

# **Chapitre 1 :**

## **ETUDE DES AERONEFS ET DES ENGINSPATIAUX**

Ce chapitre est divisé en 4 parties :

**Partie 1 : Les Familles d'aéronefs**

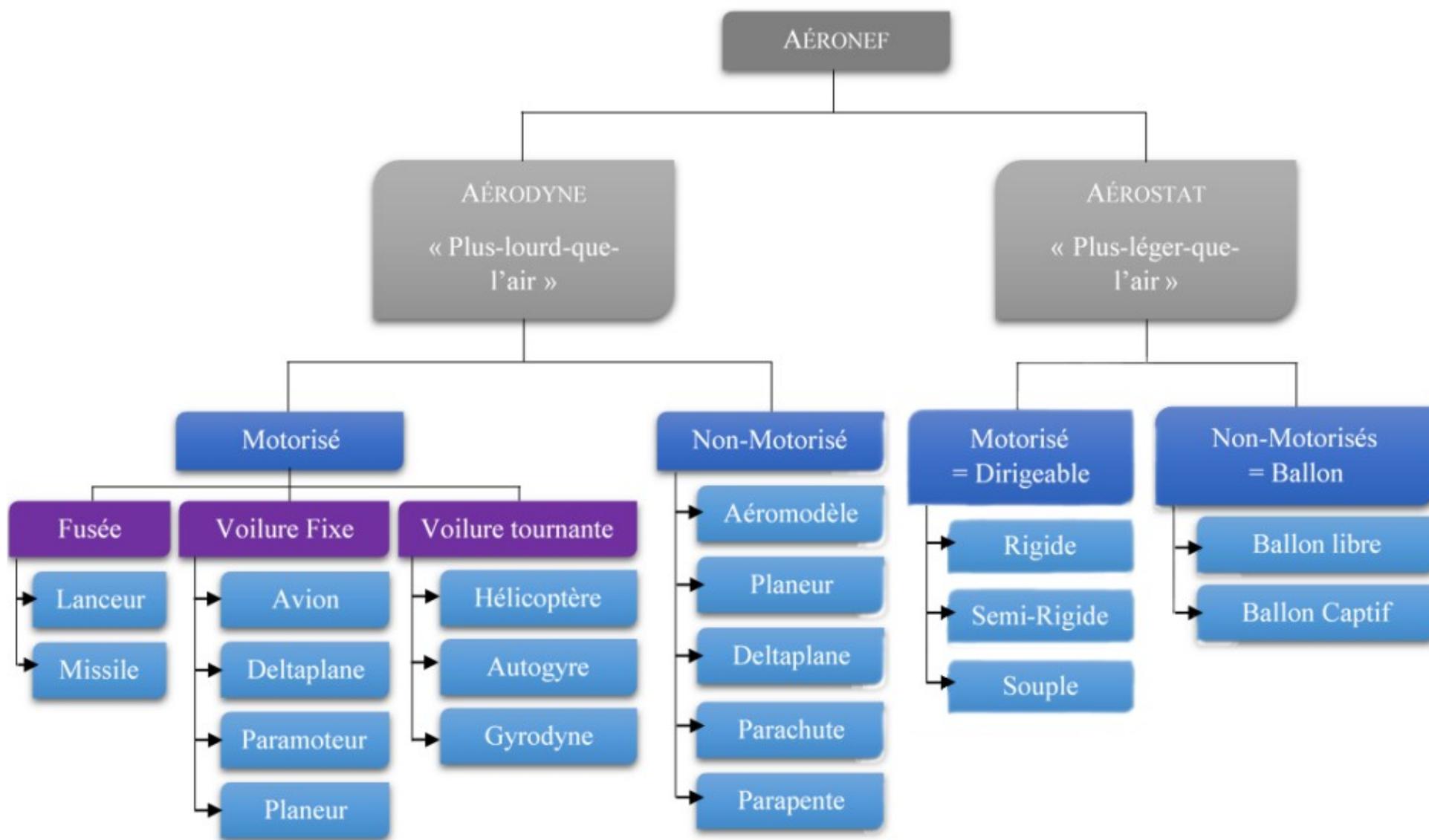
**Partie 2 : Les Cellules**

**Partie 3 : Les GMP**

**Partie 4 : Les Instruments de bord**

**Complément : English vocabulary**







# Les aéronefs



Image : ULM Autogire Magni M16  
Michel Haen <https://fr.wikipedia.org>



- ❑ C'est quoi un aéronef ?
  - **Aéronef** = *Aircraft*
  - Moyen de transport capable d'évoluer dans l'**atmosphère terrestre**

- ❑ **Classification**
  - 1) 3 principes de vol → 3 catégories dans la classification des aéronefs
  - 2) Motorisé ou non ?
  - 3) Léger ou non ? Autre particularité ? (giraviation...)

- ❑ **Étude détaillée**
  - Dans l'ordre « d'apparition »
  - Voir briefings suivants



Montgolfière



Dirigeable



- ❑ **BALLONS** : captifs ou libres
  - à air chaud (montgolfière)
  - ou à gaz (charlière)
- ❑ **DIRIGEABLES** : propulsés
  - à structure souple ou rigide

- ❑ Lanceurs spatiaux
- ❑ Fusées
- ❑ Missiles
- ❑ Modèles réduits



ARIANE 5



- ❑ **PLANEUR**
- ❑ **PUL** : - parachute  
- parapente  
- deltaplane
- ❑ **MODÈLE RÉDUIT** (aéro-modèle)
- ❑ **CERF-VOLANT**
- ❑ **AVION** : avions lourd, de chasse, de tourisme, de voltige...
- ❑ **ULM** : répartis en 6 classes : paramoteur, pendulaire, multiaxes, ballon UL, autogire UL, hélicoptère UL
- ❑ **GIRAVION** : À voilure tournante girodynes autogire, hélicoptère, hybride
- ❑ **MODÈLE RÉDUIT, drone**



