les opérateurs sont également fortement décisionnaires sur la nature de leur modèle économique, les technologies associées et donc le nombre de satellites qui composent leur constellation. Ce nombre est le résultat d'un compromis entre la performance et le coût de mise en orbite au regard du chiffre d'affaires estimé du marché ciblé. Le nombre de satellite peut impacter la latence (en choisissant l'orbite basse plutôt que l'orbite géostationnaire, mais cela implique un plus grand nombre de satellites), la couverture (avec des satellites sur des orbites plus ou moins inclinée) et la qualité du signal (en augmentant la fréquence de passage des satellites). À l'heure actuelle, il semblerait que les critères environnementaux ne soient pas pris en compte dans la définition de la taille d'une constellation. C'est pourtant un élément central qui permettrait de réduire rapidement l'impact du secteur, en faisant preuve de sobriété.

Les start-up

Les *start-up* sont des structures qui par essence visent une croissance rapide, souvent décrites comme incompatibles avec une prise en compte responsable des questions environnementales. Leur développement s'est considérablement accru ces dernières années, faisant peser le risque d'une augmentation rapide de l'impact du secteur. De plus, certains outils, comme les analyses de cycle de vie, sont des méthodes longues et coûteuses qui rebutent parfois les *start-up* par faute de temps ou de moyens humains pour les mettre en place. Mais alors, quelles questions ces structures prenant sérieusement en compte les questions environnementales doivent-elles se poser ?

Toute *start-up* intervenant dans le domaine des lanceurs peut **questionner l'utilité finale des projets qu'il met en orbite** (en priorisant la signature de contrat avec certains acteurs plutôt que d'autres), mettre en place une démarche d'éco-conception et **choisir ses ergols** de sorte à réduire leur impact (en évitant notamment les propulsions kérosène/oxygène liquide, solide et hybride), et adapter sa fréquence de lancement. Toute *start-up* intervenant dans le secteur des satellites peut s'interroger sur la finalité de sa constellation (notre activité est elle plus utile en opérant des satellite d'observation de la Terre, d'IoT, d'internet etc), la **réduction du nombre de satellites** dans une constellation (en intégrant l'impact environnemental dans le choix du nombre de satellites) et tout faire pour réduire l'impact unitaire d'un satellite (en prenant en compte tout son cycle de vie, des particules émises lors de la fin de vie mais aussi la quantité de données générée lors de son activité).

Toute *start-up* impliquée dans les transports spatiaux peut se **désengager du tourisme spatial** (en refusant de transporter des touristes ou de desservir une station touristique) et en limitant l'impact unitaire de leur mission.

Si les *start-up* doivent se poser ces questions, c'est également le cas des incubateurs qui les sélectionnent et les accompagnent.

Les médias

La question de la durabilité du secteur spatial est délicate et les journalistes ne sont pas toujours spécialistes du secteur. Il n'est pas rare de rencontrer des exemples grossiers de désinformation, même de sources connues pour leur sérieux, sur les impacts du secteur. Pour éviter cela, la première chose est de saisir d'où viennent les impacts climatiques. Comme évoqué précédemment, il faut prendre en compte l'ensemble du cycle de vie et en particulier les émissions de particules en haute atmosphère.

Prendre en compte cette simple phrase peut suffire au lecteur attentif pour debunker un grand nombre d'erreurs publiées régulièrement. Le journal *Le Monde* écrivait dans un [article de décembre 2023](#) que la phase de lancement d'une Ariane 5 émet 250 tonnes de CO₂. Cette phrase est correcte si l'on ne considère que la phase de lancement et que les émissions de CO₂. Il est cependant fondamentalement erroné d'annoncer que "globalement, les lanceurs de la gamme Ariane ou Falcon de SpaceX rejettent entre 200 et 400 tonnes de CO₂ dans l'atmosphère."

