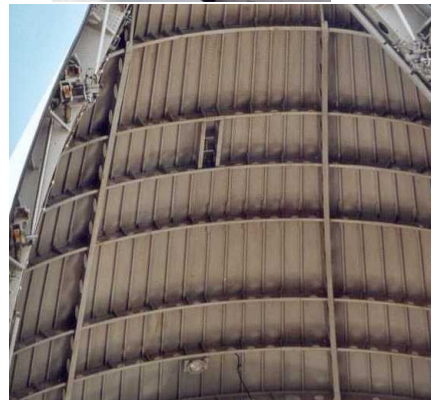




3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.3 Structures et matériaux

3.3.2 Empennage, atterrisseur, fuselage



© AIRBUS S.A.S. 2010 - photo by e'm company / H. GOUSSE

3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.2 Structures et matériaux

- Voilures
- **Empennages**
 - **Forme**
- Fuselages
- Matériaux
- Atterrisseurs

3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.2 Structures et matériaux

- Voilures
- Empennages
 - **Forme**
- Fuselages
- Matériaux
- Atterrisseurs

Les différentes formes d'empennage

empennage classique



empennage en T



Les différentes formes d'empennage

bi-dérive



F 14 Tomcat

**empennage à plan vertical
uniquement**



Mirage 2000

Les différentes formes d'empennage



cruciforme



papillon



**aile volante
sans empennage**

empennage canard

Pour une **configuration canard**, on parle plutôt de **plan porteur avant** que d'empennage



Le Gossamer Albatross. Un des deux seuls avions propulsés par la force musculaire ayant volé : 1979 , traversée de la Manche en 2h49 à 13km/h de moyenne !



Le bombardier expérimental North-American XB70



Rutan VariEze (1975)

Des exemples de QCM d'examen sur la partie de cours qui précède

Un empennage « canard » :

- a) est synonyme d'un empennage en V.
- b) est situé à l'avant d'un avion.
- c) remplace les ailerons.
- d) est celui des avions de la Patrouille de France.

Dans un empennage en T :

- | | |
|----|---|
| a) | la gouverne de direction se situe en haut de l'empennage vertical. |
| b) | la gouverne de profondeur est actionnée par le palonnier. |
| c) | la gouverne de direction permet la rotation autour de l'axe de tangage. |
| d) | la gouverne de profondeur se situe en haut de l'empennage vertical. |

3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.2 Structures et matériaux

- Voilures
- Empennages
 - Forme
- Fuselages
 - Forme
 - Efforts appliqués
 - Structure
- Matériaux
- Atterrisseurs

Les différentes formes de fuselage

Le fuselage doit permettre:

- **d'emporter l'équipage**
- **le carburant**
- **la charge utile**
- **de maintenir entre elles les différentes parties de l'appareil en assurant la cohésion de l'ensemble**

La forme du fuselage est un compromis entre l'usage de l'avion et les lois aérodynamiques qui définissent le vol.

Les différentes formes de fuselage

Fuselage cylindrique



© AIRBUS S.A.S. 2010 - photo by e'm company / H. GOUSSE



A-330



12/11/20

Les différentes formes de fuselage

Fuselage à section en 8



AIRBUS A 300-600ST Beluga



Les différentes formes de fuselage



Fuselage en coque de bateau



Fuselage à section carrée

Les différentes formes de fuselage

Fuselage à faible signature radar (avions furtifs)