Planeur



Parapente



Deltaplane



Pendulaire



Paramoteur



Convertible



Drone

## Contenu du Chapitre :

### **Partie 1 : La Classification des Aéronefs**

- I. Les familles d'aéronefs
- II. Composition d'un avion
- III. Les véhicules aérospatiaux

### **Partie 2 : Les Cellules**

- I. La structure d'une cellule
- II. La voilure
- IV. Empennages et gouvernes
- IV. Le train d'atterrissage

### **Partie 3 : Les groupes motopropulseurs (GMP)**

- I. L'hélice
- II. Les moteurs à pistons
- III. Les turboréacteurs
- IV. Les autres turbomachines

### **Partie 4 : Les Instruments de bord**

- I. Les instruments barométriques
- II. Les instruments gyroscopiques
- III. Les autres instruments

### **Complément : English vocabulary**

# Partie 1 : La Classification des aéronefs

A. Les [ ]

**Statique = peut voler sur place**

Les Ballons



**Attaché au sol**

Le Ballon Captif



Le Ballon à air chaud

## 2. Les Dirigeables



A structure Souple ou Rigide

## I. Les familles d'aéronefs

On classe les aéronefs (tout ce qui circule dans l'espace aérien) en deux grandes catégories :

- les [ ] (« plus léger que l'air »)
- les [ ] (« plus lourd que l'air »)

B. Les [ ]

**Dynamique = besoin de bouger pour voler**

1. Les [ ]

(Cumulus/buse)



Le Parapente  
FFVL = Fédération Française de Vol Libre



Le Modèle Réduit

FFAM = Fédération Française d'Aéromodélisme



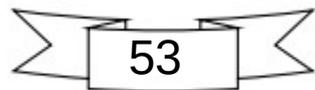
Le Cerf-Volant



Le Deltaplane

Avec le poids du corps

Le Ballon à gaz (Hélium)



Treuil

Remorquage par avion

Moteur (motoplaneur)



Parachute obligatoire

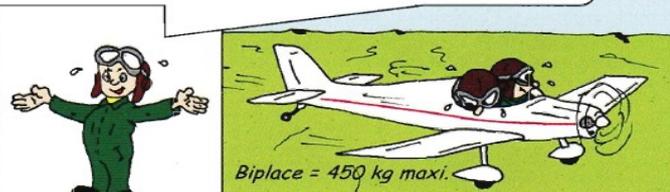
FFVP = Fédération Française de Vol en Planeur  
Le Planeur / Planeur Ultra Léger (PUL)



FFP = Fédération Française de Parachutisme  
Le Parachute



a. A voilure fixe



La masse maximale d'un ULM est de 300 kg (monoplace) ou 450 kg (biplace). La puissance est limitée à 45 kW (monoplace) ou 60 kW (biplace).

**Entretien assuré par le propriétaire**



Le Modèle Réduit

A cela se rajoute :

**La Classe 4 : Autogire**

*(voir page suivantes)*

**La Classe 5 : Aérostat**

*(voir pages précédentes)*

**La Classe 6 : Hélicoptère ULM**

*(voir pages suivantes)*

**FFPLUM : Fédération Française des Planeurs Ultralégers Motorisés**  
**Les [ ] (ULM) - [ ] CLASSES**



Parapente + moteur

**La Classe 1 : Paramoteur**



Deltaplane + moteur

**La Classe 2 : Pendulaire**



Petit avion max 2 personnes, pas d'immatriculation

**La Classe 3 : Multi-axes**

b. A voilure tournante (giravions):



L'Autogyre

**moteur**

**Voilure tournante libre**

## B. Les Aérodynes

La masse maximale d'un ULM est de 300 kg (monoplace) ou 450 kg (biplace). La puissance est limitée à 45 kW (monoplace) ou 60 kW (biplace).

### Les Avions

**FFA : Fédération Française d'aéronautique**

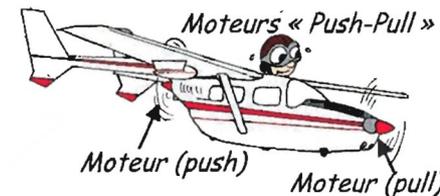


L'Avion à Hélice



L'Avion à Réaction

Le moteur peut pousser l'avion (*push*), il peut être placé en arrière de l'habitacle ou des ailes, il pousse, donc, l'avion au lieu de le tirer. Le moteur qui tire est appelé « *pull* », celui qui pousse se nomme « *push* ».

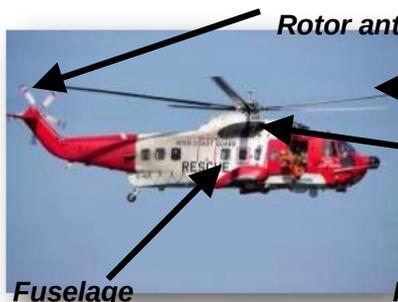


**Décollage vertical VTOL (Vertical Take Off and Landing)**  
**Décollage Court (militaire) STOL (Short Take Off and Landing)**

b. A voilure tournante (giravions):



