

Histoire et culture de l'aéronautique et du spatial

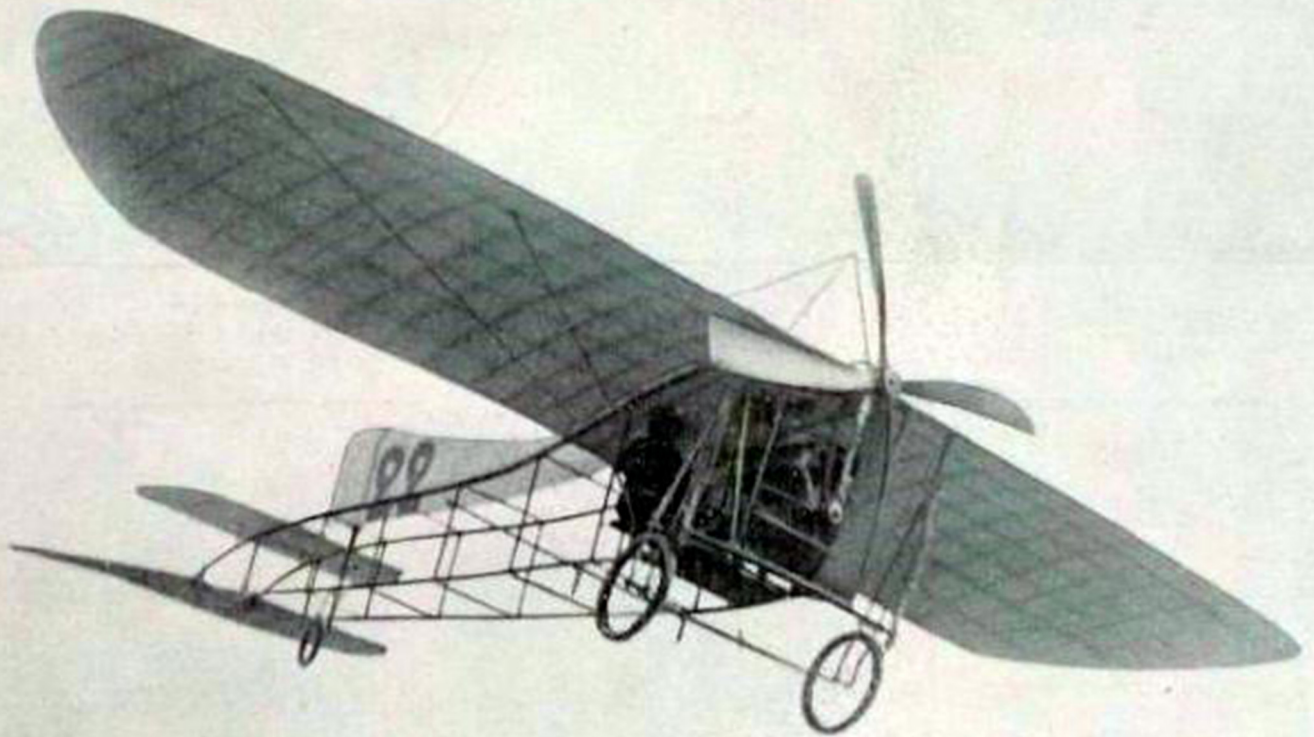


Table des matières

1. Du mythe à la réalité	5
1.1. Période antique	5
1.2. Créations de Léonard de Vinci	6
1.3. Premiers aérostats	7
2. Les pionniers de l'aviation	8
2.1. Perfectionnement des aérostats	8
2.2. Plus lourd que l'air : premiers vols planés	9
2.3. Perfectionnement du contrôle de l'aéronef	11
3. La Première Guerre mondiale	13
3.1. Contexte	13
3.2. Aéronefs de combats, d'observation, de bombardement	13
3.3. Entre deux-guerres et utilisation civile de l'aviation	16
3.4. Les aérostats : un coup d'arrêt	18
4. Développement de l'aviation civile à l'entre deux guerres	19
4.1. Aviation commerciale	19
4.2. Aéropostale	20
5. La Seconde Guerre mondiale	21
5.1. Contexte	21
5.2. Aviation militaire de la Seconde Guerre mondiale	23
6. L'aviation moderne	26
6.1. Le mur du son et l'aviation militaire	26
6.2. Développement de l'aviation militaire, commerciale et légère	27
6.3. Nouvelles motorisations et nouveaux carburants	30
7. La conquête spatiale	31
7.1. De l'utopie aux missiles de la Seconde Guerre mondiale	31
7.2. La course à l'espace	32
7.3. De la fin de la Guerre Froide à nos jours	35

1. Du mythe à la réalité

Cette partie concerne les prémices de l'aviation et est parfois intégrée à la période qu'on appelle **les précurseurs**.

1.1. Période antique

L'être humain a probablement très tôt rêvé de voler en lien avec l'observation des animaux capables de voler. Des légendes de la mythologie grecque, dont celles de **Dédale et Icare**, du dieu Zeus (métamorphosé en **cygne ou en aigle**), du cheval ailé **Pégase**, indiquent que les êtres humains ont tenté d'imiter les oiseaux. D'autres récits, plus précis mentionnent les tentatives de vol **d'ornithoptères** bioniques harnachés d'ailes. Le tapis volant, lié à la culture perse, en est une autre manifestation.



(a) Fresque d'Icare.



(b) Mosaïque de Pégase.

Figure 1 – Mythes autour du vol.

Détaillons le contenu de la légende de Dédale et Icare. Pour s'enfuir du labyrinthe où ils sont enfermés, Dédale a l'idée de fabriquer des ailes imitant celle des oiseaux, confectionnées avec de la cire et des plumes. Une fois celles-ci réalisées, Dédale met en garde son fils Icare en lui interdisant de **s'approcher trop près** du soleil ainsi que de voler au-dessus de l'eau car ceci était trop dangereux. Malheureusement, Icare oublie cet interdit : il prend trop d'altitude ce qui fait fondre la cire de ses ailes. Il meurt précipité dans la mer.

Des « objets volants » apparaissent très tôt dans l'histoire de diverses cultures. Le cerf-volant chinois remonte au IV^e siècle avant J.-C., et les égyptiens de l'antiquité égyptienne ont fabriqué des jouets ou maquettes en bois léger de balsa ayant la capacité de s'élever et de planer dans les airs (comme l'oiseau de Saqqara).



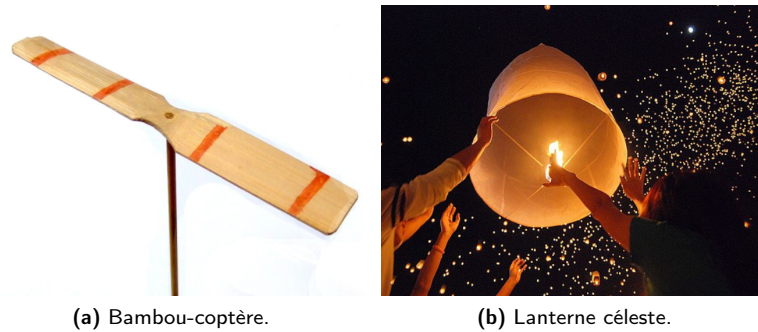
(a) L'oiseau de Saqqara.



(b) Cerf-volant chinois.

Figure 2 – Objets volants antiques.

Homme d'état, scientifique et philosophe, Archytas de Tarente (435 – 360 avant J.-C.) a des connaissances approfondies en mécanique. Il aurait créé une colombe en bois, premier automate capable de voler sur peut-être 200 mètres. Le jeu-jouet bambou-coptère, des années 320, de la dynastie Jin chinoise, est une des plus anciennes formes connues de rotor-pale-hélice-aile d'aéronef de l'histoire de l'aviation (arrivé en Europe au XV^e siècle) et la **lanterne céleste**, du III^e siècle, une des plus anciennes formes d'aéronef.



(a) Bambou-coptère.

(b) Lanterne céleste.

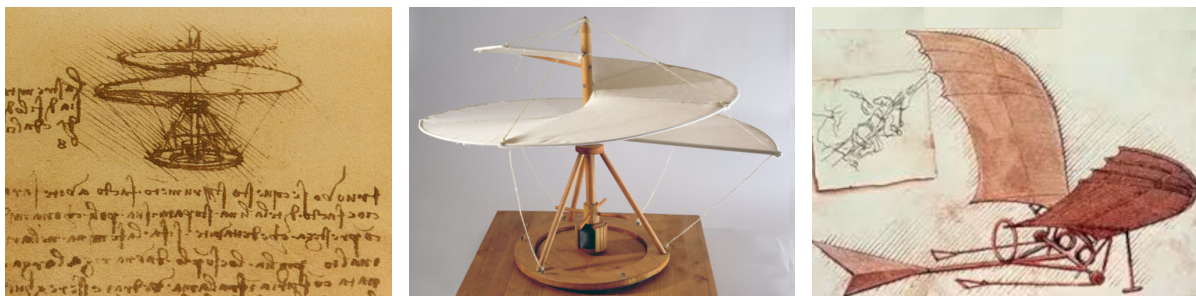
Figure 3 – Objets volants dans la culture chinoise.

Les récits de tentatives de vol, utilisant des plumes d'oiseaux notamment, ont été transmis oralement ou via des écrits peu précis. Il est vraisemblable que de tels tests aient été effectués également très tôt dans l'histoire de l'humanité sans pour autant être fructueux.

1.2. Créations de Léonard de Vinci

Alors qu'il est au service du duc de Milan Ludovic Sforza à titre d'ingénieur militaire, Léonard de Vinci étudie la perspective du premier vol aéronautique humain, entre 1485 et 1490, avec le **parachute** et le **vol plané des rapaces**. Ceci se manifeste également dans le Codex sur le vol des oiseaux de 1500.

À la suite de diverses expérimentations infructueuses, il abandonne l'étude d'ornithoptère à ailes oscillantes pour aborder ce problème à l'aide d'aile rigides. Il invente alors la **vis aérienne** en s'inspirant du bambou-coptère chinois (arrivé en Europe à son époque), et de la vis d'Archimède du III^e siècle avant J.-C., utilisée depuis l'antiquité pour faire monter de l'eau.