De la même manière, l'article affirme que "la part du spatial [dans les émissions mondiales] est estimée à 0,000078%". En prenant seulement en compte les impacts des particules dans la haute atmosphère, les travaux de Ross suggèrent que le secteur spatial est responsable de 0.6% de l'impact climatique mondial. Il est tout de même regrettable qu'un journal tel que *Le Monde* se trompe potentiellement de près d'un facteur 10000 sur un chiffre si important.

Un autre point d'attention est le vocabulaire employé par le secteur. Le mot "durabilité" (*sustainability* en anglais) est devenu omniprésent dans les communications du secteur spatial. Ce terme ambigu regroupe en réalité un ensemble de problématiques: l'augmentation fulgurante du nombre de débris spatiaux et la préservation des orbites, la difficultés à maintenir des systèmes actifs dans l'espace ou sur la Lune, la gestion du

trafic spatial dans la congestionnée orbite basse, la capacité des données spatiales à informer sur le changement climatique. Étonnement, la réduction de l'impact du secteur lui-même est une problématique rarement incluse. Il faut donc porter un regard très critique sur son périmètre lorsque la notion de *space sustainability* est employée.

De la même manière, le terme de "green propellant" (ergol "vert") employé de manière croissante pour des ergols dont les caractéristiques sont généralement uniquement d'être moins toxiques que leurs prédécesseurs (retrait du plomb par exemple). Cela n'en fait pas pour autant des produits « verts » et encore moins sans impact climatique.

Les compétences journalistiques et la volonté d'informer sur le sujet du changement climatique ont indéniablement évoluées dans le bon sens au niveau des médias notamment « mainstream ». Toutefois, le secteur spatial présente encore des caractéristiques particulières en termes d'impacts environnementaux, caractéristiques mal comprises ou connues des journalistes même affecté au service dédié « environnement ». Cela est regrettable car ils sont nécessaires pour informer correctement le grand public et permettre l'émergence d'un débat démocratique sain et éclairé sur le rôle du secteur spatial dans notre société.

Conclusion

Le secteur spatial a un fonctionnement complexe et peu connu. S'il a toujours été en perpétuelle évolution c'est en particulier le cas ces dernières années avec l'avènement du *New Space* qui a vu le passage d'une "économie de la rareté" où le coût des lancements était limitant à une "économie de l'abondance" où la durée de vie des satellites est considérablement réduite. Or, si son fonctionnement est méconnu, ses impacts environnementaux le sont encore davantage. La vapeur d'eau au décollage et les émissions de CO2 sur la phase de lancement retiennent généralement l'attention du grand public alors que le gros du problème est ailleurs. Le réel inconvénient de cet impact est que l'on l'évalue très mal et qu'il est potentiellement largement sous-estimé. Pour cela il faut blâmer en particulier les émissions hautes atmosphères, phénomène complexe, local et très peu étudié. N'oublions pas cependant que le manque de connaissances de la composition des systèmes, le manque de données relatives aux émissions spécifiques du secteur et la déplétion de l'ozone sont autant d'enjeux majeurs qu'il faut également adresser.

À court terme, le point d'attention majeur du secteur est la croissance du nombre de lancements compte tenu des lacunes de nos connaissances sur les impacts des émissions haute atmosphère.

La transition du secteur va nécessairement passer par une compréhension plus fine des impacts. Pour cela des moyens importants doivent être investis dans la recherche. La nécessité de transformation du secteur doit être intégrée de manière transverse au sein des entreprises. Les équipes RSE doivent évidemment disposer des moyens suffisants et de compétences spécifiques. Mais face au plus grand défi de notre temps, les équipes RSE ne doivent pas être les seules à être mobilisées. L'ensemble des collaborateurs, direction y compris, doivent intégrer de manière prégnante ces enjeux dans leur quotidien afin de faire évoluer leur portefeuille de produits et de services et donc *in fine*, réinventer leurs modèles économiques.

