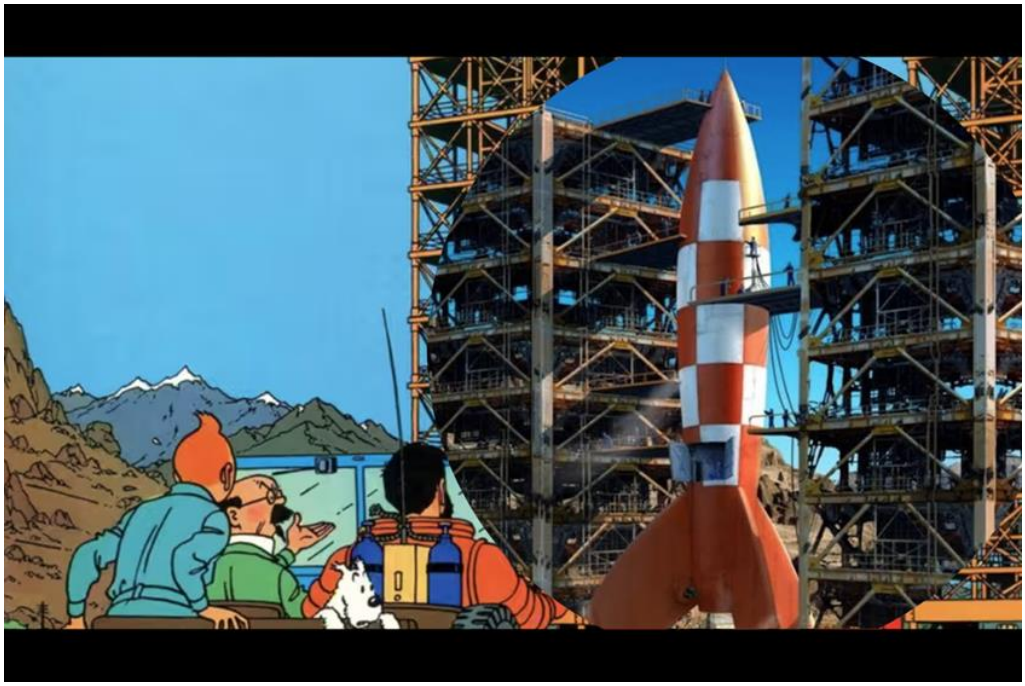
INSPIRING EDUCATION INSPIRING LIFE

Mastère Spécialisé®
« MANAGEMENT DE L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE »



THÈSE PROFESSIONNELLE

Le New Space en Europe et en France : Le lanceur réutilisable une analyse des défis et des opportunités.

Le lanceur réutilisable est-il une nécessité pour l'Europe du Spatial et pour la France afin qu'elles puissent s'inscrire durablement dans l'ère du New Space (Horizon 2030) ?

Michel CONDÉ

Sous la direction de Victor DOS SANTOS PAULINO
Tuteur : Pascal GELOTO

1 REMERCIEMENTS



Tous ces mots regroupés en forme d'étoile pour tout simplement vous dire merci !

Merci à vous Victor DOS SANTOS POLINO pour avoir suivi ma thèse et pour tous les échanges qui j'espère ne s'arrêteront pas en si bon chemin.

Merci à toi Pascal GELOTO pour avoir accepté d'être mon tuteur et pour m'accompagner dans cette aventure d'entreprenariat aux confins de la SpaceTech.

Un grand merci à ma famille, mes amis pour me soutenir et pour avoir accepté de rêver grand avec moi.

Merci à toute l'équipe INFINITY SPACE PROVIDERS, nous allons faire de grandes choses. L'aventure est belle. Et comme le dit le proverbe nous visons la Lune pour mieux tomber dans les étoiles.

Merci à tous mes camarades de la 40ème promotion du MIT, quelle aventure. Ce sont des souvenirs pour la vie.

Un grand merci à tous ceux que j'aurai croisés, à ceux avec qui j'ai pu échanger, qui m'auront inspirés, motivés , encouragés.

Tout simplement Merci !

Comme le dit si bien Buzz l'Eclair : Vers l'Infini et au-delà !!!

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

2 EXECUTIVE SUMMARY

En premier lieu nous nous sommes attaché à définir les fondements théoriques et structurels de l'étude. Nous avons exploré le concept du New Space, défini le New Space européen et examiné l'évolution de l'industrie spatiale en France et en Europe.

Dans la deuxième partie sur l'analyse des défis techniques et technologiques, nous nous sommes concentré sur les principes des lanceurs réutilisables, les mécanismes de récupération et de réutilisation, ainsi que les avantages et inconvénients associés.

Dans la troisième partie nous avons abordé les enjeux économiques et commerciaux. Nous mettons en lumière la place du lanceur sur le marché spatial, le prix de la mise en orbite des charges utiles, et l'approche Lean Start-up dans le New Space, avec des études de cas sur SpaceX - Falcon 9 et Blue Origin - New Shepard.

Dans la quatrième partie nous parlons du "Cadre Réglementaire et Politique". Nous examinons les réglementations spatiales, les initiatives gouvernementales, les considérations éthiques et environnementales, ainsi que les implications pour la coopération internationale.

Nous émettons dans la cinquième partie 20 propositions pour l'émergence des lanceurs réutilisables en Europe et en France en nous basant sur la « méthode Elon » développée par Michaël VALENTIN.

Dans une dernière partie nous avons confronté notre vision du lanceur réutilisable à différents profils qui interviennent dans l'écosystème des activités spatiales.

Nous en concluons sur la nécessité pour l'Europe et la France de se doter de lanceur réutilisable. Il pourrait s'agir de plusieurs modèles en fonction des performances ou alors d'un modèle unique qui supporterait la mise à l'échelle. Nous penchons plus pour la deuxième solution. Si le lanceur réutilisable est une pièce indispensable pour installer durablement l'Europe dans l'ère du spatiale, il n'en demeure par pour autant une sorte de baguette magique. Tout comme le New Space américain l'Europe doit définir son propre cadre politique et commercial dans lequel le lanceur réutilisable pourrait s'inscrire. A notre sens cela revient à consolider et développer son propre marché et en créer des nouveaux. Il faut explorer les activités commerciales en cours et à venir qui assureront une place de leader durable de l'Europe dans l'Exploitation de l'Espace et proposer une nouvelle vision et de nouvelles fonctions du lanceur au cœurs de ce nouvel écosystème.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

3 TABLE DES MATIÈRES

1 REMERCIEMENTS 2
2 EXECUTIVE SUMMARY 4
3 TABLE DES MATIÈRES 6
4 LISTE DES FIGURES 10
5 DÉFINITIONS 13
6 INTRODUCTION 16
7 CONTEXTE 19
8 OBJECTIF ET STRUCTURE DE LA RECHERCHE 21
9 FONDEMENTS THEORIQUES ET STRUCTURELS 24
9.1 Le concept du New Space 25
9.1.1 Au fait, le New Space, c'est quoi et qu'est-ce que ça implique ? 25
9.1.2 Notre proposition de définition du New Space 32
9.1.3 Cartographie du New Space Européen 32
9.2 L'évolution de l'industrie Spatiale en France et en Europe 34
10 ANALYSE DES DEFIS TECHNIQUES ET TECHNOLOGIQUES 36
10.1 Principes de fonctionnement des lanceurs réutilisables 37
10.2 Les mécanismes de récupération et de réutilisation 40
10.3 Avantages et inconvénients des lanceurs réutilisables 43
10.4 Etudes de cas : SpaceX - Falcon 9 et Blue Origin - New Shepard 44
10.4.1 Etudes de cas SpaceX – Falcon 9 45
10.4.1 Etudes de cas Blue Origin - New Shepard 47
11 ENJEUX ÉCONOMIQUES ET COMMERCIAUX 50
11.1 La place du lanceur dans le marché du spatial 51
11.2 Le juste prix de la mise en orbite de charges utiles 51
11.3 L'approche Lean Start-up dans le New Space 53
11.3.1 Proposition de la valeur 54
11.3.2 MaiaSpace 55
11.3.1 Rocket Lab 57
11.4 Compétition Internationale et Position de l'Europe 58
11.5 Implications pour les Marchés Émergents et les Applications Commerciales 59
11.6 Conclusion et Perspectives Futures 59
12 CADRE RÉGLEMENTAIRE ET POLITIQUE 61

12.1 Réglementations Spatiales et Adaptation aux Lanceurs Réutilisables 62
12.1.1 Cadre réglementaire existant et nécessité d'adaptation 62
12.1.2 Les efforts internationaux pour moderniser les réglementation 63
12.2 Initiatives Gouvernementales et Soutien aux Entreprises du New Space 64
12.3 Considérations Éthiques et Environnementales 65
12.4 Implications pour la Coopération Internationale 65
12.5 Conclusion et Réflexions sur l'Avenir Réglementaire et Politique 66
13 PROPOSITIONS POUR L'EMERGENCE DES LANCEURS REUTILISABLES EN EUROPE ET EN FRANCE 67
13.1 Les conseiller virtuels 68
13.1.1 La Méthode Elon Musk 70
13.1.1 Le papillon de la métamorphose 71
13.2 Projets en cours en Europe 73
13.2.1 La feuille de route du CNES 73
13.2.2 L'initiative ASCENSION 74
13.2.3 Du côté des Startups européennes 75
13.3 Nos 20 propositions 76
14 AVIS D'ACTEURS DU SPATIAL 78
15 CONCLUSION 80
16 BIBLIOGRAPHIE 83
17 ANNEXES 87
17.1 ANNEXE 1 : Une brève histoire de la conquête spatiale 88
17.2 ANNEXE 2 : Une histoire dans laquelle il faut également compter sur l'Europe 92
17.3 ANNEXE 3 : Une brève histoire des lanceurs réutilisables 94
17.4 ANNEXE4 : Architectures des systèmes de lancements 95
17.5 ANNEXE 5 : Les principales propulsions pour les systèmes de lancements 98
17.5.1 La propulsion liquide 98
17.5.2 La propulsion solide 100
17.5.3 La propulsion hybride 101
17.5.4 La propulsion du futur 104
17.6 ANNEXE 6 : Les défis techniques des lanceurs réutilisables 106
17.7 ANNEXE 7 : Le marché du spatial 108
17.7.1 Qu'est-ce qu'un marché ? 108

INSPIRING EDUCATION INSPIRING LIFE

17.7.2 L'utilité de l'étude de marché 108
17.7.3 Le marché du spatial – Chiffres clés 109
17.8 ANNEXE 8 : Le marché du lancement de satellites 116
17.8.1 Chaine de valeur de l'accès à l'espace 116
17.8.2 Activité de mise en orbite 117
17.9 ANNEXE 9 : Les lanceurs spatiaux et les bases de lancement dans le monde 121
17.9.1 Une brève histoire des lanceurs 121
17.9.2 Les lanceurs dans le monde 121
17.9.1 Les bases de lancement dans le monde 124
17.10 ANNEXE 10 : Les interviews 126

4 LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Une image représentative du New Space 25
Figure 2 : Cartographie européenne du New Space de la Toulouse Space Team 33
Figure 3 Falcon 9 & Falcon 9 Heavy – Source SpaceX 38
Figure 4 : Falcon Heavy sample mission profile – Source SpaceX 39
Figure 5 : Falcon Heavy Block 5 boosters B1052 and B1053 landed at LZ-1 and LZ-2 after their April 2019 launch debut. (SpaceX) 40
Figure 6 : Synoptique de vol lanceur Electron – Source RocketLab 41
Figure 7 : SpaceShip2 Flight Patch – Virgin Galactic 42
Figure 8 : Falcon 9 Familly -source SpaceX 46
Figure 9 : New Shepard – Blue Origin 47
Figure 10 : Étapes de vol du New Shepard 49
Figure 11 : The cost of the space flight 52
Figure 12 : Prix du kg en orbite (LEO) en fonction du lanceur (CSIS Aerospace Security Project) 53
Figure 13 : Schéma de la proposition de la valeur tiré du livre « Business Model nouvelle génération » 54
Figure 14 : MaiaSpace / Image credit: European Spaceflight/Andrew Parsonson 55
Figure 15 : Affiche Rocket Lab avec 3 de ses programmes (Electron, Photon et Neutron) 57
Figure 16 : La méthode Elon – Le papillon de la transformation 71
Figure 17 : La feuille de route du CNES pour le lanceur réutilisable 73
Figure 18 Image promotionnelle sur le site internet de l'initiative ASCenSIon 74
Figure 19 : La Course à l'Espace 89
Figure 20 : Les 2 types de propulsion hybride 102
Figure 21 : Classification détaillée des propulsion 104
Figure 22 : Photographie globale du marché du spatial – Source BRYCE TECH 109
Figure 23 : Représentation de l'écosystème global de la Space Tech – Source SpaceTech Analytics 110
Figure 24 : Budget des agences spatiales en 2022 111
Figure 25 : Répartition des entreprises de la Space Tech dans le monde en 2021 – Source SpaceTech Analytics 112
Figure 26 : Chiffre prévisionnels de l'évolution de l'économie spatiale – Source SpaceTech Analytics 112
Figure 27 : Capitalisation mondiale de économie spatiale - Source SpaceTech Analytics 113
Figure 28 : Evolution de la capitalisation de l'économie spatiale entre 2020 et 2021 - Source SpaceTech Analytics 114
Figure 29 : Répartition des entreprises du spatial en fonction des activités – Source SpaceTech Analytics 115
Figure 30 : Chaine de valeur de l'accès à l'espace – Source PWC 116
Figure 31 : Activité en orbite de 1957 à 2019 – Source SpaceTech Analytics 117
Figure 32 : Nombre de lancements orbitaux de 2014 à 2019 – Source PWC 118
Figure 33 : Histoire et prédictions sur les activités lanceurs en fonction de leurs performances – Source PWC 119
Figure 34 : Le marché des lancements dans le mode – Source PWC 120
Figure 35 : L'Année Spatiale 2022 en quelques chiffes – Source Un Autre Regard sur la Terre 122

Figure 36 : Les lancements orbitaux en 2022 - Source Un Autre Regard sur la Terre.....123
Figure 37 : Les bases de lancement dans le monde – Source Bryce Tech 124

5 DÉFINITIONS

ADRIOS	Active Debris Removal and In Orbit Services
API	Application Programming Interface ou interface de programmation d'application.
CECLES	Centre européen pour la mise au point et la construction de lanceurs d'engins spatiaux.
CERS	Conseil européen de recherches spatiales.
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales.
CSG	Centre Spatial Guyanais
DESIGN THINKING	e Design Thinking est une approche créative et centrée sur l'utilisateur pour résoudre les problèmes et stimuler l'innovation. Cette approche met l'accent sur la compréhension profonde des besoins des utilisateurs, la génération d'idées créatives, la création de prototypes et le test itératif. Le Design Thinking favorise l'empathie, la collaboration multidisciplinaire et l'expérimentation pour développer des solutions qui répondent véritablement aux besoins des utilisateurs. Il s'agit donc d'une méthode d'intelligence collective encourage également à remettre en question les hypothèses, à repenser les problèmes de manière holistique et à adopter une approche itérative pour parvenir à des résultats efficaces.
ESA	European Space Agency (Agence Spatial Européenne)
GRID FINS	Les panneaux cellulaires, également appelés panneaux de stabilisation ou ailettes en grille (en russe : решетчатая крылья1,2 et parfois appelés également ailerons ou panneaux de Belotserkovskiy3) sont un type d'empennage ou de gouverne de vol utilisé sur les fusées et les missiles ou bombes à la place des gouvernes ou des empennages plus conventionnels, tels que les ailettes planes, afin d'assurer leur stabilité aérodynamique ou leur manœuvrabilité. Inventés en URSS dans les années 1950, ils sont de nos jours utilisés sur certains lanceurs spatiaux, tels que Soyouz, Falcon 9, START-1 ou la fusée chinoise Longue Marche 2F.- Source Wikipédia
GTO	Geostationarty Earth Orbit (orbite géostationnaire)
ISS	International Space Station (Station Spatiale Internationale)
LEO	Low Earth Orbit (Orbite Terrestre Basse)
MARKET PULL	Le market pull quant à lui part des clients, de leurs besoins et va créer une offre répondant à ce besoin. En d'autres termes, il propose une solution à un problème exprimée et identifiée. La demande est donc exprimée identifiée à la source, c'est à dire chez les consommateurs.
MCO	Maintien en Condition Opérationnelle
SSO	Sun-Synchronous orbit (Orbite héliosynchrone)

TECHNO PUSH	Le techno-push est une méthode qui consiste à partir d'un produit, d'une idée, d'une invention… pour créer une application produit dans le but de commercialiser celui-ci. Ici, c'est cette invention qui va créer un besoin chez le consommateur et ainsi, l'inciter à consommer. La demande n'est donc pas exprimée et identifiée à la source, c'est-à-dire chez les consommateurs.
TRANSHUMANISME	Courant de pensée qui vise l'amélioration des capacités intellectuelles, physiques et psychiques de l'être humain grâce à l'usage de procédés scientifiques et techniques (manipulation génétique, nanotechnologies, intelligence artificielle, etc.). [Conviction idéologique plus que position solidement argumentée, le transhumanisme est contesté aussi bien d'un point de vue scientifique que d'un point de vue éthique.] – Définition du Larousse
VICA	Volatil Incertain Complexe Ambigu

6 INTRODUCTION

Impossible de parler spatial aujourd'hui sans par parler de SpaceX. Même notre correcteur d'orthographe nous propose de rajouter le « X » à chaque fois que nous écrivons « space ». SpaceX c'est la démocratisation du lanceur réutilisable, c'est le Starship : le lanceur à la fois 100% réutilisable, le plus puissant que l'humanité ai jamais créée et le couteau Suisse de l'espace, il peut tout faire. SpaceX c'est le Crew Dragon, la capsule du futur qui vole aujourd'hui. SpaceX c'est aujourd'hui l'internet pour tous avec Starlink, très vite les stations orbitales privées en orbite basse avec Axiom, bientôt la Lune et demain l'Homme sur Mars. Vous l'aurez bien compris et sans trop exagérer, SpaxeX c'est Elon Musk, et à l'instar de son entreprise, il fait tout et il partout ! Mais où est l'Europe dans tout ça ?

« ***Lanceur Réutilisable ou Non Réutilisable ?*** » C'est la question essentielle qui se (re)pose au cœur d'une l'Europe du spatial qui cherche son propre modèle de New Space.

Pour les plus optimistes, la vague du New Space, à laquelle se sont associés les GAFAM semble elle, tout révolutionner sur son passage. Les plus pessimistes diront même qu'elle laisse derrière elle une Europe du Spatial en pleine mutation, divisée, surclassée par les concurrents Américains, Chinois et bientôt par de nouveaux entrants. L'Europe du spatial serait alors reléguée au statut de partenaire de second rang. Mais qu'est-ce que le New Space ? En quelques mots (nous y reviendrons dans le corps de ce document) le New Space :

1. Est originaire des États-Unis.
2. Est issue du couplage entre la baisse significative des budgets publiques et la volonté de conserver la compétitivité des activités spatiales.
3. Marque la volonté de créer un marché commercial global pour étendre son influence.

C'est uniquement dans ce contexte et selon cette logique que la barrière d'entrée des acteurs privées a pu être levée. Cette levée de barrière a par la suite été accompagnée par de profondes évolutions et innovations économiques et Technologiques.

De manière un peu plus philosophique, le New Space c'est aussi le retour de l'association de l'Espace au mythe, à l'imaginaire, à la transcendance des limites traditionnelles de l'exploration spatiale au transhumanisme. C'est l'ouverture vers de nouvelles voies, vers l'innovation. Il est de nouveau permis de rêver !

Jusqu'au début des années 2000, et cela reste encore valable aujourd'hui pour les grandes missions type exploration spatiale ou vols habités, l'industrie spatiale est associée au « temps long ». Des projets s'étendent sur des dizaines voire des vingtaines d'années. Dans des industries type automobile on associe les projets spatiaux au miroir aux alouettes. Il n'est pas rare qu'une personne ou une équipe intègre un projet sans nécessairement le voir aboutir. Ces projets appartiennent à l'ère de ce que certains appellent le « Old Space » en opposition avec le « New Space ». Le Old Space commence avec le premier satellite mis en orbite en 1957 et se poursuit jusqu'à la fin de la guerre froide dans les années 90. Le Old Space perdure jusqu'il y a une dizaine d'année. Durant cette période le domaine du spatial est la chasse gardée de la puissance publique de quelques nations qui développaient via les agences spatiales des programmes scientifiques ou militaires dont le financement étaient quasi exclusivement issus de fonds publics. La barrière d'entrée des acteurs privées reposait sur les enjeux de souveraineté, les coûts d'entrée des programmes et l'absence d'un réel marché commercial.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

Suite à cet éclairage historique et poétique, qu'en est-il du New Space en France et en Europe. Comment s'inspirer de ce qu'il s'est passé aux Etats-Unis ?

S'interroger sur le New Space à travers le prisme du lanceur réutilisable c'est un peu comme embarquer dans la DeLorean de « Retour vers le Futur ». On jette un coup d'œil dans le rétroviseur et on contemple plus de 60 ans de conquête spatiale. On regarde devant soi et l'on est ébloui par toutes ces innovations qui sont en marches avec plusieurs issues possibles. Je vous emmène avec moi à dans ce voyage à travers le temps.

7 CONTEXTE

Toulouse, Nous sommes au cœur de l'été 2023. Au moment où j'écris ces lignes, l'Europe du spatial est en pleine interrogation, pour certains elle est même en plein doute. En effet, l'Europe ne dispose plus, temporairement, d'aucun accès autonome à l'espace. La guerre en Ukraine a privé le CSG (Centre Spatial Guyanais) du Lanceur léger Soyouz ST, suite au représailles de Moscou. Le lanceur Véga-C rencontre des difficultés suite à son dernier échec en vol. Ariane 5 vient de tirer sa révérence et la lanceur d'Ariane 6, dont le vol inaugural était annoncé pour 2020 ne décollera pas avant 2024. Une note positive, si l'on prend en compte les besoins de lancements institutionnels, le carnet de commande assure les activités d'Ariane 6 et de Véga-C jusqu'à fin 2027 (source : Space International – Le magazine de la conquête spatiale, n°2, p65 : « ARIANESPACE : LA FIN DES HEURES SOMBRES ? »).

Faisons un petit voyage dans le temps. Le premiers jours de la conquête spatial c'était il y a plus de 60 ans. Depuis l'industrie du spatiale a évolué de manière remarquable. L'Homme a marché plusieurs fois sur la lune et est rentré sain et sauf. Une myriade de satellites en orbite géostationnaire assure un réseau de télécommunication à l'échelle mondial. Des télescopes dans l'espace (Hubble, James Webb) nous permette d'aller sonder les origines de l'univers. Il y a un humain en permanence dans l'Espace proche, notamment grâce à la Station Spatial Internationale (ISS). Au-delà de ces belles réussites, nous ne pouvons pas ignorer que les coûts prohibitifs et les contraintes techniques inhérentes aux lanceurs traditionnels ont longtemps entravé l'accès à l'espace pour un éventail diversifié d'acteurs. C'est aux États-Unis, suite à une réduction des budgets, une volonté de conserver l'avantage sur les avancées technologique et l'ambition d'étendre l'influence commerciale à travers le monde que le New Space a émergé. Le New Space est porté par des entrepreneurs visionnaires et de innovateurs audacieux qui n'hésitent pas si nécessaire à remettre en question les modèles établis.

Souvent fantasmé, parfois décrié, présenté sous plusieurs formes, le lanceur réutilisable a marqué l'histoire du Spatial. C'est aujourd'hui une des pièce maîtresse du New Space. En tant que solution novatrice il porte la promesse d'un accès à l'espace fiable, économique et durable, laissant entrevoir la possibilité d'un modèle économique rentable au niveau des lanceurs. La réutilisation des lanceurs, longtemps considérée comme une chimère technologique, a été concrétisée avec succès par des entreprises telles que SpaceX et Blue Origin. Cette avancée a ouvert des horizons insoupçonnés en permettant des lancements plus fréquents, des missions variées et des coûts réduits. Cependant, cette révolution technologique ne se limite pas à ses avantages économiques et opérationnels. Elle soulève également des questions fondamentales sur la réglementation, l'éthique et l'avenir de l'exploration spatiale.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

8 OBJECTIF ET STRUCTURE DE LA RECHERCHE

L'objectif de ce mémoire est de porter une ambition Française. Ils nous parait impératif que cette vision devienne par la suite Européenne : L'Exploitation durable de l'Espace et la « Non-Prolifération des débris spatiaux ». Le terme de « Non-Prolifération » peut paraître fort, voire galvaudé. Nous le comprenons car il est en premier lieux associé aux armes de destruction massive. Force est de constater que la menace des débris spatiaux peux être associée à une destructions massive des capacités de maintien des activités spatiales en commençant par l'orbite basse (c'est la zone où l'on recense actuellement le plus de débris spatiaux). La menace du syndrome de Kessler, c'est-à-dire une prolifération généralisée des débris spatiaux pèse de plus en plus sur les activités spatiales et donc pas voie de conséquence sur les nombreuses activités humaines qui en dépendent. L'exploitation durable de l'Espace est également liée aux services en orbite tels que la réparation de satellites ou bien le ravitaillement. Le triptyque désorbitation active des débris spatiaux, réparation et ravitaillement est appelé ADRIOS (Active Debris Removal and In Orbit Services) par l'Agence Spatiale Européenne (ESA).

C'est dans ce contexte que nous allons explorer en profondeur les défis, les opportunités et les implications économiques et règlementaires liées au développement des lanceurs réutilisables en France et en Europe. Nous adoptons une approche multidisciplinaire qui explore les perspectives techniques, économiques, politiques et éthiques. Notre recherche vise à répondre aux questions essentielles suivantes :

1. Comment les lanceurs réutilisables ont-ils émergés en tant qu'élément central du New Space et quel est leur impact sur l'industrie spatiale en France et en Europe ?
2. Quels sont les défis techniques et technologiques associés à la réutilisation des lanceurs, et comment ces défis sont-ils surmontés par les entreprises du New Space ?
3. Quelles sont les implications économiques et commerciales des lanceurs réutilisables, y compris leur rôle dans la démocratisation de l'accès à l'espace et le développement de nouveaux modèles d'affaires ?
4. Comment les réglementations spatiales et les politiques gouvernementales doivent-elles être adaptées pour prendre en compte les lanceurs réutilisables et les nouvelles applications spatiales qu'ils rendent possibles ?
5. Quelles sont les perspectives futures pour le développement des lanceurs réutilisables, les services en orbite et la logistique spatiale, et comment ces développements pourraient influencer l'avenir du secteur spatial en France et en Europe ?

La structure de ce mémoire est organisée de manière à répondre à ces questions clés.

Dans le premier chapitre nous nous attachons à définir les fondements théoriques et structurels de l'étude. Nous explorons le concept du New Space, définissons le New Space européen et examinons l'évolution de l'industrie spatiale en France et en Europe.

Dans le deuxième chapitre sur l'analyse des défis techniques et technologiques, nous nous concentrons sur les principes des lanceurs réutilisables, les mécanismes de récupération et de réutilisation, ainsi que les avantages et inconvénients associés.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

Dans le troisième chapitre nous abordons les enjeux économiques et commerciaux. Nous mettons en lumière la place du lanceur sur le marché spatial, le prix de la mise en orbite des charges utiles, et l'approche Lean Start-up dans le New Space, avec des études de cas sur SpaceX - Falcon 9 et Blue Origin - New Shepard.

Dans la quatrième partie nous parlons du "Cadre Réglementaire et Politique". Nous examinons les réglementations spatiales, les initiatives gouvernementales, les considérations éthiques et environnementales, ainsi que les implications pour la coopération internationale.

Nous émettons dans la cinquième partie 20 propositions pour l'émergence des lanceurs réutilisables en Europe et en France en nous basant sur la « méthode Elon » développée par Michaël VALENTIN.

Dans une dernière partie nous confrontons notre vision du lanceur réutilisable à différents profil qui interviennent dans l'écosystème des activités spatiales.

Nous concluons sur la nécessité pour l'Europe et la France de se doter de lanceur réutilisable.

En combinant une analyse approfondie et une approche interdisciplinaire, cette recherche contribue à notre compréhension des lanceurs réutilisables en tant que moteurs de transformation du secteur spatial. En examinant les défis, les opportunités et les implications plus larges, nous jetons les bases d'une réflexion éclairée sur l'avenir de l'exploration spatiale et de l'industrie spatiale en France, en Europe et au-delà.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

9 FONDEMENTS THEORIQUES ET STRUCTURELS

Le chapitre initial établit les bases théoriques et conceptuelles nécessaires à la compréhension du sujet. Nous commencerons par définir le concept du New Space et identifierons ses caractéristiques distinctives, notamment son orientation vers l'innovation, la réduction des coûts et la collaboration entre acteurs divers. Ensuite, une exploration historique retracera l'évolution de l'industrie spatiale en France et en Europe, mettant en évidence les facteurs favorables à l'émergence du New Space. Enfin, nous aborderons l'importance cruciale des lanceurs spatiaux réutilisables dans le contexte du New Space et expliquerons pourquoi ils sont considérés comme des éléments clés de cette révolution spatiale.

9.1 Le concept du New Space



Figure 1 : Une image représentative du New Space

9.1.1 Au fait, le New Space, c'est quoi et qu'est-ce que ça implique ?

Nos investigations, que ce soit sur dans la littérature, sur internet (page Wikipédia, Articles de Journalistes Spécialisés, Interviews de gens du domaines ou d'experts, dans des magazines spécialisés) ,montrent qu'il existe plusieurs propositions pour la définition du New Space.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

Nous proposons d'adopter la méthode suivante :

1. Utiliser une logiciel dit d'intelligence artificiel pour voir la réponse donnée → Nous avons demandé deux fois la réponse à Chat GPT 3.5 puis nous avons comparé les réponses.
2. S'appuyer sur différentes ressources bibliographiques pour confirmer ou infirmer les proposition.
3. Identifier les éléments caractéristiques du New Space.
4. Répondre à la question des enjeux du New Space pour la France et l'Europe.

9.1.1.1 La définition du New Space selon Chat GPT

Nous avons demandé la définition du New Space à Chat GPT 3.5 par deux fois. Ceci s'inscrit dans une stratégie « comparative ».

Si nous pouvions nous attendre à la même réponse mot pour mot, ça n'a pas été le cas. Les deux réponses proposent deux approches différentes. Deux approches pour deux visions.

Commençons par un comparatif sous forme de tableau des données brutes pour les deux réponses. Nous ferons ensuite une analyse du contenu.

Chat GPT 3.5 – Réponse n°1	Chat GPT 3.5 – Réponse n°2
1. Introduction	**1. Introduction**
Le New Space, est un terme utilisé pour décrire un mouvement émergent dans l'industrie spatiale qui vise à révolutionner la manière dont les activités spatiales sont menées. Contrairement au secteur traditionnel de l'espace, qui était dominé par les grandes agences spatiales gouvernementales et quelques grandes entreprises, le New Space repose sur des sociétés privées innovantes et des start-ups qui cherchent à rendre l'espace plus accessible, abordable et bénéfique pour l'humanité.	Le New Space, également connu sous le nom de Nouvel Espace, est un terme utilisé pour désigner le secteur émergent de l'industrie spatiale qui se caractérise par l'émergence de nouvelles entreprises privées et de start-ups innovantes, ainsi que par des initiatives visant à repenser et à transformer la manière dont les activités spatiales sont menées. Le New Space diffère du secteur spatial traditionnel dominé par les agences spatiales gouvernementales et quelques grandes entreprises.
2. Entreprises privées	**2. Participation du secteur privé**
Le New Space est caractérisé par la présence d'entreprises privées qui prennent un rôle de premier plan dans l'exploration spatiale et le développement de technologies spatiales. Ces entreprises sont souvent fondées par des entrepreneurs visionnaires et des investisseurs du secteur privé.	Le New Space est principalement axé sur la participation d'entreprises privées, de sociétés commerciales et d'entrepreneurs qui investissent dans le domaine spatial. Ces entreprises sont souvent financées par des investisseurs privés et cherchent à réaliser un profit en fournissant des services et des solutions spatiales

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

3. **Innovation technologique**	3. **Innovation technologique**
Le New Space se concentre sur l'utilisation de technologies innovantes pour réduire les coûts et améliorer l'efficacité des activités spatiales. Cela inclut des avancées dans les lanceurs réutilisables, les technologies de fabrication additive (impression 3D), les systèmes de propulsion innovants, l'intelligence artificielle pour la gestion des opérations spatiales, etc.	Le New Space repose sur l'utilisation de technologies innovantes et de méthodes de fabrication avancées pour développer des lanceurs de nouvelle génération, des satellites plus petits et plus performants, ainsi que des systèmes d'exploration spatiale plus abordables et efficaces.
4. **Accessibilité accrue**	4. **Accessibilité accrue à l'espace**
Le New Space vise à rendre l'accès à l'espace plus abordable et plus ouvert. Cela peut se traduire par la réduction des coûts de lancement, l'utilisation de microsatellites et nanosatellites, et le partage de ressources pour les missions spatiales.	Le New Space vise à rendre l'espace plus accessible en réduisant les coûts de lancement, en utilisant des technologies de lancement réutilisables, en développant des microsatellites et des nanosatellites, et en promouvant des initiatives de partage de ressources spatiales.
5. **Diversification des acteurs**	5. **Diversification des acteurs**
Le New Space attire un large éventail d'acteurs, allant des grandes entreprises technologiques aux petites start-ups en passant par les universités et les organismes de recherche. Cette diversification favorise une concurrence saine et stimule l'innovation.	Le New Space attire une diversité d'acteurs, allant des grandes entreprises technologiques aux start-ups en passant par les investisseurs, les universités et les institutions de recherche. Cette diversification contribue à stimuler l'innovation et la compétitivité dans l'industrie spatiale.
6. Développement de nouvelles applications	**6. Exploration de nouvelles applications**
Le New Space explore de nouvelles applications pour les technologies spatiales au-delà des missions traditionnelles, telles que l'observation de la Terre, les télécommunications et la navigation par satellite. Il englobe également des domaines émergents tels que le tourisme spatial, l'exploitation minière des astéroïdes, la colonisation de l'espace et la recherche sur la vie extraterrestre.	Le New Space explore de nouvelles applications pour les technologies spatiales au-delà des missions traditionnelles, telles que l'observation de la Terre, les télécommunications spatiales, la navigation par satellite, le tourisme spatial, l'exploitation minière des astéroïdes, et d'autres opportunités commerciales.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

7. Révolution de la gestion des données	7. Collaboration internationale
Le New Space est caractérisé par la collecte massive de données à partir de satellites et de constellations de satellites. Cela conduit à une révolution dans la manière dont nous collectons, stockons, traitons et utilisons les informations spatiales pour prendre des décisions sur Terre.	Le New Space favorise souvent la coopération et la collaboration internationale entre les entreprises, les gouvernements et les organisations pour réaliser des missions spatiales ambitieuses et partager les ressources et les données spatiales.
8. Conclusion	**8. Conclusion**
En somme, le New Space représente un changement de paradigme dans l'exploration spatiale, en libérant l'innovation et l'esprit d'entreprise pour relever les défis et exploiter les opportunités de l'espace d'une manière qui n'était pas possible auparavant. Il est susceptible d'avoir un impact significatif sur notre manière d'interagir avec l'espace et peut ouvrir la voie à de nouvelles découvertes scientifiques et applications pratiques pour améliorer notre vie sur Terre.	Le New Space est considéré comme un catalyseur d'innovation dans l'industrie spatiale, car il remet en question les modèles traditionnels de fonctionnement et ouvre de nouvelles perspectives pour l'exploration, l'exploitation et l'utilisation de l'espace. Il est également considéré comme un facteur clé dans la réalisation de nouvelles avancées technologiques, scientifiques et économiques dans le domaine spatial.

