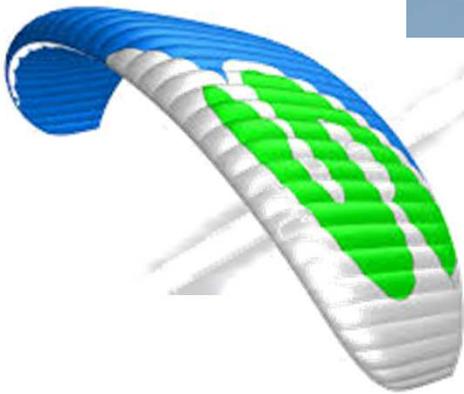
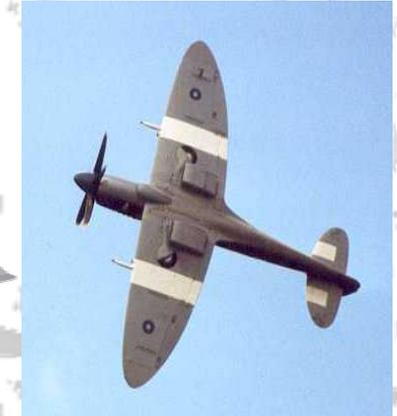




# 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

## 3.3 Structures et matériaux

### 3.3.1 Voilures



# 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

## 3.3 Structure et matériaux

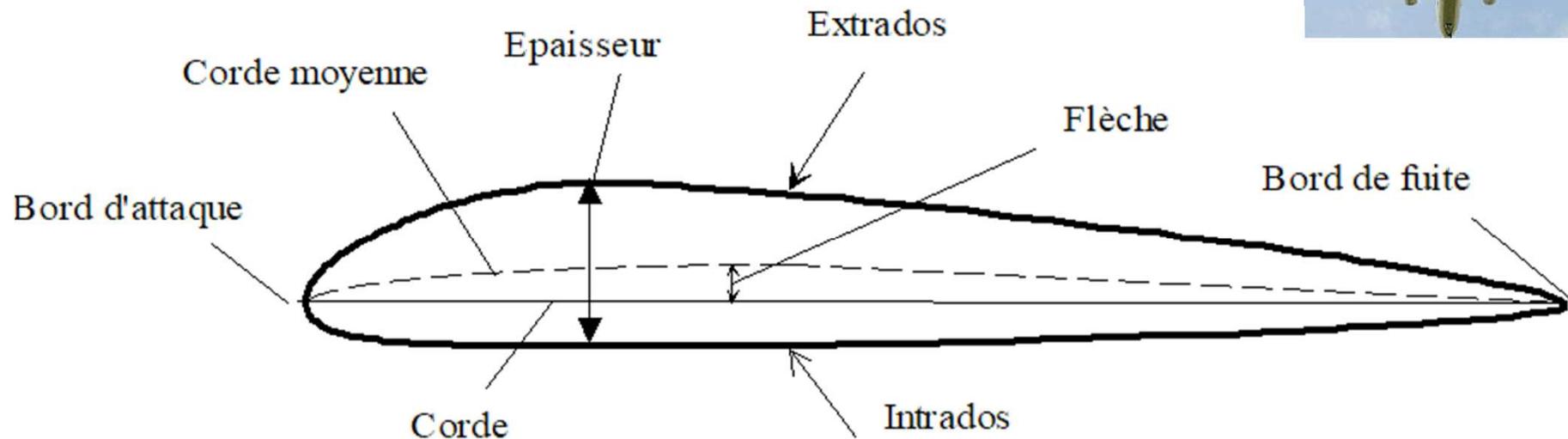
- Voilures

- Forme
- Nombre
- Dièdre
- Position
- Dispositifs hyper sustentateurs
- Effort sur la voilure
- Structure

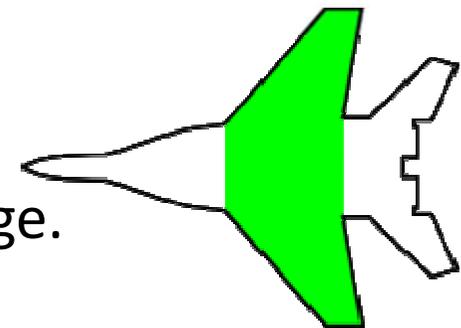
- Empennages
- Fuselages
- Matériaux
- Atterrisseurs

# Voilure

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



- **Surface alaire** est l'aire des ailes projetée sur le plan incluant la surface reliant les ailes à travers le fuselage.

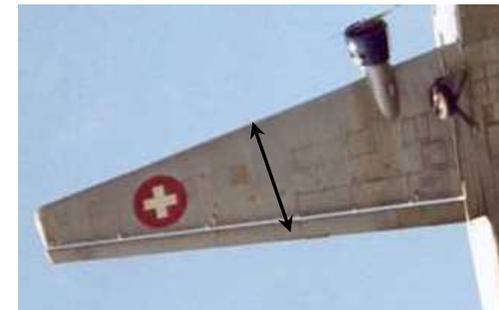
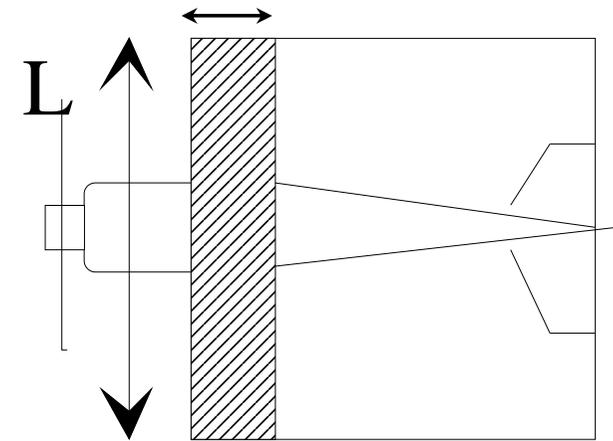


# L'Allongement

Plus l'allongement est **important** et plus la traînée induite diminue.  
Il est défini par le rapport suivant:

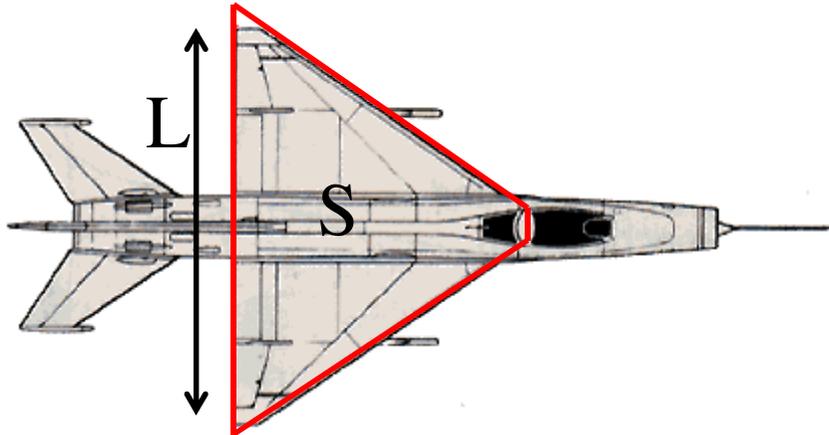
Pour une aile rectangulaire:  
**Envergure en m / Corde en m**