Si le besoin de transition est réel pour chaque secteur, il est d'autant plus crucial pour le spatial. Au-delà du très médiatisé syndrome de Kessler, l'industrie est portée par d'importants financements institutionnels dépendant eux-même de l'opinion publique. L'absence de mesures fortes va inévitablement mener à un *space bashing* dommageable également aux applications vertueuses. De plus, que ce soit la conception des missions, le développement des lanceurs, la mise en place de l'appareil industriel, tout dans le spatial prend du temps, imposant une temporalité très particulière au secteur. Cela augmente grandement le besoin d'avoir un pilotage clair et efficace permettant de prendre des décisions éclairées bien en amont d'éventuelles difficultés. Or à l'heure actuelle, ce pilotage global est inexistant.

Comme pour les questions de changement climatique au sens large, la transition du secteur spatial est un vaste dilemme du prisonnier à échelle planétaire. Tous les acteurs ont largement intérêt à collaborer et à évoluer rapidement mais personne ne souhaite faire le premier pas, de crainte d'être lésé, dans un contexte géopolitique et concurrentiel difficile. En attendant, nous perdons de précieuses années qui sont autant d'opportunités d'amorcer la transition dans un contexte climatique et énergétique relativement stable. Les émissions actuelles du spatial ne sont certes pas prépondérantes à échelle mondiale mais la tendance à la hausse exponentielle empruntée par le secteur est extrêmement préoccupante, comme l'illustre le dernier rapport de l'ONU qui évoque 6 points de bascule à risque pour l'Humanité, dont le Spatial et la surproduction de déchets. Les acteurs doivent se coordonner et agir dès maintenant.

Si les discours changent doucement, le secteur reste en retard et amorce péniblement sa transition. Au-delà de la question de la préservation du secteur spatial, notre priorité dans ce monde contraint doit être de questionner nos usages. De quoi avons-nous réellement besoin ? Cette interrogation est valable pour l'ensemble des industries et doit impérativement être déclinée pour le secteur spatial : de combien de lancements avons-nous besoin ? Ou plutôt, de combien de lancements ne pouvons-nous pas nous passer ? Ces considérations éthiques ne doivent pas rester uniquement théoriques mais les acteurs doivent pleinement s'en saisir. Au-delà des beaux discours, c'est à ce genre d'engagements que l'on reconnaît une entreprise qui a réellement compris la nécessité absolue de la transition. Nul doute que c'est à cela que nombre de professionnels d'aujourd'hui et de demain choisiront leur entreprise.

Références bibliographiques

Référence	Sous-partie
[SENAT2023] Sénat (2023). <i>L'exploitation des ressources spatiales : un défi technique, un enjeu stratégique, une opportunité économique</i> . Rapport d'information, partie III.	1.4.
[FALLE2023] Falle, A., Wright, E., Boley, A., & Byers, M. (2023). <i>One million (paper) satellites</i> . Science.	1.5.
[ESA2015] Agence Spatiale Européenne (2015). <i>Satellite earth observations in support of climate information challenges</i> .	1.8.
[ANRT2023] Groupe Objectif Lune de l'ANRT (2023). <i>Fertilisation croisée spatial/non-spatial</i> . Note stratégique.	1.8.
[ONU2023] Université de l'ONU (2023). <i>Interconnected Disaster Risks report</i> .	1.8.
[ARCOM2024] ARCOM (2024). <i>Étude de l'impact environnemental des usages audiovisuels en France</i> .	1.8.
[TSP2024] The Shift Project (2024). <i>Énergie, climat : Des réseaux sobres pour des usages connectés résilients</i> .	1.8.
[OSORO2024] O. Osoro, E. J. Oughton, A. R. Wilson, A. Rao (2024). <i>Sustainability assessment of Low Earth Orbit (LEO) satellite broadband mega-constellations</i> .	1.8.
[MIRAUX2022] Miraux, L., Wilson, A. R., & Calabuig, G. J. D. (2022). <i>Environmental sustainability of future proposed space activities</i> . Acta Astronautica.	1.8. 2.4.
[WILKINSON2023] Wilkinson, R., Mleczko, M. M., Brewin, R. J. W., Gaston, K. J., Mueller, M., Shutler, J. D., ... & Anderson, K. (2023). <i>Environmental impacts of earth observation data in the constellation and cloud computing era</i> . Science of The Total Environment.	1.8.
[ESA2016] European Space Agency Life Cycle Assessment Working Group (2016). <i>Space System Life Cycle Assessment (LCA) Guidelines Technical Report</i> . No. ESSB-HB-U-005.	2.1.
[MIRAUX2022B] Miraux, L., Pineau, L., Noir, P. (2022). <i>Parametric Life Cycle Assessment of a Space Launch Service Based on a LOx/Biomethane Semi-reusable Launcher</i> .	2.3. 3.1.