Pour ces deux réponses, nous retrouvons les mêmes thèmes :

2. Entreprises privées,
3. Innovation technologique,
4. Accessibilité accrue,
5. Diversification des acteurs,
6. Développement / Exploration de nouvelles applications,

à une exception près.

Dans la réponse n°1 nous retrouvons le thème de la « Révolution de la gestion de données ». Dans la réponse n°2 celui de la « Collaboration internationale ». Ces deux thème sont complémentaires. Nous pourrions donc envisager une réponse unique basée sur les deux réponses de Chat GPT. Une lecture plus fine nous montre que ce n'est pas le cas. Prêtons plus attention au contenu des réponses. La première réponse présente le New Space avec une approche « **Techno Push** » alors que la seconde a une approche « **Market Pull** ». Au-delà de cette différence principale. La définition du New Space est abordée dans un cadre industriel. Les aspect politiques et commerciaux sont omis.

À ce stade nous en savons un peu plus sur la dimension industrielle du New Space. Nous continuons les investigations pour ajouter une dimension temporelle à la définition et parler des aspects politiques et commerciaux.

Mais au fait, quelles sont les origines du New Space ? La définition du New Space est-elle universelle ? Quelles différences entre le New Space Américain et le New Space Européen ?

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

9.1.1.2 Les origines du New Space

Si, sur la page Wikipédia qui traite du New Space nous trouvons l'année d'invention du terme «New Space » (2006) la période couverte et notamment les débuts est moins précise. En croisant les informations issues de l'article « Le New Space européen : une chimère ? – Une approche politique d'un processus économique » de Brian KALAFATIAN (chercheur, institut d'Etudes et de défense (IESD, Université Jean-Moulin – LYON III) publié dans le N°2 du magazine Space International et celles de la page Wikipédia sur le New Space il est possible de retracer les principaux éléments qui ont favorisés l'émergence du New Space.

Les prémices :

- **1978** – au Kennedy Space Center, Jimmy Carter décide de rendre public le « rôle des satellites de reconnaissance dans la stabilisation des affaires mondiales ».
- **1984** – le Land Remote-Sensing commercialization Act permet l'ouverture de la commercialisation, sous contrôle d'exportation, des données et des biens liés aux capacité d'observation.

Les étapes importantes :

Le New Space est née suite à une remise en question structurelle à la fin de la guerre froide. Son ambition était de permettre aux États-Unis de conserver l'avance technologique accumulée au cours de la guerre froide. Comment ? En permettant à des entreprises mandatées par le Congrès, ainsi que le département du Commerce, de commercialiser des technologies alors réservées au domaine militaire. L'imagerie satellite, jusqu'alors destinée au renseignement satellitaire, en est l'un des premiers exemples.

À cet effet, plusieurs changements importants ont été réalisés. On peut tout de même citer les changements importants du domaine spatial qui ont influencés la transition d'une logique de conflictualité liée à la guerre froide vers le New Space :

- Le "Launch Services Purchase Act", signé le 28 oct. **1998**, oblige la NASA à, dès que possible, utiliser des lanceurs privés pour ses programmes. Cette Act a signé un coup d'envoi pour les entreprises privées américaines. Cette loi a été signée en France.
- En **2002**, le financement de SpaceX constitue une entrée majeure d'une entreprise privée dans le secteur spatial.
- En **2006**, le terme "New Space" a été inventé par la « Space Frontier Foundation » à la suite du succès de plusieurs entreprises qui rendent la fantaisie de l'espace commercial imminente.
- En **2011**, à la suite du retrait de la navette spatiale américaine, la NASA a dû dès lors se baser sur des entreprises privées telles que SpaceX pour réapprovisionner la Station spatiale internationale.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

9.1.1.3 New Space Américain Vs New Space Européen

Une nouvelle fois nous faisons appel à Chat GPT 3.5 pour nous faire une proposition d'un comparatif entre le New Space Européen et le New Space Américain :

<table>
<tr><th colspan="2">Introduction</th></tr>
<tr><td colspan="2">Le New Space Européen et le New Space Américain partagent des similitudes en tant que mouvements émergents dans l'industrie spatiale, mais ils présentent également des différences significatives en termes de caractéristiques, de contexte et d'acteurs impliqués. Voici quelques-unes des principales différences entre le New Space Européen et le New Space Américain :</td></tr>
<tr><th colspan="2">1. Contexte Historique</th></tr>
<tr><th>New Space Américain</th><th>New Space Européen</th></tr>
<tr><td>Le New Space Américain a été l'un des pionniers du mouvement, avec des entreprises telles que SpaceX de Elon Musk, Blue Origin de Jeff Bezos et Rocket Lab qui ont jouées un rôle clé dans la redéfinition de l'industrie spatiale. Ces entreprises ont été créées au début des années 2000 et ont rapidement pris de l'ampleur avec des initiatives audacieuses comme le développement de lanceurs réutilisables (par exemple, le Falcon 9 de SpaceX) et le tourisme spatial (par exemple, le projet Blue Origin New Shepard).</td><td>Le New Space Européen a commencé à gagner en importance plus tard que son homologue américain. L'Agence spatiale européenne (ESA) et les agences spatiales nationales ont historiquement joué un rôle central dans les activités spatiales européennes. Cependant, au cours des dernières années, des start-ups et des entreprises privées européennes ont émergé pour apporter des innovations et des initiatives audacieuses, contribuant ainsi à la croissance du New Space Européen.</td></tr>
<tr><th colspan="2">2. Acteurs principaux</th></tr>
<tr><th>New Space Américain</th><th>New Space Européen</th></tr>
<tr><td>Les entreprises américaines telles que SpaceX, Blue Origin, Rocket Lab et d'autres ont dominées le mouvement du New Space aux États-Unis. SpaceX, en particulier, est devenue l'une des entreprises spatiales les plus influentes et les plus importantes au monde, avec des réalisations notables telles que le premier atterrissage vertical réussi d'un lanceur orbital et la signature de contrats pour des missions gouvernementales et commerciales.</td><td>Le New Space Européen compte des acteurs historiques tels que Arianespace, une entreprise européenne de lancement de satellites bien établie, qui a lancé de nombreux satellites et sondes spatiales et qui a créé sa propre filiale pour la fabrication de lanceurs légers semi réutilisable : MaiaSpace. En outre, des start-ups telles que OneWeb (offrant une constellation de satellites pour l'Internet haut débit) et OHB (entreprise allemande spécialisée dans les technologies spatiales) ont également joué un rôle croissant dans le New Space Européen.</td></tr>
</table>

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

3. Politique et réglementation Acteurs principaux	
New Space Américain	**New Space Européen**
Le Aux États-Unis, la politique spatiale est influencée par des réglementations plus souples et des partenariats public-privé. Les agences gouvernementales, comme la NASA, collaborent souvent avec des entreprises privées pour réaliser des missions spatiales et encouragent l'innovation dans l'industrie.	En Europe, les activités spatiales sont souvent gérées par des accords intergouvernementaux et la coordination avec l'ESA. La réglementation peut être plus complexe en raison du nombre de pays impliqués, mais des efforts sont déployés pour faciliter la coopération et le développement de l'industrie spatiale européenne.
Conclusion	
En résumé, bien que le New Space Européen et le New Space Américain partagent des objectifs communs de révolutionner l'industrie spatiale avec des entreprises privées innovantes, ils diffèrent en termes de contexte historique, d'acteurs clés et de politiques réglementaires. Les deux mouvements contribuent toutefois à stimuler l'innovation et l'exploration spatiale à l'échelle mondiale.	

Si effectivement les motivations et les ambitions du New Space sont similaires quel que soit le côté de l'atlantique, il ne faut pas omettre que le contexte est différent. Nous trouvons la proposition faite dans l'étude « L'émergence et le développement du New Space aux Etats-Unis – rédigée par Diane ZAJACKOWSKI et Nicolas MAUBERT en juin 2022 » très intéressante. Ainsi plutôt que de vouloir singer le modèle américain, il s'agirait plus tôt de voir ce qu'il est bon de prendre en tenant compte des forces et des singularités du modèle européen.

9.1.1.4 Une proposition de définition du New Space définition :

Le rapport « Space venture Europe 2021" publié en 2022 par l'European Space Politique Institute (ESPI) fait la proposition suivante : « Le New Space est un écosystème diruptif et commercial [où] les acteurs publics sont désireux d'explorer de nouvelles façons de mener les programmes spatiaux et de favoriser le développement du secteur spatial commercial [et dans le cadre duquel les] acteurs privés cherchent également à jouer un rôle dans le développement de l'industrie spatiale en tirant parti du financement public et de l'investissement privé pour développer de nouveaux modèles d'entreprise et pour améliorer la compétitivité de l'industrie spatiale ». Tiré du rapport « Ambition New Space 2027 » publié à la suite de la première édition des Assises du New Space, il s'ajoute à la proposition « une plus forte acceptation des risques et le redéploiement de la chaine de valeur des activités spatiales vers des marchés liés à la commercialisation des services ».

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

9.1.2 Notre proposition de définition du New Space

La définition d'un New Space Européen tel qu'il peut être généralement présenté, c'est-à-dire une vague qui viendrait balayer les institutions et l'ordre établie au profit principalement de l'industrie et des investisseurs privés nous apparait comme trompeuse. Qu'il soit Américain ou Européen, le New Space c'est avant tout la volonté de la puissance publique de réduire les coûts et de créer un écosystème commercial associé afin de légitimer les activités spatiales et d'étendre son influence sur son propre marché et à travers le monde. Cette initiative favorise l'application de nouvelle méthode économiques et industrielles. Pour assurer l'émergence du New Space, il est indispensable que les conditions économiques, industrielles, politiques et juridiques soient favorables.

Qu'il soit dit Américain ou Européen, le terme est toujours associé à la mise en avant de nouveaux besoins, notamment dans le secteur des services, l'émergence de nouvelles solutions technologiques dont l'enjeux principal est la réduction des coûts grâce au l'environnement compétitif qu'il génère.

Le New Space Européen est avant tout une initiative et une interrogation des acteurs publiques et des industriels privées (déjà établis et nouveaux entrants) pour adapter le New Space américain à l'industrie spatiale européen.

Nous pouvons associer le New Space Européen à une « Innovation », c'est une idée qui cherche à atteindre son marché.

9.1.3 Cartographie du New Space Européen

La Toulouse Space Team propose une cartographie détaillée du New Space européen (voir par suivante).

Elle a réalisé une étude complète. Les thèmes abordés sont :

1. La dynamique européenne,
2. La France, leader européen,
3. Une politique volontariste de la France,
4. Un écosystème européen particulièrement dynamique,
5. Une attractivité reconnue.

Il est mis l'accent sur la position du New Space français dans le paysage français et son leadership en terme d'entreprises.

Pour avoir le détail complet de cette étude : https://toulouse-space-team.com/v2-carto-europe/

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

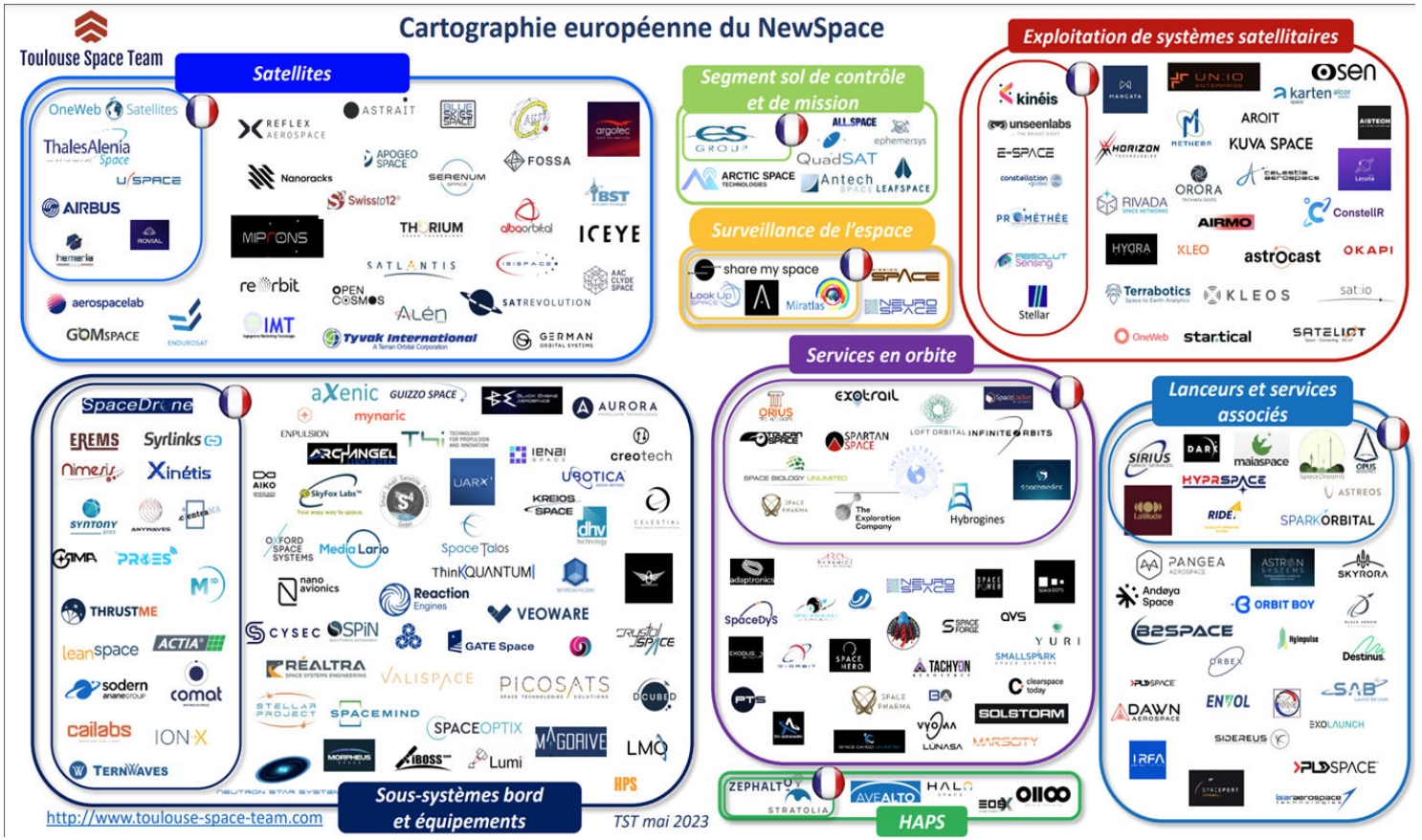


Figure 2 : Cartographie européenne du New Space de la Toulouse Space Team

9.2 L'évolution de l'industrie Spatiale en France et en Europe

L'histoire de industrie spatiale européenne est ponctuée par des réalisations majeures telles que la famille de lanceur Ariane, le véhicule de transfert automatique (ATV) ou encore la collaboration internationale dans des projets de grande envergure tel que la Station Spatiale Internationale (pour exemple le module Colombus).

Dans ce paragraphe nous retraçons l'évolution du secteur depuis les premiers pas de la conquête spatiale, mettant en évidence les moments clés qui ont façonné son développement. Des initiatives pionnières aux succès récents, nous examinons les défis surmontés, les leçons apprises et les innovations technologiques qui ont préparés un terrain favorable à l'émergence du New Space. Nous évaluons également comment les institutions et les acteurs traditionnels s'adaptent aux changements induits par le New Space et intègrent ces nouvelles approches dans leur stratégie.

9.2.1.1 Une brève histoire de la conquête spatiale

Il y a un peu plus de 60 ans commençait l'aventure spatiale. Jusqu'au début des années 90, elle est principalement rythmée par l'affrontement entre les deux grandes et premières puissances historiques, à savoir la Russie (Ex U.R.S.S) et les États-Unis. Si l'Europe en premier lieu grâce à la France est devenue la troisième puissance spatiale mondiale, elle a depuis été surclassée par la Chine dont les activités spatiales ont émergées au début des années 2000. Nous proposons un bref historique de la conquête spatiale en ***ANNEXE 1 [cf. §17.1]***.

9.2.1.2 Une histoire européenne de la conquête spatiale

En 1965 La France est la troisième puissance à avoir réussie la mise en orbite de sa propre charge utile (le satellite Astérix) au moyen de son propre lanceur (Diamant). Dans les années 60, en Europe elle n'est pas la seule à faire la course à l'Espace. Il faut également compter sur le Royaume-Uni, l'Italie et l'Allemagne de l'Ouest. Tous ces pays ont bien compris en période de guerre froide, l'enjeu stratégique que représentent les applications spatiales aussi bien pour le domaine civil (météo, communication, etc.) que militaire (renseignement, missiles balistiques, etc.) Il s'en suit tout une évolution du spatial européen qui va se structurer autour des pays pionniers en Europe. Cette histoire est synthétisée en ***ANNEXE 2 [cf. §17.2]***.

9.2.1.3 France et Europe du Spatial, un destin commun pour deux puissances du spatial ?

Après la création du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) en 1961 et du CSG (Centre Spatial Guyanais) en 1964, la France devient la troisième puissance spatiale le 26 novembre 1965 avec la mise en orbite du satellite Astérix par le lanceur Diamant. D'après le rapport d'information n°1574 sur le secteur spatial de défense déposé à l'Assemblée Nationale, c'est elle qui est à l'initiative du CECLES (Centre européen pour la mise au point et la construction de lanceurs d'engins spatiaux) et du Conseil européen de recherches spatiales (CERS). Ces institutions seront suppléées le 30 mai 1975 avec la création de l'ESA (l'Agence spatiale européenne). L'Europe devient à son tour une puissance spatiale après le lancement réussi de

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

la fusée Ariane 1, le 24 décembre 1979. Il s'en suivra tout une série de succès on peut citer pour exemple le lanceur Ariane qui totalise entre le 24 décembre 1979 et le 22 juin 2022, 245 succès pour 257 lancements. L'Europe, c'est aujourd'hui la deuxième industrie spatiale de pointe au monde (cf. Rapport d'information n°4991 déposé à l'assemblée nationale en 2022). En terme de chiffre d'affaire c'est entre 53 et 62 milliards € et environ un tiers de la fabrication mondiale de satellites.

Dans l'Europe, la France pèse 35% des emplois et plus de la moitié du secteur spatial européen. Il subsiste cependant des écart d'ambition au sein de l'Europe du spatial. Tous les états membres n'ont pas les mêmes ambitions. La France plaide pour la Souveraineté des activités spatiales européenne. Ce qui n'est pas toujours entendu par les pays membres. Elle doit également jongler avec le principe de retour géographique et la concurrence au sein des Etats, voire un divergence d'intérêts économiques, stratégiques ou diplomatiques.

Dans un contexte de New Space, il y a subsiste une inquiétude liée à un possible décrochage de la France et de l'Europe. L'arrivée des acteurs privés, la réduction significative des coûts et l'utilisation de méthodes, technologies et d'ingénierie financière tirées de la nouvelle économie ont fortement fragilisé l'Europe du spatial dans la course mondial. Le scepticisme européen face à l'arrivé du New Space américain a créé un retard qu'il est indispensable de rattraper. Cette volonté se concrétise avec le volet spatial du plan de relance France 2030 dont les principaux axes sont :

1. rattraper le retard sur certains segments de marchés (lanceurs réutilisables, constellations),
2. un appel à projets de développement de mini- et micro-lanceurs,
3. développer de nouveaux segments de marchés (surveillance de l'espace, services en orbite, etc.).

De nombreux défis sont à relever pour l'Europe du spatial qui accuse aussi un retard dans la conception et la production de petits satellites. L'Europe doit inventer son propre cadre commercial compétitif qui doit être au cœur d'un New Space à l'européenne.

9.2.1.4 Quels objectifs pour le spatial Européen

Les objectifs du spatial européen sont conçus pour promouvoir l'autonomie et la compétitivité de l'Europe dans l'industrie spatiale tout en répondant aux besoins de la société. Ces objectifs englobent l'autonomie d'accès à l'espace grâce au développement de lanceurs compétitifs, l'exploration et l'observation spatiales pour étudier des planètes comme Mars, la navigation par satellite avec le programme Galileo, et la contribution à la sécurité et à la défense européennes. De plus, ils visent à stimuler l'économie spatiale en encourageant des marchés commerciaux tels que les télécommunications par satellite et l'observation de la Terre, tout en intégrant des préoccupations environnementales pour gérer les débris spatiaux et promouvoir des technologies plus propres. L'Europe s'efforce également de renforcer ses partenariats internationaux et d'inspirer les générations futures grâce à des missions habitées et des initiatives éducatives, tout en continuant à innover technologiquement pour maintenir sa compétitivité mondiale dans le secteur spatial. Ces objectifs démontrent l'importance de la coopération entre l'Agence spatiale européenne (ESA), l'Union européenne (UE) et les États membres pour atteindre une vision spatiale européenne ambitieuse et inclusive.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

10 ANALYSE DES DEFIS TECHNIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Le programme du Space Shuttle a marqué de manière durable les premières heures de lanceurs réutilisables. Nous proposons une brève histoire des lanceurs réutilisables en ***ANNEXE 3 [cf. 17.3]***. Le concept de lanceur réutilisable ne se résume pas uniquement à l'avion spatiale. Nous présentons en ***ANNEXE 4 [cf. §17.4]*** les différents types de systèmes à lancement qui ont déjà réalisés des missions de mise en orbite de manière opérationnelle (système de lancement vertical, à atterrissage horizontal, aéroportés) et en ***ANNEXE 5 [cf. §17.5]*** les principales types de propulsions chimiques que l'on retrouve dans les lanceurs (liquide, solide, hybride) ainsi qu'une introduction sur les propulsions du futur.

Dans ce chapitre, nous allons d'abord présenter les principes généraux de fonctionnement des lanceurs réutilisables à travers les différentes étapes d'une mission type de mise en orbite de charge utile. Nous parlerons des différents mécanismes de récupération et de réutilisation.

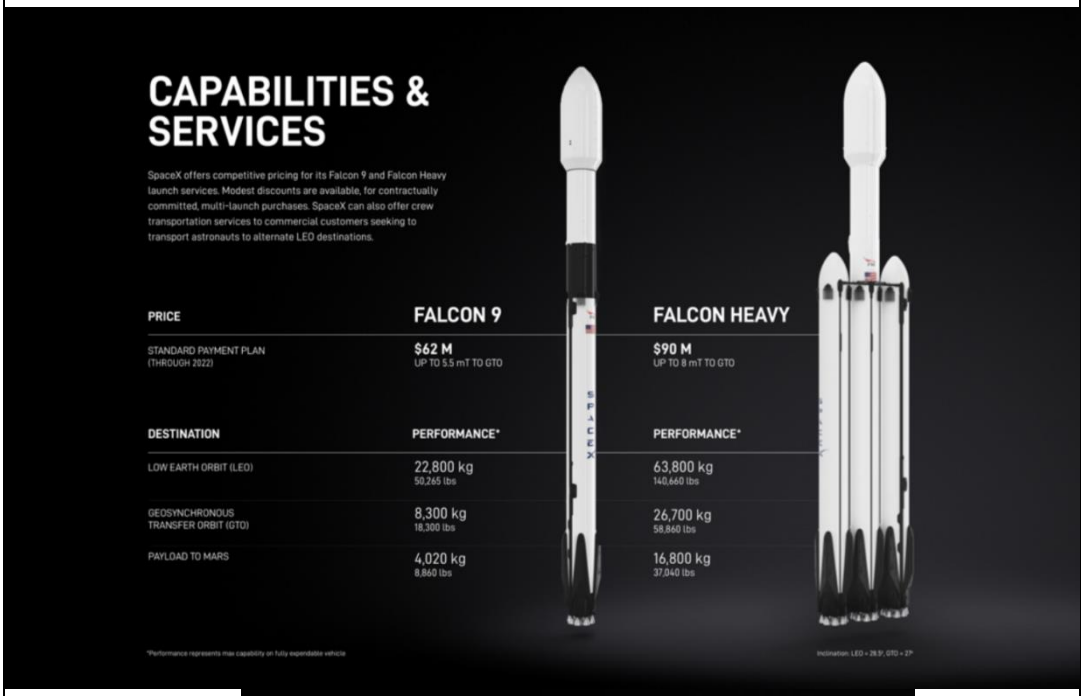
10.1 Principes de fonctionnement des lanceurs réutilisables

Ce paragraphe nous plonge dans les mécanismes de récupération et de réutilisation qui sont inhérents aux lanceurs réutilisables. Il explore les étapes générales de vol, de l'allumage des moteurs sur le pas de tir, la séparation des étages, la rentrée atmosphérique jusqu'à l'atterrissage ou l'amerrissage réussi. En s'appuyant sur le profil de mission du Lanceur Falcon 9 Heavy de SpaceX, nous illustrons l'ensemble de ces processus. Nous présentons ici le plan de vol d'un système complexe qui nécessite une parfaite coordination pour garantir le retour sûr et efficace des lanceurs. Le lanceur réutilisable rime avec trajectoire de rentrée, charges aérodynamiques, la gestion de la chaleur ou encore la stabilisation durant la phase de récupération.

Le concept de lanceur réutilisable vise à réutiliser tout ou partie (on parle alors de semi-réutilisable) du lanceur suite à sa mission de mise en orbite de la charges utile. Le concept de réutilisation se décline de différente manière en fonction de l'architecture du lanceur.

Par exemple, pour un système de lancement vertical type Falcon 9 Heavy, cela peut inclure la récupération et la réutilisation du premier étage et de ses deux boosters.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED



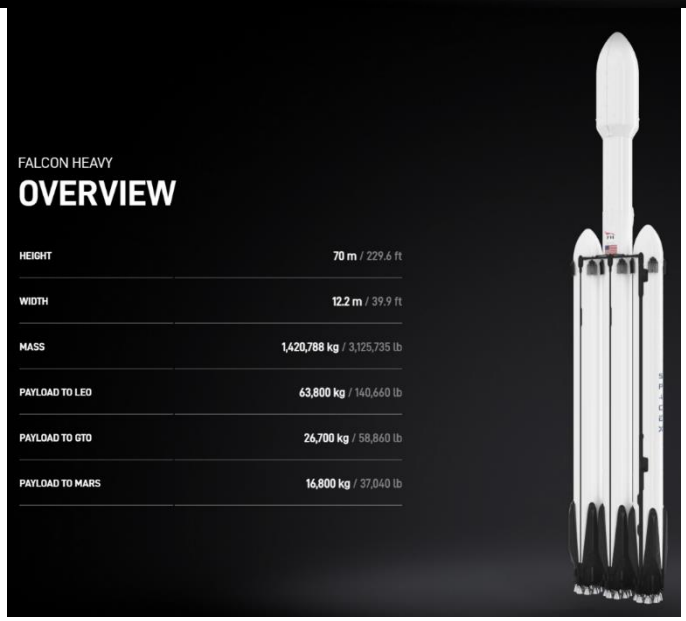


Figure 3 Falcon 9 & Falcon 9 Heavy – Source SpaceX

Le lanceur doit d'une part assurer sa mission de mise en orbite de charge utile et d'autre part passer par les étapes de récupération avant de pouvoir être reconditionné puis réutilisé.

Les principales étapes de la mission :

1. Mise à feu du premier étage et des boosters
2. Extinction des boosters et séparation
3. Descente contrôlée des boosters (récupération)
4. Atterrissage des boosters
5. En parallèle la premier étage et le second étages poursuivent leur vol
6. Extinction du premier étage et séparation
7. Descente contrôlée du premier étage (récupération)
8. En parallèle, allumage du second étage et vol
9. Séparation de la coiffe
10. Descente de la coiffe
11. Récupération de la coiffe
12. En parallèle de la descente de la coiffe poursuite du vol du second étage
13. Mise en orbite de la charge utile
14. Inspection et reconditionnement du premier étage et des boosters
15. Nouveau lancement

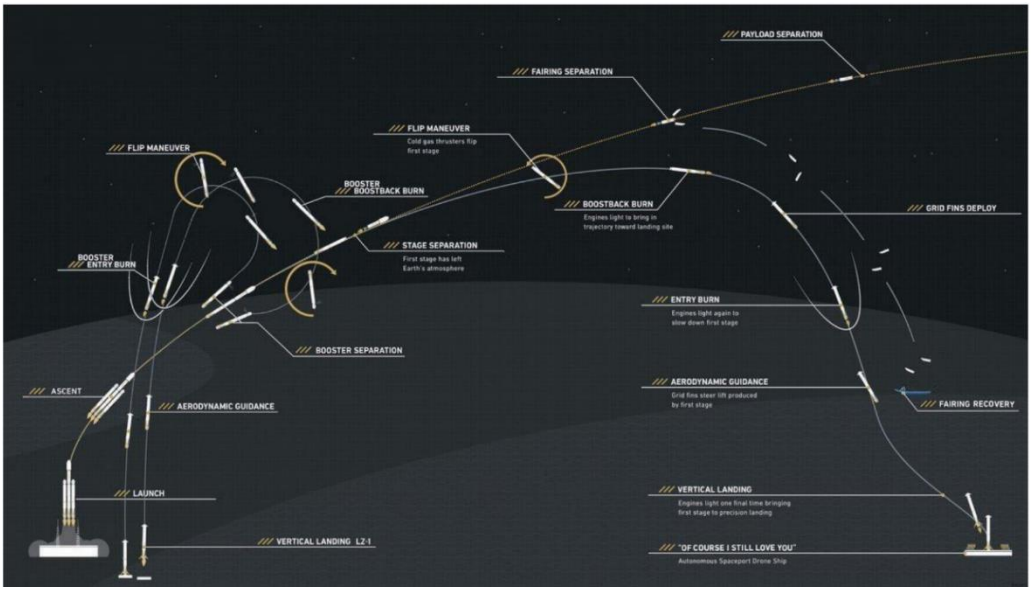


Figure 4 : Falcon Heavy sample mission profile – Source SpaceX

Pour un système à atterrissage vertical, la partie supérieure qui peut être assimilée à un avion spatial du type navette qui va redescendre en planant pour atterrir sur une piste. Idem pour le les solutions aéroportés.

Nous retenons qu'en plus de la mission de mise en orbite de la charge utile, le système de lancement doit assurer la mission de retour sur terre ou en mer tout en garantissant son intégrité sur l'ensemble de son vol et notamment sur les phases de redescente, d'atterrissage et d'amerrissage. Il y a donc un impact sur les moyens sols et les moyens de récupération.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

10.2 Les mécanismes de récupération et de réutilisation

Dans ce paragraphe, nous plongeons dans les mécanismes de récupération et de réutilisation qui sont au cœur des lanceurs réutilisables. Les différentes méthodes de récupération, telles que l'atterrissage vertical et l'amerrissage, sont explorées, mettant en évidence les défis et les avantages de chaque approche. Des exemples concrets de missions réussies et les enseignements tirés de leurs expériences sont présentés pour illustrer la viabilité de ces technologies.

10.2.1.1 Mécanismes de récupération pour les système de lancements verticaux

Il existe aujourd'hui plusieurs solutions pour la récupérations des systèmes de lancement verticaux. Par exemple, pour un lanceur vertical, le concept de retournement ("toss-back"), qui a été validé avec succès sur le Falcon 9 de SpaceX, exige des composants spécifiques, tels qu'un moteur réallumable avec une poussée variable (nécessaire pour des niveaux de poussée très faibles lors de l'atterrissage), un système de guidage supplémentaire comprenant des unités de mesure inertielle (IMU), des calculateurs, des logiciels et des ailerons, ainsi qu'une quantité de carburant supplémentaire. Suite au retournement, le premier étage réalise une trajectoire balistique aidé par quatre Grid Fins.



