



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

# ONERA



THE FRENCH AEROSPACE LAB

[www.onera.fr](http://www.onera.fr)

# Electif Intégration Avion - Structure

Structure d'un aérodyne à voilure fixe

# Structure d'un avion | Plan

---

- Introduction
- Détails des composants
  - Fuselage
  - Ailes
  - Empennages
  - Moteurs
  - Trains d'atterrissage
- Vues d'ensemble
- Matériaux

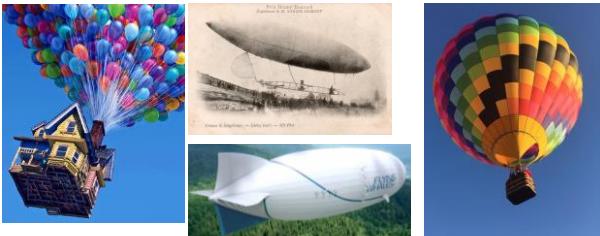
# Structure d'un avion | Introduction

## Aéronefs (aircraft)

Véhicule qui peut se mouvoir dans l'air

Aérostat – plus léger que l'air

Utilise la force aérostatique (poussée d'Archimède)



Aérodynes – plus lourd que l'air

Force aérodynamique

Fusées



Voilure fixe



Voilure tournante



# Structure d'un avion | Introduction

- Qu'est-ce qu'il y a en commun à tout ça?
  - Pas grand chose!
  - Difficile de créer une méthode d'analyse unique pour toutes ces géométries
- Entre aérostat et aérodynne :
  - Une zone pour les passagers
  - Une surface « portante »
- On se concentre sur les **aérodynes à voilure fixe**



# Structure d'un avion | Introduction

- Eléments principaux d'un tel avion :

- Fuselage



- Ailes



- Empennage



- Moteurs



- Train d'atterrissege

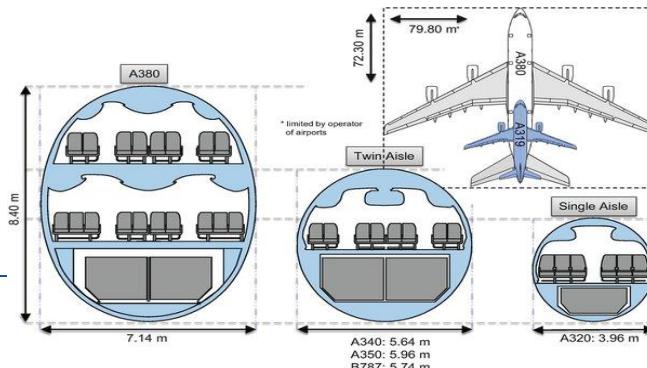
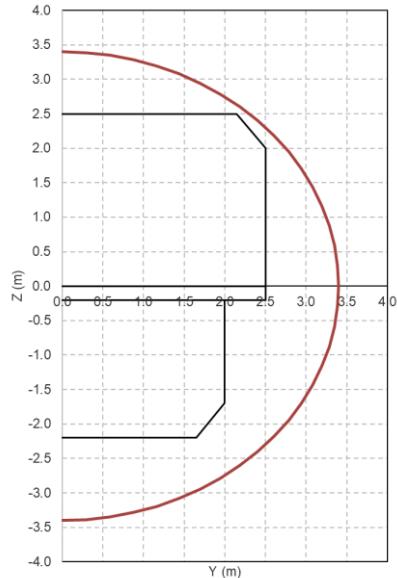


# Structure d'un avion | Fuselage

- Fonctions du fuselage (fuselage)?
  - Contient les passagers et les marchandises  
→ charge utile (payload) : tout ce que l'avion emporte qui n'est pas indispensable à son bon fonctionnement
- Sa forme va dépendre de la quantité de la charge utile transportée

# Structure d'un avion | Fuselage

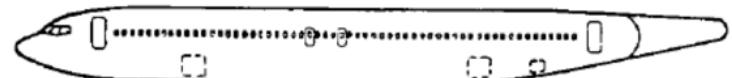
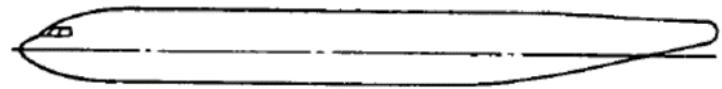
- Forme idéale ?
  - Un cylindre à section circulaire
    - Parfait pour la tenue à la pression
    - Perte de place et aérodynamisme de l'avant !
  - En pratique, souvent, la section est constituée de **2 arcs de cercle** de rayons et de centre différents



Avion – Structure – Détails de la structure

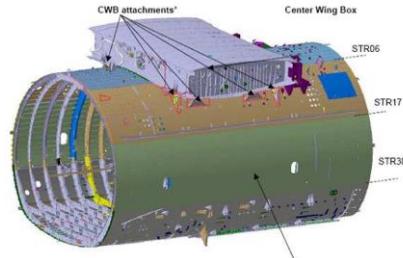
# Structure d'un avion | Fuselage

- 1<sup>er</sup> ajustement :
  - A l'avant, pour l'aérodynamisme et la visibilité du pilote
  - A l'arrière, gain de place et phénomène de bascule au décollage.
- 2<sup>ème</sup> ajustement :
  - Il faut des portes!
  - Il faut des hublots!



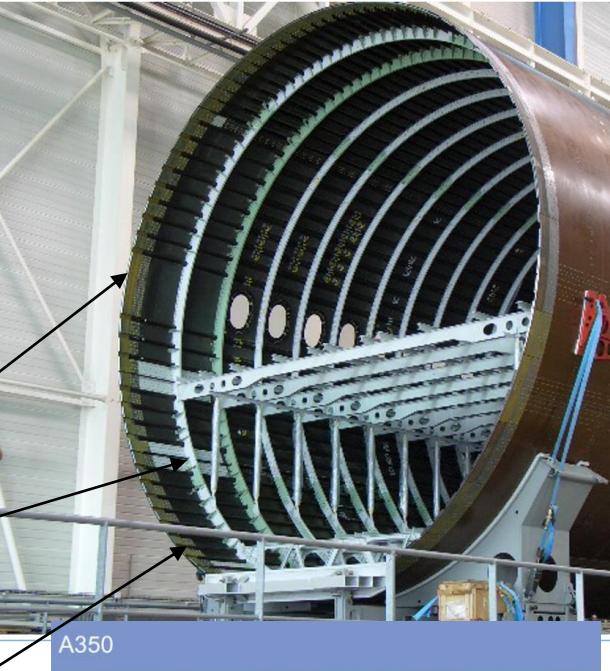
# Structure d'un avion | Fuselage

- 3ème ajustement :
  - Place pour l'aile qui est souvent en une partie!
  - Elle traverse soit:
    - le bas du fuselage (classique pour les avions civils)
    - la partie haute
    - Au milieu en 2 parties (avions de chasse)



# Structure d'un avion | Fuselage - Section

- Qu'est ce qu'on trouverait si on faisait une coupe transverse du fuselage?
  - Éléments structuraux :
    - Revêtement (**skin**,) plaques qui tiennent la pression
    - Cadres (**frame**, poutres transverses qui maintiennent la forme)
    - Lisses (**stringers**, poutres longitudinales qui augmentent la raideur de flexion)
  - Plancher (**floor**)



Electif Avion – Structure – Détails de la structure

# Structure d'un avion | Fuselage - Section

- Qu'est ce qu'on trouverait si on faisait une coupe transverse du fuselage?
  - Notre payload
    - Sièges
    - conteneurs



# Structure d'un avion | Fuselage - Section

- Qu'est ce qu'on trouverait si on faisait une coupe transverse du fuselage?
  - L'habillage
    - Coffre à bagages
    - Isolation