L'Autogyre



L'Hélicoptère

**FFH : Fédération Française d'Hélicoptère**



Le Girodyne



Le Convertible ou Hybride

### **DRONES**

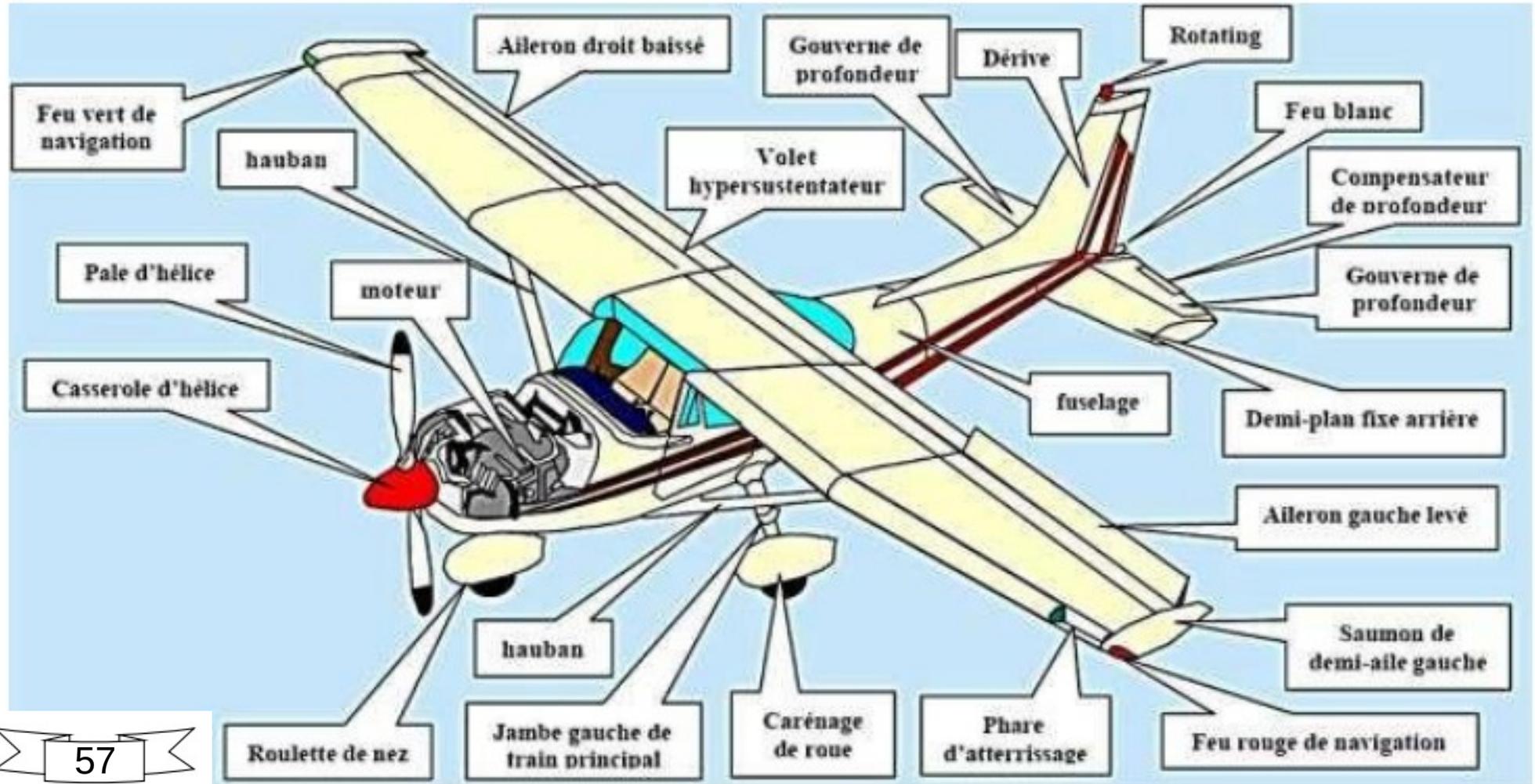