Figure 5 : Falcon Heavy Block 5 boosters B1052 and B1053 landed at LZ-1 and LZ-2 after their April 2019 launch debut. (SpaceX)

La solution initiale envisagée pour la fusée Electron de RocketLab était basée sur la descente sous parachute du premier étage qui devait être récupérer en vol à l'aide d'un hélicoptère. Après plusieurs tentatives cette solution a été abandonnée à la faveur d'un amerrissage. RocketLab a pu évaluer l'impact de la retombée en mer et a commencé à réutiliser des parties du premier étage.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

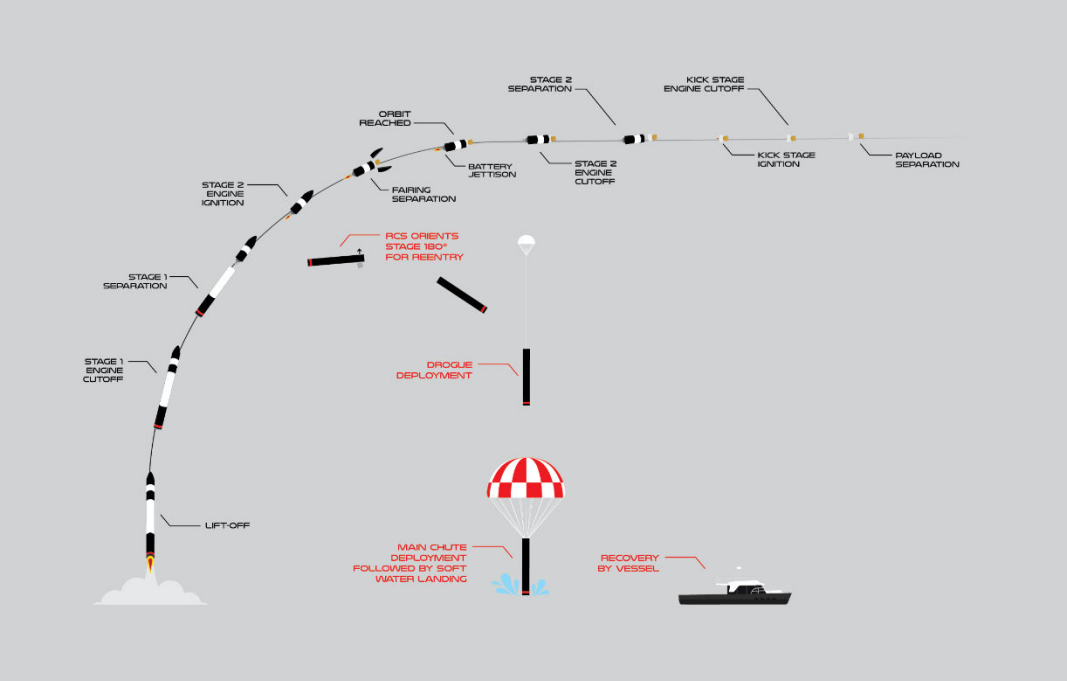


Figure 6 : Synoptique de vol lanceur Electron – Source RocketLab

10.2.1.2 Mécanismes de récupération pour les système de lancements aéroportés et/ou à retour horizontale

Nous n'avons pas référencé à ce jour de solution opérationnelle de système de lancement aéroporté qui soit 100% réutilisable. Le LauncherOne de Virgin Orbit ou encore PEGASUS d'Orbital Sciences pouvaient être considérés comme semi réutilisables si l'on considère l'avion porteur comme le premier étage. De par sa nature le porteur est réutilisable, tout comme la solution de système de lancement à retour horizontale qui plane pour atterrir comme un avion. LauncherOne et PEGASUS sont aujourd'hui retirés des opérations. La solution qui se rapproche le plus du 100% réutilisable est le SpaceShipTwo de Virgin Galatic. Le SpaceShipTwo est propulsé par un moteur hybride et revient en planant grâce un système ingénieux qui s'inspire du volant de Babington. Il est destiné au tourisme spatial, à l'emport d'expérience et effectue uniquement des vols suborbitaux.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

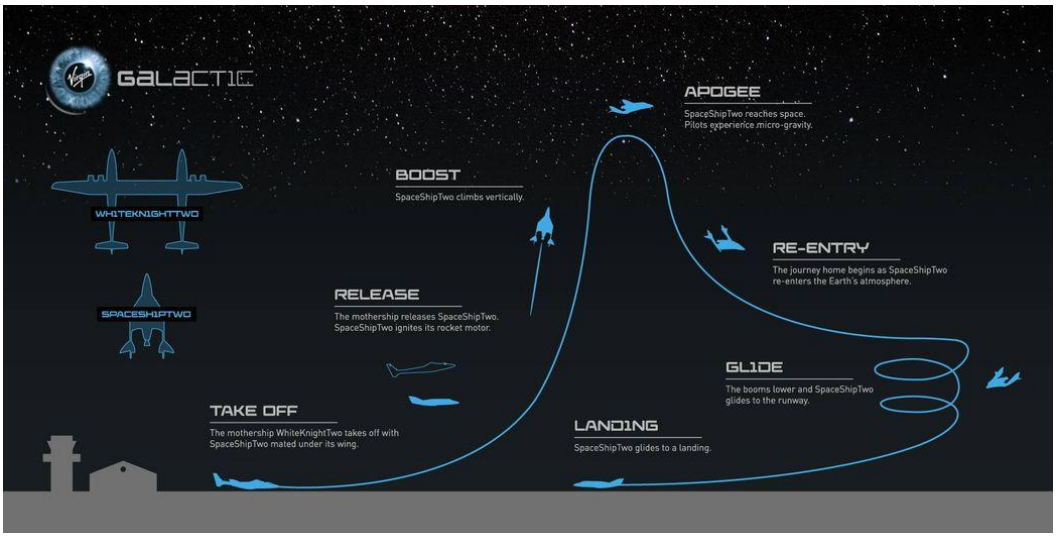


Figure 7 : SpaceShip2 Flight Patch – Virgin Galactic

Historiquement la navette spatiale revenait en planant, la traversée de l'atmosphère nécessitait une protection thermique qui couvrait une bonne partie de l'engin (la face exposée à la rentrée atmosphérique. Ce système est aujourd'hui repris pour les orbiteurs spatiaux types X-37B de BOEING côté US, le Shenlong côté Chine ou encore le Space Ryder en Europe. L'Europe a eu dans les années 90 sont propre programme de navette spatiale Hermès qui n'a pas abouti.

10.2.1.3 Mécanisme de réutilisation pour tous types de systèmes de lancements

Suite à la récupération des composants après vol (le premier étage par exemple), ils font l'objet d'une inspection minutieuse pour détecter d'éventuels dommages ou signes d'usure. Des réparations ou des remplacements sont effectués au besoin. Une fois cette inspection et la maintenance terminées, les composants récupérés sont soigneusement préparés pour un nouveau vol. Cela comprend des tests de fiabilité et de performance approfondis, ainsi que leur intégration dans un nouveau lanceur. Le cycle de réutilisation peut être répété plusieurs fois, permettant ainsi d'effectuer de multiples vols avec les mêmes composants récupérés. Cette répétition du cycle est essentielle pour maximiser les avantages de la réutilisation.

Certains systèmes de lancement réutilisables vont encore plus loin en cherchant à récupérer non seulement le premier étage, mais aussi les charges utiles elles-mêmes, comme les capsules de cargaison. Cela permet de réduire considérablement les coûts de fabrication de nouvelles charges utiles pour chaque mission. Pour optimiser l'utilisation des ressources, certains lanceurs réutilisables mettent en œuvre des stratégies d'économie de carburant, notamment en récupérant le carburant non utilisé pour l'utiliser dans d'autres missions. Cette approche vise à minimiser le gaspillage de ressources précieuses.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

La maintenance et la révision sont des étapes cruciales entre les vols pour garantir la fiabilité des composants réutilisés et la sécurité des vols futurs. Un suivi attentif est nécessaire pour s'assurer que chaque composant est en parfait état de fonctionnement.

Enfin, l'évolution technologique est constante dans le domaine des lanceurs réutilisables. Les entreprises spatiales s'efforcent de développer de nouvelles technologies et d'optimiser les processus pour rendre la réutilisation encore plus économique et efficace à mesure que la technologie progresse.

10.3 Avantages et inconvénients des lanceurs réutilisables

L'analyse des avantages et des inconvénients des lanceurs réutilisables nous permet de faire une évaluation équilibrée de leur pertinence. Cela nous apporte des éléments essentiels dans le contexte du New Space. Les avantages économiques sont examinés en détail, en se concentrant sur la réduction significative des coûts de lancement, la multiplication des opportunités de lancements fréquents et l'amélioration de l'efficacité opérationnelle. Cependant, les inconvénients ne sont pas négligés. Les coûts initiaux élevés de développement et de mise en œuvre de la technologie réutilisable, ainsi que les défis opérationnels de maintenance et de certification, sont affichés. Cette analyse comparative des avantages et des inconvénients nous éclaire sur la complexité du choix entre les lanceurs traditionnels et les lanceurs réutilisables pour différentes missions

Le lanceur réutilisable	
Avantages	Inconvénients
✓ Potentiel de réduire significativement les coûts, car le premier étage représente généralement plus de la moitié du coût total d'un lanceur. ✓ La remise en état après la récupération s'avère généralement moins coûteuse qu'une nouvelle fabrication. ✓ Une avancée majeure dans l'industrie spatiale. ✓ Permet la récupération et la réutilisation de certaines parties de la fusée après leur lancement. ✓ Réduit les coûts de fabrication (au global). ✓ Permet d'augmenter la fréquence des lancement. ✓ Contribue à une utilisation plus durable de l'espace.	✓ Coûts initiaux de développement élevés. ✓ Coûts associés à sa remise en état. ✓ L'impact notamment sur la masse lanceur peut réduire considérablement les performances du lanceur une fois en orbite. ✓ Défis techniques complexes, comme la conception de systèmes de récupération fiables, la gestion des contraintes thermiques et structurelles lors de la rentrée atmosphérique, et la maintenance entre les vols. ✓ Nécessites des systèmes sols spécifiques. ✓ Une capacité de charge utile légèrement réduite pour intégrer la capacité de réutilisation.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

✓ Le cycle de lancement peut être réitéré plusieurs fois, avec l'objectif de maximiser la réutilisation. ✓ Evite la fabrication de composants neufs à chaque lancement. ✓ Potentiel d'augmenter la fréquence des lancements. ✓ Contribue à réduire les déchets spatiaux et les impacts environnementaux liés aux lancements. ✓ La récupération du premier étage est la possibilité d'offrir deux types de missions distinctes : une mission hautement énergétique avec une charge utile maximale, sans récupération, et une mission avec récupération du premier étage, plus économique mais avec une capacité de charge utile légèrement réduite.	

Des analyses approfondies de la réutilisation du premier étage ont été réalisées en Europe. Elles ont soulignés la complexité de cette approche, compte tenu des nombreux facteurs en jeu, notamment la réduction de la cadence de production, l'augmentation des coûts fixes, les coûts de remise en état, la gestion flexible des différentes missions, la perte de performance et la logistique complexe. Il est également à noter que le coût de la réutilisation, en particulier s'il s'agit d'un lanceur à retournement ("toss-back") ou à voilure fixe, pourrait être proportionnellement plus élevé pour les petits lanceurs. En conséquence, tester de nouveaux concepts de réutilisation sur de petits lanceurs peut être une démarche intéressante pour valider certaines technologies avant de les appliquer à des lanceurs de plus grande taille. Nous présentons en ***ANNEXE 6 [cf. §17.6]*** une liste non exhaustive des défis techniques associées au lanceurs réutilisables.

10.4 Etudes de cas : SpaceX - Falcon 9 et Blue Origin - New Shepard

Cette section se penche sur les études de cas spécifiques de deux entreprises emblématiques du New Space : SpaceX et Blue Origin. En se basant sur des données historiques, des témoignages d'experts et des analyses détaillées, nous explorons les expériences et les défis rencontrés par ces entreprises dans leurs efforts pour développer et exploiter des lanceurs réutilisables. Les succès et les revers liés aux tentatives de récupération des étages, les ajustements techniques effectués pour améliorer la fiabilité et les enseignements tirés des échecs sont examinés minutieusement. Des exemples concrets de missions réussies, illustrant les bénéfices de la réutilisation, renforcent l'analyse des études de cas.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

10.4.1 Etudes de cas SpaceX – Falcon 9

Le Falcon 9 est le lanceur phare de SpaceX en attendant le StarShip, le lanceur super lourd et 100% réutilisable. SpaceX, officiellement Space Exploration Technologie Corporation a été fondée par Elon Musk en 2002 et est devenue une entreprise emblématique du New Space grâce à ses efforts pour développer et exploiter des lanceurs réutilisables, et des satellites destinés à l'internet pour tous. Le Falcon 9 est un lanceur orbital conçu pour répondre aux besoins de l'industrie spatiale en matière de lancement de satellites commerciaux, de ravitaillement de la Station spatiale internationale (ISS) et de missions gouvernementales. Il existe en deux versions, Falcon 9 et Falcon 9 Heavy (cf. §10.1). Cette étude de cas se penche sur le développement, les caractéristiques techniques, les avantages et les implications du Falcon 9, notamment son rôle dans la réduction des coûts de lancement.

- **Contexte :**

Dès 2002, SpaceX a entrepris une mission audacieuse pour réduire drastiquement les coûts de lancement tout en améliorant considérablement la fiabilité des lanceurs spatiaux en développant des lanceurs réutilisables. L'objectif visé : réduire les coûts d'accès à l'espace d'un facteur dix. Pour concrétiser cette ambition de réduction des coûts, SpaceX opte pour une approche novatrice, axée sur la réutilisation du premier étage de ses lanceurs. Le défi était de récupérer et de remettre en état les étages des fusées, ce qui était une innovation majeure dans l'industrie spatiale. Avant l'arrivée du Falcon 9, les lancements spatiaux étaient coûteux, une des raisons, la pratique consistant à utiliser des lanceurs à usage unique.

- **Développement du Falcon 9 :**

L'histoire de la Falcon 9 commence avec la Falcon 1, un lanceur léger voulu partiellement réutilisable. C'est le premier lanceur entièrement financé par des investissements privés. Le développement du Falcon 9, un lanceur plus puissant, est déjà en cours en 2009, mais SpaceX met en service le Falcon 1, considéré comme une version réduite du Falcon 9, dans le but principal de tester les systèmes qui seront ultérieurement déployés sur ce dernier. Le Falcon 1 effectue son tout premier vol d'essai en mars 2006, cependant, ce vol inaugural se solde par un échec, tout comme les deux vols suivants en mars 2007 et en août 2008. Malgré ces revers, la détermination d'Elon Musk à jouer un rôle significatif dans le domaine spatial demeure intacte. En septembre 2008, le Falcon 1 réussit enfin à placer un satellite en orbite, et cette réussite est suivie par une opération similaire en juillet 2009. Par la suite, SpaceX a poursuivi ses activités en développant d'autres lanceurs, notamment le Falcon 5, qui a finalement été abandonné, pour finalement aboutir au Falcon 9, qui intègre également un premier étage réutilisable et offre une capacité d'emport considérablement accrue par rapport au Falcon 1.

- **Falcon 1 et leçons apprises pour le Falcon 9 :**

Tout comme le Falcon 1, le Falcon 9 a été conçu dès le départ avec la récupération en tête. Le premier succès a été enregistré le 4 juin 2010 avec la récupération partielle d'un premier étage. Il a marqué le début d'une nouvelle ère dans le secteur spatial. Le Falcon 9 est devenu le premier lanceur orbital réutilisable avec succès lors de son premier vol de démonstration de réutilisation en 2015, marquant une avancée majeure dans la réduction des coûts de lancement. SpaceX a continuellement amélioré le Falcon 9 avec plusieurs versions, y compris le Falcon 9 Full Thrust et le Falcon 9 Block 5, visant à améliorer les performances et la réutilisabilité.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- **Caractéristiques techniques du Falcon 9 :**
  - Moteurs Merlin : Le Falcon 9 est propulsé par neuf moteurs Merlin, développés en interne par SpaceX. Ils sont connus pour leur efficacité et leur fiabilité.
  - Système de réutilisation : Le lanceur est équipé de jambes d'atterrissage et d'ailettes de contrôle pour permettre des atterrissages verticaux contrôlés sur la terre ferme ou sur une plateforme en mer.
  - Flexibilité de charge utile : Le Falcon 9 peut lancer une variété de charges utiles, des satellites de communication aux missions gouvernementales et aux ravitaillements de l'ISS.

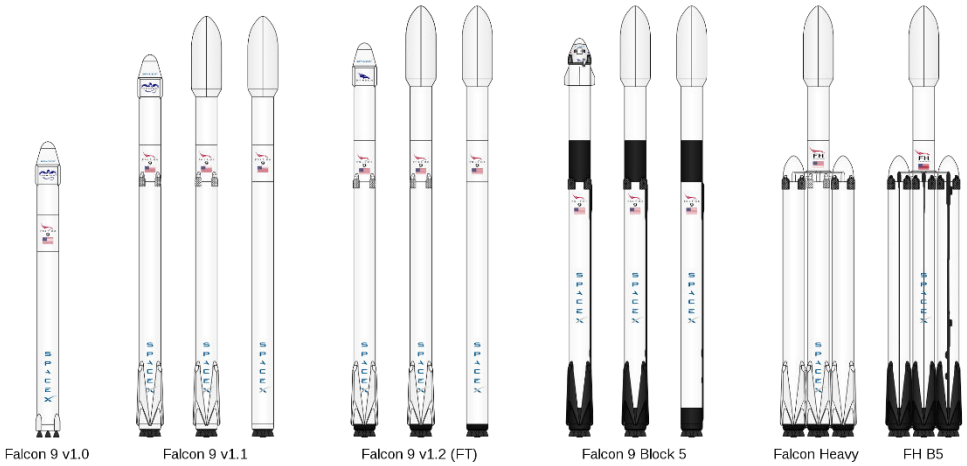


Figure 8 : Falcon 9 Familly -source SpaceX

- **Le Falcon 9, Avantages et Implications :**

Le Falcon 9 a radicalement réduit les coûts de lancement, ouvrant la voie à des missions plus abordables pour les clients commerciaux et gouvernementaux. Sa capacité de réutilisation lui a permis de réduire considérablement les déchets générés par les lancements spatiaux et donc contribuer à une exploitation plus durable de l'espace. Au fil des années, SpaceX est devenue un acteur majeur du marché des lancements commerciaux en raison de la compétitivité des prix et de la fiabilité du Falcon 9. SpaceX a considérablement réduit les coûts de lancement grâce à la réutilisation, stimulant la compétitivité de l'industrie spatiale. La réutilisation permet également des lancements plus fréquents, accélérant la réalisation d'objectifs spatiaux.

- **Les Enseignements des Échecs :**

SpaceX a rencontré des échecs et des accidents, notamment l'explosion de plusieurs fusées Falcon 9. Ces incidents ont conduit à des enquêtes, à des ajustements techniques et à une amélioration continue de la sécurité. La société en fait la part belle dans une vidéo (https://www.youtube.com/watch?v=ambXDKFZhN8).

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- **Conclusion :**

SpaceX a réussi à surmonter d'énormes défis pour devenir un leader dans le domaine des lanceurs réutilisables. Le Falcon 9 de SpaceX a révolutionné l'industrie spatiale en introduisant la réutilisation des lanceurs et en réduisant les coûts de lancement. Cette innovation a des implications significatives pour l'avenir de l'exploration spatiale commerciale et scientifique, en ouvrant la voie à des missions plus fréquentes, plus abordables et plus durables dans l'espace. Les ajustements techniques, les enseignements tirés des échecs et les exemples de missions réussies illustrent la révolution que SpaceX a apportée à l'industrie spatiale.

10.4.1 Etudes de cas Blue Origin - New Shepard



Figure 9 : New Shepard – Blue Origin

Le New Shepard est un lanceur suborbital réutilisable pour le tourisme spatial et la recherche scientifique développé par la société Blue Origin, fondée par Jeff Bezos en 2000. Blue Origin est une entreprise emblématique du New Space axée sur le développement de lanceurs réutilisables et la démocratisation de l'accès à l'espace. Cette étude de cas examine l'évolution historique, les succès, les revers, les ajustements techniques et les avantages de la réutilisation des lanceurs chez Blue Origin.

- **Contexte :**

La création du New Shepard par Blue Origin en s'inscrivant dans le mouvement New Space, reflète la volonté de l'entreprise de réduire les coûts et de rendre l'accès à l'espace plus accessible. Ce lanceur suborbital réutilisable, développé depuis 2000, incarne la vision de Jeff Bezos pour un avenir où les voyages spatiaux sont courants et abordables. L'approche progressive, les innovations technologiques et les succès, tels que le premier atterrissage réussi en 2015, ont contribué à faire du New Shepard un acteur majeur dans le tourisme spatial et la recherche suborbitale, tout en stimulant la transformation de l'industrie spatiale.

- **Développement du New Shepard :**

Le développement a été caractérisé par une approche progressive, débutant avec des vols d'essai dès 2006, mais restant relativement discrets. Le New Shepard a subi d'importants ajustements techniques pour assurer la sécurité et la réutilisabilité, avec un succès notable en 2015 lors du premier atterrissage réussi d'un étage supérieur. Il est devenu un acteur majeur dans le tourisme spatial et la recherche scientifique suborbitale, incarnant la vision de Blue Origin pour un accès plus démocratique à l'espace, tout en contribuant à transformer l'industrie spatiale contemporaine.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- **New Shepard et leçons apprises pour le futur New Glenn :**

Blue Origin a capitalisé sur ses revers, en particulier les défis associés à la stabilité en vol et à la réutilisation de l'étage supérieur du New Shepard. Ces expériences ont été mises à profit pour constamment améliorer le système. Des ajustements ont été déployés pour garantir une séparation en douceur et un atterrissage contrôlé de l'étage supérieur. De plus, des révisions substantielles du design du New Shepard ont été entreprises afin d'accroître sa fiabilité et sa capacité de réutilisation.

- **Caractéristiques techniques du New Shepard :**
  - Hauteur et Configuration : Le New Shepard est constitué de deux modules, un module supérieur qui abrite les passagers et les charges utiles, et un module propulsif en forme de fusée. Il mesure environ 18 mètres de hauteur.
  - Propulsion : Le lanceur est propulsé par un moteur BE-3, qui fonctionne à l'hydrogène liquide et à l'oxygène liquide. Ce moteur est conçu pour être réutilisable et permet une poussée contrôlable pour assurer la sécurité des passagers et des charges utiles.
  - Système de Séparation : Le New Shepard est équipé d'un système de séparation entre le module supérieur et le module propulsif qui permet une séparation en douceur et contrôlée, favorisant la réutilisation.
  - Capacité : Il est capable de transporter jusqu'à six passagers dans le module supérieur, offrant une expérience de vol suborbital en apesanteur, ainsi que des expériences scientifiques et des charges utiles.
  - Réutilisabilité : L'une des caractéristiques les plus distinctives du New Shepard est sa réutilisabilité. Après le lancement, le module supérieur se sépare du module propulsif, et les deux parties reviennent séparément sur Terre pour être réutilisées.
  - Atterrissage Vertical : Le module propulsif effectue un atterrissage vertical contrôlé, similaire à celui des fusées Falcon 9 de SpaceX, sur une aire d'atterrissage prévue à cet effet.
  - Système d'Éjection d'Urgence : Le New Shepard est équipé d'un système d'éjection d'urgence pour assurer la sécurité des passagers en cas d'incident majeur pendant le vol.
  - Fréquence de Vol : Le New Shepard a été conçu pour permettre des vols fréquents et rapides, avec des temps de préparation réduits entre les lancements.
  - Autonomie de Vol : Le New Shepard peut atteindre une altitude suborbitale d'environ 100 kilomètres, communément appelée la ligne de Karman, et offre aux passagers plusieurs minutes d'apesanteur avant de retourner sur Terre.
  - Objectifs de Recherche Scientifique : Outre le tourisme spatial, le New Shepard est utilisé pour des missions de recherche scientifique suborbitale, offrant des opportunités pour des expériences micro gravitationnelles.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

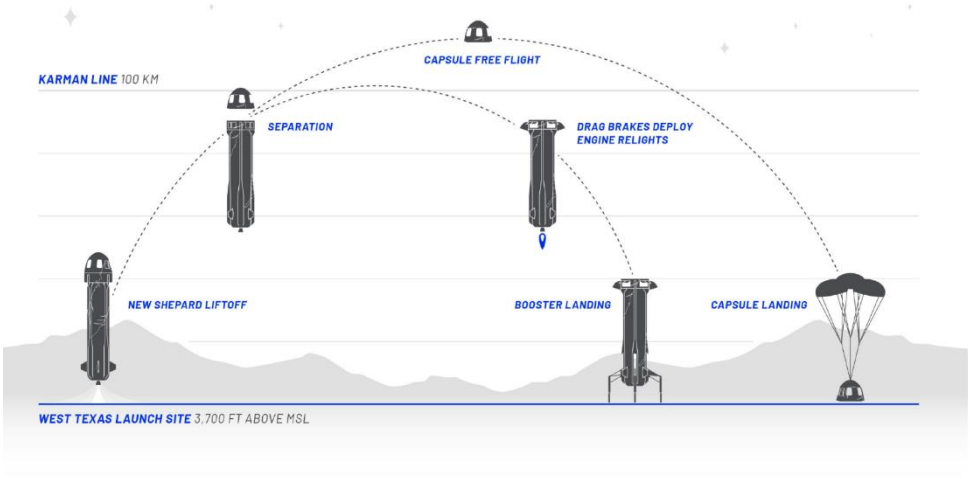


Figure 10 : Étapes de vol du New Shepard

- **Le New Shepard Avantages et Implications :**

Le New Shepard de Blue Origin offre des avantages significatifs, notamment la démocratisation de l'espace via le tourisme spatial, la réutilisabilité réduisant les coûts, et des opportunités de recherche scientifique en microgravité. Cependant, il engendre aussi des implications essentielles, notamment la création d'une nouvelle industrie du tourisme spatial, l'inspiration pour l'éducation et la recherche scientifique, des préoccupations réglementaires liées à la sécurité et à l'environnement, ainsi qu'une compétition stimulante et des questions de durabilité dans l'espace. Ces aspects définissent le rôle du New Shepard dans la transformation de l'exploration spatiale.

- **Les Enseignements des Échecs :**

Les leçons tirées des échecs du New Shepard de Blue Origin ont été des éléments cruciaux de son parcours de développement. Ils ont renforcé la nécessité d'une fiabilité technique inébranlable, de la sécurité des passagers comme priorité absolue, et de l'amélioration constante de la réutilisabilité du véhicule. Ces revers ont également encouragé une innovation technologique continue, des itérations constantes du design, une communication transparente avec le public, et ont démontré l'importance de la persévérance. En fin de compte, ces enseignements ont contribué à façonner le New Shepard en un véhicule spatial performant et sûr, jouant un rôle fondamental dans le développement du tourisme spatial et de la recherche suborbitale.

- **Conclusion :**

Blue Origin est en train de devenir un acteur majeur de l'industrie spatiale grâce à son engagement en faveur de la réutilisation des lanceurs. Les ajustements techniques, les enseignements des échecs et les exemples de succès illustrent l'importance de cette approche pour révolutionner l'accès à l'espace de manière économique et durable.

11 ENJEUX ÉCONOMIQUES ET COMMERCIAUX

Ce chapitre abordera les implications économiques et commerciales associées au lanceurs de manière générale avec un focus sur les lanceurs réutilisables dans le cadre du New Space.
Vous trouverez en ***ANNEXE 7 [cf. §17.7]*** une présentation détaillée du marché du spatial et en ***ANNEXE 8 [cf. §17.8]*** des informations générales sur le marché du lancements de satellites.

Nous commencerons par nous interroger sur la place des lanceurs dans le marché spatial. Puis nous investiguerons sur le juste prix de la mise en orbite de charges utiles. Nous évaluerons ensuite comment l'adoption des lanceurs réutilisables peut influencer le coût global des lancements spatiaux et potentiellement démocratiser l'accès à l'espace. En examinant les modèles économiques des entreprises du New Space impliquées dans les lanceurs réutilisables, nous analyserons comment elles s'adaptent à ce nouveau paradigme. De plus, une analyse de la compétition internationale nous aidera à déterminer la position de l'Europe sur le marché mondial des lanceurs réutilisables.

11.1 La place du lanceur dans le marché du spatial

Pour mettre en orbite une charge utile, il faut un lanceur. Le pourcentage représenté par la charge utile versus la masse du lanceur reste aujourd'hui très faible (moins de 2%). Il en est de même pour la place du lanceur dans le marché du spatial qui est de l'ordre de 1,5%, cf***. ANNEXE 7.[cf. §.17.7.3]***. Il n'en demeure pas moins que sans lanceur il n'y a aucune économie spatiale. C'est le paradoxe de l'industrie des lanceurs.

11.2 Le juste prix de la mise en orbite de charges utiles

Le coût de l'accès à l'espace est un facteur prédominant pour les clients. L'ère du New Space dans laquelle nous nous inscrivons met fortement en avant la question du rapport qualité/prix. En effet comme nous pouvons le voir en ***ANNEXE 7 [cf. §.17.7.3]*** la principale source de profit se trouve dans sur la partie aval (dowstream) de l'activité spatial. Les conditions de mise en orbite (capacité, disponibilité, fiabilité précision), doivent être optimisées pour assurer la meilleure rentabilité en ce qui concerne la charge utile. C'est selon cette logique que se pose la question des Mini et Micro lanceurs. Quel bénéfice pour le client de payer un service qui de facto sera plus cher rapporté au kilogramme comparativement à la même opération sur un lanceur moyen ou lourd ?

Dans notre recherche nous avons trouvé de nombreux graphique qui représente le prix du kg en orbite. Au-delà du principe de prix il n'est pas aisé de converger vers une proposition unique. Nous pouvons retenir comme tendance qui se démarque, c'est que plus la performance du lanceur est importante en terme de masse, plus le prix sera bas. Les valeurs affichées restent à l'appréciation du lecteur. Il faudrait faire une étude plus poussée pour être en capacité d'identifier les coûts cachés et les conditions pour lesquels les prix sont affichés (par exemple le nombre de lancements par an). Ceci ne fait pas l'objet de notre mémoire.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

Nous présenterons donc ici les deux graphiques que nous avons retenus :

1. Le premier reste centré sur les 2 acteurs historiques que sont la Russie et les Etats Unis. Il introduit l'arrivée de l'acteur majeur qu'est la Chine.
2. Le second propose une vision plus globale. Il est interactif. Et prend en compte l'inflation.

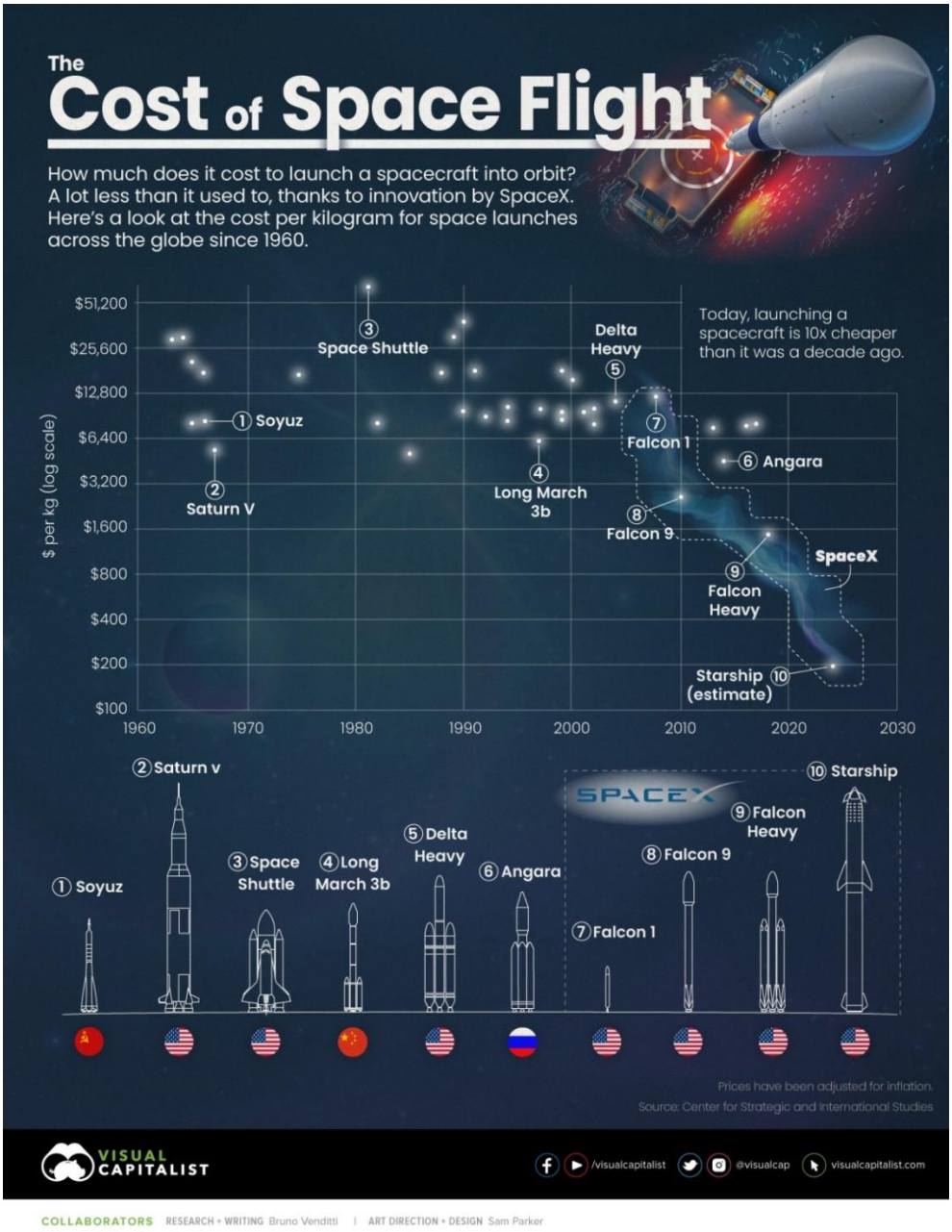


Figure 11 : The cost of the space flight

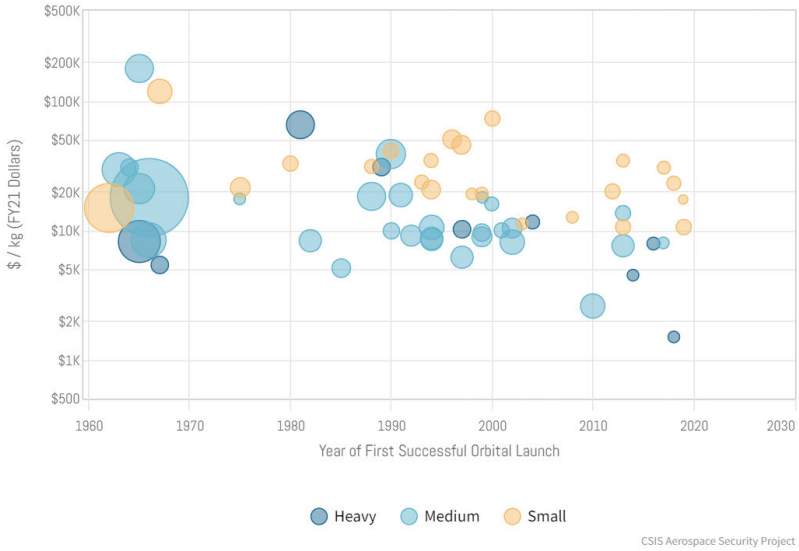


Figure 12 : Prix du kg en orbite (LEO) en fonction du lanceur (CSIS Aerospace Security Project)

Ce référentiel de données présenté sous forme de graphique compare les coûts entre les lanceurs spatiaux en intégrant de nombreuses caractéristiques du véhicule dans un seul chiffre: le coût de lancement d'un kilogramme de masse de charge utile en orbite terrestre basse (LEO) dans le cadre d'un lancement dédié.

A partir de ces informations, nous pouvons extrapoler l'impact économique des lanceurs réutilisables sur le secteur spatial. Nous avons examiné en détail les coûts de lancement associés aux lanceurs traditionnels et nous avons comparé ces chiffres avec les estimations des coûts de lancement réduits obtenus grâce à la réutilisation. En utilisant ces sources concrètes des coûts de missions et des données financières provenant d'acteurs du New Space, nous illustrons ici comment les lanceurs réutilisables ont le potentiel de transformer l'économie spatiale en rendant les missions plus abordables et en ouvrant de nouvelles possibilités pour une variété d'acteurs, des agences gouvernementales aux entreprises privées et aux startups.