(a) Conception de la vis aérienne.

(b) Maquette actuelle de la vis aérienne.

(c) Planeur articulé.

Figure 4 – Créations de Léonard de Vinci.

Ce prototype de vis aérienne est motorisé par un axe principal en lame d'acier-ressort à échappement (et câble d'armature en roseau flexibles longs et forts) remonté comme un mécanisme d'horlogerie : « L'armature qui sous-tend la toile ci-dessus sera de roseaux longs et forts ; on peut faire un petit modèle en papier dont l'axe sera une mince lame d'acier, soumise de force à un mouvement de torsion ; rendue à sa liberté, elle fait tourner l'hélice ». Il met en place quelques principes du vol comme en témoignent ses écrits :

- « Si cette vis d'Archimède peut forcer l'eau à se déplacer au contraire de son sens naturel, c'est-à-dire du bas vers le haut, il est probable qu'une vis adaptée puisse se déplacer de la même manière dans cet autre fluide qu'est l'air qui nous environne » ;
- « La force avec laquelle une chose va contre l'air est égale à celle de l'air contre la chose ».

1.3. Premiers aérostats

Dans les années 1700, deux axes de recherche vont se développer :

- les partisans des **plus légers** que l'air qui sentent bien que leur rêve de s'élever dans les airs est réalisable ;
- les partisans des **plus lourds** que l'air qui veulent voler comme les oiseaux.

Le second axe se développera bien plus tard que le premier qui, lui, voit son essor au XVIII^e siècle.

Le 4 juin 1783, les **frères Montgolfier** font la démonstration que l'on peut s'élever dans les airs avec le premier ballon captif à air chaud. Ils renouvellent l'expérience le 19 septembre à Versailles en présence du roi Louis XVI, embarquant un mouton, un canard et un coq.

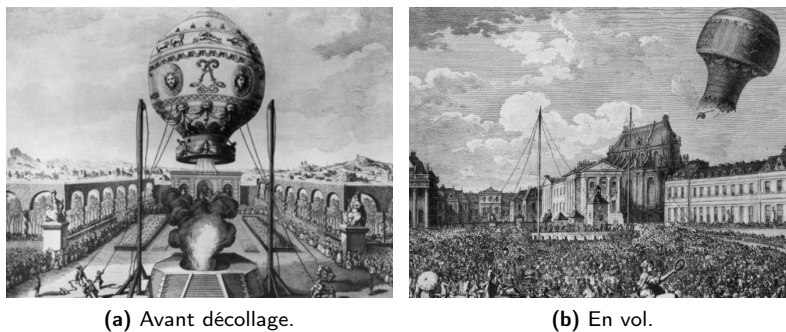


Figure 5 – Première montgolfière.

Le 21 novembre 1783, Pilâtre de Rozier et le Marquis d'Arlandes réalisent le premier vol libre en ballon. Ils parcourent 9 km au-dessus de Paris en 26 minutes. Le 1^{er} décembre 1783, c'est le premier vol d'un ballon à hydrogène qui dure plus de 2 h à 500 mètres d'altitude, réalisé par Jacques Charles et Nicolas-Louis Robert. En 1785, Blanchard et son passager J. Jeffries réalisent **la traversée de la Manche**, entre Douvres et Calais, à bord d'un ballon à hydrogène.



Figure 6 – Traversée de la manche.

Le 15 juin 1785, Pilâtre de Rozier se tue dans l'incendie de son ballon, dans une tentative de traversée de la Manche de la France vers l'Angleterre. C'est le premier accident aérien qui est considéré comme une « catastrophe aérienne ».

La première **utilisation militaire** des ballons est attestée en 1794 comme moyen d'observation lors la guerre de la Première Coalition entre les coalisés (Royaume-Uni, Saint-Empire, électorat de Brunswick-Lunebourg) et la France tout particulièrement au moment de la bataille de Fleurus le 26 juin. Pour la première fois, des soldats grimpent à l'assaut du ciel pour vaincre l'ennemi. Il s'agit d'espionner les mouvements de l'adversaire depuis un ballon à hydrogène. La France gagne cette bataille mais il est difficile de connaître le rôle de l'aérostation tant la supériorité numérique était réelle.



Figure 7 – Représentation de la bataille de Fleurus (peinture de Jean-Baptiste Mauzaisse).

Deux records d'altitude sont effectués les années suivantes :

- en 1797, André-Jacques Garnerin effectue le premier **saut en parachute** depuis un ballon (680 m hauteur) au-dessus de Paris ;
- en 1804, Gay-Lussac atteint **7000 m** et étudie le champ magnétique terrestre et la composition de l'air.

En 1858, Nadar réalise la première photographie aérienne de Paris depuis un ballon captif.



Figure 8 – Photographie aérienne de Paris.

Les aérostats vont continuer à se développer pendant quelques années mais c'est à ce moment que s'achève définitivement la période des **précurseurs** présentée dans cette partie pour que débute la période des **pionniers** du plus lourd que l'air.

2. Les pionniers de l'aviation

2.1. Perfectionnement des aérostats

Constatant la grande difficulté à diriger un ballon, la propulsion à l'aide d'un moteur est expérimentée et le premier dirigeable, mu par un **moteur à vapeur** se produit en 1852. Henri Giffard parcourt 27 km entre Paris et Élancourt à une vitesse moyenne de $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

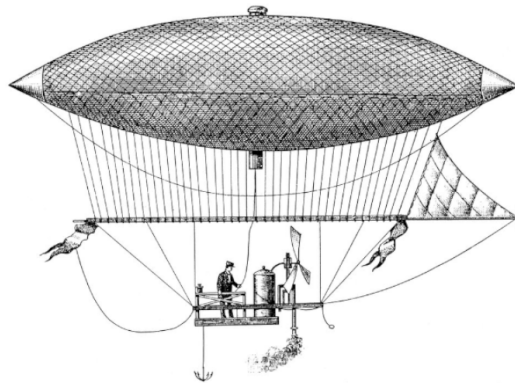


Figure 9 – Premier dirigeable.

Remarque : L'invention des premiers moteurs ne saurait être décorrélée des avancées de l'aviation. Si le premier moteur électrique date des années 1740 via les études d'Andrew Gordon, c'est bien le moteur à vapeur puis à essence qui vont permettre de poursuivre la conquête du ciel. Le développement des machines à vapeur, au cours du XIX^e siècle, au cœur de la Révolution Industrielle européenne, et notamment la machine de James Watt, est à mettre en regard des progrès menant à l'aviation moderne.

En 1884, le dirigeable « La France » de Charles Renard réalise le premier vol maîtrisé en circuit fermé. Il est actionné par un moteur électrique d'une dizaine de chevaux qui entraîne une hélice placée à l'avant de l'appareil. En 1898, **Santos-Dumont** adapte un moteur à essence sur un dirigeable ce qui lui permet en **1901** de contourner la Tour Eiffel.

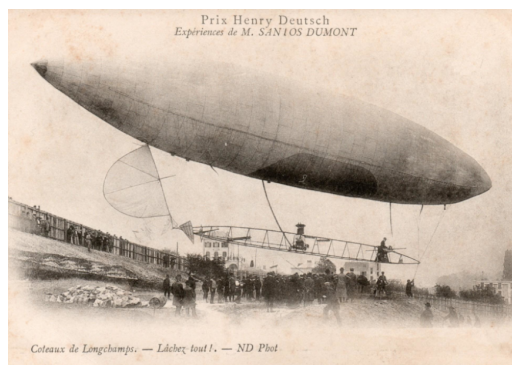


Figure 10 – Premiers dirigeables : l'expérience de Santos-Dumont.

À partir de 1906, l'Allemagne développe des dirigeables de grandes tailles grâce au **Baron Von Zeppelin** dont certains dirigeables tirent leur nom. A partir de 1928, les Graf-Zeppelin, longs de 236 m, sont constitués de cinq ballons enfermés dans une carcasse en aluminium, recouverte de toiles et actionnée par cinq moteurs de 530 cv. Ceux-ci pouvaient emporter jusqu'à 24 passagers dans un confort digne des grands bateaux de croisières à travers le monde.

2.2. Plus lourd que l'air : premiers vols planés

Le premier homme à avoir volé en planant serait le turc Hezârfen Ahmed Çelebi. Selon les écrits d'un voyageur turc, en 1632, il s'élança de la Tour de Galata de Constantinople et plana jusqu'à Üsküdar, sur la rive asiatique du Bosphore, grâce à des ailes qu'il avait lui-même confectionnées.

En 1801, l'officier et inventeur français André Guillaume Resnier de Goué confectionna des ailes en fil de fer recouvert de taffetas ciré, avec lesquelles il effectua une série de tentatives à Angoulême. Son premier essai n'aboutit

qu'à dévaler une pente rocheuse. Mais à sa deuxième tentative, sautant d'un pont haut de 5 mètres, il plana sur 50 mètres avant de plonger dans la Charente. Son troisième et dernier essai réussit. Sautant des remparts de la ville, il parcourut 300 mètres, survola la Charente et ne se cassa qu'une jambe à l'arrivée. Il avait 72 ans. Guillaume Resnier est sans doute un des premiers hommes, après le turc Hezârfen Ahmed Çelebi à avoir effectué un vol au sens de « planer ».



(a) Timbre représentant Ahmed Çelebi.



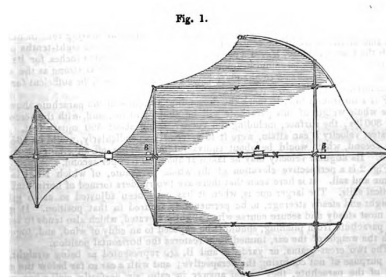
(b) Maquette de Resnier de Goué.

Figure 11 – Premiers hommes ayant plané.