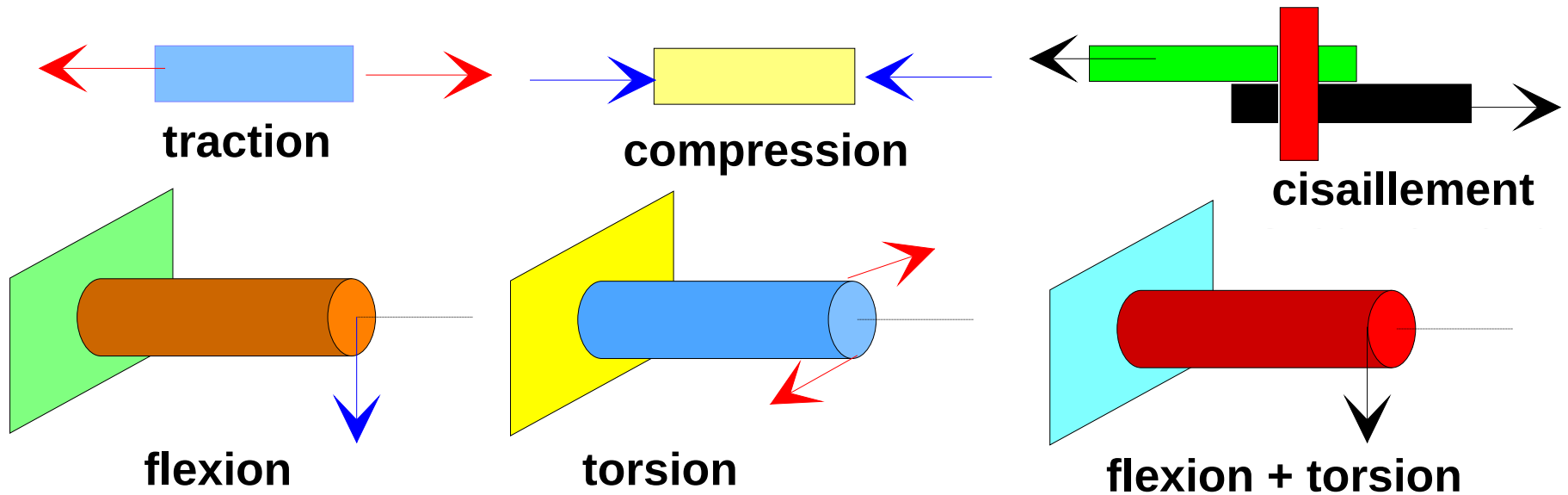


SR-71 Blackbird (USA, 1968)



Lockheed Martin F-117 (USA)

Les sollicitations mécanique subies par le fuselage



Ensemble du fuselage : efforts de torsion et cisaillement

Revêtement extérieur : s'il est travaillant, efforts de compression et de cisaillement

Revêtement intérieur : effet de **pelage** (décollement se propageant progressivement en réponse aux efforts de traction)

Efforts appliqués au fuselage



Quelques situations où le fuselage est soumis à des efforts importants :

- manoeuvre d'écopage d'un Canadair
- atterrissage sur piste non revêtue d'un A400 M
- vol par mauvaises conditions météo avec fortes turbulences

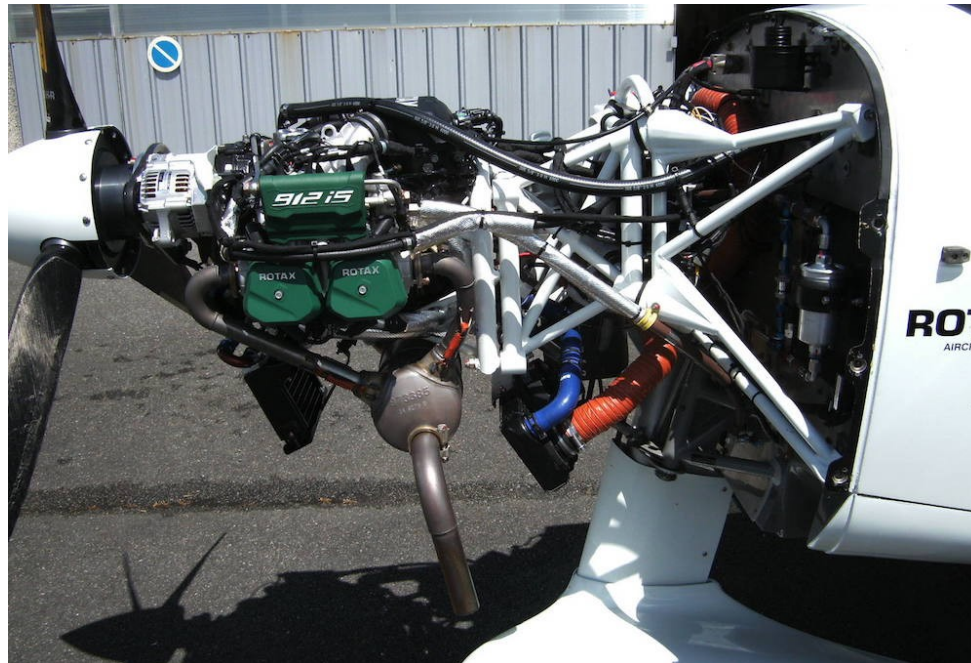
Les sollicitations mécanique subies par le bâti moteur

Sur les avions légers, le moteur est porté par un **bâti moteur** en tubes ou tôles fixé à la cloison pare-feu par des boulons

Au niveau des fixations : cisaillement + traction ou compression

Le bâti lui même (sous facteur de charge positif) :

- tubes supérieurs : traction
- tubes inférieurs : compression



bâti portant un
moteur Rotax
sur un DR400
(© aérobuzz)

Structure du fuselage

Structure en treillis:

