



**HAL**  
open science

## Le transport spatial de passagers

Jules Eckenschwiller

► **To cite this version:**

| Jules Eckenschwiller. Le transport spatial de passagers. Droit. 2017. dumas-01623150

**HAL Id: dumas-01623150**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01623150>**

Submitted on 22 Jan 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE  
FACULTE DE DROIT ET DE SCIENCE POLITIQUE

PÔLE TRANSPORTS  
INSTITUT DE FORMATION UNIVERSITAIRE ET DE  
RECHERCHE DU TRANSPORT AERIEN

---

## LE TRANSPORT SPATIAL DE PASSAGERS

Mémoire pour l'obtention du  
Master 2 Droit et Management du transport aérien

par

Jules ECKENSCHWILLER

Sous la direction de Mr Bertrand VILMER Expert de justice aéronautique et espace  
auprès de la cour d'appel de Paris, Président de la compagnie nationale des experts de justice  
aéronautique et spatiale français, Président d'hélicoptères de France (compagnie aérienne  
d'hélicoptères), Vice président d'Arianespace

# REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier l'ensemble des personnes qui, proches ou non, m'ont fait découvrir l'aéronautique dans sa diversité et qui ont donc grandement aidé à la rédaction de ce mémoire.

Je tiens à remercier dans un premier temps, toute l'équipe pédagogique de l'IFURTA. Les enseignants, les intervenants, monsieur Bloch, monsieur Groisne ainsi que Marjorie, Marie-France et Lia qui nous ont été d'une aide précieuse tout au long de l'année.

Je souhaite remercier mes amis Guillaume Figerot et Blandine Eyriey, pour leur accueil princier et essentiel, tous les jeudis à Aix-en-Provence, pour leur sourire et leur bonne humeur qui m'ont donné tant d'énergie tout au long de l'année.

Je voudrais également remercier mes amis et camarades, de tous horizons qui soient.

Pour conclure je veux remercier monsieur Vilmer, qui m'a définitivement donné envie de travailler à long terme dans le domaine de l'aérospatial. Je le remercie de m'avoir transmis, seulement au travers de quelques cours, cette envie de voir toujours plus loin, même quand la majorité pense que c'est impossible, de rester accroché à mes rêves d'enfant et d'avoir accepté d'endosser le dossard de directeur de ce mémoire.

# SOMMAIRE

Introduction.....	4
Partie I : Cadre réglementaire.....	10
Titre I : Certification et licences essentielles au développement de l'activité.....	12
Titre II : Contraintes juridiques liées à l'activité .....	20
Partie II : Le cadre technique et environnemental.....	30
Titre I : Conception d'un véhicule spatial suborbital.....	30
Titre II : Les principaux concepts de véhicules suborbitaux habités.....	36
Partie III : Autorités régulatrices et préparation au vol suborbital.....	41
Titre I : Autorités compétentes.....	43
Titre II : La préparation au vol spatial.....	46
Conclusion.....	50

# INTRODUCTION

« Si tous les Terriens volaient dans l'espace, ils verraient combien la planète surpasse en beauté tout ce que l'homme a dessiné, peint, construit ou inventé. Elle ferait l'objet de tous leurs soins et les rapports humains en seraient profondément changés. » Jean François Clervoy – Astronaute de l'agence spatiale européenne

Le choix des mots n'est pas anodin. Il est ici deux entités passionnantes à mes yeux : l'Homme et l'Espace. Deux sources de connaissances illimitées, bien que l'une ne soit pas sans l'autre, dont nous avons tant à étudier, à apprendre. Il est cependant une dramaturgie qu'il faut admettre qui est celle de l'écoulement du temps. Alors que le temps et l'espace coexistent et sont même les deux éléments d'un même ensemble, le temps est pour l'homme synonyme de fin.

Il est difficile de s'acquitter simplement de cette règle de la vie qui est que nous ne pourrons jamais, ou du moins très difficilement, accomplir tout ce que l'on souhaite, apprendre autant que l'on pourrait, voir autant que l'on voudrait. Tous nos rêves ne sont pas comblés car le temps nous ramène à cette réalité que tout à une fin.

Dans le même temps, une fin implique un début, un commencement, et cette fois, c'est l'espace qui nous donne cette opportunité d'initialiser les choses.

C'est dans cette optique que j'ai fait le choix de travailler sur ce sujet. Les activités spatiales n'en sont qu'à leurs prémises, à leurs débuts et le plus gros de l'œuvre humaine sur ce point reste encore à venir. Nous n'en verrons pas la fin mais nous pouvons les faire grandir, les améliorer et rendre possibles des rêves que l'on croyait fous.

La Terre qui ne comptait, en 1945, qu'un seul satellite, en a aujourd'hui plus de 8000. 8000 satellites fabriqués par la main de l'homme pour faciliter les moyens de communication, de géolocalisation, de surveillance. L'ensemble de ces satellites gravite autour de plus de 300.000 débris stagnant en bordure de notre espace atmosphérique. La périphérie de la Terre est donc déjà bien occupée avec un trafic incessant.

Les activités spatiales sont larges et variées. Que ce soit dans le domaine du transport de fret pour des activités allant de la cartographie de l'univers à la transmission de données satellites sur Terre pour des personnes lambda, en passant par l'apport et l'installation de nouveaux sas pour la station internationale spatiale ou encore l'envoi de satellite à travers l'espace pour étudier et cartographier les corps célestes de la Voie Lactée jusqu'au transport d'astronautes à bord de l'ISS.

Les possibilités sont donc multiples mais nous n'aborderons pas tous ces sujets là. Nous resterons concentrés sur le transport spatial de passagers. Même au sein de cet intitulé, les activités sont diverses et orchestrées par bon nombre d'entités aux compétences, possibilités différentes. Les institutions étatiques ont déjà une petite expérience des missions dans un cadre extra-atmosphérique, mais ces missions, du fait de leur coût exorbitant, ne sont destinées qu'à des activités purement scientifiques et d'imagerie. Elles ne s'adressent en aucun cas au public.

C'est peut être la raison pour laquelle, on voit se développer et fleurir, depuis une petite dizaine d'années, des entreprises privées dans le domaine de l'aérospatial.

A l'origine, les entreprises comme Virgin ne proposait qu'un « simple » voyage dans l'espace extra-atmosphérique. Quelques minutes dans l'espace pour admirer la planète bleue. Puis sont arrivés de nouveaux acteurs avec des idées encore plus ambitieuses. Louer la station internationale pour y effectuer des voyages autour de la Lune ou encore envoyer des navettes spatiales habitées sur la planète rouge, Mars.

Ces idées ont été reprises par de nouveaux arrivants comme Blue Origin ou encore Electron récemment. Petit à petit, de nouvelles entreprises entrent sur ce marché et multiplient les partenariats avec les agences nationales étatiques comme la NASA.

Après avoir connu un grand boom au lendemain de la seconde guerre mondiale, du fait de la course à l'espace entretenue entre la Russie et les USA, les budgets ont considérablement baissé au lendemain de la chute de l'URSS. Les US n'avaient plus besoin de montrer les dents du fait qu'ils avaient déjà pris une avance immense dans le domaine du spatial comparé à tous les autres pays du globe. La crise de 2008 a elle aussi joué un rôle majeur puisque de nombreux projets initialisés, à la suite de l'exploit du SpaceShipOne, ont été abandonnés ou suspendus.

Depuis que les investissements privés se sont sérieusement penchés sur le spatial, on voit que les états recommencent, de manière sporadique, à augmenter les budgets de la défense et du spatial. Le programme spatial français regroupe l'ensemble activités civiles et militaires. En France, le centre national d'étude spatial (CNES) est chargé de mettre en œuvre la politique spatiale et dispose, en 2017, d'un budget de 2.3 milliards d'euros pendant que la contribution à l'ESA<sup>1</sup> augmente à 770 millions, étant pourtant le plus gros budget spatial de toute l'Europe, il n'est pas grand chose en comparaison avec le budget alloué aux activités spatiales aux USA. En 2016, ce dernier est de près de \$20 milliards. Soit des dépenses presque dix fois plus importantes que de l'autre coté de l'atlantique.

On observe cependant une tendance, une tendance à l'augmentation, voire à la création de ce budget dans le monde entier. Alors que ce secteur n'était développé que par certaines nations, on voit aujourd'hui que non seulement les investissements étatiques des puissances spatiales augmentent mais aussi que de nombreux pays à travers le monde fondent des projets communs. On peut tout simplement penser à l'ESA qui regroupe les pays de l'UE et qui chaque année joue un rôle important dans la mise en commun des connaissances et des ressources pour construire, au sein de l'Europe, des projets multinationaux.

Un autre élément pourrait paraître comme étant un détail mais ces projets ne relèvent plus presque exclusivement de l'ordre de la communication ou de l'imagerie et donc de l'envoi de satellites autour de la 3<sup>ème</sup> planète la plus proche de notre étoile, mais du transport d'humains.

Nous maîtrisons déjà les envois de satellites. Et ces écrits n'ont pas pour but d'étudier cette section du transport spatial. Nous resterons centrés sur le transport spatial de passagers.

Le monde a passé un cap, nous ne sommes plus dans un processus de compréhension de notre univers. Jusqu'à présent, les missions effectuées par les différentes nations à travers le monde avaient pour objectif de collecter des données, de mesurer, quantifier pour mieux appréhender le monde extérieur. Aujourd'hui l'homme connaît son environnement proche. Bien sûr, le plus gros de l'œuvre reste à venir mais les bases solides sont établies. Aujourd'hui l'homme peut imaginer voyager dans l'espace, s'y développer. Il ne s'agit plus alors d'idéalisme, mais de concret. A noter que dans l'histoire de la conquête spatiale, seule l'agence spatiale russe a

---

<sup>1</sup> European Space Agency

envoyé des « touristes » dans l'espace, pour un coût d'environ 20 millions de dollars pour quelques jours dans l'espace. « Touristes » que l'on peut difficilement qualifier à ce titre aux vues du coût exorbitant du voyage.

Bien sûr, la connaissance du monde extérieur est un bagage essentiel pour l'exploration humaine mais il faut sans doute revenir aux racines sociales, philosophiques et idéologiques implantées sur Terre pour appréhender la façon dont ce type de transport se développera.

Comme expliqué plus haut, tous les éléments préliminaires à la naissance de ce type de transport pour le public sont réunis. Technologie, science, physique, chimie, mathématiques nous donne la possibilité de répondre à la question : « pouvons nous le faire ? ».

Elles nous permettent aujourd'hui de prendre la plume et de réfléchir à la question : « Comment ? »

Comment démocratiser cette activité à hauts risques ? C'est la question à laquelle nous allons essayer de répondre.

Comment autoriser des entreprises privées ou/et publiques à effectuer des vols orbitaux<sup>2</sup>, suborbitaux<sup>3</sup>, voire spatiaux<sup>4</sup> ?

Pour en revenir rapidement à nos racines mais non sans raison, il faut noter que nous vivons aujourd'hui dans un monde où l'occident prône le risque 0. La chance ou la « faible probabilité » n'entre plus en considération, non pas parce qu'intrinsèquement le voyageur a une peur inouïe de l'accident mais parce que les conséquences économiques et en terme d'image d'un décès civil dans l'espace seraient, pour les Etats, un désastre au niveau de la communication. C'est la raison pour laquelle il y a de plus en plus de règles, de cadre, de limites, d'atténuations. La raison pour laquelle, les civils ne voyageront dans l'espace que lorsque toutes les précautions auront été prises, vérifiées et acceptées puis contrôlées régulièrement.

---

<sup>2</sup> Au cours d'un vol orbital, le vaisseau spatial réalise au moins une orbite complète de la Terre à une altitude supérieur à 100kms après son lancement.

<sup>3</sup> Au cours d'un vol suborbital, l'altitude de l'espace est atteinte (100kms) mais le vaisseau revient sur Terre sans avoir effectué une orbite.

<sup>4</sup> Au cours d'un vol spatial, le vaisseau n'effectue pas d'orbite, il sort de l'attraction terrestre.

Une finalité noble malgré des raisons quelque peu douteuses.

La manière la plus probable et efficace de construction de ce cadre serait de puiser dans un droit déjà existant. Accumulant ses heures de vol depuis de nombreuses années, le transport aérien, semble être un socle solide sur lequel nous pourrions nous appuyer pour façonner le transport spatial. Notamment au niveau de la sécurité, là où les contraintes réglementaires (Partie I) sont des plus importantes. Un cadre réglementaire qui ne saurait survivre sans un appui technique (Partie II) pour satisfaire l'effectivité de ces règles. Pour finir, nous aurons besoin de déterminer les autorités régulatrices qui auront un rôle de mise en place des normes et de contrôle de l'application de ces règles (Partie III) pour harmoniser et coordonner les multiples éléments nécessaires à la pérennisation d'une œuvre aussi large et complexe que celle d'envoyer l'homme civil dans l'immensité de l'espace et le faire revenir.

Volontairement, ce mémoire se veut basé à la fois sur des éléments juridique, réglementaire, scientifique, sociologique, médicaux dans le but de faire une étude globale et approfondie du sujet de manière à avoir un rendu ordonné et complet.