**UAV= Unmanned Aerial Vehicle**

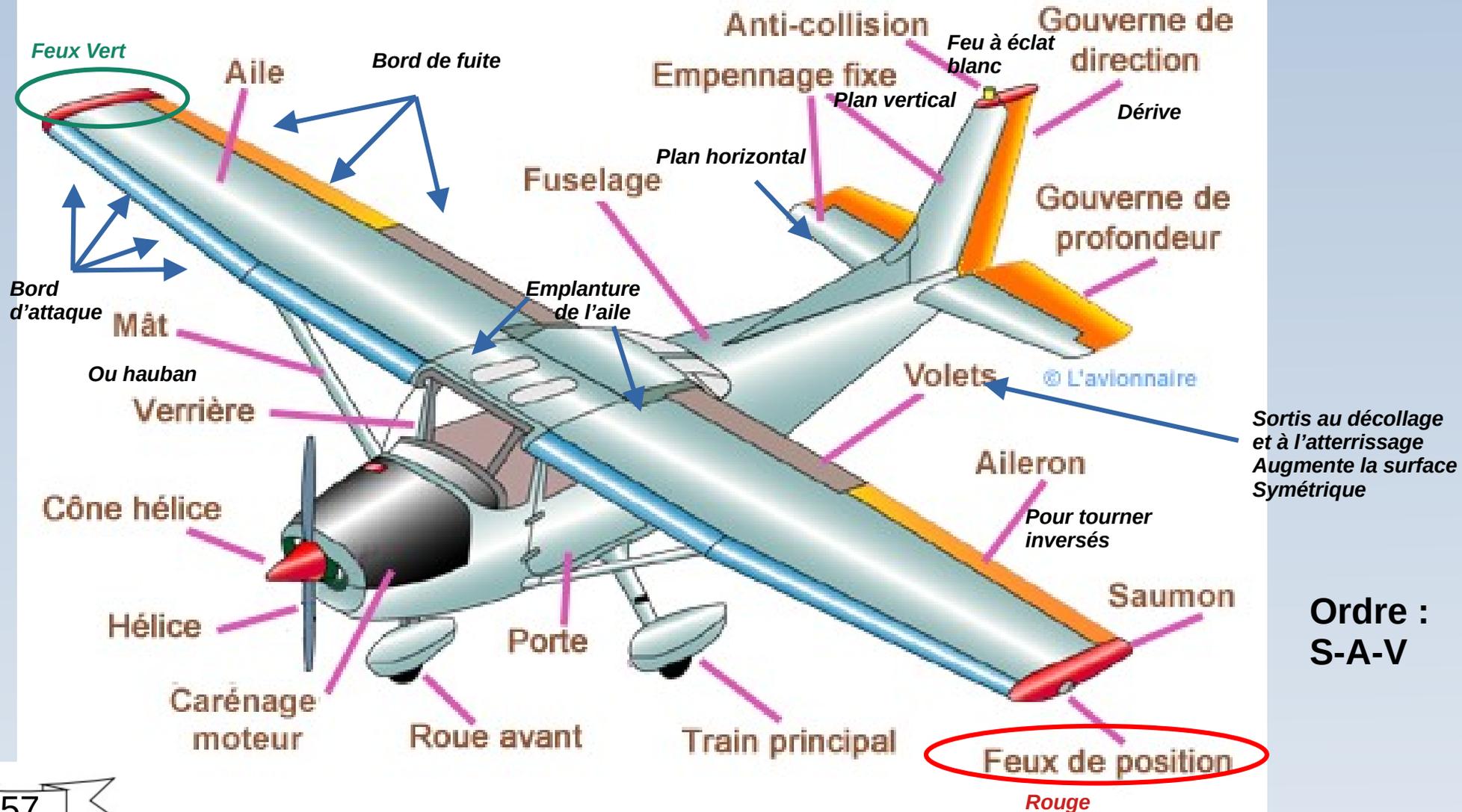
**3 catégories :**

- militaire
- Loisir
- professionnel

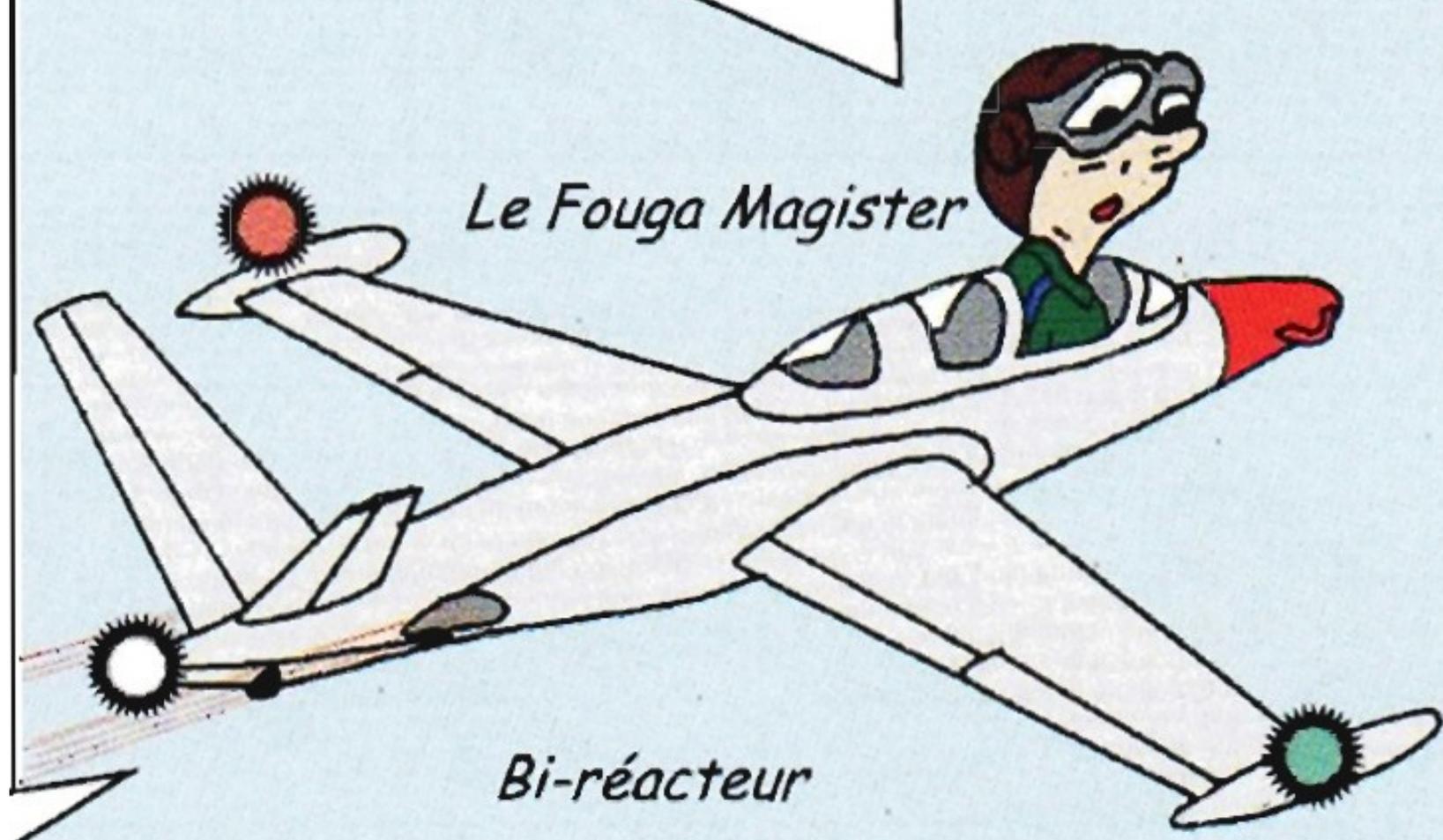
# Vidéos II. La Composition générale des aéronefs