Pour une aile trapézoïdale:  
**Envergure en m / Corde  
moyenne en m**



## L'Allongement

- Pour une aile Delta:

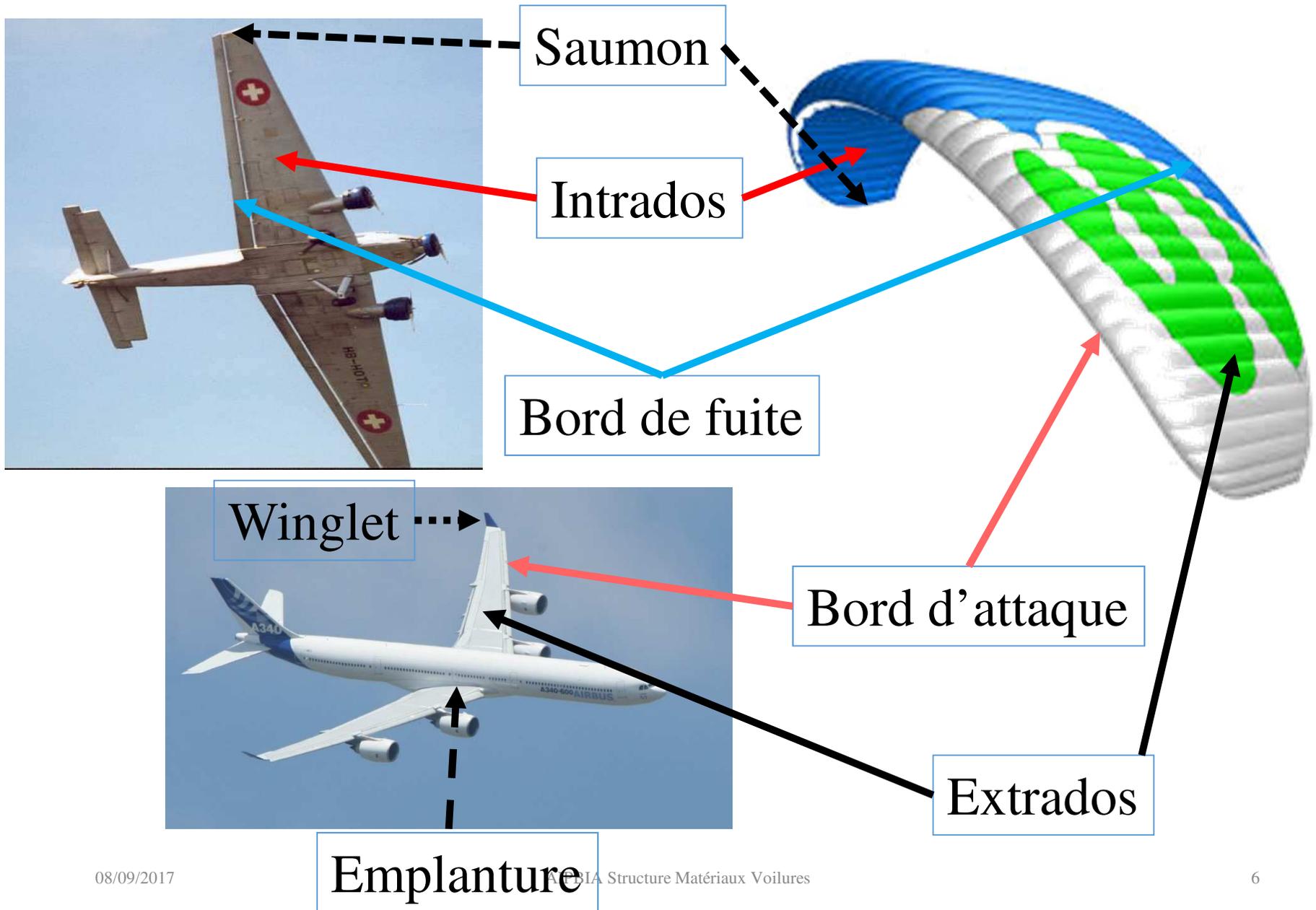


$$\lambda = \frac{L^2}{S}$$

L est l'envergure de l'aile et S sa surface (y compris la partie traversant le fuselage).

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

# L'aile



# Les différentes formes d'ailes

## Ailes droites



Piper Cub

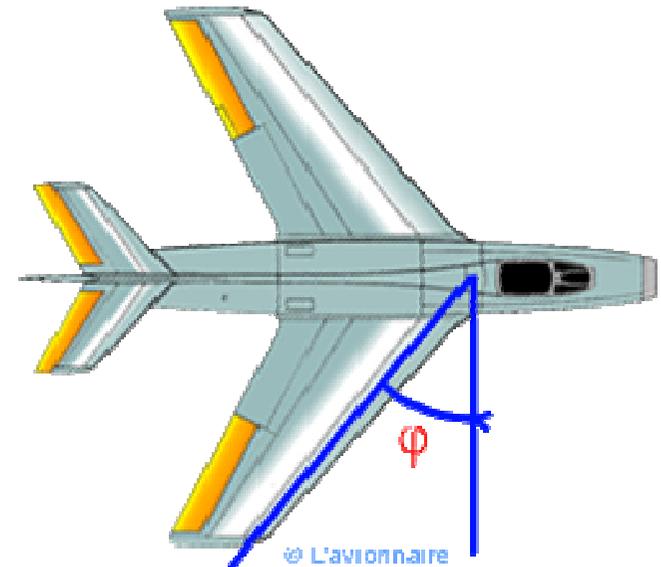
## Ailes elliptiques



Spitfire

# Les différentes formes d'ailes

## Ailes en flèche



Angle de flèche



Sukhoï SU-47 Berkut

## Les différentes formes d'ailes

### Ailes trapézoïdales



Ju-52



Lockheed F-22 Raptor

# Les différentes formes d'ailes

## Ailes delta



Rafale

## A géométrie variable



Mirage G-8



Structure Matériaux Voilure



F 14 TOMCAT

# Les différentes formes d'ailes

## Gothique



Décollage d'un Concorde à l'Air France  
Air Air France Concorde taking off

Photographie/Photography | PL Concorde | Ref : 010019  
Droit usage sauf publication | Not for republication purposes