## **PARTIE I – LE CADRE REGLEMENTAIRE**

Il s'agit ici de l'élément central, la base, de laquelle découle d'autres règles. Il faut d'ores et déjà faire une distinction. A l'heure actuelle, des entreprises comme Virgin planifient d'envoyer en orbite 5 passagers par an, pour un coût de 200.000 dollars pour des vols avoisinant l'heure de vol. Il s'agit, ici, de montants beaucoup plus accessibles que ce que l'homme a pu connaître par le passé même si les prix restent extrêmement élevés. Cependant ces entreprises ont trouvé des parades pour pouvoir envoyer des hommes dans l'espace sans qu'un cadre réglementaire n'ait été mis en place. Je veux parler ici des NCC<sup>5</sup>. Il s'agit d'une déclaration que doivent faire les opérateurs de transport dans laquelle les transporteurs ont l'obligation de donner des détails sur leurs activités, opérations où que soit situé, immatriculé, l'engin. Il se substitue au certificat de navigabilité de l'appareil mais entraîne, de fait, l'impossibilité pour le transporteur de proposer des services commerciaux classiques à grande échelle. Le transporteur n'a pas la possibilité de vendre librement des billets pour effectuer tel ou tel vol. Mais avec ce système de NCC, l'appareil n'a pas besoin de passer par toutes les étapes de certification pour pouvoir voler. L'entreprise, sous cadre NCC, donne alors la possibilité à toute personne d'acheter des parts de l'entreprise. C'est cet achat de part qui donne accès à un vol. Puisque la personne a acheté des parts, elle est donc détentrice (partiellement) de l'entreprise et peut donc, à ce titre, effectuer des vols avec l'appareil non certifié dans le cadre de ses prérogatives découlant de ses parts. On parle ici de transport de sociétaires. Bien évidemment ces parts sont extrêmement chères et très encadrées puisque l'objectif n'est pas de faire tomber la compagnie aux mains d'un quelconque investisseur trop gourmand qui pourrait acquérir de nombreuses parts et ainsi avoir une vraie incidence sur la vie de l'entreprise.

Il s'agit donc d'une solution partielle pour contourner le problème de la non législation dans le domaine mais il ne s'agit en aucun cas d'une finalité. Aux vues des investissements publics et privés dans le domaine du spatial, il est certain que la mise en place d'une législation devient essentielle, de part le principe même de ce qu'est un investissement. Il semble évident que ces acteurs en attendent un retour, la commercialisation à grande échelle.

---

<sup>5</sup> Non Commercial Complex

La commercialisation et l'ouverture d'une activité au public impliquent un grand nombre de contraintes à prendre en compte pour une activité à si hauts risques. Ces contraintes sont présentées sous forme d'obligation:

- Les obligations de surveillance, de contrôle et de maintenance
- Les obligations de formation quant aux contraintes physiques
- Les certifications et agréments

C'est autour de ces contraintes qui constituent le cadre réglementaire que va s'articuler cette partie, tout en gardant à l'esprit qu'à l'heure actuelle aucune (à nuancer) législation spatiale n'existe dans le domaine.

Les contraintes réglementaires sont autant de conditions nécessaires à l'exploitation de l'activité. Elles concernent à la fois le véhicule, les infrastructures au sol mais aussi les conditions d'exécution du vol.

Malheureusement tous les aspects ne pourront être traités dans cet ouvrage car encore trop évasifs et donc peu constructifs. L'exécution des vols est encore difficile à déterminer tout en sachant que trop peu de lancements habités ont été exécutés dans des conditions inhérentes à la prestation touristique. Toutes les solutions en matière de sécurité n'ayant pas été encore résolues, il sera compliqué d'aborder de manière sérieuse ce type de sujets là.

# **Titre I : Certifications et licences essentielles au développement de l'activité**

Nous aborderons ici les principales certifications et licences dont l'existence est indispensable dans une optique de création d'activité évoluant dans un environnement aussi dangereux que celui qu'est l'espace extra-atmosphérique. L'objectif n'étant pas encore d'étudier les phénomènes physiques mais de mettre en place un cadre réglementaire pour le développement de l'activité.

## **Section I : Ansari X-Prize<sup>6</sup>**

Un certain nombre de particuliers ont pu effectuer des vols sur Soyouz<sup>7</sup>, puis à bord de la Station spatiale internationale<sup>8</sup>. Ils furent les premiers touristes spatiaux. Ils ont eu la possibilité de passer plusieurs jours en orbite autour de la Terre, à la différence du tourisme suborbital qui semble, dans un premier temps, la véritable première activité spatiale touristique qui verra le jour d'où découleront une flopée d'activités diverses. Dans ce dernier cas, les participants ne sont emmenés qu'à la frontière de l'espace.

Le prix très élevé de leur voyage, ainsi que le très faible nombre de touristes orbitaux, modifient substantiellement l'approche juridique et réglementaire. En effet, dans ces hypothèses, les contrats signés par ces quelques privilégiés peuvent être considérés comme suffisants pour assurer la sécurité juridique des opérations, à la différence du tourisme suborbital qui a vocation à être développé à plus grande échelle. Par ailleurs, comme énoncé plus haut, le prestataire technique était l'agence spatiale russe, et non une entité privée moins à même de faire face aux conséquences financières d'un accident. Mais ces premières expériences restent des encouragements dans ce domaine. Elles montrent bien que, même si l'encadrement juridique n'est pas idéal, toute activité innovante n'est pas impossible.

---

<sup>6</sup> Référence au prix décerné pour récompenser le premier vol transatlantique sans escale reliant New York à Paris. Créé en 1919, il sera remporté 7ans plus tard par l'aviateur Charles Lindbergh. Un vol de 33heures.

<sup>7</sup> La fusée Soyouz est un lanceur soviétique puis russe dont la conception remonte aux années 1950 et qui a été utilisé initialement pour lancer les vaisseaux avec équipage du programme spatial du même nom, Soyouz.

<sup>8</sup> International Space Station : ISS

Prenons en exemple les USA, ces derniers disposent d'une législation en matière de tourisme suborbitale depuis 2004. Bien que posant un cadre législatif, une telle loi n'est pas un frein aux initiatives techniques et commerciales dans le domaine. Cela peut apparaître comme un détail mais pourtant cela prend tout son sens dans le lancement d'une nouvelle activité qui a encore tout à construire. Et pour cause, cet outil législatif semble être un formidable outil de promotion de l'activité, car elle permet aux exploitants de connaître à l'avance les contraintes auxquelles ils devront faire face pour développer une activité de tourisme suborbital.

Le Commercial Space Launch Amendments Act de 2004 codifié par la FAA<sup>9</sup>, organisme légiférant aux USA quand la NASA joue un rôle de conseil et de contrôle de part son expérience et donc expertise, a introduit une réglementation spécifique pour le transport commercial de passagers dans l'espace qui comporte des dispositions réglementaires concernant essentiellement la certification des véhicules ainsi que de l'encadrement des activités, prévoyant en outre, des agréments, certifications, formations etc. La plupart de ses règles ont été élaborés grâce aux informations recueillies lors vols effectués pas la NASA mais aussi à la suite de vols paraboliques<sup>10</sup> effectués principalement par l'entreprise G-Force One<sup>11</sup> qui ont été d'une aide précieuse.

A noter que l'Iliouchine 76 MDK de la cité des étoiles de Moscou a elle aussi permis la compréhension de notre environnement grâce à ses vols dédiés à l'entraînement de cosmonautes et à l'embarquement de passagers commerciaux.

Evidemment, il reste des lacunes dans ce texte, beaucoup de sujets sont encore évasifs ou incomplets notamment au niveau de la phase de vol.

---

<sup>9</sup> Fédéral Aviation Administration

<sup>10</sup> Un corps soumis exclusivement à la force d'attraction terrestre décrit une trajectoire dite conique. Le corps s'élève grâce à une poussée suffisamment puissante, calculée en fonction de sa masse, avant de stopper sa course à la périphérie de la Terre en zone exo atmosphérique, aux frontières de l'espace. Puis, de retomber, sous le poids de l'attraction, sur Terre.

<sup>11</sup> G-Force One utilisait un Boeing 727 puis un A300 pour réaliser environ 3 vols commerciaux par mois. Depuis 2008, cette société a aussi en charge les activités de vols paraboliques scientifiques de la NASA

Pendant longtemps, en Europe, l'absence d'une législation spécifique a obligé à appliquer les dispositions existantes, à savoir notamment le droit aérien et le droit spatial. Ces deux droits sont pour l'essentiel difficilement conciliables, le droit aérien s'appliquant à un usage privé et commercial du ciel tandis que le droit spatial concerne essentiellement les usages étatiques de l'espace extra-atmosphérique.

Comme nous le verrons, les dispositions légales applicables à l'activité sont inadaptées, et peuvent donc constituer des freins aux divers projets européens en la matière. Il est nécessaire qu'une législation adéquate et incitative soit adoptée pour que le tourisme suborbital puisse également se développer en Europe. Cette absence de législation est toujours présente aujourd'hui mais tout porte à croire que cela ne restera pas le cas éternellement. De nombreuses entreprises privées européennes et françaises telles d'EADS, Safran souhaitent développer directement ou indirectement des activités commerciales dans le spatial. De plus, la France a toujours été une puissance spatiale. Tout porte à croire que les choses évolueront prochainement, encore faut-il qu'un accord européen global puisse naître dans un contexte où aucun pays européen n'est prêt à faire des concessions.

## **Section II : Le certificat de transport spatial**

Il s'agit pour l'État qui délivre le CTA<sup>12</sup> d'assurer, sous l'angle technique, la certification des exploitants de transport aérien commercial. Avec le CTA, il s'agit principalement pour l'autorité publique de s'assurer du sérieux du requérant et d'attester la sécurité de l'exploitation.

Le CTA est défini comme le certificat délivré à une entreprise attestant que *le transporteur aérien possède les capacités professionnelles et l'organisation nécessaires pour assurer la sécurité des types d'exploitation* mentionnés dans le certificat.

Les exploitants des États tiers, s'ils détiennent le CTA délivré par leur autorité nationale, doivent pour atterrir en Europe, obtenir une autorisation destinée à vérifier qu'ils respectent les conditions de sécurité de vol.

En outre nous pourrions ici l'appeler CTS<sup>13</sup>. La retranscription de ce texte à l'activité spatiale peut se faire presque d'elle même.

---

<sup>12</sup> Certificat de Transport Aérien

<sup>13</sup> Certificat de Transport Spatial

Du fait même de l'existence des états, il est aujourd'hui impossible de considérer, globalement, une politique commune sur le sujet. Chaque état aura sa législation propre, basée sur quelque convention mettant en exergue des bases, lignes directrices communes.

La législation est complexe, elle est imbriquée, très technique, il y a un principe, des tempéraments et des exceptions, on doit tenir compte des enseignements du droit européen que le droit national vient conforter, amender ou compléter, d'autant qu'il faut combiner les dispositions récentes du code des transports avec celles plus anciennes du code de l'aviation civile<sup>14</sup>. La partie réglementaire du CAC demeurée en vigueur opère des renvois à des dispositions législatives abrogées du CAC ainsi qu'à des dispositions de règlements européens auxquels de nouveaux ont succédé. Il peut ainsi y avoir des doutes ou on peut facilement commettre des contre-sens en ce qui concerne le domaine, la portée. Les règlements européens sont fréquemment modifiés, il n'est pas toujours facile d'accéder au règlement en vigueur dans une version consolidée fiable.

En ce qui concerne l'activité spatiale, elle pourra se complaire des points actuels, laisser de côté le reste et construire une base saine, propre et claire. Il n'en reste pas moins que le règlement spatial sera extrêmement mouvant. Il évoluera rapidement sous le feu de ses activités et en appréhendant, au cas par cas, les aboutissants.

L'exploitant commercial est astreint à la détention du certificat de transporteur aérien. Le CTA est rendu obligatoire dans le transport commercial (à titre onéreux ou contre rémunération) aussi bien par le droit européen que par le droit interne.

Un certain nombre de règlements européens concernent, réglementent ou traitent du CTA que doivent détenir les exploitants d'avions et hélicoptères opérant contre rémunération ou à titre onéreux.

On peut partir du règlement n° 216/2008 du 20 février 2008 fixant des règles communes dans le domaine de l'aviation civile.

---

<sup>14</sup> Code d'Aviation Civile

Le règlement n° 859/2008 du 20 août 2008 modifie le règlement n° 3922/91 en ce qui concerne les règles techniques et procédures administratives communes applicables au transport commercial en avion.

Une annexe comporte une sous partie C "Agrément et supervision de l'exploitant" comportant des dispositions relatives au certificat de transporteur aérien requis pour l'exploitation d'un avion.

Le règlement n° 1008/2008 du 24 septembre 2008 établit des règles communes pour l'exploitation de services aériens dans la communauté. Le règlement subordonne la délivrance d'une licence d'exploitation à la détention d'un CTA en cours de validité précisant les activités couvertes par la licence d'exploitation.

Il en serait de même pour le CTS, les règles communes sont mises en place au sein de l'Europe de manière à harmoniser les pratiques de tous.

