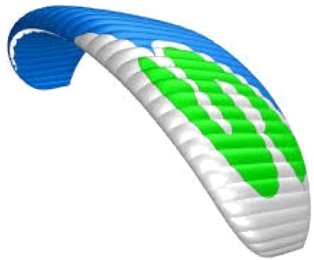
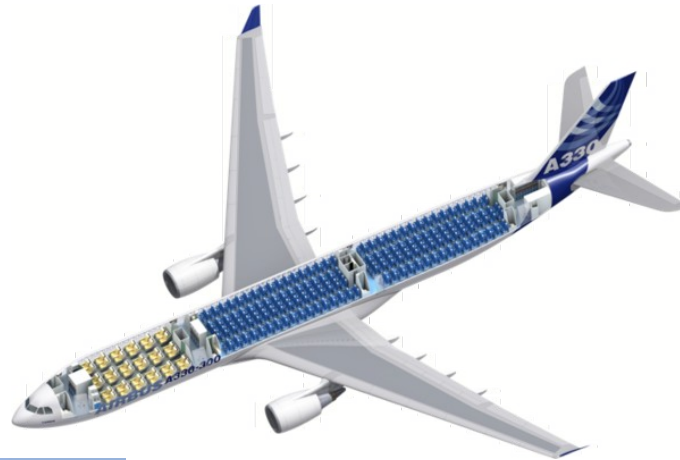




3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.3 Structures et matériaux

3.3.1 Voilures



3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

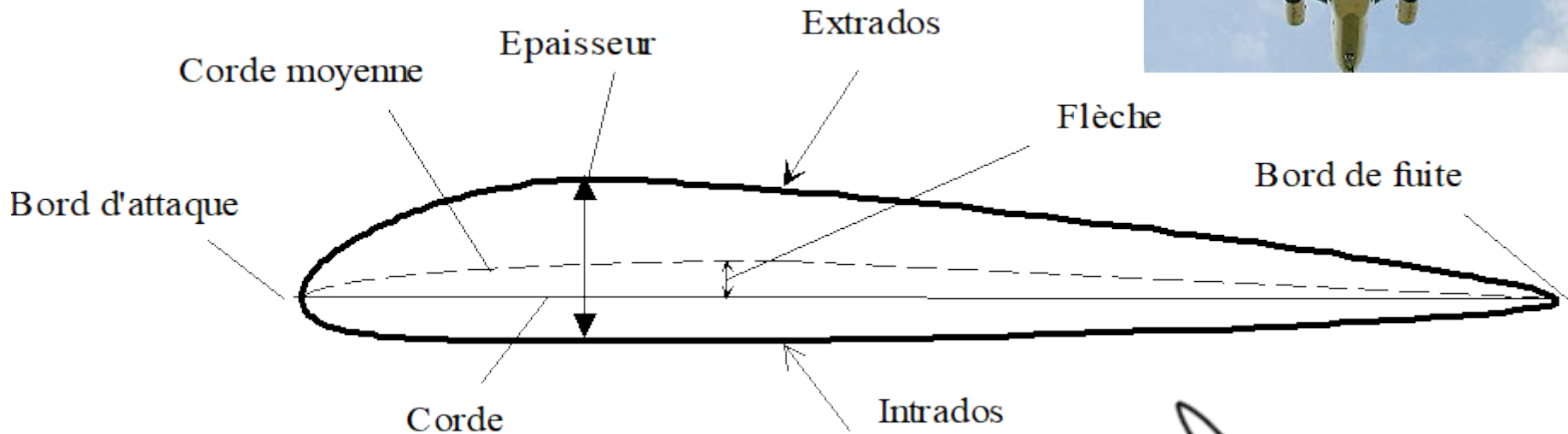
3.2 Structures et matériaux

- **Voilures**
 - **Forme**
 - **Nombre**
 - **Dièdre**
 - **Position**
 - **Dispositifs hypersustentateurs**
 - **Efforts sur la voilure**
 - **Structure**
- **Empennages**
- **Fuselages**
- **Matériaux**
- **Atterrisseurs**

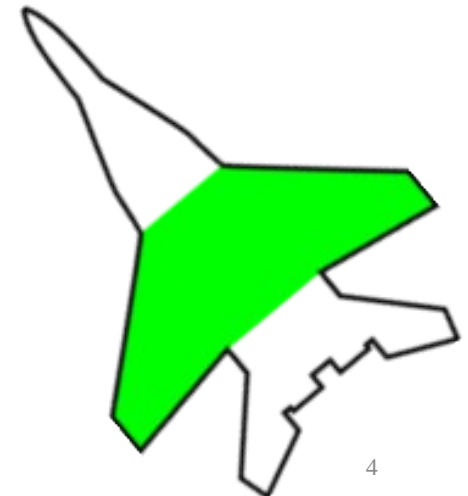
révision partie 2
et compléments

Rappels sur la géométrie de la voilure

- **Envergure** : la distance entre les extrémités des ailes



- **Surface alaire** : l'aire des ailes projetée sur le plan en incluant la surface du fuselage reliant les ailes

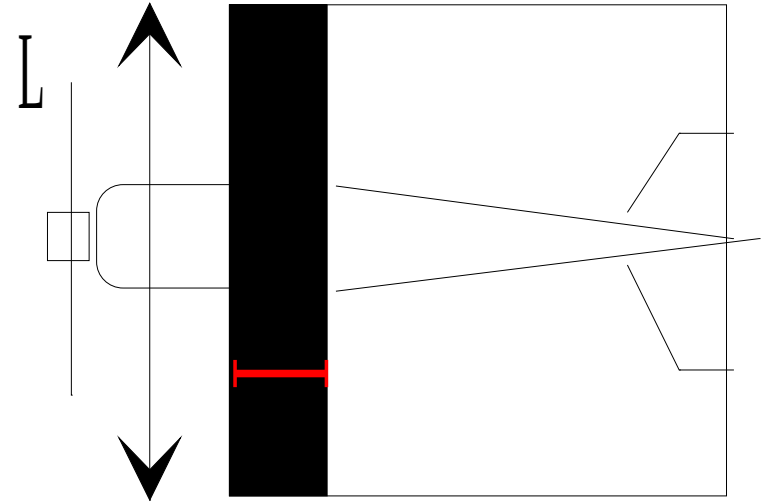


L'allongement

Il est défini par le rapport suivant :

Pour une aile rectangulaire :

$$\lambda = \text{envergure} / \text{corde}$$



Pour une aile trapézoïdale :

$$\lambda = \text{envergure} / \text{corde moyenne}$$

Plus l'allongement est important et plus la traînée induite diminue.