## Ailes volantes



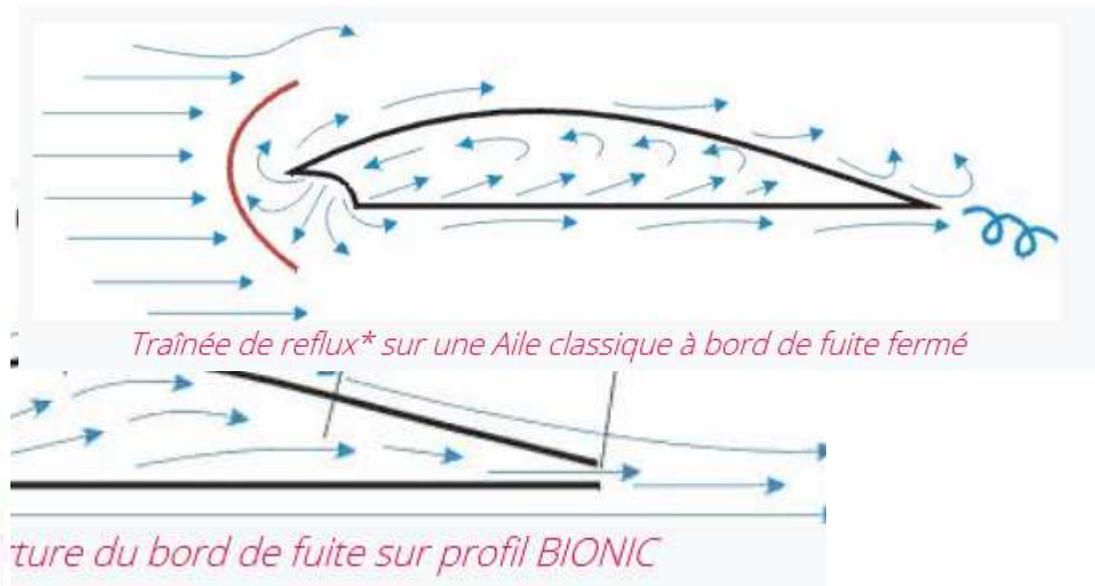
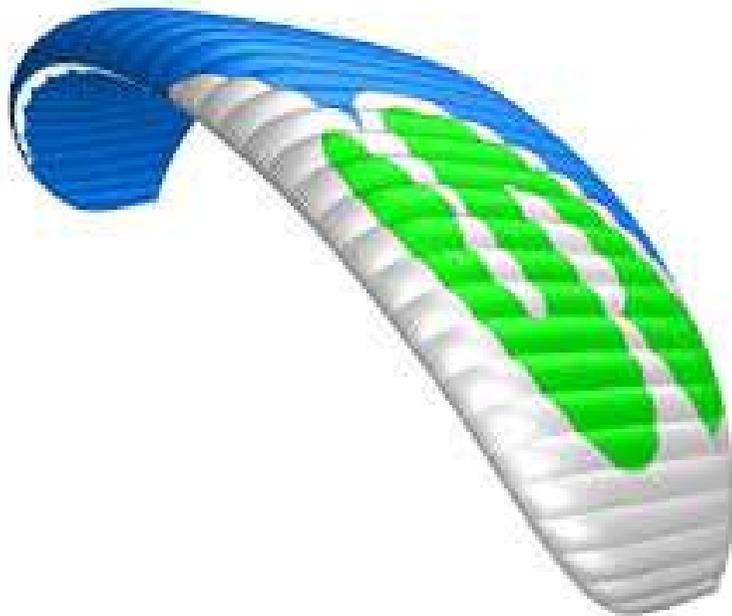
## Différentes formes d'ailes pour différents usages



08/09/2019 Patrouille du nEUROn avec un Rafale et un Falcon 7X. 12

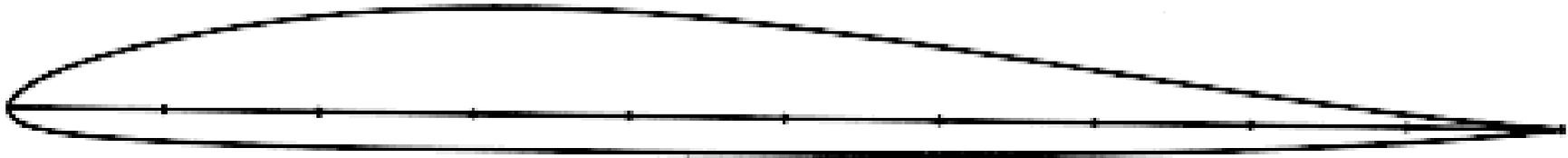
# Les différentes formes d'ailes

## Ailes Parapente et Paramoteur



## Exemples de profils:

Profil B29 \*



Le profil **plan convexe** porte bien même à faible incidence mais il est légèrement instable. Il est utilisé en aviation générale.

## Exemples de profils:

NACA\* 4412

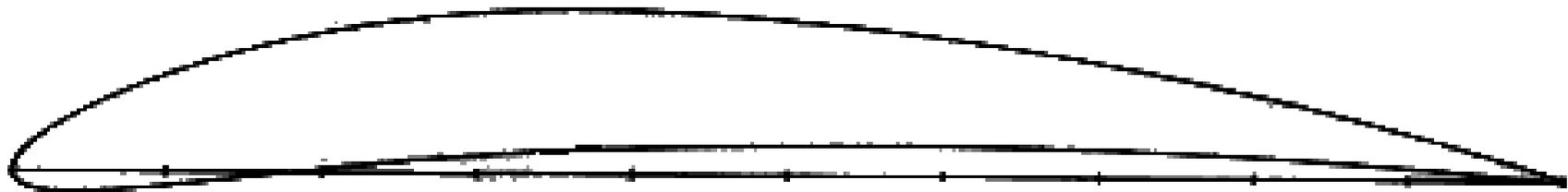


Le profil **biconvexe dissymétrique** porte également bien même à incidence nulle et est très stable. Utilisé dans l'aviation de loisir.

*\* 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:

EPPLER 471



Le profil **cambré** ou **creux** est très porteur mais il 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:

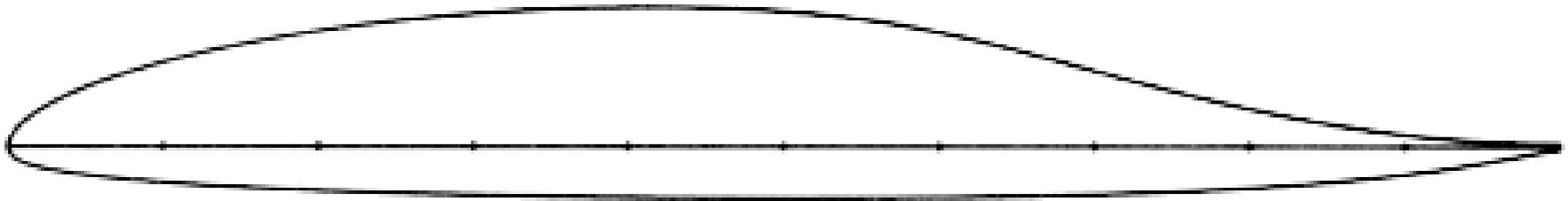
NACA 0009



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

## Exemples de profils:

RONCZ \*

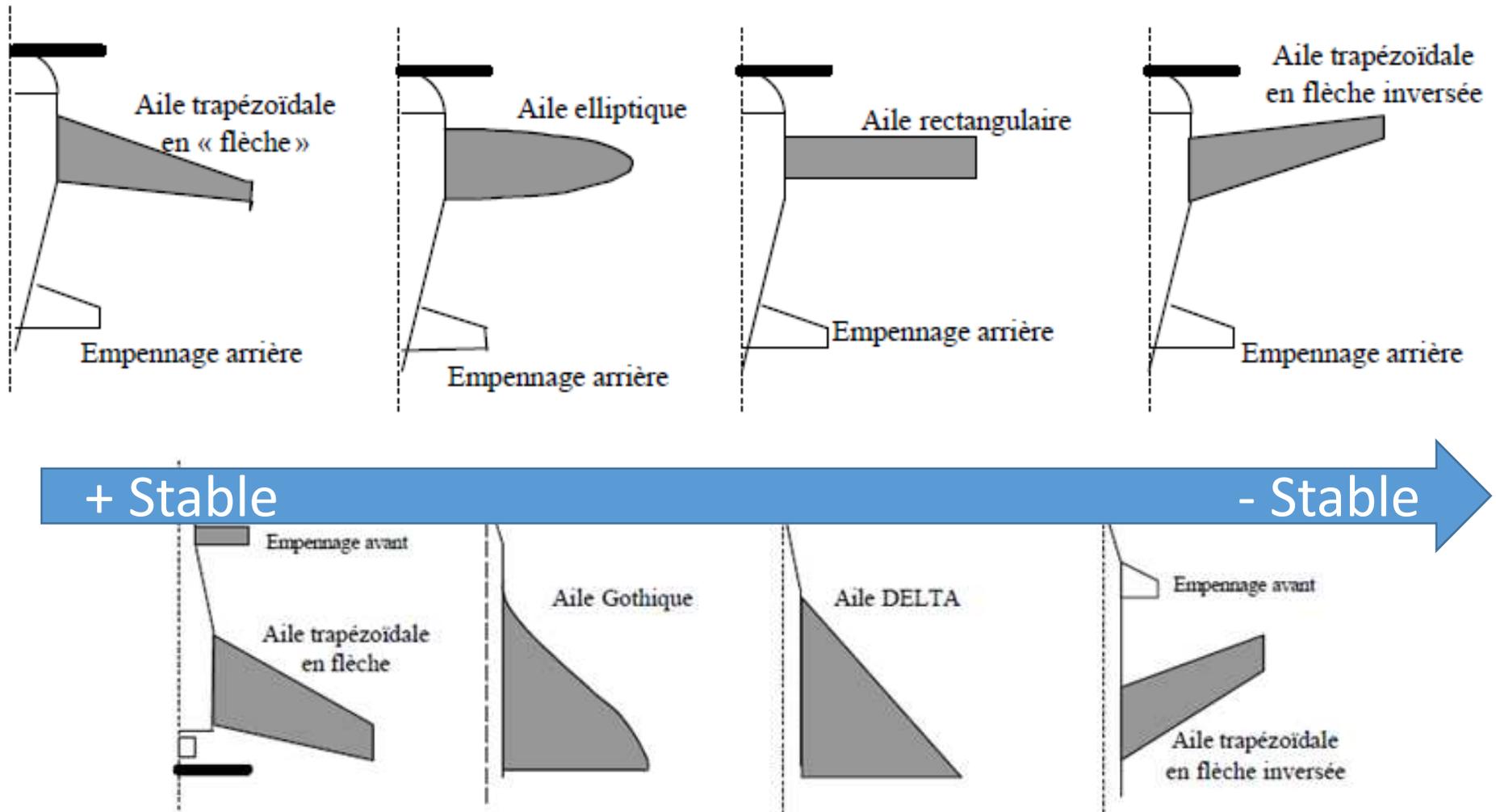


Le profil à **double courbure** (ou **autostable**) présente l'avantage d'une grande stabilité mais une portance moyenne et une traînée assez forte.

\* du nom de John Roncz, un constructeur américain indépendant

# En résumé

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



# Les différents Formes d'ailes: Nombres

## Monoplan



Morane-Saulnier 225 C1

## Biplan



De Havilland Tiger Moth

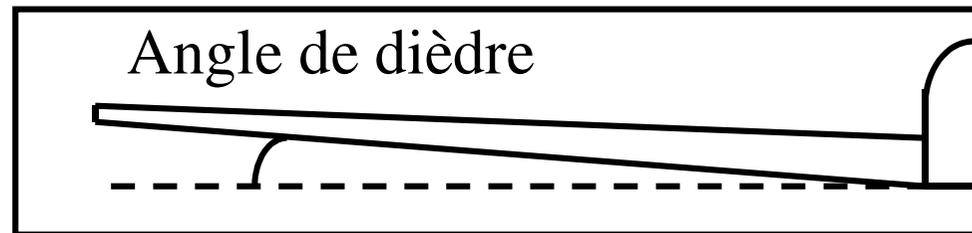


# Les différentes formes d'ailes: Dièdre

## Dièdre positif



Jet Provost



# Les différentes formes d'ailes: Dièdre

Dièdre nul



Dièdre négatif



# Les différentes formes d'ailes: Position

**Aile haute**



**Aile médiane**



**Aile basse**



En résumé

# Impact du Dièdre & Position de l'aile sur la stabilité de l'avion

+ Stable

- Stable



## Impact des configurations, Type d'aile, Position, Dièdre sur la stabilité Statique Transversale

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

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

# Décollage

**Après le décollage l'avion doit accélérer vers sa vitesse de croisière et Montée vers son altitude de vol.**

- Pour un bon décollage que recherche t on?
  - Vitesse:
    - Basse?
    - Elevée?
  - Distance de décollage:
    - Longue?
    - Courte?
  - Manœuvre
    - Facile
    - Difficile

**Au décollage on recherche le meilleur compromis entre:**  
**Bonne portance**  
**Faible traînée**

# Atterrissage

**Après l'atterrissage l'avion doit s'arrêter.**

- Pour un bon atterrissage que recherche t on?
  - Vitesse:
    - Basse?
    - Elevée?
  - Distance d'atterrissage:
    - Longue?
    - Courte?
  - Manœuvre
    - Facile
    - Difficile

**A l'atterrissage on  
recherche la meilleure  
Portance**

# 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

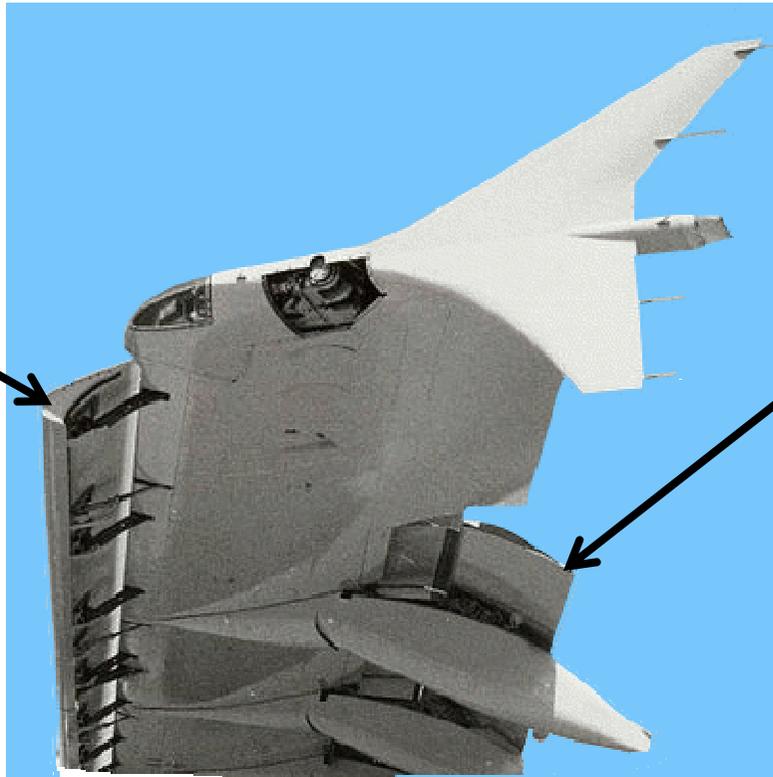
## 3.3 Structure et matériaux

- Voilures
  - Forme
  - Nombre
  - Dièdre
  - Position
  - Dispositifs hyper sustentateurs
  - Effort sur la voilure
  - Structure
- Empennages
- Fuselages
- Matériaux
- Atterrisseurs