Le règlement n° 965/2012 du 5 octobre 2012, avec ses annexes, détermine les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux opérations aériennes conformément au règlement n° 216/2008. Ce règlement établit des règles détaillées pour l'exploitation d'avions et d'hélicoptères à des fins de transport aérien commercial.

Concernant les avions et hélicoptères à motorisation complexe, l'exploitant fait une déclaration suivant laquelle il se conforme à la réglementation. La demande de certification de l'exploitant n'est pas requise. Il fait seulement l'objet d'une surveillance. Elle est souvent utilisée pour les phases de test et de conception. C'est exactement ce qu'il se passe à l'heure actuelle pour les entreprises privées comme Space X et Blue Origin qui sont les plus actives dans le secteurs. Par exemple si SpaceX décide de faire décoller ses lanceurs sur un des pas de tir de Cap Canaveral, site de la NASA<sup>15</sup> alors cette simple déclaration sera applicable et il y aura donc besoin de faire des tests approfondis. Il semble évident qu'une entité telle que la NASA, qui est l'organisme de contrôle américain dans le domaine du spatial, ne saurait juste avoir des papillons dans le ventre en voyant ces projets fous prendre vie sans préalablement y jeter un œil et mettre en place les mesures nécessaires. Des mesures de contrôle, de surveillance qui s'appliqueraient dès le premier jour de conception.

---

<sup>15</sup> National Aeronautics and Space Administration

Les exploitants d'avions et hélicoptères à motorisation non complexe et de ballons et planeurs utilisés à des fins non commerciales, y compris pour des exploitations spécialisées, exploitent ces aéronefs conformément aux dispositions de l'annexe VII. Art. 5 §4. Ce règlement crée l'annexe VII intitulée *exploitation d'avions à motorisation non complexe à des fins non commerciales*, pour laquelle le CTA n'est pas requis. C'est aujourd'hui, plus ou moins ce que l'on retrouve pour les entreprises sous régime NCC (cf. p.10). Aujourd'hui, les activités spatiales commerciales sous licence ne concernent qu'exclusivement les lanceurs de satellites mais nullement le transport de passagers.

Le règlement n° 1321/2014 du 26 novembre 2014, qui est un texte de refonte, est relatif au maintien de la navigabilité des aéronefs ; dans son annexe I, il reprend le principe. Dans le transport aérien commercial, l'exploitant est responsable du maintien de la navigabilité de l'aéronef qu'il exploite et doit être agréé, conformément au certificat de transporteur aérien délivré par l'autorité compétente pour l'aéronef qu'il exploite.

La réglementation européenne sur la sécurité prend ainsi de l'ampleur, elle concerne l'exploitant aérien qui non seulement effectue des opérations de transport aérien commercial mais aussi des exploitations spécialisées d'aéronefs à motorisation complexe à des fins non commerciales.

C'est le besoin de sécurité des vols qui justifie cette législation. En Europe, l'ESA et l'EASA aura un rôle majeur à jouer dans l'évaluation, la détermination et la mise en place de ces règles.

### **Section III : Le certificat de navigabilité<sup>16</sup>**

Par la suite, une fois le certificat de transport acquis, le transporteur doit se doter du certificat de navigabilité. Propre à l'avion et à ses caractéristiques, il s'agit d'un document par lequel, en matière de sécurité, le ministre chargé de l'aviation civile autorise l'utilisation d'un aéronef civil pour la circulation aérienne sans préjudice de l'application des règles relatives à la réalisation d'un vol particulier. Le certificat de navigabilité est délivré à un aéronef dont le

---

<sup>16</sup> Par la suite appelé CDN

ministre chargé de l'aviation civile est assuré qu'il est conforme, notamment aux modifications imposées par consignes de navigabilité.

L'obtention de ce certificat est longue et fastidieuse. En effet, pour obtenir la certification de navigabilité et environnementale des aéronefs et produits connexes, pièces et équipements ainsi que des organismes de conception et de production de ces derniers, il faut réaliser un certain nombre de tests.

Depuis 2014, ces règles, tests ont été remplacées par les Certifications Spécifications<sup>17</sup>. Ces CS sont des règles particulières du règlement Part-21 (ou règlement UE 748/2012 et amendements) appliqués à une certaine catégorie d'aéronef (avion léger, avion acrobatique, avion de ligne...).

Par exemple, les avions larges sont concernés lors de leur certification par le règlement CS-25.

Un industriel voulant vendre un avion large, doit donc réaliser un certain nombre de calculs et d'essais tel que décrit dans la CS-25 pour que son avion soit certifié. Le budget est assez important de l'ordre de la dizaine de millions d'euros pour un avion de taille moyenne. Une fois l'avion certifié, il pourra être vendu et recevoir un CDN.

Concernant les cycles de vie de l'appareil, les modalités du renouvellement de la validité du CDN et la durée de cette validité doivent être établies de manière à garantir la sécurité des passagers. Il est donc indéniable, aux vues de la pauvre expérience en la matière, de maintenir un certain temps un cycle court. Contrairement au droit aérien qui voit ses cycles renouvelés systématiquement tous les 3 ans sauf dans les cas où l'appareil n'a pas passé tous les conditions /tests<sup>18</sup>, il semble assez téméraire de mettre en place une telle législation pour les vols spatiaux. Il est donc préférable de partir sur des bases allant de 6 mois à 1 an. Dans le but de pouvoir contrôler le bon suivi de la maintenance mais aussi (surtout), du fait de l'évolution évidente de la législation dans le domaine une fois les feus au vert, faire évoluer cette dernière de manière à rectifier, améliorer les processus de fabrication, de conception et de maintenance des engins spatiaux.

Le cycle de renouvellement détermine la date d'expiration du certificat.

---

<sup>17</sup> Par la suite appelé CS

<sup>18</sup> Ils sont nommés « ateliers » et doivent satisfaire aux conditions d'un cycle normal pour un aéronef non entretenu par un organisme agréé ainsi que la revue de navigabilité ne donne lieu à aucun écart entre les différents niveaux de sécurité, comme inscrits dans le règlement.

Une transposition de cette règle est applicable au vaisseau spatial. Que cette autorisation émane du ministre ou d'un organisme spécialisé tel que le CNES ou l'ESA au niveau européen.

#### **Section IV : La licence d'exploitation**

En droit aérien, la licence d'exploitation est en principe exigée. La licence d'exploitation de transporteur aérien est attribuée sous la forme d'un arrêté (nommé par commodité "arrêté licence") au vu des garanties morales, financières et techniques présentées par l'entreprise.

Cette licence est obligatoire pour toute entreprise établie dans l'UE, avec ou sans but lucratif, désireuse d'effectuer des transports aériens à titre onéreux selon le règlement CE n° 1008/2008 du 24 septembre 2008 et l'article L. 6412-2 du code des transports.

Il existe donc des sanctions administratives à l'encontre de celui qui effectue un transport aérien public sans être titulaire d'une licence d'exploitation de transporteur aérien en cours de validité lorsque celle-ci est requise.

En cas de défaut de licence, l'exploitant s'expose à une mise sous séquestre des avions selon le code des transports.

Les conditions requises pour obtenir la délivrance de la licence d'exploitation sont nombreuses. L'entreprise doit détenir le certificat de transporteur aérien, c'est un préalable posé par les articles 4 et 6 du règlement n°1008/2008 du 24 septembre 2008.

C'est la raison pour laquelle on peut soutenir que, s'il y a exonération du CTA, la licence d'exploitation n'est pas non plus nécessaire.

On peut soutenir à l'inverse que du moment qu'il y a rémunération ou titre onéreux, même si le CTA n'est pas réputé obligatoire, le caractère obligatoire de la détention de la licence est maintenu.

L'entreprise est spécialisée dans l'exploitation de services aériens : c'est son activité principale.

La compagnie peut cependant se livrer à la réparation et à l'entretien d'aéronefs ou à une autre exploitation commerciale d'aéronefs.

Il doit s'agir d'une entreprise à capitaux majoritairement européens : les États européens ou des particuliers ou investisseurs européens doivent détenir dans la compagnie de transport une participation de plus de 50 % dans le capital social (sous réserve d'un accord international, comme l'accord aérien semi libéral conclu entre l'UE et les États-Unis).

A noter, que si les investissements américains dans une entreprise européenne peuvent atteindre les 49% de participation, l'inverse n'est pas vrai, puisqu'en temps que représentants studieux, symboliques et historiques du libéralisme, ils n'autorisent des prises de participation de leur entreprises nationales par des entreprises étrangères qu'à hauteur de 25%.

## **Titre II : Contraintes juridiques liées à l'activité**

Comme nous avons pu le voir précédemment, certaines règles découlant, du droit aérien, peuvent s'inscrire comme étant une base pour une réglementation spatiale. Pourtant, les astronautes doivent faire face à des défis que l'aérien ne connaît pas. C'est ce que nous allons aborder dans ce titre.

### **Chapitre I : Le véhicule suborbital :**

Afin de réaliser un vol suborbital, il faut un véhicule plus ou moins spécifique : fusée et capsule, avion spatial et, le cas échéant, avion porteur<sup>19</sup>. L'essentiel est d'arriver à emmener les participants à une attitude suffisante pour qu'ils puissent profiter d'une vue imprenable sur la planète Terre et de plus, dans des conditions d'impesanteur.

---

<sup>19</sup> On peut par exemple penser à White Knight I & II qui ont été les avions porteurs pour les vols de SpaceShipOne et SpaceShipTwo réalisés par la société Virgin Galactic

En l'absence de législation spécifique à l'activité, comme il peut en exister une aux USA<sup>20</sup>, il faut donc chercher les dispositions existantes les plus adéquates à cette activité.

En fonction du type de véhicule, plus ou moins adéquates, entre la fusée, la navette et l'avion, deux droits sont susceptibles de nous donner des indications, à savoir le droit aérien et le droit spatial. Ainsi, selon que l'un ou l'autre droit trouvera son application, on pourra alors déterminer l'autorité compétente pour certifier l'appareil, l'immatriculer, contrôler son exploitation etc. Ceci permettra de déterminer quelles normes techniques sont applicables en matière de maintenance par exemple ou de sécurité. Et ce processus est essentiel pour connaître, dès la conception du véhicule, les règles relatives à la réalisation de visites de contrôle plus ou moins régulière par exemple.

Il y a cependant une difficulté d'ordre juridique là encore puisque en l'absence de dispositions spécifiques, il n'existe pas de délimitation claire entre le champ d'application du droit aérien et celui du droit spatial.

La meilleure méthode pour étudier le sujet sera alors de présenter les différentes possibilités d'application de ces deux droit et par la suite d'en présenter les conséquences de l'un et de l'autre.

## **Section I : Problème de droit applicable**

En l'absence d'une disposition expressément applicable, il faut rechercher dans le droit spatial et dans le droit aérien quel droit a vocation à s'appliquer aux véhicules. Pour le CAC, l'« aéronef » est l'appareil capable de s'élever ou de circuler dans les airs. La loi spatiale de 2008<sup>21</sup> ne définit pas clairement l'objet spatial. En revanche la notion d'activité spatiale est définie comme *toute activité consistant à lancer ou tenter de lancer un objet dans l'espace extra-atmosphérique ou à assurer la maîtrise d'un objet spatial pendant son séjour dans l'espace extra-atmosphérique y compris la Lune et les autres corps célestes, ainsi que, si applicable, lors de son retour sur Terre.*

---

<sup>20</sup> Par exemple, le Nouveau Mexique s'est doté d'une législation spécifique pour écarter toute responsabilité de l'opérateur en cas de mort du participant. RFDA 2010.264.

<sup>21</sup> Loi n° 2008-518 du 3 juin 2008 relative aux opérations spatiales

Cette loi ne définit pas la notion d'espace extra-atmosphérique qui est pourtant d'une importance capitale puisqu'elle structurerait la réflexion. Il est admis de façon assez globale que cet espace s'étend au delà de 100kms de notre astre.

Les deux termes d' « objet spatial » et « aéronef » semblent pouvoir s'appliquer pour l'essentiel aux différentes modalités techniques du vol suborbital. Pour autant l'analyse n'est pas complète. En effet, puisque l'objectif d'un vol suborbital est d'atteindre les frontières de la Terre, les phases de décollage et d'atterrissage peuvent sembler peu importantes pourtant ce sont les phases les plus longues car le temps passé dans l'espace extra-atmosphérique n'est de l'ordre que de quelques minutes tout au plus (dans le cas d'un simple vol parabolique ou suborbital). Il s'agirait donc d'un aéronef.

Une seconde solution serait d'opérer une application « au cas par cas » selon la phase d'évolution du véhicule. Ce serait évidemment inadapté pour des véhicules uniques car cela pourrait mener à une double immatriculation du véhicule, l'une en tant qu'objet spatial et l'autre en tant qu'aéronef. En revanche, cette solution est beaucoup plus pertinente si deux véhicules sont impliqués, un avion porteur puis une navette ou une fusée. Reste que cette navette ou fusée devra inévitablement effectuer un atterrissage conventionnel et donc la définition d'aéronef est difficile à exclure totalement.

En l'état actuel des choses, les deux droits pourraient s'appliquer, cela complexifie la chose et est même un facteur d'insécurité juridique qui appelle à un régime unifié, global de manière à confier la compétence à une autorité unique pour certifier et en contrôler l'exploitation.