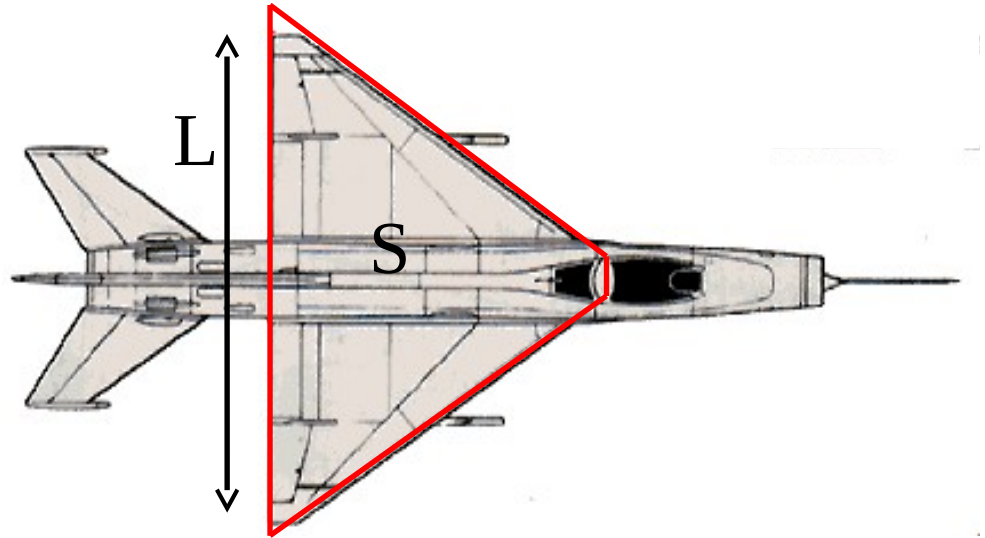


L'allongement

Pour une aile delta :

$$\lambda = L^2 / S$$

(formule valable pour
n'importe quel type
d'aile)



L : envergure de l'aile,

S : surface de l'aile, en incluant la surface du fuselage reliant les ailes

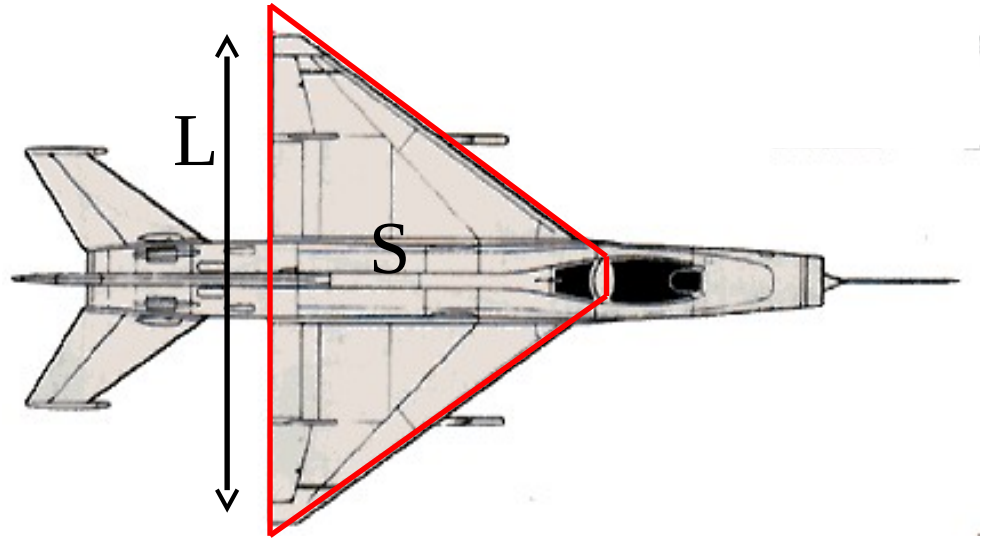
Les avions de ligne et les planeurs ont de **grands allongements**

L'allongement

Pour une aile delta :

$$\lambda = L^2 / S$$

(formule valable pour
n'importe quel type
d'aile)