Licet Avion - Structure - Détails de la Structure

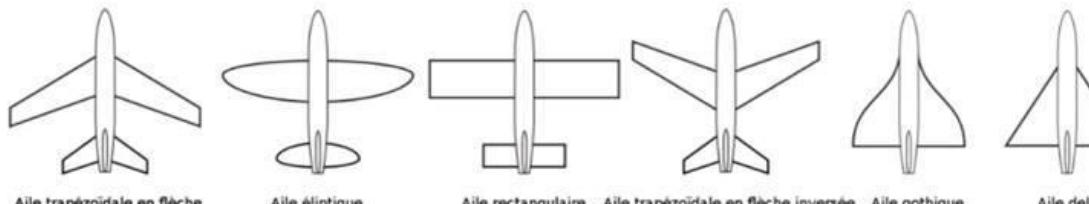
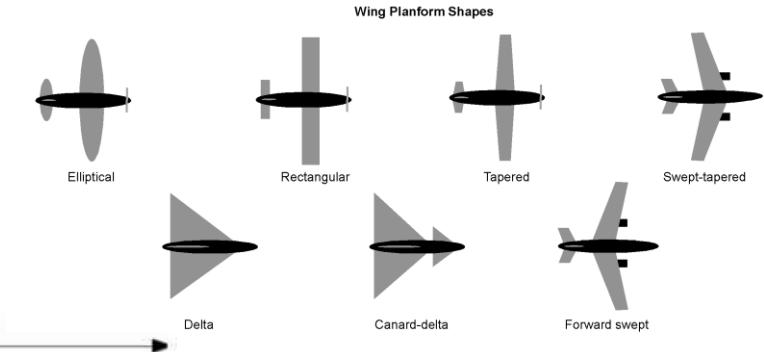
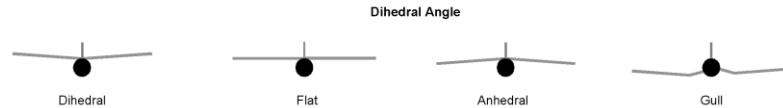
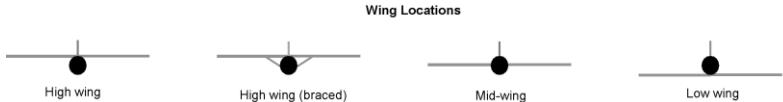
# Structure d'un avion | Aile - formes

## Fonction des ailes (wing)?

- Porter le fuselage

## Forme idéale?

- Dépend du type d'avion



# Structure d'un avion | Aile - formes



Elliptiques - Spitfire



Rectangulaire



Forward swept



Gull



Mirage 2000 - Delta



# Structure d'un avion | Aile - Dessus

- Un peu de vocabulaire :
  - **Bord d'attaque (leading edge)**
  - **Bord de fuite (trailing edge)**
- Qu'est-ce qu'on trouve dessus?
  - **Ailerons (aileron)**: gouverne pour produire un moment de roulis
  - Dispositifs hypersustentateurs (high-lift device)
    - **Bec de bord d'attaque (slat)**
    - **Volets de bord de fuite (flap)**
  - **Winglet** : diminue la trainee induite

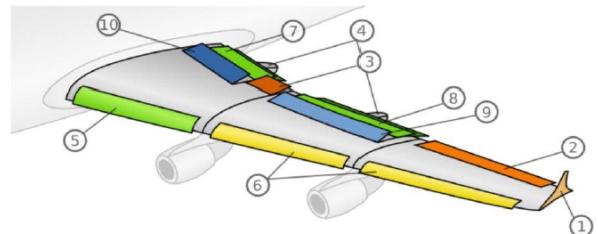
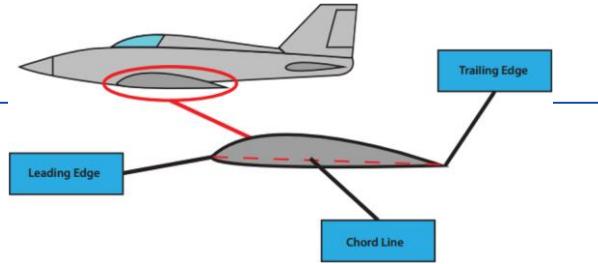


Figure 11 : La structure externe des ailes.

- (1).....Winglet
- (2).....aileron basse vitesse
- (3).....aileron haute vitesse
- (4).....rail de glissement des volets
- (5) / (6).....becs de bord d'attaque
- (7).....volet intérieurs
- (8).....volets extérieurs
- (9).....spoilers (destructeurs de portance)
- (10).....spoilers/aérofreins

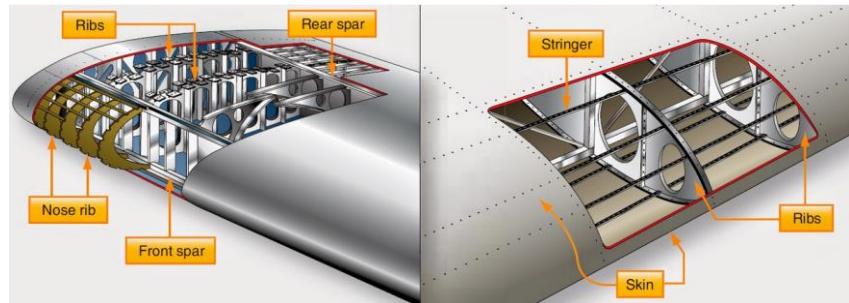
Electif Avion – Structure – Détails de la structure

# Structure d'un avion | Aile - Intérieur

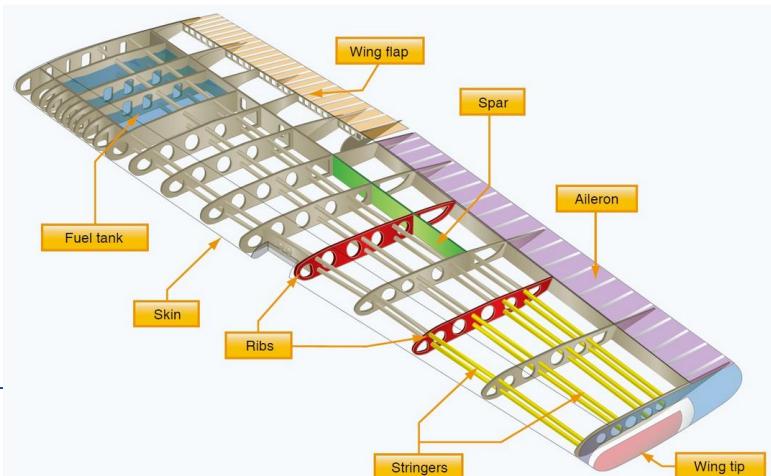
- Qu'est-ce qu'on trouve à l'intérieur ?