## **Section II : Eléments de régimes applicables**

Nous allons étudier successivement les conséquences de l'application directe au véhicule du droit spatial et du droit aérien.

## I- Le véhicule comme aéronef :

Comme vu précédemment, tout aéronef doit faire l'objet d'une certification du ressort de l'Agence européenne de la sécurité aérienne <sup>22</sup> ainsi que d'une immatriculation nationale délivrée, en France par la direction générale de l'aviation civil<sup>23</sup>. Chaque aéronef doit être muni d'un certificat de type pour son type de produit, et doit également obtenir un certificat de navigabilité (comme expliqué dans le Titre I) lorsqu'il est démontré que l'aéronef est conforme au certificat de type. Les exigences sont évidemment d'autant plus grandes et spécifiques que l'appareil à vocation à transporter des passagers et donc la vie.

Cependant, si les normes de références sont adaptées pour des aéronefs volant de façon conventionnelle, elles ne le sont pas pour le domaine de vol spécifique au tourisme spatial (contraintes structurelles, expositions au radiation, pression, protection thermique, propulsion par moteur-fusée etc. que nous aborderons dans la Partie II).

## II- Le véhicule comme objet spatial :

La loi sur les opérations spatiales de 2008 soumet à autorisation les activités spatiales, l'objet en lui-même n'étant qu'une des composantes de cette activité. L'article 4 de la loi fixe les conditions de délivrance de cette autorisation : conformité vérifiée par autorité administrative, en lien avec la réglementation technique ainsi qu'avec la sécurité des personnes et des biens, sans parler de la santé publique et de l'environnement. Ces autorisations sont délivrées par le ministre chargé de l'espace qui est le ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche, après avoir été conseillé techniquement par le CNES. De facto, l'objet spatial, que constituerait le véhicule de tourisme, devrait être immatriculé auprès du CNES. Pourtant aucune norme n'a encore été conçue pour le tourisme spatial ou même suborbital par cette entité.

---

<sup>22</sup> EASA

<sup>23</sup> DGAC

## Chapitre II – Les infrastructures au sol

Si la phase de vol est l'élément essentiel dans l'expérience du tourisme spatial, il sera nécessaire de disposer d'un certain nombre d'infrastructures au sol. A la fois pour assurer l'entraînement des futurs touristes et des membres d'équipage mais aussi pour l'entretien des véhicules et la stockage du carburant par exemple. De même, en fonction du type de lancement choisi, il faudra nécessairement mettre en place des aires de lancement ou/et des pistes d'atterrissage. Ainsi que pour le retour des touristes, soit des pistes d'atterrissage ou alors les infrastructures ou équipements nécessaires pour aller récupérer l'équipage qui aurait atterri à l'aide d'un parachute par exemple (voir modèle de Blue Origin).

### Section I – Utilisation d'installations aéroportuaires classiques :

L'aérodrome est défini par le CAC (R. 211-1) comme *tout terrain ou plan d'eau spécialement aménagé pour l'atterrissage, le décollage et les manœuvres d'aéronefs y compris les installations annexes qu'il peut comporter pour les besoins du trafic.*

A partir du moment où le véhicule suborbital décolle ou atterrit comme un avion conventionnel, alors il est possible d'imaginer l'utilisation d'infrastructures classiques déjà existantes.

L'activité de tourisme suborbital pose deux séries de questions quant à l'utilisation d'un aérodrome non dédié, c'est à dire ouvert à la circulation aérienne publique.

La première concerne la compatibilité de l'activité avec des vols réguliers, ou non, réalisés sur le même aérodrome. Dans ce cas là, il serait préférable que le véhicule soit qualifié d'aéronef et il n'aurait alors plus qu'à répondre aux exigences appropriées. Ensuite, le véhicule devrait être capable d'effectuer ses manœuvres sur ces infrastructures sans interférer avec le trafic conventionnel, ce qui impliquera la mise en place de créneaux horaires pour ces avions/navettes. Ce qui implique aussi que l'exploitant de tourisme spatial sera obligé au paiement des différentes redevances inhérentes à la vie d'un aéroport ou aérodrome classique. On peut également imaginer la difficulté de mettre également en place des procédures, infrastructures pour les cas d'assistance en escale par exemple.

La seconde question porte sur la compatibilité des normes existantes, notamment techniques. Si nous prenons l'exemple d'Isabelle Lelieur<sup>24</sup>, les services de secours sont entraînés et formés pour des opérations sur des avions conventionnels, mais pas pour intervenir sur le départ avorté d'un véhicule comportant notamment un moteur fusée. Ainsi l'aérodrome pourrait parfaitement respecter la législation alors que la sécurité de l'activité, des infrastructures et utilisateurs ne serait pas assurée.

Alors quelles solutions pourraient être envisagées? La formation d'agents capables de subvenir au besoin lorsque la situation le suggère? Cela semble peut envisageable du fait de la complexité déjà existante pour assurer un service de secours cohérent pour les avions conventionnels. Rajouter de nouvelles procédures, de nouveaux équipements ne permettraient pas forcément une sécurité pour les intervenants et l'équipage.

## **Section II : L'astroport :**

Le terme d'« astroport<sup>25</sup> » vise l'ensemble des infrastructures et des services qui seraient dédiés exclusivement à la conduite des vols spatiaux. Il s'agirait donc autant de la construction d'une aire de lancement pour une fusée, que de la construction d'une piste d'atterrissage adaptée aux spécificités de l'engin spatial.

La construction d'un astroport permettrait de mieux répondre aux problématiques liées à la maintenance au sol de l'appareil ou encore aux conditions de stockage des carburants et produits chimiques nécessaires aux lancements si spécifique d'une fusée ou encore, plus globalement, pour assurer la préservation de la sécurité du transport aérien.

D'un point de vue purement réglementaire, dès lors que l'installation comporte une piste, elle se retrouve soumise à la réglementation des aérodromes. Dans le cas d'une zone de lancement pour une fusée, il n'y a pas de réglementation spécifique globale. Evidemment dans le cas de la France, la base de Kourou<sup>26</sup>, répond à des règles qui lui sont spécialement dédiées.

---

<sup>24</sup> « Les contraintes aéroportuaires » - Revue française de droit aérien et spatial, 01/2008

<sup>25</sup> Terme non défini dans les textes mais qui est repris plusieurs fois dans le jargon spatial

<sup>26</sup> Base de lancement de fusées françaises située en Guyane française. Elle sert notamment pour les lancements de fusées du programme Ariane.

Selon que l'activité est, ou pas, qualifiée d'activité spatiale en application de la loi sur les opérations spatiales, il faudra, ou pas, demander une autorisation au CNES qui aura alors toute compétence pour préciser les normes applicables.

On voit ici toute la nécessité d'une législation adéquate, notamment pour s'assurer qu'une autorité administrative soit bien compétente, et surtout pour que les normes techniques soient élaborées suffisamment tôt pour que les opérateurs privés puissent intégrer les exigences dès la phase de conception des infrastructures et aussi, de facto, dès la phase de conception des engins.

### **Chapitre III : Le vol suborbital**

Dans cette partie nous étudierons tout d'abord le statut de l'exploitant, puis celui de l'équipage du véhicule suborbital.

#### **Section I : Le statut de l'exploitant :**

De la même manière que nous avons recherché à déterminer quelle était la qualification applicable pour le véhicule de tourisme, il faut maintenant s'interroger sur le statut de l'exploitant qui réalise cette prestation de vol.

##### **I - Transporteur aérien :**

La qualification d'aéronef ne suffit pas à faire de l'exploitation du véhicule une activité purement de transport de transport aérien. La reconnaissance de ce statut est délicate puisque le statut de transporteur aérien suppose, dans les textes, que le transport soit effectué entre plusieurs aéroports. Ici le déplacement est vertical, conique. Cependant la jurisprudence française considère qu'il y a bien transport aérien dans les hypothèses comme les baptêmes de l'air<sup>27</sup>, à la différence des cours de pilotage où il s'agit ici d'un transport effectué de manière ludique par l'acheteur de la prestation.

Or, le tourisme suborbital est bien, en quelque sorte, un baptême de l'espace, si bien que l'exploitant pourrait effectivement être qualifié de transporteur aérien.

---

<sup>27</sup> Cass. 1<sup>ère</sup> civ. 3 juillet 2001, Resp. civ. Et assurance. Comm 330, note P.Vaillier

Si nous prenons cette déduction comme base, alors, cette activité nécessite la délivrance par l'autorité compétente d'une licence d'exploitation et d'un certificat de transport aérien<sup>28</sup>.

## II – Un agent de voyage ?

L'assimilation de l'exploitant de vols suborbitaux à un agent de voyage peut sembler assez réductrice ou simpliste mais dans la réalité des faits, cette idée n'est pas inconcevable. Quand nous parlons de vol spatiaux, nous parlons de tourisme spatial et il suffirait de réunir les conditions selon lesquelles, « au moins deux opérations portant respectivement sur le transport, le logement ou autre service touristique soit inclus dans un forfait, forfait dépassant les 24h de vie ou incluant une nuitée<sup>29</sup> ». Si l'on prend l'exemple de Uniktour Space<sup>30</sup>, le vol apparaît bien être la prestation principale d'une offre globale, comprenant l'entraînement, le logement, voir le transport jusqu'à astroport.

Le qualificatif peut faire débat mais sur le fond, il s'agit bien d'un agent de voyage, la seule nuance que l'on peut faire se situe au niveau du type d'activité, qui est lui innovateur, mais dans la forme de service rendu, cette dénomination est tout à fait acceptable.

## III- Opérateur spatial :

Selon la loi sur les opérations spatiales de 2008, *l'opérateur spatial est toute personne physique ou morale qui conduit, sous sa responsabilité et de manière indépendante, une opération spatiale*. Sous réserve de la qualification du tourisme suborbital en « activité spatiale » alors l'exploitant peut être considéré comme un opérateur spatial. L'opérateur spatial se trouve astreint à l'obligation d'obtenir une autorisation pour ses activités comme nous avons pu le voir auparavant.

## Section II – L'équipage du véhicule suborbital :

Le 21 juin 2004, lors de son 15<sup>ème</sup> vol, le SpaceShipOne a atteint l'altitude historique de 100,095km. L'engin est piloté par le pilote d'essai et astronaute Mike Melville, afin d'effectuer le premier vol privé dans l'espace. Il s'agissait d'un vol expérimental et il paraît

---

<sup>28</sup> Règlement CE n°2407/92 concernant les licences des transporteurs aériens.

<sup>29</sup> Art L211-2 du code du tourisme

<sup>30</sup> Prestataire de service dans le domaine du tourisme spatial

assez logique que des pilotes d'essais ou astronautes chevronnés soient les personnes les plus compétentes pour ces premiers vols. Il n'en reste pas moins que le pilotage d'un véhicule réalisant un vol suborbital touristique demandera une véritable aptitude physique et mentale ainsi qu'un certain nombre de compétences.

Le droit aérien organise l'aptitude médicale et technique de personnels navigants. La notion de *personnel navigant* est propre à l'aéronautique et désigne l'ensemble des personnes assurant de façon habituelle et principale, le commandement et la conduite des aéronefs ou bien le service à bord ou la gestion des moteurs et appareils de navigation.

Les institutions étatiques contrôlent à la fois les conditions d'aptitudes médicales que techniques. De plus, elles homologuent les centres aptes à délivrer les différents titres aéronautiques comme la licence de pilote, la qualification aux instruments de vol mais aussi le contrôle périodique de l'aptitude médicale effectué par un médecin agréé.

Il serait d'une grande utilité que ce type de dispositions soient mises en place dans le domaine du spatial, de manière à assurer dans les moindres détails un cadre réglementaire complet, ne laissant pas la place à l'inconnu ou au hasard. Puisque l'équipage sera soumis à des contraintes physiques importantes (nous verrons ces aspects dans la Partie III), il devra pouvoir supporter ces dernières, tout en continuant à mener à bien le pilotage du véhicule. En outre, l'équipage aura l'obligation d'avoir des notions aéronautiques standards, qui seront complétées, selon les caractéristiques de l'engin, par un certain nombre d'éléments spécifiques propre au type de transport. Tout comme certains aéroports ne sont accessibles que sous la détention de certaines licences du fait de leur dangerosité ou caractéristiques géographiques par exemple, les touristes spatiaux seront face à des caractéristiques différents en fonction de nombreux critères comme le type de lancement par exemple. Les notions ne seront pas les mêmes si l'élévation se fait via fusée ou via avion porteur.

Sur ce sujet, le Commercial Space Launch Act, consacre à ce sujet quelques dispositions, notamment l'obligation de disposer d'un certificat médical de type FAA. Une obligation de formation et d'entraînement est également prévue. Mais c'est à l'exploitant de prévoir le contenu de cet entraînement. Cette contrainte est donc assez limitée.

En France aucune législation n'existe ni même au niveau de l'Europe où l'EASA n'a jamais légiféré en la matière.

