

# Aérodynamique et Mécanique du Vol



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Le mythe d'Icare :
  - Dédales construisit un labyrinthe pour le roi Minos (Crète) qui l'y enferma avec son fils Icare.
  - Pour s'échapper ils fabriquèrent des ailes en plumes collées à la cire.
  - Icare, grisé par le vol s'approcha trop près du soleil, la cire fondit et il tomba.



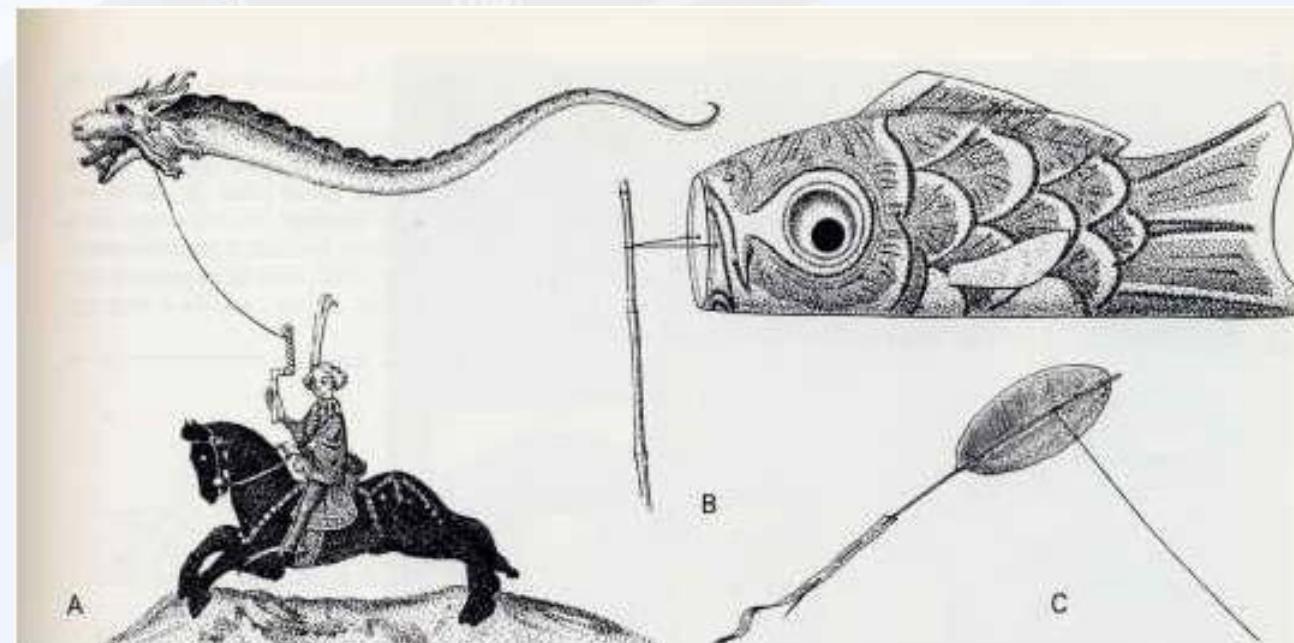
# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Le cerf-volant, premier aéronef :
  - Apparu en Chine il y a plus de 2000 ans
  - Amené en Europe au XV<sup>ème</sup> siècle par des marchands anglais, hollandais et portugais.
  - Utilisation de loisir essentiellement

A- cerf-volant européen du moyen-âge, connu grâce à des manuscrits allemands datant de 1405

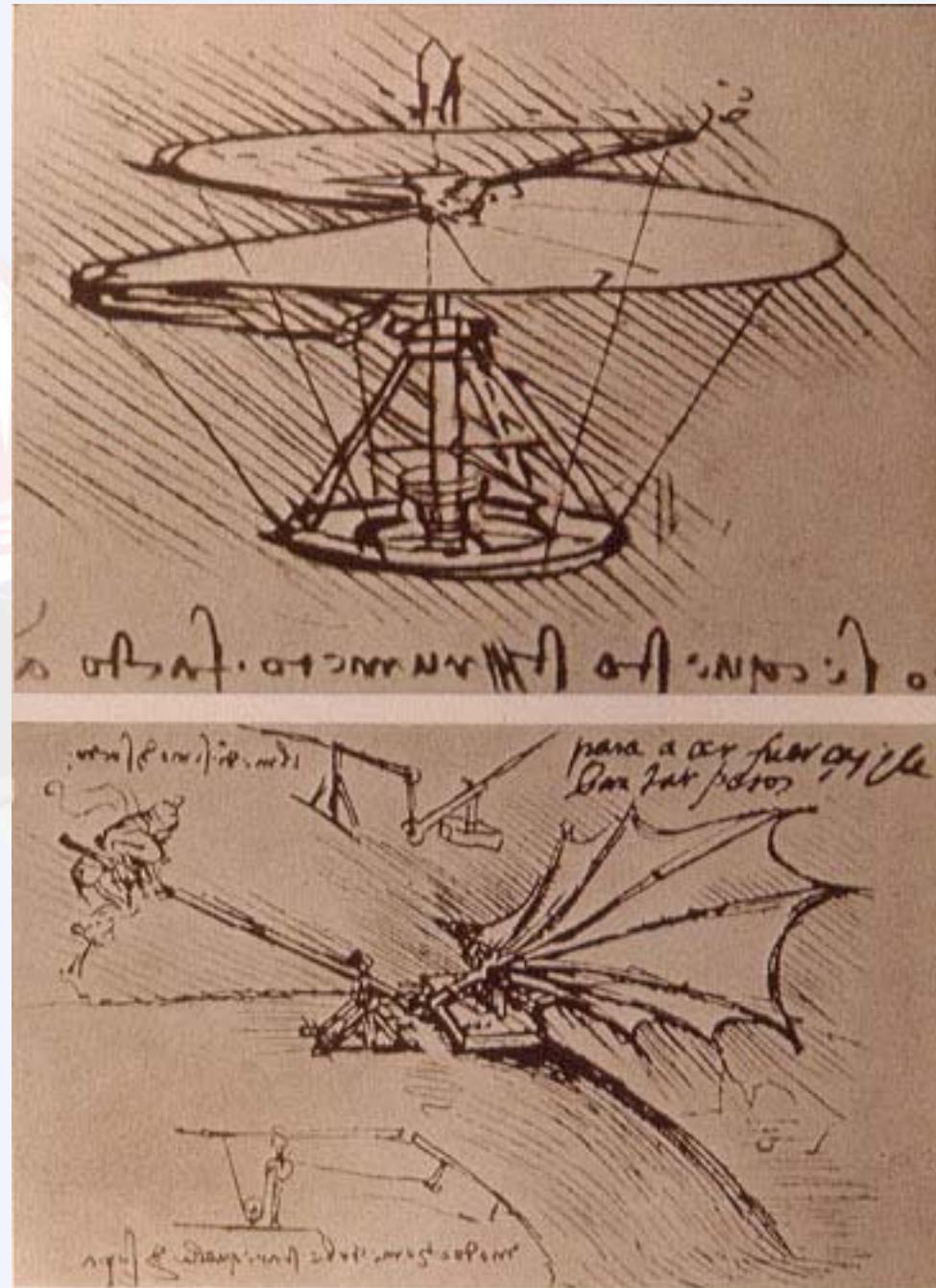
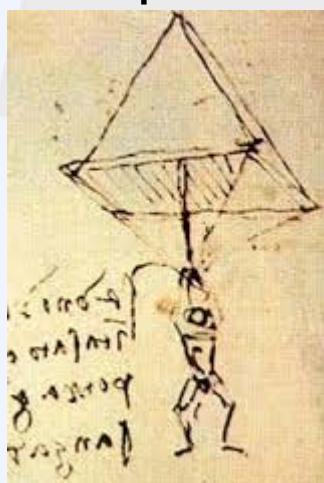
B- cerf-volant japonais

C- cerf-volant des îles de Micronésie, où le pilotage de cerf-volant se développa



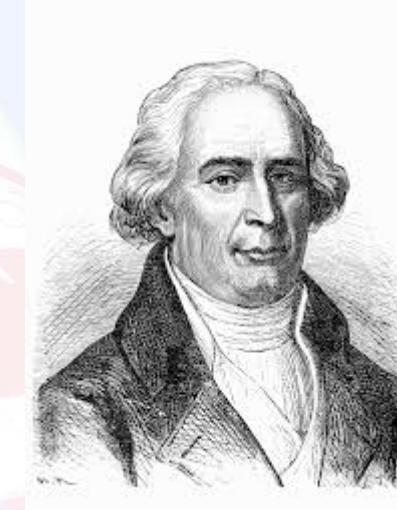
# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- La Renaissance : période de développement intellectuel, scientifique et technique. Léonard de Vinci étudie des machines volantes :
  - en s'inspirant du vol des oiseaux.
  - En imaginant l'hélicoptère
  - En dessinant le parachute



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

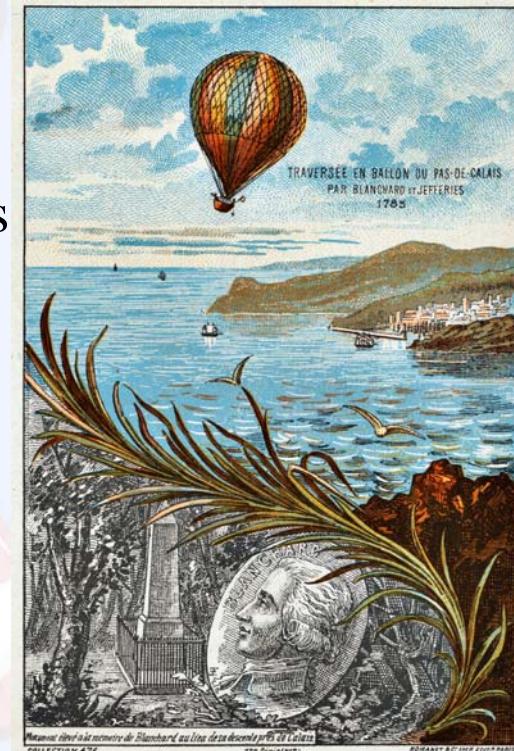
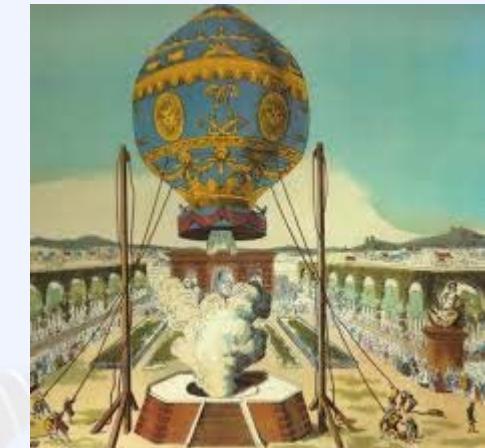
- Le ballon à air chaud :
  - Inventé par les frères Montgolfier.
  - 19 septembre 1783 à Versailles : le premier vol fut réalisé par un mouton, un coq et un canard, emportés sur trois kilomètres par un ballon à air chaud des frères Montgolfier. Le roi de France ayant interdit qu'un homme participât à cette première expérience. On croyait alors que la couche d'air suivait le relief, avec environ 10 m d'épaisseur.