- Eléments structuraux

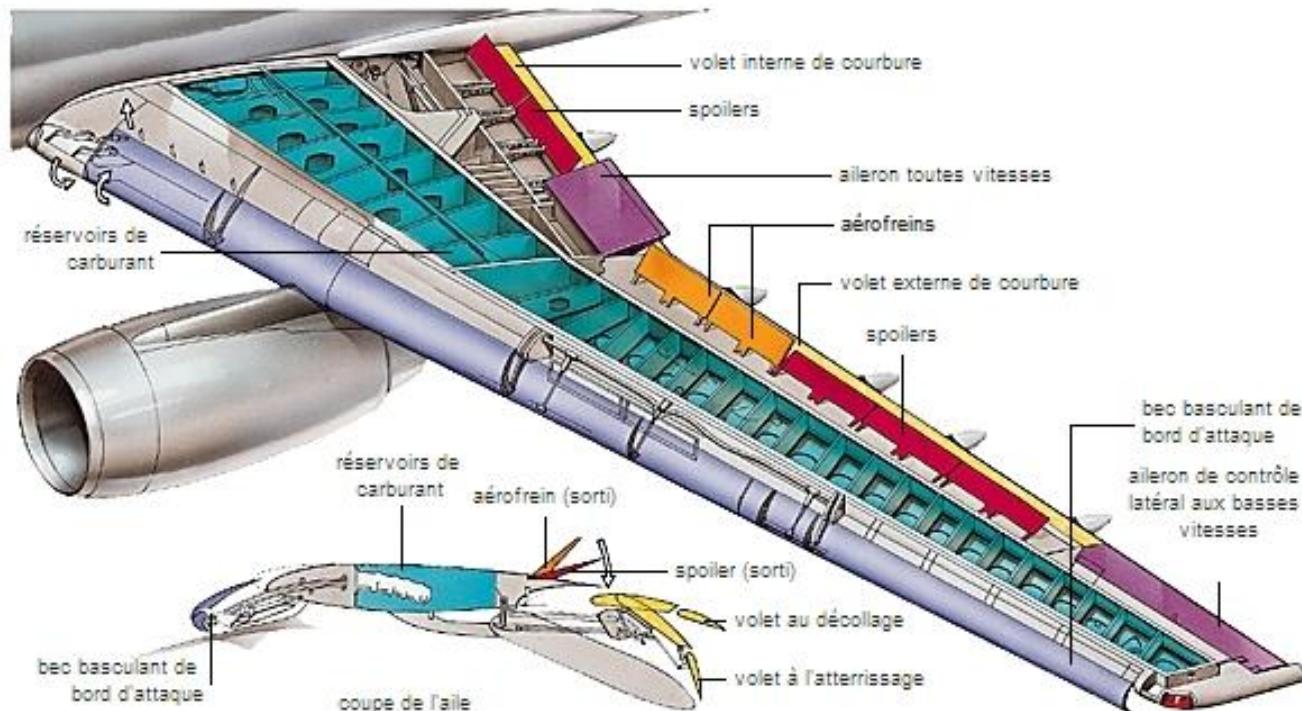
- Revêtement
    - Longerons (**spar** – raideur en flexion)
    - Nervures (**ribs** – raideur en torsion)
    - Lisse (**stringer** – raideur en flexion)



- Réservoir de carburant (kérosène)



# Structure d'un avion | Aile - Intérieur

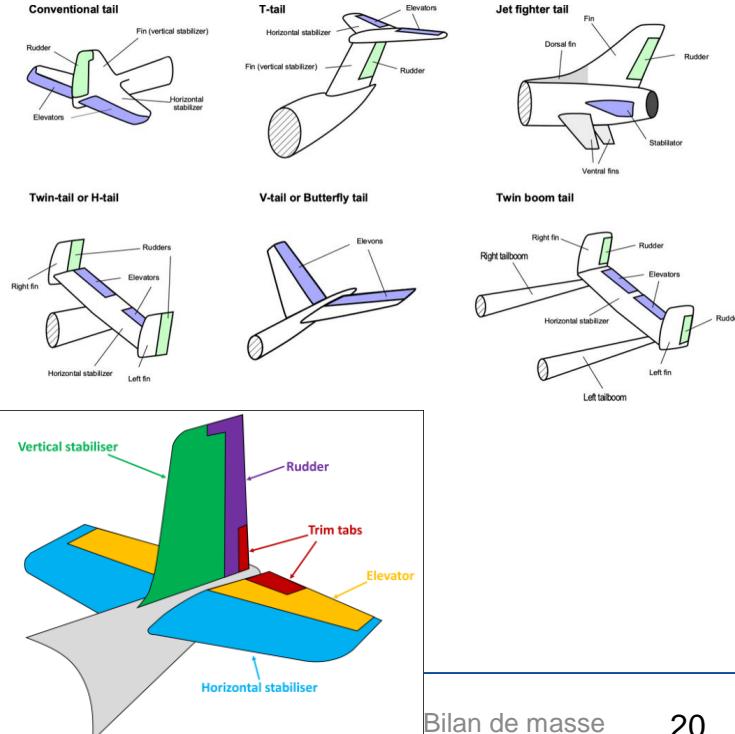


# Structure d'un avion | Aile



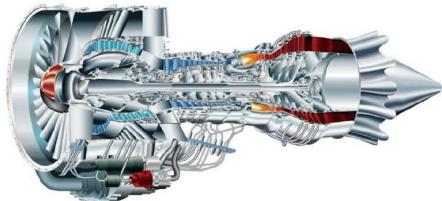
# Structure d'un avion | Empennage

- Fonction de l'empennage (empennage)?
  - Stabiliser l'avion
- Constitué souvent de :
  - Partie horizontale (**elevator**)
  - Partie verticale : **dérive (rudder , fin)**



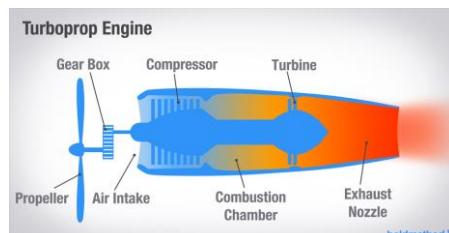
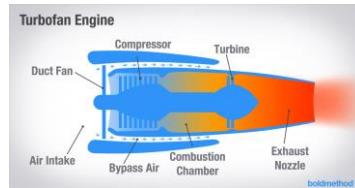
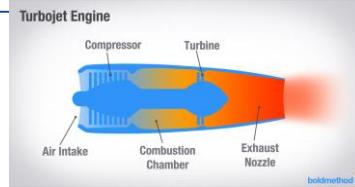
# Structure d'un avion | Moteur

- Fonction du moteur (engine)?
  - Faire avancer l'avion



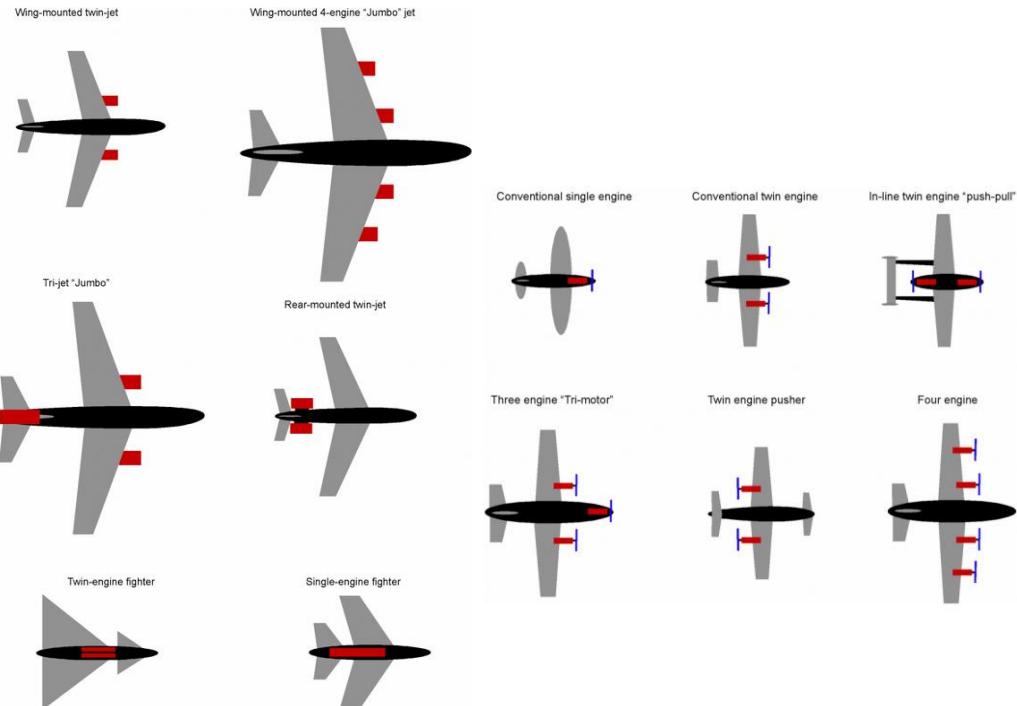
# Structure d'un avion | Moteur

- Différentes catégories
  - Turboréacteur (turbojet)
    - La propulsion vient de l'éjection de gaz
  - Turboréacteur à double flux (turbofan)
    - Proche du turbojet, plus silencieux et plus efficace
    - Utilisé dans l'aviation civile
  - Turbopropulseur (turboprop)
    - La propulsion vient principalement de la rotation des hélices
    - « faible » consommation en carburant
    - Pour les vitesses < 800 km/h