# Les Dispositifs Hyper Sustentateurs

- Hyper = Beaucoup; Plus
- Sustenter = Porter
- Hyper....sustentateurs = augmentant la portance

Les dispositifs de bord d'attaque



Les volets de bord de fuite

## Les volets de bord de fuite

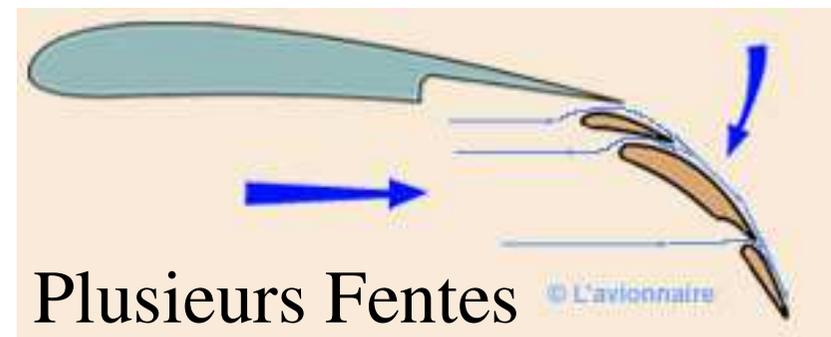
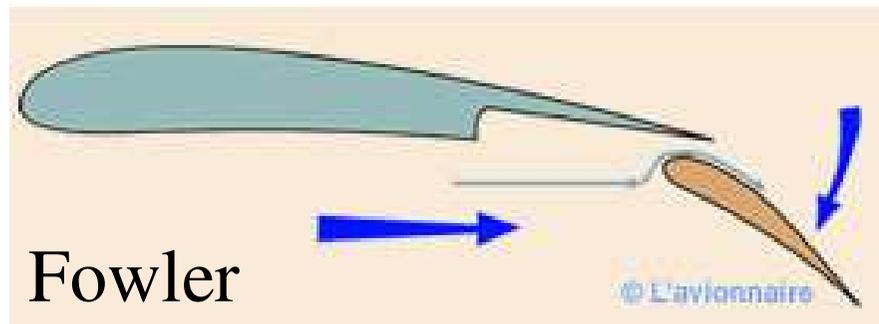
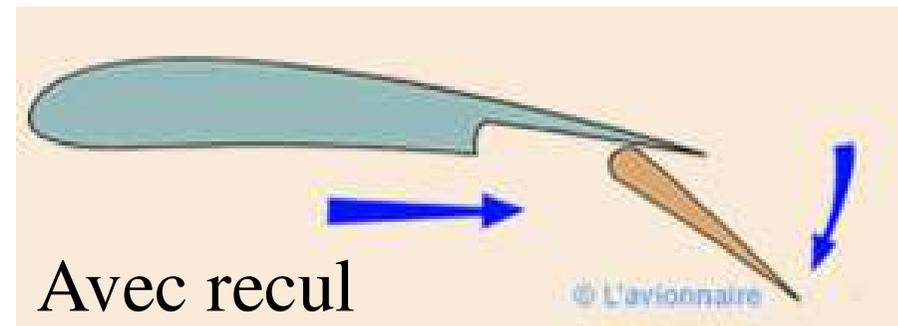
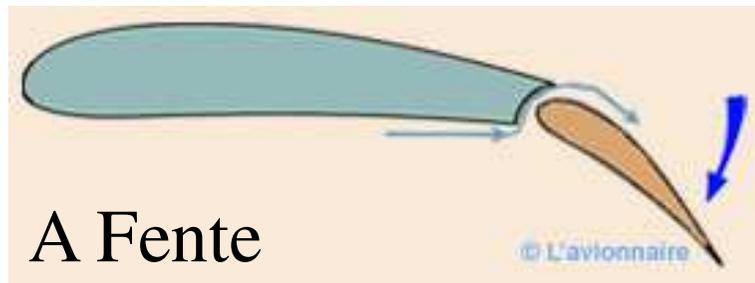
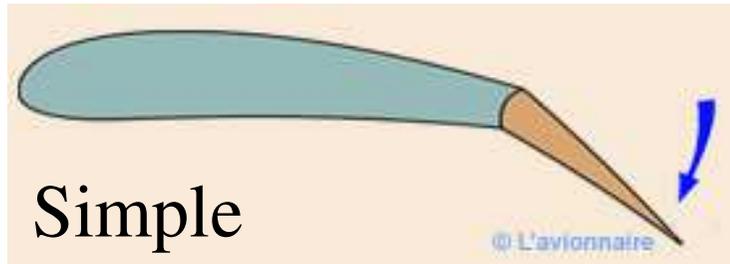
Les volets de bord de fuite **augmentent** la **portance** en modifiant la cambrure de l'aile et parfois aussi sa surface.