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Le ballon à air chaud :

- Pour l'Histoire les premiers humains à quitter le sol furent les français, François Pilâtre de Rozier et le marquis d'Arlandes le **21 novembre 1783**, entre le château de la Muette et la Butte-aux-Cailles. 25 minutes plus tard, ils avaient franchi 10 kilomètres et étaient montés à plus de 1.000 mètres.
- 1785 : Première traversée de la Manche, Douvres-Calais par Blanchard et Jeffries, en ballon libre non dirigé. La colonne Blanchard à Guînes en porte le témoignage.



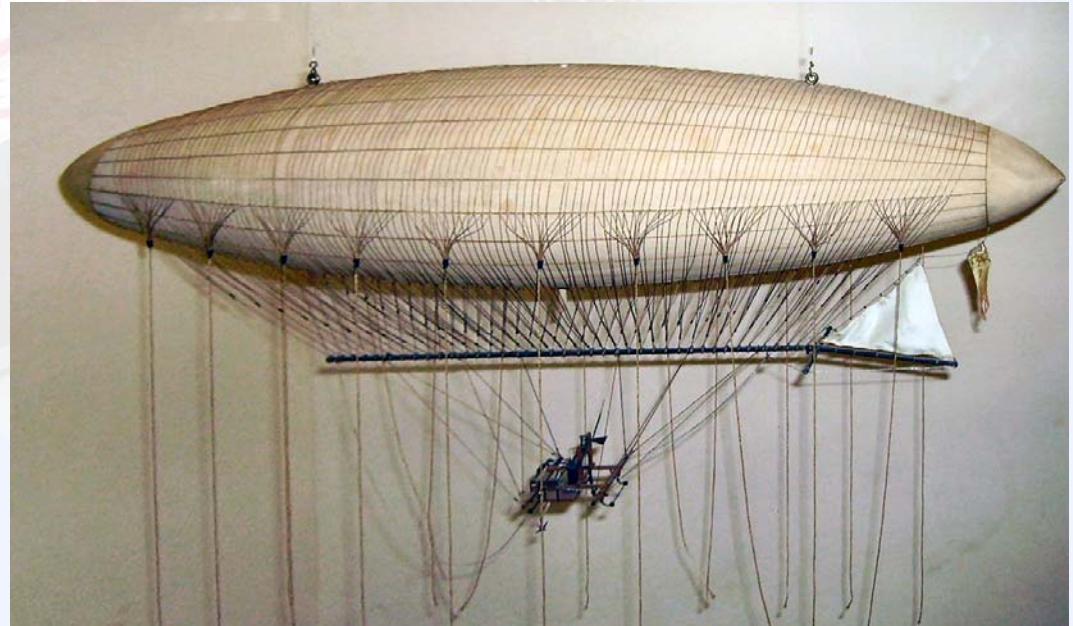
# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Le ballon à gaz :
  - Inventé en 1783 par Jacques Charles (gonflé au dihydrogène)
  - **1797** Premier saut en parachute par le Français Jacques Garnerin qui saute d'un ballon, à 1000m d'altitude.



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Le dirigeable d'Henri GIFFARD, 1852 :
  - Ingénieur et aéronaute français (1825-1882 ).  
En 1852, Henri Giffard pilota le premier dirigeable propulsé par une hélice mue par un moteur à vapeur, parcourant près de 27 km de Paris à Trappes en 3 heures environ.

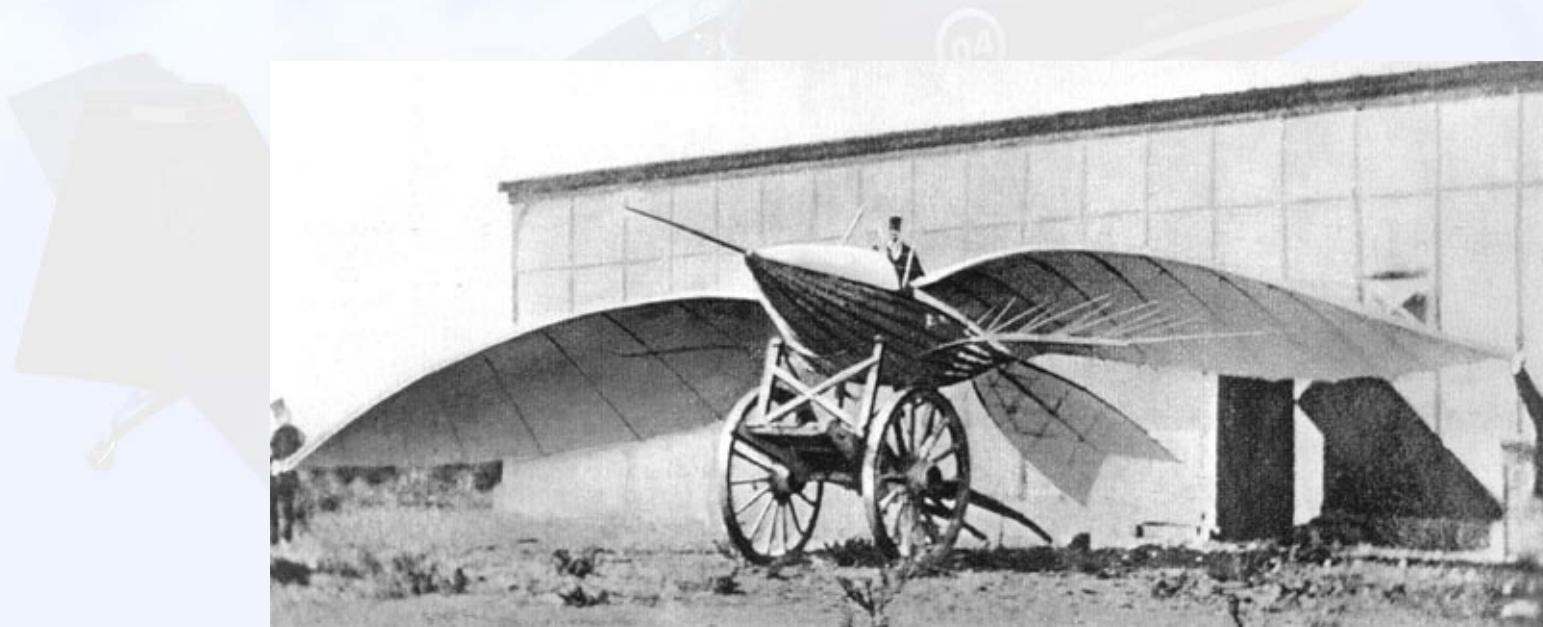


- Alberto SANTOS DUMONT fait le tour de la tour Eiffel
- en 1901



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Le premier vol plané :
  - effectué par Jean-Marie Le Bris.
  - Tiré par un cheval face au vent il parcourt entre 100 et 200 m à bord de son « oiseau artificiel ».
  - Il avait remarqué que même mort l'albatros tend à s'élever si on expose sa dépouille ailes étendues face au vent selon une certaine inclinaison.



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- 1890 : Le premier avion de Clément ADER
  - 50m à 20cm de haut
  - 1897 Avion III (300m à 50cm)
  - Écrit une doctrine complète de l'utilisation militaire de l'avion



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- **1891- 1896** planeurs monoplans et biplans cellulaires d'Otto Lilienthal, premier pilote photographié en vol. Sa devise : « il faut voler et tomber jusqu'à ce que nous puissions voler sans tomber ».

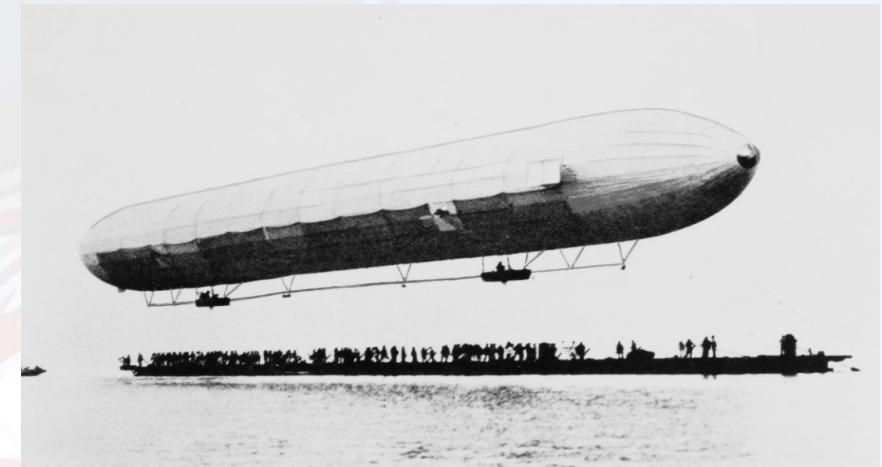


- **1893** Cerf-volant cellulaire de Lawrence Hargrave.



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Les premiers théoriciens du vol :
  - Sir Georges CAYLEY décrit les forces aérodynamiques (portance et traînée) en 1853
  - Otto LILIENTHAL a étudié scientifiquement les ailes de ses planeurs
  - Octave CHANUTE a poursuivi ses études, inspirant les frères WRIGHT
- **1900** Le général allemand à la retraite Ferdinand Von Zeppelin, s'envole à bord d'un ballon dirigeable de son invention au dessus du lac de Constance en Allemagne. L'aérostat de 128 mètres de long a parcouru 6 kilomètres en 18 minutes à 400 mètres d'altitude.



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Les Frères Orville et Wilbur WRIGHT:
  - 1901 : construisent une soufflerie
  - 17 décembre 1903 premiers vols
  - Début 1904 premier vol en circuit fermé



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- L'avion progresse et s'organise :
  - 1905 création de la Fédération Aéronautique Internationale
  - 1907 Paul CORNU décolle son hélicoptère à 1,5m du sol



- 1907 Robert ESNAULT PELTERIE invente le « manche à balai »
- 1908 Henry Farman boucle le premier kilomètre en circuit fermé

# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- L'Angleterre n'est plus une île :
  - Louis BLERIOT traverse la manche le 25 juillet 1909
  - 37min et une arrivée difficile

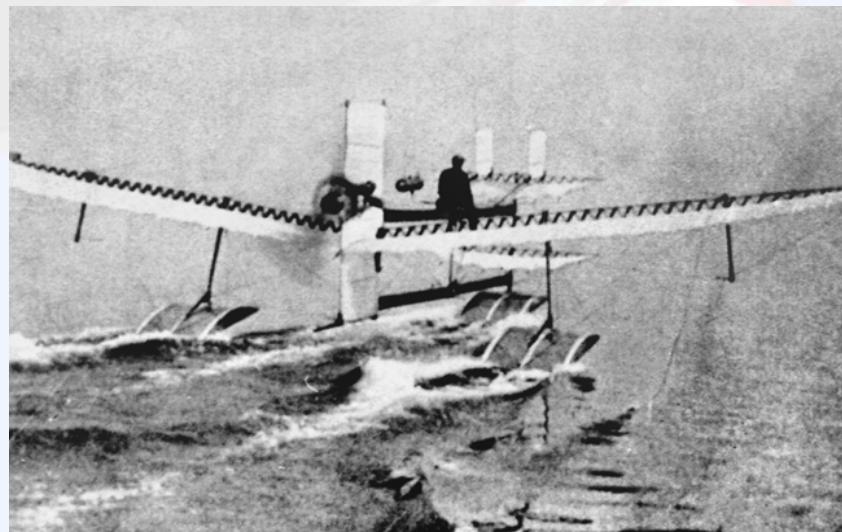


# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- La traversée des Alpes par Jorge CHAVEZ le 23 Octobre 1910