Référence	Sous-partie
[RYAN2022] Ryan, R. G., Marais, E. A., Balhatchet, C. J., & Eastham, S. D. (2022). <i>Impact of rocket launch and space debris air pollutant emissions on stratospheric ozone and global climate</i> . Earth's Future.	2.3.
[WILSON2022] Wilson, A. R., Vasile, M., Maddock, C. A., & Baker, K. J. (2022). <i>Ecospheric life cycle impacts of annual global space activities</i> . Science of the Total Environment.	2.4.
[ROSS2014] Ross, M. N., & Sheaffer, P. M. (2014). <i>Radiative forcing caused by rocket engine emissions</i> . Earth's Future.	2.4. 4.1
[BONNEUIL2021] Bonneuil, C., Choquet, P. L., & Franta, B. (2021). <i>Early warnings and emerging accountability: Total's responses to global warming, 1971–2021</i> . Global Environmental Change.	3.1.
[LEE2021] Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., ... & Wilcox, L. J. (2021). <i>The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018</i> . Atmospheric Environment, 244, 117834.	4.1

Abréviations

Abréviation	Signification
ACV	Analyse du Cycle de Vie
ADEME	Agence de la transition Écologique
ADS	Airbus Defence & Space
AG	ArianeGroup
Al2O3	Formule chimique de l'alumine
BC	Black Carbon, suies en français
BPI	Banque Publique d'Investissement
Cl	Symbole chimique Chlore
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales, agence spatiale française
CO2	Formule chimique du dioxyde de carbone
CO2eq	CO2 équivalent
COMEX	COMité EXécutif
CSA	Agence spatiale canadienne
CSG	Centre Spatial Guyanais
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive, directive européenne
ESA	Agence Spatiale Européenne
ETI	Entreprise de Taille Intermédiaire
EUSPA	Agence spatiale de l'Union Européenne
DGE	Direction Générale des Entreprises
DPEF	Déclaration de Performance Extra-Financière
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

Abréviations	Signification
GNSS	Global Navigation Satellite Systems, système de positionnement par satellite
H ₂ O	Formule chimique de l'eau
HCl	Formule chimique de l'acide chloridrique
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IoT	Internet of Things
ISS	International Space Station
JAXA	Agence spatiale japonaise
LOS	Loi sur les Opérations Spatiales
ONU	Organisation des Nations Unies
NASA	Agence spatiale des Etats-Unis
NO _x	Formule chimique des oxydes d'azotes
PDG	Président Directeur Général
PME	Petite ou Moyenne Entreprise
R&D	Recherche & Développement
RGPD	Règlement Général sur la Protection des Données
RSE	Responsabilité Sociétale des Entreprises
SBSP	Solar-Based Space Production, production d'énergie solaire dans l'espace
SCO	Space for Climate Observatory, initiative d'observation du climat
SNBC	Stratégie Nationale Bas-Carbone
SRM	Solid Rocket Motor, propulsion solide
TAS	Thales Alenia Space
UE	Union Européenne