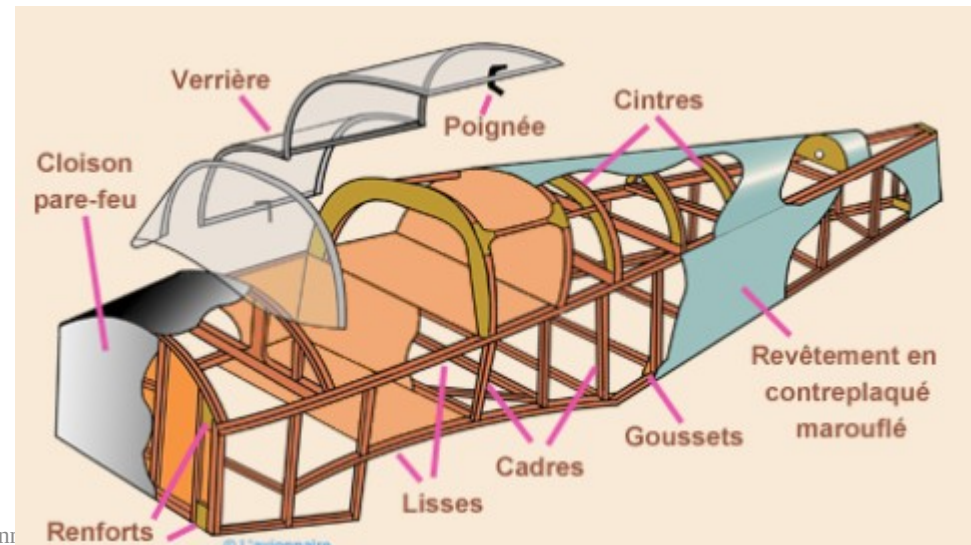
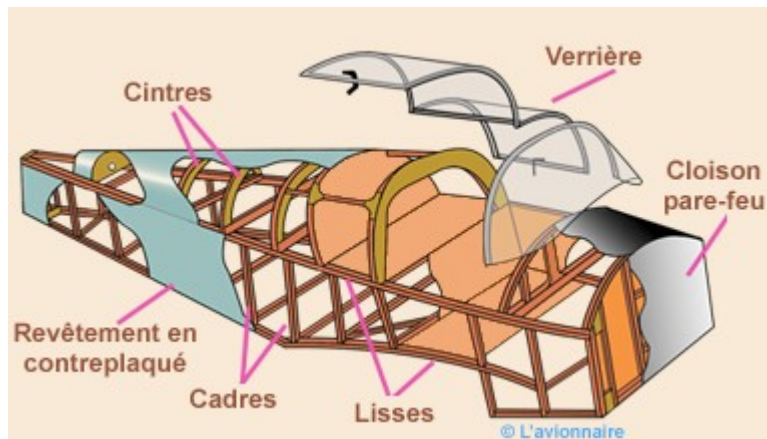
Dans cette structure on constitue un squelette du fuselage à l'aide de poutres en bois ou de tubes métalliques.

Les poutres traversant l'avion de la queue jusqu'au nez sont appelées **longerons** (section importante) ou **lisses** (faible section)