E13  
E14



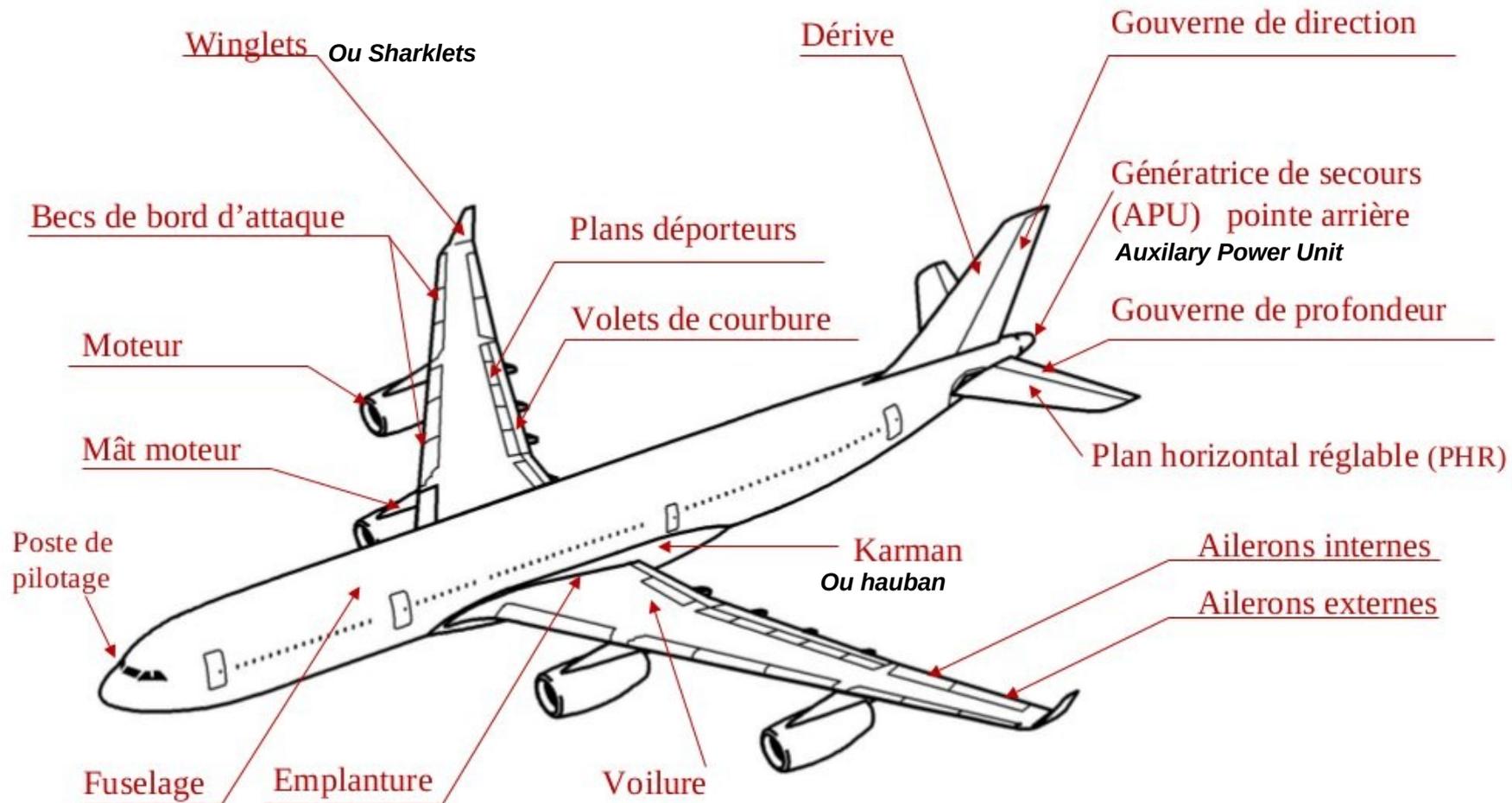


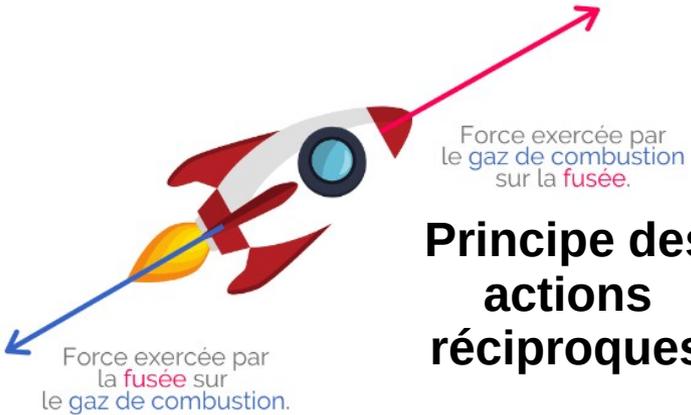
Ordre :  
S-A-V



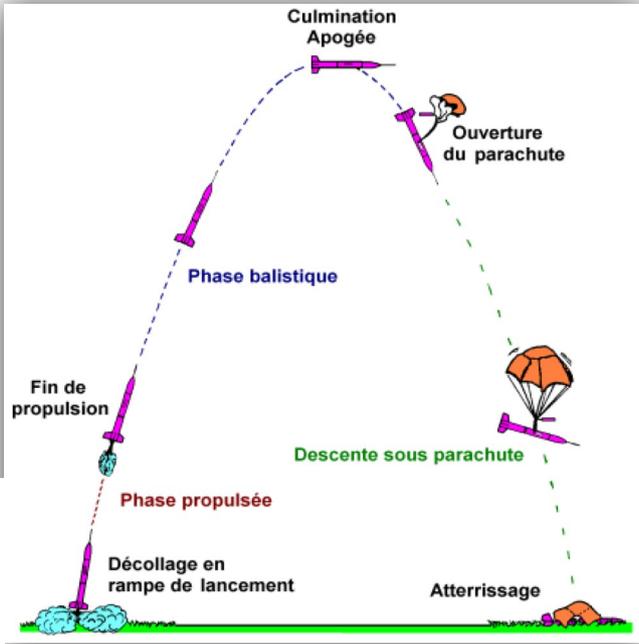
Les avions disposent de feux de navigation de trois couleurs :  
rouge à gauche, vert à droite et blanc à l'arrière.