### **Section III : les règles de responsabilité du fais des activités spatiales :**

Cette section ne sera pas traitée, du moins ne sera pas retraitée du fait que j'ai déjà, en Master I de droit des affaires, effectué un rapport de recherche relatif à ce sujet qui est disponible à l'université d'Aix-Marseille sur le site d'Aix-en-Provence entre les mains de monsieur Bloch. Petit ouvrage d'une trentaine de pages traitant de ces problématiques purement juridiques autour des activités spatiales et des rapports entre les différents partis. Ce mémoire n'est autre que la continuité de l'œuvre que je souhaite accomplir tout au long de ma carrière.

De plus, ces règles ne sont aujourd'hui applicables qu'aux lancements de satellites et l'homme ne rentre pas (ou si peu) dans le cadre de ces règles de responsabilité. Seuls les traités visant la responsabilité pénale peuvent s'y attachés.

Cette partie avait pour objectif de délimiter le cadre réglementaire en matière de voyage spatial. Nous avons pu voir que les idées ne manquent pas notamment grâce à la richesse du droit aérien. Mais beaucoup de questions restent en suspend alors même qu'il suffirait simplement de se pencher sur le sujet pour les autorités administratives. Cette absence est peut être due à une volonté de laisser faire le marché, de l'observer pour agir par la suite, mais cette stratégie suggère de faire des pas en avant pour revenir en arrière une fois les législations édictées. L'essentiel des difficultés peut-être dépassé par l'élaboration d'un régime juridique spécifique qui soit adapté à la nouveauté de l'activité et sa grande technicité. Et c'est ce que nous allons aborder dans une seconde partie. Une partie plus technique, basée sur des phénomènes physiques qui jouent un rôle prédominant dans le développement de cette activité. Les vols extra-atmosphériques doivent faire face à des conditions environnementales éprouvantes pour l'homme mais aussi pour l'engin qui voit ses caractéristiques et sa robustesse mise à rude épreuve.

## **PARTIE II – LE CADRE TECHNIQUE ET ENVIRONNEMENTAL**

Cette partie sera la plus technique et la plus complexe sur un plan de la terminologie ainsi que sur les concepts avancés mais l'objectif pour moi va être de décrire de manière claire les différents éléments, facteurs essentiels dans la mise en place de vol touristique dans l'espace.

Dans un premier temps la mission d'un véhicule suborbital habité, avec un équipage de quelques personnes, est de réaliser un vol bref à grande vitesse atteignant l'altitude extrême de 100kms, aux limites même de l'atmosphère terrestre. Ce vol suborbital se caractérise par une phase dite touristique d'impesanteur (l'impesanteur est l'état d'un corps tel que l'ensemble des forces gravitationnelles et inertielles auxquelles il est soumis possède une résultante et un moment résultant nuls. L'impesanteur, ou apesanteur, est donc le phénomène ressenti en l'absence de pesanteur) de plusieurs minutes dans le vide spatial avant un retour sans dommage dans l'atmosphère, et un atterrissage intègre de l'équipage.

Dans cette partie nous étudieront en premier lieu les principes physiques sans lesquelles une conception fiable d'engins spatiaux n'est pas envisageable. Par la suite nous étudierons les différents concepts de véhicules suborbitaux habités.

### **Titre I – Conception d'un véhicule spatial orbital**

#### **Chapitre I – Introduction générale aux principes physiques**

La frontière fictive entre l'atmosphère terrestre et le vide de l'espace proprement dit est représenté par « la ligne imaginaire de von Karman » fixée à 100kms d'altitude par la Fédération aéronautique internationale<sup>31</sup>. Alors que l'armée de l'air américaine et la NASA considèrent cette frontière à environ 90kms d'altitude. A cette altitude extrême,

---

<sup>31</sup> FAI, fondée en 1909, elle a pour objectif principal le développement des activités aéronautiques et astronautiques dans le monde

l'environnement spatial est un milieu très hostile qu'il faut prendre en compte dans la conception d'un véhicule suborbital habité.

Un vol suborbital n'est pas comparable pas un vol orbital dans l'espace pour lequel le véhicule et l'équipage sont en orbite autour de la Terre. Or comme nous l'avions vu, le vol suborbital ne passe que très peu de temps dans le vide de l'espace.

Pour se placer sur orbite autour de la Terre, deux conditions sont nécessaires pour ne pas retomber, comme le ferait un vol suborbital. Tout d'abord, le véhicule orbital doit atteindre une vitesse minimale de satellisation<sup>32</sup> de l'ordre de 8km/s (ce nombre peut paraître aberrant mais c'est la première vitesse cosmique d'après les lois de Kepler<sup>33</sup>) pour que la trajectoire libre du véhicule contourne la terre sans jamais l'intercepter. Par la suite, l'altitude du véhicule doit être suffisamment élevée de plusieurs centaines de kilomètres pour limiter le freinage de l'air (même résiduel) et permettre au véhicule de garder son altitude initiale.

Par définition, le vol suborbital est un vol dans l'espace mais non orbital car le véhicule n'atteint pas cette fameuse vitesse de satellisation. Les facteurs d'énergie demandés pour un vol suborbital sont 10 fois moins gourmand qu'un vol orbital. De plus, pendant le retour du véhicule dans l'atmosphère, ce sera autant d'énergie en moins à dissiper par un manœuvre de freinage atmosphérique<sup>34</sup>. Les contraintes thermiques et thermomécaniques supportées par un véhicule suborbital sont donc beaucoup plus faibles que celles supportées par un véhicule orbital.

Il faut noter que ces vaisseaux atteignent des vitesses de l'ordre de Mach 3-4 alors que la taille de l'engin est comparable en taille et en poids à un jet d'affaire.

Les passagers de ces vols ne peuvent pas être considérés comme des professionnels même après de longues heures d'entraînement. Très peu de personnes au monde sont capables d'effectuer des manœuvres aussi complexes techniquement et éprouvantes physiquement. C'est la raison pour laquelle seuls des astronautes ou des pilotes d'essai peuvent à l'heure actuelle effectuer ce genre de vol.

---

<sup>32</sup> Autre terme pour dire : mise en orbite

<sup>33</sup> Voir Annexe I

<sup>34</sup> Manœuvre qui permet d'utiliser les différentes couches de l'atmosphère comme frein naturel sans avoir à utiliser de rétrofusées permettant des gains en énergie importants.

Afin d'être supportables, les contraintes physiques seront minimisées pendant les phases de forte accélération et d'impesanteur et un conditionnement des passagers dans la cabine doit être assuré. La sécurité d'un tel projet est essentielle pour assurer l'intégrité physique de l'équipage et de l'ensemble de la structure du véhicule mais aussi pour rendre cette nouvelle activité commercialisable.

Cette nouvelle activité aérospatiale naissante est développée dans un but commercial. A ce titre, le retour sur investissement devra se faire principalement sur l'exploitation de la flotte de véhicules avec des passagers payants, et autres services ou produits commerciaux dérivés.

Cette exigence impose de concevoir, de construire, de tester, de certifier et de maintenir un véhicule à coût réduit pour qu'il soit commercialement rentable.

Jusqu'à présent aucune solution n'avait été trouvée concernant la réutilisation de fusée mais depuis 2 ans, la société SpaceX développe ces dernières. Et surprise, ça marche. Des batteries de test ont été effectuées et l'homme détient aujourd'hui la clé d'une fusée réutilisable. Selon les communications et calculs effectués par la société d'Elon Musk, cette technologie de réutilisation des fusées pourrait permettre des économies d'échelle de l'ordre de 20 à 30%. Ce qui est considérable en imaginant les dépenses allouées pour la conception et construction de ces fusées. A l'heure actuelle, seule la série « Falcon »<sup>35</sup> détient cette technologie. La société Blue Origin est elle aussi à l'œuvre et semblerai, elle aussi, pouvoir réutiliser ses fusées.

Auparavant, les envois de navettes dans l'espace étaient exclusivement réalisés par des entités publiques, financés par le secteur public. Le coût importait alors peu et ces lancements avaient des fins purement stratégique, scientifique voire idéologique. A ce jour, le lanceur Ariane 5 qui est consommé à chaque lancement est la solution la moins coûteuse qui a été choisie. Mais il n'y avait aucune volonté de gagner de l'argent sur ce genre de mission. Aujourd'hui les perspectives ont évoluées et les investisseurs privés y recherchent le nouvel eldorado.

---

<sup>35</sup> SpaceX dispose de 3 type de fusées différentes : Falcon 9, Falcon Heavy et Dragon. Ce dernier étant le plus gros propulseur jamais fabriqué même si Blue Origin annonce que leurs futurs propulseurs selon presque deux fois plus puissants pouvant alors supporter 2 fois plus de charge à bord.

## Chapitre II : L'environnement spatial

Comme cité plus haut, la ligne imaginaire de von Karman, fixée à 100kms d'altitude par la FAI, marque la frontière fictive entre l'atmosphère terrestre et l'espace. En réalité, il est difficile de situer la limite exacte de l'atmosphère. Comme nous avons pu le voir, les références ne sont pas les mêmes entre la FIA et la NASA par exemple. Mais nous savons que la densité de l'air décroît de manière exponentielle avec l'altitude. Le principe est assez simple, la Terre est un astre massif, du moins à l'échelle de l'homme, sa masse est donc bien supérieure à celle de l'homme et encore plus par rapport à une particule. La Terre attire les objets aux alentours dont leur masse est inférieure à la sienne. De facto, plus on s'approche de la Terre plus on y est attiré c'est ainsi que la densité d'air est importante au niveau de la mer alors qu'elle disparaît (presque totalement) à 100kms d'altitude.

Pour avoir un ordre d'idée, 50% de la masse de l'air se situe entre 0 et 5kms, et 99% entre 0 et 30kms. A 100kms d'altitude, on est très proche du vide absolu qui règne dans l'espace.

Si l'on s'intéresse aux activités aéronautiques, on se rend compte qu'elles ont principalement lieu entre le sol et 20kms d'altitude, exceptionnellement 30kms pour les avions à haute performance pouvant supporter des conditions de froid, de frottement et de pression plus importantes.

En particulier le transport aérien commercial atteint une altitude de l'ordre de 10kms. Dans les couches denses de l'atmosphère, les avions utilisent les réactions de l'air pour se propulser. Par ailleurs, il est à noter que la poussée d'un moteur d'avion chute drastiquement à 10kms par rapport à la poussée au sol. C'est une conséquence logique des moteurs à réaction de l'air. Moins la masse de l'air est importante, moins le réacteur aura de quoi nourrir son mécanisme. Mais en même temps la densité terrestre est plus faible, et les forces frottements moins importantes permettant des gains en énergie importants.

Au-dessus de 100kms, on trouve l'environnement spatial caractérisé par le vide, l'impesanteur, les écarts thermiques, le rayonnement solaire, les radiations ionisantes. Toutes particules, radiations sont autant de dangers pour l'homme qui doivent être gérés. Certaines particules nocives pour l'homme ont besoin d'être stoppées par des parois de 1, 5mètre dans la cabine. Autant de donner à prendre en compte dans les calculs de masse, le portance lors de la construction des engins spatiaux.

## **Chapitre III – Les contraintes physiques supportées par l'équipage et le véhicule**

Il s'agit dans cette partie de présenter certaines forces et éléments auxquels les différents acteurs d'un vol suborbital ont à faire face tout au long de leur voyage. Nous nous concentrerons sur la spécificité des trajectoires et l'échauffement thermique, nous laisserons de côté d'autres éléments comme les facteurs de charges<sup>36</sup> ainsi que les différents « efforts en vols »<sup>37</sup>.

### **Section I – Trajectoires suborbitales :**

La trajectoire d'un véhicule suborbital peut être subdivisée pour des raisons pratiques en quatre phases de vol bien distinctes.

Une phase de montée verticale accélérée par un moteur fusée, puis à partir de l'extinction du moteur-fusée, une phase d'impesanteur décrivant une courbe « en cloche » ou « en bosse » passant par un pic d'altitude au moins supérieur à 100kms, suivie par une phase de forte décélération due au freinage atmosphérique à vitesse supersonique (vitesse équivalente à plusieurs fois la vitesse du son), pour enfin, finir par une phase de descente finale plus modérée, puisque la vitesse de l'engin est redescendue en dessous de la vitesse du son pour atteindre une vitesse assez similaire à celle d'un avion de ligne en croisière, dans les couches denses de l'atmosphère qui se termine avec l'atterrissage au sol. Toutefois, le profil de l'appareil suborbital est déterminant dans l'appréciation des forces appliquées sur l'objet, en fonction de sa forme, masse, propulsion. On distingue deux familles dans les concepts de véhicules suborbitaux habités : les véhicules de type « capsule » et les véhicules de type « ailé » que nous aborderont dans le Titre II.

---

<sup>36</sup> Également appelés G-Forces

<sup>37</sup> Il s'agit principalement de facteurs liés à la poussée de l'engin d'un côté et à la trainée aérodynamique de l'autre. Le tout crée un phénomène de compression de l'engin sous la pression de ces forces d'inertie

## Section II – Echauffement thermique :

Les contraintes thermiques à prendre en compte dans la conception d'un véhicule suborbital sont principalement de deux types : les contraintes thermiques aérodynamiques au cours du vol le long de la structure externe du véhicule et les contraintes thermiques élevées de combustion. Ces deuxième contraintes sont difficilement abordables dans cette œuvre du fait qu'elles dépendent, là encore, de la masse et du type de structure utilisée. Nous aborderons seulement l'échauffement thermique dû au frottement de l'air sur la structure externe du véhicule.

