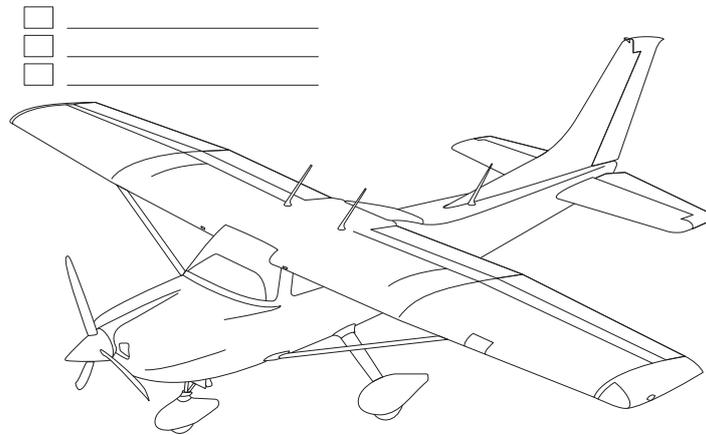


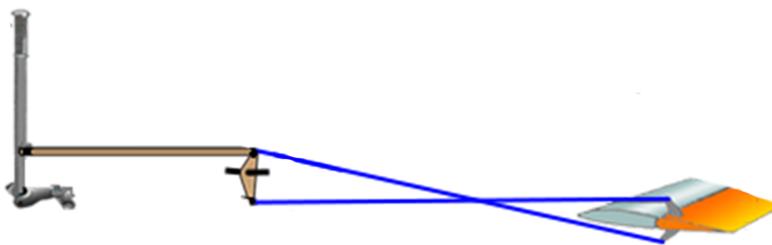
- La \_\_\_\_\_ permet le contrôle de l'avion selon l'axe de lacet. Elle est située sur l'empennage vertical et se commande à l'aide des palonniers en appuyant sur la pédale de gauche ou la pédale de droite.



**Figure 23** – Les gouvernes

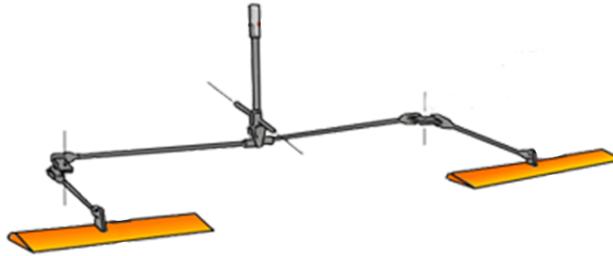
D'une manière générale, on pourra retenir que « la commande attire la gouverne ».

- Pour la gouverne de profondeur :
  - le braquage du manche \_\_\_\_\_ commande la gouverne de profondeur \_\_\_\_\_, ce qui entraîne une modification de l'assiette à piquer (le nez de l'avion descend) ;
  - le braquage du manche \_\_\_\_\_ commande la gouverne de profondeur \_\_\_\_\_, ce qui entraîne une modification de l'assiette à cabrer (le nez de l'avion monte).



**Figure 24** – Fonctionnement de la gouverne de profondeur

- Pour les ailerons :
  - le braquage du manche \_\_\_\_\_ commande l'aileron de gauche \_\_\_\_\_ et l'aileron de droite \_\_\_\_\_, ce qui entraîne une modification de l'inclinaison vers la gauche (l'avion engage un virage à gauche) ;
  - le braquage du manche \_\_\_\_\_ commande l'aileron de droite \_\_\_\_\_ et l'aileron de gauche \_\_\_\_\_, ce qui entraîne une modification de l'inclinaison vers la droite (l'avion engage un virage à droite).



**Figure 25** – Fonctionnement des ailerons

- Pour la gouverne de direction :
  - l'enfoncement de la pédale \_\_\_\_\_ commande la gouverne de direction \_\_\_\_\_, ce qui entraîne une modification de l'angle de lacet vers la gauche (le nez de l'avion part vers la gauche) ;
  - l'enfoncement de la pédale \_\_\_\_\_ commande la gouverne de direction \_\_\_\_\_, ce qui entraîne une modification de l'angle de lacet vers la droite (le nez de l'avion part vers la droite).