# Structure d'un avion | Moteur

- Positions différentes

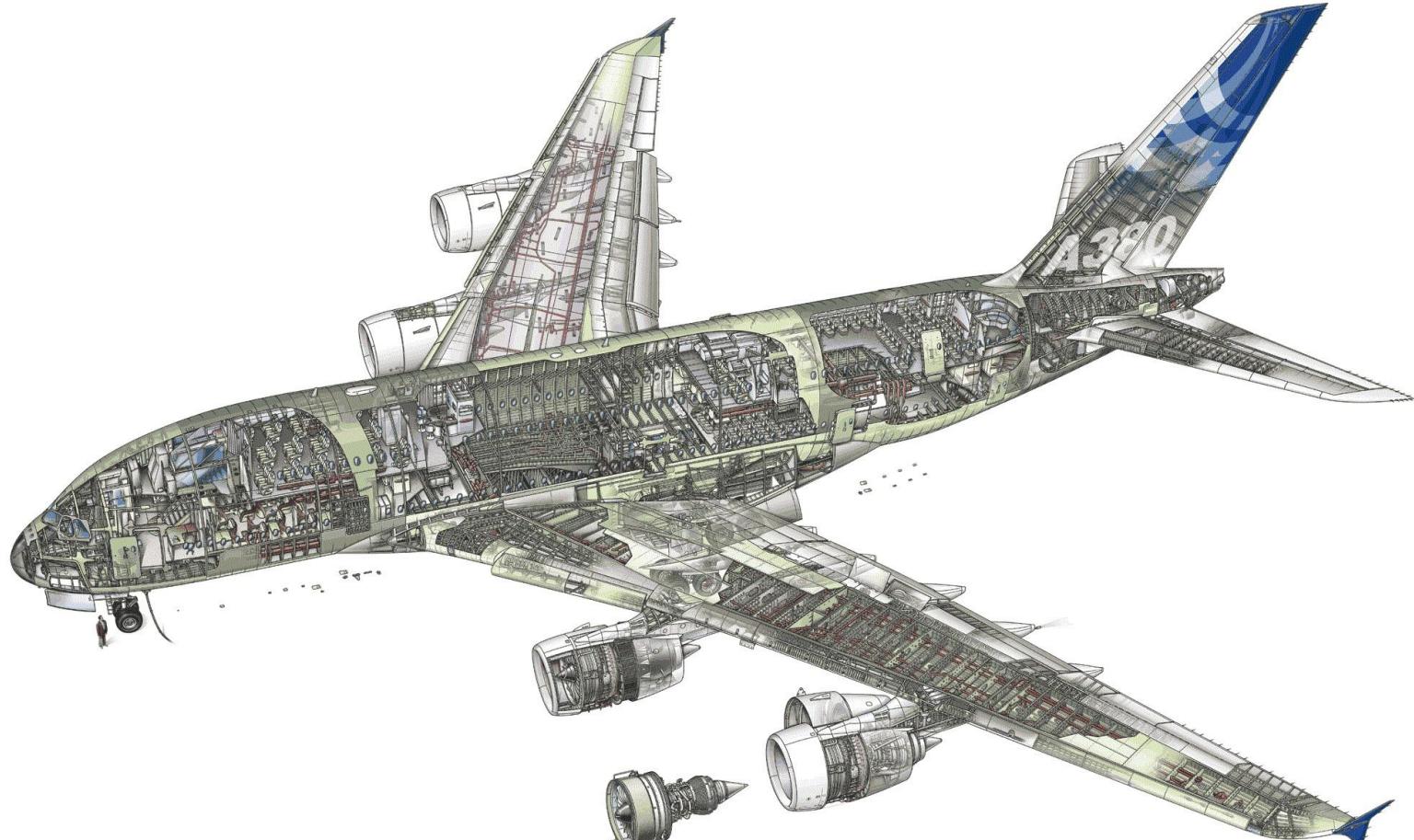


# Structure d'un avion | Train d'atterrissage

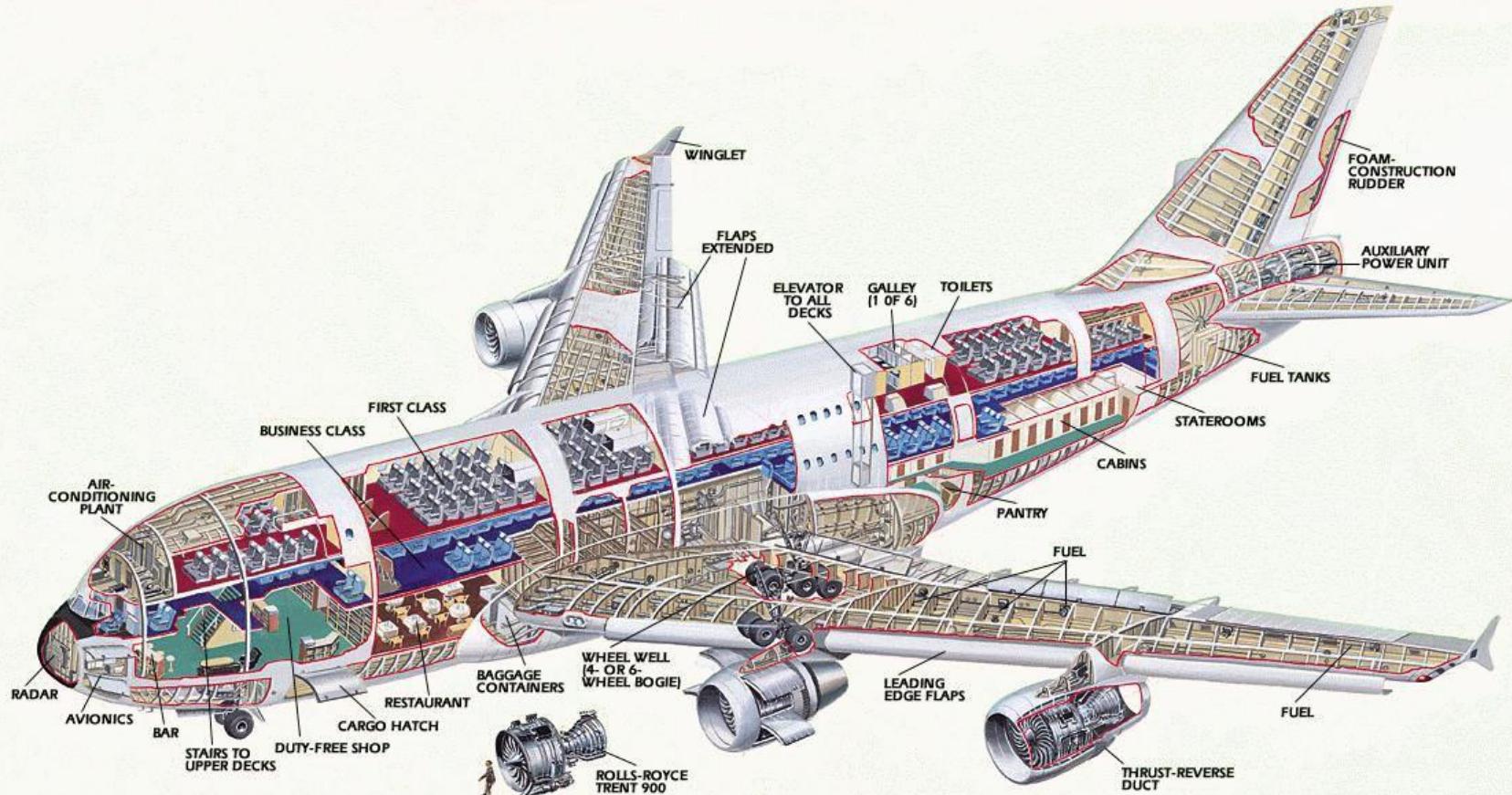
- Fonction du **train d'atterrissage** (**landing gear**)?
  - Faire rouler l'avion
- Différentes positions et nombre
- Difficultés
  - Les pneumatiques! A l'atterrissement, ils passent d'un état froid à très chaud rapidement