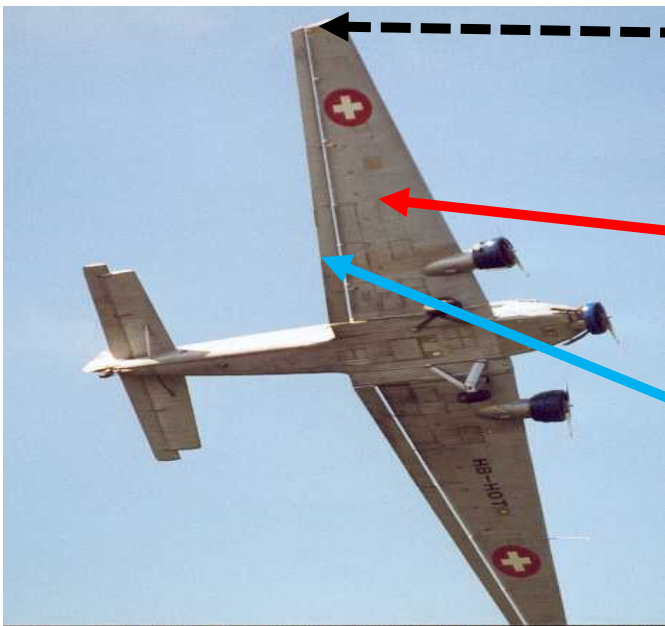


L : envergure de l'aile,

S : surface de l'aile, en incluant la surface du fuselage reliant les ailes

Les avions de ligne et les planeurs ont de **grands allongements**

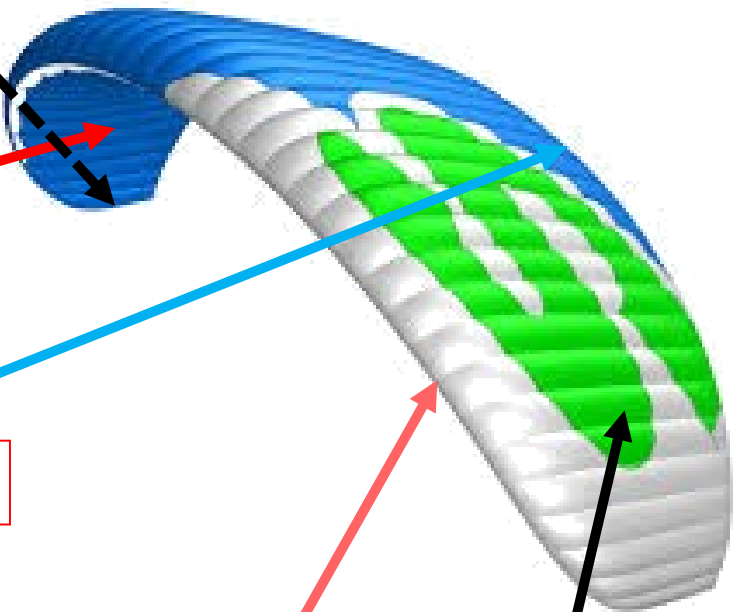
Différentes parties de l'aile



saumon

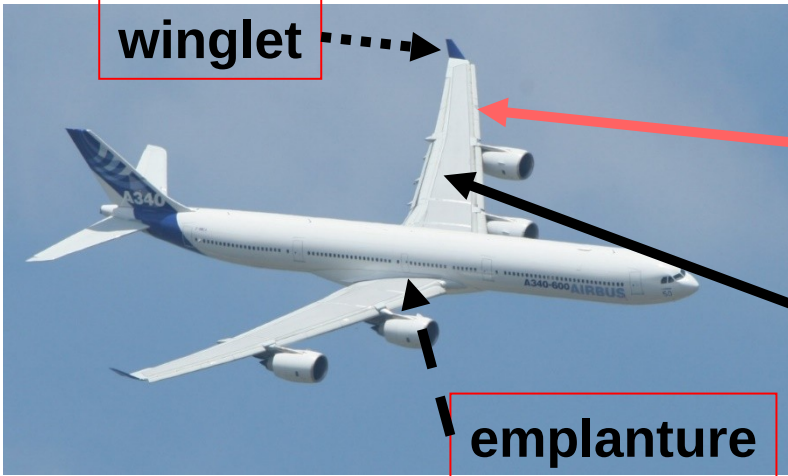
intrados

bord de fuite



bord d'attaque

extrados



winglet

emplanture

Les différentes formes d'ailes

Ailes droites



Piper Cub

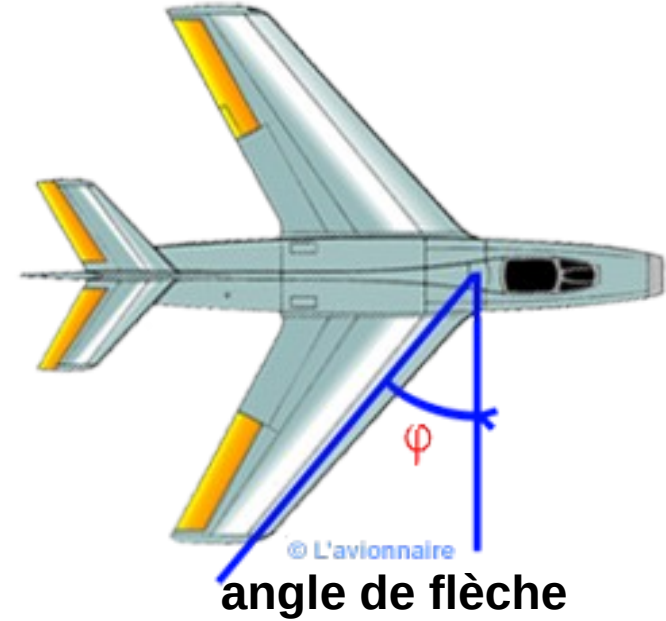
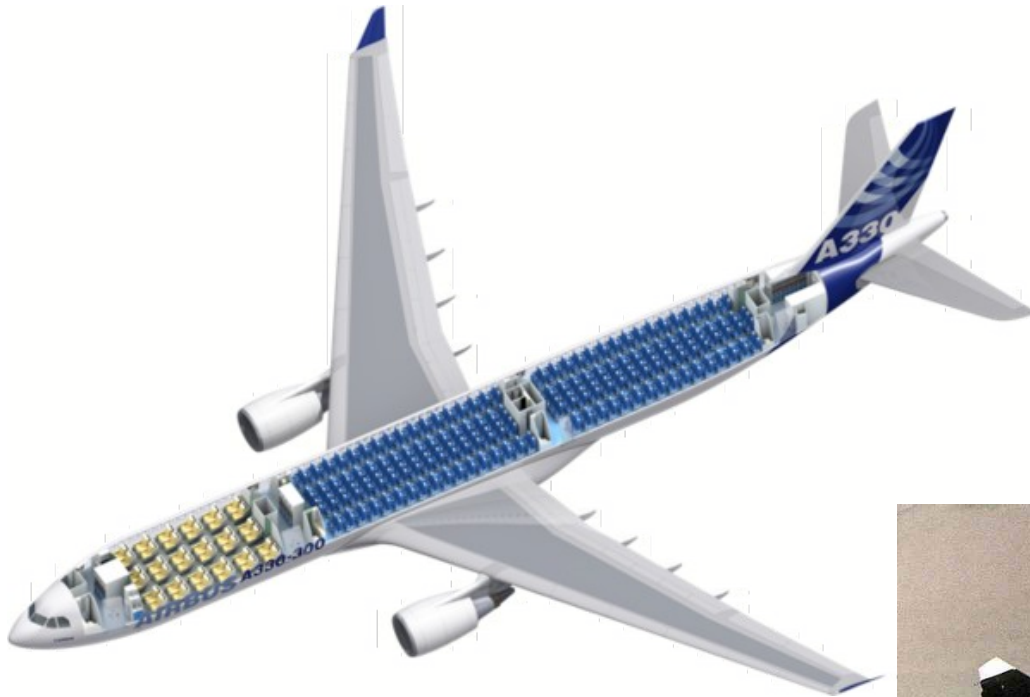
Ailes elliptiques



Spitfire

Les différentes formes d'ailes

ailes en flèche



Les différentes formes d'ailes

ailes trapézoïdales



Lockheed F-22 Raptor

Les différentes formes d'ailes

ailes delta



à géométrie variable



Les différentes formes d'ailes

gothique



Décollage d'un Concorde d'Air France
An Air France Concorde taking off

Photograph/Photographer: P. Delécluse Ref: 010518
Tout usage sauf publication / Not for advertising purposes