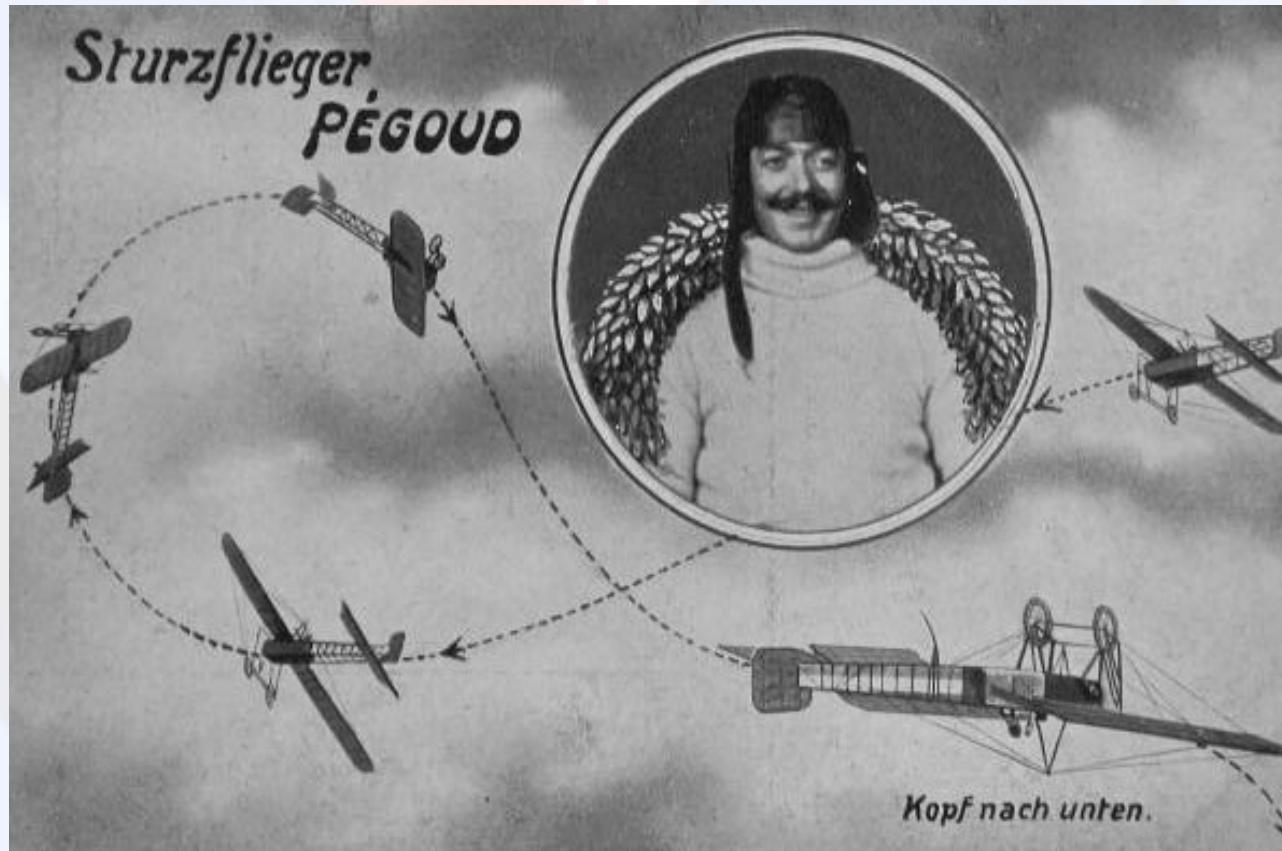


- La naissance de l'hydravion le 28 mars 1910 à Martigues par Henri FABRE:



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Le domaine de vol des avions s'ouvre :
  - 21 septembre 1913 à Buc
  - Adolphe PEGOUD réalise la première boucle



# Voler : un rêve vieux comme l'humanité

- Après la Manche, la Méditerranée:
  - Roland Garros
  - 23 septembre 1913
  - Sur Morane Type H



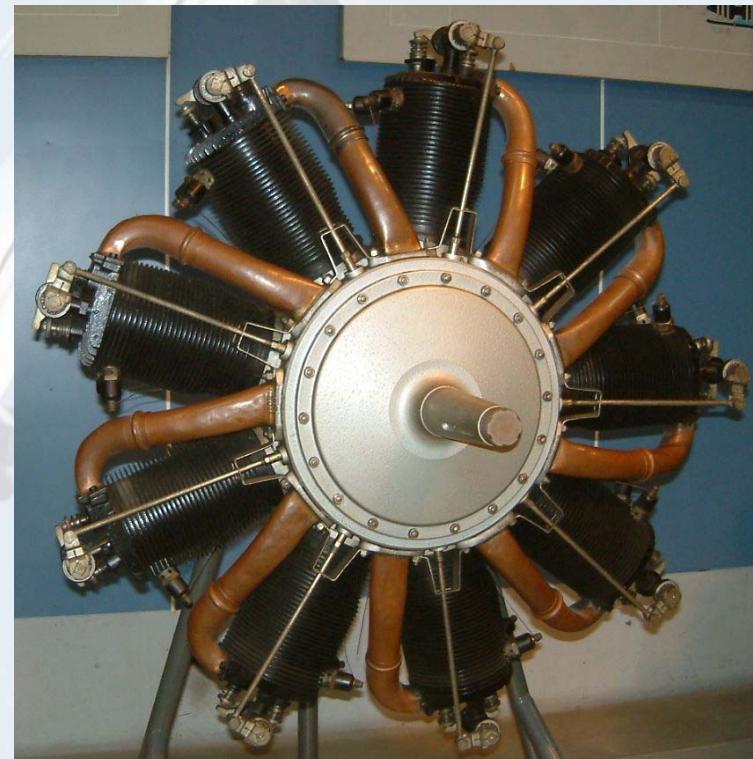
# Développement de l'aéronautique.

## 1914 à 1918 : un développement rapide lié à la guerre

- Les missions et leurs exigences :
  - La reconnaissance : les avions doivent avoir une bonne autonomie pour aller loin en territoire ennemi. Ils doivent aller vite pour éviter d'être interceptés et voler haut pour se mettre à l'abri de l'artillerie anti-aérienne.
  - Le bombardement tactique : les avions doivent emporter une charge de bombes correcte et pouvoir la larguer avec précision.
  - Le bombardement stratégique : les avions doivent avoir une grande autonomie pour pénétrer loin en territoire ennemi. Ils doivent emporter une charge très importante de bombes et voler haut pour éviter l'artillerie anti-aérienne et les chasseurs.
  - La chasse : Il faut des avions très rapides et avec un bon plafond pour intercepter les avions ennemis. Ils doivent être très maniables pour pouvoir manœuvrer autour de leur cible et être bien armés de mitrailleuses à cadence de tir rapides munies de nombreuses munitions.

# Développement de l'aéronautique.

- Les moteurs progressent vite pour répondre à la demande de puissance :
  - Les progrès du moteur à piston sont les garants du progrès
  - 1914 puissance de 100 CV sur des moteurs en ligne, en V, en étoile et rotatifs.
  - 1918 puissance de 200 à 400 CV
  - La fiabilité augmente



# Développement de l'aéronautique.

- L'aérodynamique des cellules aussi :
  - Les fuselages prennent une forme arrondie et sont recouverts de toile
  - Les profils d'aile s'épaissent
  - Le biplan reste de mise
  - L'hélice se perfectionne (hélice éclair)

Blériot XI  
et  
Morane Type H  
utilisés au début  
des hostilités.



# Développement de l'aéronautique.

- L'aérodynamique des cellules aussi :



Royal Factory SE5A  
Fokker Dr I



SPAD XIII  
Fokker D VII



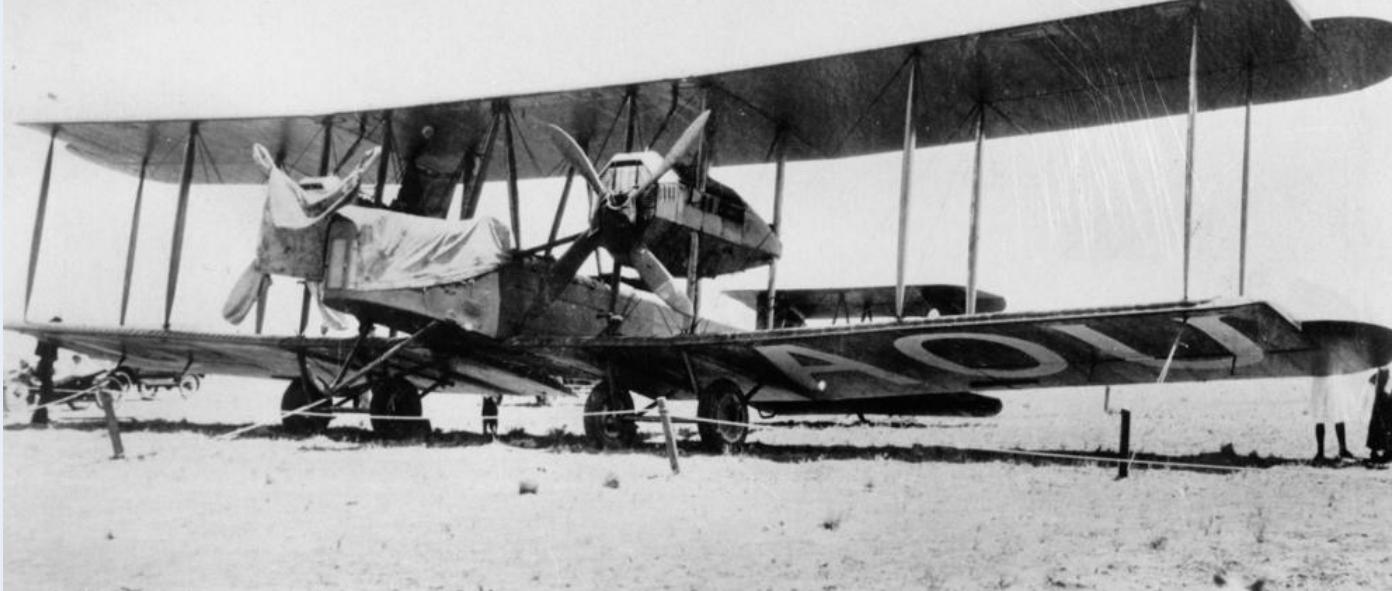
# Développement de l'aéronautique.