# Structure d'un avion | Vue d'ensemble

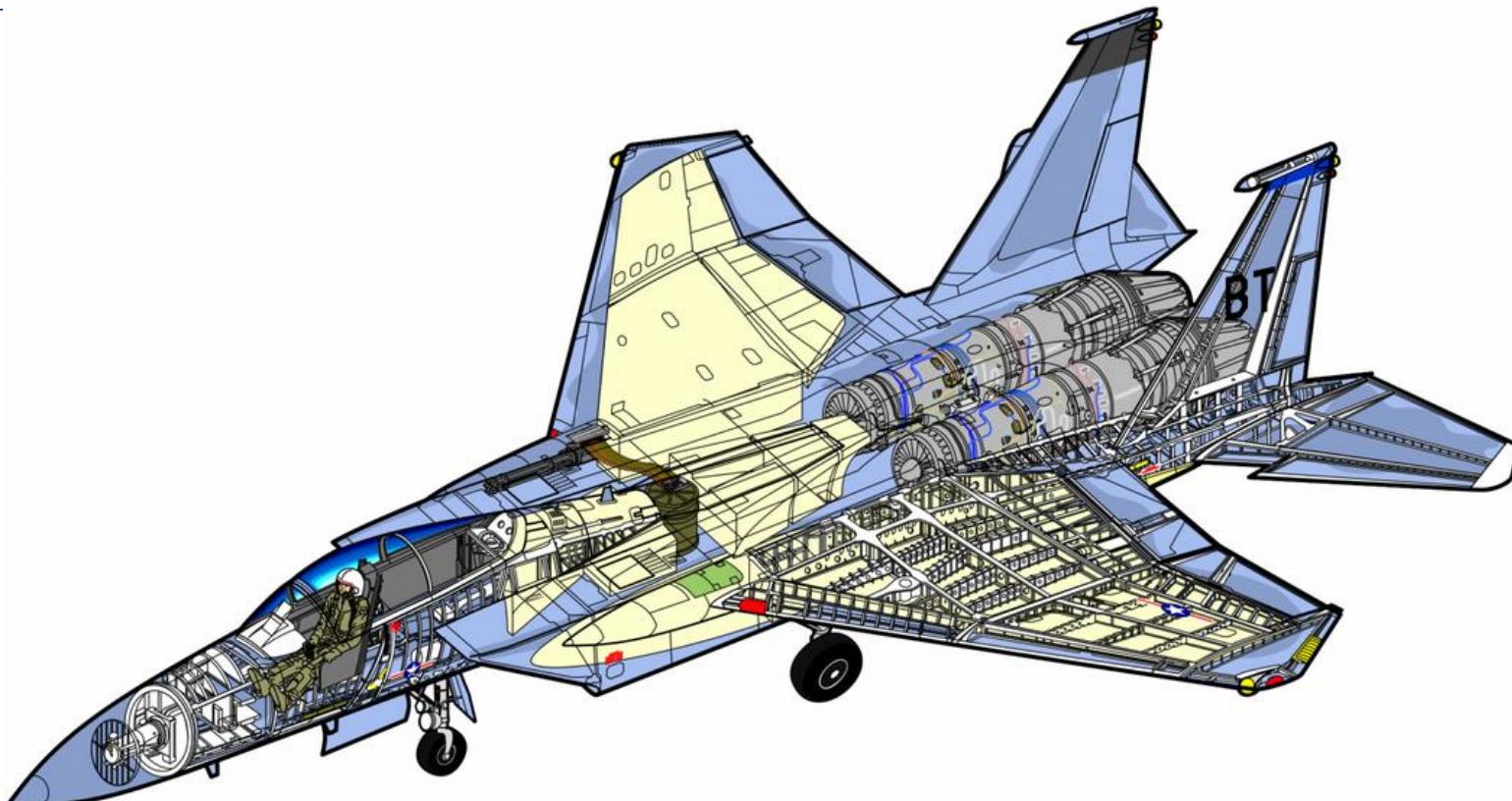


# Structure d'un avion | Vue d'ensemble



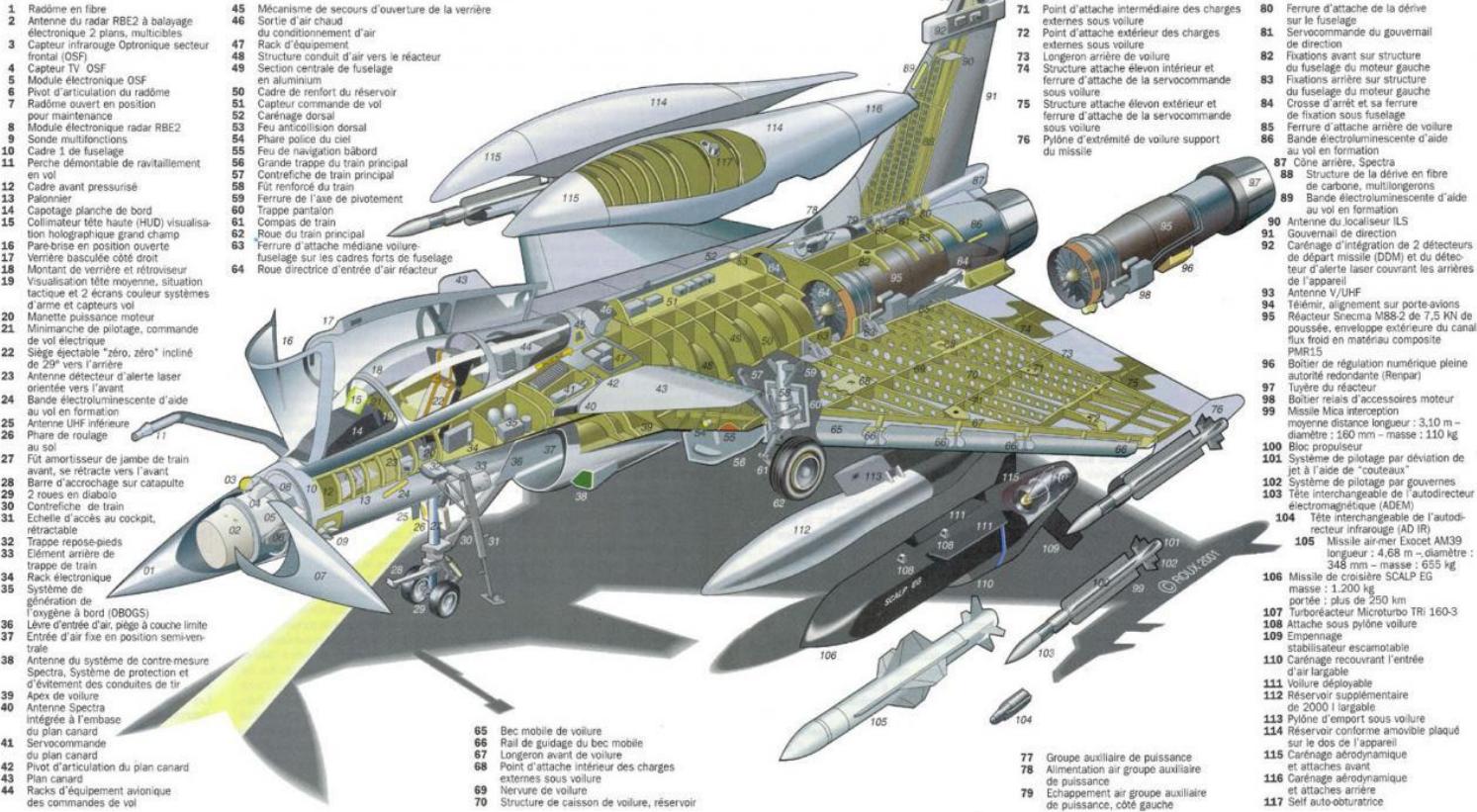


# Structure d'un avion | Vue d'ensemble



# Structure d'un avion | Vue d'ensemble

## DASSAULT RAFALE MARINE

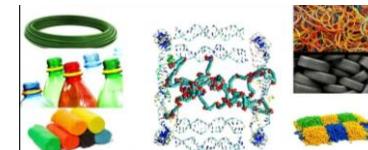
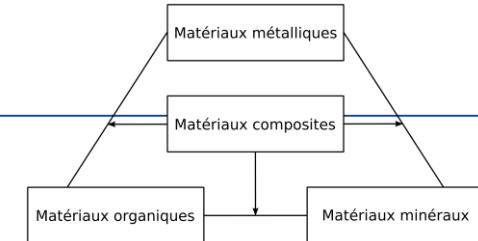


# Structure d'un avion | Matériaux

- Pour choisir quel matériau utiliser, il y a un **compromis** à trouver entre les critères :
  - Technique (propriétés mécanique, ténacité ...)
  - Technologique (fabrication,...)
  - Économique (coût de la matière 1<sup>ère</sup>, du procédé)
  - Stratégique (approvisionnements)