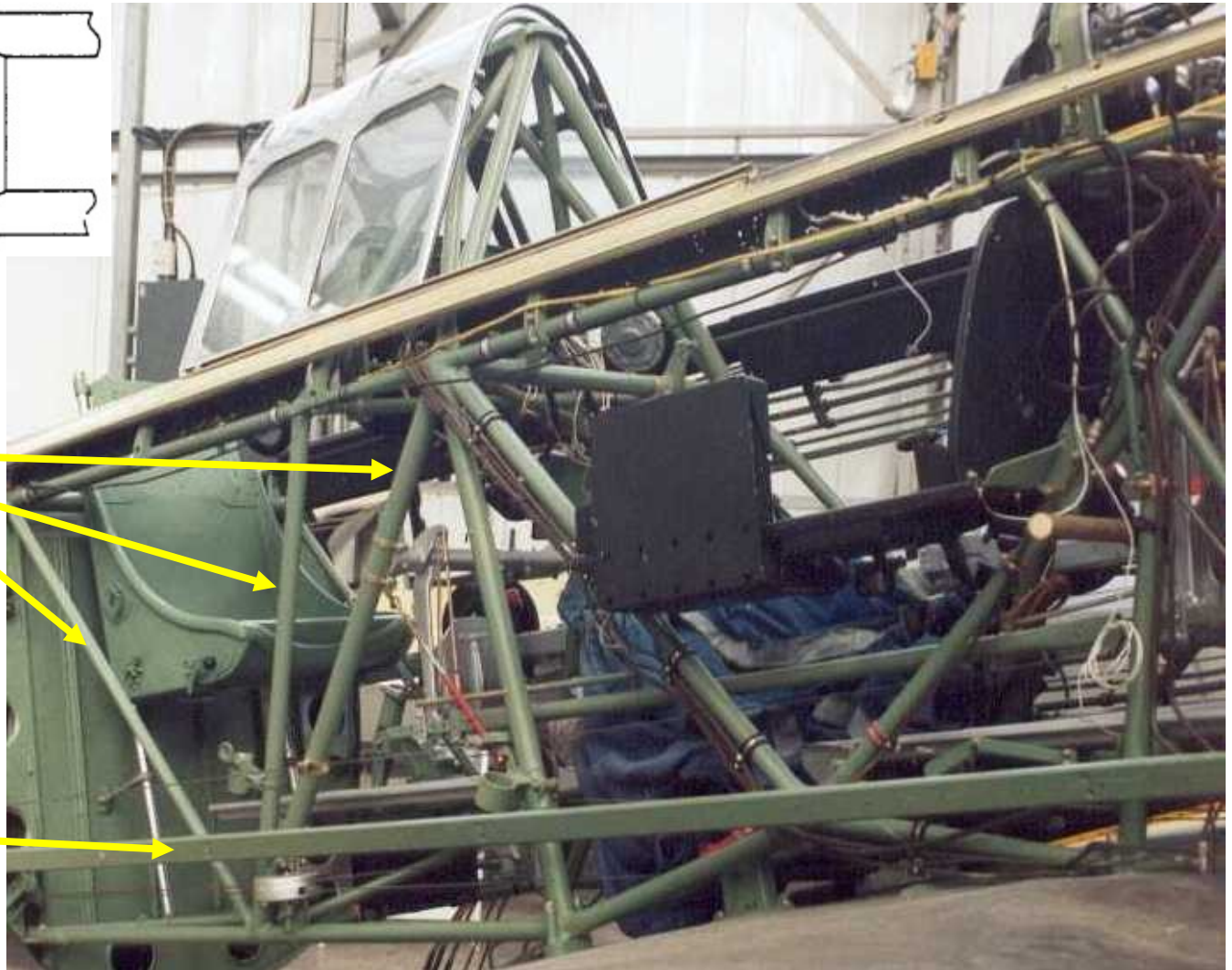
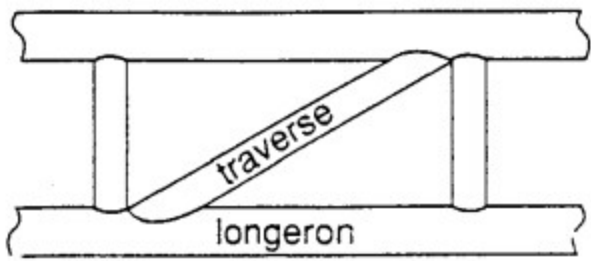
Les longerons sont reliés entre eux par des **traverses** ou des **cadres** (aussi appelés **couples**)

L'ensemble est recouvert d'un **revêtement non travaillant**.

Jodel D113



Structure du fuselage



traverses



longeron



Structure du fuselage

Structure monocoque:

Dans cette structure on réalise un assemblage de **cadres** par l'intermédiaire d'un **revêtement travaillant**.

Les cadres sont des éléments de structure perpendiculaires à l'axe longitudinal (*ligne de foi*) de l'avion. Ils donnent la forme d'une coupe du fuselage perpendiculairement à cet axe.

Les revêtement est dit travaillant parce qu'il participe de façon importante à la rigidité du fuselage.