## II. La Composition générale des aéronefs **Prévol avant chaque décollage**

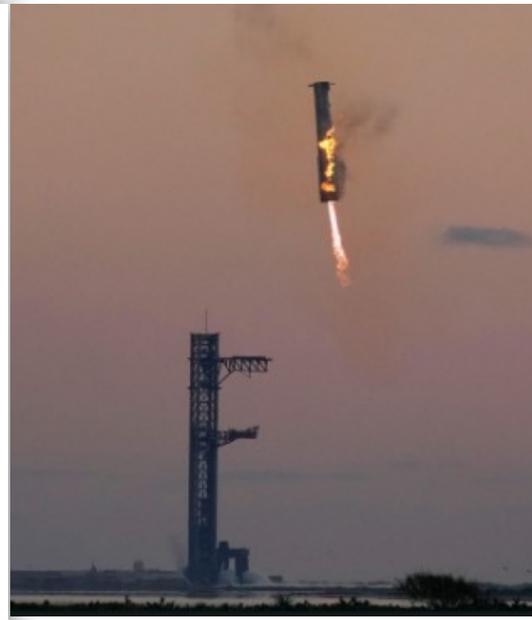




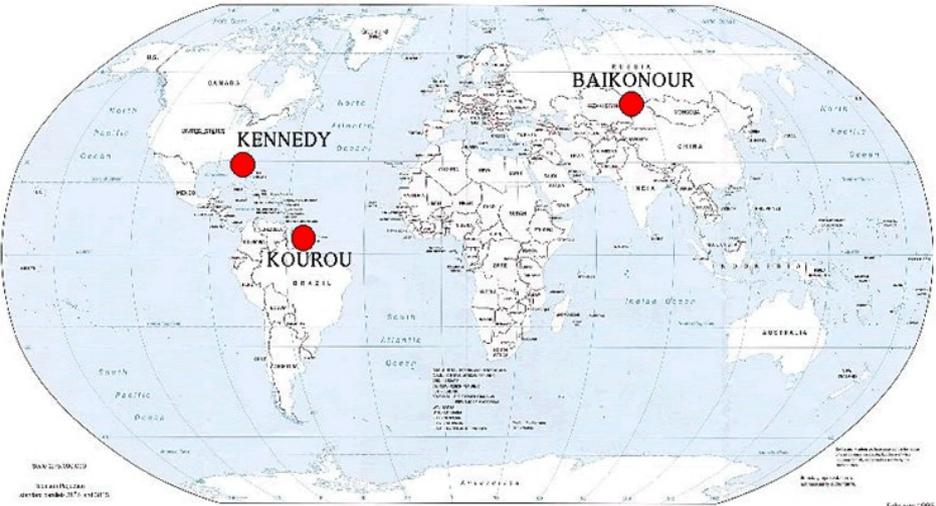
## Principe des actions réciproques



## Principe balistique



Space X : retour du propulseur



Base de lancement : Élan plus fort près de l'Equateur rotation de la Terre, vers l'Est)

# III. Les véhicules aérospatiaux ou spatiaux

## B. Les satellites

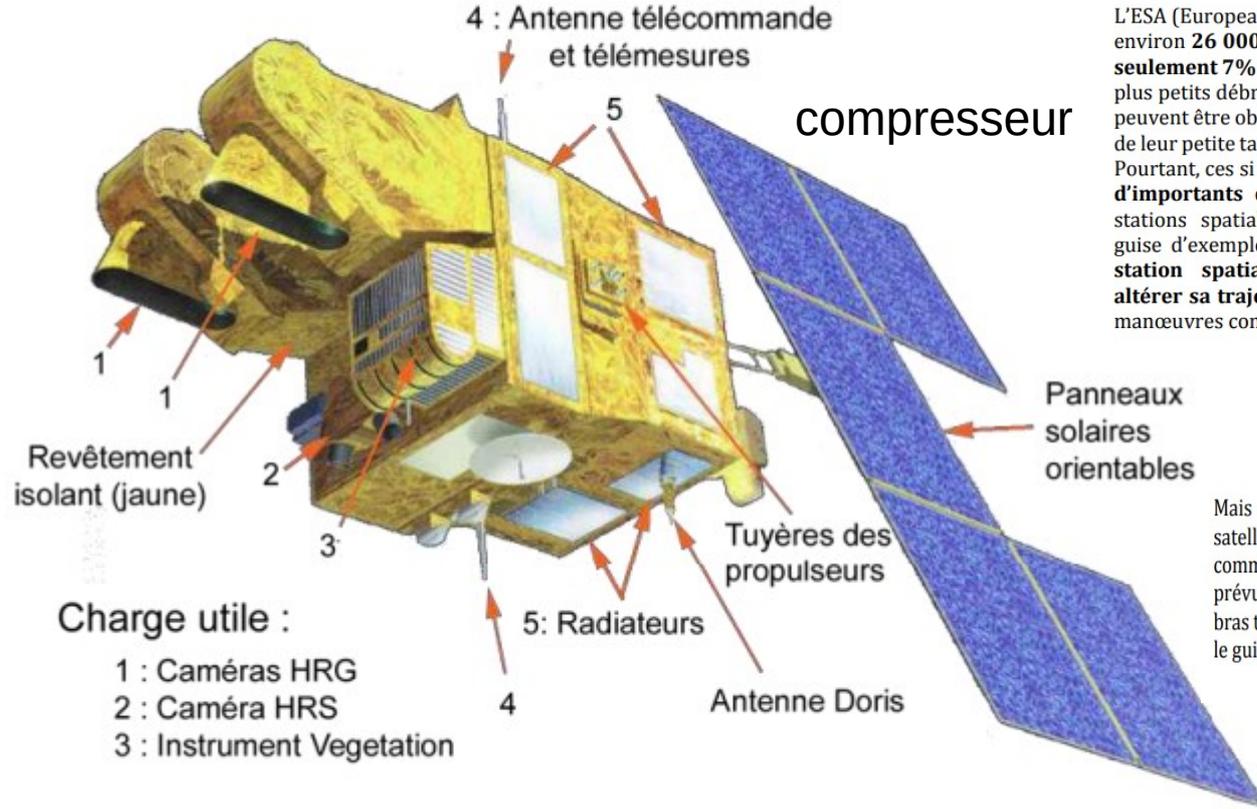


Figure 2.5.