ANNEXE

Avis sur les entreprises

	AG ArianeGroup	ESA Agence spatiale européenne	CNES Centre National d'Etudes Spatiales	ADS Airbus Defense & Space	TAS Thales Alenia Space
Partie 1 - Contribution des organisations à la compréhension des impacts du secteur					
+++	Canopée (cargos à voile pour le transport d'Ariane 6)	Soutien à la décarbonation de la chaîne de valeur (Canopée, CSG, etc) Soutien à l'industrie sur la méthodologie et les données pour les ACV	Soutien à la décarbonation de la chaîne de valeur (Hyguane, Bifrost, etc)		
++	Bilan GES sur les 3 scopes Dossier environnemental Ariane 6 mais pas d'éco-conception	ACV réalisée sur les grands programmes (Ariane 6, Galileo, segment sol)	OASIS (outil d'ACV)	Envoi de questionnaires à ses fournisseurs	Outil d'éco- conception Envoi de questionnaires à ses fournisseurs
+	Démarche éco- conception avec MaiaSpace mais pas directement AGS	Organisation des Clean Space Industrial Days		Trajectoire SBTi 1.5°C	Trajectoire SBTi 1.5°C
-					
--	Lanceur Ariane 6 à propulsion solide fortement émetteur	ACV pas systématisée sur l'ensemble des projets			
---	Très peu de recherche sur les émissions haute atmosphère	Très peu de recherche sur les émissions haute atmosphère	Très peu de recherche sur les émissions haute atmosphère	Très peu de recherche sur les émissions haute atmosphère	Très peu de recherche sur les émissions haute atmosphère

AG ArianeGroup	ESA Agence spatiale européenne	CNES Centre National d'Études Spatiales	ADS Airbus Defense & Space	TAS Thales Alenia Space
-------------------	--------------------------------------	---	----------------------------------	-------------------------------

Partie 2 - Place des enjeux environnementaux au sein des organisations

+++		ESA green agenda			
++		Equipe RSE fournie	Responsable RSE siégeant au COMEX		
+	Expert.es en environnement spatial mais nombre insuffisant Volonté de sensibilisation des salarié.es	Expert.es en environnement spatial mais nombre insuffisant Volonté de sensibilisation des salarié.es	Volonté de sensibilisation des salarié.es	Volonté de sensibilisation des salarié.es	Volonté de sensibilisation des salarié.es
-	Équipe RSE réduite Pas de responsable RSE siégeant au COMEX	Pas de responsable RSE siégeant au COMEX	Équipe RSE réduite Pas d'expert.es en environnement spatial	Équipe RSE réduite Pas de responsable RSE siégeant au COMEX ADS	Équipe RSE réduite Pas de responsable RSE siégeant au COMEX TAS
--		Formation environnementale des astronautes insuffisante			
---				Reporting carbone géré au niveau du groupe Airbus et pas ADS	Reporting carbone géré au niveau du groupe Thales et pas TAS

AG ArianeGroup	ESA Agence spatiale européenne	CNES Centre National d'Études Spatiales	ADS Airbus Defense & Space	TAS Thales Alenia Space
-------------------	--------------------------------------	---	----------------------------------	-------------------------------

Partie 3 - Contribution des organisations à l'émergence d'un spatial durable

+++		ESA green agenda	Implication dans le SCO et la charte catastrophes majeures	Pas d'implication dans des projets de tourisme spatial	Volonté de transparence dans l'étude d'impact du projet ASCEND
++	Proactivité et transparence dans l'évolution du secteur	Volonté de pousser la décarbonation mais manque d'appui politique	Volonté de pousser la décarbonation mais manque d'appui politique		
+					
-		Statement insuffisamment ambitieux dans sa forme actuelle			
--			Pas d'inclusion de l'impact environnemental du spatial dans la loi	Faible proactivité dans l'évolution du secteur Peu de remise en question du modèle économique	Faible proactivité dans l'évolution du secteur
---	Modèle économique ne questionnant pas les usages (<i>Kuiper</i>)	Manque de fléchage environnemental des financements	Manque de fléchage environnemental des financements		Modèle économique ne questionnant pas les usages (tourisme spatial)



**POUR UN REVEIL
ÉCOLOGIQUE**

Collectif Pour un réveil écologique



pour-un-reveil-ecologique.org



julien.doche@pour-un-reveil-ecologique.org

prunelle.vogler@pour-un-reveil-ecologique.org

Mars 2025 (V2)