Structure du fuselage



Structure du fuselage

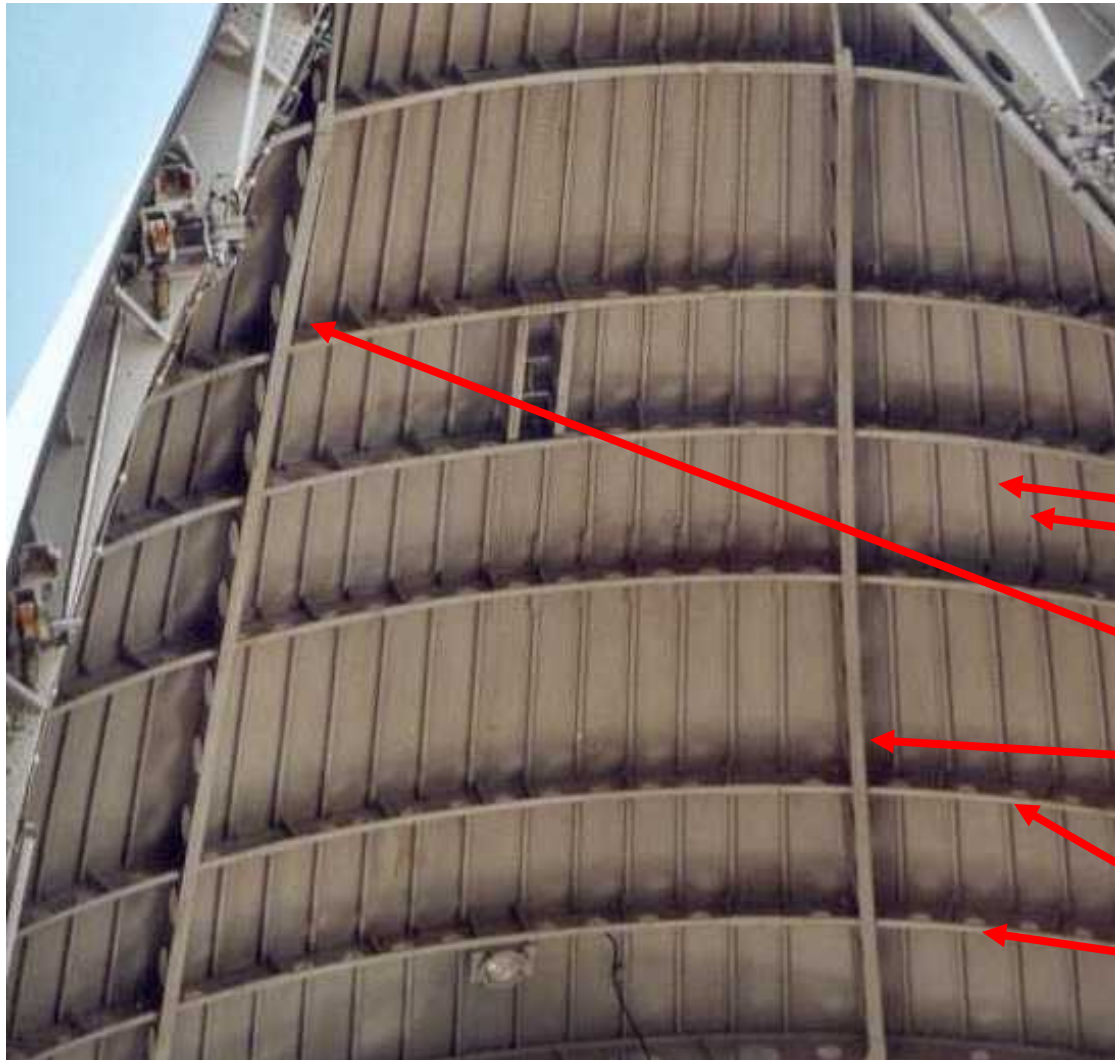
Structure semi-monocoque :

Dans cette structure on réalise un assemblage de **cadres** (de **couples**) par l'intermédiaire de **longerons** et de **lisses**. Le tout est recouvert d'un **revêtement non travaillant**.

Les **lisses** sont des tiges longitudinales reliant 2 ou plusieurs cadres. Elles assistent les longerons pour assurer la rigidité du fuselage mais leur section est beaucoup plus faible.

Le revêtement est dit non travaillant parce qu'il ne participe pas de façon importante à la rigidité du fuselage.

Structure du fuselage



lisses

longerons

cadres (couples)

Structure du fuselage



3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.2 Structures et matériaux

- Voilures
- Empennages
 - Forme
- Fuselages
 - Forme
 - Efforts appliqués
 - Structure
- Matériaux
- Atterrisseurs

Matériaux utilisés

Plusieurs types de matériaux sont utilisés, seuls ou en association:

- **Bois et toile**
- **Bois recouvert de contre-plaqué**
- **Structure métallique**
- **Matériaux composites**
- **Structures mixtes**

Matériaux utilisés

Structure en bois et toile:

Avantages:

- le bois est à la fois souple et résistant
- il est relativement facile à travailler
- il s'assemble par collage

Inconvénients:

- sensible à l'humidité
- évolue dans le temps
- le revêtement doit être régulièrement refait

Matériaux utilisés

Les bois utilisés:

- épicéa
- acajou
- frêne
- sapin ...

Pour les avions rapides on remplace le revêtement en toile par du contre-plaqué afin d'augmenter la rigidité de l'ensemble de la structure et de limiter les déformations aux grandes vitesses.