Etrangement, bien qu'il n'y ait pas de choc à proprement parler, on parle d'onde de choc<sup>38</sup> qui se forme dans l'atmosphère devant le véhicule suborbital à vitesse supersonique. Ceci va permettre de dissiper la plus grande partie de l'énergie thermique, la plus petite partie de l'énergie thermique reçue par le véhicule n'est que de quelques pour cent. Il est important de connaître la température de la paroi du fuselage du véhicule pour dimensionner sa structure puisqu'il contient l'équipage ce qui engendre un nouveau problème à résoudre qui est celui du bon conditionnement de la cabine du véhicule lors des phases de décollage et d'atterrissage. En effet, la température de la paroi d'un véhicule dépend de la température de l'air et de la valeur de la vitesse du véhicule en Mach<sup>39</sup>.

A une altitude donnée, plus le véhicule ira vite plus la température de sa paroi sera élevée. Dans le cas du véhicule de type « ailé », le fuselage est d'abord froid et avoisine les 0°C jusqu'à environ 15kms d'altitude mais devient extrêmement chaud avec un pic allant vers les 500°C. Il redevient froid au delà de 95kms du sol puisque plus aucune force de frottement ne permet de chauffer le fuselage. L'atmosphère est une véritable carapace pour la Terre et la préservation de la vie mais une carapace qu'il est difficile de passer dans un sens comme dans l'autre puisqu'au moment de la redescente, la température augmente à nouveau jusqu'au 24kms d'altitude environ.

Des différences de températures aussi importantes complexifie la tâche des ingénieurs en charge de la conception des véhicules. A l'heure actuelle nous disposons de plusieurs

---

<sup>38</sup> Souvent créé par une explosion ou un choc de forte intensité. Dans le cas de l'astrophysique, l'onde de choc se caractérise par la réfraction des différentes couches atmosphériques qui « plient » sous le poids de cette explosion.

<sup>39</sup> Aux températures habituelles, dans l'air, la vitesse du son vaut environ 1 224 km h<sup>-1</sup> et équivaut à Mach 1.

solutions pour résoudre ces problèmes de température. Les alliages réfractaires peuvent résister jusqu'à 800°C mais sont extrêmement coûteux, il existe aussi des peintures très hautes températures qui peuvent protéger certaines parties du fuselage. Si on prend l'exemple d'un véhicule de type ailé, le nez est fabriqué en structure chaude donc résistante mais les ailes ne peuvent pas être façonnées avec de telles structures, pourtant elles subissent elles aussi des variations de températures importantes surtout en dessous des ailes (notamment pendant les phases de redescente). Elles sont donc protégées par des peintures qui absorbent la chaleur.

Pour résumer de manière succincte, l'environnement terrestre est hostile, complexe et présente de nombreuses barrières. L'avantage que nous avons à l'heure actuelle est que nous connaissons ces contraintes. L'homme a su trouver des parades à ces obstacles et grâce à ces solutions que nous avons pu nous pencher sur la question de la conception de ces véhicules. C'est ce que nous allons voir dans le Titre II.

## **Titre II – Les principaux concepts de véhicules suborbitaux habités**

Dans la Section I du Titre I, nous avons séparés en deux familles les véhicules suborbitaux habités entre les véhicules de type « capsule » tirés verticalement depuis le sol (exemple des capsules Blue Origin) et les véhicules de type « ailé » largués en altitude entre 10 et 20km (exemple de SpaceShipOne & Two lâché par son White Knight).

Dans le cadre de cette activité commerciale aérospatiale naissante qu'est le tourisme spatial, de nombreux projets de véhicules suborbitaux ont vu le jour.

Nous allons donc étudier les concepts les plus prometteurs ou ayant déjà prouvé leur efficacité. Nous les classerons selon leurs modes de décollage et d'atterrissage.

## Chapitre I – les modes de décollage possibles :

Au vu des concepts de véhicules suborbitaux habités, quatre modes de décollages sont envisagés.

I – Tir vertical du véhicule suborbital depuis le sol à la façon d'une fusée spatiale conventionnelle :

Le véhicule de type « capsule » précédemment évoqué correspond à ce mode de décollage. En particulier, ce mode de décollage est repris dans le projet de capsule suborbitale de Blue Origin qui est basé sur un concept plus ancien de capsule de forme conique appelé Delta Clipper<sup>40</sup>. Cette capsule spatiale réutilisable à décollage et atterrissage verticaux a été créée en 2000 par Jeff Bezos<sup>41</sup>. Le véhicule comprend un module de propulsion et une capsule pressurisée pour l'équipage. Il emporte trois passagers sur une trajectoire balistique presque verticale. En cas d'incident lors de la phase de décollage, la capsule peut être libérée de l'étage inférieur de propulsion. La capsule étant dotée de moteurs, ces derniers contrôlent la position dans l'espace extra-atmosphérique lorsque cette dernière s'est séparée de son étage de propulsion. Une fois la phase de pesanteur effectuée, la phase de redescente commence et le freinage de la capsule se fait à l'aide de parachutes. La durée de vol est estimée à 15minutes.

II- Tir horizontale du véhicule suborbital depuis le sol avec allumage du moteur-fusée :

Ce mode décollage a été choisi dans le projet Lynx de la compagnie américaine XCOR Aérospace mais pour atteindre dans un premier temps une altitude de 60kms, très inférieure à l'altitude extrême de 100kms. Cependant un projet similaire a été repris par SpaceX dont la renommée ne fait que gonfler. Contrairement au projet Lynk, le projet Dragon de la société d'Elon Musk a réalisé des tests concluants. Tir de la capsule à vide, séparation avec le « mini moteur fusée » et déclenchement des parachutes pour atterrissage en mer. Test réussi mais il n'y a pas encore eu de tir lancé sur fusée. Il reste donc à voir ce qu'il en adviendra.

---

<sup>40</sup> Invention de McDonnell Douglas, constructeur aéronautique américain dont les entreprises ont servi pendant plus de 50ans l'US AirForce pour, par la suite, être racheté par Boeing

<sup>41</sup> Fondateur de Blue Origin et fondateur d'Amazon

### III- Largage du véhicule suborbital et tir du moteur-fusée :

Tir effectué à une altitude comprise entre 10 et 20kms, le suborbiteur peut être aéroporté avant largage par un véhicule porteur dédié ou par un porteur de type avion de ligne<sup>42</sup>. Le véhicule de type ailé précédemment évoqué correspond à ce type de décollage. Par ailleurs, celui-ci est repris dans un concept Tier Two par la société californienne The Spaceship Company (pour le compte notamment de Virgin Galactic). Il comprend un véhicule dédié appelé White Knight Two (qui a vu un petit frère voir le jour sous le nom de VSS Unity) et un suborbiteur avec une aile delta appelé SpaceShipTwo largué par le dessous du porteur. Ce mode de décollage est également choisi dans le projet VSH de Dassault Aviation. Par contre, le suborbiteur est aéroporté sur le dos de l'avion. D'autres solutions sont possibles comme le largage en altitude du véhicule suborbital depuis un ballon atmosphérique de très grande taille ou le largage du véhicule depuis la soute d'un porteur de grandes dimensions.

### IV - Décollage horizontal du véhicule suborbital depuis le sol à la manière d'un avion :

A l'aide d'une motorisation supplémentaire (turboréacteurs par exemple) ou tracté par un autre véhicule (à la manière d'un planeur), puis allumage du moteur fusée en altitude. Ce mode de décollage horizontal de type avion, et allumage fusée en altitude, est repris dans les projets de EADS Astrium et de Rocketplane Global où le suborbiteur est un combiné avion-fusée. Cette dernière solution pourrait permettre un ravitaillement en vol de combustible nécessaire à la traversée de l'atmosphère.

### V – Analyse globale :

Les principaux avantages d'allumer le moteur-fusée en altitude (III et IV) par rapport à un tir depuis le sol (I) sont un gain de performance pour le véhicule suborbital puisque la distance à parcourir pour atteindre l'altitude est plus courte (80 à 90kms au lieu de 100kms depuis le sol) et le moteur-fusée est plus performant en altitude car parasité par moins de particules du fait d'une densité moins élevée de l'air comme expliqué préalablement.

De plus les pertes de performance dues au frottement de l'air sur le véhicule seront également plus réduites.

---

<sup>42</sup> Comme a pu le faire la NASA sur quelques lancements pour l'ISS. Accroché sur le dos de l'avion porteur, celui-ci se détache à une altitude donnée.

Enfin, compte tenu que la vitesse maximal de descente du véhicule de l'ordre de Mach 3 est plus faible, alors la décélération sera moins sévère et l'environnement thermique descendra en température lui aussi.

Cependant, la masse des véhicules III et IV est alourdie de structures supplémentaires telles que des ailes pour réaliser la ressource nécessaire après allumage du moteur-fusée. Une motorisation supplémentaire est nécessaire pour réaliser le vol aérien IV, la structure du véhicule se doit d'être renforcée (en résistance et rigidité) pour encaisser des efforts en vol deux à trois fois supérieurs par rapport à ceux subis par un véhicule tiré verticalement.

## **Chapitre II – Les modes d'atterrissage possibles :**

On peut distinguer principalement quatre modes de descente finale (entre 10 et 20kms d'altitude) et d'atterrissage pour les véhicules habités.

### **I- Vol final horizontal plané :**

Le véhicule doit pouvoir, à l'aide de ses ailes, rejoindre un lieu d'atterrissage approprié (piste d'atterrissage du spatioport<sup>43</sup>) ou bien une autre destination de son choix dans les limites de son rayon d'action. Pour une grande souplesse opérationnelle, il est possible d'allumer le turboréacteur de manière à gérer plus facilement la phase d'atterrissage.

### **II- Atterrissage vertical sous parachutes :**

A ce jour, le déploiement de parachute peut se faire à des vitesses supersoniques. Plus la masse du véhicule sera importante, plus la dimension du parachute sera grande. Le lieu d'atterrissage du véhicule ne sera pas forcément approprié et éloigné par rapport au point de départ.

### **III- Système de freinage final vertical entièrement par moteur-fusée :**

Ce mode d'atterrissage est repris dans le projet de capsule suborbitale de Blue Origin qui utilise le même moteur-fusée que pendant la phase de montée.

---

<sup>43</sup> Un spatioport est une base permettant l'accueil, la réparation, le décollage et l'atterrissage de vaisseaux destinés à des voyages dans l'espace.

IV- Système de récupération vertical à l'aide d'un rotor de type hélicoptères.

Ce système de récupération n'est plus envisagé actuellement, mais des études et des démonstrations en vol ont été menées en utilisant ce concept atypique.

### **Chapitre III – Facteurs déterminants dans la conception d'un véhicule suborbital habité commercial :**

Le développement d'un véhicule suborbital habité commercial résulte d'un long et coûteux processus. Avant de commencer le développement d'un tel véhicule, un exercice d'anticipation est nécessaire afin de visualiser le cycle de vie du véhicule dans son ensemble et les interfaces associées comme les structures au sol par exemple. Le design du véhicule doit correspondre à une offre commerciale qui peut être caractérisée par le nombre de passagers payants qu'il est possible d'embarquer (une personne, un couple ou une famille), la durée de l'expérience dite touristique en impesanteur, l'espace de confort réservé à chaque passager et le prix du billet par personne pour embarquer.

Chez l'industriel en charge d'une telle confection et des contractants associés à cette conception, tout un centre d'ingénierie va enchaîner les travaux de conception. En allant de l'étude de faisabilité sur papier, aux calculs numériques scientifiques avancés et essais en laboratoire, en passant par la construction de maquettes à échelle réduite et de prototypes à échelle 1, jusqu'aux essais de validation au sol et en vol.

Dans un souci de réduire au maximum le coût global de développement du véhicule, on limite tout d'abord sa durée de développement en favorisant le savoir-faire interne. En choisissant des solutions déjà étudiées dans le passé par les ingénieurs au sein de l'entreprise ou par l'apport de nouvelles idées du fait de recrutement mais aussi en utilisant des moyens de production et d'essais à disposition, en relisant un effort de standardisation et d'industrialisation. A ce jour, il est encore difficile d'évaluer le coût réel de développement de manière globale (du stade de la conception au stade de la commercialisation). On peut estimer à plusieurs centaines de millions d'euros, voire même le milliard, pour des projets s'étalant de 10 à 15ans.

Toute prise de décision et tout compromis technique qui résultent de la boucle de conception sont faits en faveur de la sécurité et du confort de l'équipage pour rendre le vol suborbital commercialisable. Car les passagers payants ne voleront pas comme des pilotes d'essais, mais bien comme des passagers de compagnies aériennes. Les exigences sont par exemple que le vol orbital soit sans lésion sur l'organisme humain tout en minimisant les facteurs de charges subis en vol (vibrations, bruit etc.) et en limitant la perte de repères visuels, que la cabine soit pensée avec des dimensions suffisantes (espace individuel réservé pour l'expérience d'impesanteur, avec un revêtement spécifique, épuré, la taille des hublots etc) mais aussi conditionné de manière satisfaisante (pressurisation de la cabine, étanchéité, système de création d'oxygène à bord etc).