Les véritables théories menant aux premiers planeurs datent de **1809** : le Britannique George Cayley (1773-1857) met en évidence quatre forces aérodynamiques du vol, la poussée, la trainée, le poids et la portance menant au décrochage. Il comprit également qu'il était inutile de reproduire le vol battu des oiseaux et que les ailes devaient être fixes. Il prédit la nécessité d'un empennage pour stabiliser le vol. Il construit cette année là, un **planeur** qui volera sans passager.



(a) Vue de profil.

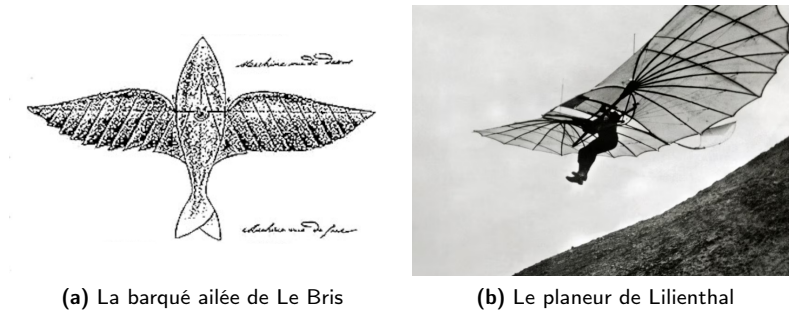


(b) Vue de dessus.

Figure 12 – L'invention de Cayley.

Dans les années 1848-1849 en Angleterre, Cayley, Henson et Stringfellow parviennent à réaliser plusieurs vol planés contrôlés. **Jean-Marie Le Bris** répète ces exploits entre 1856 et 1857 et est souvent considéré, à tort, comme ayant réalisé le premier vol plané contrôlé. Les frères Louis et Félix du Temple, à Brest, réalisent parallèlement le même type d'exploit.

Entre 1890 et 1896, **Otto Lilienthal** perfectionne le vol en planeur et réalise plus de 2000 vols. Ce sont les premiers vols réellement contrôlés au sens où le décollage et l'atterrissage suivent une procédure précise et où les dommages aux personnes et aux biens sont absents.

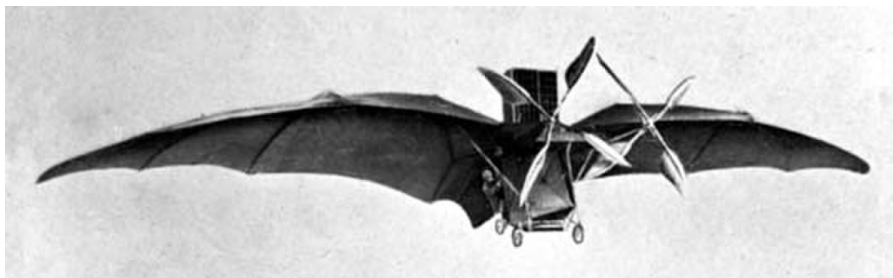


(a) La barqué ailée de Le Bris

(b) Le planeur de Lilienthal

Figure 13 – Perfectionnement des planeurs.

Le premier inventeur à déclarer avoir volé dans un avion motorisé est le Français **Clément Ader**, aux commandes de son **Avion** inspiré de chauve-souris géante à géométrie modifiable, à moteur bicylindre à vapeur d'alcool qu'il a conçu. La première tentative a lieu en 1890 aux commandes de l'Éole ; les marques laissées par les roues dans le sol meuble auraient été moins marquées par endroit et auraient totalement disparu sur une vingtaine ou une cinquantaine de mètres. Les seuls témoins sont des employés de M. Ader. Les démonstrations devant des officiels — notamment des militaires au camp de Satory — ne sont pas plus marquantes. Clément Ader effectuera, le 14 octobre 1897, le premier décollage motorisé mais non contrôlé d'un plus lourd que l'air et il aura créé le nom de l'« avion ».


Figure 14 – L'Éole de Clément Ader

Après la mise au point en vol de leur planeur entre 1900 et 1903, avec plus de 700 vols en 1902, les **frères Wright** testent l'installation d'un moteur à bord. Le **Flyer** à moteur 4 cylindres Wright de 12 ch vole au dessus dans les dunes de Kitty Hawk en Caroline du Nord le 17 décembre 1903. Les deux frères pilotent à leur tour ; ils effectuent quatre vols, le dernier étant le plus long : 284 mètres pendant 59 secondes. Les frères Wright comprennent l'importance des éléments de contrôle d'un avion et perfectionnent les **gouvernes**.

2.3. Perfectionnement du contrôle de l'aéronef

Les premières gouvernes inventées par les frères Wright ouvrent la voie à des progrès important dans le contrôle des vols.

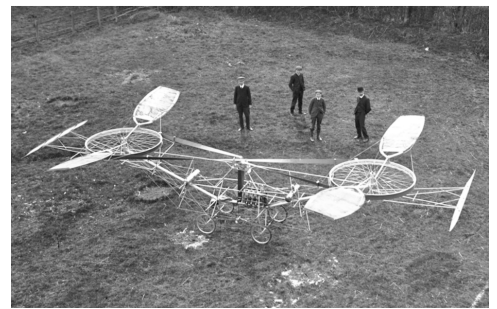
En 1906, **Robert Esnault Pelterie** invente le **manche à balai**. Le manche regroupe toutes les commandes pour diriger l'avion. En 1907, le premier hélicoptère véritable, piloté par Paul Cornu effectue son premier vol symbole de la progression du contrôle des vols tant les commandes d'un hélicoptère sont complexes. **Thérèse Peltier**, effectue son premier vol seule, en septembre 1908, depuis Issy-les-Moulineaux ce qui en fait la première femme pilote d'avion.



(a) Louis Blériot



(b) Thérèse Peltier



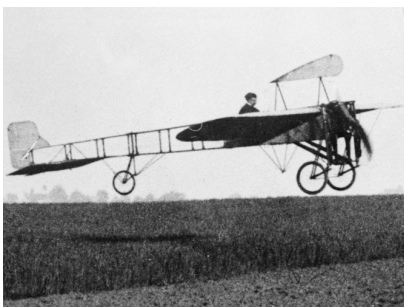
(c) L'hélicoptère de Paul Cornu

Figure 15 – Pionnières et pionniers

C'est le temps des premières traversées :

- le 25 juillet 1909, le Français **Louis Blériot** traverse la Manche de Calais à Douvres à l'aide du **Blériot XI** qu'il a conçu ;
- en 1911 ont lieu les premiers décollages et atterrissages réalisés par **Eugène Ely** depuis un navire : le porte-avion vient de naître ;
- en 1912, **Elmer Sperry** utilise pour la première fois un pilote automatique fonctionnel ;
- le 16 avril 1912, l'Américaine Harriet Quimby est la première femme à traverser la Manche de Douvres à Hardelot-Plage ;
- le 22 avril 1912, l'Irlandais Denys Corbett Wilson traverse la mer d'Irlande de Goodwick à Enniscorthy ;
- en décembre 1912, le Français Roland Garros traverse la mer de Sicile de Tunis à Trapani ;
- 1913 voit le vol du premier quadrimoteur conçu par **Igor Sikorski** ;
- le 23 septembre 1913, Roland Garros réussit la traversée de la **Méditerranée** de Fréjus à Bizerte à bord d'un Morane type H ;
- le 30 juillet 1914, le Norvégien Tryggve Gran traverse la mer du Nord de Cruden Bay à Jæren.

L'océan Atlantique représente encore, à l'orée des années 1910, un obstacle infranchissable.



(a) Bleriot XI



(b) Morane Type H



(c) Quadrimoteur Sikorski

Figure 16 – Avions des premières traversées

Les performances des avions continuent de s'améliorer et, de 1910 à 1913 ont lieu :

- le premier vol d'un quadrimoteur, « Le Grand » fabriqué par le Russe Igor Sikorsky ;
- **Adolphe Pégoud** est le premier pilote à sauter en parachute d'un avion, ce qui lui donne par la suite l'idée de tenter la première boucle (ou « looping ») à Buc. Le premier looping féminin est réalisé le 18 juillet 1915 par **Katherine Stinson** ;
- le premier vol d'un hydravion piloté par **Henri Fabre**.

La Première Guerre mondiale vient achever la période des pionniers et des pionnières.

3. La Première Guerre mondiale

3.1. Contexte

Rappelons des éléments sommaires du contexte de la Première Guerre mondiale. Celle-ci puise ses racines à la fin de la guerre franco-prussienne en 1870 notamment en ce qui concerne le traité de paix signé à Versailles le 26 février 1871 et le traité de Francfort.

La montée des nationalismes et impérialismes, et les volontés expansionnistes qui y sont associées, des conflits précédents non résolus comme les guerres balkaniques, auxquels s'ajoutent des rivalités économiques et un système d'alliances militaires complexe développé entre les différents pays européens au cours du XIXe siècle créent une instabilité politique globale. Ceci fait notamment suite à la défaite napoléonienne de 1815, entraînant la France et le Royaume-Uni à se porter garantes de la protection de la Belgique.



Figure 17 – Éléments sur la Première Guerre mondiale

Le 4 août 1914 , l'armée allemande envahit la Belgique quelques jours après avoir envoyé un ultimatum au gouvernement belge demandant de laisser passer les troupes allemandes par ses frontières. L'Allemagne pensait notamment que le Royaume-Uni resterait neutre devant cette invasion. La course aux armements dopée par les révolutions industrielles montre une grande préparation à ce conflit total. Si l'attentat de Sarajevo en juin de la même année est considéré comme le point de départ de la Grande Guerre, ses racines sont puisées bien en amont.

3.2. Aéronefs de combats, d'observation, de bombardement

Les exercices militaires français de 1911, 1912 et 1913 avaient expérimenté la coopération entre l'aviation, la cavalerie et l'artillerie mais la coordination manquait de rapidité et de souplesse. C'est l'industrie française qui domine l'aviation à cette période : la Grande-Bretagne avait pris du retard notamment en ce qui concerne la motorisation. L'armée américaine ne possédait, de son côté, presque aucun avion.