### Cap sur l'environnement

L'exploration spatiale est extrêmement bénéfique pour la science et l'humanité ; toutefois, elle génère des quantités très importantes de débris qui orbitent ensuite autour de notre planète et entrent en collision entre eux, ce qui génère encore d'avantage de débris.

Figure 2.6.

L'ESA (European Space Agency) a répertorié environ **26 000 objets dans l'espace, dont seulement 7% sont en activité**. De plus, les plus petits débris de moins de 5 cm – qui ne peuvent être observés depuis la Terre du fait de leur petite taille – sont estimés à **500 000**. Pourtant, ces si petits débris peuvent causer **d'importants dégâts** sur les satellites et stations spatiales en fonctionnement. En guise d'exemple, on retiendra que **l'ISS, la station spatiale internationale, a dû altérer sa trajectoire à trois reprises en 2020 afin d'éviter des collisions** : ce sont des manœuvres complexes et coûteuses pour des satellites de cette taille.



Mais alors, comment remédier à ces enjeux ? Compte tenu du fait que des centaines de satellites sont envoyés chaque année en orbite, des projets visant à nettoyer l'espace commencent à voir le jour. C'est le cas de **la mission ClearSpace-1**, dont le lancement est prévu en 2025 par l'ESA et ClearSpace. L'engin aura pour mission de récupérer à l'aide de ses bras tentaculaires un débris de **112 kg** – provenant du lancement d'une fusée en 2013 – et de le guider **pour qu'ils se fassent tous deux désintégrer en entrant dans l'atmosphère**.



# Véhicule spatial



## □ Définition du véhicule spatial

- Véhicule spatial = **astronef**, **spationef** *space vehicle*
- Permet de se déplacer dans l'espace ou d'y accéder depuis la surface d'un corps céleste
- Distinction des engins spatiaux et aérospatiaux
- Ne sont pas des véhicules spatiaux : la **roquette** (projectile autopropulsé), le **missile** (roquette guidée)

## □ Engin spatial

- Déplacement exclusivement dans l'espace (selon lois de la **balistique** et de l'**attraction des astres**)
- Types d'engins spatiaux :
  - ✓ **Satellite artificiel** : gravite autour de la Terre (ex: **Telstar** communications, **Spot** observation de la Terre, **Meteosat** météo, **Hubble** télescope spatial)
  - ✓ **Station orbitale** : installation spatiale habitée en orbite terrestre (ex: Saliout et **MIR** russe, Skylab américain, Tiangong chinois, **ISS** = station spatiale internationale)
  - ✓ **Capsule spatiale** : souvent habitée, mais non réutilisable (ex: Vostok, **Apollo 10**)
  - ✓ **Sonde spatiale**, sans équipage, lancé dans l'espace pour explorer des objets célestes (ex: Voyager 1, **New Horizons**)

## □ Engin aérospatial

- Applique les **lois de l'aérodynamique** dans l'atmosphère, puis celles de la **balistique** dans l'espace
- Exemples : fusée spatiale, navette spatiales...

Sonde spatiale

Capsule spatiale

Station orbitale

Satellite artificiel

Engin spatial

Véhicule spatial

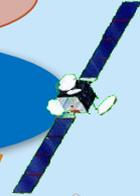
Engin aérospatial

Fusée

Lanceur

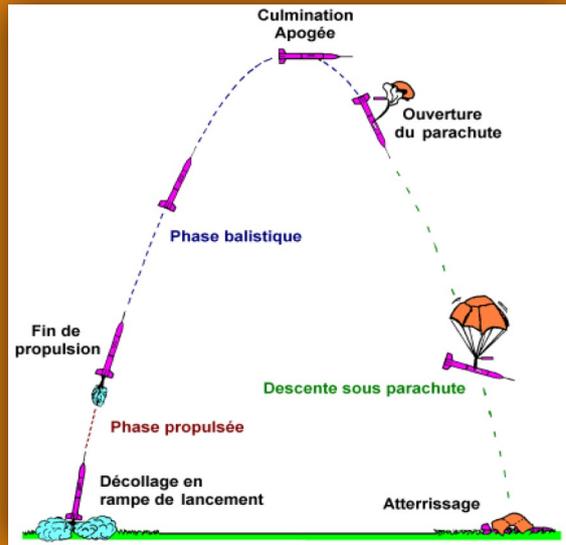
Navette spatiale

Astro-modélisme





# Engin aérospatial

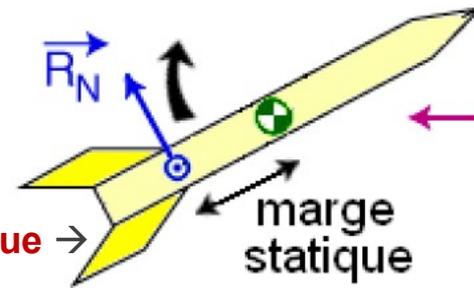


## ❑ Navette spatiale *space shuttle*

- Véhicule spatial pouvant revenir atterrir sur Terre puis être réutilisé pour une mission ultérieure
- Exemples : navettes américaines (**Columbia...**)  
projets avortés : **Hermès** européen, **Bourane** russe