- Les performances suivent :
  - La vitesse passe de 120 à 220 km/h
  - Le plafond passe de 1200 à plus de 6000 m
  - La charge utile passe de 250 à 2500 kg



Airco DH2

Vickers VIMY



# Développement de l'aéronautique.

1918 à 1939 : L'aviation commerciale se développe

- Avec le transport du courrier, notamment en France et aux États Unis
  - Lignes Aériennes Latécoère (1919-1927) → la Compagnie Générale Aéropostale (1927-1933)
    - Ligne Toulouse – Casablanca – Dakar
    - Rio – Recif
    - 1930 la ligne est aérienne y compris au dessus de l'Atlantique
    - Extension du réseau en Amérique du Sud



# Développement de l'aéronautique.

- Les balbutiements du transport de passagers :
  - 1<sup>ère</sup> ligne régulière en 1914 entre St. Petersburg et Tampa (Floride) avec 1 passager (dure 3 mois)
  - 1918 développement de lignes avec des bombardiers convertis (2 à 3 passagers)
  - 1919 apparition d'avion dédiés avec une cabine pour les passagers (10 à 12)
  - Dans les années 1930 de nombreuses compagnies exploitent des lignes plus ou moins régulières en avion ou hydravion
  - Les appareils emportent peu de passagers (- de 20) et le vol, qui se fait à vue, dépend beaucoup de la météorologie.

De Havilland Dragonfly



# Développement de l'aéronautique.

- Les grands raids nourrissent l'imaginaire et aident au développement des machines :

- Le franchissement des montagnes :
  - Les Alpes le 23 septembre 1910 par Jorge CHAVEZ en Blériot XI

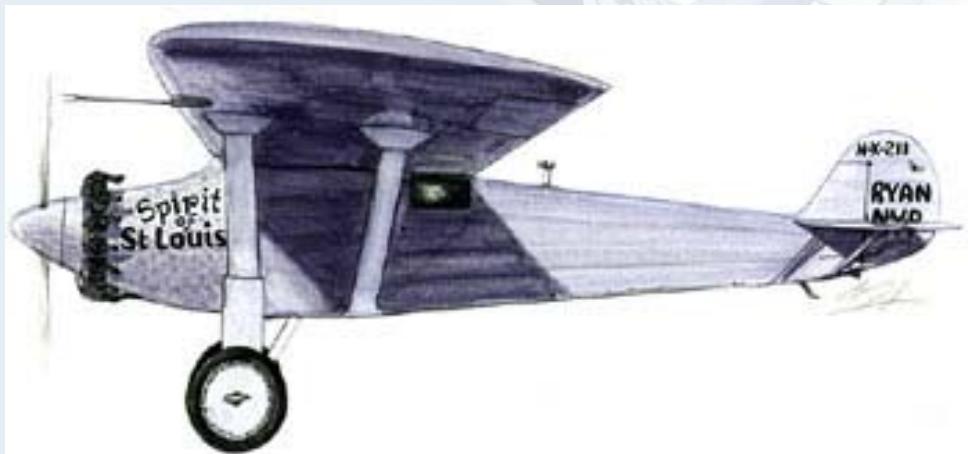


- Les Andes le 1<sup>er</sup> avril 1921 par Adrienne BOLLAND en Caudron G3
- Les traversées de continents avec ou sans escales se succèdent



# Développement de l'aéronautique.

- La traversée de l'Atlantique :
  - 1 ère traversée en juin 1919 par ALCOCK et BOWN sur Vickers VIMY entre Terre-Neuve et l'Irlande
  - New York - Paris le 21 mai 1927 par Charles Lindbergh sur le Ryan « Spirit of Saint-Louis ».
  - Paris – New York le 3 septembre 1930 par COSTES et BELLONTE sur Breguet 19 « Point d'interrogation » après la disparition de NUNGESSER et COLIS sur « l'Oiseau Blanc » en 1927.



# Développement de l'aéronautique.

- La traversée de l'Atlantique :
  - La première traversée féminine fut réalisée par Amelia EARHART le 20 mai 1932 seule en Lockheed Vega 5B.
  - L'Atlantique Sud est franchi le 15 octobre 1927 Par COSTES et Le BRIX sur Bréguet 19 « Nungesser et Colis ».
  - Cette route sera empruntée par les Latécoères 28 de l'Aéropostale à partir du 13 mai 1930.

Lockheed VEGA



# Développement de l'aéronautique.

- La traversée du Pacifique :
  - Les premières traversées sont effectuées par des hydravions
  - La première traversée sans escale par un avion est réalisée le 4 octobre 1931 par PANGBORN et HERNDON sur le « Miss Veedol ».
  - Amélia Hearhart disparut en 1937 lors de sa traversée après avoir rencontré une météo défavorable et des ennuis mécaniques à bord de son Lockheed Electra.



Lockheed L12 Electra



Bellanca Miss Veedol

# Développement de l'aéronautique.

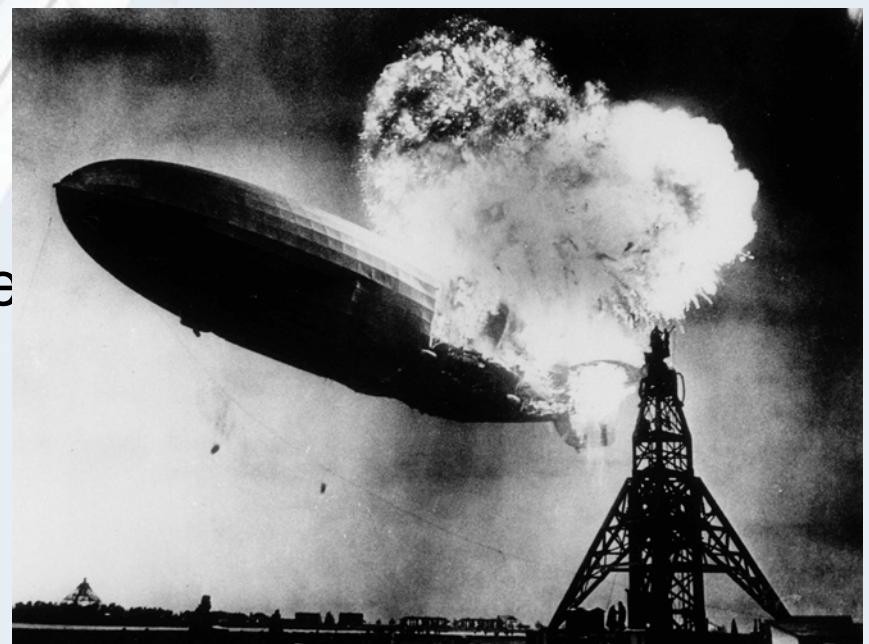
- Les compétitions de vitesse participent aussi aux progrès :
  - La coupe Schneider, destinée aux hydravions, encourage le développement d'avions rapides. La dernière est remportée en 1931 par un avion de la firme britannique Supermarine, dessiné par l'ingénieur Reginald MITCHELL, qui préfigure le célèbre Spitfire qu'il en a extrapolé.



Supermarine S6B

# Développement de l'aéronautique.

- Les dirigeables lancent le mouvement
  - Dès 1910, les allemands développent des dirigeables capables d'emporter un nombre de passagers plus élevé que les avions et sur de plus grandes distances
  - Des traversées transatlantiques régulières sont organisées
- Mais les espoirs s'envolent en fumée :
  - Les aéronefs gonflés à l'hydrogène s'avèrent dangereux et l'Hélium qui peut le remplacer est rare et cher.
  - 6 mai 1937, l'Hindenburg s'enflamme à l'arrivée à Lakehurst (New Jersey) faisant de nombreuses victimes.
  - D'autres sont perdus en raison de leur fragilité sous la tempête.
  - Ils seront alors abandonnés.



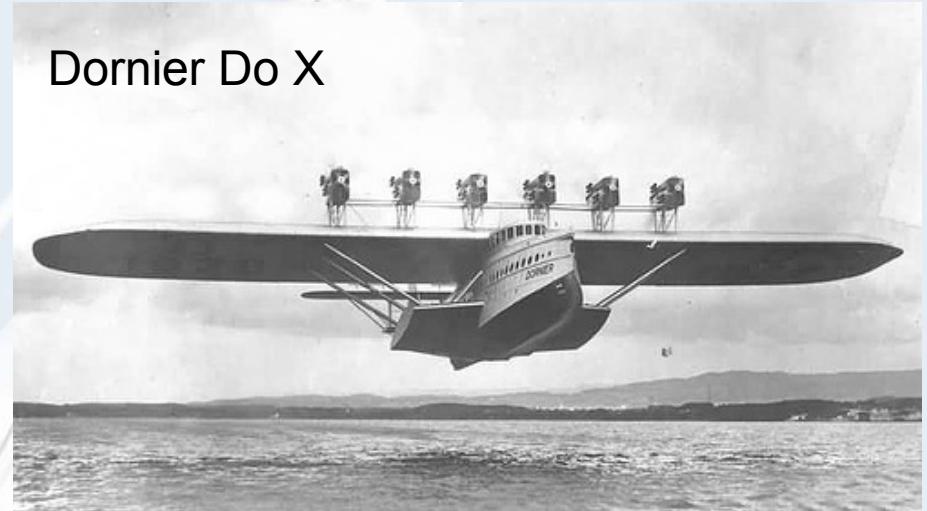
# Développement de l'aéronautique.

- Le transport des passagers au dessus des océans se développe avec les hydravions à partir de 1919 et restera bien en avance sur l'avion terrestre qui manque d'autonomie et ne trouve pas toujours d'escales adaptées.

Boeing Clipper



Dornier Do X



Latécoère 300

# Développement de l'aéronautique.

- L'avion est en retrait par son manque d'autonomie et de charge utile.
- Mais progresse : la puissance des moteurs augmente, l'aérodynamique progresse, la construction aussi et des perfectionnements font leur apparition (train rentrant...)
- A la veille de la seconde guerre mondiale les avions de ligne emportent de 15 à 20 passagers à une vitesse de 300 à 350 km/h



# Développement de l'aéronautique.

- Les premières grandes compagnies aériennes naissent :
  - Pan American (1926 à 1991) :
    - développée par Juan TRIPPE
    - transport de fret et de passagers
    - étend son réseau à l'ensemble du monde
  - Trans World Airlines (1925) :
    - développée par le milliardaire Howard HUGUES
    - grande concurrente de Pan American à leurs débuts
  - Lufthansa (1926)
    - compagnie nationale allemande
    - développement rapide car l'état allemand qui ne peut pas développer d'armée de l'air entre les deux guerres l'utilise pour préparer ses futures forces de la Luftwaffe



**TWA**



# Développement de l'aéronautique.

## Le développement de l'aviation militaire :

- Chez les américains : les progrès sont importants
- L'industrie aéronautique américaine n'a véritablement commencé que pendant la Première Guerre mondiale en produisant des modèles sous licence.
- Elle a su progresser et développer ses propres modèles, notamment grâce à la création du NACA en 1915 (future NASA)



Douglas B18  
P = 2 x 1000CV  
Vmax = 346km/h  
Plafond = 7280m  
Charge utile = 2600kg

# Développement de l'aéronautique.

## Le développement de l'aviation militaire :

- Les états unis développent beaucoup leur flotte de portes-avions et leur aviation embarquée



Grumman F4F Wildcat  
P = 1200CV  
Vmax = 530km/h  
Plafond = 11430m  
Charge utile = 550kg



Curtiss P36 Hawk  
P = 950CV  
Vmax = 520km/h  
Plafond = 10000m  
Charge utile = 550kg

# Développement de l'aéronautique.

- Chez les français et les anglais :
  - Abandon tardif des biplans trop lents
  - Résistance aux progrès (cockpits fermés, instrumentation moderne, radio embarquée...)
  - Mais des progrès importants à la veille de la guerre