11.3 L'approche Lean Start-up dans le New Space

En utilisant l'approche Canvas et plus particulièrement la proposition de valeur pour des entreprises du New Space, cette section se penche sur la manière dont les lanceurs réutilisables ont influencés et remodelés les stratégies commerciales. Nous analyserons de manière générales les aspirations des clients (fourniture de service de lancement pour la construction de constellations de satellites et la fourniture de capacités de recherche scientifique en orbite), leurs problèmes et les bénéfices attendus. Dans un second nous analyserons les produits et services proposés, les solutions et les bénéfices avec pour exemple MaiaSpace et RocketLab. Ces deux entreprises, filiale de d'ArianeGroup pour la première et startup du New Space pour la seconde offrent des perspectives concrètes sur la manière dont les lanceurs réutilisables ont catalysés de nouveaux modèles d'affaires et ont ouverts des marchés jusqu'alors inaccessibles.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

11.3.1 Proposition de la valeur

Voici la représentation schématique de la méthode de structuration de la proposition de la valeur que nous adoptons

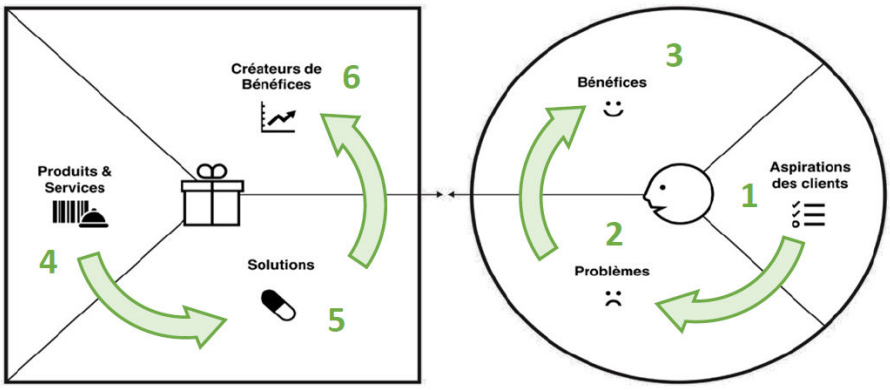


Figure 13 : Schéma de la proposition de la valeur tiré du livre « Business Model nouvelle génération »

Dans cette première partie nous présentons les aspirations clients (c'est-à-dire les fabricants, les opérateurs et les exploitants de satellites qu'ils soient institutionnels ou privés), les problèmes qu'ils rencontres et les bénéfices attendus.

- **Les aspirations clients :**

Les clients qui sollicitent des services de lancement de charges utiles ont une gamme variée de besoins essentiels. Ils recherchent avant tout un accès fiable à l'espace, exigeant des lancements sécurisés et précis pour atteindre les orbites requises. La flexibilité du calendrier, la capacité d'emport adaptée à leurs charges utiles, des tarifs concurrentiels et des options personnalisées sont également des facteurs déterminants. La sécurité des opérations de lancement, la conformité aux réglementations spatiales, l'assurance et la responsabilité, ainsi que des services complémentaires, tels que l'intégration de la charge utile et la gestion des fréquences radio, sont autant d'aspects cruciaux auxquels les clients s'attendent. En somme, les fournisseurs de services de lancement doivent répondre à une multitude d'exigences pour satisfaire les besoins diversifiés de leurs clients, qu'il s'agisse d'entreprises commerciales, d'agences gouvernementales ou d'organisations de recherche.

- **Les problèmes rencontrés par les clients :**

Les clients engagés dans des services de lancement de charges utiles font face à des problématiques diverses et complexes. Ces défis incluent la nécessité d'une fiabilité quasi absolue dans les lancements pour éviter des pertes coûteuses, la gestion des coûts pour assurer la rentabilité, la disponibilité des services de lancement, l'accès à un espace de plus en plus encombré, la compétitivité sur le marché spatial, la durabilité environnementale, la sécurité des opérations, la conformité réglementaire, la planification et la coordination complexes de missions, l'assurance adéquate pour couvrir les éventuels échecs, ainsi que la responsabilité en cas de dommages.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

Ces préoccupations variées soulignent l'importance pour les fournisseurs de services de lancement de répondre à une multitude d'exigences pour satisfaire les besoins diversifiés de leurs clients, qu'il s'agisse d'entreprises commerciales, d'agences gouvernementales ou d'organisations de recherche.

- **Les bénéfices attendues par les clients :**

Les clients qui recourent aux services de lancement de charges utiles anticipent une série de bénéfices significatifs, incluant l'accès fiable à l'espace pour déployer leurs charges utiles, des économies de coûts substantielles par le biais de solutions de lancement efficaces, des calendriers de lancement plus rapides qui accélèrent le déploiement de leurs missions spatiales, une flexibilité accrue pour répondre à leurs besoins spécifiques, l'accès à un marché spatial mondial et la génération potentielle de revenus, l'adoption de technologies de pointe, l'accès à des données cruciales pour diverses applications, des avantages stratégiques pour les clients gouvernementaux, et l'élévation du prestige pour les agences spatiales nationales. Ces bénéfices reflètent la diversité des objectifs et des avantages que les clients tirent des services de lancement de charges utiles, englobant des aspects financiers, opérationnels, scientifiques, technologiques et stratégiques qui renforcent la réussite de leurs missions spatiales et l'accomplissement de leurs aspirations spatiales.

11.3.2 MaiaSpace

MaiaSpace est une filiale entièrement détenue par ArianeGroup. Elle a été lancée officiellement en 2021. MaiaSpace est un spin off d'Ariane Works, une plateforme d'innovation lancée en 2019 par le CNES et d'ArianeGroup. MaiaSpace a pour ambition de fonctionner comme une start-up pour développer le mini lanceur Maia, partiellement réutilisable qui doit effectuer son premier vol en 2025.



Figure 14 : MaiaSpace / Image credit: European Spaceflight/Andrew Parsonson

- **Contexte :**

Le marché des lanceurs en Europe peut être qualifié de monopole. Et il est gouverné à ce jour par un seul grand acteur : ArianeGroup et ses filiales. Arianespace propose une famille de lanceurs avec trois catégories : léger, moyen et lourd. Le lanceur Maia est un lanceur spatial léger partiellement réutilisable. Son développement a commencé sous la plateforme ArianeWorks en 2019 et se poursuit avec MaiaSpace depuis 2021. Maia est une promesse de solution réutilisable compétitive en capacité de mettre en orbite SSO des charges utiles comprises entre 500 et 1500kg. MaiaSpace s'est donnée pour mission de concevoir, opérer et commercialiser le lanceur d'ici 2026.

- **Produits et Services :**

MaiaSpace souhaite proposer un service de lancement de charges utile qui soit concurrentiel avec le service de commercialisation associé. Le premier vol du lanceur Maia est prévu pour 2025. Doté d'un premier étage qui peut être réutilisable, ce lanceur aura la capacité de placer des charges utiles pesant entre 500 (1er étage réutilisable) et 1500 kg (1er étage consommable) en orbite terrestre basse (SSO). Ce projet est sous la responsabilité d'ArianeGroup, un acteur majeur de l'industrie spatiale en France, et impliquera la collaboration de start-ups et de petites et moyennes entreprises. Il repose sur la technologie des moteurs-fusées à ergols liquides PROMETHEUS. Ces moteurs disposent d'une poussée de 120T, la poussée peut être modulée et ajustée pour les phases de récupération. Certaines pièces du moteur sont réalisées en fabrication additive afin de réduire de manière significative les coûts Le lanceur s'appuie sur les avancées technologiques du démonstrateur d'étage réutilisable THEMIS. PROMETHEUS et THEMIS sont des programme de l'ESA qui sont pilotés par ArianeGroup. Maia est lanceur biétage avec 3 moteurs PROMETHEUS au premier étage et 1 PROMETHEUS adapté à la poussée dans le vide pour l'étage supérieur. Maia sera lancé depuis le Centre Spatial Guyanais (CSG).

- **Solutions :**

Les clients qui sollicitent des services de lancement de charges utiles attendent un ensemble de solutions cruciales. Leur priorité absolue est un lancement fiable de leurs charges utiles, accompagné d'économies de coûts substantielles et de calendriers de lancement plus rapides pour accélérer le déploiement de leurs missions spatiales. Ils recherchent également une flexibilité et une personnalisation pour répondre à des besoins opérationnels spécifiques, une optimisation de l'orbite ou de la trajectoire, la garantie de sécurité des opérations et la conformité aux réglementations spatiales. De plus, certains clients peuvent exiger des services complets de gestion de projet et de maintenance post-lancement. Ces solutions doivent permettre un accès fiable à l'environnement spatial tout en minimisant les risques et en respectant les réglementations, répondant ainsi aux besoins diversifiés des clients, qu'il s'agisse d'entreprises commerciales, d'agences gouvernementales ou d'organisations de recherche.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- **Créateurs de bénéfices :**

Le lanceur réutilisable offre une gamme complète de bénéfices aux clients qui engagent des services de lancement de charges utiles. Cela se traduit par une réduction significative des coûts de lancement, un accès plus fréquent à l'espace, une flexibilité accrue en matière de calendrier et de trajectoire, une personnalisation des solutions, une réduction de l'impact environnemental des opérations spatiales, une stabilité opérationnelle, une rentabilité accrue pour les services commerciaux spatiaux, des avancées technologiques stimulées, une réduction des risques liés aux lancements, une compétitivité renforcée sur le marché spatial, une réduction du temps de développement de capacités spatiales, et une amélioration globale de la fiabilité des missions. Ces avantages engendrent un environnement propice à la croissance et à l'expansion des activités spatiales commerciales, scientifiques et gouvernementales, avec des implications majeures pour l'industrie spatiale dans son ensemble.

11.3.1 Rocket Lab

Rocket Lab est une entreprise du spatial cofondée par Peter Beck, un génial touche à tout autodidacte. L'idée lui est venu en 2006 suite à un voyage aux États-Unis où il a essayé de décrocher un poste à la NASA et dans les entreprises majeures ou les nouvelles pousses du « New Space ». Rocket Lab est aujourd'hui la référence mondiale pour le service de lancement personnalisé de petits satellites. Malgré ce succès elle doit trouver de nouveaux modèles d'affaires pour assurer sa rentabilité.

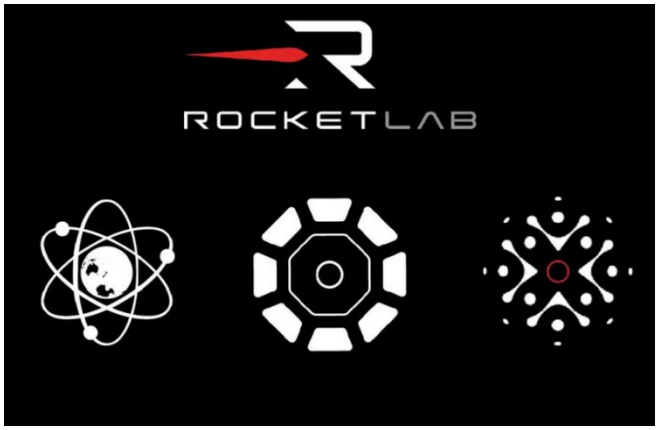


Figure 15 : Affiche Rocket Lab avec 3 de ses programmes (Electron, Photon et Neutron)

- **Contexte :**

Avant Rocket Lab, le marché des lanceurs en Nouvelle Zélande était inexistant. Créée en 2006, Rocket Lab en est le seul acteur. Depuis 2023, le siège social de la société est en Californie. L'entreprise propose le lanceur léger Electron avec son étage supérieur Photon pour mettre en orbite des petites charges utiles. Elle ambitionne de construire le lanceur moyen NEUTRON (capacité de de 7 à 8T en orbite base) pour concurrencer la Falcon 9 de SpaceX. Rocket Lab a présenté son concept HASTE (Hypersonic Accelerator Test Electron) en avril 2023. Le concept vise à utiliser le lanceur Electron pour déployer des engins de tests hypersoniques dans la haute atmosphère ou sur des trajectoires suborbitales.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- **Produits et Services :**

Rocket Lab propose un service de lancement de charges utile jusqu'à 300kg en orbite basse qui est concurrentiel et qui comprend le service de commercialisation associé. Le premier lancement commercial du lanceur Electron a eu lieu le 11 novembre 2018. Le premier étage est destiné à être réutiliser suite à sa redescente sous parachute et sa récupération en vol par un hélicoptère. De nombreuses tentatives de récupérations ont été réalisées sans donner une satisfaction complète. Depuis Rocket Lab à pivoté et laisse les étages amerrir. Une partie des composants récupérés a déjà pu être réutilisé. Le lanceur Electron c'est 18m de haut pour 12,5T, 1,2m de diamètre, une structure en carbone, une propulsion liquide LOX/Kérosène grâce à des moteurs imprimés en 3D. L'étage supérieur peut être équipé d'un Kick Stage.

- **Solutions :**

Avec le lanceur Electron, Rocket Lab répond au besoin des clients en proposant un service de lancement qui allie disponibilité, fiabilité flexibilité et une personnalisation pour répondre à des besoins opérationnels spécifiques pour le bénéfice des petites charges utiles. En 2025 Rocket Lab a inauguré une plateforme web pour réserver des emplacements de Cubesats. Ce qui a permis d'accélérer le long processus commercial et de signature de contrat.

- **Créateurs de bénéfices :**

Le mini-lanceur de satellites et de CubeSats Electron propose de lancement à bas coûts et une très forte disponibilité par sa conception et sa capacité à être lancé depuis 3 sites différents. C'est aujourd'hui la référence pour les petits lanceurs qui propose un gain de temps et d'argent pour les clients. Le modèle d'affaire cherche encore la rentabilité en proposant au client de nouvelles fonctionnalités et en tentant de répondre à une demande de plus en plus croissante.

11.4 Compétition Internationale et Position de l'Europe

La compétition internationale pour les lanceurs réutilisables est intense, avec plusieurs acteurs majeurs cherchant à développer et à exploiter cette technologie. Dans ce contexte, l'Europe, principalement représentée par l'Agence spatiale européenne (ESA) et des entreprises telles qu'Arianespace ou encore des startups, cherchent à se positionner dans cette course.

L'Europe a historiquement joué un rôle significatif dans l'industrie spatiale, avec les lanceurs Ariane étant parmi les plus fiables et performants au monde. Cependant, l'introduction des lanceurs réutilisables par des entreprises comme SpaceX avec le Falcon 9, ses déclinaisons et bientôt le StarShip a changé la donne. L'Europe doit reconnaitre la nécessité d'innover pour rester compétitive.

Le CNES et ArianeGroup ont lancés l'initiative ArianeWorks pour explorer les concepts de lanceurs réutilisables. Il en résulte le développement d'un lanceur réutilisable appelé « Maia » qui profitera des travaux de PROMETHEUS, CALLISTO et THEMIS. La structure en charge de ce développement est MaiaSpace qui est une filiale d'ArianeGroup,. Du côté des startups, l'ambition du réutilisable est affiché de manière lointaine.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

Il n'y a pas à ce jour en Europe de proposition de lanceur 100% réutilisable, même si des études ont été lancées comme l'investigation PROTEIN (PRELIMINARY ELEMENTS ON EUROPEAN REUSABLE AND COST-EFFECTIVE HEAVY LIFT TRANSPORTATION) portée par l'ESA qui vise à étudiée la faisabilité d'un lanceur super lourd réutilisable horizon 2035. (https://commercialisation.esa.int/2023/05/protein-the-new-european-heavy-lift-launcher-study/).

La position de l'Europe dans cette compétition dépendra de sa capacité à concrétiser ces projets et à les mettre en service opérationnel. L'Europe dispose d'une base solide en termes de technologie spatiale et de coopération internationale grâce à l'ESA, ce qui peut être un atout précieux pour réussir dans le domaine des lanceurs réutilisables. Cependant, le rythme de l'innovation et la concurrence accrue signifient que l'Europe doit rester agile et axée sur l'efficacité pour maintenir sa position sur le marché mondial des lanceurs spatiaux.

11.5 Implications pour les Marchés Émergents et les Applications Commerciales

La réduction des coûts de lancement et l'augmentation de la fréquence des lancements sont des moteurs essentiels pour la création de nouvelles entreprises et initiatives commerciales dans le domaine spatial. Cette baisse des coûts permet aux acteurs du secteur spatial, qu'ils soient établis ou émergents, d'accéder à l'espace de manière plus abordable. Elle encourage l'innovation, stimule la diversification des activités spatiales et favorise l'essor de nouveaux marchés tels que les petits satellites, le tourisme spatial et l'exploitation des ressources spatiales. En parallèle, une fréquence accrue des lancements crée un environnement plus dynamique, ouvrant la porte à une multitude d'opportunités commerciales, de la maintenance en orbite à la désorbitation des débris spatiaux. En somme, ces évolutions révolutionnent le secteur spatial en élargissant son potentiel commercial et en ouvrant de nouvelles perspectives pour des entreprises et des initiatives audacieuses.

11.6 Conclusion et Perspectives Futures

Les implications économiques et commerciales liées à l'industrie spatiale constituent un domaine vaste et en constante évolution. Les enjeux clés comprennent la nécessité de réduire les coûts d'accès à l'espace grâce à la réutilisation des lanceurs, pour élargir les opportunités commerciales et scientifiques. Il s'agit également de développer les marchés spatiaux, en répondant à la demande croissante pour des applications telles que les communications par satellite et la surveillance de la Terre. Le tourisme spatial représente un enjeu majeur, tout en exigeant des garanties de sécurité. L'exploration et l'exploitation des ressources extraterrestres, malgré leur potentiel, posent des questions complexes liées à la réglementation et à la durabilité. La compétition dans l'industrie des lanceurs spatiaux est féroce, tandis que le développement de vaisseaux réutilisables pour le transport spatial est central.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

La coopération internationale est cruciale pour les projets spatiaux ambitieux, tout comme la protection de l'environnement spatial et la gestion des débris. L'innovation technologique est essentielle pour la compétitivité, tout en naviguant dans les marchés internationaux sous des réglementations complexes. Ces enjeux économiques et commerciaux définissent le paysage spatial, offrant des opportunités considérables, mais nécessitant une gestion réfléchie des défis qui les accompagnent.

12 CADRE RÉGLEMENTAIRE ET POLITIQUE

Ce chapitre se penche sur les aspects juridiques et réglementaires liés aux lanceurs réutilisables. Nous examinons comment les réglementations spatiales existantes doivent être adaptées pour tenir compte des défis et des opportunités présentés par cette nouvelle technologie. En mettant l'accent sur les questions de sécurité, de responsabilité et de réglementation internationale, nous explorons comment les gouvernements et les organismes de réglementation travaillent pour faciliter l'intégration en toute sécurité des lanceurs réutilisables dans l'environnement spatial.

12.1 Réglementations Spatiales et Adaptation aux Lanceurs Réutilisables

12.1.1 Cadre réglementaire existant et nécessité d'adaptation

Dans ce paragraphe, nous plongeons dans l'examen détaillé du cadre réglementaire existant dans le secteur spatial et comment il doit être adapté pour tenir compte des lanceurs réutilisables. Nous explorons les réglementations nationales et internationales qui gouvernent les activités spatiales, en mettant l'accent sur les réglementations de sécurité, de trajectoire des débris spatiaux et de responsabilité en cas d'incidents. Nous examinons les défis spécifiques posés par les lanceurs réutilisables, tels que les risques associés à la réentrée atmosphérique et à l'atterrissage, ainsi que les mesures nécessaires pour garantir la sécurité des opérations et la protection des biens et des personnes au sol.

L'examen détaillé du cadre réglementaire existant dans le secteur spatial comme il est très bien présenté sous le lien suivant : https://www.alain-bensoussan.com/avocats/principes-droit-espace-sacralise/2018/11/08/, nous révèle toute la complexité de la gouvernance des activités spatiales, tant au niveau national qu'international. L'adaptation de ces réglementations pour prendre en compte les lanceurs réutilisables est devenue impérative à mesure que ces technologies révolutionnent l'accès à l'espace.

Au niveau international, des accords tels que le Traité sur l'Espace extra-atmosphérique de 1967 établissent des principes fondamentaux, y compris l'interdiction de l'appropriation de l'espace par les États et l'exigence d'une exploration spatiale pacifique. Ces accords fournissent un cadre essentiel, mais doivent être interprétés à la lumière des lanceurs réutilisables, qui génèrent des activités de réentrée atmosphérique et d'atterrissage répétées. Les risques potentiels pour la sécurité et la responsabilité en cas d'incidents doivent être soigneusement abordés.

Au niveau national, chaque pays élabore sa propre réglementation spatiale pour superviser les activités sur son territoire. Cela inclut la gestion des licences pour les lancements, la surveillance des trajectoires des débris spatiaux, la sécurité des lancements et la protection de l'environnement spatial. Avec l'introduction des lanceurs réutilisables, il devient essentiel de mettre en place des procédures de certification rigoureuses pour garantir que ces véhicules sont aptes à voler de manière répétée sans compromettre la sécurité.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

Les défis spécifiques posés par les lanceurs réutilisables comprennent la gestion des risques associés à la réentrée atmosphérique et à l'atterrissage, en particulier dans des zones habitées. Des protocoles de sécurité stricts et des procédures de vol précises sont nécessaires pour minimiser ces risques. De plus, la responsabilité en cas d'incidents doit être clarifiée, tant pour les dégâts matériels que pour la protection des vies humaines.

Selon nous, l'adaptation du cadre réglementaire pour les lanceurs réutilisables nécessite une coopération internationale étroite et une mise à jour constante pour refléter les progrès technologiques. L'objectif ultime est de garantir la sécurité des opérations spatiales tout en facilitant l'innovation et la croissance continue de l'industrie spatiale.

12.1.2 Les efforts internationaux pour moderniser les réglementation

Nous abordons également les efforts internationaux visant à moderniser les réglementations pour prendre en compte la réutilisation des lanceurs. Nous analysons les initiatives de collaboration entre les agences spatiales, les organismes de réglementation et les experts techniques pour élaborer des normes et des directives appropriées qui tiennent compte des spécificités des lanceurs réutilisables. Nous examinons comment ces efforts visent à équilibrer la nécessité de promouvoir l'innovation et l'exploration spatiale tout en assurant la sécurité et la durabilité de l'environnement spatial.

Les efforts internationaux visant à moderniser les réglementations pour intégrer la réutilisation des lanceurs représentent une évolution essentielle du secteur spatial. Ces initiatives reposent sur la collaboration entre diverses parties prenantes, notamment les agences spatiales, les organismes de réglementation et les experts techniques, afin d'élaborer des normes et des directives appropriées prenant en compte les caractéristiques spécifiques des lanceurs réutilisables.

Ces efforts de modernisation visent à atteindre un équilibre délicat entre la promotion de l'innovation et de l'exploration spatiale d'une part, et la garantie de la sécurité et de la durabilité de l'environnement spatial d'autre part. Ils impliquent l'examen minutieux de questions clés telles que la réentrée atmosphérique, l'atterrissage, la gestion des débris spatiaux et la responsabilité en cas d'incidents. Les normes et les directives qui en résultent fournissent un cadre réglementaire transparent et cohérent pour les activités liées aux lanceurs réutilisables, contribuant ainsi à renforcer la sécurité des opérations spatiales et à encourager la croissance de l'industrie spatiale.

Ces initiatives reflètent la reconnaissance croissante de la nécessité d'adapter le cadre réglementaire existant pour accompagner les avancées technologiques, tout en garantissant que l'exploration spatiale reste un domaine sûr, durable et propice à l'innovation.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

12.2 Initiatives Gouvernementales et Soutien aux Entreprises du New Space

Dans ce paragraphe, nous nous penchons sur les initiatives gouvernementales et les politiques de soutien aux entreprises du New Space, en mettant l'accent sur les lanceurs réutilisables. Nous examinons comment les gouvernements nationaux et régionaux en Europe ont adoptés des approches pour encourager le développement de lanceurs réutilisables et stimuler l'innovation dans le secteur spatial.

Nous analysons les programmes de subventions, les incitations fiscales et les partenariats public-privé qui ont été mis en place pour soutenir la recherche et le développement de technologies spatiales innovantes, y compris les lanceurs réutilisables. Nous examinons également comment ces initiatives ont eu un impact sur les entreprises du New Space, en les aidant à surmonter les défis financiers et techniques liés à la mise en œuvre de la réutilisation des lanceurs.

Nous avons recensé de nombreuses initiatives gouvernementales et soutiens aux entreprises du New Space dans le monde, notamment aux États-Unis et en Europe. Voici quelques exemples de ces initiatives :

- **Aux États-Unis :**
  - Commercial Resupply Services (CRS) de la NASA : La NASA a établi le programme CRS pour soutenir les entreprises privées, telles que SpaceX et Northrop Grumman, dans l'approvisionnement de fournitures et d'équipements à la Station spatiale internationale (ISS).
  - Commercial Crew Program de la NASA : Ce programme vise à développer des véhicules spatiaux habités commerciaux, tels que le Crew Dragon de SpaceX, pour le transport des astronautes vers l'ISS.
  - Programme Artémis : La NASA collabore avec des entreprises du secteur spatial pour retourner sur la Lune, en s'appuyant sur des partenariats public-privé pour développer des atterrisseurs lunaires.
  - Réglementation Favorable aux Entreprises Privées : Les États-Unis ont adopté des réglementations favorables aux entreprises privées, notamment en autorisant la réutilisation des lanceurs spatiaux, en encourageant l'exploitation des ressources spatiales, et en facilitant les vols commerciaux suborbitaux.
- **En Europe :**
  - Agence Spatiale Européenne (ESA) : L'ESA collabore avec des entreprises européennes pour soutenir la recherche spatiale et le développement technologique. Elle investit également dans des projets de lanceurs réutilisables et de débris spatiaux.
  - Initiative New European Space Policy (NESP) : L'UE a lancé l'initiative NESP pour promouvoir l'innovation et la compétitivité de l'industrie spatiale européenne, notamment en soutenant les startups du secteur spatial.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- Aides Nationales : Plusieurs pays européens offrent des incitations financières et fiscales pour encourager le développement d'entreprises du New Space sur leur territoire. La France dispose par exemple du plan d'investissement France 2030.

Cependant, il est important de noter que ces initiatives ont pu encore changer et des nouvelles ont pu éclore. Le New Space est en constante évolution, avec de nouvelles entreprises et de nouveaux projets émergents dans le monde entier, ce qui conduit à de nouvelles formes de soutien gouvernemental et à de nouvelles collaborations entre les secteurs public et privé. Pour pouvoir rester à jour sur ces initiatives, nous vous conseillons de consulter les sources d'actualité spatiale les plus récentes.

12.3 Considérations Éthiques et Environnementales

L'essor des lanceurs réutilisables soulève une multitude de considérations éthiques et environnementales. Tout d'abord, la gestion des débris spatiaux devient cruciale, car les multiples lancements et atterrissages augmentent le risque de pollution spatiale. De plus, la réutilisation peut réduire la production de déchets spatiaux, mais son impact environnemental global, y compris les émissions de gaz à effet de serre, doit être évalué attentivement. Les questions de justice environnementale sont également importantes, car les sites de lancement peuvent avoir des implications sociales et environnementales sur les populations locales. La démocratisation de l'accès à l'espace grâce à la réduction des coûts doit s'accompagner de garanties pour éviter une exclusivité. L'exploitation des ressources spatiales soulève des problèmes de propriété et de préservation environnementale. Les activités commerciales spatiales peuvent également perturber la recherche scientifique et nécessitent une réflexion sur la responsabilité en cas d'incidents. La conservation de l'environnement extraterrestre et la démocratie spatiale sont des préoccupations clés pour l'avenir de l'exploration spatiale. En fin de compte, gérer ces enjeux éthiques et environnementaux complexes nécessite une coopération internationale et une réglementation adaptée pour garantir que l'exploration spatiale reste durable et équitable.

12.4 Implications pour la Coopération Internationale

Les implications des lanceurs réutilisables pour la coopération internationale dans le domaine spatial sont considérables. L'introduction de cette technologie modifie la manière dont les pays et les agences spatiales collaborent pour explorer et exploiter l'espace. Tout d'abord, les réglementations spatiales et les politiques nationales doivent être adaptées pour intégrer efficacement la réutilisation des lanceurs dans le cadre de la coopération internationale. Cela nécessite une harmonisation des approches réglementaires pour faciliter l'utilisation transfrontalière de ces lanceurs tout en garantissant la sécurité et la responsabilité des opérations spatiales.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

De plus, les lanceurs réutilisables ouvrent la porte à des partenariats plus étroits entre les nations, car elles peuvent partager les coûts de développement et d'exploitation de ces lanceurs. Cela peut permettre aux pays de maximiser les avantages économiques et scientifiques tout en minimisant les dépenses. Cependant, cette coopération internationale dans le développement et l'exploitation de lanceurs réutilisables n'est pas sans défis. Il faut surmonter des obstacles complexes tels que la coordination entre les différentes nations, la répartition équitable des avantages et des responsabilités, ainsi que la gestion des divergences politiques et des considérations nationales. En fin de compte, les lanceurs réutilisables ont le potentiel de renforcer la coopération internationale dans le domaine spatial, mais leur intégration efficace nécessite une réflexion stratégique, une adaptation des réglementations et des politiques, ainsi qu'une volonté de surmonter les défis inhérents à cette évolution technologique majeure.

12.5 Conclusion et Réflexions sur l'Avenir Réglementaire et Politique

Le cadre réglementaire et politique qui gouverne l'industrie spatiale, en particulier les activités des lanceurs, est un domaine complexe et varié, variant d'un pays à l'autre et d'une région à l'autre. Il englobe un ensemble de règles, de normes et d'accords qui orientent et régissent les activités spatiales à l'échelle nationale et internationale. Parmi les aspects essentiels de ce cadre, on peut citer le Traité sur l'Espace extra-atmosphérique de 1967, considéré comme le fondement du droit spatial international, établissant des principes fondamentaux tels que l'interdiction de l'appropriation de l'espace par les États. Les agences spatiales nationales, telles que la NASA, l'ESA et Roscosmos, jouent un rôle crucial dans la mise en œuvre de la politique spatiale nationale, supervisant diverses activités spatiales. Chaque nation élabore sa propre réglementation spatiale pour superviser les activités sur son territoire, ce qui inclut la gestion des débris spatiaux, les licences de lancement, la sécurité et la protection de l'environnement spatial, avec des variations significatives entre les pays. La question de la propriété des ressources spatiales est en cours d'examen, influencée par des accords internationaux et des traités, tout comme la coopération internationale qui a donné naissance à des projets tels que la Station spatiale internationale (ISS). La montée de la commercialisation de l'espace nécessite une réglementation adaptée, couvrant des aspects tels que le lancement de satellites, le tourisme spatial, les services en orbite et l'exploitation des ressources spatiales. Les questions de sécurité nationale sont fréquemment associées aux activités spatiales, notamment pour des applications militaires telles que la surveillance par satellite. La gestion des débris spatiaux, la régulation des fréquences radio utilisées par les satellites, la réglementation du tourisme spatial et d'autres aspects sont également essentiels dans ce contexte. Dans l'ensemble, le cadre réglementaire et politique de l'industrie spatiale est en constante évolution pour répondre aux défis et aux opportunités croissants de l'exploration spatiale commerciale et scientifique, soulignant la nécessité de la coopération internationale et de la diplomatie pour assurer une gestion pacifique et éthique de l'espace extra-atmosphérique.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

13 PROPOSITIONS POUR L'EMERGENCE DES LANCEURS REUTILISABLES EN EUROPE ET EN FRANCE

Dans ce chapitre nous allons émettre 20 propositions pour l'émergence des lanceurs réutilisables en France et en Europe. Nous nous appuyons sur une méthode que nous avons découvert lors de notre formation sur le Design Thinking : « Les conseillers virtuels ». En se mettant à la place d'un conseiller en particulier et après avoir pris connaissance des projets et des initiatives d'études associées aux lanceurs réutilisables en Europe et en France, nous formulerons nos propositions.

13.1 Les conseiller virtuels

L'outil des « Conseiller virtuels » vise à identifier les caractéristiques et la vision d'un ou plusieurs conseillers qui sont généralement présentés sous la forme d'un fiche avec une photo. Il faut ensuite trouver des idées pour répondre à une problématique donnée en s'appuyant sur les caractéristiques de ce conseiller.

Dans notre cas, vous ne serez pas surpris si nous choisissons Elon Musk. Vous trouverez ci-dessous la fiche associée :

<table>
<tr>
<td>
</td>
<td>Méthode
La méthode de travail d'Elon Musk pour innover et provoquer des ruptures technologiques est de revenir aux principes premiers, aux fondamentaux de la physique, en ce sens que la physique seule dicte ce qu'il est possible de faire ou non. Sur la base de ce qui est physiquement faisable, Elon Musk vise ensuite toujours le moindre coût possible pour tenter des économies d'un ou plusieurs ordres de grandeur.
L'approche d'Elon Musk est également de favoriser les essais, même infructueux, pour développer par itération plutôt que de tout concevoir en une fois en visant la réussite du premier coup.
Elon Musk cherche aussi à ne pas trop optimiser mais plutôt à éliminer : selon lui, la pire chose à faire est de chercher à optimiser un mécanisme qui ne devrait tout simplement même pas exister à la base (« si vous ne rajoutez pas au moins 10 % de ce que vous avez supprimé, c'est que vous ne supprimez pas assez »). C'est par exemple ainsi que SpaceX a supprimé le système de propulsion de SuperHeavy pour son repositionnement après séparation du Starship par un simple système de dégazage.
Enfin, Elon Musk prône l'intégration verticale, qui consiste à intégrer un maximum de compétences en interne pour maîtriser le maximum de choses sans dépendre de sous-traitants, de leurs délais, de leurs difficultés. SpaceX fabrique par exemple ses propres cartes-mères et circuits intégrés.
Données tirées de Wikipédia</td>
</tr>
</table>

INSPIRING EDUCATION INSPIRING LIFE

Afin de rendre la démarche la plus concrète, nous nous appuyons sur le livre de Michaël VALENTIN : « LA METHODE ELON – les 20 tactiques pour métamorphoser un mammouth en licorne ». Ce livre propose d'appliquées concrètement 20 tactiques éprouvées qui constituent la « méthode Elon ». Ces propositions sont le fruit de 5 ans de travail aux côtés de tous types d'entreprise de la startup aux grands groupes internationaux.

13.1.1 La Méthode Elon Musk

La question fondamentale de la méthode : « Comment se transformer quand on ne part pas de zéro comme une startup ? ».