### Les effets des volets de bord de fuite:

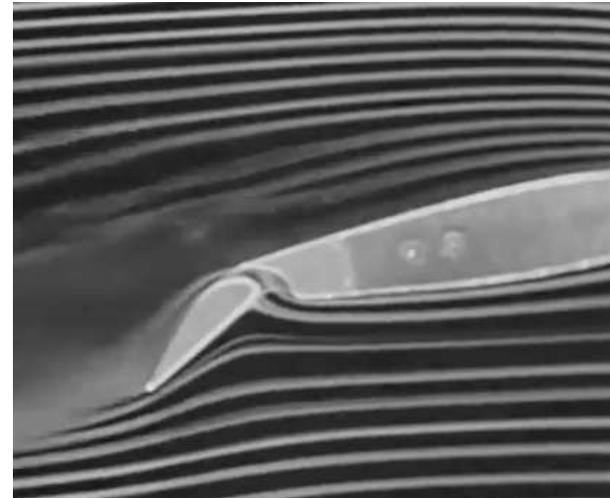
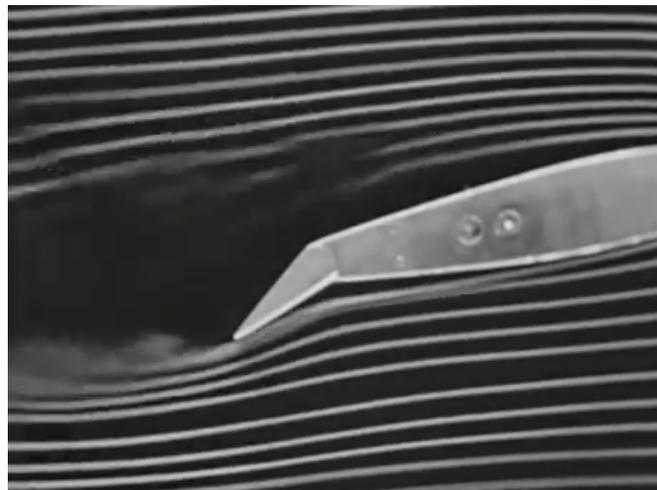
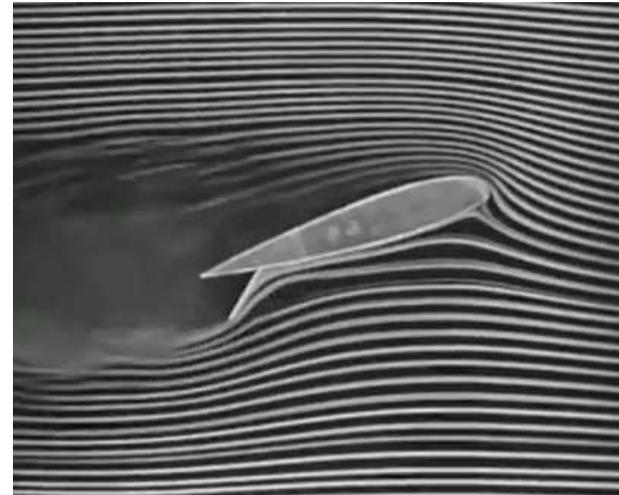
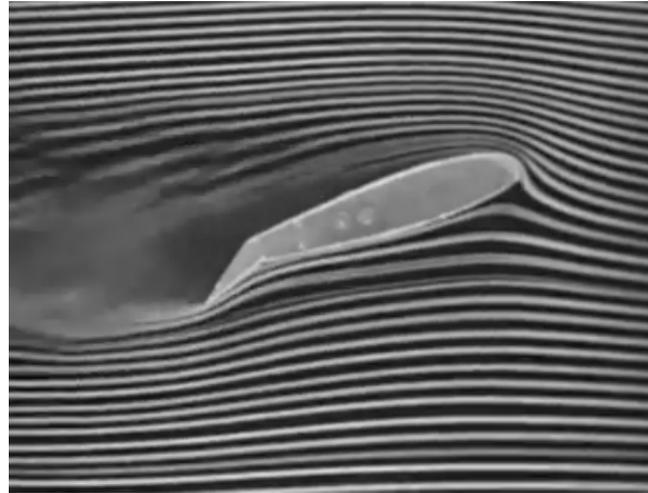
- *augmentation plus ou moins importante de la portance (en fonction du braquage utilisé)*
- *augmentation importante de la traînée*
- *augmentation de la sensibilité au vent*

⇒ Réduction de la vitesse de décrochage

# Les volets de bord de fuite



# Simple vs Intrados Simple vs. à fente



## Les volets de bord de fuite

### Utilisation normale des volets:

#### Décollage

effets recherchés:

- diminuer la vitesse de décollage
- garder une bonne accélération

solution: ***Braquage limité des volets (1<sup>er</sup> cran)***

#### Atterrissage

effet recherché:

- diminution de la vitesse d'approche

solution: ***Braquage maximum des volets selon le vent.***

# Les volets de bord de fuite

Simple



DR400

Double fente



Fowler



## Les dispositifs de bord d'attaque

Les becs de bord d'attaque augmentent la portance en modifiant la cambrure de l'aile et parfois aussi sa surface.

### **Les effets des becs de bord d'attaque:**

- *augmentation plus ou moins importante de la portance (en fonction du type utilisé)*
  - *augmentation de la traînée*
  - *augmentation de la sensibilité au vent*
- ⇒ **Réduction de la vitesse de décrochage**

## Les dispositifs de bord d'attaque

### **Utilisation normale des becs de bord d'attaque:**

#### **Décollage**

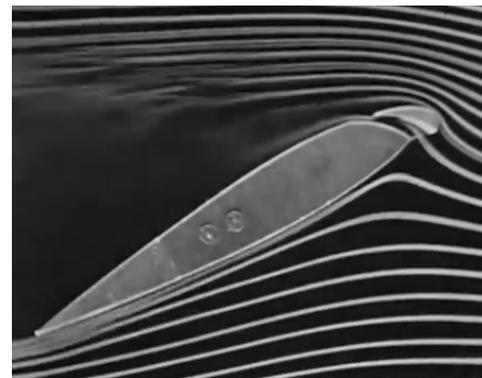
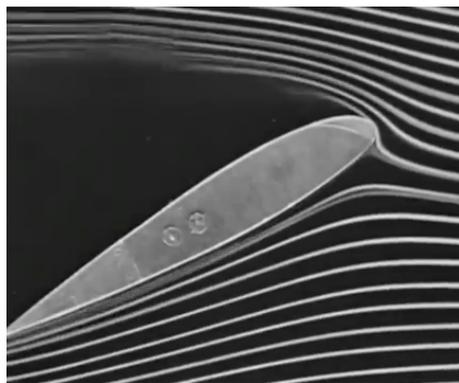
*Les dispositifs mobiles ne sont, en général, pas utilisés.*

#### **Atterrissage**

Effet recherché: Diminution de la vitesse d'approche

Solution:

***Déploiement maximum des becs.***



# Les dispositifs de bord d'attaque

Becs les plus courants.



Bec Fixe



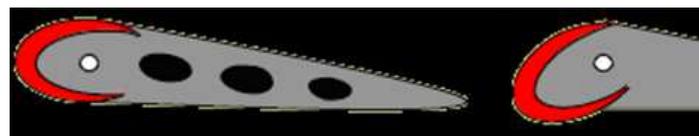
Mobile:

Automatique

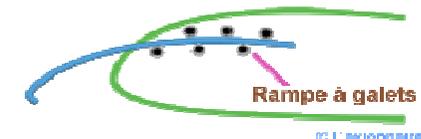
Commandé



Krueger



Basculant

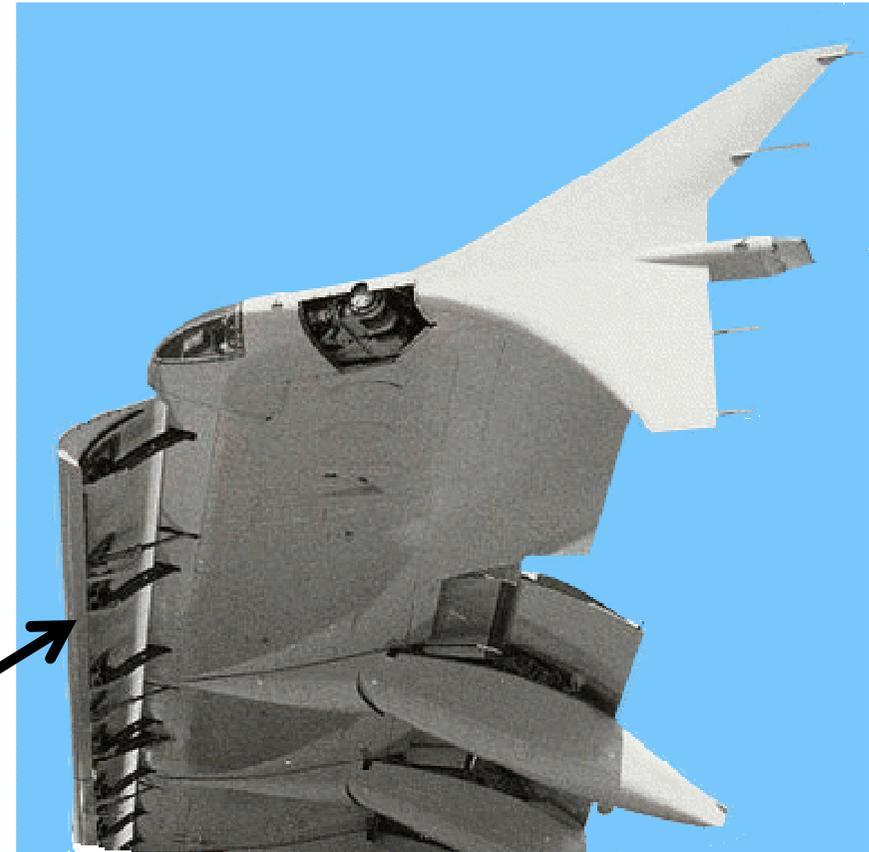


Betz

Les dispositifs de bord d'attaque:  
Bec de bord d'attaque mobile



Automatique

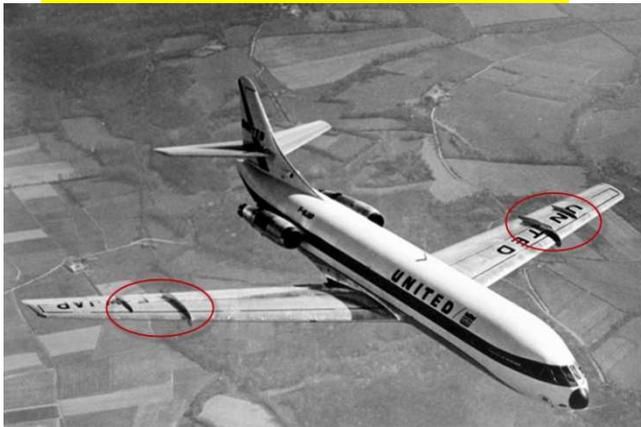


Commandé

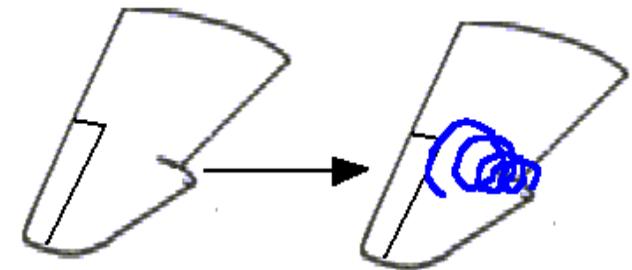
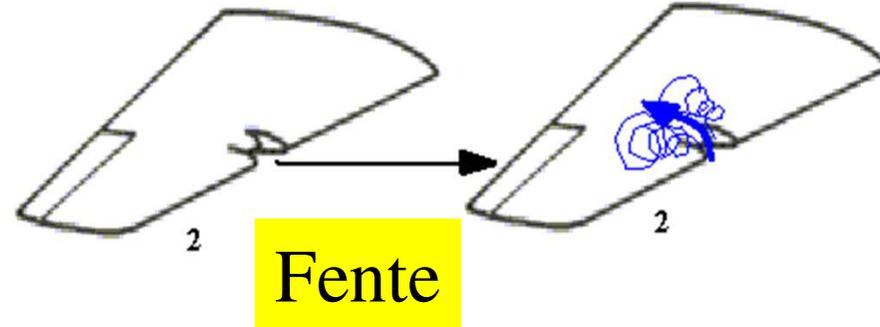
# Les dispositifs les plus courants de bord d'attaque



La cloison: SU7  
Caravelle



Dent de scie / Décrochement



# Dispositifs hypersustentateurs: Impact

Désignation	Forme de l'aile	Angle de braquage	Augmentation de portance en %
Profil de base			
Volet de courbure		45°	51%
Volet intrados sans recul		50°	67%
Volet à fente		45°	53%
Volet Fowler		40°	88%
Bec automatique			26%
Bec et Volet Fowler		40°	100%

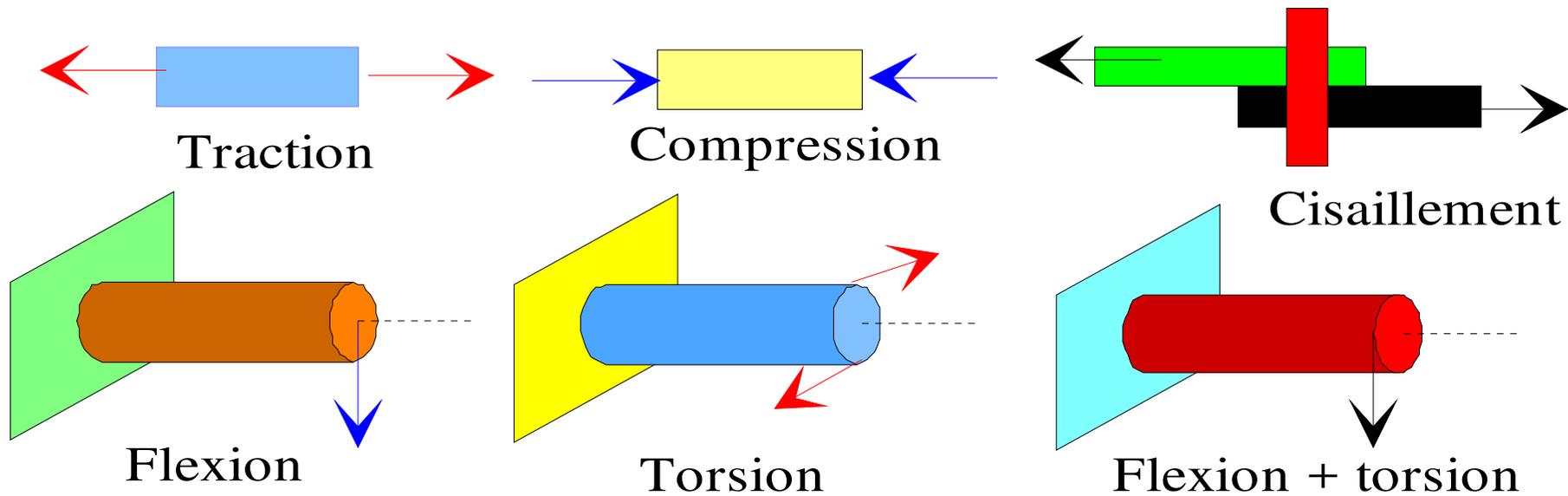
## 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

### 3.3 Structure et matériaux

- Voilures

- Forme
- Nombre
- Dièdre
- Position
- Dispositifs hyper sustentateurs
- Effort sur la voilure
- Structure
- Empennages
- Fuselages
- Matériaux
- Atterrisseurs

Dans cette liste quels sont les efforts auxquels sont soumises les voilures?