# Structure d'un avion | Matériaux

- Classification des matériaux :
  - Métalliques
    - bons conducteurs, malléables
    - Fer, acier, aluminium
  - Organiques / polymères
    - Bons isolants
    - Matière plastique, caoutchouc
  - Minéraux
    - Roches, céramiques, verre
  - Composites
    - Assemblage non-miscible d'au moins 2 autres types
    - Fibres de carbon/résine époxy...

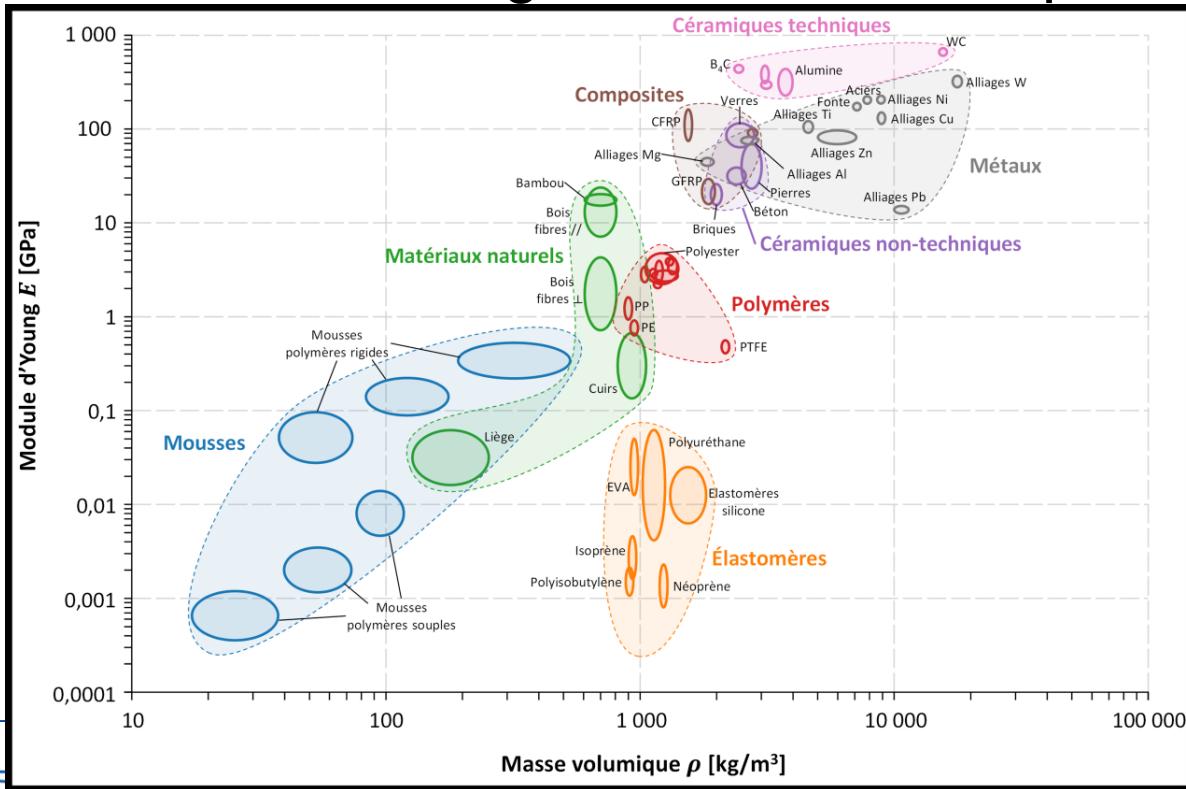


# Structure d'un avion | Matériaux

- Comment choisir le bon d'un point de vue technique?
  - Toujours un compromis!
  - Entre la masse, la tenue à la rupture, la tenue au choc, à la température, à l'oxydation....
- Utilisation des **graphiques d'Ashby**
  - Selon 2 critères, on trace et classe les matériaux