En 1914, la France compte un peu moins de 150 avions : il s'agit principalement d'avions Blériot, Deperdussin, Farman, Morane-Saulnier et Voisin. Contrairement à l'Allemagne, qui possède 250 avions au début de la guerre, la France privilégie l'agilité avec des monoplaces **légers et maniables**.

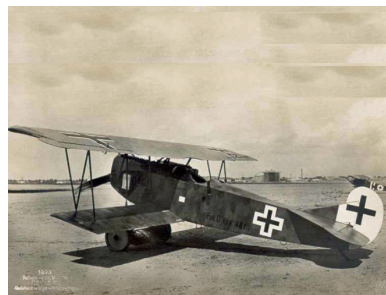
Si les premières rencontres entre des appareils de reconnaissance rivaux sont cordiales (échanges de sourires et de signes), cette candeur initiale disparaît rapidement et les pilotes commencèrent à s'échanger des briques, des grenades et d'autres objets dont des cordes destinées à s'emmêler dans les hélices. Le premier appareil détruit au combat est un Avro 504 de reconnaissance britannique le 22 août 1914 abattu à coups de fusil en Belgique. Le premier avion abattu

par un autre fut un appareil austro-hongrois abordé le 8 septembre 1914 par le pilote russe Piotr Nesterov lors de la bataille de Lemberg sur le Front de l'Est (les deux appareils s'écrasèrent et il n'y eut aucun survivant). Finalement les pilotes commencèrent à utiliser des armes à feu mais l'installation de mitrailleuses à bord devra attendre plusieurs mois.

Si la circonspection a entouré les premières utilisation des avions notamment par les membres les plus âgés des états-majors, son aspect stratégique **d'observation** émerge rapidement. La « guerre de mouvement » de 1914 nécessite une connaissance des stratégies des force armées terrestres à l'aide de l'observation par avion : les alliés stoppent ainsi une première tentative d'invasion de la France lors de la bataille de la Marne. De même, les reconnaissances allemandes repérèrent l'avancée des armées russes et permirent la victoire allemande à la bataille de Tannenberg en 1914.



(a) Farman MF11



(b) Fokker DVII

Figure 18 – Avions de reconnaissance français et allemand

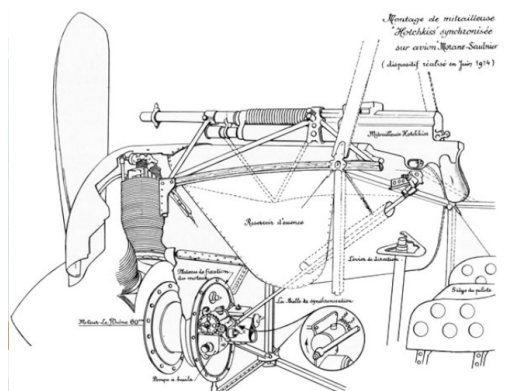
Les trois missions principales des escadrons de reconnaissance émergèrent à partir de mars 1915 :

- la **reconnaissance photographique** permettant de construire une carte du réseau des tranchées ennemies ;
- la **reconnaissance de visée** permettant à l'artillerie de tirer sur des cibles invisibles depuis la position de tir (la radio étant encore peu fonctionnelle, les échecs étaient nombreux) ;
- les **missions de communication** avec l'infanterie durant l'offensive en survolant le champ de bataille permettant de compenser l'absence de radio.

Les avions de chasse, comme le Spad français, se développent en lien direct avec l'aboutissement de l'installation des mitrailleuses à bord. La position stratégique au niveau de l'hélice nécessite une sécurisation du système. D'abord équipée de déflecteur, c'est bien la synchronisation avec le mouvement de l'hélice qui donnera une solution pérenne.



(a) Spad XIII



(b) Système de mitrailleuse

Figure 19 – Chasse lors de la Première Guerre mondiale

Parmi les avancées, on notera également les progrès de la propulsion avec l'**hélice éclair** de **Marcel Bloch** plus connu sous le nom de Marcel Dassault.

Les combats aériens font rage et les pilotes qui parviennent à gagner au moins cinq combats sont appelés les « as ». La violence des combats tranche avec le sentiment du public qui admire ces pilotes donnant l'image d'une guerre « civilisée » presque métaphorique en lien avec l'expression les « chevaliers du ciel ». Environ cinq pour cent des pilotes de combat sont à l'origine de la majorité des victoires aériennes dans les guerres, ce qui montre l'importance des as de l'aviation. Parmi les plus connus, citons :

- les français René Fonck (l'as des as français : 75 victoires) et Georges Guynemer (54 victoires) ainsi que Charles Nungesser (45 victoires) ;
- l'allemand Manfred Von Richtofen (80 victoires), dit le « **Baron rouge** » ou l'« as des as » toutes nationalités confondues.

Les as français sont regroupés dans des escadrilles d'élites. La plus prestigieuse est l'« Escadrille des cigognes ».

On peut également citer la manœuvre de voltige élaborée par l'as allemand Max Immelmann consistant à surprendre ses adversaires par l'arrière, bien qu'en se présentant de face. Elle se constitue d'une arrivée en piqué, suivie d'une demi-boucle et d'un rétablissement en demi-tonneau

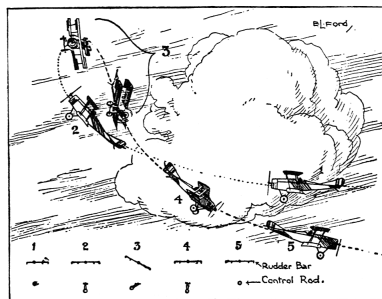
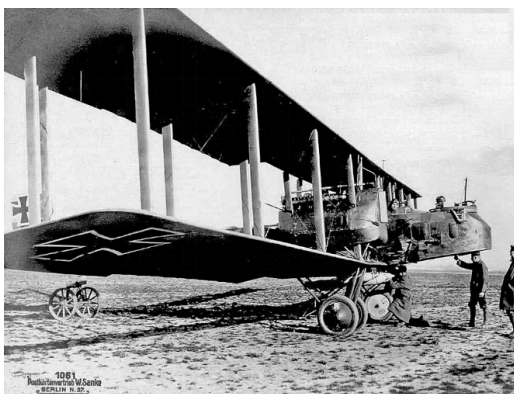


Figure 20 – La manœuvre de Immelmann

La spécialisation des aéronefs s'intensifie : on crée des avions dédiés au **bombardement** comme le Bréguet XIV, le Gotha allemand et le de Havilland DH9 anglais.



(a) Gotha



(b) DH9

Figure 21 – Bombardiers

En 1917, un chasseur anglais décolle depuis le pont du HMS Furious : le premier porte-avions de l'histoire.

La première armée aérienne indépendante est la **Royal Air Force** britannique : les autres forces aériennes dépendent du commandement de l'armée de terre ou de la marine.

À la fin de la guerre, l'impact des missions aériennes sur la guerre au sol fut rétrospectivement principalement tactique, le bombardement stratégique restait en effet très rudimentaire. L'impossibilité de voler par mauvais temps

réduisait beaucoup l'action de l'aviation. L'ampleur prise par le médiatisation de l'aviation pendant le conflit permit d'ancrer durablement dans les mémoires un imaginaire positif de l'arme aérienne et des chevaliers du ciel, qui contribua à développer les armées de l'air occidentales entre-deux-guerres.

Conflit d'une ampleur inconnue jusqu'alors, un armistice final est signé le 11 novembre 1918. D'un point de vue humain, la guerre a causé la mort de 10 millions de personnes et l'invalidité de 8 millions d'autres. Le **traité de Versailles** a été très dur pour l'Allemagne, obligée de payer de lourdes réparations qui handicaperont fortement son économie pour les années à venir. Elle doit céder des territoires à la France, à la Belgique, au Danemark et à la Pologne ainsi qu'une grande partie de ses armes et notamment ses **avions**. La dénonciation de ce traité fait partie du narratif utilisé par Adolf Hitler pour arriver au pouvoir.

3.3. Entre deux-guerres et utilisation civile de l'aviation

Dans la poursuite du perfectionnement des aéronefs, des records de distance (dans des conditions parfois difficiles) sont réalisés lors de la période des **grands raids** :

- en 1919, Roget et Coli partent de Paris et arrivent à Kénitra au Maroc ;
- en 1919, Alcock et Brown traversent l'Atlantique Nord de Terre Neuve à l'Irlande à bord du Vickers Vimy ;
- en 1921, **Adrienne Bolland** traverse la Cordillères des Andes en Caudron G3.



(a) Adrienne Bolland



(b) Caudron G3



(c) Vickers Vimy d'Alcock et Brown

Figure 22 – Grands raids

C'est la traversée de l'Océan Atlantique de New-York à Paris en 1927 qui marque les esprits. En 1927, Nungesser et Coli projettent de traverser l'atlantique nord sans escale. Ils disparaissent en mer à bord de leur biplan Levasseur « L'Oiseau blanc ».

Les 20 et 21 mai, c'est **Charles Lindbergh** qui parvient à effectuer la traversée à bord du Ryan « **Spirit of Saint Louis** ». À la foule qui l'accueillait lors de son atterrissage à l'aéroport du Bourget, il se contenta de répondre : « Well, I did it ! ». Lindbergh devient un personnage médiatique important et, à son atterrissage, les collectionneurs de souvenirs déchiraient des morceaux de toile de l'avion.

