

6. L'aviation moderne

6.1. Le mur du son et l'aviation militaire

Après la deuxième guerre mondiale, les avions à réactions sont militaires et s'approchent de la vitesse du son (environ 1100 km/h selon la température). Les pilotes qui ont atteint cette vitesse rapportent que l'avion est instable et que les commandes durcissent.

On utilise pour l'occasion le _____ qui est le rapport entre la vitesse d'un objet et la vitesse du son dans un fluide.

En 1945, le pilote allemand Mutke aurait franchi le mur du son lors d'un piqué à 12000 mètres avec son Messerschmitt 262 mais il est difficile d'attester ce fait. En 1947, la Société américaine Bell-Aircraft mène une série d'essais, pour le compte de l'US Air-Force.



(a) Configuration avec B29



(b) Avion seul

Figure 36 – Avion Bell X-1

L'avion fabriqué, pour cette tentative, était le Bell X-1, avion entièrement métallique, et très robuste. Pour le dessiner, les ingénieurs s'inspirèrent d'une balle de pistolet. Il était nécessaire que cette avion soit amené en altitude par un B-29 modifié. Ainsi, en octobre 1947, _____ aux commandes de son Bell X-1, atteint les 12000 m et franchit le mur du son en piqué. Le pilote britannique John Derry fera de même sur un Vampire en 1948 tandis que Roger Carpentier sera le premier pilote français à passer le mur du son en piqué sur un Mystère II en 1952.

Remarque : À noter que dès 1946, le premier avion à réaction français est conçu : le SO-6000 Triton dont les premiers travaux ont débuté pendant l'occupation allemande, sous la direction de Lucien Servanty qui participera activement à la conception du Concorde bien plus tard.



(a) Chuck Yeager



(b) Roger Carpentier

Figure 37 – Premiers aviateurs à franchir le mur du son

Si les premiers avions à passer le mur du son sont uniques et demandent un travail intense, le développement de ces avions en série commence en 1953 avec le Super Sabre F-100 américain de North American Aviation. Le Dassault Ouragan est le premier véritable appareil de série avec un réacteur.

En 1961, Dassault Aviation réalise le premier avion de combat européen capable de passer Mach 2 : le Mirage III. Ceci signifie que l'avion vole au double de la vitesse du son.

En 1981 est conçu un avion dit « stealth » c'est-à-dire difficilement détectable avec un radar. Le stealth très particulier de cet avion renvoie les ondes radar dans des directions qui ne permettent pas à la station de le détecter.



(a) F117



(b) Jacqueline Auriol

Figure 38 – Furtivité et mur du son

La première femme à passer le mur du son est Jacqueline Auriol : elle passe Mach 1 en 1953 et Mach 2 en 1963 sur Mirage III.

Entre 1963 et 1967, le X15 qui est un mélange entre avion et fusée atteint plus de 100000 mètres d'altitude et Mach 6,7. Il faudra attendre 2004 pour que le X43 (équipé d'un scramjet) atteigne Mach 10.

6.2. Développement de l'aviation commerciale

Comme mentionné plus haut, l'aviation commerciale, c'est-à-dire le transport de passager et de bien débute en 1946. Le Lockheed Constellation permet à quarante passagers de traverser l'atlantique en un peu moins de dix heures.

Les premiers avions à réaction commerciaux commencent à être dévoilés en 1949 comme le quadriréacteur De Havilland DH-106 Comet. Il connaît une série d'accidents dus à la pressurisation de la cellule. Une rupture

des ailes en vol puis une explosion du fuselage en 1954 aura raison des vols commerciaux avec ce type d'appareil.



(a) Lockheed Constellation



(b) DH-106

Figure 39 – Début de l'aviation commerciale

Le transport aérien connaît une véritable révolution en 1957 avec le _____. Il sera fabriqué à 9000 exemplaires avec la forme caractéristique des avions de lignes contemporains : ailes en flèche, réacteurs séparés et disposés sous la voilure. La France réalise son premier avion de ligne à réaction en 1957 : la _____, dont les deux réacteurs sont accrochés à l'arrière de l'appareil, ce qui sera repris par de nombreux constructeurs. L'appareil sera produit en 280 exemplaires et sera exploité par Air Inter jusqu'en 1991.