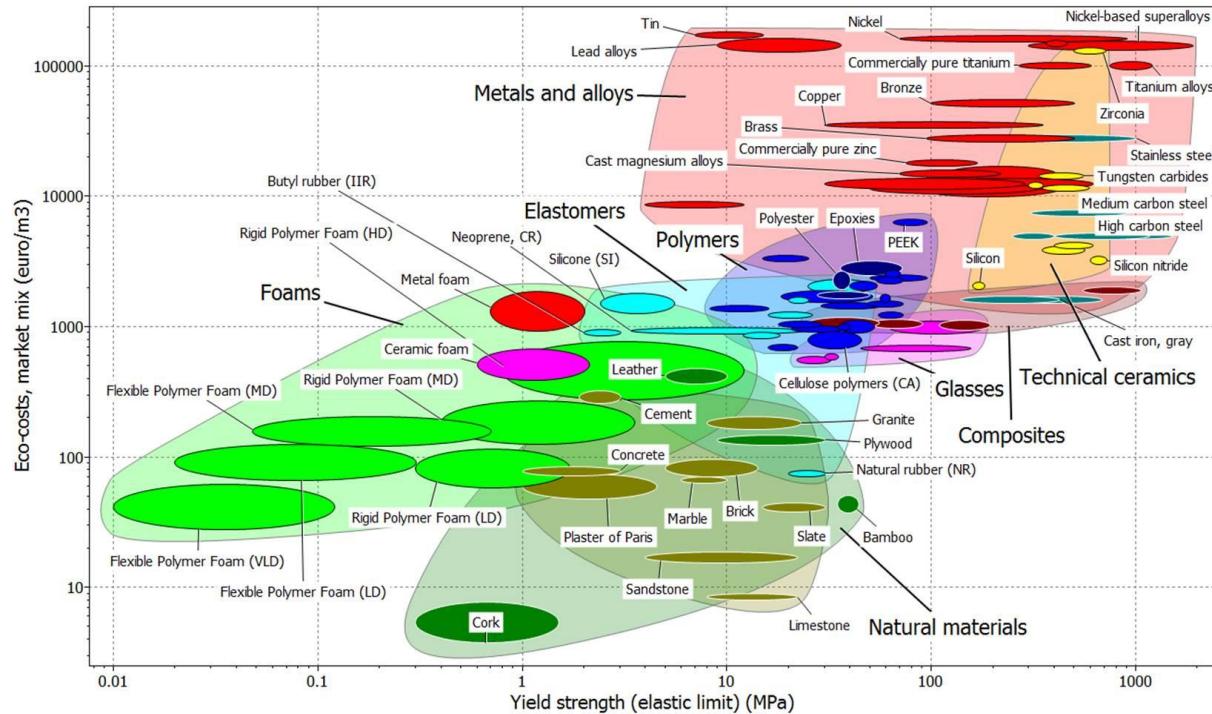
# Structure d'un avion | Matériaux

## Module d'Young et masse volumique



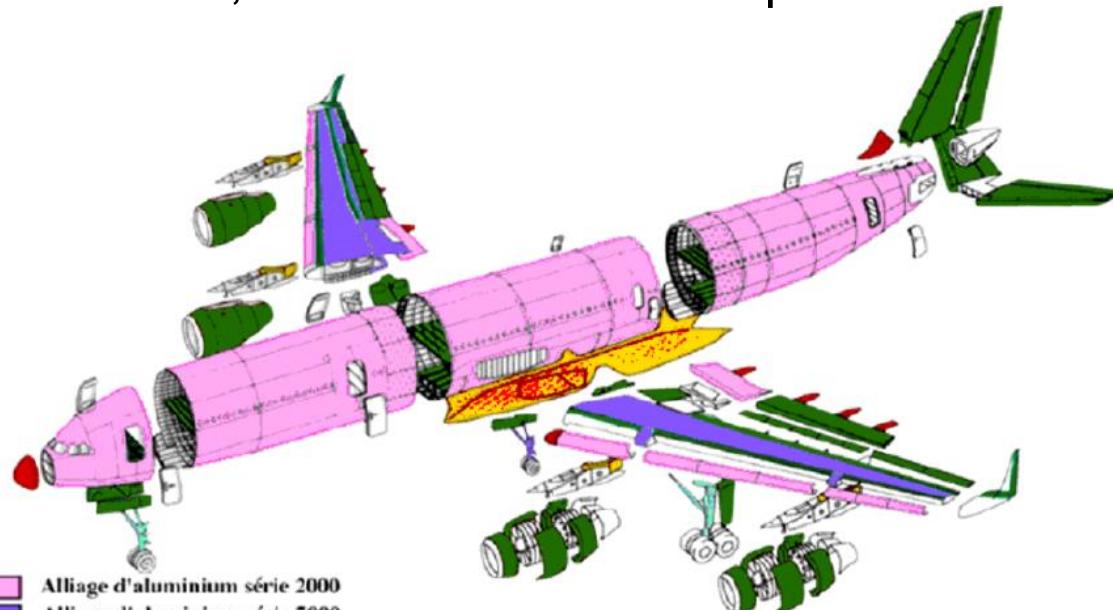
# Structure d'un avion | Matériaux

## Coût et limite élastique



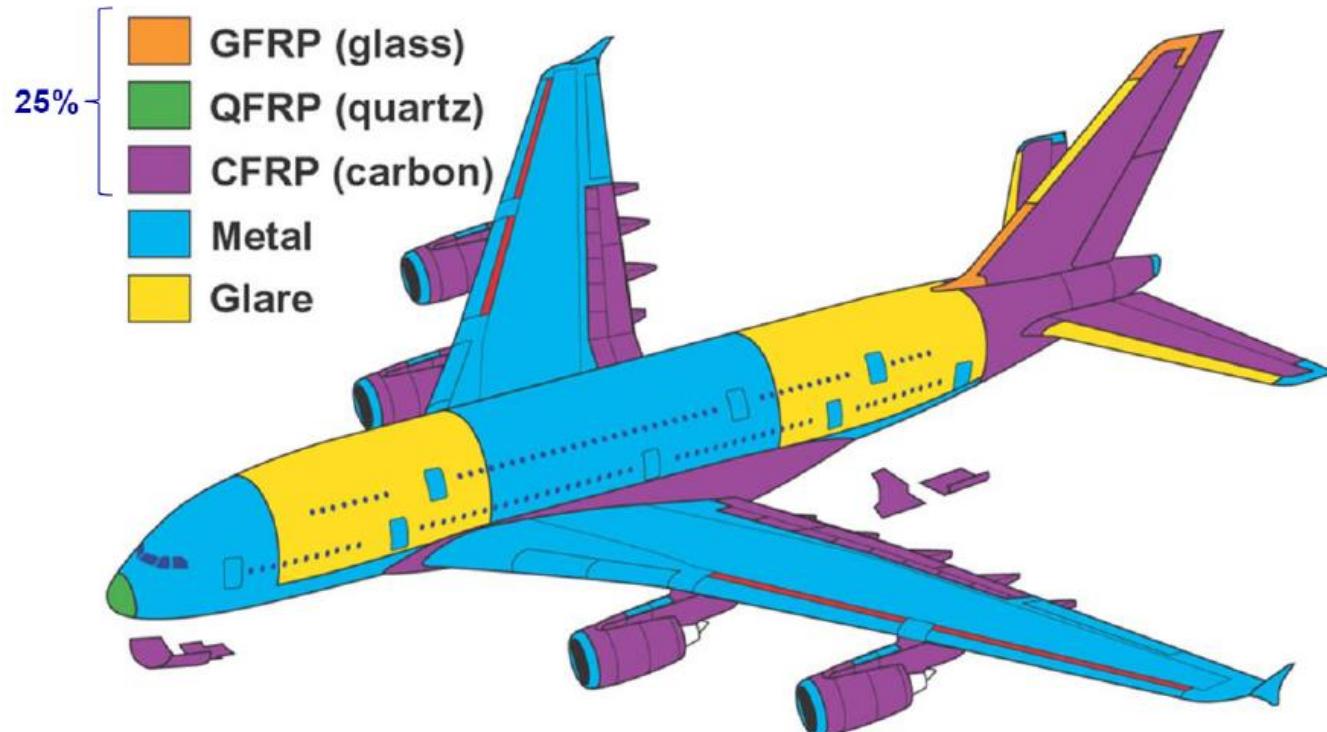
# Structure d'un avion | Matériaux - Example

Ainsi, chaque zone de l'avion, selon les contraintes mécaniques et thermiques qu'elle subit, aura un matériau adapté



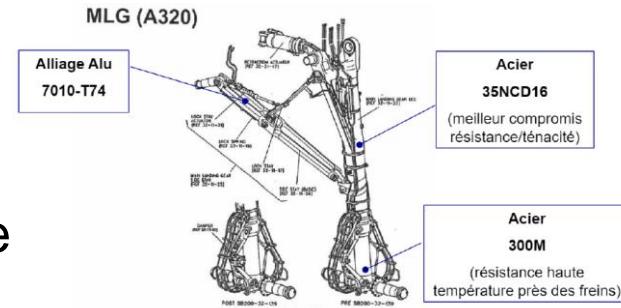
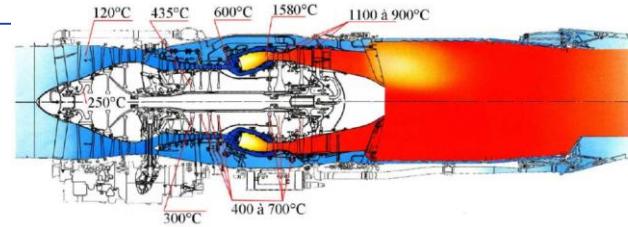
**A340**

# Structure d'un avion | Matériaux - Example



# Structure d'un avion | Matériaux

- Fortes chaleur (moteur , bord d'attaque)
  - Titane , composite avec des matrices céramiques
- Efforts importants (trains d'atterrissement)
  - Acier (même si très dense)
- Efforts répétés (emplanture, revêtement fuselage)
  - Composite Carbone/époxy : forte tenue à la fatigue
- Le matériau star a souvent été les **alliages d'aluminium**
  - Légers, faciles à usiner, peu sensible à la corrosion