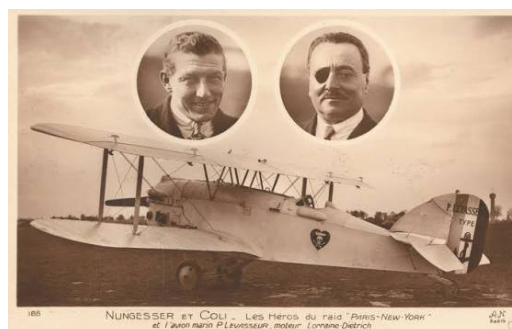


Figure 23 – L'oiseau Blanc de Nungesser et Doli

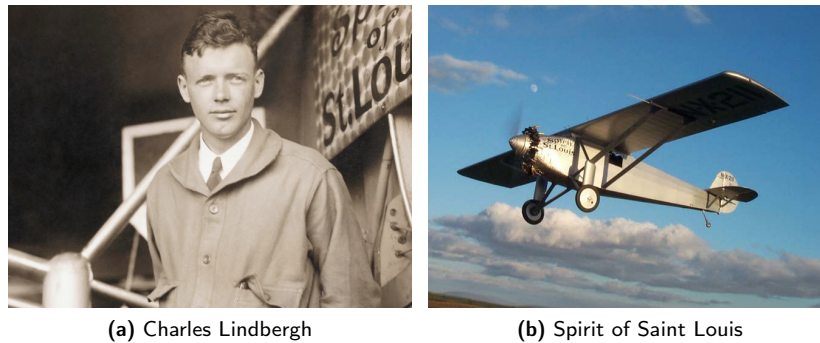


Figure 24 – La traversée de l'Atlantique

La traversée dans l'autre sens (d'est en ouest) de l'Atlantique Nord sera effectuée en 1930 par **Costes et Bellonte** avec le Bréguet 19 « Point d'interrogation ». Ce sens de parcours est plus difficile compte-tenu des vent dominants. **Amélia Earhart** et Jacqueline « Jackie » Cochran sont les premières femmes à effectuer la traversée en 1932. Elle sont également les premières femmes pilotes de l'US Air Force. Plusieurs françaises s'illustrent par la suite : Maryse Bastié (plusieurs records de durée de vol), Hélène Boucher (records de vitesse), Maryse Hilsz (records d'altitude à 10200 m, à Villacoublay). Pour l'anecdote, Hélène Boucher, un jour de météo défavorable, le 30 novembre 1934, s'entête pour faire un vol d'entraînement. Au moment de l'atterrissage près de Magny-les-Hameaux, elle accroche la cime des arbres et décèdera pendant son transport à l'hôpital.



Figure 25 – Pionnières et pionniers de la transatlantique

Si le premier tour du monde aérien remonte à 1924, celui-ci dura 175 jours et est effectué par quatre aviateurs issus de l'Air Service, ancêtre de l'US Air Force. L'aboutissement des grands raids sera le tour du monde effectué en 1938 par **Howard Hughes** en 3 jours 19 heures 24 minutes en **Lockheed Electra**.

Le perfectionnement des avions est rapide et ces prémices de l'entre-deux guerres ouvrent la voie à une utilisation grand public de l'aviation pour transporter les personnes et les biens.

Les travaux de mise en œuvre de l'hélicoptère se poursuivent par ailleurs à cette période notamment par les travaux de Juan de la Cierva et Raul Pateras Pescara.

L'aviation légère et sportive se développe entre les deux guerres autour de nombreux passionnés qui tentent d'offrir au plus grand nombre la possibilité d'apprendre à piloter des avions légers. C'est la naissance des aéroclubs et de la Fédération Nationale d'Aéronautique (FNA) en 1929. Elle devient en 2004 la Fédération Française d'Aéronautique (FFA). En 1930, Jean Zay, alors ministre de l'Éducation Nationale, institue le Brevet Élémentaire des Sports Aériens (BESA), ancêtre de notre Brevet d'Initiation Aéronautique (BIA, 1968).



Figure 26 – Les hélicoptères 2R et 2F de Raul Pateras Pescara

3.4. Les aérostats : un coup d'arrêt

En 1930, le dirigeable Britannique R101 s'écrase faisant 48 morts. L'hydrogène est mis en cause dans ce grave accident et l'utilisation de l'hélium vient en remplacement de l'hydrogène. À partir de 1936, il est interdit de vendre de l'hélium à l'Allemagne en lien avec la montée du nazisme et des tensions entre pays.

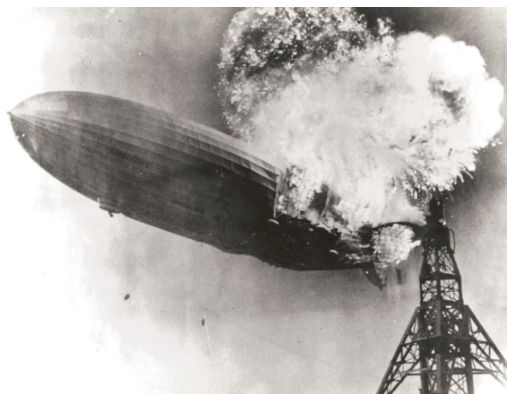


Figure 27 – Zeppelin « Hindenburg »

En 1937 se produit l'accident du Zeppelin **Hindenburg** dans le New Jersey faisant 35 morts. L'hypothèse la plus généralement admise pour expliquer l'accident est une étincelle provoquée par de l'électricité statique, la haute inflammabilité de l'hydrogène ayant contribué à la propagation rapide du feu. C'est la fin des dirigeables, ils sont détrônés par les avions et hydravions qui assurent les liaisons transocéaniques.

4. Développement de l'aviation civile à l'entre deux guerres

4.1. Aviation commerciale

Au lendemain de la Première Guerre mondiale, les techniques ont suffisamment évolué pour permettre enfin d'envisager l'exploitation **commerciale** c'est-à-dire le fret et le transport de personnes.

En 1919, le Farman Goliath F60 relie Paris à Londres avec 11 passagers : Lucien Bossoutrot réalise ce premier vol depuis l'aéroport de **Toussus-le-Noble**. Dès 1921, la France exploite régulièrement les lignes Paris-Londres puis, en partenariat avec les compagnies anglaises, Paris-Amsterdam, Toulouse-Casablanca. La traversée aérienne des Etats-Unis est assurée régulièrement dès 1922.



(a) Goliath F60



(b) Avion Paris-Londres

Figure 28 – Premiers vols commerciaux

De 1921 à 1933, le développement des lignes aériennes se montre constant et rapide avec, en France, la création de la première compagnie nationale : **Air France**. Elle est le regroupement de cinq compagnies aériennes françaises : Compagnie générale Aéropostale, Air Union, Farman, C.I.D.N.A., et Air Orient.



(a) Air France



(b) B307



(c) Dakota DC3

Figure 29 – Premières compagnies

Le nombre de places par avion augmente peu à peu et le premier vol Boeing intervient en 1935 avec le DC3 Dakota. En 1938, le Boeing 307 Stratoliner prend son envol puis, en 1940, le premier avion pressurisé assure le transport de passagers en B 307.

4.2. Aéropostale

La Compagnie générale aéropostale (généralement connue comme simplement « l'Aéropostale ») À la suite de difficultés financières, la compagnie est mise en liquidation judiciaire en 1931 et ses actifs sont repris par l'État français en 1933 au sein d'un nouvel ensemble, la SCELA (Société centrale pour l'exploitation des lignes aériennes) qui sera renommé Air France quelques jours plus tard.

Pierre Georges **Latécoère** crée en 1919 une compagnie aérienne qui porte son nom puis deviendra ensuite l'**Aéropostale**, basée à Toulouse (aéroport de Montaudran). D'abord sous le nom de Société des lignes Latécoère en 1918, l'idée d'une ligne aérienne transatlantique consacrée au service postal mais aussi au transport de passagers, rêvée par son créateur, se réalise au fil des années 1920 sous l'impulsion de Marcel Bouilloux-Lafont. Il utilise des avions militaires puis met au point et construit des avions de fabrication personnelle fiable. Des pilotes célèbres font partie de ces lignes : Henri Guillaumet, Jean Mermoz, **Antoine de St Exupéry** notamment.

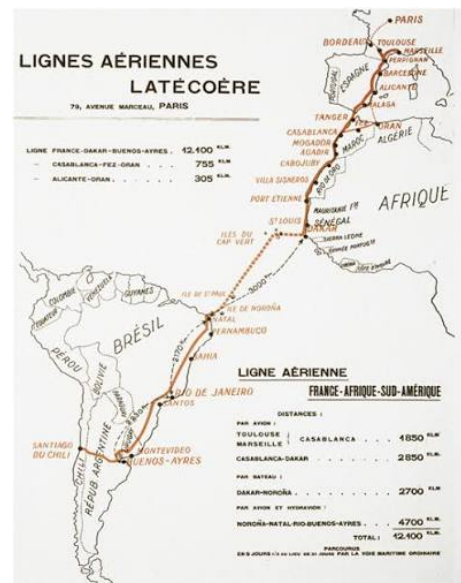


Figure 30 – Le réseau Latécoère

En 1919, la première liaison aérienne postale s'effectue entre Toulouse et Casablanca avec un Breguet XIV. En 1926, la ligne est prolongée jusqu'à Dakar puis jusqu'à Buenos Aires en 1928 avant d'aller jusqu'au Chili en traversant les Andes dès 1929. En 1936, Mermoz disparaît à bord du Latécoère 300 « Croix du Sud » laissant pour dernier message : « Coupons moteur arrière droit ». Pendant sept ans, les pilotes, qui jouissent d'une grande aura médiatique, transportent du courrier en Espagne, au Maroc et en Afrique de l'Ouest. Le grand public se passionne pour cette compagnie tant les pilotes font face à des pannes fréquentes, à une météo imprévisible le tout en franchissant des étendues importantes et des reliefs prononcés. Ils naviguent à vue rendant l'entrée dans un nuage particulièrement dangereuse. Cette prise de risque, liée à l'absence de passagers à bord, participe à la grande célébrité de l'Aéropostale. Jusqu'en 1991, les groupes Air France et La Poste sont toujours propriétaires de L'Aéropostale : de jour les avions transportent des passagers et les sièges sont ôtés la nuit pour transporter les colis et les lettres. Le fret postal aérien existe toujours mais celui-ci s'effectue parfois en présence de passagers ou via des compagnies spécialisées.