Les toiles utilisées:

- lin
- coton
- dacron ...

Le bois résiste deux fois mieux à la **traction** qu'à la compression. Les **semelles d'extrados** des longerons (qui en vol travaillent en compression) sont donc **plus épaisses** que les semelles d'intrados.

Matériaux utilisés

Structure métallique:

Avantages:

- le métal est plus rigide et plus résistant
- peut former des alliages variables selon les propriétés voulues
- s'assemble par boulonnage, rivetage ou collage

Inconvénients:

- plus ou moins sensible à la corrosion
- se déforme irréversiblement sous forte contrainte
- relativement lourd

Matériaux utilisés

Les métaux utilisés:

On utilise essentiellement des alliages pour obtenir à la fois légèreté, bonne résistance mécanique et résistance à la corrosion.

Ils sont à base de:

- **aluminium** (léger et résistant à l'oxydation)
- **cuivre** (résistant)
- **titane** (résiste aux hautes températures et fortes contraintes).

Matériaux utilisés

Structure en matériaux composites:

Avantages:

- encaissent de fortes contraintes sans rupture ni déformations résiduelles
- permettent de réaliser n'importe quelle forme
- insensibles à la corrosion

Inconvénients:

- plus ou moins difficiles à polymériser
- leur assemblage (collage, rivetage, boulonnage) peut être problématique

Matériaux utilisés

Les matériaux composites utilisés:

On utilise essentiellement des polymères (longues chaînes de molécules identiques) ou des résines.

Les composants peuvent être divers: polyéthylène, résines époxy, fibres de verre,.....

Les composants de ces matériaux sont en général très toxiques et leur manipulation n'est pas sans risques pour les opérateurs et pour l'environnement.

Des exemples de QCM d'examen sur la partie de cours qui précède

Les couples :

- | | |
|----|---|
| a) | ont dans le fuselage le même rôle que les nervures dans les ailes. |
| b) | sont situés en bout d'aile pour éviter les tourbillons marginaux. |
| c) | sont les pièces maîtresses du fuselage qui supportent les efforts de flexion. |
| d) | sont toujours montés par paire pour augmenter leur solidité. |

On appelle cellule d'un avion :

- | | |
|--|-------------------------------|
| a) tout l'avion sauf les équipements et propulseurs. | b) le fuselage. |
| c) la cabine des pilotes et passagers. | d) les mécanismes de l'avion. |

Pour un avion en bois et toile moderne :

- a) seules les ailes sont en bois recouvert toile.
- b) les longerons d'aile sont en bois et les nervures en alliage d'aluminium.
- c) toute la structure est en bois recouvert de toile.
- d) le fuselage est en bois entoilé et l'aile en alliage métallique.

L'intérêt de l'utilisation des matériaux composites en construction aéronautique est :

- | | |
|----|--------------------------------------|
| a) | meilleure conductibilité électrique. |
| b) | meilleure recyclabilité. |
| c) | allègement de la structure. |
| d) | coût de la matière première. |

3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.2 Structures et matériaux

- Voilures
- Empennages
 - Forme
- Fuselages
 - Forme
 - Efforts appliqués
 - Structure
- Matériaux
- Atterrisseurs
 - train classique
 - train tricycle
 - autres : flotteurs, skis, monotrace à balancines
 - structure
 - efforts sur le train

Trains d'atterrissage : caractéristiques générales

- Le train d'atterrissage pourra être **fixe** ou **rentrant** et se divise en deux parties:
 - un train principal situé généralement au niveau des ailes
 - une roulette située sous le nez **ou** sous la queue de l'appareil et qui sert à guider l'avion au sol.
- Un avion muni d'une **roulette de nez** sera dit à **train tricycle** (par analogie au tricycle des enfants) alors qu'un avion muni d'une **roulette de queue** sera dit à **train classique**. Les premiers avions de l'histoire étaient équipés ainsi.



Le Rafale, avion à **train tricycle**



Le P51 Mustang, avion à **train classique**

Trains d'atterrissage : types particuliers

Il existe bien d'autres types de trains pour des applications particulières:

- flotteurs ou coque (hydravions)
- skis...