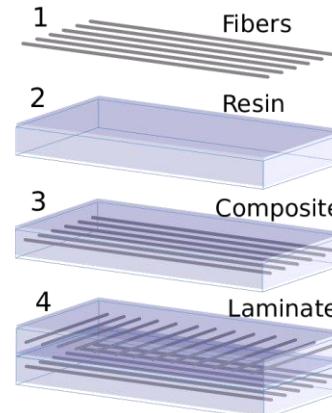


Electif Av

# Structure d'un avion | Matériaux



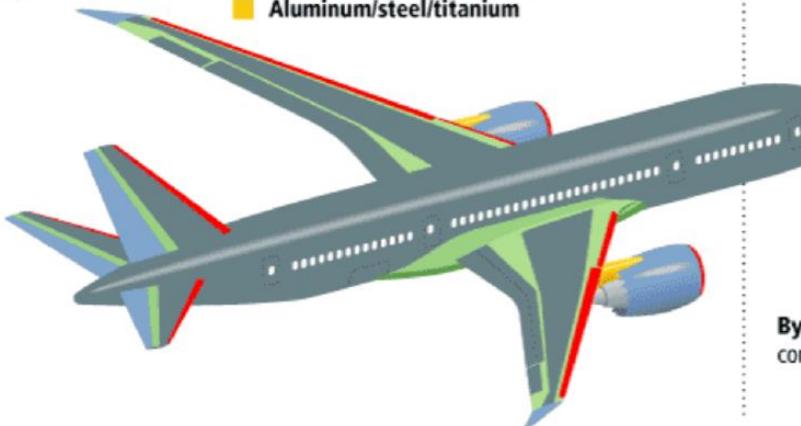
- Mais la vraie star maintenant...les matériaux composites!
- Excellent ratio masse/rigidité
- Faiblement sensibles à la fatigue
- Dimensionné au juste besoin
  - Choix des constituants
  - Proportions fibres/matrice
  - Orientation des fibres



# Structure d'un avion | Matériaux

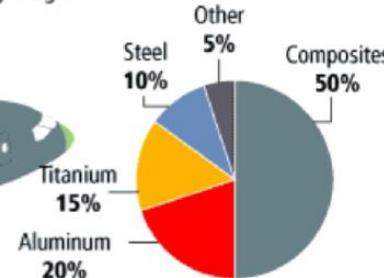
Materials used in 787 body

- █ Fiberglass
- █ Aluminum
- █ Carbon laminate composite
- █ Carbon sandwich composite
- █ Aluminum/steel/titanium

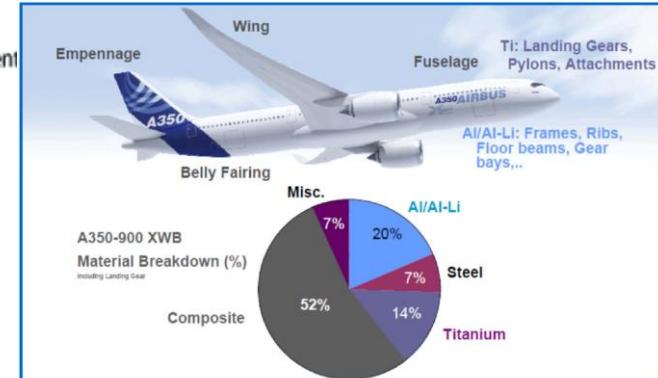


Total materials used

By weight



By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.



# Structure d'un avion | Matériaux



2007: Airbus A380  
25 % matériau composite



2011: Boeing B787  
50 % matériau composite

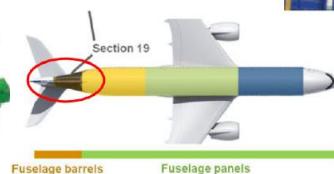


2014: Airbus A350  
53 % matériau composite

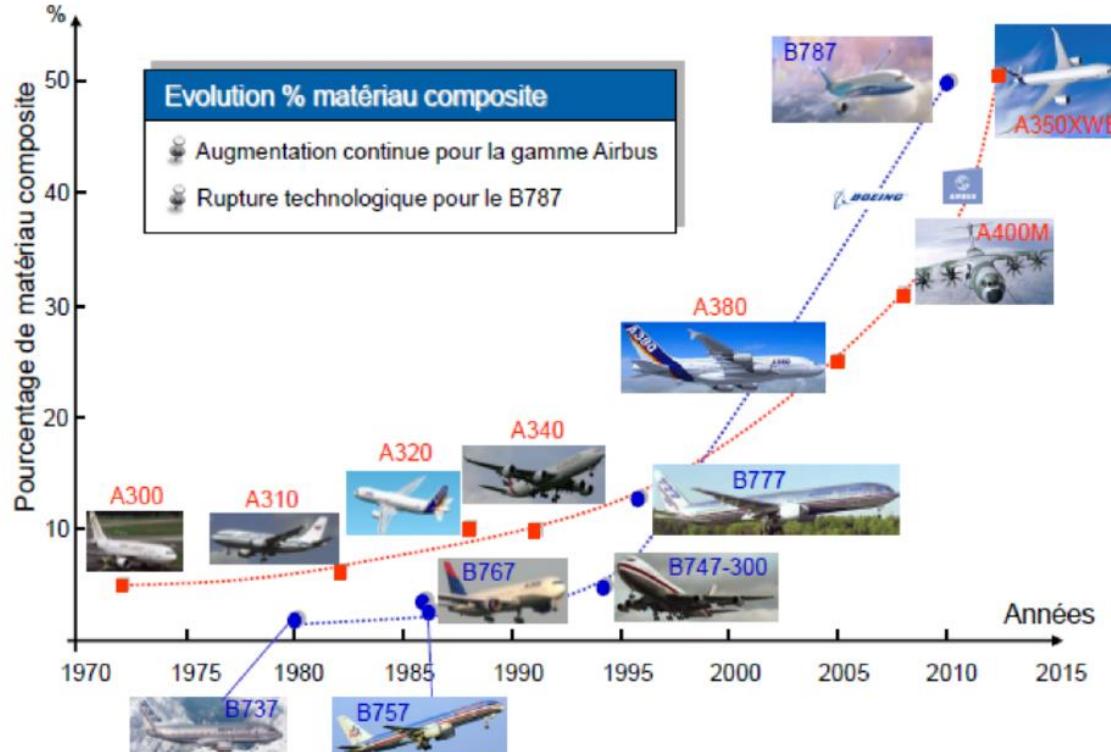


La machine de placement de fibre place des bandes de pré-imprégné sur un mandrel.

Exemple: Fabrication de la section arrière de l'Airbus A350 par placement de fibres.



# Structure d'un avion | Matériaux



# Structure d'un avion | Matériaux

- Mais l'utilisation du composite va avoir quelques inconvénients :
  - Recyclabilité
  - Forte sensibilité aux trous. Et des trous on en fait plein pour mettre les rivets :

	Contrainte à rupture	Contrainte à rupture (section nette)
Alliage Aluminium série 2000	450 MPa	~ 450 Mpa Grâce à sa ductilité, l'alliage est peu sensible aux entailles (effet Kt)
Carbon/Epoxy 'quasi-isotrope' [0°/±45°/90°]	450 MPa	~ 250 Mpa L'absence de ductilité rend les composites très sensible aux trous.



## Choix du matériau pour nous

- Principalement des alliages d'aluminium avec des propriétés un peu différentes
- Composite? Très difficile à optimiser correctement car beaucoup de paramètres pouvant être ajustés (nombre de plis, épaisseurs, orientation...)
  - Il existe des spécialistes!