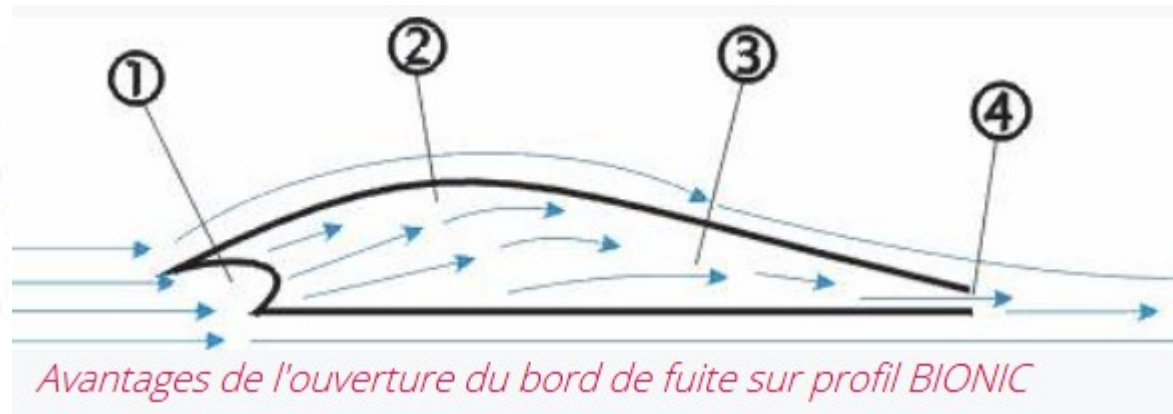
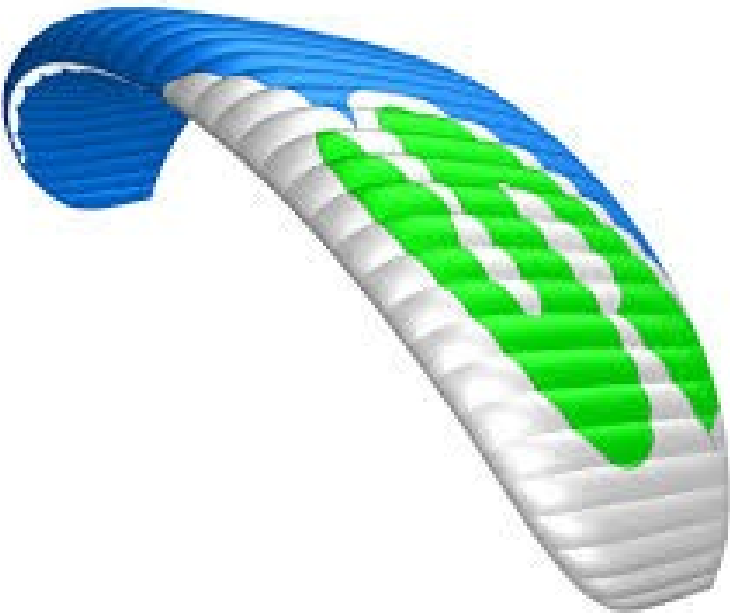


ailes volantes



Les différentes formes d'ailes

ailes parapente et paramoteur



Les différentes formes d'ailes

Une voilure en trapèze à forte cambrure au moment de l'atterrissage !



Différentes formes d'ailes pour différents usages



Patrouille d'un drone Neuron avec un Rafale et un Falcon 7X.

Exemples de profils d'aile

profil NACA 4412

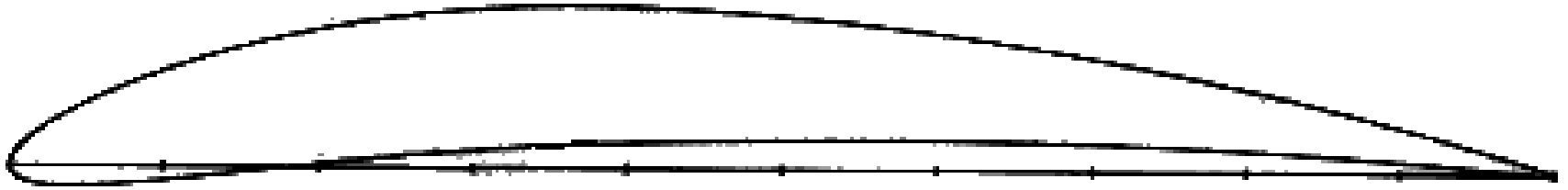


Un profil **biconvexe dissymétrique** qui porte bien même à incidence nulle et qui est très stable. Utilisé dans l'aviation de loisir.

*NACA : National Advisory Committee for Aeronautics (devenu NASA en 1958)
A établi un code de 4 à 6 chiffres donnant les paramètres des profils d'aile*

Exemples de profils d'aile

profil Eppler 471



Un profil **cambré ou creux** qui est très porteur mais qui est assez instable. Lorsque l'incidence augmente il cherche à cabrer.

du nom de Richard Eppler, professeur à l'université de Stuttgart

Exemples de profils d'aile

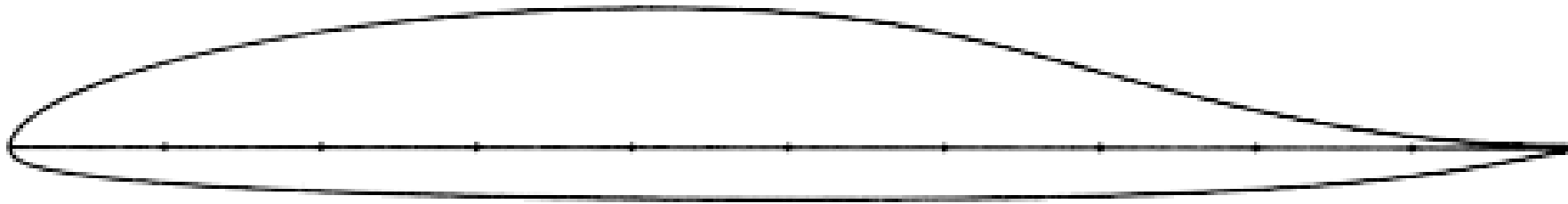
profil NACA 0009



Un profil **biconvexe symétrique** qui ne porte pas aux faibles ou très faibles incidences. Il n'est intéressant que pour les gouvernes et la voltige.