Nous allons utiliser le « Papillon de la transformation » avec les 20 tactiques de métamorphose pour faire des proposition concernant l'émergence des lanceur réutilisables en France en en Europe.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

13.1.1 Le papillon de la métamorphose

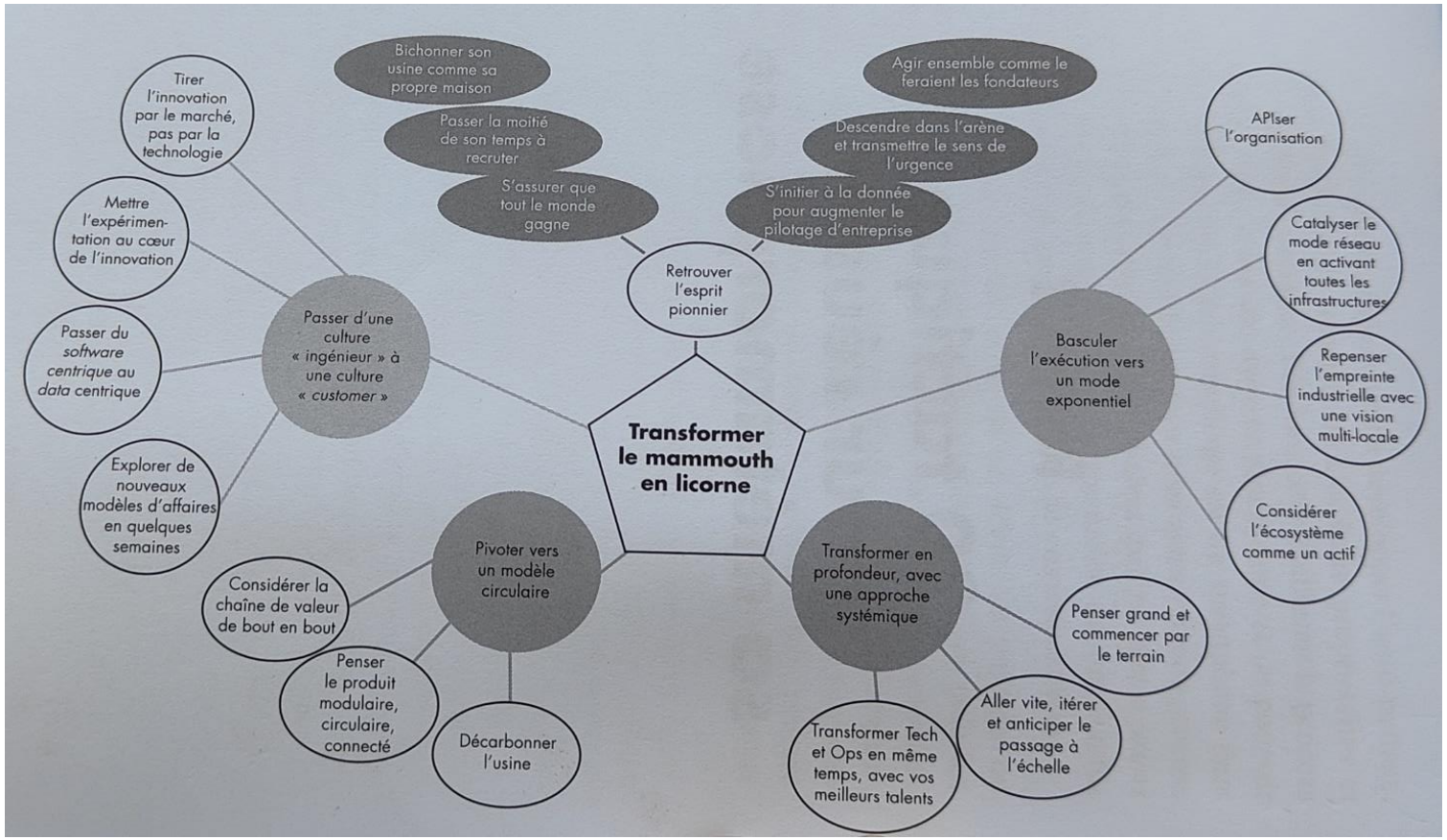


Figure 16 : La méthode Elon – Le papillon de la transformation

Le papillon de la transformation est la représentation schématique des 20 tactiques de métamorphose.

Nous présentons ci-dessous la liste des 20 métamorphoses avec les thèmes généraux associés.

- ✓ **Passer d'une culture d'ingénieur à une culture de customer :**
  1. Tirer l'innovation par le marché, pas la technologie
  2. Mettre l'expérimentation au cœur de l'innovation
  3. Passer du software centrique au data centrique
  4. Explorer de nouveaux modèles d'affaires en quelques semaines !
- ✓ **Basculer de l'exécution vers un mode exponentiel :**
  5. APIser l'organisation
  6. Catalyser le mode réseau en activant toutes les infrastructures
  7. Repenser l'empreinte industrielle avec une vision multi-locale
  8. Considérer l'écosystème comme un actif
- ✓ **Retrouver l'esprit de pionnier :**
  9. Agir ensemble comme les fondateurs
  10. Descendre dans l'arène et transmettre le sens de l'urgence
  11. S'initier à la donnée pour augmenter le pilotage de l'entreprise
  12. Bichonner son usine comme sa propre maison
  13. S'assurer que tout le monde gagne
  14. Passé la moitié de son temps à recruter
- ✓ **Transformer en profondeur avec une approche systémique :**
  15. Penser grand et commencer par le terrain
  16. Aller vite, itérer et anticiper le passage à l'échelle
  17. Transformer Tech et Ops en même temps, avec ses meilleurs talents
- ✓ **Pivoter vers un modèle circulaire :**
  18. Considérer la chaine de valeur de bout en bout
  19. Penser le produit modulaire, circulaire et connecté
  20. Décarboner l'usine

Nous présenterons une proposition pour chaque tactique après une cartographie des initiatives européennes pour les lanceurs réutilisables.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

13.2 Projets en cours en Europe

13.2.1 La feuille de route du CNES

Nous présentons ici une feuille de route incrémentale. Elle est issue de la présentation « Les lanceurs européens face au défi du réutilisable » réalisée en 2018 par Jean-Marc ASTORG lorsqu'il était directeur des lanceurs. L'objectif afficher est d'arriver à une solution opérationnel de lanceur lourd avec un 1er étage réutilisable horizon 2030. La démarche se concentre sur le premier étage car il représente 50% du prix du lanceur.

- La stratégie européenne avancées par la CNES est la suivante :
    a. Développer Ariane 6 comme étant la seule solution capable de disposer d'un lanceur performant et économique en 2020 sur le marché et bien adapté aux missions européennes,
    b. Considérer la réutilisation comme une solution parmi d'autres de réduire les coûts des lanceurs (i.e. impression 3D, smart manufacturing, etc., …),
    c. Accélérer notre effort de préparation des lanceurs futurs, notamment dans le domaine de la propulsion,
    d. Se faire la main sur la réutilisation avec une approche expérimentale.
- Le CNES présente la feuille de route suivante :

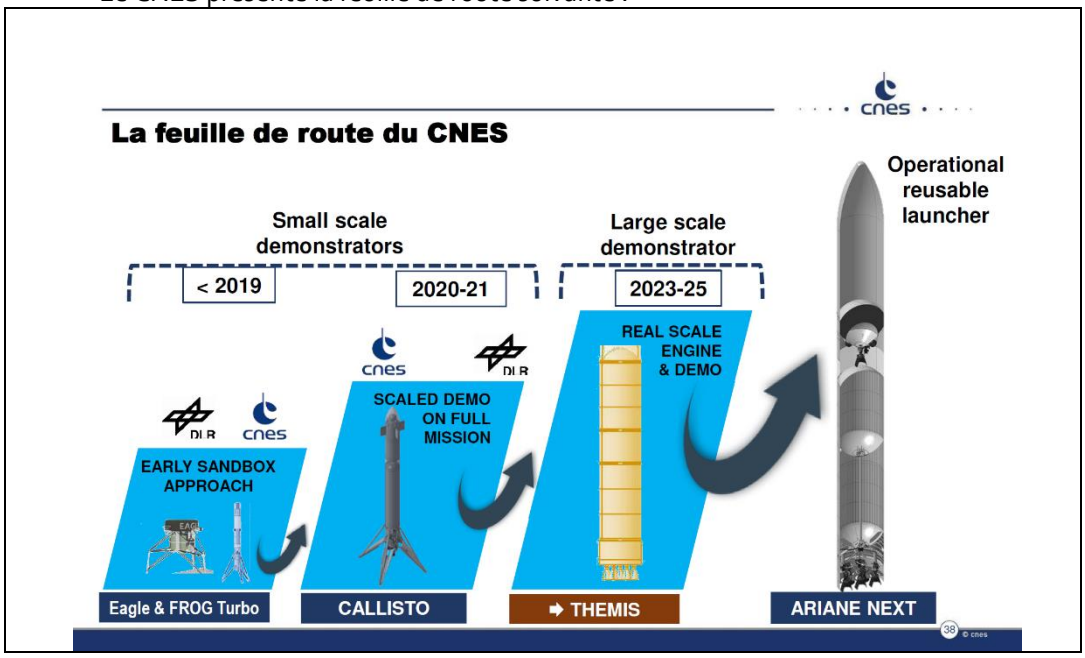


Figure 17 : La feuille de route du CNES pour le lanceur réutilisable

Comme nous avons pu le voir précédemment, cette feuille de route est commune avec celle de la filiale d'ArianeGroup, MaiaSpace qui rappelons le vise un premier lancement d'ici 2025.

Dans le cadre de l'appel à projet « Innovation du Transport Spatial » le CNES s'intéresse également à la réutilisation du second étage.

13.2.2 L'initiative ASCENSION



Figure 18 Image promotionnelle sur le site internet de l'initiative ASCenSIon

ASCenSIon est un consortium composé de 11 bénéficiaires directs et de 17 partenaires associés qui réunit des représentants de l'académie et de l'industrie, allant des petites et moyennes entreprises aux grandes entreprises, en passant par les universités et les instituts de recherche gouvernementaux. Le cœur du projet est constitué des 15 chercheurs en début de carrière (Early Stage Researchers - ESR), recrutés dans le monde entier. De plus, des conseillers externes sont impliqués.

Les 11 bénéficiaires sont les institutions qui accueillent les chercheurs en début de carrière pendant toute la durée du projet et bénéficient directement de leur participation. Ils sont impliqués dans tous les aspects et décisions d'ASCenSIon : ils dirigent les Work Packages (WP), organisent et hébergent des événements et des réunions, contribuent directement au programme de formation, fournissent des connaissances et une expertise, etc. De plus, ils sont responsables de la formation principale et de la supervision des ESR.

Les partenaires associés sont quant à eux les institutions qui accueillent les ESR pendant leurs détachements et contribuent à superviser et à évaluer la qualité du programme de formation, en apportant leur expertise. Grâce à leur connaissance du secteur commercial, ils sont également une source précieuse capable de fournir des informations sur les besoins du marché spatial.

Des conseillers externes du monde entier évalueront et surveilleront l'ensemble de l'avancement d'ASCenSIon, l'excellence scientifique et la génération d'impact, et établiront des liens entre le projet et des régions importantes en dehors de l'Europe.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- ✓ **Les Objectifs :**

Le projet ASCenSIon a pour objectif de développer un programme axé sur plusieurs domaines spécifiques de la recherche de pointe sur l'accès à l'espace, en particulier sur les systèmes de lanceurs (partiellement) réutilisables capables d'injecter plusieurs charges utiles sur différentes orbites. Plus qu'une simple proposition de concepts de conception, le projet vise à identifier et à faire progresser les technologies essentielles pour prouver la faisabilité de ces concepts.

- ✓ **Objectifs de recherche spécifiques :**
  - Développement de 10 nouveaux outils à intégrer dans des codes multidisciplinaires pour la conception avancée de lanceurs.
  - Avancement du TRL (Technology Readiness Level) des technologies critiques pour les lanceurs réutilisables.
  - Mise en place d'étages supérieurs pour l'injection de charges utiles dans différentes orbites.
  - Éduquer et promouvoir la formation de 15 excellents chercheurs en début de carrière (Early Stage Researchers - ESRs).
- ✓ **Domaines de recherche et de formation inclus :**
  - Technologies de propulsion et leur réutilisation.
  - Guidage, navigation et contrôle (GNC).
  - Aérothermodynamique de la réentrée et de l'élimination en toute sécurité.

Il existe de nombreuses initiatives en Europe autour des activités lanceurs. Ascension en est un exemple. Nous regardons maintenant du côté des startups.

13.2.3 Du côté des Startups européennes

Comme présenté dans la cartographie européenne du New Space de la Toulouse Space Team, il existe en Europe plus d'une vingtaine de startups qui proposent de développer un lanceur et les services associées. Quatre pays trusts le devant de la scène, la France, l'Allemagne, l'Italie et l'Espace.

A l'instar d'un Rocket Lab ou d'un SpaceX, PLD (Espagne) affiche une volonté de concevoir, de développer et d'opérer un lanceur semi réutilisable avec la récupération du premier étage. Il en est de même pour Sirius ou HyprSpace (France). MiaiSpace (France) affiche également ces même ambitions. PLD reste la société la plus ancienne et la plus avancée.

En Europe il n'existe pas à ce jour de société connue qui propose un projet de lanceur 100% réutilisable à l'image du StarShip de SpaceX. De nombreux projets émergent hors Europe, principalement aux États-Unis.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

13.3 Nos 20 propositions

La France et l'Europe doivent se structurer pour permette le développement d'une famille de lanceurs 100% réutilisables avec un second étage qui apporterait de nouvelles fonctions au-delà de la simple mise en orbite de charge utiles. Ce lanceur serait au cœur de l'écosystème qui assurera l'exploitation durable de l'espace pour le bénéfice des générations actuelles et futures. Voici nos 20 propositions pour y arriver :

- ✓ **Passer d'une culture d'ingénieur à une culture de customer :**
  1. Tirer l'innovation par le marché, pas la technologie

➔ *Proposition 1 : Développer le spatial commercial européen et devenir leaders sur des activités stratégiques de manière à assurer une montée en puissance significative de la fourniture de service et des activités industrielles.*

  2. Mettre l'expérimentation au cœur de l'innovation

➔ *Proposition n°2 : Retrouver l'équilibre expérimentation / simulation de manière à répondre aux besoins du marché. Créer une synergie plus étroite entre industriels et laboratoires.*

  3. Passer du software centrique au data centrique

➔ *Proposition n°3 : Développer une vision système globale avec des capacités performantes pour collecter les données et les exploiter. Mettre en place un programme collaboratifs pour développer ces aspects.*

  4. Explorer de nouveaux modèles d'affaires en quelques semaines !

➔ *Proposition n°4 : Tester en permanence de nouveaux modèles affaires qui supportent la croissance et créer de nouveau marchés pour assurer le leadership.*

- ✓ **Basculer de l'exécution vers un mode exponentiel :**
  5. APIser l'organisation

➔ *Proposition n°5 : Définir de nouveaux standards commun par activités sur les aspects politiques, économiques et industriels. Comme par exemple la standardisation des interfaces sol quel que soit le lanceur.*

  6. Catalyser le mode réseau en activant toutes les infrastructures

➔ *Proposition n°6 : Identifier et mettre en place un organisation avec des fondations communes qui puisse pivoter de manière agile sur les périmètres d'actions ou le contexte est fortement volatil.*

  7. Repenser l'empreinte industrielle avec une vision multi-locale

➔ *Proposition n°7 : S'assurer de la résilience des moyens de production, d'intégration et de ses fournisseurs faces à des crises et de la capacité de supporter des transferts d'activités.*

  8. Considérer l'écosystème comme un actif

➔ *Proposition n°8 : Toujours considérer l'écosystème comme VICA (Volatile Incertain Complexe et Ambigu) et imaginer tous les scénarios possibles pour les anticiper.*

- ✓ **Retrouver l'esprit de pionnier :**
  9. Agir ensemble comme les fondateurs

➔ *Proposition n°9 : Conserver l'esprit startuppeur, toujours apprendre, innover et trouver de nouveaux challenge quel que soit la taille ou l'âge de la structure. Toujours se remettre en question pour pouvoir pivoter au bon moment.*

  10. Descendre dans l'arène et transmettre le sens de l'urgence

➔ *Proposition n°10 : Être en capacité de faire face à l'urgence du développement du spatial durable y compris le lanceur réutilisable.*

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

11. S'initier à la donnée pour augmenter le pilotage de l'entreprise

➔ *Proposition n°11 : Maitriser et innover dans le BIG Data et l'Intelligence artificielle sur l'ensemble de chaine de valeur associée au service de lancement.*

12. Bichonner son usine comme sa propre maison

➔ *Proposition n°12 : Faire en sorte que la communauté du spatiale puisse s'identifier et se reconnaitre dans un cadre bienveillant. Entretenir les moyens de productions et être centré sur le aspects RSE.*

13. S'assurer que tout le monde gagne

➔ *Proposition n°13 : Proposer un modèle durable et prospère où chacun peut participer pour relever le défi du système de lancement 100% réutilisable.*

14. Passé la moitié de son temps à recruter

➔ *Proposition n°14 : Être toujours au contact du marché de l'emploi à travers, des salon, des initiatives, développer des programmes éducatifs pour détecter les futurs talents du secteur spatial, les fidéliser.*

✓ **Transformer en profondeur avec une approche systémique :**

15. Penser grand et commencer par le terrain

➔ *Proposition n°15 : Répondre et améliorer le besoin d'accès à l'Espace, proposer de nouvelles solutions et de nouveaux horizons.*

16. Aller vite, itérer et anticiper le passage à l'échelle

➔ *Proposition n°16 : Proposer un modèle de lanceur réutilisable qui soit compatible de la mise à l'échelle pour rapidement pouvoir apprendre et itérer.*

17. Transformer Tech et Ops en même temps, avec ses meilleurs talents

➔ *Proposition n°17 : Identifier et mettre en place un organisation avec des fondations communes qui puisse pivoter de manière agile sur les périmètres d'actions ou le contexte est fortement volatil.*

✓ **Pivoter vers un modèle circulaire :**

18. Considérer la chaine de valeur de bout en bout

➔ *Proposition n°18 : Considérer le lanceur sur l'ensemble de son cycle de vie et identifier les extension d'utilisation et de réutilisation.*

19. Penser le produit modulaire, circulaire et connecté

➔ *Proposition n°19 : Ne plus penser le lanceur comme un outil à fonction unique. Y rajouter des fonction clés afin de la placer au cœur de l'écosystème de l'exploitation durable de l'Espace.*

20. Décarboner l'usine

- *Proposition n°20 : Mettre les usines aux nouveaux standards de décarbonisation, favoriser leur transformation. Développer l'usine 5.0 du lanceur 100% réutilisable.*

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

14AVIS D'ACTEURS DU SPATIAL

Nous avons mené une étude exploratoire auprès de plusieurs professionnels et chercheurs impliqués ou qui gravitent autour du domaine du spatial afin de recueillir leur vision du lanceur réutilisable. Nous nous sommes appuyés sur un questionnaire et nous avons également pu échanger avec certains d'entre eux.

Le questionnaire se décompose en 7 sections :

1. Les informations générales,
2. Les implications du lanceur réutilisable
3. La rentabilité
4. Les impacts sur l'industrie spatiale
5. La barrière à l'adoption
6. Les perspectives futures
7. Conclusion

La population consulté est hétérogène. Elle va de la doctorante au retraité. Dans ce panel de profils variés, nous retrouvons aussi un expert en propulsion actuellement au Japon et un retraité, spécialiste moyen sol qui a travaillé au CSG.

Au sujet des **implications du lanceur réutilisable**, pour les personnes consultés **la principale raison de l'intérêt croissant pour les lanceurs réutilisables** est SpaceX, la réduction des coûts et l'impact environnemental. Le coût revient comme le premier **avantage potentiel du lanceur réutilisable face au lanceur consommable**. Viennent ensuite l'Augmentation de la fréquence des lancements puis l'amélioration de la durabilité environnementale. **Les principaux défis techniques** sont le modèle économique, le rallumage des moteurs et la récupération. **Les lanceurs réutilisables sont mieux adaptés** pour les missions de type constellations comme Starlink, les satellites en orbite basse et les futurs activités de logistique spatiale.

Pour les sondés un **lanceur réutilisable peut devenir rentable** après 2 ou 3 missions. Il est a noté que pour une personne la rentabilité n'est pas directement liée au nombre de mission. Les principaux **facteurs qui garantissent la rentabilité** sont les coûts de fabrication et d'exploitation ainsi que la disponibilité du lanceur. Pour les **stratégies à mettre en œuvre** il faudrait une intégration verticale, appliquer de manière plus stricte la préférence européenne et s'appuyer sur les start-ups.

L'adoption généralisé des lanceurs réutilisable conduirait à une concurrence accrue et serait favorable aux start-ups. Les **principales barrières d'adoption** sont le manque de programmes spatiaux, l'organisation industrielle et le faible nombre de lancements étatiques. Pour **surmonter ces barrières** il faudrait plus de programmes spatiaux européens, être en capacité de produire des moteurs et des lanceurs en série.

Dans 10 ans, pour certains de sondées on aura toujours besoin d'un lanceur lourd type Ariane, seulement 2 ou 3 startups proposant des services de lancement auront survécus, il y aura des missions en orbites basse avec des charges lourdes et une industrie du spatiale qui produira de fortes cadences. Les **innovations technologiques qui peuvent contribuer à l'émergence du lanceur réutilisable** sont l'intelligence artificiel, l'arrivée de nouveaux matériaux et le développement d'un kick stage universel.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

15 CONCLUSION

Ce mémoire aurait pu avoir pour titre : « L'avènement du lanceur réutilisable. Voyage d'un Chef d'entreprise de la SpaceTech, en Master Spécialisé - Managent de l'Innovation Technologique, au Pays du New Space. »

Ce titre est inspiré du livre de Gaspard Koenig « La fin de l'individu – Voyage d'un philosophe au pays de l'intelligence artificielle »

Le Résumé aurait alors pu être : « Quel avenir pour l'Europe du Spatial à travers le prisme du lanceur réutilisable ? Pour répondre à cette question urgente, Michel Condé a entrepris de réaliser un voyage initiatique dans le microcosme du domaine spatial sur fond de New Space. Il s'appuie sur les connaissances acquises lors de son Master Spécialisé en Management de l'Innovation Technologique à TBS Education, sur ses 15 ans d'expérience professionnelle dans les domaines du Spatial, de l'Aéronautique et de la Défense et sur ses nombreux contacts à travers le monde, en France, Allemagne, Italie, Espagne, Angleterre, Belgique, Canada, Etats-Unis, Japon. Michel a pu s'entretenir et échanger avec des passionnés, des professionnels du secteur, des professeurs, des entrepreneurs, des économistes, des écologistes. Au fil de ses investigations émerge deux approches de la doctrine New Space. La vision Techno Push et la vision Market Pull. La première se rêve en fer de lance d'une future technocratie où la technologie serait la réponse aux défis actuels et futurs des activités spatiales. La seconde s'intéresse en priorité au « Job to done » et donc à la réponse aux besoins d'un client qui reste aujourd'hui et quel que soit le pays ou le continent un service publique. ».

Cette seconde approche est la réalité historique à l'origine du New Space américain. Et c'est dans ce contexte qu'il faut aborder le New Space européen pour permettre l'avènement du lanceur réutilisable. Il s'agit de réaliser une analyse précise du besoin de s'assurer que les fonctions que la France et l'Europe décideront d'associer au futur lanceur correspondent aux besoins et aux ambitions actuelles et futurs. Tout comme la stratégie « Océan Bleu », nous sommes d'accord sur la nécessité de cibler les marchés de niches dans lesquels la France et l'Europe seront en capacité de se différentier. Il est clair que le lanceur réutilisable est une nécessité, il nous appartient de le créer et d'associer ce lanceur à un écosystème qui permettra à la France et l'Europe de conserver et d'assoir leur place d'acteur et de partenaire de premier rang.

Dans la configuration actuelle de l'Europe du Spatial (Politique, Industrie, Commerce) le lanceur réutilisable ne saurait exister sans la volonté des puissances publiques. Imaginer, Concevoir, Produire et Opérer le lanceur comme ça a été le cas lors des 60 dernières années (Techno Push) serait le signe d'une Europe averse à tout concept de New Space. A l'image du Space Launch System (SLS) américain, le coût de ce type de projet serait faramineux, et la capacité de commercialisation reste à démontrer.

La voie à suivre semble être celle du Market Pull, en s'inspirant du StarShip de Space X par exemple. Pour ce faire, il est indispensable pour l'Europe de créer les condition commerciales nécessaire pour assurer l'arrivée de ce type de lanceur. Ce qui revient à créer les marchés associés sans chercher nécessairement à se confronter au monstre américain mais plutôt en s'appuyant sur les forces qui vont permettre à la France et l'Europe de se différencier.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

De nombreux projets européens ont émergés. Il s'agit principalement de Micro et de Mini-Lanceurs. En France si la start-up Sirius affiche une volonté de faire un lanceur réutilisable, MaiaSpace, filiale d'ArianeGroup est la plus avancée à ce jour et s'appuie sur des technologies déjà en cours de développement. Toutes ces propositions portent sur la réutilisation du premier étage.

Pour la France, nous sommes convaincu de la nécessité d'une Startup qui proposerait de manière pragmatique et crédible un concept de lanceur 100% réutilisable au cœur de l'écosystème du spatial. Ce modèle répondrait à l'ensemble des besoins du marché et tirerait avantage de sa capacité de mise à l'échelle. Ainsi à travers une approche étape par étape, il validerait sa pertinence et ses performances en s'appuyant sur le modèle connu tout en portant les innovation nécessaires à l'émergence du lanceur réutilisable en France et en Europe.

Nous sommes aux prémices du New Space Européen. Celui qui saura rassembler l'écosystème autour d'une réponse au besoin, d'un vision et d'une ambition pour le lanceur réutilisable se démarquera de manière durable pour le futur de l'aventure spatiale.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

16 BIBLIOGRAPHIE

LES LIVRES :

- **VICTOR DOS SANTOS POLINO** / Trajectoires d'innovation dans l'industrie spatiale / 2020 / ISTE
- **MICHAEL VALENTIN** / La méthode Elon -Les 20 tactiques pour métamorphoser un Mammouth en Licorne / 2023 / DUNOD
- **ALEXANDER OSTERWALDER et YVES PIGNEUR** / Business Model Nouvelle Génération / 2011/ PEARSON France
- **SOPHIE RACQUEZ** / Business model creation – Le guide pratique du créateur d'entreprise – 3ème édition / 2022 / EDIPRO
- **OLIVIER ALEXANDRE** / La Tech – Quand la Silicon Valley refait le monde / 2023 / SEUIL
- **GASPARD KOENIG** / La fin de l'individu – Voyage d'un philosophe au pays de l'intelligence artificielle / 2019 / DE LO
- **HUGO et MAXIME LISOIR** / 2040 Tous dans l'espace ? / 2021 / ALISIO
- **ASHLEE VANCE** / Elon Musk – Tesla, Paypal, SpaceX, l'entrepreneur qui va changer le mode
- **CHRISTOPHE BONNAL** / Pollution spatiale l'état d'urgence / 2016 / BELIN
- **PHILIPPE VARNOTEAUX et PIERRE FRANCOIS MOURIAUX** / CNES 1962-2022 Soixante histoires d'espace en France
- **FRANCOIS LEPROUX** / HERMES – Une ambition en héritage / 2021 / Jpo Altipress

LES REVUES SPECIALISEES :

- **Space International** n°1 de Mars-Mai 2023 / Dossiers sur l'avenir des activités en orbite terrestre basse et Blue Origin : « un colosse spatial aux pieds d'argiles »
- **Space International** n°2 de Juillet-Septembre 2023 / Dossier spécial sur les lanceurs spatiaux
- **Ciel & Espace,** hors-série sur l'Exploitation spatiale – La voie de l'Europe
- **Science et Univers,** hors-série n°20 / Tout savoir sur la conquête spatiale
- **Espace et Exploration** n°12 / Lanceur américain – la nouvelle génération
- **Les grandes affaires de l'histoire** – L'histoire de la NASA

LES SITES INTERNET :

- **Actinnovation** / DEFINITION : MARKET PULL / http://www.actinnovation.com/innobox/glossaire-innovation/lettre-m/definition-market-pull
- **Vie publique** / France et Europe : quelles politiques spatiales ? / septembre 2022/ https://www.vie-publique.fr/eclairage/286198-france-europe-quelles-politiques-spatiales#:~:text=Eclairage-,France%20ou%20Europe%20%3A%20deux%20strat%C3%A9gies%20spatiales%20%3F,collaboration%20r%C3%A9guli%C3%A8re%20avec%20l'ESA.
- **SPACEX** / https://www.spacex.com/vehicles/falcon-heavy/

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- **FALCON USER'S GUIDE** / https://www.spacex.com/media/falcon-users-guide-2021-09.pdf
- **ROCKETLAB** / https://www.rocketlabusa.com/launch/electron/
- **ELECTRON PAYLOAD USER'S GUIDE** / https://www.rocketlabusa.com/assets/Uploads/Electron-Payload-User-Guide-7.0.pdf
- **VIRGIN GALACTIC** / https://www.virgingalactic.com/
- **THE WORLD FACTBOOK** / Space program overview / https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/space-program-overview/
- **BLUE ORIGIN – NEW SHEPARD** / https://www.blueorigin.com/fr-FR/new-shepard
- **ASCENSION** / https://ascension-itn.eu/

ARTICLES, ETUDES OU RAPPORT EN LIGNE

- **MM. OLIVIER BECHT ET STEPHANE TROMPILLE DEPUTES** / Rapport d'information n°1574 – En conclusion des travaux d'une mission d'information sur le secteur spatial de défense / 2019 / https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cion_def/l15b1574_rapport-information
- **MM. PIERRE CABARÉ ET JEAN-PAUL LECOQ, DEPUTES** / Rapport d'information n°4991 – sur l'espace / 2022 / https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cion_afetr/l15b4991_rapport-information
- **BRICE LOUVET, EXPERT ESPACE ET SCIENCES** / Comment Rocket Lab va tenter de récupérer le premier étage de sa fusée ? / 2020 / https://sciencepost.fr/rocket-lab-fusee-spacex-electron/
- **TOM NARDI** / HACKADAY / ROCKET LAB SETS THEIR SIGHTS ON RAPID REUSABILITY / 2019 / https://hackaday.com/2019/08/22/rocket-lab-sets-their-sights-on-rapid-reusability/
- **CONFERE 3AF** / CALLISTO Démonstrateur multinational de 1er étage réutilisable / https://www.3af.fr/agenda/callisto-demonstrateur-international-de-1er-etage-reutilisable-2181
- **LEXING** / Les principes du droit de l'espace : pour un espace sacralisé / https://www.alain-bensoussan.com/avocats/principes-droit-espace-sacralise/2018/11/08/
- **DORIAN DE SCHAEPMEESTER** / SpaceX a 20 ans : comment tout a commencé ? / https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronautique-spacex-20-ans-tout-commence-98437/
- **TREVOR SESNIC** / The King Of Small Sat Launchers – A Comparison / https://everydayastronaut.com/small-sat-launcher-comparison/#toc_9
- **NEWSPACE INDEX** / Small Satellite Launchers / https://www.newspace.im/launchers
- **WIKIPEDIA** / Falcon 1 / https://fr.wikipedia.org/wiki/Falcon_1
- **WIKIPEDIA** / Falcon 5 / https://fr.wikipedia.org/wiki/Falcon_5
- **WIKIPEDIA** / Falcon 9 / https://fr.wikipedia.org/wiki/Falcon_9
- **WIKIPEDIA** / Blue Origin / https://fr.wikipedia.org/wiki/Blue_Origin

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- SEBASTIEN GAVOIS / 10 ans de Falcon 9 : SpaceX a changé les règles du jeu. Et c'est pas fini… / https://www.nextinpact.com/article/30314/109042-10-ans-falcon-9-spacex-a-change-regles-jeu
- **ANDREW PARSONSON** / Everything we know about ArianeGroup's mysterious Maiaspace startup / 2022 /https://europeanspaceflight.com/everything-we-know-about-arianegroups-mysterious-maiaspace-startup/
- **CNES-FROG** / [LANCEURS] FROG, UN PROJET COLLABORATIF INNOVANT SUR LA RÉUTILISATION / https://frog.cnes.fr/fr/lanceurs-frog-un-projet-collaboratif-innovant-sur-la-reutilisation#:~:text=Le%20programme%20consiste%20%C3%A0%20d%C3%A9velopper,faible%20altitude%20et%20son%20atterrissage
- **HUGO LISOIR** / Le futur du spatial en France – LDDE / 2021 / https://www.youtube.com/watch?v=On6jTzwVtdk
- **CNES** / NEW SPACE : UNE ENVIE DE CHANGER LE MONDE ? / 2016 / https://jeunes.cnes.fr/fr/new-space
- **JULIEN BAYOL** / « NEW SPACE » : LE NOUVEAU VISAGE DU SECTEUR SPATIAL / 2022 / https://blog.cailabs.com/new-space-le-nouveau-visage-du-secteur-spatial
- **ASSEMBLEE NATIONALE /** LES NOTES SCIENTIFIQUES DE L'OFFICE - Les lanceurs spatiaux réutilisables / 2019 / https://www2.assemblee-nationale.fr/content/download/74092/759161/version/4/file/Lanceurs+r%C3%A9utilisablespages+V12.6.pdf
- **BRYCE** / REPORTS / https://brycetech.com/reports
- **PWC** / Main Trends & Challenges in the Space Sector 2nd edition / file:///C:/Users/Miche/Downloads/en-france-pwc-main-trends-and-challenges-in-the-space-sector.pdf
- **SPACETECH ANALYTICS** ./ SpaceTech Industry Landscape Overview Q3 2021/ 2022/ https://www.spacetech.global/spacetech-industry-q3-2021

RAPPORTS D'ETUDES

- **LES JEUNES IHEDN** / RAPPORT GT-OPS ESPACE / 2023
- **LES ASSISES DU NEW SPACE** / AMBITION NEWSPACE 2027 / 2022
- **AAE et DGLR** / PETITS LANCEURS UNE PERSPECTIVE EUROPEENNE / DOSSIER 52 / 2021

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

17 ANNEXES

17.1 ANNEXE 1 : Une brève histoire de la conquête spatiale

Comment résumer bien plus d'un demi-siècle d'aventure spatiale en quelques lignes ? Nous pourrions présenter la course à l'espace comme 60 ans d'affrontement entre les deux grandes et premières puissances historiques, à savoir la Russie (Ex U.R.S.S.) et les États-Unis avec au début des années 2000 l'émergence de la chine :

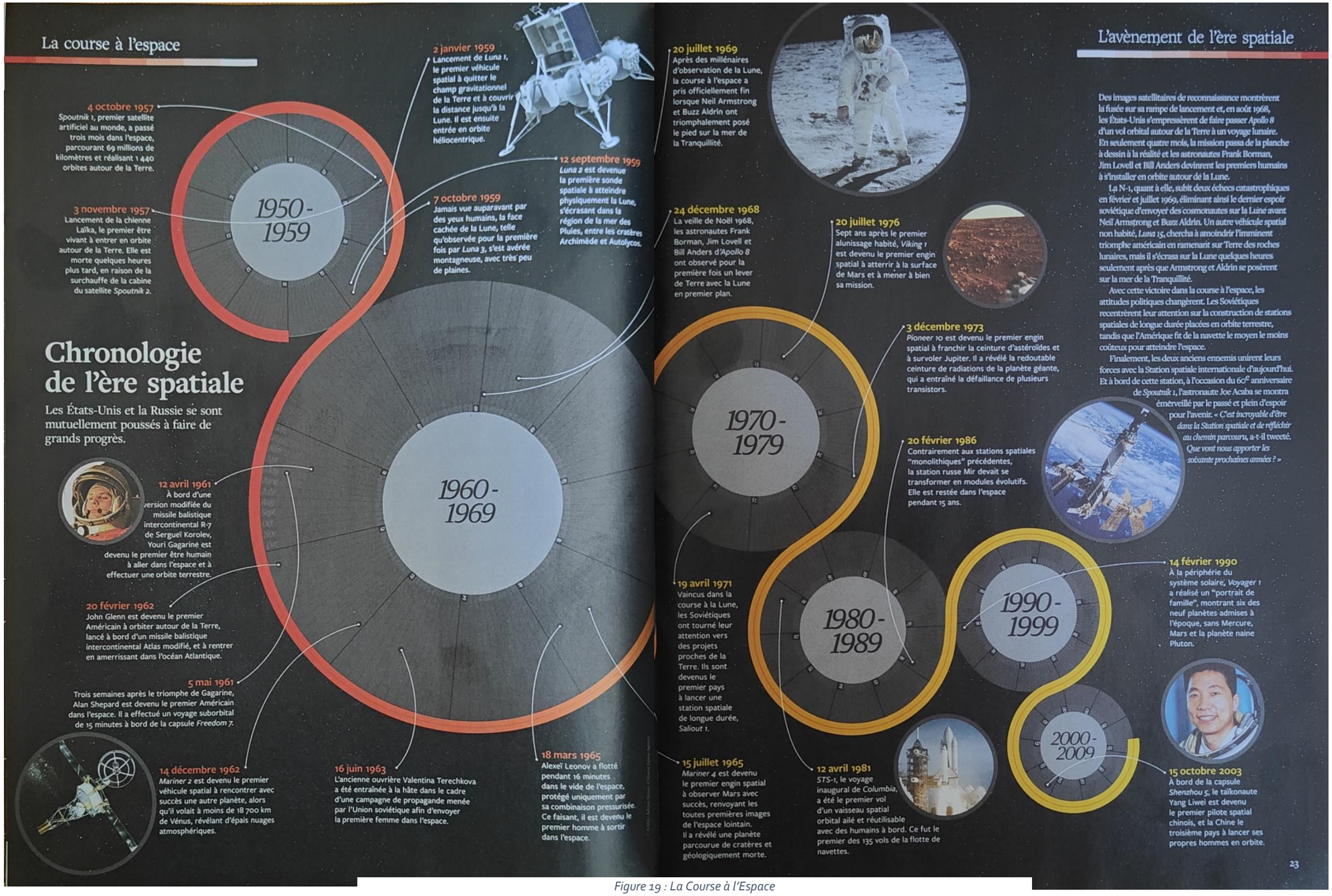


Figure 19 : La Course à l'Espace

Selon cette hypothèse de point de vue historique, nous en déduirions alors 6 périodes :

1. **Les début théoriques et premières fusées (1900-1950) :**

Au tournant du 20e siècle, c'est à Konstantin Tsiolkovski en Russie et Robert Goddard aux États-Unis que nous devons les fondements conceptuels de l'exploration spatiale et de la propulsion fusée. Tsiolkovski a défini les principes fondamentaux de la propulsion fusée et l'équation déterminant les bases du voyage spatial. Parallèlement, en 1926, Robert Goddard passe de la théorie à la pratique en réalisant le premier vol opérationnel d'une fusée propulsée par un propulseur liquide à Auburn, Massachusetts. Pourtant, en dépit de ces réalisations de pionniers de la conquête spatiale, l'intérêt initial pour ces concepts demeurait essentiellement ancré dans la sphère théorique, souvent perçu avec une teinte de science-fiction plutôt que comme une réalité tangible à explorer.