(a) B707



(b) Caravelle

Figure 40 – Exploitation commerciale intensive

En 1963, Dassault développe un avion d'affaire en appliquant des solutions techniques éprouvées sur ses avions militaires. Dans un premier temps baptisé Mystère 20, il portera le nom de _____, plus facile à prononcer pour les Américains.

Les années 1968 et 1969 voient une course à l'aviation de transport supersonique. Le Tupolev 144 et le Concorde réalisent leur premier vol durant ces deux années. En 1976, les vols commerciaux débutent et s'achèveront en 2003. Le coût du carburant et de l'entretien permettent difficilement ce type d'aviation et l'accident de l'an 2000 mettra un coup d'arrêt au programme Concorde.

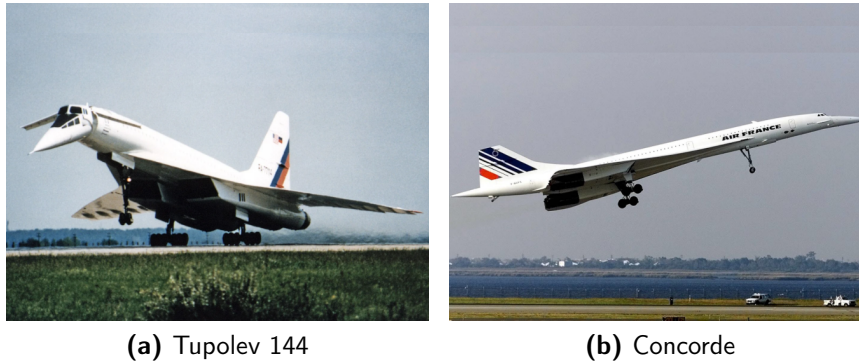


Figure 41 – Avions supersonique

En 1969, on améliore grandement le nombre de passagers par avion avec l'arrivée du Boeing 747. Les premiers exemplaires seront livrés un an plus tard à Air France pour la ligne Paris-New York.

Les États-Unis dominent à cette période le marché de la fabrication d'avions de ligne. Pour lutter contre cette concurrence, les Européens créent Airbus-Industries, consortium qui regroupe la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Espagne. En 1972, le premier vol de l'A300 est un aboutissement de cette stratégie venant directement concurrencer le B767. Les innovations technologiques amènent Airbus à concevoir l'A320 : premier avion à commandes de vol électriques et dont l'équipage conduisant le vol est limité à deux. Boeing et Airbus vont poursuivre leur concurrence :

- A340 et B707 pour les _____ ;
- A380 et B747 pour les _____ ;
- A350 et B787 pour l'utilisation des _____
comme les fibres de carbone.



Figure 42 – Concurrence Airbus/Boeing

6.3. Nouvelles motorisations et nouveaux carburants

Les questions environnementales et la quantité de carburant nécessaire pour faire voler un avion sont au cœur des préoccupations actuelles.

Dès 1979, un avion à pédales, le Gossamer Albatross, traverse la manche. En 1986, Dick Rutan et Jeanna Yeager réalisent le premier tour du monde sans escale ni ravitaillement sur Voyager, ce qui demande la conception d'un aéronef qui consomme très peu de carburant.

Les considérations sur des moteurs nouveaux, _____ ou à _____ n'en sont qu'à leurs balbutiements : le rapport poids-puissance mis en jeu n'est pas encore optimal pour envisager le renouveau des moteur.

En 2015, l'E-Fan d'Airbus et le Cri-Cri, avions _____ traversent chacun la Manche puis, en 2016, _____ boucle son tour du monde, avec comme pilotes André Borschberg et Bertrand Picard.