Exemples de profils d'aile

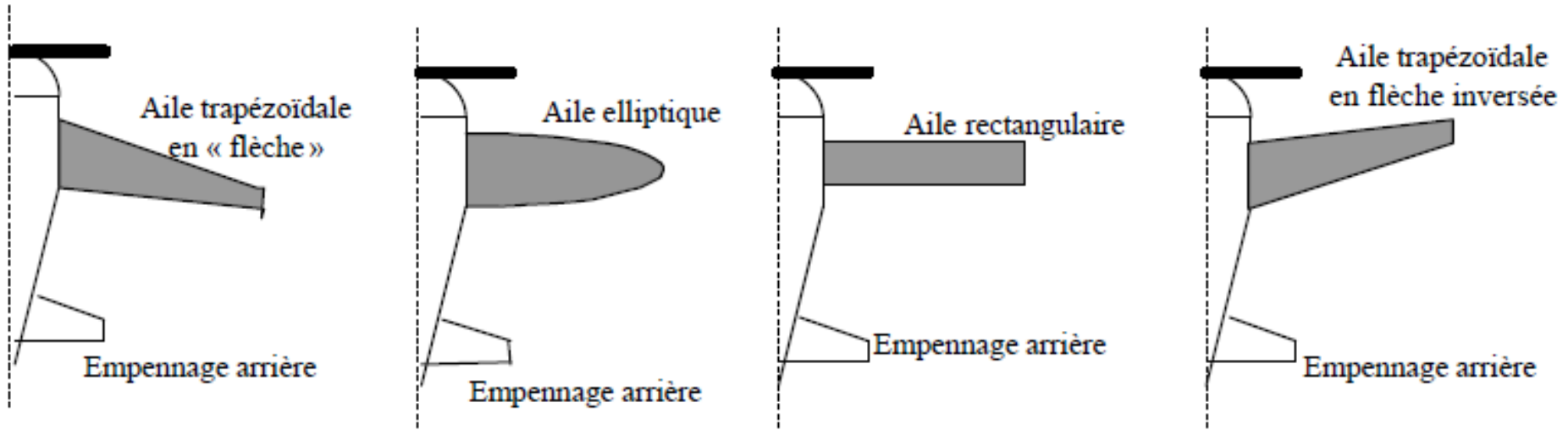
profil Roncz



Un profil à **double courbure** (ou **autostable**) qui présente l'avantage d'une grande stabilité mais qui a une portance moyenne et une traînée assez forte.

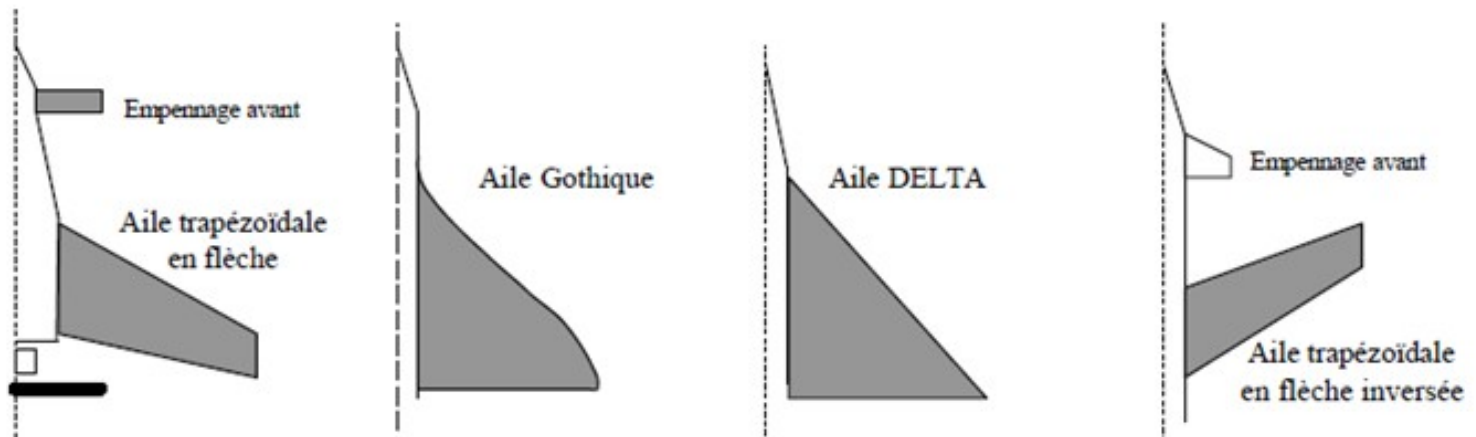
* du nom de John Roncz, un constructeur américain indépendant

Influence de la forme de l'aile sur la **stabilité** de l'avion



+ Stable

- Stable



Géométrie de l'aile : **nombre de plans**

monoplan



Morane-Saulnier 225 C1 (1933)

biplan



De Havilland Tiger Moth (1932)



DR 400 (1972)



Staggerwing (1933)

Géométrie de l'aile : **position**

aile haute



aile médiane

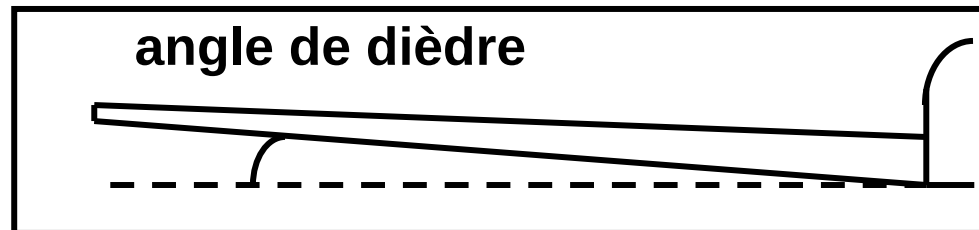


aile basse



Géométrie de l'aile : **le dièdre**

dièdre positif



Géométrie de l'aile : **le dièdre**

dièdre nul



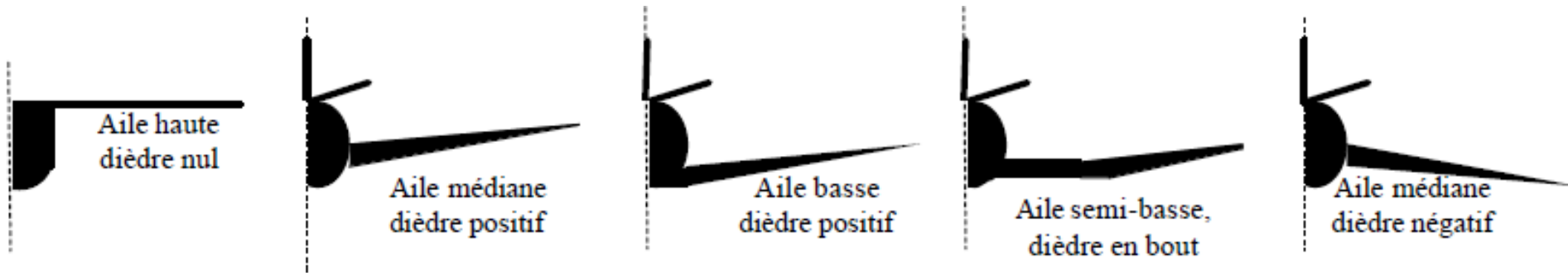
dièdre négatif



Influence du dièdre et de la position de l'aile

+ Stable

- Stable



Stabilité statique transversale

Pour assurer une stabilité transversale en roulis on adopte en général les configurations suivantes :

type d'aile	position	dièdre
droite	haute	environ nul
droite	basse	positif
en flèche	basse	faiblement positif
en flèche	haute	fortement négatif