2. **Course à l'espace et guerre froide (1950-1960) :**

Durant la guerre froide, la rivalité intense entre les États-Unis et l'Union soviétique a joué un rôle majeur en propulsant l'exploration spatiale vers de nouveaux horizons. Cette compétition a atteint son point culminant en 1957, lorsque l'URSS a déconcerté la planète en lançant Spoutnik 1, le tout premier satellite artificiel, marquant ainsi le commencement d'une ère nouvelle axée sur l'espace extra-atmosphérique. Poursuivant cet élan, en avril 1961, Youri Gagarine a captivé le monde en devenant le premier être humain à accomplir une orbite terrestre à bord de la capsule Vostok 1. Répondant de manière déterminée, les États-Unis ont répliqué avec le vol historique d'Alan Shepard en tant que premier astronaute américain dans l'espace en mai 1961.

3. **La conquête de la Lune (1960-1970) :**

Le programme Apollo de la NASA est initié avec une vision audacieuse : celle de déposer un être humain sur la surface lunaire avant la conclusion des années 1960. Ce défi incommensurable trouve sa réalisation en juillet 1969, avec l'expédition Apollo 11 qui consacre Neil Armstrong et Buzz Aldrin comme les premiers humains à fouler le sol lunaire, tandis que Michael Collins demeure en orbite. Les missions Apollo qui s'ensuivent continuent à élargir les horizons scientifiques en collectant des données précieuses et en explorant des territoires inexplorés de notre satellite naturel.

4. **Exploration robotique et stations spatiales (1970-1990) :**

Pendant les décennies des années 1970 et 1980, une profusion de sondes robotiques se lance à l'exploration du système solaire, découvrant les mystères de planètes telles que Mars, Jupiter et Saturne. Dans un même élan, l'URSS marque l'histoire spatiale en lançant la première station spatiale habitée, Saliout 1, en 1971, ouvrant la voie à une nouvelle ère de présence humaine en orbite. L'URSS consolide ensuite son avance avec Mir en 1986. Parallèlement, les États-Unis établissent également leur propre présence orbitale en déployant Skylab, inaugurant ainsi la première station spatiale américaine et inscrivant leur nom dans le chapitre croissant de l'exploration spatiale.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

5. L'ère des navettes spatiales (1980-2011) :

Les navettes spatiales américaines, conçues avec l'innovante notion de réutilisation, émergent en tant que vecteur de transport incontournable pour acheminer équipages et charges en orbite. Lancé en 1981 et s'étendant jusqu'en 2011, le programme des navettes spatiales a marqué une ère de progrès et d'événements marquants, cependant teintée de succès éclatants et de tristes tragédies. Parmi ces dernières, les accidents tragiques du Challenger en 1986 et de Columbia en 2003 demeurent gravés dans la mémoire de cette période cruciale de l'exploration spatiale.

6. Coopération internationale et missions interplanétaires (2000 à nos jours) :

À l'aube du 21e siècle, l'ISS incarne une illustration phare de la coopération internationale, étant le fruit d'une collaboration sans précédent entre divers partenaires. L'édification de cette station spatiale en orbite réunit des acteurs de renom tels que les États-Unis, la Russie, l'Europe, le Japon et le Canada. Simultanément, l'exploration planétaire maintient son élan, illustré par les explorateurs robotiques martiens que sont Spirit, Opportunity, Curiosity et le récent Persévérance. Les horizons futurs esquissent des projets captivants, incluant des missions habitées sur Mars, des initiatives de retour à la Lune via le programme Artémis, ainsi que des perspectives d'exploitation minière spatiale.

A ce moment de la lecture j'imagine que vous vous dites et l'Europe dans tout ça ?

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

17.2 ANNEXE 2 : Une histoire dans laquelle il faut également compter sur l'Europe

L'histoire spatiale de l'Europe commence dans les années 50. Nous la présentons selon 7 périodes :

1. **Débuts de l'exploration spatiale en Europe (1950-1960) :**

À la suite du déploiement de Spoutnik 1 par l'Union soviétique en 1957, une prise de conscience émerge en Europe concernant la signification tant stratégique que scientifique de l'espace. Cette réalisation conduit, en 1962, à l'établissement de l'Agence spatiale européenne (ESA), créée dans le but de coordonner les initiatives spatiales au sein des nations européennes. Même si l'ESA initialement ne dispose pas d'une infrastructure de lancement propre, ses membres entreprennent des démarches centrées sur des projets scientifiques et technologiques novateurs.

2. **Premiers pas dans l'espace (1960-1970) :**

Au cours des années 1960, l'ESA entame la mise en œuvre d'une série de satellites à vocation scientifique. En 1968, l'Europe franchit une étape majeure en lançant son tout premier satellite, ESRO-2B, dans le cadre du programme de recherche spatiale européen (ESRO). Les initiatives de l'ESA prennent forme et culminent avec la genèse de la fusée européenne Ariane, qui évolue rapidement pour devenir un pilier essentiel au sein de l'industrie spatiale européenne.

3. **Participation à la conquête de la Lune (1960-1970) :**

L'Europe a également assumé un rôle de première importance dans le cadre de l'exploration lunaire. En 1966, l'ESA déploie la sonde lunaire Surveyor qui, malgré son incapacité à se poser sur la surface lunaire, parvient à recueillir des données cruciales. Ultérieurement, en 1969, le module lunaire de la mission Apollo 11 intègre des instruments scientifiques fournis par l'ESA, marquant ainsi une contribution essentielle de l'Europe à cette entreprise d'exploration.

4. **Développement de l'industrie spatiale européenne (1970-1980) :**

La décennie des années 1970 est marquée par l'orientation de l'Europe vers le renforcement de ses compétences en matière de lancement spatial. En 1979, se concrétise avec succès le premier vol de la fusée Ariane, lancée depuis le Centre spatial guyanais. Par la suite, Ariane s'impose comme l'un des lanceurs commerciaux les plus performants et fiables à l'échelle mondiale, acheminant des satellites pour des clients issus de divers horizons géographiques.

5. **Participation à l'ISS et missions scientifiques (1990-2000) :**

Au cours des années 1990, l'ESA assume un rôle de partenariat essentiel au sein de la Station spatiale internationale (ISS). Au titre de cette coopération, les laboratoires Columbus, gracieusement fournis par l'ESA, sont incorporés à l'ISS afin de mener des investigations scientifiques. En parallèle, l'Europe poursuit ses initiatives en initiant des missions d'exploration et d'observation de la Terre, à l'image des satellites Envisat et Sentinel, visant à enrichir notre compréhension du monde qui nous entoure.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

6. Exploration planétaire et missions interplanétaires (2000 à nos jours) :

L'ESA s'engage résolument dans l'exploration planétaire au travers d'initiatives telles que les missions Mars Express et Venus Express. L'aboutissement majeur de cette orientation survient avec l'atterrissage réussi de l'engin Huygens, conçu par l'ESA, sur Titan, la plus grande lune de Saturne. Parallèlement, l'agence demeure activement impliquée dans des projets d'observation du cosmos lointain, à l'instar du télescope spatial Herschel, consolidant ainsi son rôle dans la quête de connaissances sur l'univers étendu.

7. Projets futurs et exploration en coopération (prévisions pour l'avenir) :

L'Agence spatiale européenne (ESA) maintient sa dynamique en élaborant des projets à la portée audacieuse. Parmi ces projets, on compte l'exploration approfondie des astéroïdes, une initiative qui vise à dévoiler les secrets de ces corps célestes et à enrichir notre compréhension des origines du système solaire. De plus, l'ESA se positionne sur l'échiquier de l'exploration lunaire en envisageant la mise en place d'une base lunaire. Cette perspective reflète la quête d'une présence durable sur la Lune pour servir de plateforme scientifique et préparer de futures missions vers d'autres destinations. En outre, l'ESA reste résolument impliquée dans les aspirations martiennes en contribuant à des missions vers Mars, destinées à percer les mystères de cette planète voisine et à déterminer sa potentiellement habitabilité.

Dans une vision tournée vers l'avenir, la coopération demeure un pivot majeur de l'exploration spatiale européenne. L'ESA accentue sa collaboration avec d'autres agences spatiales internationales et des entreprises privées, reconnaissant l'importance d'un partenariat global pour dépasser les défis technologiques et financiers qui sous-tendent l'exploration spatiale. Cette priorité inscrite dans la stratégie de l'ESA confirme son rôle prépondérant dans le façonnement d'un futur d'exploration spatiale collaborative et novatrice.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

17.3 ANNEXE 3 : Une brève histoire des lanceurs réutilisables

L'histoire des lanceurs réutilisables est marquée par une série d'étapes cruciales dans l'industrie spatiale, caractérisées par des avancées technologiques significatives et une réduction notable des coûts d'accès à l'espace. Voici une synthèse de cette évolution :

Les prémices de la réutilisation (années 1980 - 1990) : Les premiers efforts visant à rendre les lanceurs réutilisables ont émergé dans les années 1980 avec le programme Space Shuttle de la NASA. Bien que les navettes spatiales aient partiellement illustré la réutilisation, elles ont été confrontées à des coûts de maintenance élevés et n'ont pas entièrement optimisé le potentiel de réutilisation.

L'avènement de SpaceX (années 2000) : SpaceX, sous la direction d'Elon Musk depuis sa fondation en 2002, a révolutionné le domaine des lanceurs avec sa proposition de lanceur avec un premier étage réutilisables. En 2015, SpaceX a réalisé le premier atterrissage vertical contrôlé d'un premier étage de sa fusée Falcon 9, ouvrant la voie à une réduction significative des coûts de lancement.

Intensification de la concurrence (années 2010 - présent) : D'autres acteurs de l'industrie spatiale, à l'instar de Blue Origin, ont également investi dans la technologie des lanceurs réutilisables. Blue Origin a développé le lanceur New Shepard, conçu pour effectuer des vols suborbitaux réutilisables, notamment pour le tourisme spatial.

La norme de la réutilisation (années 2020 - présent) : La réutilisation des lanceurs est devenue monnaie courante, avec SpaceX en tête. La société a lancé avec succès des missions habitées vers la Station spatiale internationale (ISS) en utilisant des capsules Crew Dragon et des fusées Falcon 9 réutilisées. D'autres entreprises, comme Rocket Lab, explorent également des concepts de lanceurs réutilisables, en particulier pour les petits satellites.

Impact sur l'industrie spatiale (présent et futur) : La réutilisation des lanceurs a profondément modifié l'industrie spatiale en réduisant considérablement les coûts de lancement. Cette avancée a favorisé une augmentation du nombre de lancements, le développement de constellations de satellites et la réalisation de missions spatiales plus fréquentes et économiques. Cette transformation continue de façonner l'industrie spatiale, rendant l'espace plus accessible à un éventail plus large d'acteurs.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

17.4 ANNEXE4 : Architectures des systèmes de lancements

Des premières tentatives de lancements de fusées jusqu'au StarShip de SpaceX et ce qui est envisagé dans le futur, plusieurs architectures de système de lancement ont été imaginés, testée, conçues et exploitées. Nous présentons ici les principales, à savoir, les systèmes à lancement vertical, les systèmes de lancement à atterrissage horizontal, les systèmes de lancement aéroportés, les système de lancement réutilisables.

17.4.1.1 Systèmes à lancement vertical

Si nous En tenant compte de l'expérience acquise ces dernières années et de la variété de fusées existantes, il semble que l'approche architecturale basée sur le concept "Two Stages To Orbit" (TSTO) soit celle qui répond le mieux aux objectifs de simplicité et, par conséquent, de compétitivité. En ce qui concerne les performances, c'est-à-dire la capacité de charge utile maximale, il est tentant de privilégier trois étages, en prenant principalement en considération des facteurs tels que les caractéristiques structurelles, le delta-V total requis et l'Isp (impulsion spécifique) de chaque étage. Cependant, il est important de noter que chaque étage ajouté introduit une complexité supplémentaire et un risque accru en ce qui concerne la gestion de la phase de transition, notamment la séparation d'un étage et l'allumage de l'étage suivant. De plus, si la désorbitation du deuxième étage est nécessaire, elle implique l'utilisation d'une avionique spécifique. À cet égard, la réduction du nombre d'étages est préférable, car la précision de l'injection dépendra en grande partie des caractéristiques du moteur du deuxième étage. Pour des missions spécifiques, l'ajout d'un étage supplémentaire optionnel (ou kick-stage) peut s'avérer nécessaire pour augmenter la plage de lancement et améliorer la précision de l'orbite.

Du point de vue de l'industrialisation, un nombre limité d'étages permet de réaliser des économies, à condition d'avoir un indice de construction performant. Il est également crucial d'assurer une forte communauté technologique entre tous les étages, quels que soient leur nombre, afin de réduire les coûts de production.

17.4.1.2 Systèmes de lancement à atterrissage horizontal

Parmi les différentes architectures possibles et envisageables pour les lanceurs spatiaux, on retrouve également la technologie de lancement vertical avec atterrissage horizontal pour le retour d'orbite. Ce système de lancement très distinct a été validé grâce à des projets tels que le X_{37} (A et B) qui ont réalisé avec succès plusieurs vols, ainsi que le projet Space Rider de l'ESA. Il convient de noter que ces projets sont spécifiquement axés sur des missions particulières, et leur objectif premier ne concerne pas nécessairement le lancement de petits satellites.

La caractéristique principale de cette approche est la rentrée dans l'atmosphère à un flux thermique élevé, ce qui pose des défis de conception importants et a un impact significatif sur la masse du véhicule, en particulier pour les petits lanceurs. Parmi les contraintes et les considérations liées à cette approche :

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

La durée de vie en orbite reste généralement limitée, en grande partie en raison de la gestion de l'énergie, à moins qu'il y ait un déploiement de panneaux solaires en orbite ou l'utilisation de piles à combustible, comme c'est le cas pour le X37, Space Rider et Dream Chaser.

Pourtant, le lancement requiert un lanceur de taille moyenne de la classe SSO (Sun-Synchronous Orbit) d'une capacité minimale de plus de 1 500 kg. Par exemple, le VEGA-C est le minimum requis pour le projet Space Rider, mais il existe des limitations liées à la latitude du site de retour en raison de la capacité de déport latéral du lanceur.

En résumé, l'approche du lancement vertical avec atterrissage horizontal pour le retour d'orbite, bien que valide pour des missions spécifiques, présente des défis complexes liés à la rentrée atmosphérique à haute énergie thermique et à la gestion de la masse du véhicule, en particulier pour les petits lanceurs. Les limitations en termes de durée de vie en orbite et de capacité de lancement doivent également être prises en compte lors de la planification de telles missions..

17.4.1.3 Systèmes de lancement aéroportés

Depuis les années 1990, le besoin croissant de lancer de petites charges utiles en orbite basse (LEO) a engendré l'émergence de divers concepts de lancement, distincts du traditionnel lancement vertical. L'un de ces concepts, largement opérationnel, est le lancement aéroporté, illustré par le lanceur Pegasus de Northrop Grumman. Ce système repose sur une fusée à trois étages propulsée par un solide de 23 tonnes (découlant d'un ancien missile), permettant de transporter une charge utile de 440 kg à un coût d'environ 40 millions de dollars. Toutefois, cette approche requiert une plate-forme aéroportée spécifique (le Lockheed L1011), entraînant des coûts de maintenance élevés qui affectent le coût global de la mission. Le largage de la fusée se fait à une vitesse de 850 km/h à une altitude de 12 000 mètres.

Cette méthode présente certains avantages, notamment :

- ✓ Une plus grande flexibilité dans le choix des zones de largage du lanceur grâce à la possibilité de sélectionner l'azimut de lancement.
- ✓ Une réduction des contraintes météorologiques par rapport aux lancements verticaux.
- ✓ Une impulsion spécifique (Isp) plus élevée pour les tuyères du premier étage, adaptées à la pression statique de l'altitude d'allumage.
- ✓ Un fonctionnement similaire à celui d'un avion, éliminant ainsi le besoin d'une table de lancement spécifique.

Cependant, les systèmes de lancement aérien sont confrontés à des défis majeurs en matière de sécurité aéronautique, notamment la gestion du trafic aérien, la retombée potentielle d'étages, et la nécessité de prévoir un atterrissage en cas d'abandon du lancement, ce qui a des implications significatives sur la conception et les performances.

Un exemple de projet plus audacieux dans ce domaine est le programme de Virgin Galactic, initialement conçu comme un lanceur en orbite basse avec un potentiel de réutilisation d'une partie du véhicule.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

Cependant, le développement du système de propulsion hybride a connu d'importants retards, et bien que Virgin Galactic ait décroché un contrat de OneWeb pour des lancements, ce contrat a été annulé. Par conséquent, le groupe Virgin a mis au point un lanceur aéroporté nommé "Launcher One," qui est transporté par un Boeing 747 de la flotte Virgin. Ce lanceur à deux étages de 30 tonnes utilise une propulsion LOx-RP1.

Malgré un premier échec en raison de problèmes d'allumage au premier étage, il a réussi son deuxième vol en janvier 2021, emportant 10 micro-satellites de la NASA. Il offre des performances annoncées de 300 kg à 500 km en orbite synchrone avec le soleil (SSO) pour un coût de 12 millions de dollars par lancement. Le système a effectué son premier vol opérationnel en juin 2021.

Entre 2012 et 2016, une société suisse, Swiss Space System (S3), a proposé un concept de mininavette portée par un Airbus A300. Cette navette était destinée à réaliser des vols habités ou à déployer des satellites avant de revenir sur Terre. Cependant, le projet n'a pas atteint les niveaux de maturité requis et a finalement été abandonné.

D'autres projets envisagent également des systèmes de lancement depuis des ballons à haute altitude. Cependant, toutes les expériences montrent que les systèmes de lancement aéroporté ne sont une option viable que pour les très petits lanceurs.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

17.5 ANNEXE 5 : Les principales propulsions pour les systèmes de lancements

17.5.1 La propulsion liquide

- Wikipédia nous propose la définition suivante :

Le moteur-fusée à ergols liquides est un type de moteur-fusée utilisant des ergols liquides pour son fonctionnement. Comme les moteurs-fusées à propergol solide ou hybride, ce type de propulsion exploite l'énergie chimique contenue dans les ergols qui est libérée soit par réaction exothermique d'un comburant et d'un combustible soit par décomposition. Comme tous les moteurs-fusées, il agit en éjectant à grande vitesse la masse des gaz produits par la réaction chimique à l'opposé de la direction du déplacement souhaité et il peut fonctionner dans le vide car il ne prélève pas son comburant dans l'environnement extérieur. Les principaux organes d'un moteur à ergols liquides sont regroupés au sein du système d'alimentation chargé d'amener les ergols à la pression attendue et d'une chambre de combustion dans laquelle la réaction chimique a lieu et produit les gaz qui sont éjectés vers une tuyère. Il est utilisé sur pratiquement tous les lanceurs qui mettent sur orbite satellites, sondes spatiales et vaisseaux spatiaux avec équipage.

- Nous proposons de présenter les avantages et les inconvénients de cette propulsion sous forme de tableau :

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

PROPULSION LIQUIDE	
AVANTAGES	**INCONVENIANTS**
Poussée Réglable : Les moteurs à fusée liquide permettent un réglage précis de la poussée, ce qui permet d'ajuster la trajectoire et la vitesse en vol. Polyvalence : Ils sont adaptés à une grande variété de missions spatiales, y compris les changements de trajectoire en cours de vol. Efficacité Énergétique : Les propergols liquides ont généralement une efficacité énergétique supérieure à celle des propergols solides, ce qui permet de transporter une charge utile plus importante en orbite. Ravitaillement en Vol : Les moteurs à fusée liquide peuvent être ravitaillés en carburant en vol, ce qui permet des missions de longue durée et des manœuvres complexes. Extinction et Redémarrage : Ils peuvent être éteints et redémarrés en vol, ce qui offre une grande flexibilité pour les missions. Moins de Pollution Atmosphérique : Les émissions de gaz des propergols liquides sont généralement moins polluantes pour l'atmosphère que celles des propergols solides.	Complexité : Les moteurs à fusée liquide sont plus complexes à concevoir, fabriquer et entretenir que les moteurs à fusée solide. Stockage Complexité : Les propergols liquides doivent être stockés à des températures et des pressions spécifiques, ce qui complique la logistique. Coûts de Production Élevés : La fabrication de moteurs à fusée liquide peut être plus coûteuse que celle de moteurs à fusée solide. Préparation Plus Longue : Ils nécessitent généralement une préparation plus longue avant le lancement en raison de leur complexité. Risques de Fuite : Les propergols liquides présentent un risque de fuite potentiellement dangereux lors du chargement et de la préparation. Moins de Fiabilité : Bien que les moteurs à fusée liquide soient de plus en plus fiables, ils peuvent comporter plus de pièces mobiles et de points de défaillance potentiels que les moteurs à fusée solide. Plus de Contraintes Environnementales : Les composants chimiques utilisés dans les propergols liquides peuvent poser des défis environnementaux et de sécurité supplémentaires. Coûts d'Élimination des Déchets : La gestion des déchets de propergols liquides peut être coûteuse et nécessiter des procédures spéciales. Plus de Complexité de l'Infrastructure de Lancement : Les installations de lancement pour les moteurs à fusée liquide sont généralement plus complexes et coûteuses que celles pour les moteurs à fusée solide.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

17.5.2 La propulsion solide

Wikipédia nous propose la définition suivante :
« La propulsion à propergol solide désigne une technique de propulsion de fusée qui utilise un propergol solide (ou poudre). Un propulseur à propergol solide est principalement composé d'une enveloppe contenant le propergol, d'un allumeur et d'une tuyère. Le bloc de poudre est percé par un canal longitudinal qui sert de chambre de combustion. Lorsque le propulseur est allumé, la surface du bloc de poudre côté canal se met à brûler en produisant des gaz de combustion sous haute pression qui sont expulsés par la tuyère. En donnant une géométrie particulière au canal on peut, dans une certaine mesure, définir une courbe de poussée répondant au besoin propre à son utilisation. »

- Nous proposons de présenter les avantages et les inconvénients de cette propulsion sous forme de tableau :

PROPULSION SOLIDE	
AVANTAGES	**INCONVENIANTS**
Fiabilité : Les moteurs à fusée solide sont réputés pour leur fiabilité, car ils ont moins de pièces mobiles et de points de défaillance potentiels par rapport aux moteurs à propergol liquide. Stockage Facile : Les propergols solides sont stables et faciles à stocker pendant de longues périodes, ce qui simplifie la logistique et la préparation des lancements. Simplicité de Conception : Les moteurs à fusée solide sont généralement plus simples à concevoir, à fabriquer et à entretenir que les moteurs à propergol liquide. Coûts de Production Plus Bas : La fabrication de moteurs à fusée solide peut être moins coûteuse que celle de moteurs à propergol liquide, ce qui peut contribuer à réduire les coûts globaux des missions. Mise en œuvre Rapide : Les moteurs à fusée solide peuvent être préparés rapidement pour le lancement, ce qui permet des délais plus courts entre la conception de la mission et le lancement effectif.	Non Réglable : Les moteurs à fusée solide ont une poussée fixe et ne peuvent pas être réglés en vol, ce qui limite leur polyvalence pour les missions qui nécessitent des changements de trajectoire ou de poussée. Mauvais Contrôle de la Poussée : Les moteurs à fusée solide ne permettent pas un contrôle précis de la poussée, ce qui peut rendre difficile l'atteinte d'une orbite spécifique ou le positionnement précis de la charge utile. Émissions de Gaz : Lors de leur combustion, les propergols solides émettent des gaz nocifs pour l'environnement, ce qui peut poser des problèmes de pollution atmosphérique. Difficulté de Mise Hors Tension : Une fois allumés, les moteurs à fusée solide ne peuvent pas être éteints, ce qui signifie qu'ils doivent brûler complètement, ce qui peut limiter la flexibilité opérationnelle. Déchets Solides : Les moteurs à fusée solide produisent des résidus solides après leur

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

	combustion, ce qui peut contribuer à la pollution spatiale. Moindre Efficacité Énergétique : Les propergols solides ont généralement une efficacité énergétique inférieure à celle des propergols liquides, ce qui peut réduire la charge utile que le lanceur peut transporter en orbite. Incapacité de Ravitaillement en Vol : Contrairement aux moteurs à propergol liquide, les moteurs à fusée solide ne peuvent pas être ravitaillés en carburant en vol, ce qui limite leur capacité à effectuer des missions de longue durée. Difficulté de Contrôle de la Poussée au Démarrage : Les moteurs à fusée solide peuvent générer une poussée initiale élevée, ce qui peut entraîner des contraintes importantes sur la charge utile au moment du lancement.

17.5.3 La propulsion hybride

La propulsion hybride promet de nouvelles solutions, plus sûres et moins coûteuses, pour une large gamme de charges utiles. Les premiers travaux datent du début des années 60. Ils sont conduits par Marxman, Gilbert, Wooldrige et Muzzy de l'université de Sunnyvale en Californie. Une aérodynamique complexe et de faibles vitesses de régression (vitesse de combustion), ont limités l'intérêt porté. On lui préfère la propulsion solide (forts débits, donc forte poussée) ou la propulsion liquide (forte vitesse d'éjection, forte impulsion spécifique). Elle trouve un regain d'intérêt au début des années 90, les attentes au niveau des propulseurs ayant évolué (sécurité de mise en œuvre et d'utilisation, modulation de poussée et arrêt moteur, asymptote des performances en solide et liquide). La propulsion hybride utilise deux ergols stockés séparément. Il existe deux architectures différentes : classique et inverse (voir figure 20). L'architecture classique utilise un oxydant sous forme liquide, et un pain de combustible solide fixé à l'intérieur de la chambre de combustion. Dans le cas de l'architecture inverse, c'est l'oxydant qui est solide, et le carburant qui est stocké sous forme liquide. Mais dans une telle configuration, le rapport de mélange est toujours à la faveur de l'oxydant, c'est-à-dire que la masse d'oxydant brûlée est supérieure à celle du carburant.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

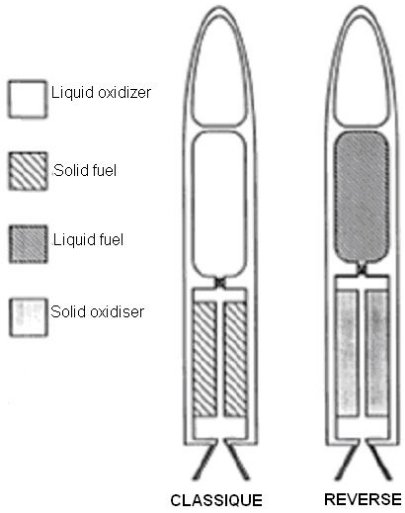


Figure 20 : Les 2 types de propulsion hybride

Tous les moteurs fusées hybrides actuels utilisent la technologie classique.

PROPULSION SOLIDE	
AVANTAGES	**INCONVENIANTS**
Sécurité Améliorée : Les systèmes de propulsion à fusée hybride sont considérés comme plus sûrs que les fusées à propergol liquide ou solide, car ils sont moins susceptibles de détonation ou d'explosion catastrophique en cas d'accident. Contrôle de la Poussée : Comme les moteurs à fusée liquide, les moteurs à fusée hybride permettent un contrôle précis de la poussée et la possibilité d'éteindre et de redémarrer le moteur en vol. Efficacité Énergétique : Ils peuvent offrir une meilleure efficacité énergétique que les propergols solides et sont capables de transporter des charges utiles plus importantes en orbite.	Complexité Interne : Les systèmes de propulsion à fusée hybride peuvent être plus complexes à concevoir et à fabriquer que les systèmes à propergol solide. Développement Coûteux : La mise au point de systèmes de propulsion à fusée hybride peut être coûteuse en raison de la recherche et des essais nécessaires. Moins de Poussée Immédiate : Les moteurs à fusée hybride ont généralement une poussée moins immédiate que les propergols solides, ce qui peut affecter la phase de lancement. Performance Moindre : Bien qu'ils soient plus efficaces que les propergols solides, les moteurs hybrides peuvent avoir une performance légèrement inférieure à celle des moteurs à fusée liquide en termes d'efficacité énergétique.

Flexibilité Opérationnelle : Les moteurs à fusée hybride sont adaptables à différentes missions et offrent la possibilité de modifier la poussée en ajustant le débit d'oxydant. Moins de Pollution Atmosphérique : Ils génèrent moins de pollution atmosphérique que les propergols solides et sont donc plus respectueux de l'environnement. Ravitaillement en Vol : Comme les moteurs à fusée liquide, certains systèmes hybrides permettent le ravitaillement en carburant en vol, ce qui augmente leur flexibilité. Sécurité Améliorée : Les systèmes de propulsion à fusée hybride sont considérés comme plus sûrs que les fusées à propergol liquide ou solide, car ils sont moins susceptibles de détonation ou d'explosion catastrophique en cas d'accident. Contrôle de la Poussée : Comme les moteurs à fusée liquide, les moteurs à fusée hybride permettent un contrôle précis de la poussée et la possibilité d'éteindre et de redémarrer le moteur en vol. Efficacité Énergétique : Ils peuvent offrir une meilleure efficacité énergétique que les propergols solides et sont capables de transporter des charges utiles plus importantes en orbite. Flexibilité Opérationnelle : Les moteurs à fusée hybride sont adaptables à différentes missions et offrent la possibilité de modifier la poussée en ajustant le débit d'oxydant. Moins de Pollution Atmosphérique : Ils génèrent moins de pollution atmosphérique que les propergols solides et sont donc plus respectueux de l'environnement. Ravitaillement en Vol : Comme les moteurs à fusée liquide, certains systèmes hybrides permettent le ravitaillement en carburant en vol, ce qui augmente leur flexibilité.	Stockage Spécifique : Le stockage de l'oxydant peut être complexe, car il doit être stocké sous forme liquide à des températures très basses. Coûts de Production : Les coûts de production des moteurs à fusée hybride peuvent être plus élevés que ceux des moteurs à propergol solide en raison de la complexité des composants. Mise en œuvre Compliquée : Les systèmes de propulsion à fusée hybride peuvent nécessiter une infrastructure de lancement spécifique et une préparation plus complexe que les propergols solides. Incertitude Technologique : La technologie de propulsion à fusée hybride est encore relativement nouvelle et peut nécessiter davantage de développement pour atteindre son plein potentiel.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

17.5.4 La propulsion du futur

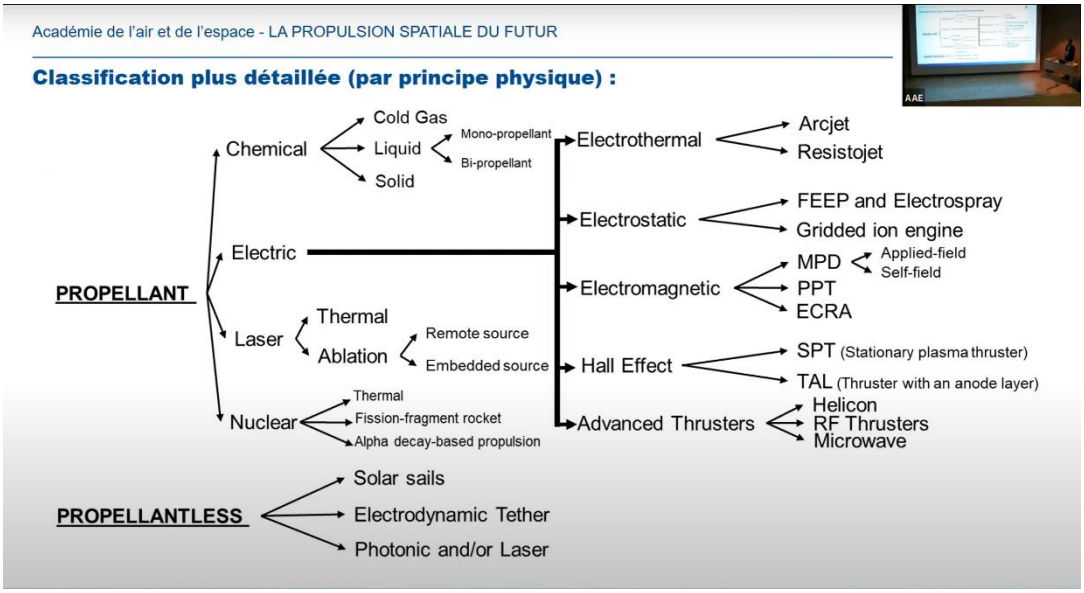


Figure 21 : Classification détaillée des propulsion

Le choix de la propulsion pour les lanceurs spatiaux du futur dépendra de plusieurs facteurs, notamment les besoins de la mission, la technologie disponible, les coûts et les considérations environnementales. Voici quelques options de propulsion qui pourraient être envisagées pour les lanceurs spatiaux du futur :

- **Propulsion Chimique Liquide :** Cette option consiste à utiliser des propergols liquides, comme l'hydrogène et l'oxygène liquides (LOX/LH2), qui offrent une efficacité énergétique élevée. Cette technologie est déjà utilisée dans de nombreux lanceurs spatiaux actuels.
- **Propulsion Chimique Solide :** Les propergols solides ont l'avantage de la simplicité et de la fiabilité. Cependant, leur efficacité énergétique est généralement inférieure à celle des propergols liquides. Des avancées dans les propergols solides pourraient les rendre plus compétitifs pour certaines missions.
- **Propulsion Hybride :** Les systèmes de propulsion hybride combinent des éléments des propulsions liquides et solides. Par exemple, un moteur à fusée hybride pourrait utiliser un propergol solide avec un oxydant liquide. Cela offre un certain niveau de contrôle de la poussée tout en conservant une relative simplicité.
- **Propulsion Nucléaire :** Les concepts de propulsion nucléaire, tels que les moteurs thermiques nucléaires ou les propulseurs à propulsion électrothermique nucléaire, ont été étudiés pour les missions interplanétaires à grande vitesse. Ils offrent une efficacité énergétique élevée mais présentent des défis techniques et de sécurité.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- **Propulsion Électrique :** Les systèmes de propulsion électrique, tels que les propulseurs à effet Hall ou les propulseurs ioniques, sont de plus en plus utilisés pour les missions spatiales interplanétaires en raison de leur efficacité énergétique élevée. Ils utilisent généralement de l'électricité produite par des panneaux solaires pour accélérer les particules propulsives.
- **Propulsion Réutilisable :** Les lanceurs réutilisables, tels que ceux développés par SpaceX avec le Falcon 9, utilisent des moteurs à fusée réutilisables alimentés par des propergols liquides pour réduire les coûts de lancement.
- **Propulsion Non-Chimique :** Des concepts de propulsion avancée, tels que la propulsion à énergie solaire réfléchie (solar sail) ou la propulsion à faisceau de particules, sont à l'étude pour des missions à faible poussée ou à très longue durée.