**Monotrace avec balancines:
Harrier Gr7**



Akoya Lisa Airplane



**flotteurs :
hydravion**



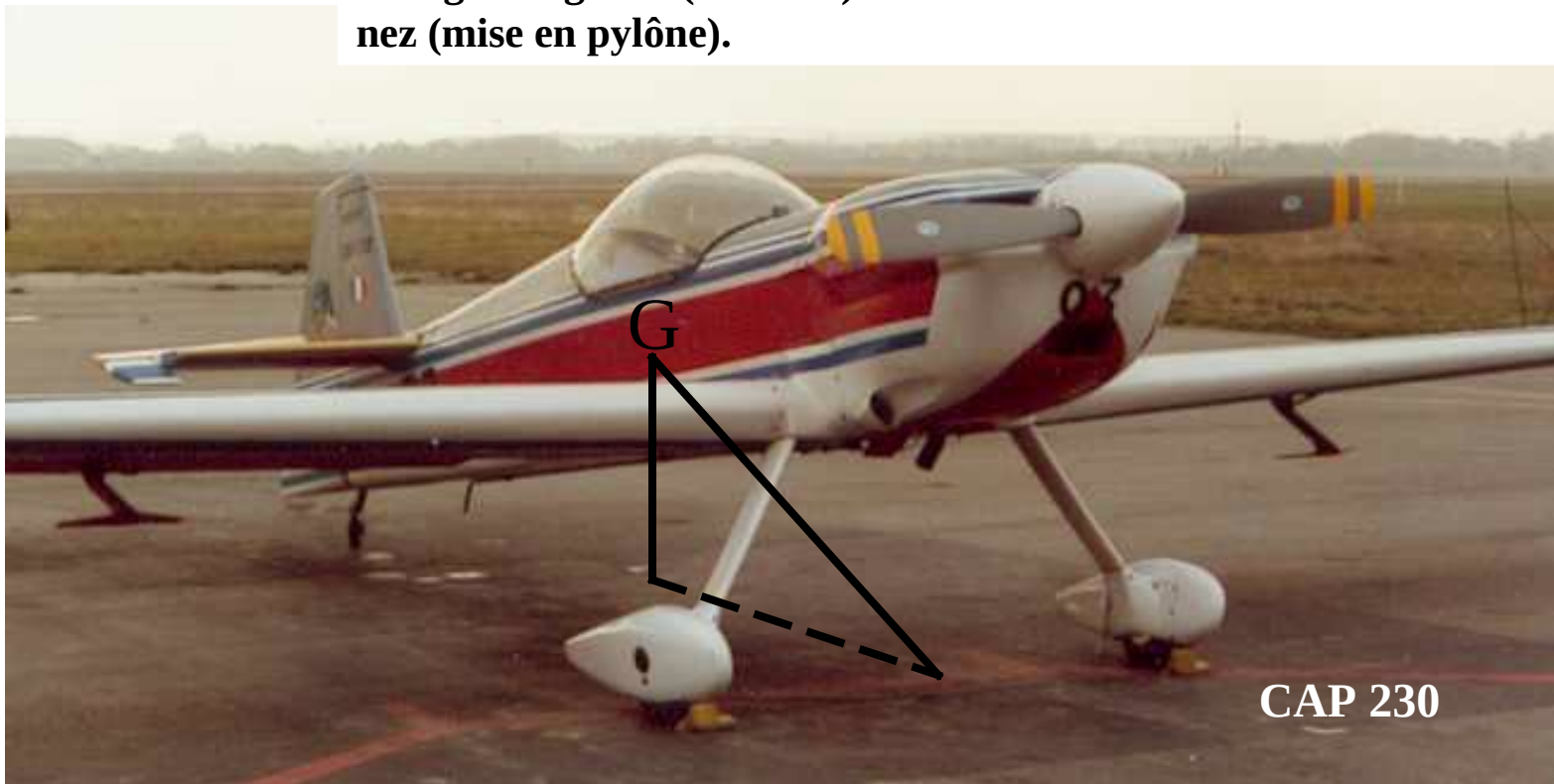
Trains d'atterrissage : **train classique**

2 jambes de train principal et 1 roulette de queue

Le plus répandu aux débuts de l'aviation.

- sensible au vent et visibilité limitée vers l'avant
- plus difficile au sol et à l'atterrissage (mise en pylône, cheval de bois)

L'angle de garde (env. 20°) est destiné à éviter le basculement sur le nez (mise en pylône).