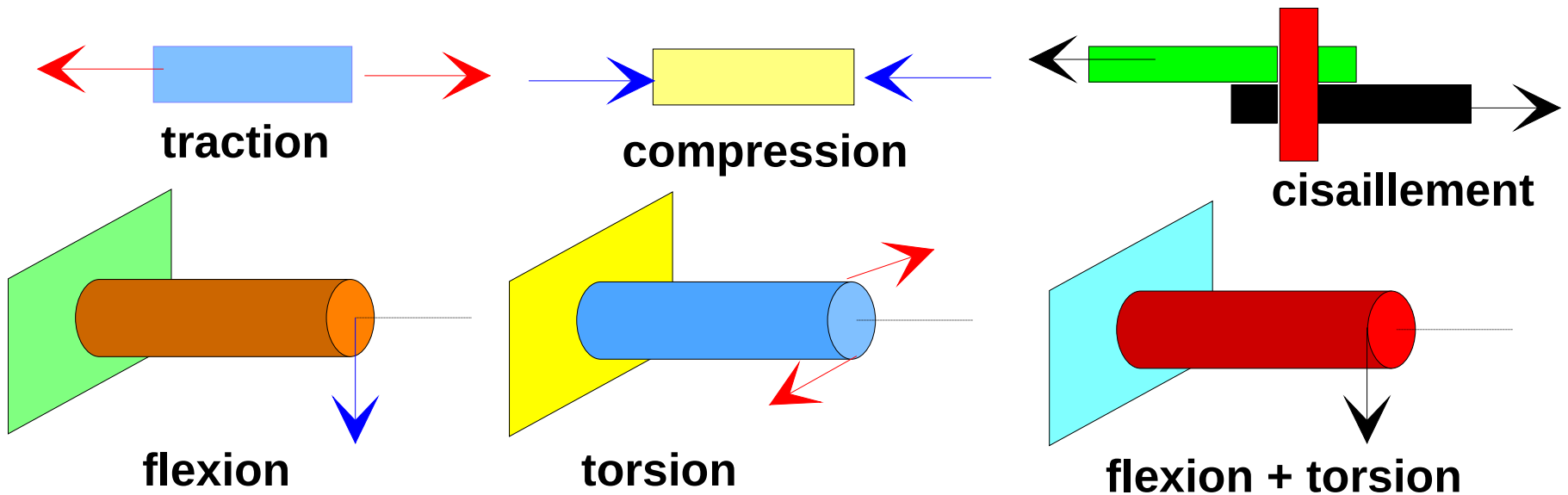
3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.2 Structures et matériaux

- Voilures
 - Forme
 - Nombre
 - Dièdre
 - Position
 - Efforts sur la voilure
 - Structure
- Empennages
- Fuselages
- Matériaux
- Atterrisseurs

Les sollicitations mécanique subies par les éléments de l'avion

Elles sont de plusieurs types, contribuent à la **fatigue** des pièces et assemblages, et **peuvent conduire à la déformation permanente où à la rupture des éléments de l'avion**



Les voilures subissent des sollicitations mécaniques particulièrement importantes, pendant des durées longues, et d'autant plus fortes que le facteur de charge est élevé

Efforts auxquels les voilures sont soumises?

- au sol, moteur arrêté

- flexion vers le bas
- traction (extrados)
- compression (intrados)

- au sol en roulant

- torsion
- flexion vers le bas

- au décollage

- torsion
- flexion vers le haut

- en vol

- flexion vers le haut
- traction (intrados)
- compression (extrados)

- à l'atterrissage

- flexion vers le bas
- torsion

- au freinage

- torsion
- flexion vers le bas



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

En vol, sous facteur de charge positif, l'aile d'un avion subit :

- a) une compression à l'extrados.
- b) une traction à l'extrados.
- c) une flexion supportée par le longeron.
- d) les propositions a et c sont exactes.

Pour un avion au sol à l'arrêt, l'aile subit :	
a)	une flexion vers le bas.
b)	une torsion.
c)	une traction.
d)	une compression.

L'extrados de l'aile d'un avion en vol de croisière subit :

- a) un cisaillement
- b) une traction
- c) une compression
- d) une torsion

Au sol, le carburant contenu dans une aile, entraîne sur les longerons :	
a)	un effort de cisaillement.
b)	un effort de flexion.
c)	un effort de torsion.
d)	n'a pas d'influence sur la structure de l'aile.

3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.2 Structures et matériaux

- Voilures
 - Forme
 - Nombre
 - Dièdre
 - Position
 - Efforts sur la voilure
 - Structure
- Empennages
- Fuselages
- Matériaux
- Atterrisseurs

Structure d'une aile

La structure la plus classique s'apparente à la structure semi-monocoque.

Parallèlement à l'allongement de l'aile, une poutre résistante : le **longeron**. L'aile peut-être **mono-longeron** ou **multi-longerons**.

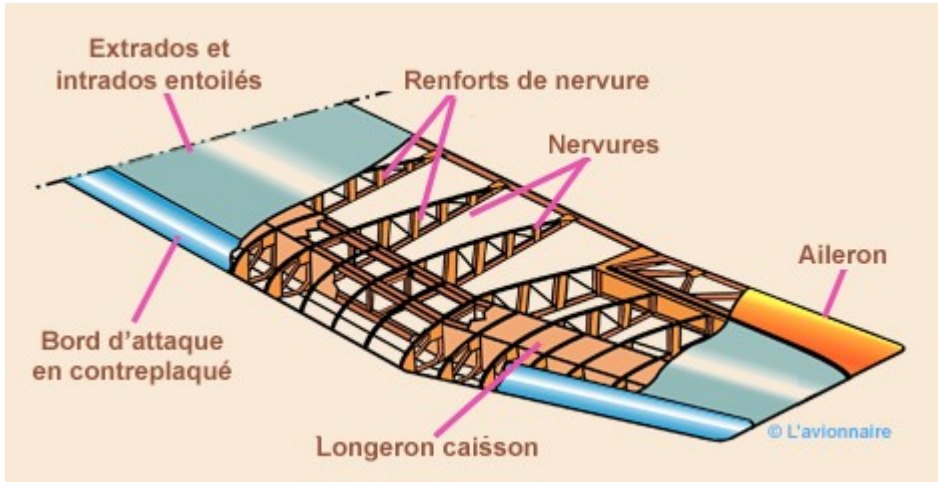
Transversalement au longeron, des **cadres** ou **nervures**.