Un autre facteur important pour qu'un design de véhicule soit viable : il faut qu'il soit commercialement rentable, ce qui impose de concevoir un véhicule réutilisable ou au moins partiellement réutilisable non seulement en ce qui concerne le véhicule ailé ou de type capsule mais aussi en ce qui concerne le moteur-fusée ou le premier étage de la fusée. En particulier, le nombre de réutilisations du moteur-fusée est un élément déterminant puisqu'il a un impact direct sur la masse de dernier et que sa production est très chère.

De plus, il est nécessaire de développer et de prendre en compte le design du véhicule, dès l'étude de faisabilité mais aussi les opérations de maintenance au sol entre les vols.

La maintenance entre chaque vol doit être minimale et le délai de remise en vol doit être le plus rapide possible tout en ne négligeant pas la sécurité des vols. L'idéal pour les futurs prestataires de service spatiaux serait de disposer de flottes comparables à celle d'une compagnie aérienne de taille moyenne de manière à pouvoir assurer un maximum de vol grâce à une flotte notable, tout en effectuant des opérations de maintenance visant à réutiliser, et mettre en place les bonnes procédures de vérification.

Le concept d'un véhicule suborbital habité est séduisant mais sans précédent en la matière. Cependant, ce qui est intéressant de noter, c'est l'engouement mondial pour cette activité. On ne peut se faire une véritable idée de l'état de ce marché d'ici à 10ans mais il est prometteur. Il serait cependant fou de croire, à l'inverse, que cette nouvelle activité touristique ne verra pas le jour.

Un certain nombre d'études d'opinion ont été faites en la matière. Le groupe Socotec<sup>44</sup> a réalisé plusieurs études sur le sujet du tourisme spatial et suborbital. Des sondages permettant de mieux appréhender la perception et la demande du public à l'aube de l'ère nouvelle d'un accès plus démocratisé à l'espace. Ces études datent de 2009 ont été menées auprès de 200 personnes.

Ce qui ressort de ces études et l'intérêt, la motivation pour les personnes interrogées d'effectuer un vol dans l'espace. Ces études font ressortir l'envie pour les futurs « touristes » de voir la Terre de l'espace, d'être un pionnier, de réaliser un rêve. Environ 75% des personnes interrogées se disent intéressées par ce type de vol. Evidemment, les prix sont toujours bien trop élevés et seule une petite minorité de personnes pourrait, en l'état actuelle des choses, s'offrir ce luxe mais les trouvailles technologiques ingénieuses fleurissent tous les jours, nous donnant alors l'espoir de pouvoir admirer la planète bleue de nos propres yeux.

L'intérêt est manifestement présent, et il semble qu'il ne soit qu'une question de temps pour que les réponses aux questions relatives à la réutilisation des lanceurs, capsules et vaisseaux ne soient trouvées.

Ce jour là il faudra que les autorités administratives légifèrent dans tous les domaines et désignent des autorités de contrôle. Des contrôles qui seront effectués à tous les niveaux : en amont, aval et pendant les différentes phases de conception et de commercialisation. Nous allons déterminer dans une ultime partie (III) la charge qu'auront ces autorités et nous aborderons également brièvement la préparation au vol suborbital par lequel les futurs touristes spatiaux devront passer pour une autorisation d'embarquement.

---

<sup>44</sup> Groupe spécialisé dans le conseil en maîtrise des risques et en amélioration des performances

## **PARTIE III - AUTORITES REGULATRICES ET CONTRAINTES MEDICALES**

Dans cette partie nous aborderons le sujet des autorités compétentes en matière de législation dans le domaine du spatial. La détermination de cette entité est essentielle pour développer un cadre réglementaire adapté. Un cadre réglementaire qui ne saurait exister sans un cahier des charges technique minutieusement préparé afin d'assurer la parfaite application des normes mises en place pour assurer la sécurité des vols. La question n'est pas anodine et elle n'a toujours pas véritablement trouvé de réponse.

L'homme doit faire face à de nombreux défis une fois installé dans un engin spatial, et nous verrons quelles sont les différentes préparations au vol envisagées par l'industrie aérospatiale.

### **Titre I – Autorités compétentes**

#### **Chapitre I : Organismes de contrôle : FAA / EASA<sup>45</sup> / ESA**

##### **Section 1 : EASA / ESA:**

L'EASA traite de la sécurité aérienne au sein de l'union européenne. Le nouveau règlement de base (EC) No 216/2008 définit les missions de l'agence européenne. A l'origine, ce règlement établissait la base d'une action communautaire en matière de certification des produits aéronautiques<sup>46</sup> ainsi que des organisations et des personnes intervenant dans leur conception, leur production et leur maintenance. Par la suite, la Commission, avec l'aide de l'EASA, a apporté progressivement des modifications nécessaires pour étendre le champ d'application du texte à tout autre domaine intéressant la sécurité de l'aviation civile.

Les responsabilités de l'agence européenne sont nombreuses.

Elle a pour mission d'apporter une expertise technique à l'Union européenne en vue de nouvelles dispositions législatives.

---

<sup>45</sup> European Aviation Safety Agency. En français : Agence européenne de la sécurité aérienne

<sup>46</sup> Produits aéronautiques : termes comprenant tout élément ayant un lien avec l'industrie aéronautique (du fabricant d'une vis sur le fuselage, au motoriste)

La mise en œuvre et le contrôle de l'application des dispositions en vigueur dans le domaine de la sécurité y compris lors d'inspection dans les Etats membres.

Elle procède à la certification des aéronefs et équipements. C'est également elle qui délivre les agréments aux organismes compétents assurant la conception, la fabrication et l'entretien des produits aéronautiques.

L'agence a également pour mission de réaliser des analyses et des recherches en matière de sécurité des vols, sécurité des aéroports ainsi que dans la gestion des services de la navigation aérienne.

Elle a donc un rôle central à jouer dans l'élaboration des normes spatiales. Bien sur nous n'avons pas clairement défini juridiquement un engin spatial habité mais aux vues des prérogatives et des moyens dont dispose cette entité ainsi que de l'expertise approfondie acquise après de nombreuses années d'existence, l'implication de l'EASA, dans le cadre de la constitution du tissu législatif spatial, semble évident.

De plus l'EASA dispose d'un allié qu'elle finance généreusement. Il s'agit de l'ESA. En effet, environ 30% du budget de l'EASA est alloué aux activités de l'ESA.

La mise en commun de moyens, process, visions, données, expertises, connaissances pourrait donner naissance à une formidable réglementation spatiale.

## **Section II : La FAA :**

Elle est définie comme une agence gouvernementale chargée des réglementations et des contrôles concernant les activités aériennes civiles aux USA. Ses missions sont assez similaires à celle de l'EASA.

Elle est responsable de la sécurité et de la sûreté de l'aviation civile. Elle assure une vigilance de tous les instants dans ses domaines de compétence (contrôle des aéronefs, des navigants, des exploitants, des industriels, retours d'expérience après incidents ou accidents) pour maintenir la sécurité du transport aérien à son plus haut niveau. Elle définit la politique de sûreté aéroportuaire et veille à son application par les différents acteurs et opérateurs du transport aérien.

Concernant les prestataires de service, opérationnelle, elle fournit aux compagnies aériennes les services nécessaires à la sécurité et à la régularité de la navigation aérienne. Elle

est également maître d'œuvre de la planification des infrastructures, facteurs d'aménagement du territoire.

Elle a pour responsabilité le conseil auprès des partenaires, des industriels et exploitants de l'aéronautique. Elle travaille quotidiennement avec tous les acteurs de l'aéronautique : constructeurs, motoristes, compagnies aériennes, exploitants d'aéroports, autres administrations, prestataires ou collectivités territoriales. Elle porte la double casquette en ce sens ou elle a un rôle d'entité de surveillance mais aussi de conseil de manière à anticiper les problèmes.

Une autre mission afféree à la FAA est celle de la prévention. Elle veille non seulement à la sécurité des hommes mais aussi à la préservation de l'environnement, par une lutte permanente contre les nuisances générées par le transport aérien.

Ces agences ont donc un grand nombre de prérogatives en matière aérienne. Historiquement la FAA est plus ancienne et l'organisation géographique aux USA est bien différente de celle en France ou en Europe. Ce qui explique la plus grande facilité pour les USA de légiférer. Tout en ayant une certaine indépendance, les états fédérés des USA suivent une ligne directrice tracée par l'état fédéral, ce qui peut permettre, en fonction des priorités de ce dernier, d'avancer rapidement sur un sujet. A l'inverse l'EASA doit concilier les intérêts de l'ensemble des pays d'UE allouant un budget à ses ressources. Evidemment les objectifs des uns et des autres ne sont pas similaires ce qui explique un plus longue mise ne place de législation et de projet. Cependant, le fait que l'EASA supporte des projets spatiaux européens ou autres, est profitable pour l'ensemble des pays.

Il faut noter qu'aujourd'hui, la FAA et l'EASA sont également garantes de la qualité de la formation des hommes. Elles veillent à la qualité des filières de formation. Elle peut disposer à la fois d'une structure spécifique de formation au pilotage mais également de formation initiale et de perfectionnement de la majorité des acteurs techniques de l'aviation civile.

Elles seront également amenées à encadrer les formations de touristes dans l'espace. Et c'est ce que nous allons aborder dans une seconde partie.

## **Titre II – La préparation au vol spatial**

Nous allons aborder les différentes structures organisationnelles envisagées.

### **Chapitre I : Quelques généralités :**

Aujourd'hui, en France, tout volontaire à un sport ou une activité à risque doit fournir un certificat médical qui déclare qu'il ne souffre d'aucune contre-indication générale ou spécifique à cette activité. En fonction de celle-ci, le candidat consulte le médecin spécialisé dans le domaine qui l'intéresse.

Aujourd'hui si quelqu'un désire apprendre à piloter un avion, il doit s'adresser à un médecin qualifié en médecine aéronautique et agréé par la DGAC et plus spécifiquement sa branche médicale qui est le Conseil Médical<sup>47</sup>. En effet, la spécificité des connaissances à acquérir dans le milieu aéronautique fait que dans la plupart des pays dits développés, seuls des médecins, ayant validé un certain nombre d'enseignements, sont autorisés à délivrer cette autorisation.

Il existe ainsi une liste de qualifications reconnues par les fédérations sportives que doivent avoir validées les médecins pour pouvoir délivrer un certificat de non contre-indication à ces activités.

Mais comment appliquer ces règles basiques aux activités spatiales ?

Les connaissances très spécifiques de ce domaine d'activité requièrent indéniablement une compétence particulière. En France, le médecin diplômé en médecine aéronautique, semble être un candidat solide à assumer cette tâche s'il effectue un complément de formation. Il serait alors très facile pour le candidat au vol de se procurer une liste détaillée des médecins agréés auprès de la compagnie qui lui propose le voyage. Dans le même temps le CMAC devra réunir tous ses experts afin de déterminer un consensus sur la question.

Cependant, il est fort à parier que la France ne sera pas la première nation à envoyer des touristes dans l'espace. Afin d'uniformiser ce grand marché, puisque la clientèle est internationale, il faudra imposer une norme médicale internationale.

---

<sup>47</sup> CMAC : Conseil médical de l'aviation civil

Nous pourrions aussi réfléchir à un autre scénario. Aucune visite préalable ne sera demandée aux volontaires. Ces derniers s'envoleront directement pour l'astroport de leur choix et ce n'est que sur place qu'ils trouveront du personnel médical employé par les entreprises organisatrices de vol, des centres privés d'entraînement et de certifications (avec une forme plus ou moins évidente de sous-traitance) ou bien des organismes publics.

Quoiqu'il en soit, ces équipes devront être remplies d'experts dans la médecine spatiale. Elles devront être capables de mener des tests supplémentaires comme la centrifugeuse ou le caisson hypobare<sup>48</sup>. Quoiqu'il en soit une réflexion internationale doit être menée sur les rôles, prérogatives de chacun.

## **Chapitre II : Préparations concrètes au vol**

Les particularités physiques, techniques, environnementales du vol suborbital impliquent une préparation des candidats, qui ne sont pas des astronautes professionnels. Chaque opérateur choisira la durée et le type d'entraînement en relation avec les caractéristiques de son propre avion spatial, ses système de bords etc. La préparation pourrait comprendre deux types de procédures.

Les procédures pratiques obligatoires, permettant de satisfaire aux règles légales établies par la FAA s'appliquant au tourisme suborbital, notamment la nécessité d'entraîner chaque participant avant le vol à la manière de réagir aux situations d'urgence<sup>49</sup> comme le feu, la fumée, la dépressurisation etc.

Les procédures non obligatoires du moins légalement mais envisagées directement et volontairement par les opérateurs pour simuler avant le vol suborbital certaines de ses caractéristiques. On pense notamment à la centrifugeuse mais aussi à la découverte de l'impesanteur lors d'un vol parabolique. Ce qui impliquerait des surcoûts importants.