**Figure 26** – Fonctionnement de la gouverne de direction

Bien que ce ne soit pas systématique, il est courant que les palonniers dirigent également le train auxiliaire de manière à permettre le guidage de l'avion lors des phases de roulage au sol. Dans ce cas, le fonctionnement est similaire à ce que l'on a vu plus haut :

- l'enfoncement de la pédale \_\_\_\_\_ commande le train auxiliaire \_\_\_\_\_, ce qui entraîne l'avion dans un virage à gauche ;
- l'enfoncement de la pédale \_\_\_\_\_ commande le train auxiliaire \_\_\_\_\_, ce qui entraîne l'avion dans un virage à droite.

### 4.3. Les commandes et gouvernes secondaires

On peut identifier deux types de commandes et gouvernes secondaires :

- celles qui vont aider le pilote à manœuvrer les commandes et gouvernes principales ;
- celles qui vont modifier la sustentation de l'avion.

#### *Les commandes et gouvernes d'assistance*

Lors d'une montée prolongée par exemple, il est nécessaire de maintenir constamment le manche en arrière afin de conserver le nez de l'avion vers le haut. Ceci peut être fatigant pour le pilote et on utilise pour cela une gouverne secondaire que l'on appelle un **compensateur**.

Puisqu'il est possible de contrôler les rotations de l'avion autour de trois axes, on peut imaginer des compensateurs aidant le pilote à manœuvrer autour de ces trois axes.

Dans la mesure où un avion est couramment amené à réaliser des montées ou des descentes prolongées, la plupart des avions sont équipés d'un compensateur de profondeur, aidant le pilote à maintenir l'avion en montée ou en descente. En revanche, seuls les avions plus performants sont équipés des autres compensateurs. Le compensateur de lacet peut être présent sur des avions dont la motorisation est puissante et est obligatoire sur les avions multimoteurs. Les compensateurs de roulis ne sont généralement installés que sur les avions de ligne.



**Figure 27** – Les compensateurs de profondeur et de direction

#### *Les commandes et gouvernes hyper et hyposustentatrices*

Nous verrons dans le chapitre d'aérodynamique que la portance d'une voilure est principalement liée à sa vitesse de déplacement dans l'air. Ainsi, pour les phases de vol durant lesquelles la vitesse de l'avion est relativement faible, il est nécessaire de disposer d'un moyen d'augmenter artificiellement la portance de l'aile. Deux dispositifs peuvent être utilisés pour cela :

- les \_\_\_\_\_, situés sur le bord de fuite de l'aile
- les \_\_\_\_\_, situés sur le bord d'attaque de l'aile

Ces deux dispositifs ont pour effet d'augmenter la surface de l'aile et/ou d'augmenter sa courbure.

**Remarque :** *Il existe de nombreux types de volets et de bords de fuite reposant sur des systèmes mécaniques plus ou moins complexes et offrant des performances plus ou moins bonnes. Nous ne rentrerons pas ici dans le détail de toutes les solutions.*



(a) Beccs



(b) Volets

**Figure 28** – Les dispositifs hypersustentateurs sur un avion de ligne

À l'inverse, lorsque l'on souhaite casser la portance d'une aile, on peut utiliser des dispositifs ayant l'effet inverse. De tels dispositifs hyposustentateurs sont généralement utilisés sur les avions de ligne et sur les planeurs.



(a) Aérofrenes sur planeur



(b) Volets spoilers sur avion de ligne

**Figure 29** – Les dispositifs hyposustentateurs

## 5. Structures et matériaux

### 5.1. Généralités

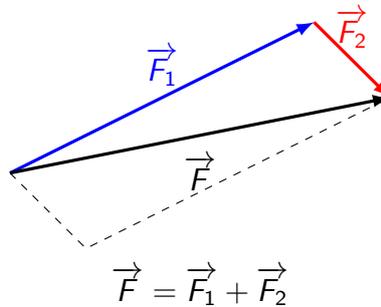
L'étude de la structure et des matériaux qui composent un aéronef est directement liée aux \_\_\_\_\_ qui s'y exercent. Sans entrer dans une définition complexe, une force modélise, en physique, une action mécanique exercée sur un objet ou une partie d'un objet par un autre objet ou partie d'objet. L'ensemble des forces appliquées à un objet a pour effet de lui communiquer une accélération ou de le déformer.