Le **revêtement** de l'aile est alors en général **non travaillant** (c. à d. qui ne participe pas à la rigidité et à la solidité de l'aile. Par exemple : de la toile)

Une autre structure classique est dite **en caisson** :

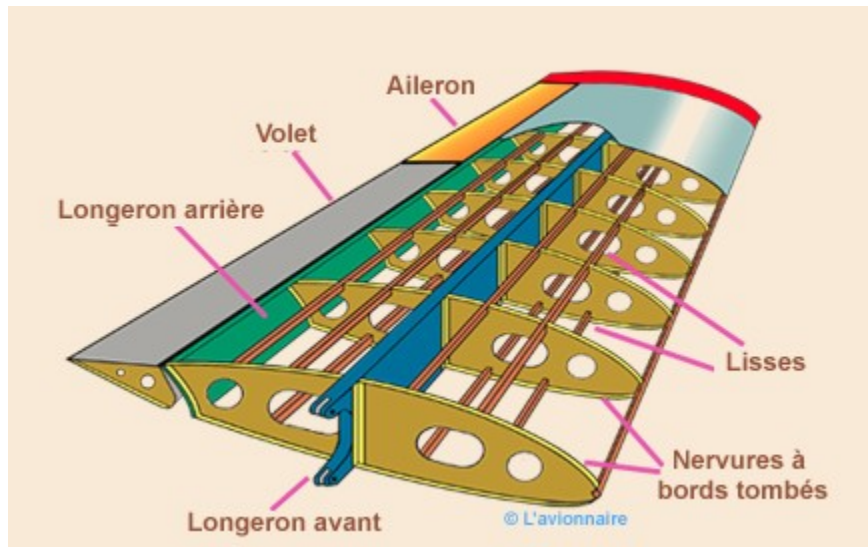
Un ensemble d'éléments longitudinaux et transversaux forme des **caissons recouverts par un revêtement travaillant** (c.à d. qui participe à la solidité de l'aile, par exemple de la tôle d'aluminium)

Structure d'une aile : avion léger



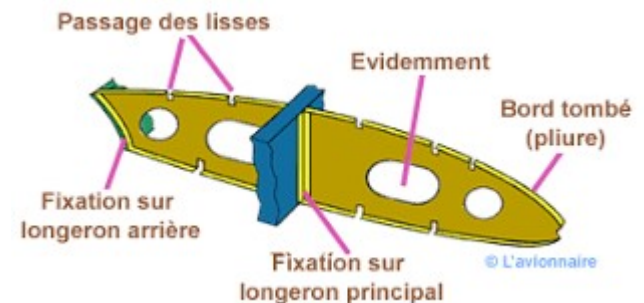
Aile en bois collé de Jodel (D113, Robin DR 400, D140 Mousquetaire)

- 1 seul longeron : un caisson de contreplaqué
- nervures en bois à **entretoises**
- bord d'attaque renforcé, en contreplaqué
- aile entoilée



Aile métallique. Pour cette aile :

- 2 longerons
- structure renforcée par des **lisses** d'extrados et d'intrados



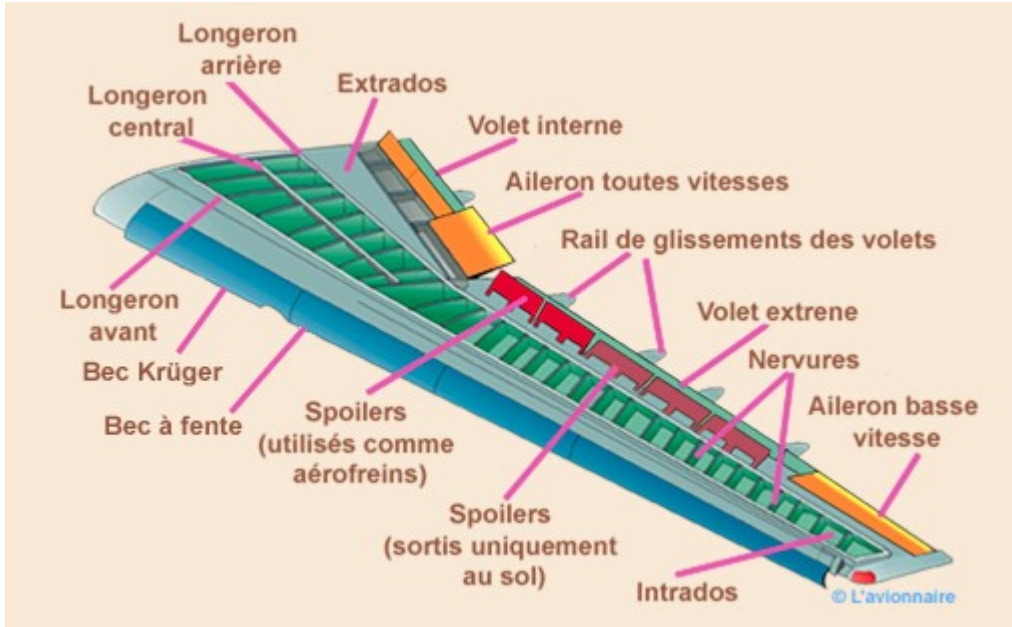
Structure d'une aile : avion de transport commercial