(a) Illustration

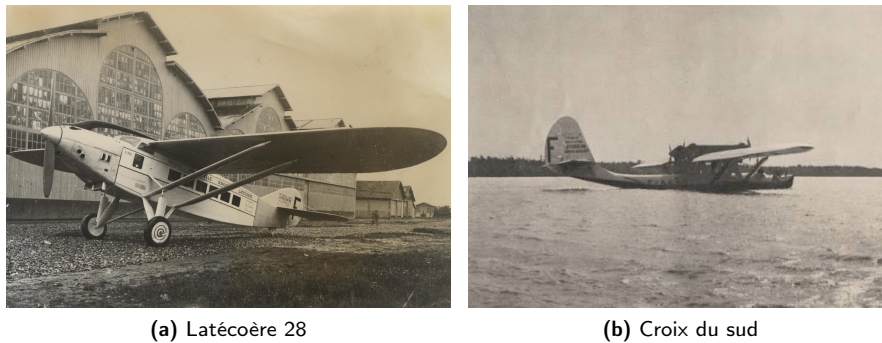


(b) Mermoz



(c) Saint Exupery

Figure 31 – L'Aéropostale



(a) Latécoère 28

(b) Croix du sud

Figure 32 – L'Aéropostale

5. La Seconde Guerre mondiale

5.1. Contexte

Le traité de Versailles, au sortir de la Grande Guerre avait suscité rancœurs, frustrations et désirs de reconquête chez les Allemands, les Autrichiens-Hongrois et les Bulgares allant jusqu'à être perçu comme un diktat en Allemagne. Au sein de l'armée, ce sentiment mènera à une alliance avec les nazis lors de leur ascension au pouvoir. La crise économique de 1929 conduit les différents États à adopter des mesures protectionnistes et entraîne des rivalités. Si les démocraties se battent sur le plan économique, les dictatures fascistes vont adopter une stricte autarcie et penser leur défense et leur expansion en termes militaires. Même si les systèmes politiques sont différentes, partout, des politiques d'armement sont mises en place efficacement pour améliorer la situation économique des états.

Si l'accession au pouvoir des nazis est directement liée à cette crise économique, le déclenchement de la guerre provient des velléités expansionnistes du parti nazi qui s'étaient exprimées dès 1924 dans l'ouvrage d'Adolph Hitler « Mein Kampf ». L'idéologie politique du Parti national-socialiste des travailleurs allemands (NSDAP) théorise une hiérarchie au sein de l'espèce humaine divisée en « races », au sommet desquelles se trouve la « race aryenne », supérieure, tandis que les races les plus détestées par les nazis, les Juifs, les Slaves et les Tziganes, forment la classe des « sous-hommes ».



(a) Forces en présence

(b) Propagande

Figure 33 – Contexte de la Seconde Guerre mondiale

L'invasion de la Pologne provoque les déclarations de guerre du Royaume-Uni et de la France le 3 septembre 1939, à respectivement 11 et 17 h.

Pour ce qui concerne le contexte aérien, la création de l'**Armée de l'Air** date de 1934 alors qu'elle était auparavant intégrée dans l'Armée de Terre. Cette armée intègre 1500 avions alors que la Luftwaffe allemande, créée en 1935 par le maréchal Allemand Goering, n'en compte aucun puisque le traité de Versailles l'interdisait. Deux ans plus tard la France est passée à 1800 avions et l'Allemagne 5000.

De façon synthétique, les grandes phases de la Seconde Guerre mondiale sont les suivantes :

1. une dynamique de victoires des forces de l'Axe — avec l'invasion de la Pologne — entre 1939 et 1940 sous un format de « guerre-éclair (ou blitzkrieg) » pendant que les français et britanniques attendent les attaques allemandes
2. à partir du 10 mai 1940, les Pays-Bas, la Belgique puis la France sont attaqués : c'est la débâcle, accompagnée de l'exode des civils ;
3. de juillet à octobre 1940, la bataille d'Angleterre constitue le premier échec allemand ;
4. en avril 1941, la guerre s'étend en Méditerranée en lien avec l'alliance entre Mussolini et Hitler ;
5. le conflit devient mondial à la mi-année 1941 lorsqu'Hitler attaque l'URSS avec l'opération « Barbarossa »
6. en décembre 1941, l'entrée en guerre des États-Unis après l'attaque de Pearl Harbor est effective ;
7. une phase de guerre totale s'ensuit : la mobilisation de la population dans l'armement, l'économie et la propagande est intense ;
8. en 1942, l'Europe et l'Asie sont sous domination ;
9. jusqu'en 1945, des exterminations et génocides, sans précédent dans l'histoire de l'humanité, sont perpétrés ;
10. collaborations et résistances s'organisent à l'intérieur des différents états ; la résistance extérieure se met en place depuis Londres où se réfugient les gouvernements en exil ;
11. les offensives de l'Axe sont interrompues de 1942 à 1943 ;
12. les Alliés débarquent en Normandie le 6 juin 1944 et en Provence le 15 août 1944 ;
13. l'Allemagne est bombardée de façon intensive et envahie à partir de janvier 1945 et la capitulation allemande est signée le 8 mai 1945 ;
14. la défaite du Japon avec sa capitulation le 2 septembre 1945 est consécutif au bombardement atomique des villes d'Hiroshima et de Nagasaki.



(a) Churchill devant un de Havilland Queen Bee



(b) L'appel du Général de Gaulle

Figure 34 – Résistances et organisation des Alliés

L'avion est perçu comme une arme dès la fin de la Première Guerre mondiale. Certains pays comprennent immédiatement l'importance de l'aviation et la considèrent dès lors comme une armée à part entière. Le Royaume-Uni qui crée dès **1918** la Royal Air Force (RAF) en remplacement des RFC (Royal Flying Corps). En Allemagne, c'est en 1935 qu'est créée la **Luftwaffe** : l'aviation militaire allemande. En France, les stratèges ont une conception particulière de l'aviation : pour eux, elle est et doit rester un outil au service des deux seules armées véritables, à savoir la Marine nationale et l'Armée de Terre. Les évolutions technologiques tout le long de cette guerre ont fait de l'aviation le point central de certaines batailles.

5.2. Aviation militaire de la Seconde Guerre mondiale

En 1937, lors de la Guerre Civile en Espagne, la légion Condor de la Luftwaffe d'Hitler, bombarde la ville de Guernica. Cette démonstration de force de l'aviation Allemande se soldera par 2000 morts et une ville entièrement rasée. En 1939, l'Allemagne fait voler le **Heinkel 178**, premier avion à réaction. Les premiers réacteurs sont mis au point en Grande-Bretagne et en Allemagne à partir de 1928. La même année, Fritz Wendel bat le record de vitesse sur **Messerschmitt** : 755 km/h.

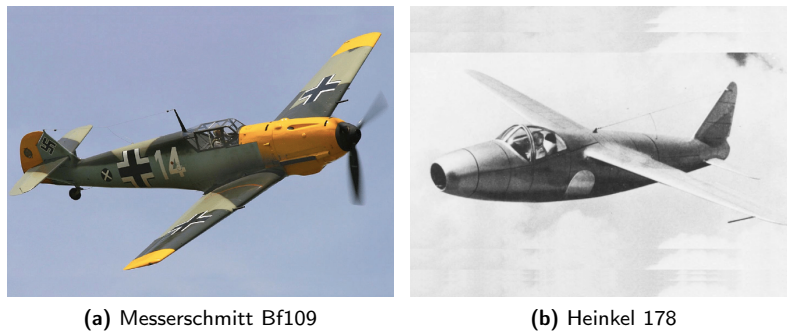


Figure 35 – Avions allemands du début de la Seconde Guerre Mondiale

L'invasion de la Hollande, de la Belgique puis de la France par l'Allemagne est rendue possible grâce à sa supériorité sur terre et dans le ciel.



Figure 36 – Avions britanniques et français du début de la Seconde Guerre Mondiale

La bataille d'Angleterre voit s'affronter sur les côtes de la Manche, la Luftwaffe allemande et la chasse anglaise composée : **Spitfire**, conçu par Reginald Mitchell et l'**Hurricane**. L'Angleterre stoppe l'aviation allemande lors de la cette bataille. L'aviation prend alors un rôle prépondérant dans le conflit, avec un développement important des bombardiers stratégiques.

En 1941, l'attaque surprise de **Pearl Harbor** menée par les forces aéronavales japonaises — notamment avec des chasseurs **Mitsubishi A6M** — le 7 décembre contre la base navale de américaine située sur l'île d'Oahu, à Hawaï provoque l'entrée des États-Unis dans le conflit mondial. En représailles, en 1942, la première action contre le Japon est le Raid Doolittle : c'est le bombardement de Tokyo avec des B-25 partis du porte-avion USS Hornet. Même si cette opération est de faible ampleur, elle montre l'importance des porte-avions.



Figure 37 – Avions engagés dans la bataille de Pearl Harbour

De nombreuses pertes de bombardiers américains, attaqués par des chasseurs, imposent la création de nouveaux avions d'escorte comme le **P51 Mustang** et le **P47 Thunderbolt**.

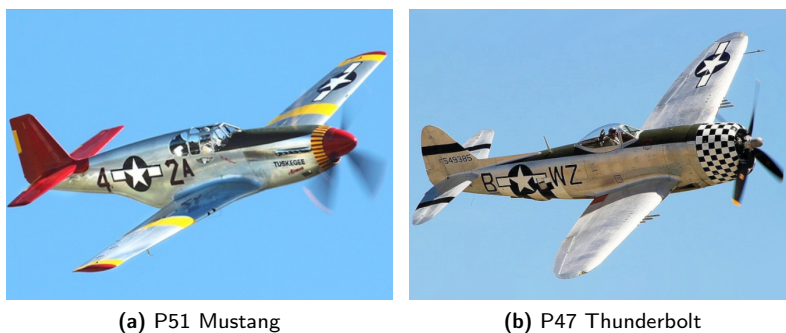


Figure 38 – Avions américains d'escorte

En 1944, Les Allemands perfectionnent les motorisations à réaction et mettent en service le premier chasseur propulsé par ce réacteur, le Me 262. Cet avion révolutionnaire atteint 860 km/h, soit 100 km/h de plus que l'appareil allié le plus rapide. Les Britanniques parviennent également à mettre en service un avion à réaction pour intercepter les missiles V1 (parfois surnommées **bombes volantes**) qui ravagent Londres.