(a) Solar Impulse II



(b) E-Fan

Figure 43 – Nouvelles motorisations

7. La conquête spatiale

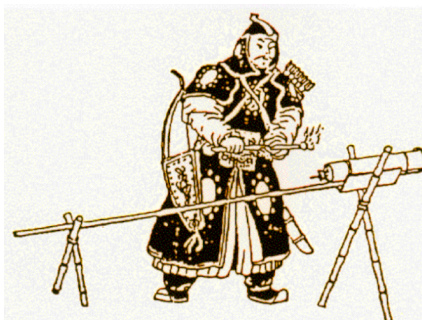
7.1. De l'utopie aux missiles de la Seconde Guerre mondiale

L'idée de voyager dans l'espace, d'atteindre une autre planète ou la Lune est très ancienne. Les premiers récits, fantaisistes et philosophiques plutôt que techniques, datent du II^e siècle avec notamment le voyage d'Ulysse jusqu'à la Lune dans une panse de baleine où il assiste à une guerre entre les Sélénites (habitants de la Lune) et les habitants du Soleil.

Les premières fusées furent des armes apparaissant en Chine, aux alentours du XIII^e siècle et des récits de guerre mentionnent leur existence. Leur imprécision sera très vite corrigée par l'artillerie.

Le roman *De la Terre à la Lune* de Jules Verne, édité en 1865 et diffusé mondialement, raconte un voyage vers la Lune à bord d'un obus tiré par un canon géant. Si Jules Verne fit l'erreur de ne pas réaliser que les voyageurs seraient tués par l'énorme accélération due au tir, il expliqua à juste titre dans son roman que le corps du chien accompagnant les héros, largué depuis le vaisseau en déplacement dans l'espace, continuerait son mouvement sur une trajectoire parallèle au vaisseau.

Le Voyage dans la Lune est un film muet de science-fiction français écrit, produit et réalisé par Georges Méliès, et sorti en 1902.



(a) Soldat chinois allumant une fusée



(b) *Le Voyage dans la Lune*

Figure 44 – Balbutiements

Tous ces récits restèrent utopiques malgré les tentatives d'explications et d'inventions techniques et il semble impossible, pour la grande majorité de la population, d'atteindre l'espace. Pourtant, la technologie du XVIII^e siècle commencent à permettre des essais sérieux sur le décollage et la libération de la pesanteur terrestre.

À partir de 1909, Robert Goddard, un enseignant d'université aux États-Unis travaille sur la réalisation de fusées à étages et à propulsion liquide pendant que Constantin Tsiolkovski, russe et s'attelle à décrire le principe d'une fusée assez puissante pour se libérer de l'attraction terrestre. Si Goddard fut la cible de moqueries de la part des journalistes américains de l'époque, Tsiolkovski était pris plus au sérieux par ses compatriotes.

Dans le même temps en Allemagne, Hermann Oberth travaille lui aussi sur les fusées, et publie en 1923 une thèse sur le sujet.

Même si le voyage dans l'espace passionne assez peu la population — contrairement à l'aviation — des « sociétés d'astronautique » se créent dans différents pays.

La Seconde Guerre mondiale vient catalyser la propulsion des fusées avec les travaux de l'allemand Wernher von Braun. Malgré le manque de fiabilité de ses tirs avant fin 1944, le missile V2 fut le premier missile balistique opérationnel.



(a) Von Braun



(b) Missile V2

Figure 45 – Le premier missile balistique

7.2. La course à l'espace

L'histoire de l'exploration spatiale est marquée, à ses débuts, par une forte concurrence entre les États-Unis et l'URSS, pour des motifs de prestige national liés à la guerre froide. Cette période est la « _____ ».