nervure

longeron



Structure d'une aile : avion de transport commercial



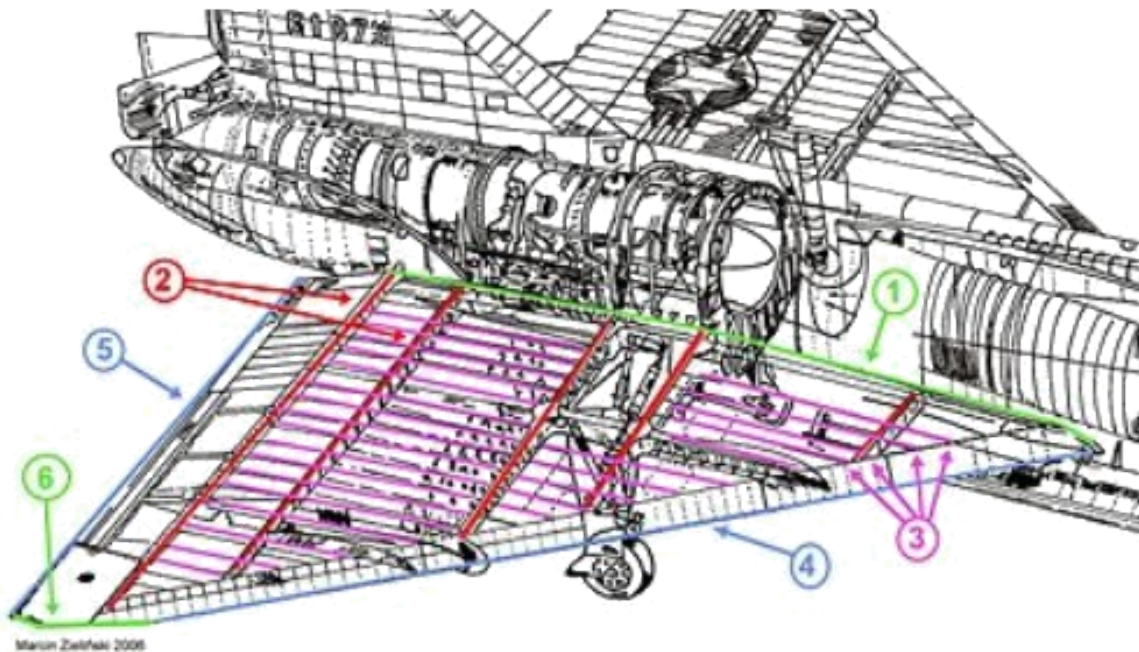
aile d'un Airbus 300



emplanture d'aile
d'un Airbus 380

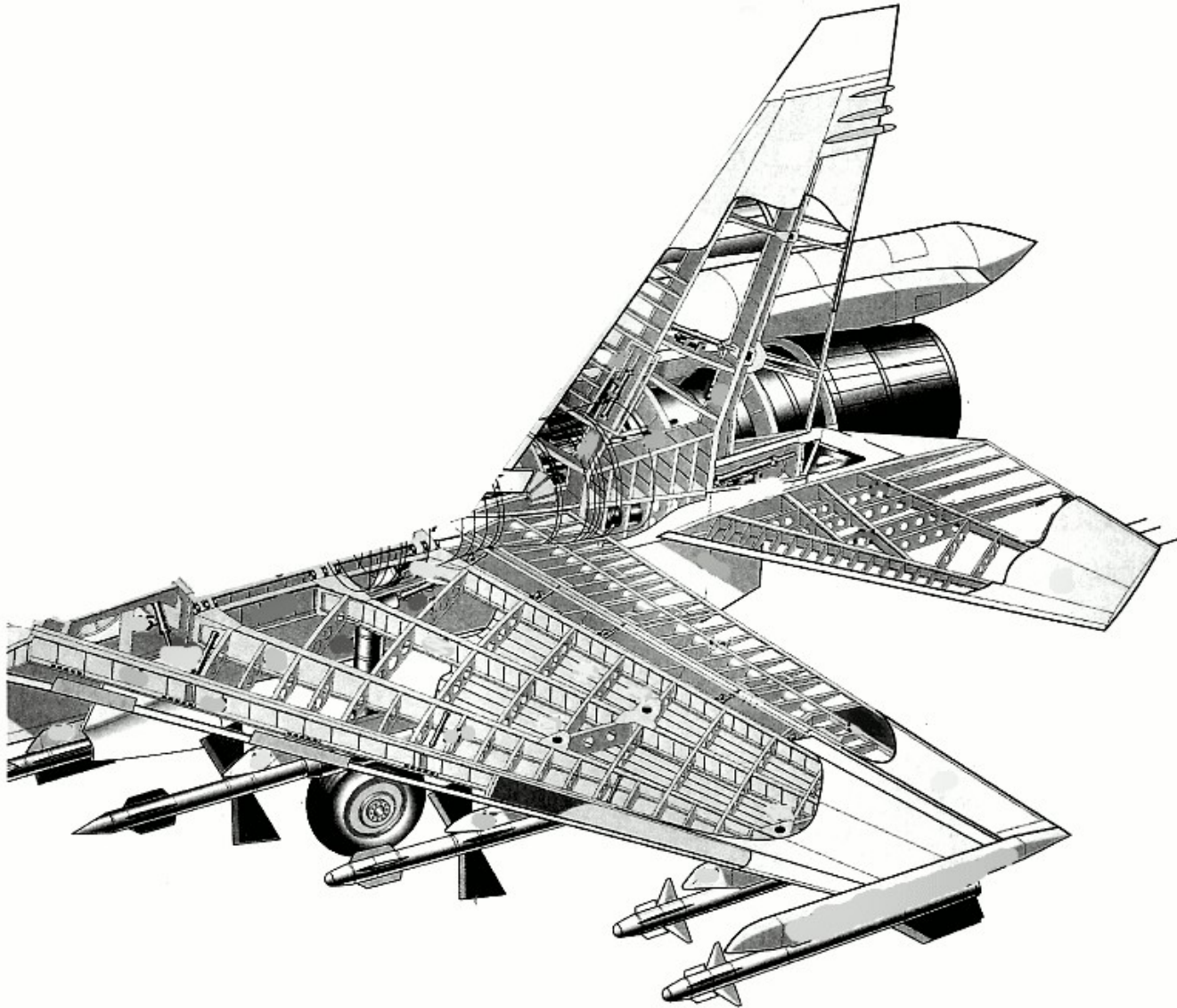
Structure d'une aile : avion de chasse

- la résistance de la structure doit être très forte : il y a plusieurs longerons (ici 5), mais assez minces.



1. Emplanture
2. Longerons
3. Nervures
4. Bord d'attaque
5. Bord de fuite
6. Saumon

Structure d'une aile : avion de chasse (Sukhoï 27)



Structure d'une aile : avion de chasse (F35)



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

Pour un avion en bois et toile moderne :

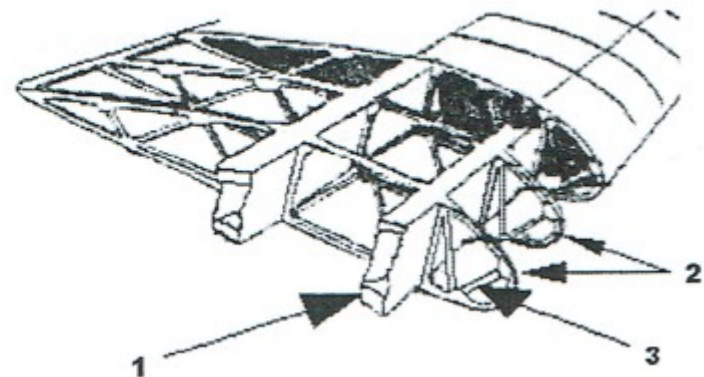
- a) seules les ailes sont en bois recouvert toile.
- b) les longerons d'aile sont en bois et les nervures en alliage d'aluminium.
- c) toute la structure est en bois recouvert de toile.
- d) le fuselage est en bois entoilé et l'aile en alliage métallique.

Les pièces se situant dans le sens longitudinal de l'aile et assurant la plus grande partie de la résistance sont :

- | | |
|----|------------------|
| a) | les traverses. |
| b) | les longerons. |
| c) | les lisses. |
| d) | les raidisseurs. |

Les éléments 1, 2 et 3 de la structure de l'avion représentée ci-contre sont :

- a) 1 : longeron – 2 : nervure – 3 : entretoise
- b) 1 : nervure – 2 : couple – 3 : lisse
- c) 1 : longeron – 2 : traverse – 3 : semelle
- d) 1 : couple – 2 : entretoise – 3 : traverse



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

Cours BIA Lycée Marie Curie et Aéroclub du Dauphiné. Grenoble.

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>