Morane Saulnier MS406  
P = 860CV  
Vmax = 486km/h  
Plafond = 9850m  
Charge utile = 700kg

# Développement de l'aéronautique.

- Chez les français et les anglais :

Dewoitine D250  
P = 935CV  
Vmax = 540km/h  
Plafond = 11000m  
Charge utile = 580kg



Lioré et Olivier LeO 45  
P = 2 x 1060CV  
Vmax = 495km/h  
Plafond = 9000m  
Charge utile = 3600kg

# Développement de l'aéronautique.

- Chez les français et les anglais :

Hawker Hurricane  
P = 1300CV  
Vmax = 510km/h  
Plafond = 11000m  
Charge utile = 800kg



Supermarine spitfire  
P = 1040CV  
Vmax = 557km/h  
Plafond = 9300m  
Charge utile = 600kg

# Développement de l'aéronautique.

- Chez les français et les anglais :

Vickers Wellington

P = 2 x 1055CV

Vmax = 410km/h

Plafond = 6700m

Charge utile = 2040kg



Bristol Blenheim

P = 2 x 840CV

Vmax = 450km/h

Plafond = 8500m

Charge utile = 450kg

# Développement de l'aéronautique.

- Chez les allemands :

- La guerre se prépare avec le développement d'avions modernes et adaptés à leur mission :
  - Le Messerschmidt 109
  - Le Heinkel 111



Heinkel 111  
P = 2 x 1350CV  
Vmax = 435km/h  
Plafond = 8500m  
Charge utile = 2000kg



Messerschmitt Bf109  
P = 1175CV  
Vmax = 560km/h  
Plafond = 10500m  
Charge utile = 600kg

# Développement de l'aéronautique.

- Chez les allemands :
  - La guerre se prépare avec le développement d'avion modernes et adaptés à leur mission :
    - Le junker 87 Stuka



Junkers 87 Stuka  
P = 1200CV  
Vmax = 310km/h  
Plafond = 8000m  
Charge utile = 500kg

# Développement de l'aéronautique.

**1935 – 1945 La Seconde Guerre mondiale accélère de nouveau le développement de l'aviation :**

- L'utilisation massive du bombardement stratégique impose de développer des appareils à très long rayon d'action, avec une capacité d'emport très importante et volant à très haute altitude, donc pressurisés.
- Les moteurs doivent donc progresser en puissance et en fiabilité.
- Les chasseurs doivent progresser pour pouvoir intercepter les bombardiers stratégiques.
- La nécessité de transporter des quantités très importantes d'hommes et de matériels sur tous les fronts impose le développement d'avions de transport de troupes et de fret performants.

# Développement de l'aéronautique.

- La blitzkrieg :
  - En mai 1940 les allemands passent à l'attaque et mettent en pratique la Blitzkrieg qu'ils ont mise au point lors de la guerre d'Espagne de 1936 à 1939.
  - Pour la première fois les armes aériennes et terrestres sont utilisées en complète intégration : bombardements d'interdiction préparatoires (infrastructures et voies de communications) par les He 111 couverts par les Bf 109 suivis d'une offensive terrestre appuyée par les Ju 87 alors que les Hs126 reconnaissent les cibles.



# Développement de l'aéronautique.

- Le développement du bombardement stratégique :
  - Les allemands bombardent massivement l'Angleterre pour préparer l'invasion.
  - Les anglais répliquent par le bombardement stratégique des villes allemandes la nuit.
  - Les allemands déclenchent le Blitz sur Londres et les grandes villes anglaises.
  - Le 7 décembre 1941, les Japonais attaquent Pearl Harbor. Les américains entrent en guerre.
    - Ils bombardent l'Allemagne de jour.
    - Et les grandes villes japonaises dès que leurs bombardiers stratégiques le permettent.

# Développement de l'aéronautique.

- Les bombardiers stratégiques américains et britanniques :

Boeing B17 Flying Fortress 1938  
4 x 1200CV – 460km/h - 10850m  
2750kg de bombes



Consolidated B24 Liberator 1941  
4 x 1200CV – 470km/h - 8500m  
2300kg de bombes

Avro Lancaster 1942  
4 x 1280CV – 450km/h - 6500m  
6500kg de bombes



# Développement de l'aéronautique.

- Le développement massif du transport aérien :
  - Les fronts sont vastes et très éloignés des territoires nationaux (Afrique, Asie, îles du Pacifique...)
  - Il faut transporter des troupes vers les fronts rapidement.
  - Il faut ravitailler les troupes en vivres et munitions.
  - Instauration de ponts aériens des États Unis vers l'Europe et en Asie au dessus de l'Himalaya.

Douglas C47 Skytrain  
2 x 1200CV – 360km/h - 6500m  
Capacité de 28 passagers



Junkers Ju52 Tante Ju  
3 x 715CV – 265km/h - 5500m  
Capacité de 18 passagers

# Développement de l'aéronautique.

- L'amélioration des chasseurs :
  - Au début de la guerre la vitesse des chasseurs est aux alentours des 530km/h, leur plafond est d'environ 8000m et leur rayon d'action de 800km.
  - A la fin de la guerre la vitesse des chasseurs est aux alentours des 700km/h, leur plafond est d'environ 12000m et leur rayon d'action de 1500km.
  - La puissance des moteurs est passée de 1000CV à plus de 2500CV.
  - Les chasseurs ont dû gagner en plafond pour intercepter les bombardiers stratégiques, en autonomie pour les escorter en territoire ennemi et en vitesse pour affronter les chasseurs ennemis.

# Développement de l'aéronautique.

- Les chasseurs américains de la fin de la guerre :

North american P51D Mustang

P = 1700CV

Vmax = 703km/h

Plafond = 11280m

Charge utile = 900kg



Lockheed P38 Lightning

P = 2 x 1725CV

Vmax = 712km/h

Plafond = 13400m

Charge utile = 2000kg

# Développement de l'aéronautique.

- Les chasseurs britanniques de la fin de la guerre :



Supermarine Spitfire MkXIV

P = 2080CV

Vmax = 715km/h

Plafond = 11000m

Charge utile = 1000kg



Hawker tempest

P = 2500CV

Vmax = 700km/h

Plafond = 11300m

Charge utile = 1000kg

# Développement de l'aéronautique.

- Les chasseurs soviétiques de la fin de la guerre :

Yakovlev Yak 3

P = 1220CV

Vmax = 650km/h

Plafond = 11000m

Charge utile = 500kg



Lavotchine La 7

P = 1850CV

Vmax = 680km/h

Plafond = 11000m

Charge utile = 500kg

# Développement de l'aéronautique.

- Les chasseurs allemands de la fin de la guerre :

Messerschmitt Bf109 K-4

P = 1550CV

Vmax = 730km/h

Plafond = 12500m

Charge utile = 1000kg



Focke Wulf Fw190D9 Dora

P = 1730CV

Vmax = 690km/h

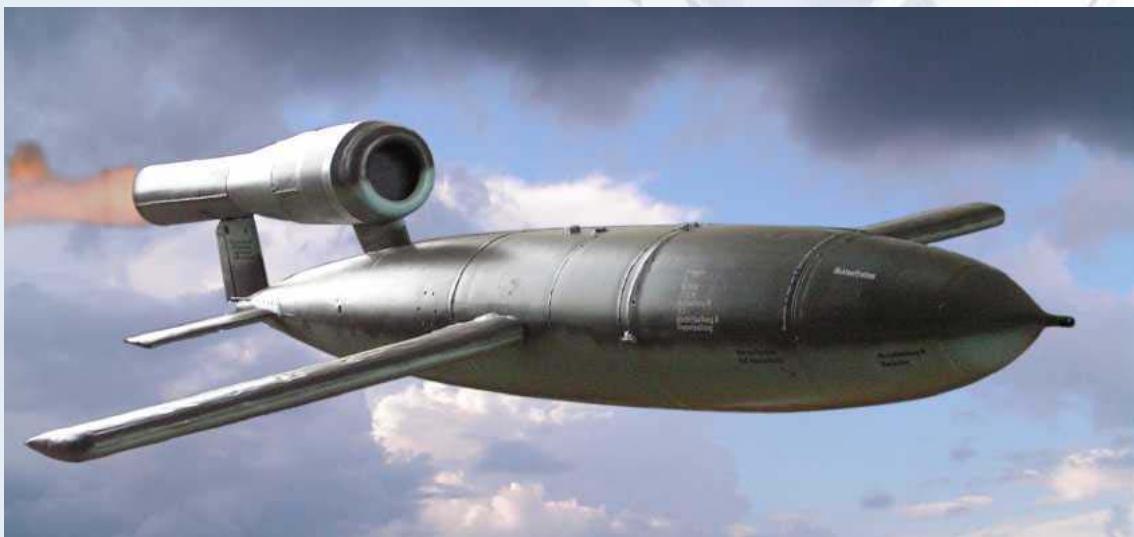
Plafond = 10300m

Charge utile = 1000kg

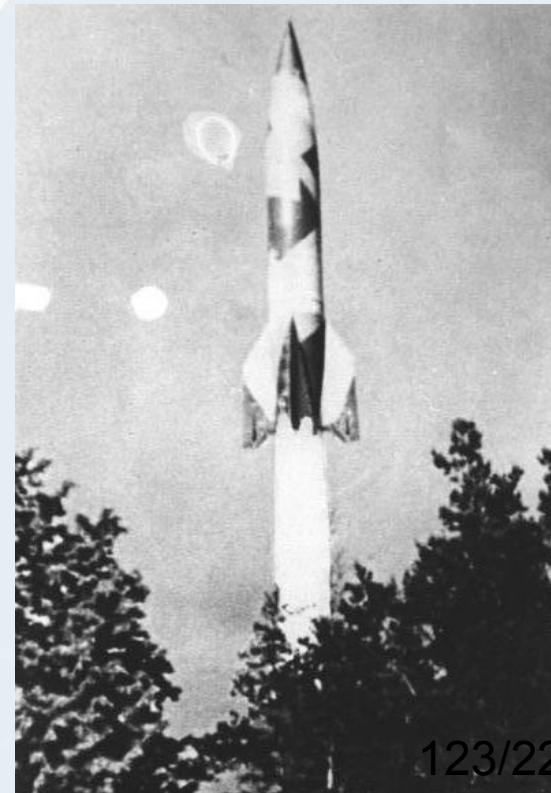
# Développement de l'aéronautique.

- L'avènement des missiles balistiques :
  - La guerre tourne en la défaveur de l'Allemagne et ses bombardiers subissent de lourdes pertes en bombardant la Grande Bretagne.
  - Hitler veut raser Londres et compte sur de nouvelles armes : les V1 et V2.