Trains d'atterrissage : **train tricycle**

2 jambes de train principal et 1 roulette à l'avant

Meilleure visibilité vers l'avant, moins sensible au vent latéral, pas de risque de pylone, moins de risque de cheval de bois

L'angle de garde (env. 15°) est destiné à éviter le basculement sur la queue



Yak 18 T

Trains d'atterrissage

Le train est caractérisé par son empattement et sa voie:



empattement

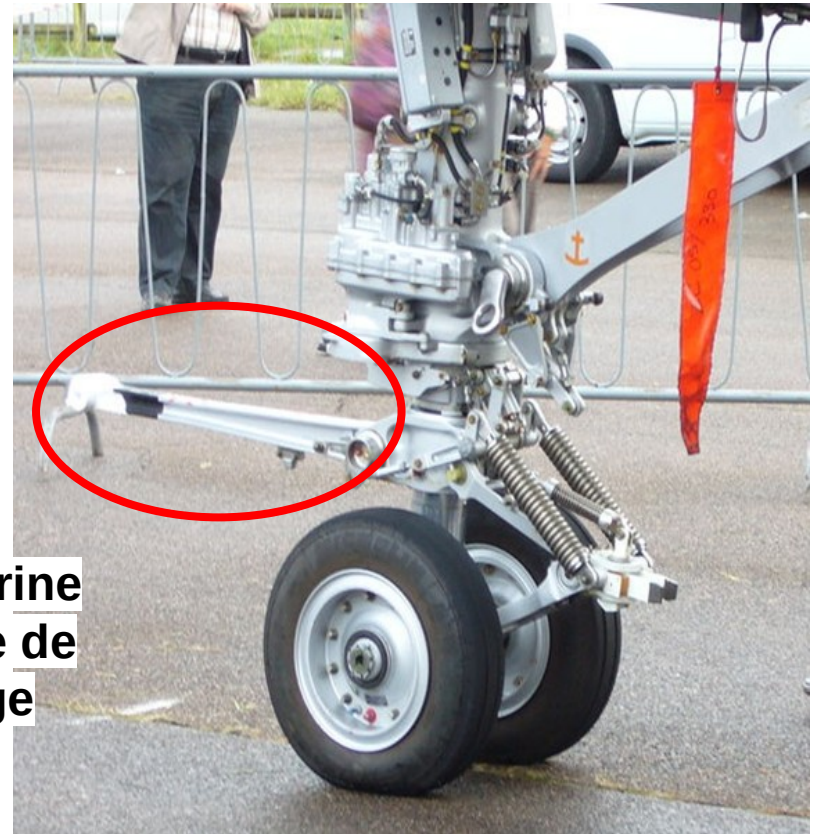
voie



Constitution d'un atterrisseur : 2 roues jumelées (diabolo)



Embraer 175



**Rafale marine
avec barre de
catapultage**

**Le nombre de roues sur une
même jambe varie de 1 à 6 :
simple, diabolo, bogie**

Le train principal d'un A380 : bogies à 4 et 6 roues





Le train d'atterrissage d'un A 380 doit résister à :

- **poids maximum:**
 - **au parking: 571 t**
 - **au décollage: 560t**
- **poids maximum à l'atterrissage = MLW (Maximum Landing Weight): 395 tonnes**
- **vitesse d'approche d'environ 140-145 kt, soit environ 265 km/h.**

Pour cela : ➤ **22 roues**

- **chaque pneu Michelin peut supporter une charge de 33 tonnes à la vitesse de 378 km/h**



Des exemples de QCM d'examen sur la partie de cours qui précède

Un train tricycle :

- a) ne peut pas être escamotable
- b) possède deux trains principaux et une roulette de nez
- c) possède une roulette de queue et deux trains principaux
- d) n'est plus utilisé sur les avions de transport moderne

Lorsqu'un train d'atterrissage comporte des boggies cela signifie :

- a) qu'il comporte nécessairement plusieurs roues par jambe de train.
- b) que le freinage des roues entraîne un dispositif d'éclairage de la piste.
- c) qu'il est constitué d'un système hybride pouvant présenter lors de l'atterrissage, au choix du pilote et en fonction du terrain : des roues, des skis, des flotteurs ou des chenilles.
- d) qu'il n'utilise pas de freins à disque qui sont donc ici remplacés par des freins à boggies.

Ce module a été conçu et réalisé par un groupe de passionnés, Merci à eux et nous avons utilisé de nombreuses sources et documents dont:

Productions de l'Académie de Bordeaux, Bernard GUYON, Stéphane MAYJONADE

<http://blog.crdp-versailles.fr/brevetinitiationaeronautique/>

<http://www.lavionnaire.fr/>

http://biacalais.free.fr/cours/Connaissance_Aeronefs-V2.pdf

Site commerciaux fabricants avion, hélicoptère, ULM, Voile ...

<https://fr.wikipedia.org>

Fiches de Laetitia Souteyrat

Fiches de Charles Pigaillem

Franck.cazaurang@ims-bordeaux.fr/1_Tech_Struct_Aero.pdf

<http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables>

<http://federation.ffvol.fr/pages/brevet-dinitiation-aeronautique-bia>