(a) Youri Gagarine

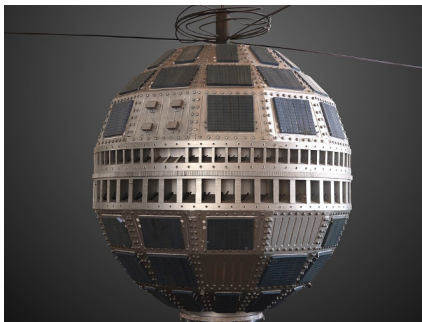


(b) Spoutnik 1

Figure 46 – Premiers vols spatiaux

Plusieurs événements marquent cette course à l'espace :

1. le premier vol spatial orbital de l'Histoire, le 4 octobre 1957, par le satellite soviétique _____ ;
 2. Spoutnik 2 est lancé le mois suivant avec un être vivant à son bord _____ ;
 3. le premier vol dans l'espace par un être humain, le 12 avril 1961, avec le soviétique _____ très vite suivi par l'américain Alan Shepard et la première femme soviétique Valentina Terechkova en 1963 ;
 4. en 1962, le premier satellite de télécommunication américain _____ est mis en orbite ;
 5. le premier vol extravéhiculé par un être humain le 18 mars 1965 au cours du vol orbital du Soviétique Alexeï Leonov ;
 6. le premier pas sur la Lune le 21 juillet 1969 par l'astronaute _____ dans le cadre des missions _____ avec le lanceur Saturn V.
- Le premier satellite français nommé _____ est lancé en 1965.



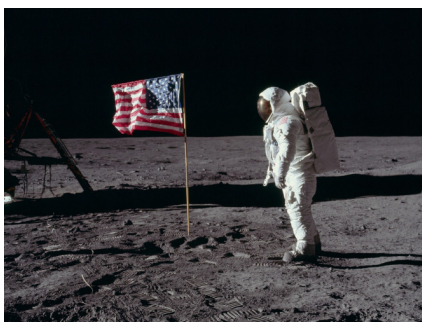
(a) Telstar



(b) Astérix

Figure 47 – Premiers satellites

La phrase de Neil Armstrong, en posant le pied sur le sol lunaire, restera célèbre : « That's one small step for [a] man, one giant leap for mankind ».



(a) Neil Armstrong



(b) Module lunaire Eagle

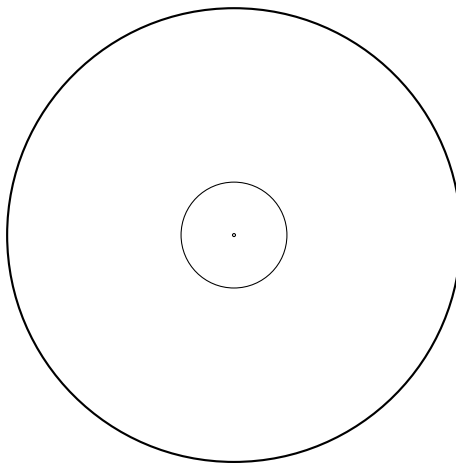
Figure 48 – Mission Apollo 11

Ces exploits se situent au cœur de la Guerre Froide et constituent des démonstrations de force de la part de l'URSS et des États-Unis. C'est notamment Wernher von Braun qui participe au développement de Saturn V. Côté européen, le premier vol d'_____ (lanceur) a lieu en 1971.

Remarque : De nombreux satellites d'observation (météorologique par exemple) sont placés en orbite géostationnaire, c'est à dire qu'ils sont toujours placés au dessus de la même zone terrestre au dessus de l'équateur. Calculons l'altitude d'un satellite géostationnaire. On donne, en notant a l'accélération d'un corps en orbite, F la force qui s'exerce sur lui, m sa masse, v sa vitesse, d sa distance par rapport au centre de la Terre :

- la seconde loi de Newton donne : $F = m \times a$;
- la loi donnant l'accélération pour un mouvement circulaire uniforme $a = \frac{v^2}{d}$;
- la loi de la gravitation universelle énonce : $F = G \times M_T \left(\frac{m}{d^2} \right)$.