Le choix de la propulsion dépendra de la mission, de la destination, de la charge utile et des contraintes budgétaires. Il est possible que les lanceurs spatiaux du futur utilisent une combinaison de ces technologies en fonction des exigences spécifiques de chaque mission.

17.6 ANNEXE 6 : Les défis techniques des lanceurs réutilisables

La réutilisation des lanceurs spatiaux s'accompagne d'une série de défis techniques substantiels, en dépit de ses avantages notables en termes de réduction des coûts d'accès à l'espace. Voici une présentation des défis techniques majeurs, étroitement liés à la réutilisation des lanceurs spatiaux :

- ✓ **Garantir Fiabilité et Sécurité :** L'un des principaux défis de la réutilisation réside dans la nécessité de maintenir un niveau élevé de fiabilité et de sécurité. Il est impératif d'effectuer des inspections, des tests et des certifications minutieux des composants réutilisés pour garantir leur parfait état de fonctionnement. Tout dysfonctionnement ou défaillance peut avoir des conséquences graves.
- ✓ **Résister aux Contraintes Intenses :** Les composants des lanceurs spatiaux subissent des contraintes extrêmes pendant leur vol, notamment des vibrations, des températures extrêmes, des charges mécaniques importantes et des forces aérodynamiques. Assurer la résistance répétée de ces composants à ces contraintes constitue un défi majeur.
- ✓ **Entretien et Réparation :** La réutilisation exige un entretien régulier pour s'assurer que les composants restent en parfait état. La détection précoce des problèmes potentiels et la capacité à effectuer des réparations sont cruciales pour prolonger la durée de vie des composants réutilisés.
- ✓ **Complexité des Systèmes :** Les systèmes de lanceurs réutilisables sont souvent plus complexes que leurs homologues à usage unique en raison de la nécessité d'intégrer des mécanismes de récupération, tels que les atterrissages verticaux ou les récupérations en mer.
- ✓ **Transport de Charges Variables :** Les lanceurs réutilisables doivent être en mesure de transporter des charges utiles de poids et de dimensions variables, ce qui nécessite des systèmes de lancement flexibles et adaptables.
- ✓ **Usure et Fatigue :** Les composants réutilisés subissent inévitablement une usure et une fatigue au fil du temps, ce qui peut limiter le nombre de vols possibles avant qu'une révision majeure ne soit nécessaire.
- ✓ **Moteurs-Fusées Réutilisables :** Les moteurs-fusées réutilisables, en particulier ceux à combustion liquide, doivent être conçus pour résister à de multiples allumages et à des cycles de combustion répétés.
- ✓ **Gestion de la Logistique Complexes :** La gestion de la logistique pour la récupération des lanceurs réutilisables, incluant le transport, l'inspection, la maintenance et la préparation pour le prochain vol, représente un défi logistique complexe en soi.
- ✓ **Économie de l'Échelle :** Pour profiter pleinement des avantages de la réutilisation, il est nécessaire de lancer les lanceurs réutilisables fréquemment. Cela requiert une demande soutenue pour justifier les investissements nécessaires.
- ✓ **Réglementation et Certification :** Les organismes de réglementation spatiale doivent élaborer des normes et des procédures pour certifier la réutilisation des composants spatiaux, garantissant ainsi la sécurité des opérations.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

INSPIRING EDUCATION INSPIRING LIFE

La réutilisation des lanceurs spatiaux est une entreprise complexe qui nécessite des percées technologiques significatives, une maintenance méticuleuse et une vigilance constante en matière de sécurité pour assurer le succès de cette approche. Elle représente un défi stimulant pour l'industrie spatiale, avec le potentiel de réduire de manière significative les coûts et de rendre l'espace plus accessible.

17.7 ANNEXE 7 : Le marché du spatial

Lors d'une interview en novembre 2021, Philippe Baptiste le Président – l'actuel Directeur Général du Centre National des Etudes Spatial (CNES) parlait du Spatial et des enjeux économiques majeurs que le secteur représente. On retiendra 2 points essentiels, le côté « Disruptif » du Secteur avec notamment l'apparition du New Space (mouvement initié aux Etats Unis au début des années 2000, qui commence à apparaître en Europe) et les prévisions optimistes concernant l'évolution du marché. On parle ici d'une évolution significative du marché passant selon certaines estimations de 1000 milliards de $ en 2030 à 4000 milliards de $ en 2040.

Dans cet annexe nous présenterons une définition d'un marché. Nous aborderons la question de l'utilité de l'étude de marché, puis nous présenterons notre étude du marché du spatial en traitant les aspects marché, demande et offre.

17.7.1 Qu'est-ce qu'un marché ?

BPI France propose la définition suivante :
« Le marché représente l'environnement dans lequel va évoluer l'entreprise et où se rencontrent l'offre et la demande d'un bien ou d'un service, c'est-à-dire principalement les clients potentiels et la concurrence.

Un marché peut être national, régional, saisonnier, concentré, diffus, captif, fermé, ambulant…Chaque caractéristique du marché entraîne des contraintes et des clefs de succès spécifiques qu'il est important d'identifier ».

17.7.2 L'utilité de l'étude de marché

L'étude de marché occupe une place fondamentale au sein du processus décisionnel stratégique des institutions et des entreprises. Son utilité s'étend à plusieurs dimensions clés qui convergent vers un objectif central : informer la prise de décision éclairée.

Tout d'abord, l'étude de marché permet une compréhension approfondie du contexte économique, social et concurrentiel dans lequel une entreprise évolue. Cela inclut l'analyse des tendances macroéconomiques, des comportements des consommateurs, des préférences culturelles et des dynamiques concurrentielles. Cette connaissance approfondie aide les décideurs à anticiper les évolutions du marché et à adapter leurs stratégies en conséquence.

De plus, l'étude de marché permet d'identifier les segments de marché pertinents et de déterminer les besoins et les attentes spécifiques des consommateurs. Cette segmentation fine facilite le ciblage précis des efforts marketing et le développement de produits ou de services mieux adaptés aux besoins du marché.

Une autre utilité majeure de l'étude de marché réside dans la validation des hypothèses et des concepts. Avant de lancer de nouveaux produits, services ou campagnes, il est essentiel de collecter des données empiriques afin de vérifier la viabilité et la pertinence de ces initiatives. Cela permet de minimiser les risques d'échec et d'optimiser l'allocation des ressources.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

En outre, l'étude de marché fournit des informations cruciales pour l'élaboration de stratégies de positionnement et de différenciation. En comprenant comment les consommateurs perçoivent les produits ou les marques concurrentes, une entreprise peut créer une proposition de valeur unique qui la distingue sur le marché.

Enfin, l'étude de marché est un outil fondamental pour évaluer le potentiel de rentabilité d'une entreprise ou d'un projet. En analysant la taille du marché, les tendances de croissance, les barrières à l'entrée et les modèles économiques existants, les chercheurs peuvent fournir des prévisions financières solides et des évaluations de faisabilité.

En somme, l'étude de marché revêt une importance capitale en tant qu'approche analytique rigoureuse permettant de guider la prise de décision stratégique des entreprises. Elle offre un cadre méthodologique riche pour comprendre, évaluer et façonner les dynamiques complexes du marché, contribuant ainsi à l'élaboration de stratégies avisées et à la pérennité des organisations dans un environnement concurrentiel en perpétuelle évolution.

17.7.3 Le marché du spatial – Chiffres clés

17.7.3.1 Photographie Globale

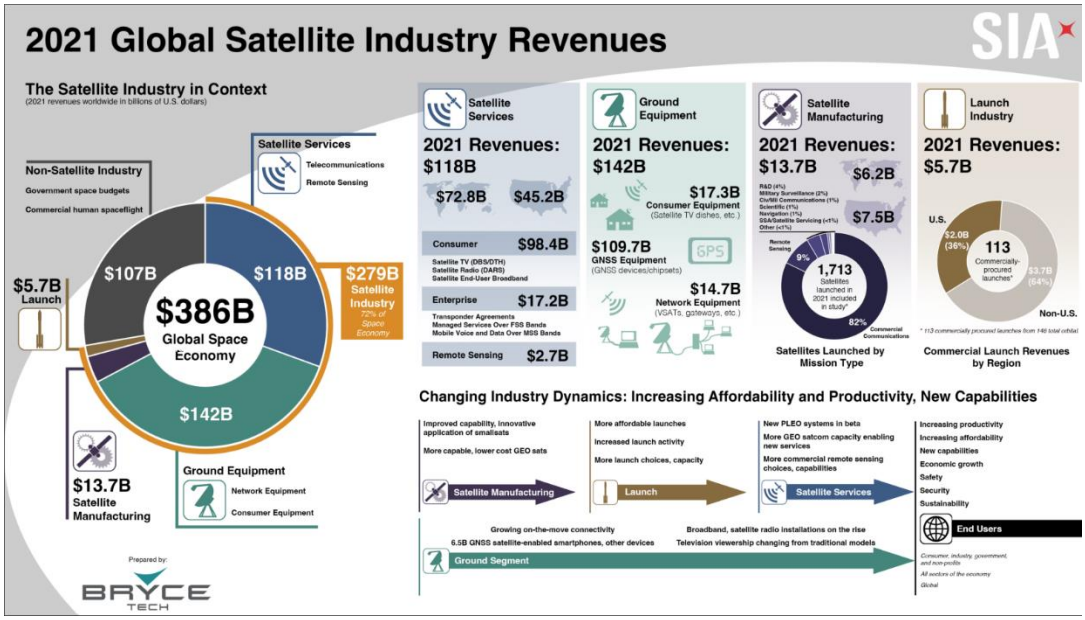


Figure 22 : Photographie globale du marché du spatial – Source BRYCE TECH

Selon l'étude de BRYCE TECH, l'économie globale du spatiale pèse en 2021, 368 Milliards de $.

L'industrie du satellite pèse à elle seule 279 Milliards de $, ce qui représente environ 72,3% de l'économie globale. Dans le détail, cette industrie comprend par ordre d'importance :

	Secteur	Revenus (M$)	% de l'économie globale du spatial	% de l'industrie satellitaire
1	Équipements sols	142	36,8	50,9
2	Services satellitaire	118	30,6	42,2
3	Fabrication de satellites	13,7	3,6	4,9
4	Industrie des lanceurs	5,7	1,5	2

IL est important de noter qu'inversement à la part que représente l'industrie des lanceurs sur l'économie spatiale globale (la plus faible avec 2%), c'est un goulot d'étranglement : « Pas de lanceurs, pas d'économie du spatial ». Nous développerons plus en détail cette spécificité dans le § sur la place des lanceurs dans le marché spatial [11.1].

Cette économie spatial globale s'appuie sur un écosystème dit de la « SpacTech »

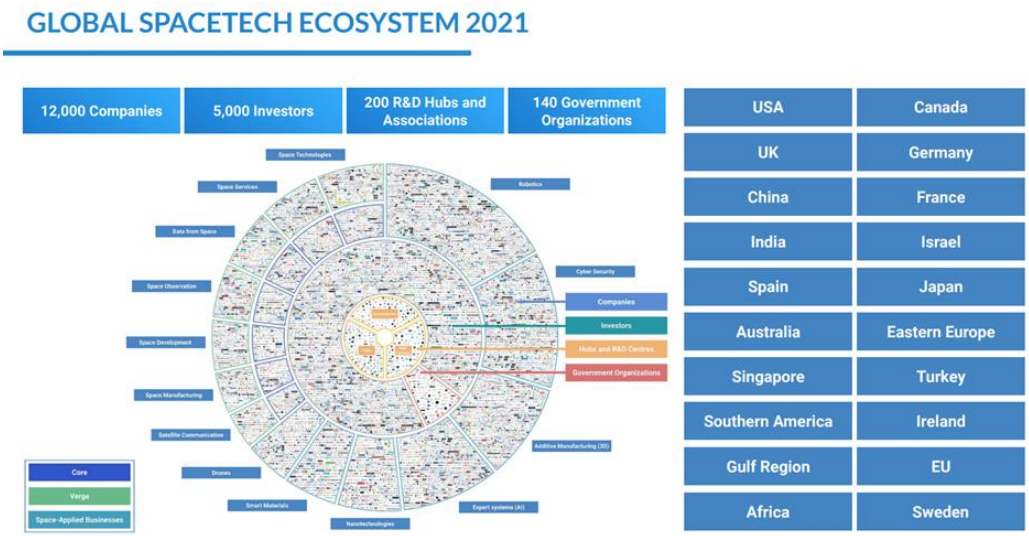


Figure 23 : Représentation de l'écosystème global de la Space Tech – Source SpaceTech Analytics

Selon l'étude de Space Tech Analytics, voici les principaux chiffres concernant les acteurs du Spatial :

1. **12000** entreprises
2. **5000** investisseurs
3. **150** pôles de compétitivité et associations
4. **130** organisations gouvernementales

La France et l'Europe font partis des principaux acteurs du marché. Selon un rapport sur l'espace de 2022, l'Europe dispose aujourd'hui de la deuxième industrie spatiale de pointe au monde. En 2021, le secteur génère entre 53 et 62 milliards d'euros de chiffre d'affaires et près d'un tiers des satellites sont fabriqués en Europe. (source : https://www.vie-publique.fr/eclairage/286198-france-europe-quelles-politiques-spatiales#:~:text=Eclairage-,France%20ou%20Europe%20%3A%20deux%20strat%C3%A9gies%20spatiales%20%3F,collaboration%20r%C3%A9guli%C3%A8re%20avec%20l'ESA).

En Europe la France se démarque sur trois principaux aspects :

1. Le budget de son agence spatial (en 2021 le premier d'Europe avec 2,59M€),
2. Elle est le premier contributeur de l'Agence Spatial Européenne (ESA) avec 30% du budget
3. D'après le rapport sur le secteur spatial de défense, la France représente « un peu plus de la moitié du secteur spatial européen, et 35% de ses emplois ».

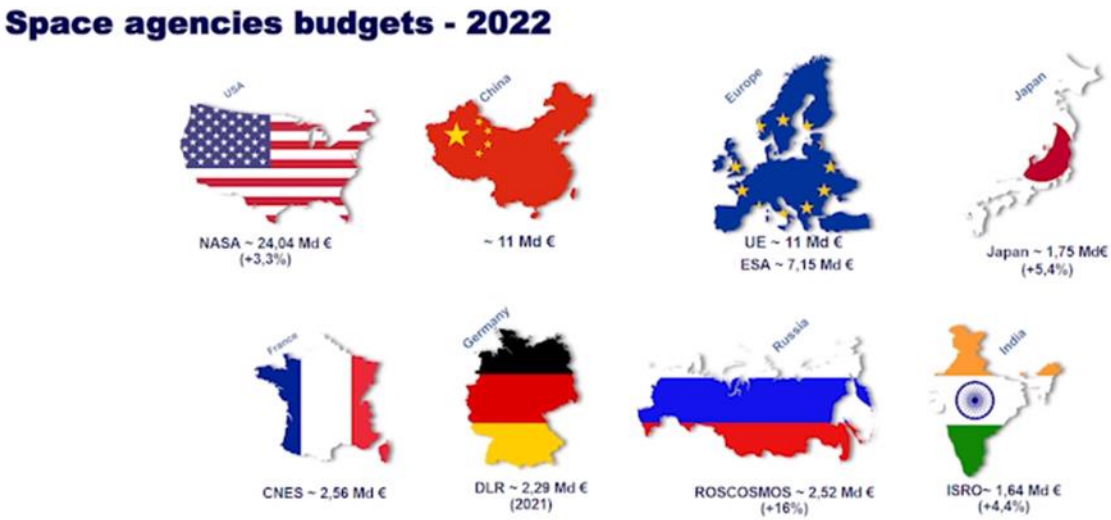


Figure 24 : Budget des agences spatiales en 2022

Comme nous pouvons le voir sur la figure ci-dessous, la France occupe le 7ème rang mondial pour ce qui est du nombre d'entreprise de la SpaceTech sur son sol.

17.7.3.2 Les prédictions

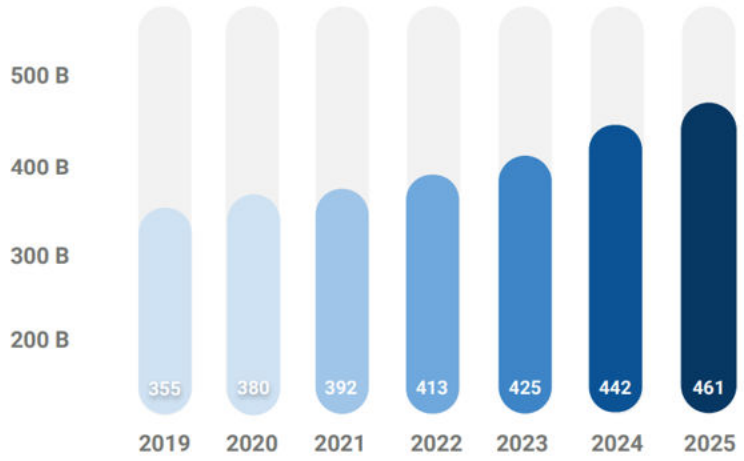


Figure 26 : Chiffre prévisionnels de l'évolution de l'économie spatiale – Source SpaceTech Analytics

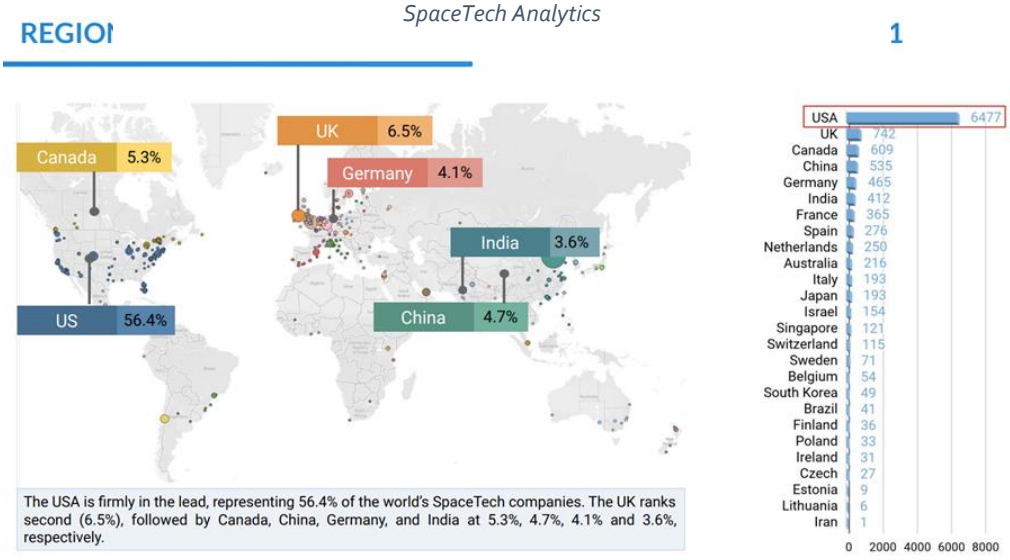


Figure 25 : Répartition des entreprises de la Space Tech dans le monde en 2021 – Source SpaceTech Analytics

Comparativement aux chiffres affichés par Bryce Tech (386M$), Space Tech Analytics affiche une valeur de l'économie du spatial de 392M$ pour 2021, ce qui reste relativement proche avec une différence certes de 6M$, mais qui représente une différence de seulement 1,55%. En croisant les données de Space Tech Analytics et les prévisions de source CNES nous constatons que la valeur de l'économie du spatial devrait plus que doubler entre 2025 et 2030. Les prévisions les plus optimistes parlent même de 4000m$ horizon 2040.

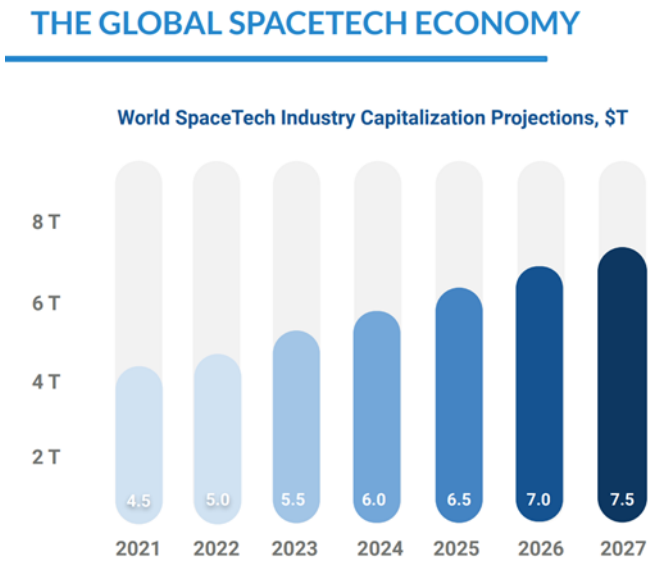


Figure 27 : Capitalisation mondiale de économie spatiale - Source SpaceTech Analytics

Parallèlement à la croissance de l'économie du spatial, la capitalisation de l'industrie du spatial progresse de manière constante. Estimée à 4500M$ en 2021, elle devrait passer à 10000M$ en 2030 d'après les prévisions les plus conservatrices. Cette croissance est principalement associée aux activités d'exploration spatiale, d'IT, de FinTech et les autres technologies digitales.

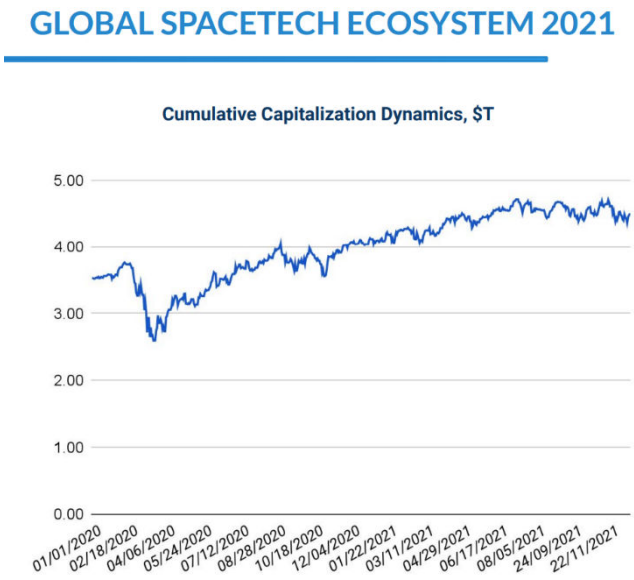


Figure 28 : Evolution de la capitalisation de l'économie spatiale entre 2020 et 2021 - Source SpaceTech Analytics

L'analyse sur l'évolution de 177 sociétés du spatial cotées en bourse sur la période 2020 – 2021 montre la résilience de l'écosystème de la SpaceTech durant la période du COVID. Il a mieux fait que résister ; les capitalisations présentent une augmentation de 32,6%. En 2021, ses sociétés les plus côtés sont AT&T Inc, Honeywell International Inc., Boeing et Raytheon Technologies.

17.7.3.3 Répartition des entreprises du spatial selon 20 catégories

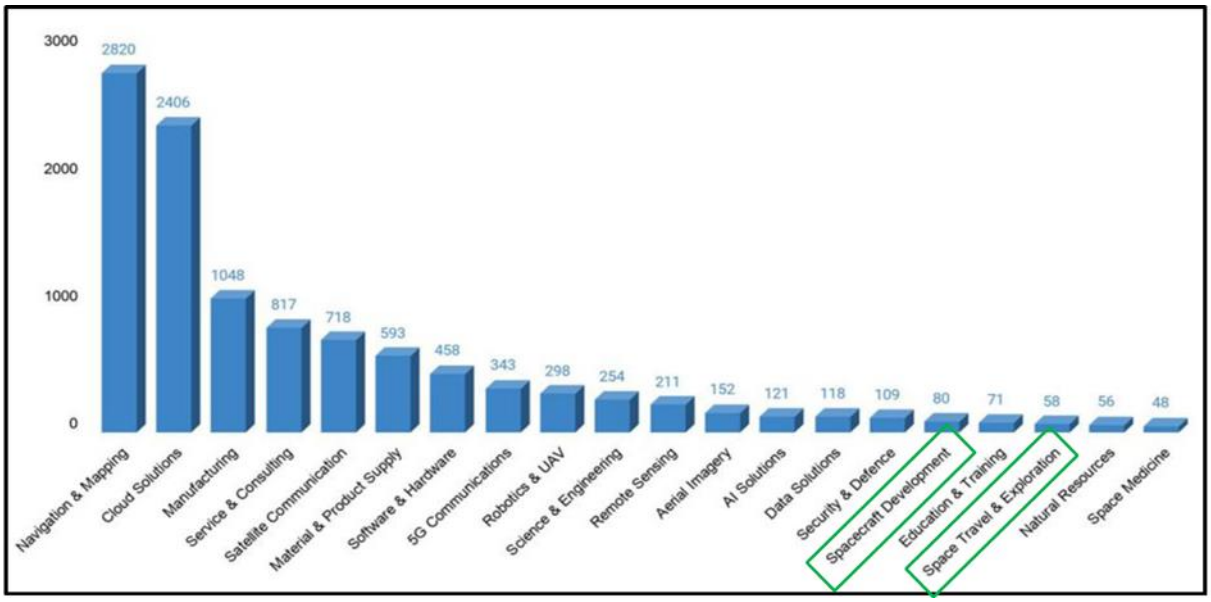


Figure 29 : Répartition des entreprises du spatial en fonction des activités – Source SpaceTech Analytics

Ayant pris connaissance du nombre d'entreprises associées au Marché du Spatial, nous trouvons intéressant de connaître la répartition de ces entreprises par catégorie d'activité. 20 catégories sont représentées dans le graphe ci-dessus. Dans le cadre de ce mémoire , 2 d'entre elles nous intéressent plus particulièrement :

1. Le développement de satellites
2. Les voyages spatiaux et l'exploration

Avec respectivement 80 et 58 entreprises pour ces 2 catégories, cela représente moins de 1,4% de la totalité de l'économie spatiale. Faiblement représentées par le nombre, ces deux catégories sont pourtant indispensables à l'écosystème du Spatial.

17.8 ANNEXE 8 : Le marché du lancement de satellites

Bien observer et comprendre les tendances du marchés des satellites et quantifier les besoins de services de lancement associés va nous permettre de d'analyser l'intérêt économique des lanceurs. C'est bien le nombre de satellites à mettre en orbite, la masse de ces satellites et l'orbite visée qui pilote le type et le nombre de lancements.

17.8.1 Chaine de valeur de l'accès à l'espace

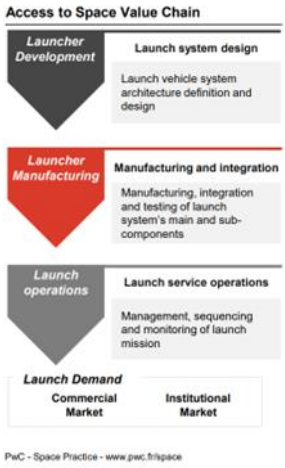


Figure 30 : Chaine de valeur de l'accès à l'espace – Source PWC

La Chane de valeur de l'accès à l'espace peut être présenter sous la forme de trois étapes :

1. Le développement de lanceur
2. La production de lanceur
3. Les opérations de lancement

17.8.2 Activité de mise en orbite

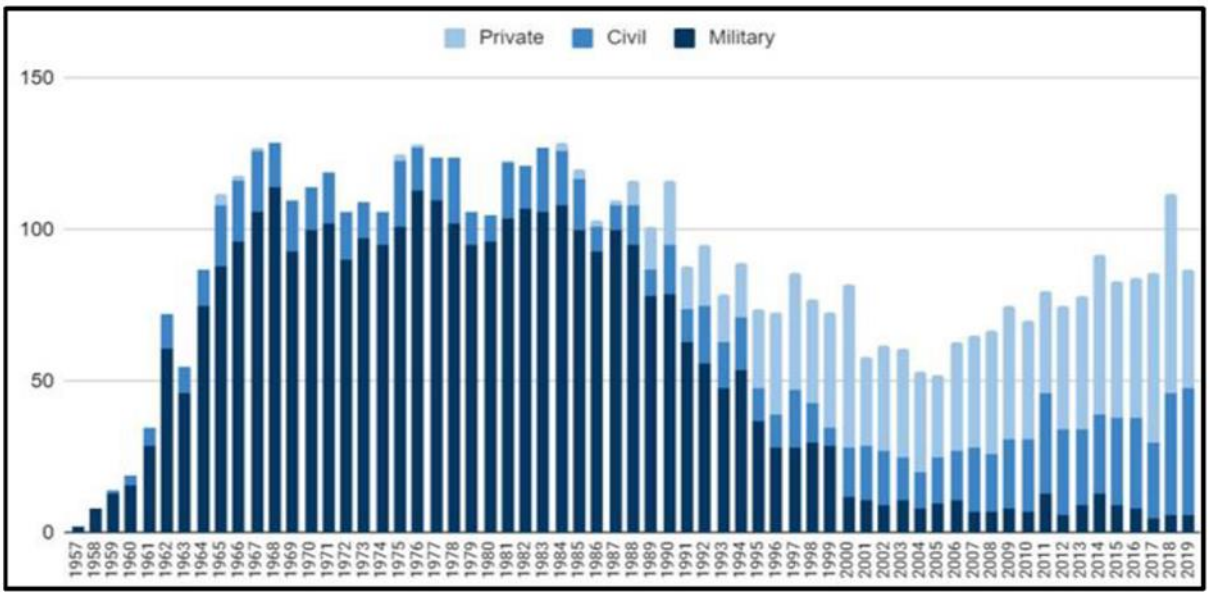


Figure 31 : Activité en orbite de 1957 à 2019 – Source SpaceTech Analytics

L'analyse de l'activité de mise en orbite spatiale entre 1957 et 2019, qui rappelons le, pèse 1,5% d'économie, apporte des éléments qui confirment une tendance à la hausse pour ces dernières années :

1. **De 1957 à 1967 :** forte croissance (l'année 1967 représente le pic de l'ensemble de l'activité),
2. **De 1968 à 1988 :** stabilité apparente,
3. **DE 1989 à 2005 :** décroissance accompagnée d'un rééquilibrage entre le Privé, le Civil et le Militaire,
4. **De 2006 à 2019 :** Retour à la croissance porté principalement par le Privé et le Civil.

Il est intéressant pour nous d'avoir les mêmes données représentée en fonction des types de lanceurs qui ont réalisés les missions (micro lanceur, lanceur léger, lanceur lourd, lanceur super lourd).

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

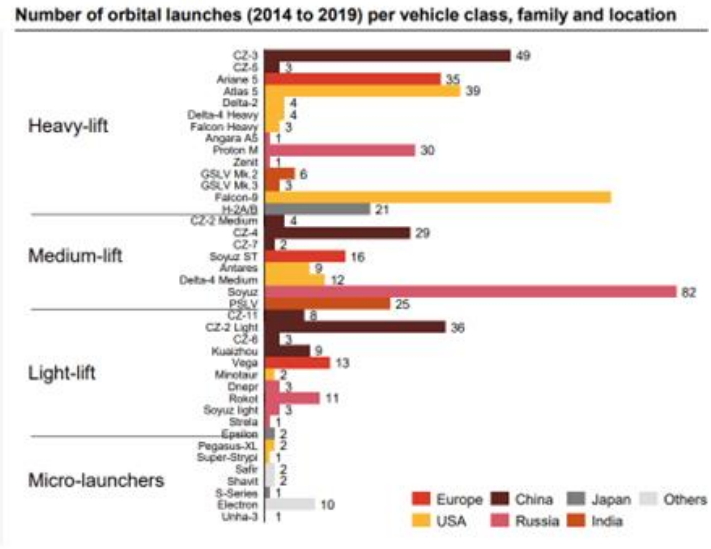


Figure 32 : Nombre de lancements orbitaux de 2014 à 2019 – Source PWC

Les points clés mis en avant vis-à-vis de cette activité de lancement :

1. Le marché des lancements peut être segmenter en **deux types de clients** : institutionnel et commercial.
2. Pour **le marché commercial, en 2021, il y avait un duopole entre SpaceX** (Falcon 9 et Falcon 9 Heavy) et **Arianespace** (Ariane 5, Soyuz ST, Vega).
3. Pour le marché institutionnel, **la plupart des lancements ne se font pas sur un marché ouvert** (utilisation de lanceurs nationaux pour des clients institutionnels nationaux).