Vergeltungswaffe V1



Vergeltungswaffe V2

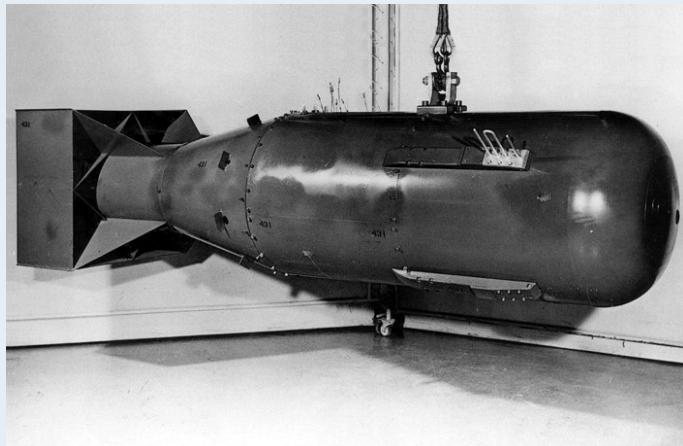


# Développement de l'aéronautique.

- L'avènement de l'arme nucléaire :
  - Pour mettre fin à une guerre qui s'éternise les belligérants cherchent à mettre au point une arme de destruction massive : la bombe atomique.
  - La physique nucléaire s'est développée peu avant guerre avec les premières avances significatives (découverte des types de radioactivité, modèle de l'atome, physique quantique...).
  - Les américains mettent en place le projet MANATHAN qui aboutit à la mise au point de la bombe A.
  - Le 06 août 1945 la première bombe atomique, baptisée « Little Boy », explose au dessus d'Hiroshima et le 09 août, la seconde, baptisée « Fat Man », au dessus de Nagasaki. La reddition des japonais sera signée le 11.

# Développement de l'aéronautique.

- Les deux bombes furent larguées par des Boeing B29 Superfortress : l'« Enola Gay » et le « Bockscar »



Little Boy  
Fat Man



Boeing B29 superfortress



# Développement de l'aéronautique.

- L'avènement du turboréacteur :
  - La recherche de toujours plus de puissance amène les ingénieurs à rechercher de nouvelles idées.
  - En grande Bretagne Frank Whittle (1907-1996) met au point le turboréacteur (W2/700) et le premier chasseur allié équipé de ce moteur, le Gloster Meteor entre en service ...
  - Mais les allemands ont pris de l'avance avec les réacteurs BMW Jumo qui équipent le Messerschmidt 262, premier chasseur à réaction opérationnel.



# Développement de l'aéronautique.

- Le Messerschmitt 262 Schwalbe :
  - plus rapide que n'importe quel chasseur allié (870km/h - 11500m) mais ses réacteurs manquent de fiabilité et la suprématie aérienne des alliés sur le territoire allemand les empêchent d'opérer correctement.
  - sa mission principale fut l'interception des bombardier alliés.



- Le Gloster Meteor :
  - moins rapide que le Me262 (768km/h) mais avec un très grand plafond (13100m)
  - s'est illustré dans la lutte contre les V1



# Développement de l'aéronautique.

- **La guerre froide gonfle les budgets militaires :**
  - Après la guerre le monde se bipolarise.
  - Les 2 grands blocs se préparent à un affrontement et tentent de dissuader l'autre d'attaquer par une course aux armements conventionnels et nucléaires.
  - Les flottes d'avions de combat sont importantes :
    - Intercepteurs rapides
    - Bombardiers stratégiques
    - Bombardiers d'interdiction
    - Avion d'appui tactique et de lutte antichar
    - Avions de reconnaissance stratégique
  - Les missiles balistiques nucléaires sont une priorité.

# Développement de l'aéronautique.

- Les intercepteurs se développent :
  - plus vite et plus haut : le mur du son est franchi avec le Bell X1 le 14 octobre 1947
  - La poussée des réacteurs croît rapidement pour passer de 400 DaN à plus de 10 000 DaN
  - Les intercepteurs atteignent Mach 2 (Mirage III , F104 Starfighter, Mig 21...)
  - Et parfois même plus : Mach 3 (Mig 25 et Mig 31)
  - Ils s'équipent de missiles air – air et de radar embarqué



Bell X1

# Développement de l'aéronautique.

F4 Phantom II



Mirage III



Mig 21



Mig 31

# Développement de l'aéronautique.



Mirage 2000C



F15 Eagle



Mig 29



131/223

Su27 Flanker

# Développement de l'aéronautique.

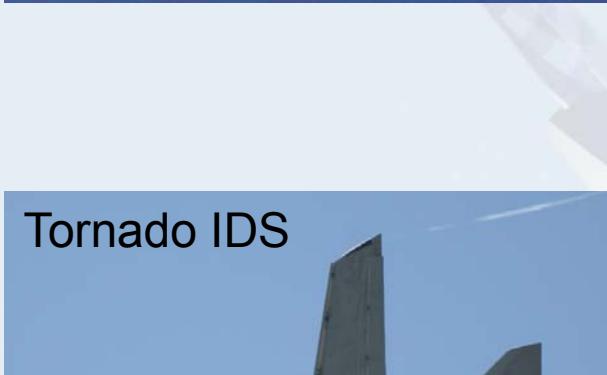
- Les avions d'appui et de lutte antichar se perfectionnent :
  - Des avions dédiés sont développés dans l'esprit de l'Ilyushin Il-2 Sturmovik et du Ju87 Suka : l'A10 Warthog et le Su25 Frogfoot
  - Leurs capacités de survie sont augmentées : blindage et leurres IR et EM contre les missiles.
  - Leur armement se perfectionne : missile à guidage TV ou laser et récemment bombes à guidage GPS

Su25 Frogfoot



A10 Thunderbolt II

# Développement de l'aéronautique.



# Développement de l'aéronautique.

- Les hélicoptères de combat se développent dans les années 1980-90

Tigre HAP



Mi35 Hind



# Développement de l'aéronautique.

- Les avions de reconnaissance stratégique amènent le renseignement :
  - Les américains développent le U2 des « skunk works » de Lockheed puis le TR1
  - Mais aussi le SR71 Blackbird.
  - Les satellites amènent aujourd'hui une capacité de renseignement plus élevée.



SR71



U2  
TR1



# Développement de l'aéronautique.

- Les bombardiers stratégiques garantissent la dissuasion nucléaire :
  - Les américains développent une lignée de bombardiers stratégiques qui aboutira au B52 et au bombardier furtif B2 Spirit.
  - Les soviétiques développent aussi ce type d'appareils Tu95 Bear, Tu22M, Tu160 Blackjack.
  - Les anglais et les français ne sont pas en reste avec les bombardiers V et le Mirage IV ( suivi du Mirage 2000N et du



B52 Stratofortress



Tu 95 Bear

136/223

# Développement de l'aéronautique.



B1 Lancer

Mirage IV



Tu22M Backfire



Tu160 Blackjack

137/223

# Développement de l'aéronautique.

- Le ravitaillement en vol s'impose :
  - Dès 1921 le ravitaillement en vol a été testé mais sans grand succès.
  - La guerre froide amène à le développer pour assurer la dissuasion nucléaire (permanence en vol, augmentation de l'autonomie des bombardiers).
  - Son intérêt s'étend aux intercepteurs qui assurent de longues missions de CAP (Combat Air Patrol).
  - Puis à tous les appareils de combat et même de transport pour assurer des missions à grande distance des bases de départ et avec une longue présence sur zone de combat.



# Développement de l'aéronautique.

- Les avions AWACS de détection et de contrôle se développent :
  - Ils permettent de détecter des avions volant très bas.
  - Ils offrent une capacité de détection à grande distance lors d'opérations hors du territoire national

E3 Sentry  
E2 Hawkeye



# Développement de l'aéronautique.

- Face au développement des missiles sol-air et à la complexification des missions, l'avionique se perfectionne :
- Années 60 : développement des radars aéroportés pour l'interception et le suivi de terrain
- Années 70 : développement des systèmes de navigation inertIELS et apparition des contre mesures électroniques
- Années 80 : développent des leurres et du brouillage électronique et apparition de la furtivité (F117 Nighthawk)
- Années 90 : perfectionnement de moyens de guerre électronique et apparition de la navigation par GPS
- Années 2000 : les chasseurs sont de plus en plus discrets et équipés de capteurs optronique passifs

# Développement de l'aéronautique.

- Aux avions spécialisés comme l'intercepteur F22 Raptor et le bombardier stratégique B2 Spirit...



- ... succèdent des avions polyvalents comme le Rafale ou le Typhoon.



# Développement de l'aéronautique.

- Les générations en phase de mise en service ou à venir augmentent leur polyvalence et leur furtivité.
- Un nouvel acteur semble émerger : la Chine.



Sukhoï T50



F35 Lightning II



Chengdu J20

# Développement de l'aéronautique.

- Depuis la fin de la guerre froide :

- Des guerres classiques :

- La guerre de Malouines en 1982 voit la Grande Bretagne déployer une Task Force à des milliers de kilomètres des îles britanniques pour reprendre les Falklands envahies par l'Argentine.
  - Les 2 guerres du Golfe en 1991 et 2003 voient les américains mener une coalition pour libérer le Koweït puis envahir l'Irak afin de provoquer la chute de Saddam Hussein.

- Des conflits asymétriques :

- Les interventions russe puis américaine en Afghanistan dans les années 1980 puis 2000 ont lutté contre un ennemi moins équipé mais rompu à la guérilla dans un territoire très hostile.
  - Les interventions contre ISIS au moyen orient mettent en œuvre des bombardements tactiques contre un ennemi sans arme aérienne.

# Développement de l'aéronautique.

- Les drones se développent :
  - Développement rapide depuis le début des années 2000 :
    - Drones de surveillance (Global Hawk, Watchkeeper...)
    - Drone de renseignement tactique (Sprewer...)
    - Drone de combat tactique (Reaper...)
    - Drones de combat stratégique furtifs en développement aux États Unis (X47), y compris pour un emploi sur porte avion et avec capacité de ravitaillement en vol, et en Europe (NEURON)



# Développement de l'aéronautique.

- Les drones de reconnaissance stratégique complètent les satellites : RQ4 Global Hawk



- Les drones de combat furtifs se dessinent comme le futur de l'aviation de combat : X45 et X47 (naval)



# Développement de l'aéronautique.

La guerre lance véritablement le transport aérien en masse :

- Le Fret :

- L'augmentation de la charge utile des avions cargo permet d'envisager un transport rapide de charges importantes
- En 1945 le Douglas DC3 emporte 4t de fret à 300 km/h sur .
- Dans les années 60 : le Boeing 707 cargo emporte 40t de fret à 800 km/h.
- Dans les années 70 : apparition du Boeing 747 en version cargo il transporte 108t de fret à 900km/h sur 7500km.
- Aujourd'hui : le B747-8F transporte 140t de fret sur 8000km.



# Développement de l'aéronautique.

- Les passagers :
  - Le transport massif de troupes des états unis vers l'Europe et le Pacifique devait parfois se faire plus rapidement et avec moins de risques que par la voie maritime.
  - Les opérations aéroportées se sont beaucoup développées.
  - Il a fallu des avions aux performances et à la fiabilité en conséquence.
- La nécessité de réguler et d'organiser le trafic aérien au niveau mondial est apparue :
  - L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale est créée le 7 décembre 1944 à Chicago.
  - Son existence officielle commence le 04 avril 1947.