Le premier débarquement des Alliés a lieu le 6 juin 1944 en Normandie, avec la participation de 11.000 avions dont 2.400 avions de transports de troupes et 860 planeurs.

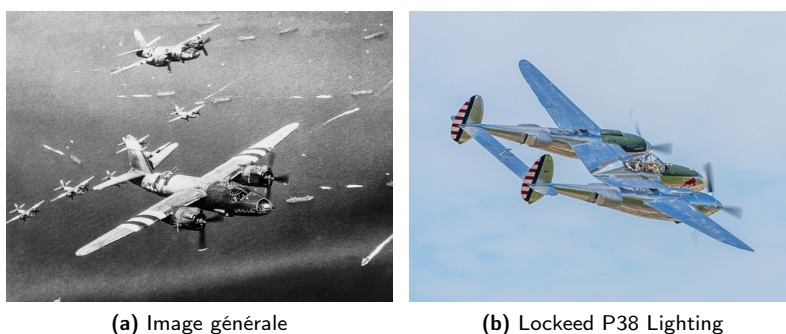


Figure 39 – Avions impliqués dans le débarquement

Avant le débarquement en Provence, Antoine de Saint-Exupéry ne reviendra pas de sa mission de reconnaissance : son **Lockheed P-38 Lightning** est pris pour cible par l'armée allemande.

La course à l'armement nucléaire vient achever le conflit avec le Japon. Les États-Unis décident d'attaquer avec les bombes Little Boy et Fat Man les villes japonaises d'**Hiroshima** et **Nagasaki** les 6 et 9 août 1945. Cette arme, qui implique l'utilisation d'un avion bombardier (les B29 Enola Gay et Bockscar), marque durablement la communauté internationale et a une influence directe sur les équilibres géopolitiques jusqu'à nos jours.



(a) B-29



(b) Première bombe nucléaire utilisée

Figure 40 – Premier bombardement nucléaire

L'image des As, en lien avec la massification de l'utilisation de l'avion, évolue et est moins médiatisée. On pourra citer le français Pierre Clostermann (as français au combat aérien, auteur du roman *Le grand cirque*), l'allemand Erich Hartman et le britannique Douglas Bader. Chez les russes, levdokia Berchanskaïa commandait le régiment d'aviation de bombardement de nuit.

On pourra citer le régiment de chasse 2/30 **Normandie-Niemen** qui est une unité de combat de l'Armée de l'air française. Il s'agit d'un cas presque unique d'une force occidentale à s'être battue aux côtés de l'Armée rouge sur le sol soviétique : les Forces françaises libres ont utilisé des avions russes.

Sur le plan aéronautique, la puissance des moteurs atteint les 2500 chevaux à la fin de la guerre à mettre en regard des tous premiers moteurs d'une vingtaine de chevaux. Entre 1939 et 1945, plusieurs éléments désormais fondamentaux en aéronautiques comme le **radar**, la **fusée**, le **turboréacteur**, divers **instruments de navigation** et même le siège éjectable sont développés.

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 **nombre de Mach** 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.

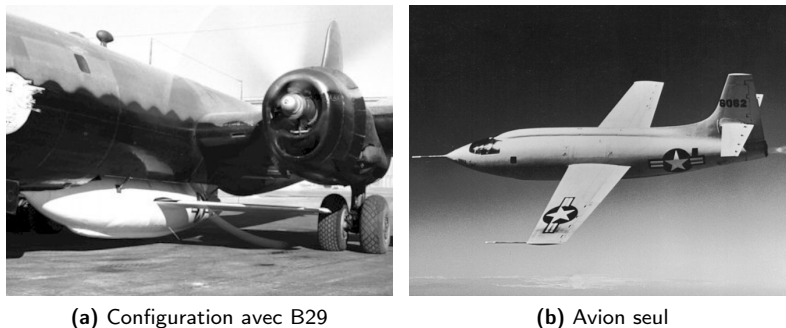


Figure 41 – Avion Bell X-1

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 cet avion soit amené en altitude par un B-29 modifié. Ainsi, en octobre 1947, **Chuck Yeager** 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.

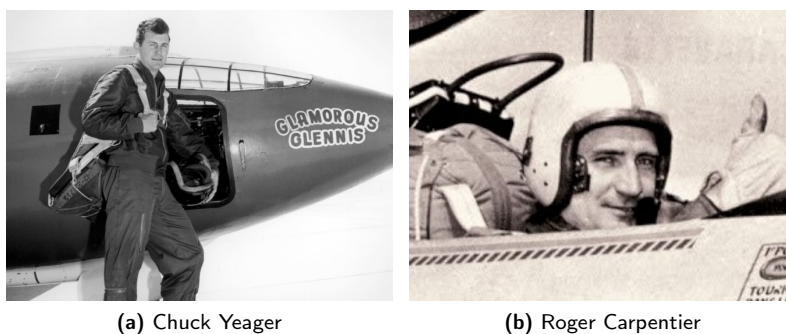


Figure 42 – Premiers aviateurs à franchir le mur du son

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 « **furtif** » c'est-à-dire difficilement détectable avec un radar. Le **fuselage anguleux** 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 43 – Furtivité et mur du son



Figure 44 – Felix Baumgartner.

La première européenne à passer le mur du son est **Jacqueline Auriol** : elle passe Mach 1 en 1953 sur Mystère II 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 100 000 mètres d'altitude et Mach 6,7. Il faudra attendre 2004 pour que le X43 (équipé d'un **statoréacteur**) atteigne Mach 10.

Fait notable également, si le mur du son a bien sûr été franchi en avion, on peut noter l'exploit extraordinaire réalisé par **Felix Baumgartner** le 14 octobre 2012. Parachutiste de l'extrême, il s'installe à bord d'une capsule suspendue à un ballon à hélium pour atteindre l'altitude de 39 000 m et s'élancer dans le vide. Durant sa chute libre, il atteint la vitesse de $1350 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Mach 1,25), faisant de lui le premier et seul homme à avoir franchi le mur du son sans autre équipement qu'une combinaison pressurisée.

6.2. Développement de l'aviation militaire, commerciale et légère

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.

En 1953, la Patrouille Acrobatique de France (PAF), de l'armée de l'air française est créée à Salon de Provence. Parmi les avions utilisés, citons l'Alpha-Jet (depuis 1981), ou le Fouga Magister (1964-1981).



(a) Alpha Jet



(b) DH-Fouga Magister

Figure 45 – Les avions de la Patrouille de France

Les premiers avions à réaction commerciaux commencent à être dévoilés en 1949 comme le quadiréacteur 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. En 1949 toujours, l'ingénieur français René Leduc fait procéder au premier vol d'un avion à tuyère thermopropulsive (statoréacteur) : le Leduc-010.



(a) Lockheed Constellation



(b) DH-106

Figure 46 – Début de l'aviation commerciale

Le transport aérien connaît une véritable révolution en 1957 avec le **Boeing B707**. 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 **Caravelle**, 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. C'est un appareil capable de franchir une distance de 3500 km.



(a) B707



(b) Caravelle

Figure 47 – 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 **Falcon 20**, plus facile à prononcer pour les Américains.

En 1966 la Fédération Française de Vol à Voile (FFVV) est créée. Elle devient en 2018 la Fédération Française de Vol en Planeur (FFVP).

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.



(a) Tupolev 144



(b) Concorde

Figure 48 – 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 **quadriréacteurs** ;
- A380 et B747 pour les **très gros porteurs** ;
- A350 et B787 pour l'utilisation des **matériaux composites** comme les fibres de carbone.

Concernant l'A380, on peut citer le premier vol en 2005 et le premier vol commercial en 2009.



(a) B787



(b) A380

Figure 49 – Concurrence Airbus/Boeing

En 1972, le français **Pierre Robin** conçoit le DR 400, devenu vaisseau amiral de nombreux aéroclubs de France.



(a) DR400



(b) ULM pendulaire

Figure 50 – Concurrence Airbus/Boeing

En 1978, Le Mirage 2000 réalise son premier vol. Il sera mis en service un an plus tard.

Sur le plan militaire, l'hélicoptère franchit un pas majeur avec le Tigre, premier hélicoptère conçu en coopération franco-allemande et capable de réaliser des loopings.

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, **électriques** ou à **hydrogène** 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 **électriques** traversent chacun la Manche puis, en 2016, **Solar Impulse II** boucle son tour du monde, avec comme pilotes André Borschberg et Bertrand Picard.



(a) Solar Impulse II



(b) E-Fan

Figure 51 – 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 52 – 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.

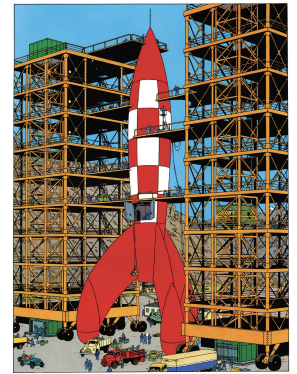
La Seconde Guerre mondiale vient catalyser la propulsion des fusées avec les travaux de l'allemand Wernher von Braun. Malgré le manque de fiabilité de ses tirs avant fin 1944, le missile V2 fut le premier missile balistique opérationnel.



(a) Von Braun



(b) Missile V2



(c) La fusée de Tintin

Figure 53 – 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 « **course à l'espace** ».



(a) Youri Gagarine



(b) Spoutnik 1

Figure 54 – 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 **Spoutnik 1** ;
2. Spoutnik 2 est lancé le mois suivant avec un être vivant à son bord **la chienne Laïka** ;
3. en 1959, la sonde **Lunik 3** permet à l'homme de découvrir la face cachée de la Lune : bien que de très mauvaise qualité, des photographies ont bien été transmises à environ 385 000 km de distance ;
4. le premier vol dans l'espace par un être humain, le 12 avril 1961, avec le soviétique **Youri Gagarine** très vite suivi par l'américain Alan Shepard et la première femme soviétique Valentina Terechkova en 1963 ;
5. en 1962, le premier satellite de télécommunication américain **Telstar** est mis en orbite ;
6. le premier vol extravéhiculé par un être humain le 18 mars 1965 au cours du vol orbital du Soviétique Alexeï Leonov ;
7. les premiers pas sur la Lune le 21 juillet 1969, dans le cadre des missions **Apollo** avec le lanceur Saturn V, par les astronautes **Neil Armstrong** et **Buzz Aldrin**, **Michael Collins** étant resté en orbite dans le module de commande et de service.