# Efforts auxquels les voilures sont soumises?

- Au sol moteur arrêté
- Au sol en roulant
- Décollage
- En vol
- Atterrissage
- Freinage



## 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

### 3.3 Structure et matériaux

- Voilures

- Forme
- Nombre
- Dièdre
- Position
- Dispositifs hyper sustentateurs
- Effort sur la voilure

- Structure

- Empennages
- Fuselages
- Matériaux
- Atterrisseurs

## Structure d'une aile

La structure la plus classique s'apparente à la structure semi-monocoque. Les cadres sont alors appelés des **nervures**.

L'aile peut-être alors **mono-longeron** ou **multi-longerons**.  
Le revêtement de l'aile est alors en général non travaillant.

Une autre structure classique est dite en caisson : un ensemble d'éléments longitudinaux et transversaux forme des caissons recouverts par un revêtement travaillant.

## Structure d'une aile

Nervure

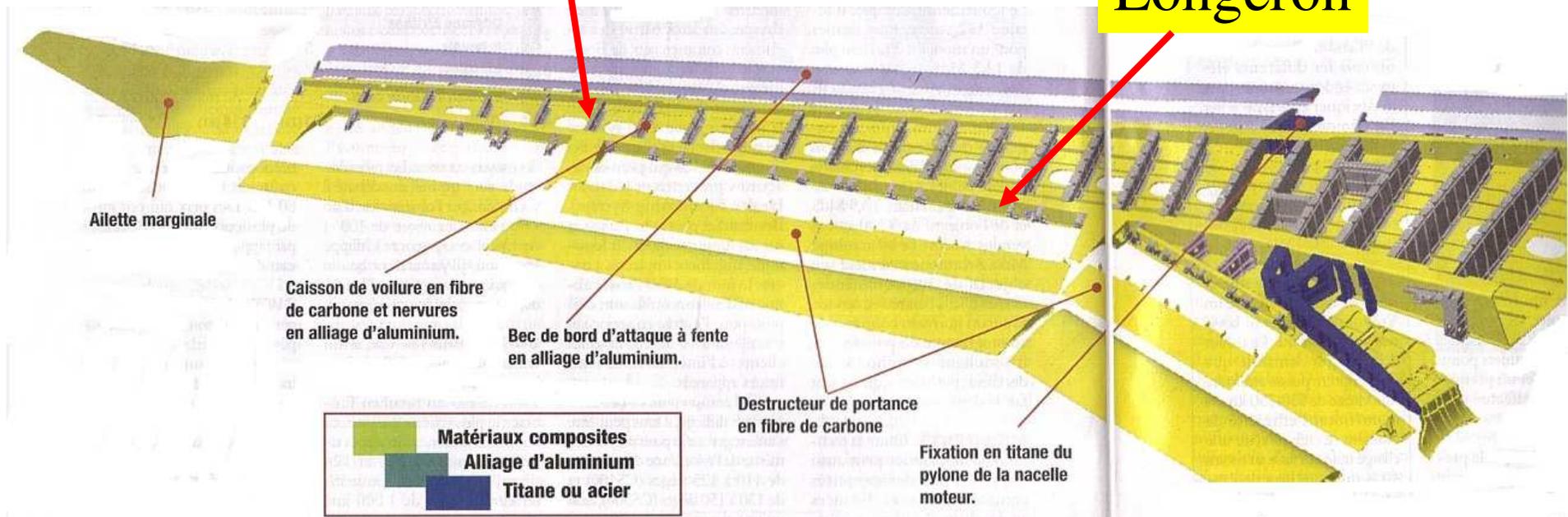
Longeron



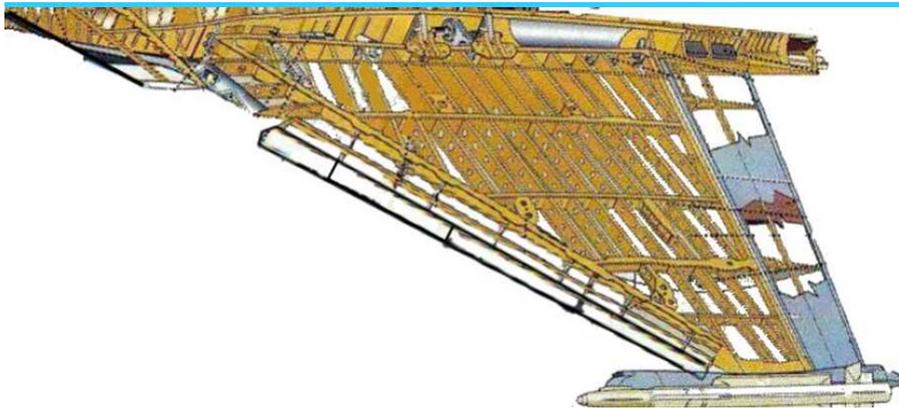
# Ailes C Series

Nervure

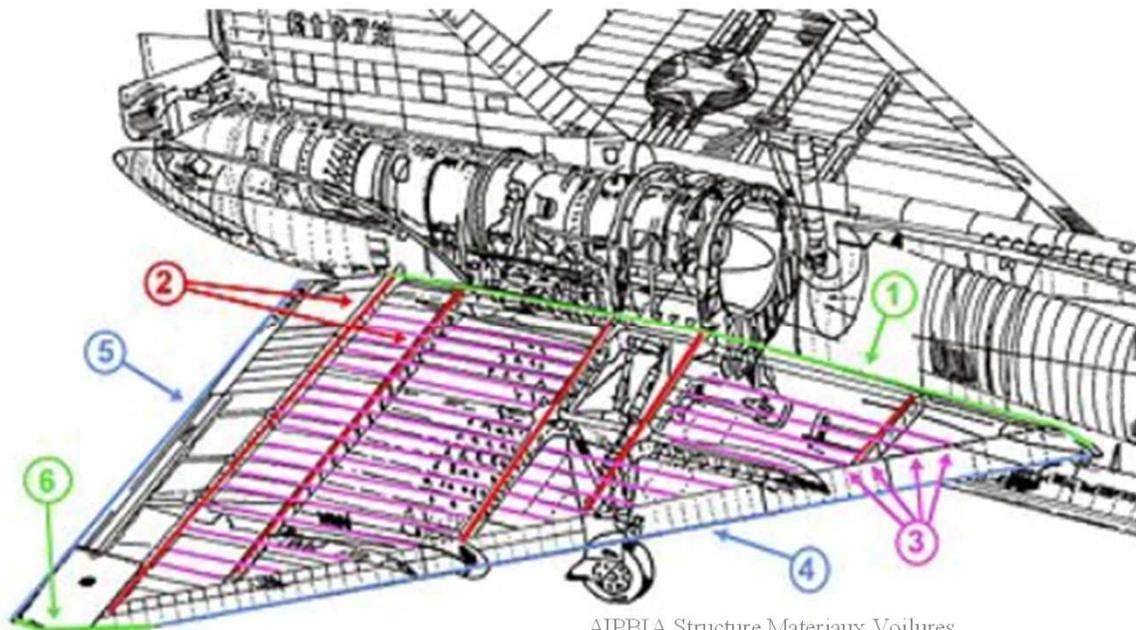
Longeron



# Avion de chasse: F 35 & Rafale



- la résistance de la structure est très grande, le nombre de longerons est énorme mais plus minces.



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

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](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](mailto:Franck.cazaurang@ims-bordeaux.fr/1_Tech_Struct_Aero.pdf)

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

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