# Développement de l'aéronautique.

- Le Douglas C47 Dakota devient le DC3 :
  - Avion de transport standard de l'armée américaine.
  - 1er vol le 17 décembre 1935
  - Performances : croise à 330 km/h à 7000m d'altitude avec 20 à 30 passagers
  - En service jusque dans les années 70 dans certains pays d'Afrique



# Développement de l'aéronautique.

- Qui donne une lignée célèbre : DC4 et DC6 :
  - L'autonomie augmente
  - Le confort s'améliore (pressurisation)



# Développement de l'aéronautique.

- Lockheed développe le Constellation et le Super Constellation :
  - L'aérodynamique est poussée au maximum et le luxe s'installe à bord
  - Performances : croise à 470km/h avec 60 passagers
  - Couchettes disponibles pour les traversées transatlantiques.



# Développement de l'aéronautique.

- Les turboréacteurs civils accélèrent le développement :
  - Les performances s'améliorent : plus de poussée, plus de fiabilité.
  - La consommation diminue : amélioration des chambres de combustion et des taux de compression, apparition des réacteurs double flux.
- De Havilland Comet : le précurseur malheureux
  - Performance : 40 à 80 passagers à la vitesse de 740 à 840 km/h sur 2500 à 5000 km selon les versions.
  - Mais un défaut structurel au niveau des hublots entraîne la perte de plusieurs appareils par décompression brutale.



# Développement de l'aéronautique.

- Boeing 707 : le grand gagnant
  - Premier avion à réaction civil fiable et performant entré en service en 1958.
  - Performances : 140 à 220 passagers sur 4600 à 10650 km à la vitesse de 900km/h
  - Produit à 1010 exemplaires
  - Certains exemplaires sont encore en service comme ravitailleurs en vol (KC135)



# Développement de l'aéronautique.

- Les concurrents se réveilleront :
  - Douglas DC10 (1) et Mc Donnell Douglas MD11 (2)
  - Lockheed L1011 Tristar (4)
  - Sud-Ouest Aviation Caravelle (3)



# Développement de l'aéronautique.

- Le premier très gros porteur : le Boeing 747 Jumbo Jet
  - Sa mise en service en 1970 amène une nouvelle étape dans le transport aérien : le transport de masse.
  - Performances : 480 à 605 passagers à 900 km/h sur 9800 à 15000km selon les versions.
  - Nombre commandés (produits) : 1537 (1515)
  - Dernière version mise en service en 2011.



# Développement de l'aéronautique.

- L'Europe développe le transport supersonique avec Concorde :
  - 1969: l'Europe mise sur la vitesse : Paris → New-York en 3h30
  - Mais les États Unis interdisent le survol supersonique de leur territoire et « tuent » l'avion qui a été mis en service le 21 janvier 1976.
  - Performances : Mach 2 avec 92 à 128 passagers sur 7200km.
  - Nombre d'avions produits : 20
  - Dernier vol le 26 novembre 2003.



# Développement de l'aéronautique.

- Puis AIRBUS vient concurrencer Boeing sur les moyens porteurs avec l'A300 :
  - L'Europe s'organise en créant un consortium : Airbus prend naissance à la fin des années 60.
  - Un mécano industriel qui laisse perplexe au début mais fera ses preuves.
  - L'A300, qui entre en service en 1974 est un succès et donne naissance à l'A310 en 1983.



# Développement de l'aéronautique.

- Et sur tout le reste de la gamme :
  - L'A320 est une révolution que les compagnies attendaient et propulse Airbus au sommet au détriment du Boeing 737 qui détenait un quasi monopole dans sa catégorie
  - Cet avion mis en service en 1988 intègre les derniers développements de la technologie (commandes de vol électriques notamment) et apporte un gain considérable en performances.



# Développement de l'aéronautique.

- Et sur tout le reste de la gamme :
  - L'A330 et l'A340 renforcent la position d'Airbus en apportant des longs courriers de grande capacité.
  - Airbus développe un concept de cockpits communs à toute sa gamme qui facilite le passage d'un avion à l'autre pour les équipages.



A330

A340-600



# Développement de l'aéronautique.

- Et sur tout le reste de la gamme :
  - L'A380 devient le plus gros avion de transport civil du monde quand Boeing renonce à remplacer le 747.
  - Airbus possède désormais une gamme complète d'avions de ligne performants.



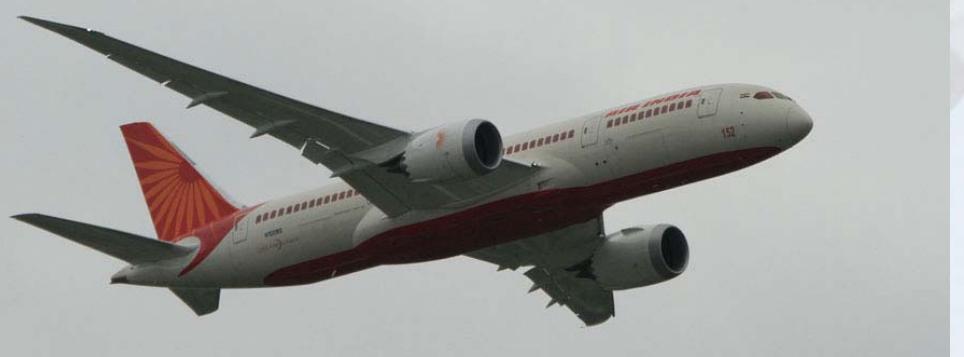
# Développement de l'aéronautique.

- Le duopole Boeing – Airbus :

- Ils représentent la quasi totalité du marché des avions de ligne moyen et long courrier.
- Entreprises réparties sur tous les continents ou presque.
- Aucun concurrent possible à court ou moyen terme
- Ils sont au sommet de la technologie avec leurs derniers nés : le B787 Dreamliner et l'A350 XWB

A350 XWB

B787 Dreamliner



# Développement de l'aéronautique.

- La concurrence tente d'exister :
  - Sur le continent américain :
  - Embraer avec la série des ERJ175 et 195



- Bombardier ave les CS100 et CS300 en développement



# Développement de l'aéronautique.

- La concurrence tente d'exister :

- En Asie :
    - Comac avec des avions inspirés de l'A320 en développement.
    - Mitsubishi avec des jets régionaux



- En Europe :
    - Sukhoi avec le SSJ100



# Développement de l'aéronautique.

- L'avenir proche :

- Le développement des moteurs permet des gains en consommation et en performances qui rendent l'utilisation des avions récents plus rentables.
- L'utilisation de carburants « verts » permet de limiter l'utilisation des carburants fossiles.
- L'optimisation des cellules (aérodynamique et matériaux) améliore encore l'efficacité énergétique des avions mais les avionneurs atteignent les limites des concepts utilisés actuellement.

# Développement de l'aéronautique.

- L'avenir à long terme : l'attente d'une rupture technologique



# Développement de l'aéronautique.

- L'avenir à long terme : l'attente d'une rupture technologique



# Histoire de la conquête spatiale

- Dans les années 1930 en Allemagne, les clubs de conception et de fabrication de fusées se développent.
- Pendant la Seconde Guerre mondiale, les allemands développent les premiers missiles balistiques : les V2 (V pour Vergeltungswaffe = arme de représailles).
- Ces armes, conçues par Wernher Von BRAUN (1912-1977) furent mises en service en 1942 et causèrent des dégâts en Grande Bretagne.

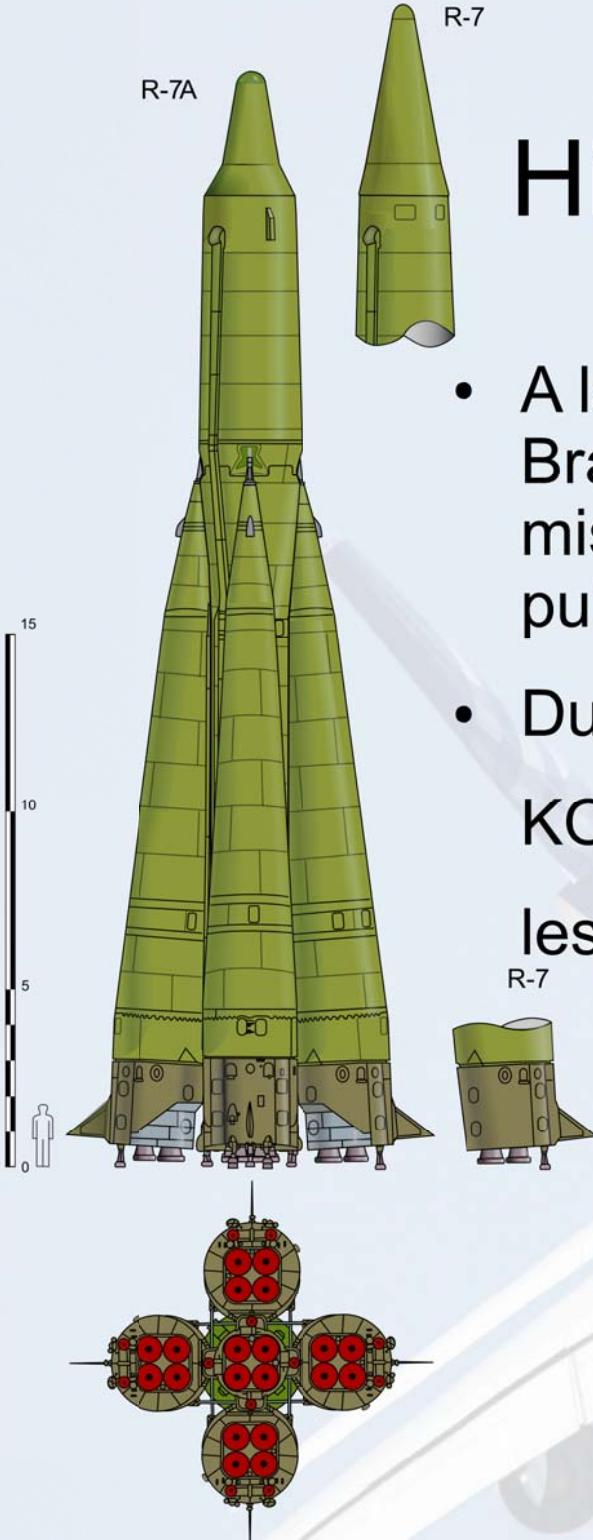


Bundesarchiv, Bild 141-1875A  
Foto: o. Ang. | 1942/1945 ca.