On « dessine » généralement les forces par des flèches (ce sera le cas dans les illustrations de cette partie). Pour une force donnée, la flèche a :

- une \_\_\_\_\_ : l'orientation de la force ;
- un \_\_\_\_\_ : vers quelle direction la force agit ;
- une \_\_\_\_\_ (ou norme) : l'intensité de la force ;

- un \_\_\_\_\_ : le point d'application c'est-à-dire l'endroit où la force s'applique.

L'intérêt de cette représentation est de pouvoir ajouter facilement les forces : on dessine les flèches les unes derrière les autres et on a la force totale qui s'exerce sur l'objet considéré :

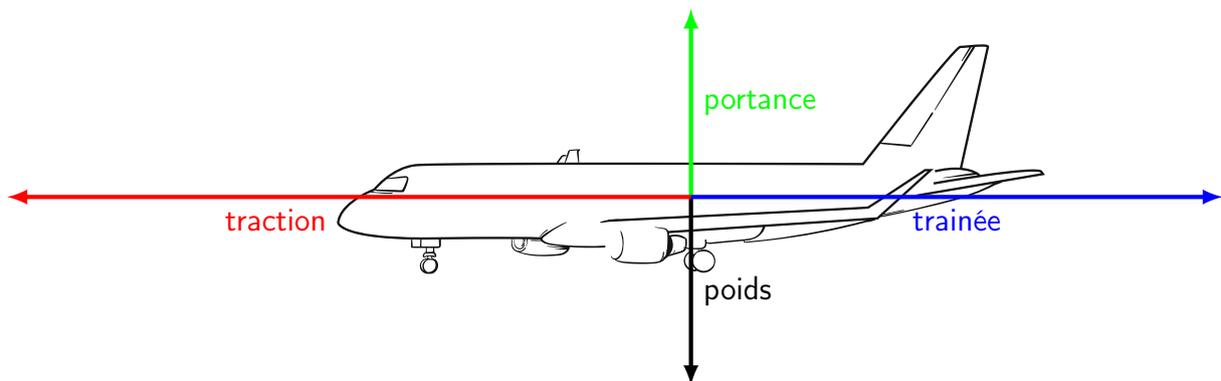


**Figure 30** – Parallélogramme des forces

*Remarque :* On parle en réalité de vecteur qui est représenté par une flèche. Cette notion sera vue au lycée et est inhérente à la représentation de force. Dans l'enseignement supérieur scientifique, les espaces de vecteurs (ou espaces vectoriels) jouent un rôle très important dans la compréhension de phénomènes physiques.

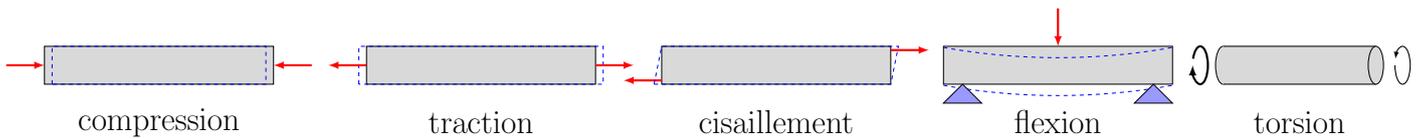
Les principales forces qui s'exercent sur un aéronefs sont :

- le \_\_\_\_\_ de l'aéronef (qui est la somme des poids des différents éléments de celui-ci) ;
- la \_\_\_\_\_ de la voilure ;
- la \_\_\_\_\_ provenant du frottement de l'air sur l'ensemble de l'aéronef ;
- la \_\_\_\_\_ exercée par le groupe motopulseur.



**Figure 31** – Forces s'exerçant sur un avion

Ces différentes forces nécessitent des choix quant aux matériaux qui constituent les aéronefs : compromis entre poids et résistance, prise en compte des \_\_\_\_\_ qui s'exercent sur toute la structure, possibilité de lier les différentes pièces entre elles notamment.


**Figure 32** – Contraintes sur un matériau

Les contraintes dépendent de la surface sur laquelle s'exerce une force d'intensité  $F$  donnée : plus la surface  $S$  est grande, moins la contrainte  $\sigma$  est importante. De façon précise, la formule qui lie ces données est la suivante :  $\sigma = F/S$ . Ces contraintes peuvent s'ajouter les unes aux autres.