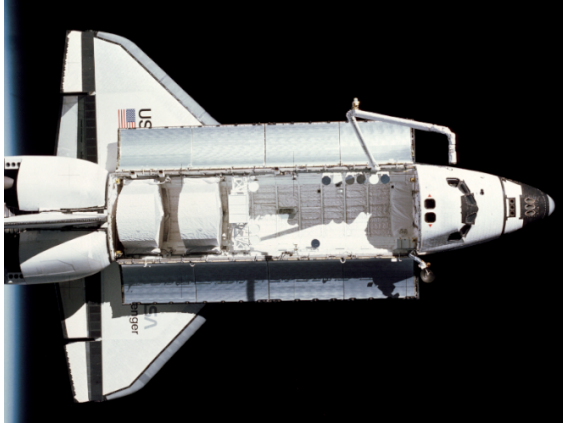
On donne également la constante gravitationnelle $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ et la masse de la Terre $M_T = 5,9722 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. Les unités en jeu sont le mètre, la seconde et le kilogramme dans les formules précédentes.



7.3. De la fin de la Guerre Froide à nos jours

Les technologies spatiales se sont ensuite développées pour l'exploration scientifique des planètes ainsi que pour l'usage commercial de l'espace grâce, par exemple, aux satellites de télécommunications.

La première navette spatiale, _____, qui est américaine, vole de 1980 à 1986 suivie par _____ de 1986 à 2003. Leurs derniers vols se soldent par des accidents ayant mené aux destructions de ces navettes.



(a) Challenger



(b) Columbia

Figure 49 – Navettes spatiales

Le premier astronaute français, Jean-Loup Chrétien rejoint l'espace en 1982 et la première française, Claudie Haigneré, en 1996. Le premier chinois dans l'espace, Yang Livei, attendra 2003 pour voler.

Les premières stations spatiales sont mises en orbite comme Saliout I en 1971, Skylab en 1973, Mir en 1986 jusqu'à la _____ en 1998 et la station spatiale chinoise depuis 2021.



(a) Station Mir



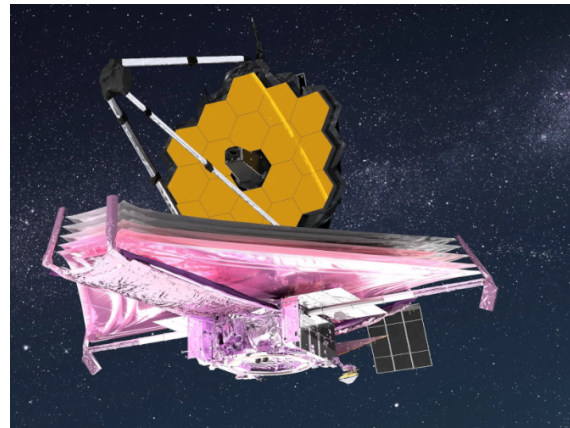
(b) Station spatiale internationale

Figure 50 – Stations spatiales

De nombreuses sondes sont envoyées, comme Galileo, partie en 1989 à destination de Jupiter, ou Cassini-Huygens, lancée en 1997 pour Saturne. Cependant, de nombreux objets transneptuniens et autres astéroïdes restent à explorer, et les sondes Voyager, les objets les plus lointains envoyés par l'humanité à ce jour, ont tout juste franchi l'héliopause — là où le vent solaire n'a plus d'effet contre le milieu interstellaire — au cours des années 2000. Des télescope orbitaux sont aussi lancés comme _____ en 2022.



(a) Voyager



(b) James Webb

Figure 51 – Sondes et télescopes

Aujourd'hui, l'exploration spatiale est avant tout commerciale et scientifique, et le tourisme spatial intéresse également les entreprises, à travers le partenariat avec des agences spatiales et par le développement de leur propre flotte de véhicules spatiaux.

Le futur de l'exploration spatiale est difficile à anticiper tant les incertitudes sont grandes. Si l'on peut citer, en 2015, le retour du premier étage de _____ sur son pas de tir, les collaborations internationales, sources d'émulation dans l'exploration spatiale, sont perturbées par les conflits géopolitiques terrestres. L'exploration de Mars ou l'installation d'une base lunaire sont des projets encore embryonnaires.



(a) Falcon 9



(b) Hypothétique base lunaire

Figure 52 – Futur de l'exploration spatiale