R-7A

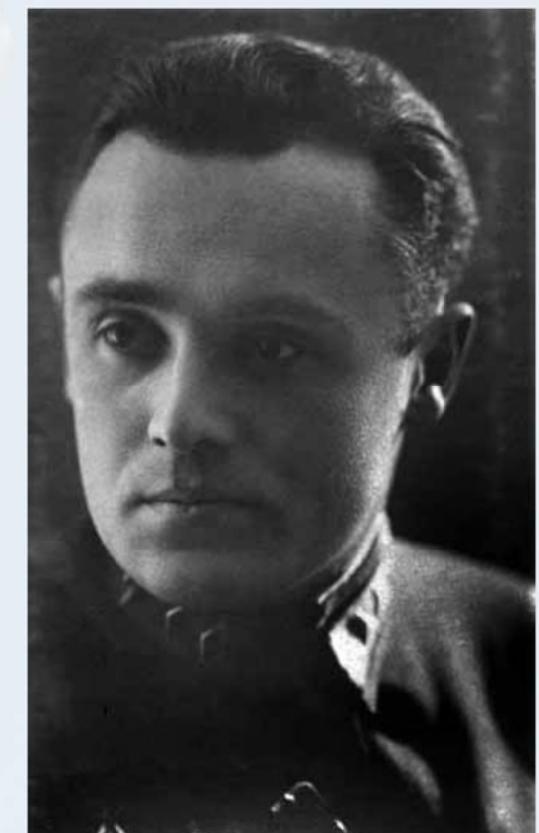
R-7



# Histoire de la conquête spatiale

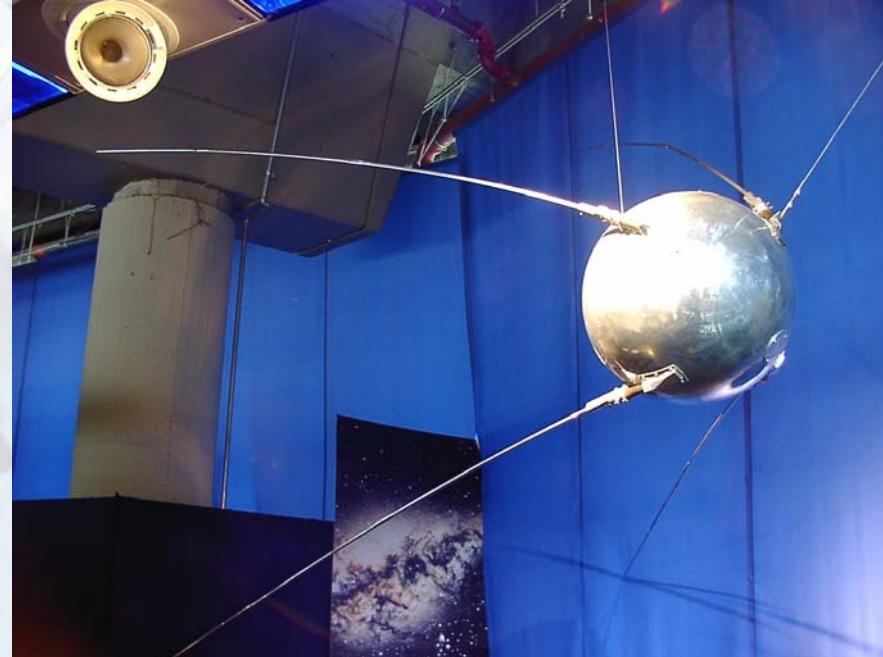
- A la fin de la guerre les américains récupèrent Von Braun et d'autre ingénieurs pour développer les missiles nucléaires intercontinentaux Redstone puis Minuteman
- Du côté des russes, c'est Sergueï KOROLEV (1906-1966) qui dirige les études des missiles R7.

La course à l'espace peut alors commencer.



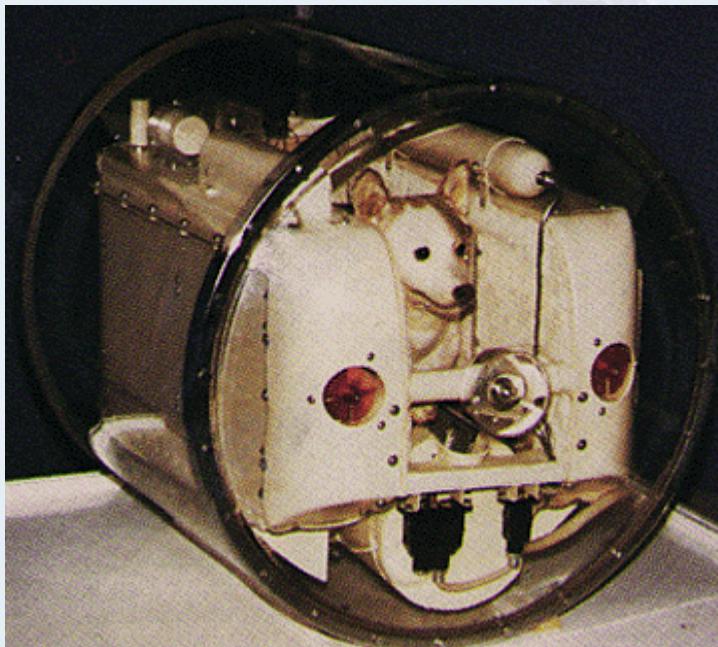
# Histoire de la conquête spatiale

- Premier objectif : placer un satellite en orbite.
  - 4 octobre 1957, les russes placent Spoutnik en orbite avec une fusée R7
  - Les américains n'y parviendront que le 1 février 1958 avec Explorer 1



# Histoire de la conquête spatiale

- Deuxième objectif : envoyer un homme
  - 3 novembre 1957: Laïka vole à bord de Spoutnik II mais meure au bout de quelques heures.
  - 12 avril 1961, Youri Gagarine (1934 – 1968) est le premier **cosmonote** dans l'espace à bord d'une capsule Vostok.



# Histoire de la conquête spatiale

- Toujours en tête, les soviétiques seront les premiers à :
  - Envoyer une femme dans l'espace: Valentina TERECHKOVA (1937) du 16 au 19 juin 1963
  - Réaliser une sortie extravéhiculaire : Alexeï LEONOV (1934) le 18 mars 1965



# Histoire de la conquête spatiale

- Les américains réagissent :
  - Programme Mercury (1959-1963) : envoyer un américain dans l'espace.
    - Fusées Mercury-Redstone puis Atlas
    - Alan Shepard premier **astronaute** dans l'espace le 5 mai 1961
    - Scott Glenn premier américain à faire des orbites le 20 février 1962



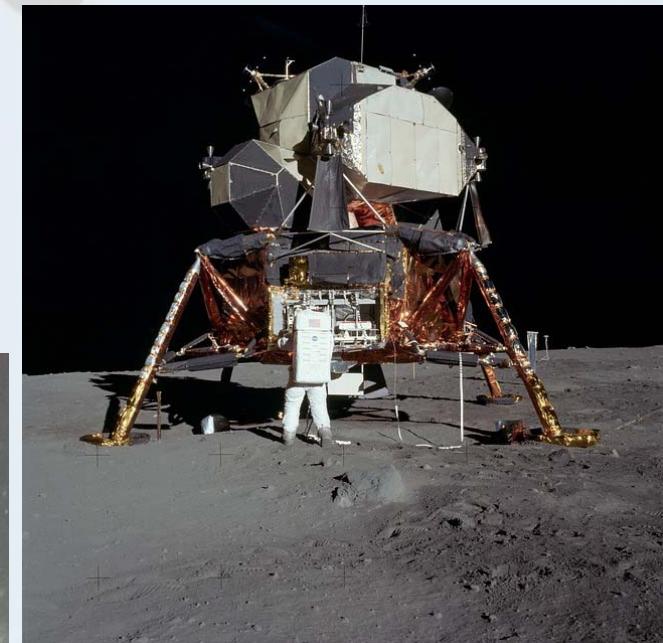
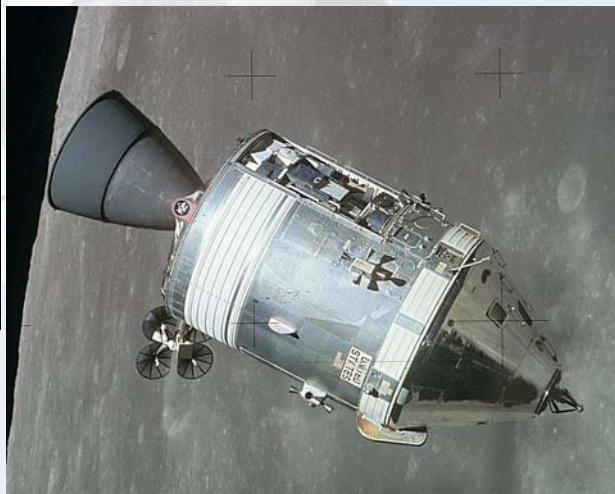
# Histoire de la conquête spatiale

- Programme GEMINI (1964-1966) : maîtrise du vol spatial et des sorties extravéhiculaires.
  - 3 au 7 juin 1965 : Edward White réalise la première sortie extra-véhiculaire américaine au cours du vol gemini 4
  - Les américains rattrapent leur retard
  - La technique du rendez-vous spatial est mise au point



# Histoire de la conquête spatiale

- Programme APOLLO (1966-1975) : objectif lune!
  - 21 juillet 1969 : Neil ARMSTRONG pose le pied sur la lune, Buzz ALDRIN l'accompagne dans le LEM et Michael COLLINS les attend en orbite dans le module APOLLO
  - La mission est réalisée grâce à la fusée Saturn V, au module Apollo et au LEM



# Histoire de la conquête spatiale

- Depuis les technologies évoluent dans la continuité.
- Seule rupture : la navette spatiale américaine mise en service le 12 avril 1981 (Columbia) et retirée en juillet 2011 (Atlantis) – 135 missions avec 5 navettes
- Navette russe BURAN ( un seul vol le 15 novembre 1988).



# Histoire de la conquête spatiale

- Les nations spatiales :
  - La Russie : lanceurs (satellites et hommes) - **Cosmonautes**
  - Les Etats Unis : lanceurs (satellites et hommes) - **Astronautes**
  - L'Europe : lanceurs Ariane (satellites) - **Spationautes**
  - La Chine : lanceurs Longue Marche (satellites et hommes) – **Taïkonautes**
  - L'Inde : lanceurs

# Histoire de la conquête spatiale

- L'espace scientifique: les laboratoires
  - La station MIR :
    - Station soviétique utilisée par de nombreuses nations (1986-2001)
  - L'International Space Station (1998)
  - Ces stations comprennent des laboratoires permettant de réaliser des expériences non faisables sur terre (en microgravité)



# Histoire de la conquête spatiale

- L'espace scientifique:
  - les sondes sont envoyées pour comprendre l'origine de l'univers:
    - Vers la lune puis les planètes du système solaire
    - Au delà : Voyager I sort du système solaire le 25/08/2012
    - Les comètes et astéroïdes : Rosetta dépose Philae sur la comète 67P
  - Les télescopes spatiaux permettent d'explorer le passé (Hubble – 24/04/1990)



# Histoire de la conquête spatiale

- L'espace commercial: les satellites
  - Télécommunications (radios, télévision, données....)
  - Météorologie (METEOSAT...) : les images satellites permettent d'améliorer grandement la qualité des prévisions qui ont une importance commerciale (agriculture, aviation...)
  - Imagerie (SPOT) : des images de différentes natures permettent une observation très précise de la surface de la terre (urbanisation, évolution de la végétation...)
  - Navigation: la navigation par satellite permet un guidage de grande précision pour de nombreuses activités professionnelles ou de loisir ( GPS/NAVSTAR ; Glonass ; Galiléo)

# Histoire de la conquête spatiale

- L'espace militaire:
  - Les satellites espion
    - Interception de communication radio ou téléphoniques
    - Images dans le visible et l'IR
  - Les armes dans l'espace
    - Des traités internationaux interdisent les armes dans l'espace

# Histoire de la conquête spatiale

- Le tourisme spatial :
  - voler avec les russes dans l'ISS est possible depuis 2001 pour 20 à 30 M\$
  - Virgin Galactic :
    - propose des vols suborbitaux à bord de Space Ship Two pour 250 000 \$
    - 700 réservations
    - Premier vol non encore fixé