17.8.2.1 Evolution des catégories de lanceurs de 2015 à 2025

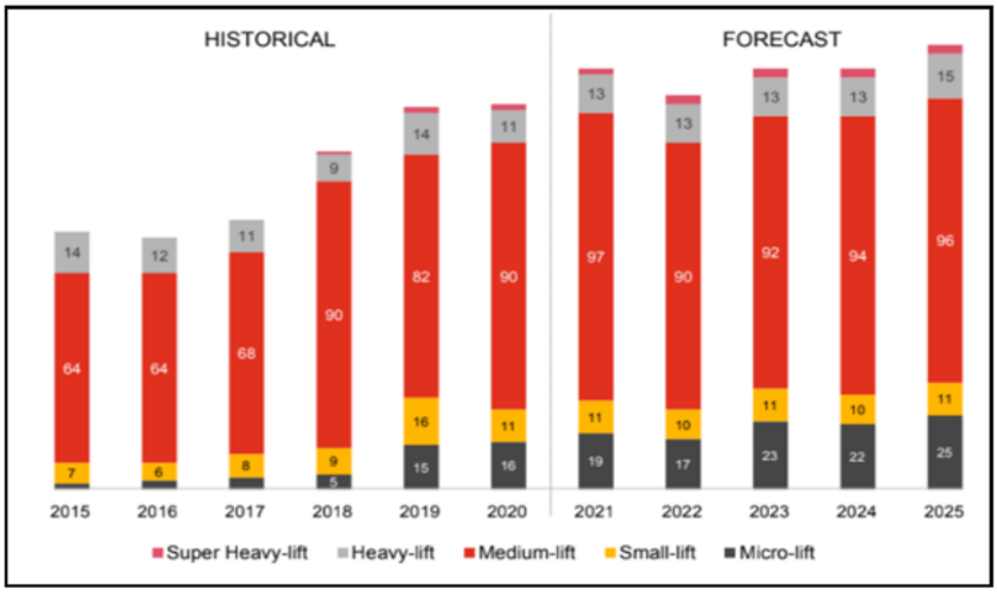


Figure 33 : Histoire et prédictions sur les activités lanceurs en fonction de leurs performances – Source PWC

Les points clés mis en avant vis-à-vis de cette activité de lancement :

1. Les lanceurs lourds (cad SpaceX Falcon9, Ariane 5, Proton, etc.) représentent et continuerons de représenter la majeur partie des activités de lancement dans les années à venir. Plusieurs programmes de lanceurs sont actuellement en cours de développement.
2. On s'attend à ce que le segment des lanceurs moyens soit drivé par le lanceur Russe Soyuz, l'indien PSLV, et le futur lanceur européen Ariane 62.
3. Avec augmentation du besoin de lancement en provenances des opérateurs de satellites, il est attendu une forte croissance du segment des Micro et Mini lanceurs.

Les analyse de PWC posent la vision suivante sur le marché des lancement institutionnels en Europe :

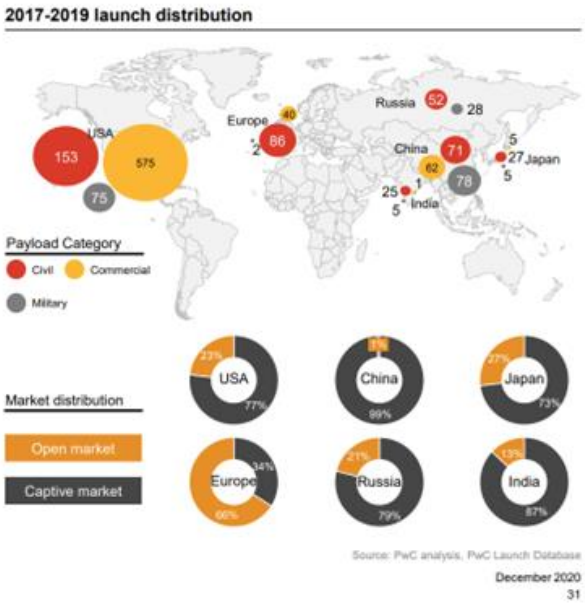


Figure 34 : Le marché des lancements dans le mode – Source PWC

La taille du marché et le fait que ce soit un marché ouvert à la compétition est un challenge pour les fournisseurs européens :

1. Les activités des lanceurs européens sont principalement soutenues par les lancements commerciaux.
2. Il y a une forte compétition qui est accrue par les concurrents à l'international.
3. Les insittutions européennes poursuives leurs efforts pour supporter les fournisseurs de services de lancements sur le territoire.

De manière générale, nous pouvons voir que le marché et les prédictions associés ont fortement évoluée entre 2021 et 2023. L'arrivée rapide promise par SpaceX du StarShip pourrait le refondre de manière profonde et durable.

17.9 ANNEXE 9 : Les lanceurs spatiaux et les bases de lancement dans le monde

17.9.1 Une brève histoire des lanceurs

Au début de l'ère spatiale, les lanceurs étaient principalement des fusées consommables, conçues pour envoyer des charges utiles dans l'espace. L'une des premières fusées majeure de ce type était la V2 allemande de la Seconde Guerre mondiale, qui a servi de modèle pour de futures fusées. Cependant, ces premiers lanceurs étaient rudimentaires et leur portée était limitée.

Les années 1950 et 1960 ont vu l'avènement des premiers lanceurs spatiaux modernes. Les États-Unis ont développé le lanceur Atlas, qui a joué un rôle crucial dans le programme spatial Mercury, le premier programme habité américain. L'Union soviétique a également réalisé des avancées significatives avec les fusées R-7 et Vostok, permettant le lancement de Spoutnik 1 et de Youri Gagarine, le premier homme dans l'espace.

L'apogée de l'exploration lunaire dans les années 1960 a été marquée par le programme Apollo de la NASA, utilisant la fusée Saturn V. Cette puissante fusée a permis d'envoyer des astronautes vers la Lune, avec Apollo 11 réalisant le premier atterrissage lunaire en 1969.

Pendant les années 1970 et 1980, la navette spatiale américaine est devenue l'icône de l'accès à l'espace réutilisable. Cependant, son coût élevé et les tragédies de Challenger et Columbia ont soulevé des questions sur la viabilité de cette approche.

Fin des année 70, début des années 80, l'Europe a introduit Ariane, une famille de lanceurs commerciaux très réussie. En même temps, la Russie a continué à utiliser des lanceurs comme le Soyouz pour accéder à l'espace.

Au tournant du 21e siècle, des sociétés privées comme SpaceX et Blue Origin cherchent à révolutionner l'industrie spatiale en proposant des lanceurs réutilisables. SpaceX a notamment développé le Falcon 9 et le Falcon Heavy, tandis que Blue Origin est en train de concevoir le lanceur New Shepard.

L'histoire des lanceurs spatiaux reflète l'évolution des technologies, des ambitions et des acteurs dans la conquête de l'espace. Elle témoigne également des défis persistants en matière de coûts, de sécurité et de durabilité auxquels l'industrie spatiale est confrontée aujourd'hui.

17.9.2 Les lanceurs dans le monde

17.9.2.1 L'année spatiale 2022

2022 est l'année de tous les records pour les activités du spatial. Elle suit les prévisions de forte croissance annoncée pas les différentes études. Si il ne faut retenir qu'un seule chiffre c'est celui de la croissance du niveau de l'activité qui s'élève à un peu plus de 33% comparé à 2021. Cette croissance est valable pour le nombre de lancements orbitaux , de satellites mise en orbite et la masse totale associée. 2022 C'est aussi le retour au premier plan des Etats-Unis avec une marge considérable devant la Chine (2ème) et la Russie (3ème).

2022 en chiffres ça donne ça :

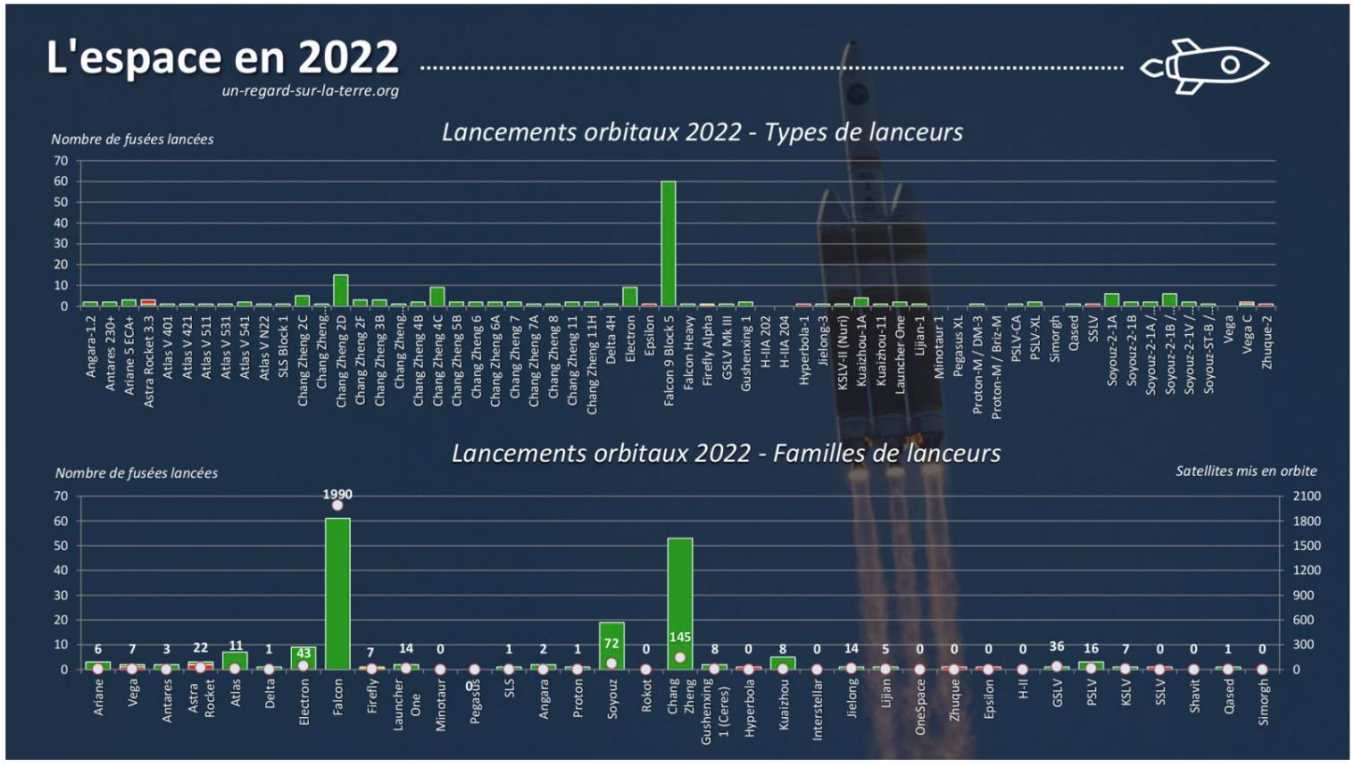
1. 179 lancements orbitaux réussis / 7 échecs / 1 anomalie majeure
2. **8** pays ayant réussi au moins un lancement orbital (Etats-Unis, Chine, Russie, Europe, Inde, Corée du Sud, Nouvelle-Zélande et Iran)
3. **2469** satellites mis en orbites soit une progression de plus de **36%** par rapport à 2021 qui comptabilisait **1813** satellites et un peu moins du double si l'on compare à 2020 avec **1272** satellites
4. Les grands gagnants sont les constellations : Starlink, **1722** satellites / OneWeb, **110** satelittes
5. **80%** des satellites lancés sont des satellites de télécommunication
6. La masse totale mise en orbite a dépassé les **1000** tonnes pour la première fois dans l'histoire avec **1037** tonnes
7. La masse moyenne d'un satellite est de l'ordre de **420 kg**
8. L'orbite reine reste l'orbite basse (LEO) avec **146** lancements et **2408** satellites
9. Seul indicateur en baisse concerne celui des vols habités avec un total de **13** missions et **7** vols habités

2022 en une slide :



Figure 35 : L'Année Spatiale 2022 en quelques chiffes – Source Un Autre Regard sur la Terre

17.9.2.2 Rétrospective des lancements et des lanceurs dans le monde



Les lancements orbitaux de l'année 2022 : types de fusée et familles de lanceurs.
Infographie : Gédéon. Image de fond : décollage de la fusée Delta Heavy emportant la mission classifiée USA-338 / NROL-91, a priori un gros satellite de reconnaissance optique du NRO. Crédit image : NASA

Figure 36 : Les lancements orbitaux en 2022 - Source Un Autre Regard sur la Terre

17.9.1 Les bases de lancement dans le monde

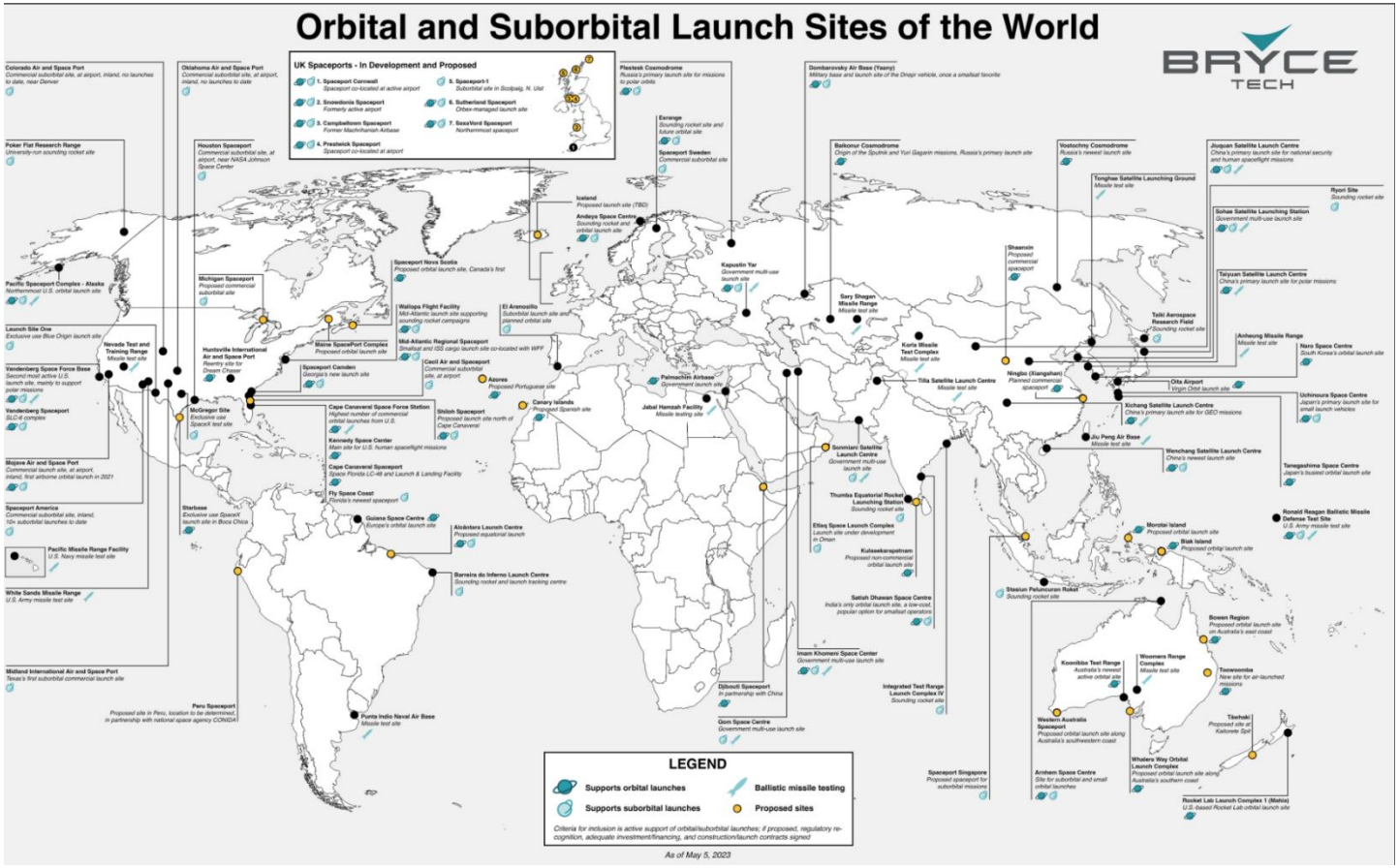


Figure 37 : Les bases de lancement dans le monde – Source Bryce Tech

Ces dernières années, près de quarante projets de sites de lancement ont vu le jour dans le monde, dont au moins dix en Europe. Cette tendance s'explique par la volonté des nations de devenir autonomes en matière de lancement. Cela implique, la recherche de zones isolées ou géographiquement favorables, la poursuite du développement économique, ainsi que l'extension de l'utilisation d'infrastructures existantes.

L'émergence de ces projets de sites de lancement offre diverses opportunités en Europe, mais elle est également soumise à des contraintes de sécurité, de possibilité d'atteindre certaines orbites et de coûts associés à l'accès au champ de tir.

17.10 ANNEXE 10 : Les interviews

- **Interview n°1 :**

1. Nom

BEHAR

2. Prénom

Jacques

3. Activité

SAS JB Space Consulting

4. Age

72

5. Nombre d'années d'activité

- ○ moins de 10 ANS
- ○ de 10 à 25 ans
- ◉ plus de 25 ans

6. Dernier poste occupé en lien avec les activités spatiales ou l'innovation

responsable de bureau d'études systèmes spatiaux et MGSE

7. Niveau d'expertise dans l'activité

high

8. Les grandes lignes de votre CV

Bureau d'études et calculs mécanique thermique,pyrotechnie,structures

Management de projets spataux et de moyens sol

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

9. Date de réponse

11/09/2023

10. Lieu

Saint Médard en Jalles

11. À votre avis, quelle est la principale raison de l'intérêt croissant pour les lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

La concurrence de SpaceX qui a pris une longueur d'avance non récupérable

Les satellites orbite basse et les services en orbit pour prolonger les durées de vie

12. Quels sont les avantages potentiels des lanceurs réutilisables par rapport aux lanceurs à usage unique ? (Veuillez cocher toutes les réponses qui s'appliquent)

- [x] Réduction des coûts de lancement
- [x] Augmentation de la fréquence des lancements
- [ ] Amélioration de la durabilité environnementale
- [ ] Possibilité d'exploration spatiale plus fréquente
- [x] réparer des satellites pour pas cher

13. Si Autre, précisez.

on orbit servicing déjà en cours chez Northtrop Grumman MEV;l'europe a déjà du retard
démonstration en vol réalisée

14. Quels sont, selon vous, les principaux défis techniques associés au développement et à l'utilisation de lanceurs réutilisables ?

la propulsion en série et l'intelligence du système

15. Les lanceurs réutilisables sont-ils mieux adaptés à certaines missions spatiales qu'à d'autres ? Si oui, quelles sont les missions pour lesquelles ils sont particulièrement avantageux ?

les flottes de satellites orbite basse (Starlink);ça existe déjà et musk a des boosters en rabe et des satellites à lancer sur l'étui du starship

16. Selon votre expertise, à quelle échéance pensez-vous qu'un modèle de lanceur réutilisable peut devenir rentable par rapport aux lanceurs à usage unique ?

10 ans si on sait faire des moteurs en série!!

17. Quels sont les facteurs clés qui influencent la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

on ne peut pas récupérer le 2 ième étage

18. Quelles sont les stratégies financières et commerciales que les entreprises spatiales devraient mettre en œuvre pour garantir la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

faire travailler les start up allemandes et françaises ensemble avec les suisses
faire des moteurs en série même non performants

19. Comment pensez-vous que l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables pourrait affecter l'industrie spatiale dans son ensemble, en termes de rentabilité et de compétitivité ?

seul ceux qui sont capables de développer des moteurs et une récup par parachute survivront;

à part rocket lab RFA ,ISAR Hyimpulse,les françaises auront du mal à émerger et ne tiendront pas les vols en 2026,faute de moteurs.le seul français qui peut y arriver c'est Maia space à coup de M€ de la part d'Ariane group.

20. Quelles sont, selon vous, les principales barrières à l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables en termes de rentabilité ?

le coût du moteur,leur nombre,la masse des satellites

21. Quelles sont les étapes cruciales pour surmonter ces barrières et maximiser la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

développer un moteur en 5 ans.c'est une prouesse même s'il est cher
voir le temps qu'il faut pour Prométheus et Electron (début 2016)

22. À quoi pourrait ressembler l'industrie spatiale dans 10 ans si les lanceurs réutilisables continuent de se développer et de devenir plus courants, en termes de rentabilité ?

on aura toujours besoin d'un lanceur lourd Ariane 6 amélioré et peut-^tre récupérable
2 ou 3 entreprises dites start up surviront

23. Y a-t-il des innovations technologiques émergentes qui pourraient accélérer la rentabilité des lanceurs réutilisables dans un avenir proche ?

les commandes électriques des turbopompes

il faut développer un kick stage universel pour compenser les faiblesses des moteurs

24. Avez-vous d'autres commentaires ou réflexions à partager sur le sujet de la nécessité et de la rentabilité des lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

Essayer de récupérer le 2ième étage des lanceurs actuels (ex starship)

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- **Interview n°2 :**

1. Nom

Lienart

2. Prénom

Thomas

3. Activité

Ingenieur propulsion spatiale

4. Age

5. Nombre d'années d'activité

- ○ moins de 10 ANS
- ◉ de 10 à 25 ans
- ○ plus de 25 ans

6. Dernier poste occupé en lien avec les activités spatiales ou l'innovation

Architecte propulsion CALLISTO

7. Niveau d'expertise dans l'activité

Ingenieur depuis 15 ans ?

8. Les grandes lignes de votre CV

Ecole d'ingenieur ENSMA promo 2007
Ingenieur d'essai Sogeti Hight Tech durant deux ans (moteur fusee, moteur a effet Hall)
CNES : responsable systeme de propulsion satellite 6 ans
CNES : chef de service 5 ans
CNES : architecte systeme de propulsion CALLISTO. Poste a Tokyo.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

9. Date de réponse

12 septembre 2023

10. Lieu

Tokyo

11. À votre avis, quelle est la principale raison de l'intérêt croissant pour les lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

12. Quels sont les avantages potentiels des lanceurs réutilisables par rapport aux lanceurs à usage unique ? (Veuillez cocher toutes les réponses qui s'appliquent)

- [x] Réduction des coûts de lancement
- [x] Augmentation de la fréquence des lancements
- [x] Amélioration de la durabilité environnementale
- [ ] Possibilité d'exploration spatiale plus fréquente
- [ ] Autre

13. Si Autre, précisez.

Je ne comprends pas la derniere ligne (exploration spatiale).

14. Quels sont, selon vous, les principaux défis techniques associés au développement et à l'utilisation de lanceurs réutilisables ?

Le modele economique. Les operations de preparation au retour en vol. La base de lancement. Le reallumage moteur. Le guidage.

15. Les lanceurs réutilisables sont-ils mieux adaptés à certaines missions spatiales qu'à d'autres ? Si oui, quelles sont les missions pour lesquelles ils sont particulièrement avantageux ?

Les missions tres recurrentes et frequentes (type Starlink) peut-etre ? Au debut, peut-etre les missions que l'on peut perdre (encore de type Starlink).

16. Selon votre expertise, à quelle échéance pensez-vous qu'un modèle de lanceur réutilisable peut devenir rentable par rapport aux lanceurs à usage unique ?

Il faut voir le business model, et surtout le manifeste de lancement, sinon la question n'a pas grand sens. Idem en ce qui concerne l'integration de l'entreprise (tout vertical comme SpaceX, ou bien plus horizontal comme Arianegroup).

17. Quels sont les facteurs clés qui influencent la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

Le manifeste de lancement, la facilite et la rapidite du retour en vol.

18. Quelles sont les stratégies financières et commerciales que les entreprises spatiales devraient mettre en œuvre pour garantir la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

Integration verticale, convaincre les acteurs europeens de financer beaucoup plus de programmes, et de bien sur suivre la preference europeenne en matiere de lancement.

19. Comment pensez-vous que l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables pourrait affecter l'industrie spatiale dans son ensemble, en termes de rentabilité et de compétitivité ?

Je ne suis pas sur que les lanceurs reutilisables se generalisent. Ce qui marche pour Space X ne marchera pas pour d'autres entreprises. SpaceX est bien plus qu'une entreprise qui fait du vol reutilisable, ses caracteristiques principales ne sont peut-etre meme pas la.
Pour repondre a la question, on voit le cout du kg en orbite qui decroit fortement.

20. Quelles sont, selon vous, les principales barrières à l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables en termes de rentabilité ?

En Europe, l'organisation industrielle. Le manque de programmes spatiaux. Pas de defense europeenne. Pas assez de lancements etatiques.

21. Quelles sont les étapes cruciales pour surmonter ces barrières et maximiser la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

Beaucoup plus de programmes spatiaux europeens. La preference EU pour les lancements.

22. À quoi pourrait ressembler l'industrie spatiale dans 10 ans si les lanceurs réutilisables continuent de se développer et de devenir plus courants, en termes de rentabilité ?

Mission en LEO beaucoup plus lourdes.

23. Y a-t-il des innovations technologiques émergentes qui pourraient accélérer la rentabilité des lanceurs réutilisables dans un avenir proche ?

Pas d'idee precise la dessus.

24. Avez-vous d'autres commentaires ou réflexions à partager sur le sujet de la nécessité et de la rentabilité des lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

La reutilisabilite n'est pas une fin en soi, c'est juste un element parmi d'autres du modele economique.

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

- **Interview n°3 :**

1. Nom

Gonzalez

2. Prénom

Hugo

3. Activité

BASS MANAGER

4. Age

45

5. Nombre d'années d'activité

- ○ moins de 10 ANS
- ◉ de 10 à 25 ans
- ○ plus de 25 ans

6. Dernier poste occupé en lien avec les activités spatiales ou l'innovation

BASS MANAGER

7. Niveau d'expertise dans l'activité

Expert in downstream and telecom. Pas expert en lanceurs

8. Les grandes lignes de votre CV

20 ans expérience CNES
MsC Telecom
MBA Tbs

9. Date de réponse

12/9/2013

10. Lieu

Toulouse

11. À votre avis, quelle est la principale raison de l'intérêt croissant pour les lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

Réduction coût se lancement
Réduction impact environnemental

12. Quels sont les avantages potentiels des lanceurs réutilisables par rapport aux lanceurs à usage unique ? (Veuillez cocher toutes les réponses qui s'appliquent)

- [x] Réduction des coûts de lancement
- [ ] Augmentation de la fréquence des lancements
- [x] Amélioration de la durabilité environnementale
- [ ] Possibilité d'exploration spatiale plus fréquente
- [ ] Autre

13. Si Autre, précisez.

14. Quels sont, selon vous, les principaux défis techniques associés au développement et à l'utilisation de lanceurs réutilisables ?

Gestion du retour sur Terre
Technologique: matériaux, reallumage, etc.

15. Les lanceurs réutilisables sont-ils mieux adaptés à certaines missions spatiales qu'à d'autres ? Si oui, quelles sont les missions pour lesquelles ils sont particulièrement avantageux ?

Non

16. Selon votre expertise, à quelle échéance pensez-vous qu'un modèle de lanceur réutilisable peut devenir rentable par rapport aux lanceurs à usage unique ?

17. Quels sont les facteurs clés qui influencent la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

Il faut considérer les coûts de développement

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

INSPIRING EDUCATION INSPIRING LIFE

18. Quelles sont les stratégies financières et commerciales que les entreprises spatiales devraient mettre en œuvre pour garantir la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

Être certain d'avoir un marché potentiel

19. Comment pensez-vous que l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables pourrait affecter l'industrie spatiale dans son ensemble, en termes de rentabilité et de compétitivité ?

C la va dependre de la compétition

20. Quelles sont, selon vous, les principales barrières à l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables en termes de rentabilité ?

Ils faut d'abord que l'offre existe

21. Quelles sont les étapes cruciales pour surmonter ces barrières et maximiser la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

Idem last questoin

22. À quoi pourrait ressembler l'industrie spatiale dans 10 ans si les lanceurs réutilisables continuent de se développer et de devenir plus courants, en termes de rentabilité ?

23. Y a-t-il des innovations technologiques émergentes qui pourraient accélérer la rentabilité des lanceurs réutilisables dans un avenir proche ?

Je ne suis pas compétent dans ce domaine.

24. Avez-vous d'autres commentaires ou réflexions à partager sur le sujet de la nécessité et de la rentabilité des lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

- **Interview n°4 :**

1. Nom

Duffort

2. Prénom

Chloe

3. Activité

Doctorante en droit

4. Age

29

5. Nombre d'années d'activité

- (●) moins de 10 ANS
- ( ) de 10 à 25 ans
- ( ) plus de 25 ans

6. Dernier poste occupé en lien avec les activités spatiales ou l'innovation

7. Niveau d'expertise dans l'activité

8. Les grandes lignes de votre CV

9. Date de réponse

10. Lieu

11. À votre avis, quelle est la principale raison de l'intérêt croissant pour les lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

Rattraper l'avance prise par les US

12. Quels sont les avantages potentiels des lanceurs réutilisables par rapport aux lanceurs à usage unique ? (Veuillez cocher toutes les réponses qui s'appliquent)

- [x] Réduction des coûts de lancement
- [x] Augmentation de la fréquence des lancements
- [x] Amélioration de la durabilité environnementale
- [x] Possibilité d'exploration spatiale plus fréquente
- [ ] Autre

13. Si Autre, précisez.

14. Quels sont, selon vous, les principaux défis techniques associés au développement et à l'utilisation de lanceurs réutilisables ?

La rémunération des ingénieux par rapport aux américains !!!

15. Les lanceurs réutilisables sont-ils mieux adaptés à certaines missions spatiales qu'à d'autres ? Si oui, quelles sont les missions pour lesquelles ils sont particulièrement avantageux ?

Le fret

16. Selon votre expertise, à quelle échéance pensez-vous qu'un modèle de lanceur réutilisable peut devenir rentable par rapport aux lanceurs à usage unique ?

Des le 2eme lancement réussi

17. Quels sont les facteurs clés qui influencent la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

Rapidité souveraineté rentabilité

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

INSPIRING EDUCATION INSPIRING LIFE

18. Quelles sont les stratégies financières et commerciales que les entreprises spatiales devraient mettre en œuvre pour garantir la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

19. Comment pensez-vous que l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables pourrait affecter l'industrie spatiale dans son ensemble, en termes de rentabilité et de compétitivité ?

20. Quelles sont, selon vous, les principales barrières à l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables en termes de rentabilité ?

21. Quelles sont les étapes cruciales pour surmonter ces barrières et maximiser la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

22. À quoi pourrait ressembler l'industrie spatiale dans 10 ans si les lanceurs réutilisables continuent de se développer et de devenir plus courants, en termes de rentabilité ?

23. Y a-t-il des innovations technologiques émergentes qui pourraient accélérer la rentabilité des lanceurs réutilisables dans un avenir proche ?

L'utilisation de l'énergie in situ

24. Avez-vous d'autres commentaires ou réflexions à partager sur le sujet de la nécessité et de la rentabilité des lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

Good luck pour la fin de la these ;)

- **Interview n°5 :**

1. Nom

GLEYZES

2. Prénom

Yves

3. Activité

Retraité du CNES et de Météo-France

4. Age

67

5. Nombre d'années d'activité

- ○ moins de 10 ANS
- ○ de 10 à 25 ans
- ◉ plus de 25 ans

6. Dernier poste occupé en lien avec les activités spatiales ou l'innovation

Sous Directeur des Opérations et moyens techniques du Centre Spatial Guyanais

7. Niveau d'expertise dans l'activité

Expert moyens sols et opérations de lancement

8. Les grandes lignes de votre CV

Diplôme ingénieur Supaéro, Ingénieur Chercheur radars aéroportés , ingénieur du domaine spatial Chef de Division développement moyens sol spatial, directeur technique PME du spatial italien, Sous Directeur Opérations du CSG, Directeur Technique Météo-France,

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

9. Date de réponse

16/09/2023

10. Lieu

Toulouse

11. À votre avis, quelle est la principale raison de l'intérêt croissant pour les lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

Minimiser les coûts de lancement , « casser la concurrence dans le domaine »

12. Quels sont les avantages potentiels des lanceurs réutilisables par rapport aux lanceurs à usage unique ? (Veuillez cocher toutes les réponses qui s'appliquent)

- [x] Réduction des coûts de lancement
- [x] Augmentation de la fréquence des lancements
- [x] Amélioration de la durabilité environnementale
- [ ] Possibilité d'exploration spatiale plus fréquente
- [ ] Autre

13. Si Autre, précisez.

14. Quels sont, selon vous, les principaux défis techniques associés au développement et à l'utilisation de lanceurs réutilisables ?

Concevoir un étage résistant, tout en étant léger pour ne pas pénaliser la capacité en charge utile , afin de réussir l'atterrissage ,

15. Les lanceurs réutilisables sont-ils mieux adaptés à certaines missions spatiales qu'à d'autres ? Si oui, quelles sont les missions pour lesquelles ils sont particulièrement avantageux ?

Les lanceurs réutilisables peuvent adresser tous les types de missions

16. Selon votre expertise, à quelle échéance pensez-vous qu'un modèle de lanceur réutilisable peut devenir rentable par rapport aux lanceurs à usage unique ?

A priori 2 à 3 missions

17. Quels sont les facteurs clés qui influencent la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED

18. Quelles sont les stratégies financières et commerciales que les entreprises spatiales devraient mettre en œuvre pour garantir la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

Étalement du paiement des factures

19. Comment pensez-vous que l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables pourrait affecter l'industrie spatiale dans son ensemble, en termes de rentabilité et de compétitivité ?

La voie de la concurrence

20. Quelles sont, selon vous, les principales barrières à l'adoption généralisée de lanceurs réutilisables en termes de rentabilité ?

Le manque de maîtrise du processus industriel pour la production, la combinaison robustesse/agilité du lanceur pour garantir le retour intégré jusqu'à l'atterrissage ,

21. Quelles sont les étapes cruciales pour surmonter ces barrières et maximiser la rentabilité des lanceurs réutilisables ?

La conception et la réalisation de la structure et de la motorisation du lanceur en série

22. À quoi pourrait ressembler l'industrie spatiale dans 10 ans si les lanceurs réutilisables continuent de se développer et de devenir plus courants, en termes de rentabilité ?

Une industrie de production en série à forte cadence

23. Y a-t-il des innovations technologiques émergentes qui pourraient accélérer la rentabilité des lanceurs réutilisables dans un avenir proche ?

La découverte de nouveaux alliages permettant robustesse et agilité , réduction de la masse pour privilégier celle de la charge utile L'intelligence artificielle pour optimiser le contrôle commande ,

24. Avez-vous d'autres commentaires ou réflexions à partager sur le sujet de la nécessité et de la rentabilité des lanceurs réutilisables dans l'industrie spatiale ?

La nécessité d'améliorer la fiabilité de ce type de lanceur qui deviendra la référence dans le domaine, et qui conduira via une concurrence de plus en plus présente et ouverte à une réduction des coûts avec l'arrivée de nouveaux acteurs

∞

AACSB ACCREDITED EQUIS ACCREDITED ASSOCIATION AMBA ACCREDITED