Le premier satellite français nommé **Astérix** est lancé en 1965 par la fusée **Diamant**.

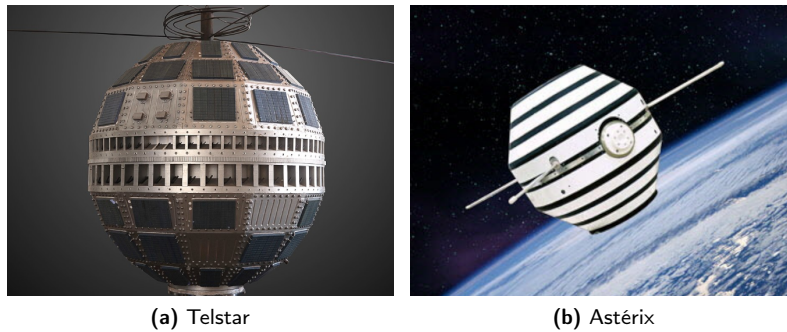


Figure 55 – Premiers satellites

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 ».

À la suite du succès d'Apollo 11, la NASA décide de forcer la cadence. Elle ira jusqu'à Apollo 17 en 1972. Sur l'ensemble du programme APollo, seule la mission Apollo 13, en 1970, a subi une avarie sur le réservoir d'oxygène du module de commande.

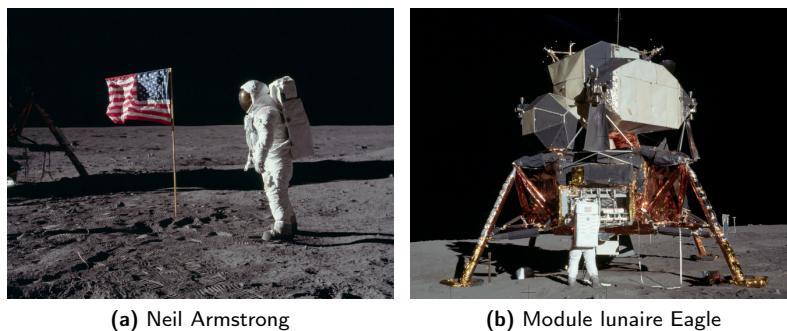


Figure 56 – Mission Apollo 11

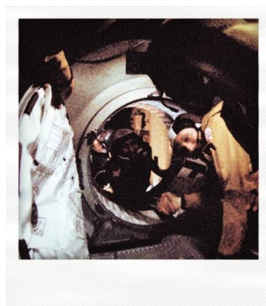


Figure 57 – Rencontre entre Soyuz et Apollo

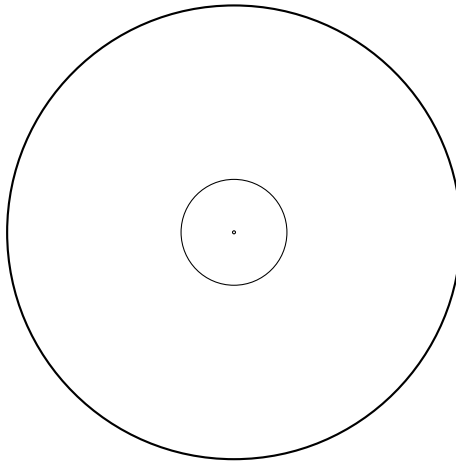
Ces exploits se situent au cœur de la Guerre Froide et constituent des démonstrations de force de la part de l'URSS et des États-Unis. C'est notamment Wernher von Braun qui participe au développement de Saturn V. Côté européen, le premier vol d'**Ariane** (lanceur) a lieu en 1971.

Le 17 juillet 1975, le premier rendez-vous en orbite est réalisé entre le vaisseau Soyuz (URSS) et une cabine Apollo (USA). L'écouille séparant ces derniers est ouverte pour une poignée de mains qui deviendra le symbole de la détente entre les deux grandes puissances.

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.

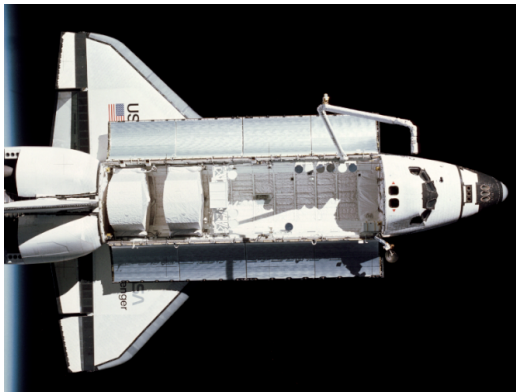


7.3. De la fin de la Guerre Froide à nos jours

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, **Challenger**, qui est américaine, vole de 1980 à 1986 suivie par **Columbia** de 1986 à 2003. Leurs derniers vols se soldent par des accidents ayant mené aux destructions de ces navettes.

En 1984, L'américain Bruce McCandless réalise la première sortie extra-véhiculaire libre (sans cordon ombilical le reliant au vaisseau) en s'éloignant de la navette Challenger. Il devient ainsi le premier « homme-satellite ».



(a) Challenger



(b) Columbia

Figure 58 – Navettes spatiales

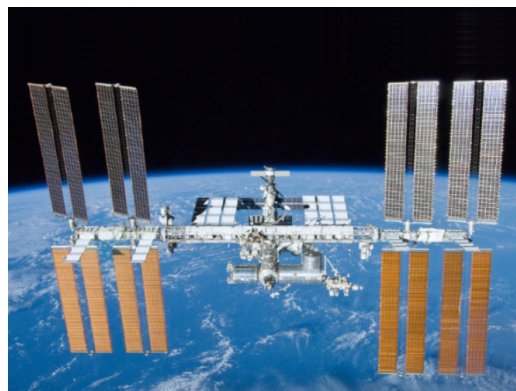
Le premier astronaute français, Jean-Loup Chrétien rejoint l'espace en 1982 et la première française, Claudie Haigneré, en 1996. Plus récemment on peut également citer Thomas Pesquet (premier français commandant de l'ISS en 2021) et Sophie Adenot (partie vers l'ISS en février 2026, dont le retour est prévu prochainement). Le premier chinois dans l'espace, Yang Livei, attendra 2003 pour voler.

La sonde « Pathfinder » est lancée en 1996 et se pose sur la planète mars le 4 juillet 1997 (fête nationale des États-Unis).

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



(a) Station Mir



(b) Station spatiale internationale

Figure 59 – 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 télescopes orbitaux sont aussi lancés comme **James Webb** en 2022.

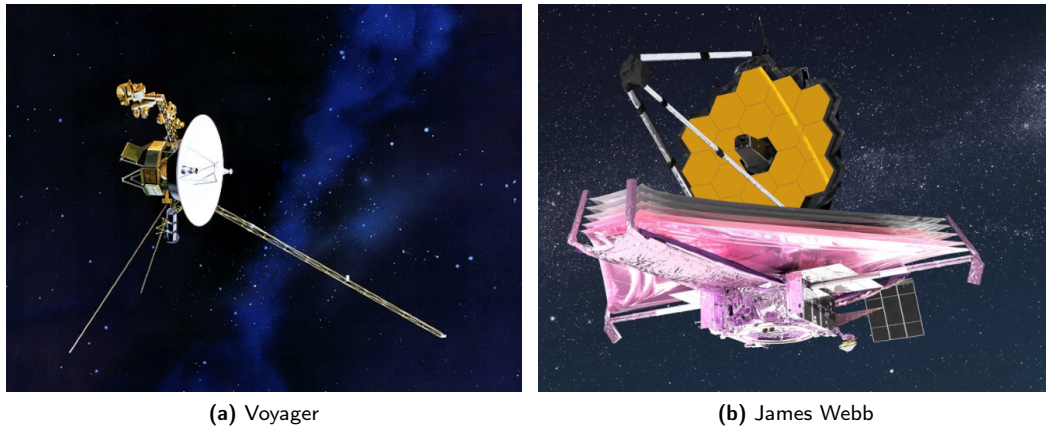


Figure 60 – Sondes et télescopes

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 **Falcon 9 (Space X)** 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. Le programme Artemis I par exemple relance l'idée de bases habitées sur la Lune,

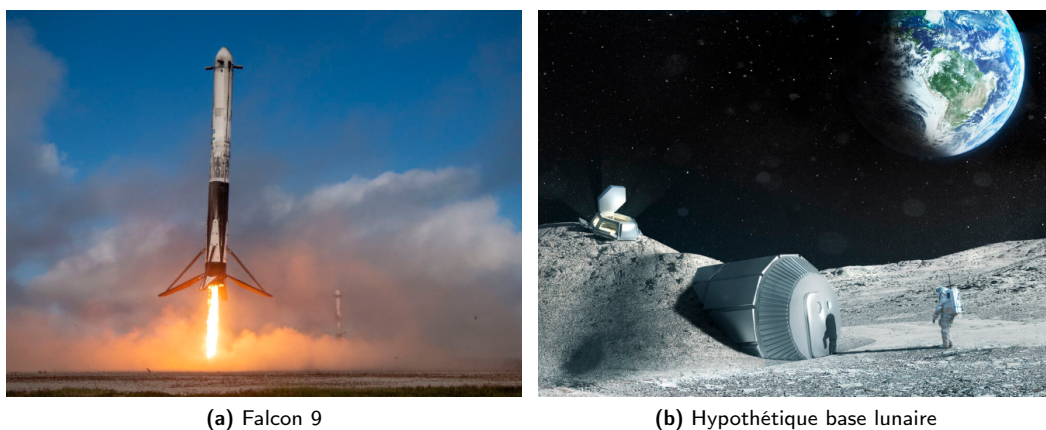


Figure 61 – Futur de l'exploration spatiale