## 5.2. Matériaux de construction

Les principaux matériaux sont le bois et la toile, les métaux, les résines, les tissus de fibres et les composites. On peut résumer leurs avantages et inconvénients dans le tableau suivant :

Nom	Précisions	Pièces	Avantages	Inconvénients
Bois				
Toile				
Résines				
Métaux				
Fibres				
Composites				

La présentation du tableau est assez chronologique par rapport à l'histoire de l'aviation : plus la ligne est basse, plus le matériau est récent.

## 5.3. Principes de construction

De façon générale, le rapport entre la masse et la résistance des matériaux qui composent un aéronef est au cœur des préoccupations lors de la conception d'un tel objet. Élever un aéronef léger sera plus simple mais pourra-t-il être suffisamment résistant pour l'ensemble des mouvements ?

### 5.3.1. Fuselage

Les fuselages sont conçus selon trois types de structures générales :

- les structures en \_\_\_\_\_ constituées de traverses et de longerons voire de câbles sur lesquelles est attaché un revêtement souple ne participant pas à la résistance du fuselage (on dit que le revêtement est non travaillant) ;

- les structures \_\_\_\_\_ pour lesquelles le revêtement est attaché (par des vis ou des rivets) à des cadres participants à l'absorption des efforts et à la résistance du fuselage (on dit que le revêtement est travaillant) ;
- les structures \_\_\_\_\_ mixtes entre les deux structures.

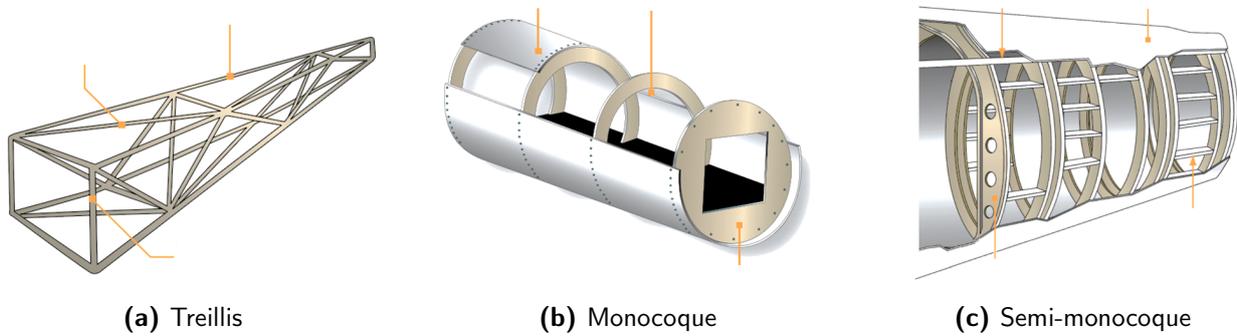


Figure 33 – Types de fuselages

### 5.3.2. Voilure et empennage

On retrouve le même type de structure adapté à la forme des voilures et des empennages comme sur l'aile suivante :

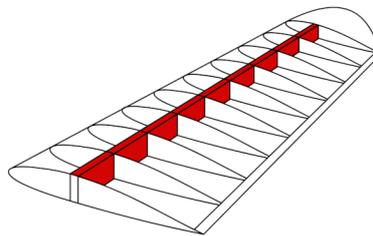


Figure 34 – Vue interne d'une aile

Les contraintes sur une aile sont nombreuses : la **portance** a tendance à créer une flexion du longeron vers le haut imposant une compression à l'extrados et une traction à l'intrados.

Les **nervures** peuvent être des tôles percées, ou des structures en treillis permettant notamment le passage des réservoirs de carburant.

*Remarque : Les parties mobiles (ailerons, gouvernes, compensateurs) sont de nature analogue aux structures de cette partie.*

### 5.3.3. Atterrisseurs

Les atterrisseurs, quel que soit leur type, doivent supporter le poids de l'avion dans les différentes phases du vol (le roulage notamment) mais également absorber la majeure partie du choc lors de l'atterrissage : ils \_\_\_\_\_ celui-ci. L'amortissement peut provenir directement du matériau utilisé ou être un élément à part entière. Les systèmes de freinage, intégrés à ceux-ci, sont primordiaux pour arrêter la course de l'aéronef une fois les roues au sol. Les avions performants possèdent des trains rentrants pour diminuer la traînée.