---

<sup>48</sup> Installation étanche au sein de laquelle un patient peut être amené à subir des pressions supérieures à celle de la pression atmosphérique

<sup>49</sup> Human Space Flight Requirements

## I- Préparation dans les centres d'entraînement aérospatial :

Le savoir-faire et l'expérience de ces sociétés seront incontournables pour prendre en charge une partie de l'entraînement des passagers.

Le NASTAR Center est le premier centre d'entraînement ayant les infrastructures adéquates à la découverte de sensations ressenties dans l'espace. NASTAR est une société américaine d'entraînement des personnels aéronautiques et qui dispose de caisson hypobare permettant l'entraînement au vol de haute altitude. Des situations d'urgence sont réalisées comme la dépressurisation et la réalisation de certaines procédures de secours. Elle dispose également d'une centrifugeuse permettant de recréer les accélérations qui seront rencontrées lors du vol suborbital, mais aussi des simulateurs sensoriels, simulateurs de vol etc.

NASTAR est aujourd'hui associé à Virgin Galactic. L'objectif étant pour une entreprise comme Virgin de concentrer ses efforts pour la réalisation du vol quand NASTAR s'occupe de former les futurs voyageurs.

## II- Enseignement théorique du transporteur spatial :

Les sociétés de voyage suborbital assureront sur le lieu de l'astroport une formation théorique à leurs passagers en délivrant des notions techniques, astronautiques et médicales.

On peut penser aux notions de base de physique comme la gravitation, les différentes forces. Des notions d'aéronautiques telles que le principe des moteur-fusée, trajectoires, sortie et rentrée atmosphérique. Les caractéristiques physiques de la haute altitude auxquelles ils devront être confrontés comme le vide, les radiations, la température, la pression ainsi que des éléments de physiologie humaine comme les effets des accélérations, les effets de l'impesanteur sur l'organisme etc.

Cet enseignement est généralement organisé au cours de la semaine qui précède le vol suborbital, en parallèle avec l'enseignement pratique. Plusieurs sociétés ont mis en ligne le programme de leur préparation qui est assez souvent intensif. On pourrait imaginer qu'il soit plus étaler dans le temps avec par exemple l'envoi de ces notions plus en amont de manière à ce que les participants puissent avoir le temps de les étudier.

### III- Enseignement pratique effectué par le transporteur suborbital :

Certains éléments de l'enseignement et des démonstrations pratiques resteront vraisemblablement à la charge des sociétés privées de vol et seront effectuées sur le lieu de l'astroport. On pourrait trouver des visites de l'astroport, du centre de contrôle de mission, une familiarisation avec le véhicule suborbital, un entraînement en simulateur spécifique, une utilisation des scaphandres spatiaux, une légère formation aux communications radio ou encore les gestes de premiers soins.

Par exemple le programme d'entraînement au vol suborbital de Virgin Galactic est très proche des éléments énoncés. Ils disposent d'une maquette de l'avion porteur ainsi que d'une réplique de l'avion spatial SpaceShip. Autant d'éléments qui sont utiles à la mise en situation des futurs passagers.

Malheureusement, il serait malhonnête de penser que toute personne désirant aller dans l'espace pourra le faire. Premièrement parce que les autorités régulatrices ne sont pas à la page et ne permettent pas (encore) de faciliter la commercialisation à grande échelle. Il faut également rester pragmatique sur les dates de la mise en service des ces vols et du prix encore indéterminé de ces derniers. Et de manière plus générale, n'étant pas tous égaux face la nature, certaines personnes ne détiendront pas les aptitudes physiques et/ou psychiques pour obtenir leur billet pour l'espace.

# CONCLUSION

Que de chemin parcouru en quelques dizaines d'années seulement entre le périple de Gagarine, cosmonaute russe, pionnier de l'humanité et héros de tout un peuple, et Dennis Tito, premier humain à payer son billet pour l'espace.

Nous sommes désormais sur une trajectoire irréversible qui amènera tôt ou tard un nombre croissant de visiteurs non professionnels à la frontière de l'espace. L'avènement des premiers promoteurs sérieux de vol suborbital ou spatial a bousculé le monde de l'aéronautique et c'est encore le cas tant il est en constante innovation. Pour la première fois dans l'histoire de l'industrie aérospatiale, une porte s'est ouverte pour que se concrétise le vieux rêve du voyage dans l'espace de l'homme de la rue, jusqu'alors présenté comme des exploits à la télévision. Les agences spatiales étaient les seules à opérer des vols spatiaux habités. Or, depuis qu'un simple concours a consacré le début de cette nouvelle quête, le vol suborbital d'origine privée pourrait à moyen terme faire partie intégrante du paysage aérospatial planétaire. On peut facilement imaginer l'envoi régulier voir quotidien de vols entre la surface de la Terre et la frontière de l'espace mis en œuvre par divers opérateurs depuis des astroports disséminés sur la planète. En France, certains sites ont déclaré être prêts à accueillir ce type de structure (Montpellier et Perpignan).

Bien sur il demeure de nombreuses inconnues, mais combien serons nous à être allé admirer l'immensité de l'espace d'ici à 50ans ?

Le secteur spatial souffre quand l'économie de marché souffre alors qu'elle n'en fait pas encore partie. Comme bien souvent, la recherche et le développement nécessaire à la mise au point auront des retombés économiques très variées. N'était-ce pas le cas pour le programme Apollo ?

Rendre le vol dans l'espace plus accessible en concernant un maximum d'individus dans leur quotidien est indéniablement porteur de développement. Bien sur il faudra que les prix soient attractifs mais une fois lancé sur les bons moteurs-fusées, le secteur décollera, nous aurons alors peut être la chance de faire partie de cette aventure.

La réalisation future de ces rêves peut nous amener à rêver de voyages encore plus grands, plus loin, plus dangereux. Prenez l'exemple d'Elon Musk, cet entrepreneur qui se voit déjà faire un vol aller retour sur la planète rouge située à plus de 9 mois de voyage *one way* de la Terre.

Et après tout pourquoi pas ? Quelqu'un avait-il prédit l'essor spectaculaire de l'aviation et toutes ses applications hormis quelques visionnaires ?

Les domaines ouverts par le développement du vol suborbital dépassent donc largement le cadre d'un nouveau projet technologique. Il prend désormais place dans une dimension plus globale et pourrait faire converger les sciences, le développement économique et la grande aventure de l'exploration humaine. Il n'est donc pas illusoire de penser que le vol suborbital participe inévitablement au futur de l'humanité.

Et si une activité aussi spectaculaire et enrichissante que celle de montrer à l'homme la beauté sans artifice de sa planète natale, peut faire évoluer les habitudes, les croyances et les visions d'avenir du peuple humain, alors nous gagnerions tous à prendre un peu de hauteur.

# SOURCES

## Documents :

- Accord-cadre entre le centre national d'études spatiales et le centre pour le développement technologique industriel relatif à une coopération renforcée dans le domaine des activités spatiales
- Rapport du groupe sectoriel sur le transport spatial – académie nationale de l'air et de l'espace
- Etude de potentiel client de Socotec menée entre le 1<sup>er</sup> et le 16 octobre 2009
- Stratégie spatiale française. 2014 – Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
- Règlement aéronautique et qualité n°6075
- « Les contraintes aéroportuaires » - Revue française de droit aérien et spatial, 01/2008 - Lelieur
- Manuel de spécifications d'organisme d'entretien, Esterline
- Cours de droit aérien et spatial – Vincent GRELLIERE
- Revues Science et Avenir 2015 -2017
- Revues Air et Cosmors 2017
- Fascicule DGAC – Maintient de la validité du certificat de navigation - 2014

## Bibliographie :

- A la conquête de l'espace. De sputnik à l'homme sur Mars, Jacques Villain
- Les enjeux d'un développement durable des activités spatiales – Gérard Brachet
- Space careers – Scott Sacknoff
- Yearbook on Space Policy 2015 : Access to Space and the Evolution of Space Activities – Cenani Al-Ekabi
- Evolution of international aviation – Dawna Rhodes

## Traités et lois :

- Code de l'aviation civile
- Code du tourisme
- Loi de 2008 relatives aux opérations spatiales
- Loi américaine du Nouveau-Mexique de 2009
- Traité de l'espace de 1967

Recherches internet :

- osac.aero/obtenircdn
- uniktourspace.com
- spacex.com
- blueorigin.com
- icao.int
- virgingalactic.com
- nasa.gov
- faa.com
- easa.europa.eu
- esa.int
- site du ministère de l'écologie et du développement durable / DGAC
- air
- cairn.info
- académie-air-espace.com
- bsi-economics.org
- wikipedia.fr
- ladocumentationfrançaise.fr
- rocketplane.com
- eads.com
- nastarcenter.com
- asma.org
- xprize.org
- et plus encore

## ABREVIATIONS

ESA : European Space Agency

CTA : Certificat de Transport Aérien

CTS : Certificat de Transport Spatial

CAC : Code d'Aviation Civile

CNES : Centre National d'Etude Spatial

FAA : Federal Aviation Administration

EASA : Agence européenne de la sécurité aérienne

DGAC : Direction générale de l'aviation civile

FAI : Fédération Internationale Aéronautique

NASA : National Aeronautics and Space Administration

## Table des matières

Introduction.....	4
Partie I - Cadre réglementaire.....	10
Titre I - Certification et licences essentielles au développement de l'activité.....	12
Section I - Ansari X-Prize.....	12
Section II - Le certificat de transport spatial.....	14
Section III - Le certificat de navigabilité.....	17
Section IV - La licence d'exploitation.....	19
Titre II - Contraintes juridiques liées à l'activité .....	20
Chapitre I - Contraintes juridiques liées à l'activité.....	20
Section I - Problème de droit applicable.....	21
Section II - Éléments de régimes applicables.....	22
I- Le véhicule comme aéronef.....	22
II- Le véhicule comme objet spatial.....	23
Chapitre II - Les infrastructures au sol.....	23
Section I - Utilisation d'installation aéroportuaire classiques.....	24
Section II - L'astroport.....	25
Chapitre III - Le vol suborbital.....	26
Section I - Le statut de l'exploitant.....	26
I- Transporteur aérien.....	26
II- Agent de voyage ? .....	26
III- Opérateur spatial.....	27
Section II - L'équipage du vol suborbital.....	27
Section III - Les règles de responsabilité du fait des activités spatiales.....	28
Partie II - Cadre technique et environnemental.....	30
Titre I - Conception d'un véhicule spatial suborbital.....	30
Chapitre I - Conception d'un véhicule spatial orbital.....	30
Chapitre II - L'environnement spatial.....	34
Chapitre III - Les contraintes physiques supportées par l'équipage et le véhicule.....	34
Section I - Trajectoires suborbitales.....	34
Section II - Echauffement thermique.....	35
Titre II - Les principaux concepts de véhicules suborbitaux habités.....	36
Chapitre I - Les modes de décollages possibles.....	37
I- Tir vertical.....	37
II- Tir horizontal.....	37
III- Largage du véhicule.....	38
IV- Décollage horizontale.....	38
V- Analyse globale.....	38
Chapitre II – Les modes d'atterrissages possibles.....	39
I- Vol final horizontal.....	39
II- Atterrissage vertical avec parachutes.....	39
III- Système de freinage final vertical par moteur-fusée.....	39
IV- Système de récupération à l'aide de rotor.....	40
Chapitre III- Facteurs déterminants dans la conception d'un véhicule habité.....	40
Partie III - Autorités régulatrices et préparation au vol suborbital.....	43
Titre I - Autorités compétentes.....	43

Chapitre I – Organismes de contrôle.....	43
Section I – EASA / ESA.....	43
Section II - FAA.....	44
Titre II - La préparation au vol spatial.....	46
Chapitre I - Quelles généralités.....	46
Chapitre II – Préparations concrètes du vol.....	47
I- Les centres d’entraînement.....	48
II- Enseignement théorique.....	48
III- Enseignement pratique.....	49
Conclusion.....	50

## ANNEXES

I- Loi de Kepler : Loi en orbite : Les planètes du système solaire décrivent des trajectoires elliptiques, dont le Soleil occupe l'un des foyers.

Dans le référentiel héliocentrique, le Soleil occupe toujours l'un des deux foyers de la trajectoire elliptique des planètes qui gravitent autour de lui. À strictement parler, c'est le centre de masse qui occupe ce foyer ; la plus grande différence est atteinte avec Jupiter qui, du fait de sa masse importante, décale ce centre de masse de 743 075 km ; soit 1,07 rayons solaires. Des déplacements plus importants peuvent être obtenus en cumulant les effets des planètes sur leur orbite.

Les ellipses que décrivent les centres de gravité des planètes sont quasi-circulaires, ayant une faible ou très faible excentricité orbitale, les plus élevées étant celles de Mercure ( $\sim 0,2$ ), suivie de celle de Mars ( $\sim 0,09$ ). C'est cette dernière que Kepler a utilisée pour sa découverte de la première loi, et il est aidé en cela par la faiblesse de l'excentricité de l'orbite de la Terre ( $\sim 0,017$ ) relativement à celle de Mars<sup>1</sup>. Les foyers sont eux bien distincts du centre de l'ellipse.

## II- Budget spatiaux à travers le monde :