## ❑ Fusée *rocket*

- Se déplace grâce à un **moteur-fusée**
- Stabilité : **marge statique** →



## ❑ Lanceur *launcher*

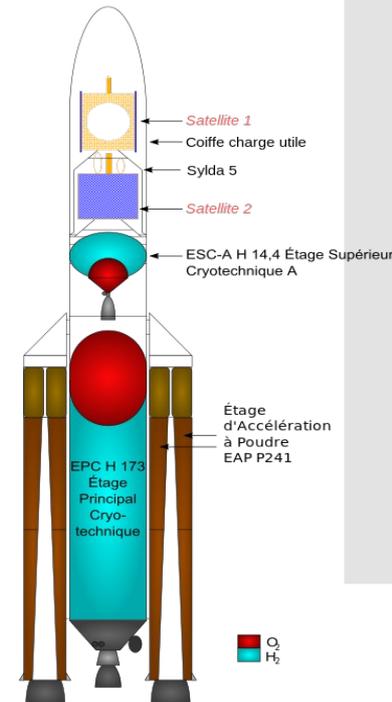
- **Fusée** transportant des **engins spatiaux** (satellites, sondes...), constitué de plusieurs étages composés de leur propre moteur-fusée, largués quand le carburant est épuisé
- Exemples : **Saturn V**, **Ariane 5** (elle a 2 étages et des accélérateurs accolés au 1<sup>er</sup> étage)...

## ❑ Astromodélisme

- Pour des amateurs, fabriquer puis procéder au lancement de **mini-fusées** à eau ou à poudre



Ariane 5 ECA



# Pour s'entraîner

## 1) Quelle est la mauvaise classification :

- a) aéroplanes non motorisés : deltaplanes, planeurs
- b) aérostats : parachutes, ballons, dirigeables
- c) engins aérospatiaux : lanceurs, fusées
- d) engins spatiaux : satellites, sondes

## 2) Tout appareil capable de s'élever et de circuler dans l'espace aérien :

- a) est un aéronef
- b) subit des forces de portance et de traînée
- c) possède obligatoirement un moteur
- d) est piloté depuis l'intérieur de son cockpit

## 3) Sur un hélicoptère, le vrillage d'une pale a pour but de tendre à :

- a) augmenter la portance de la pale
- b) uniformiser la portance sur toute la longueur de la pale
- c) diminuer la traînée
- d) déplacer le centre de gravité de la pale

Les aérostats subissent la poussée d'Archimède

Le bout de la pale subit une portance plus grande

**4) Le rotor anti-couple d'un hélicoptère :**

- a) est généralement une hélice verticale qui permet de contrôler les rotations lacet de l'hélicoptère.
- b) sert de soutien au rotor principal.
- c) permet d'éviter que la structure de l'hélicoptère ne tourne sur elle-même.
- d) les propositions a et c sont exactes.

**5) Un autogire :**

- a) est un aéronef dont les ailes ont été remplacées par une voilure tournante libre en rotation.
- b) est un petit hélicoptère.
- c) est conçu pour décoller verticalement et effectuer un vol stationnaire.
- d) a un rotor et une hélice entraînés tous deux par le même moteur combinant ainsi tous les avantages de l'avion et de l'hélicoptère.

**6) Une des caractéristiques d'un autogire est :**

- a) son rotor est constamment entraîné par le moteur
- b) son rotor est entraîné par le vent relatif
- c) son rotor est utilisé par la propulsion
- d) son rotor est doté d'un pas collectif

**7) Un paramoteur est :**

- a) un aéronef classé dans la réglementation vol libre
- b) un aéronef classé dans la réglementation du parachutisme
- c) un aéronef classé dans la réglementation ULM
- d) un aéronef classé dans la réglementation des drones

**8) le pilotage en vol d'un deltaplane s'effectue à l'aide du :**

- a) trapèze
- b) manche à balai
- c) palonnier
- d) barreau de pilotage

**9) Les lanceurs spatiaux utilisent principalement des propulseurs fonctionnant :**

- a) au kérosène
- b) à l'oxygène et à l'hydrogène
- c) au méthane
- d) au gasoil



## 2) Toiles

- Dans les débuts : Lin et cotons
- Aujourd'hui : Dacron



Si le bois et la toile permettent de construire des avions qui peuvent atteindre des vitesses de 300 km/h, l'utilisation du métal va rendre les avions plus solides et plus rapides.

## 3) Métaux

Le matériau utilisé à la base est un **alliage** d'aluminium et de cuivre appelé **duralumin**. D'autres alliages comme le **Zircal**, le **Duralinox**, des alliages de **Magnésium**, de **Titane**, ... vont rapidement entrer dans la fabrication des avions.



Le premier avion en métal est un avion allemand, le Junkers J9 en 1918.

## 4) Composites résine

Apparus dans les années 60, les matériaux composites (fibres de verre, aramides, de carbone, de bore,...) sont de plus en plus utilisés sur les avions pour leur faible masse volumique, leur capacité à réaliser des pièces de formes les plus diverses et leurs excellentes caractéristiques mécaniques.

## BREVET D'INITIATION AERONAUTIQUE

©CIRAS Toulouse



Figure 2.7. Exemple des matériaux utilisés sur un Rafale

## C. La structure du fuselage

### 1) Treillis souple.

Il s'agit de « longerons » assemblés entre eux par des « traverses » pour donner la forme souhaitée.

Elles peuvent être collées si elles sont en bois ou alors soudées pour les parties métalliques.

Le revêtement est souple (toile ou tôle mince). Cette structure est légère mais encombrante.



Revêtement  
tissus/bois

Le Vickers Wellington

## 2) Caisson semi-monocoque

Il s'agit de « cadres » (ou couples) assemblés entre eux par des « lisses » pour donner la forme souhaitée.

Les cadres absorbent les efforts de torsion, les lisses ceux de flexion.

Figure 2.8. Structure Bois

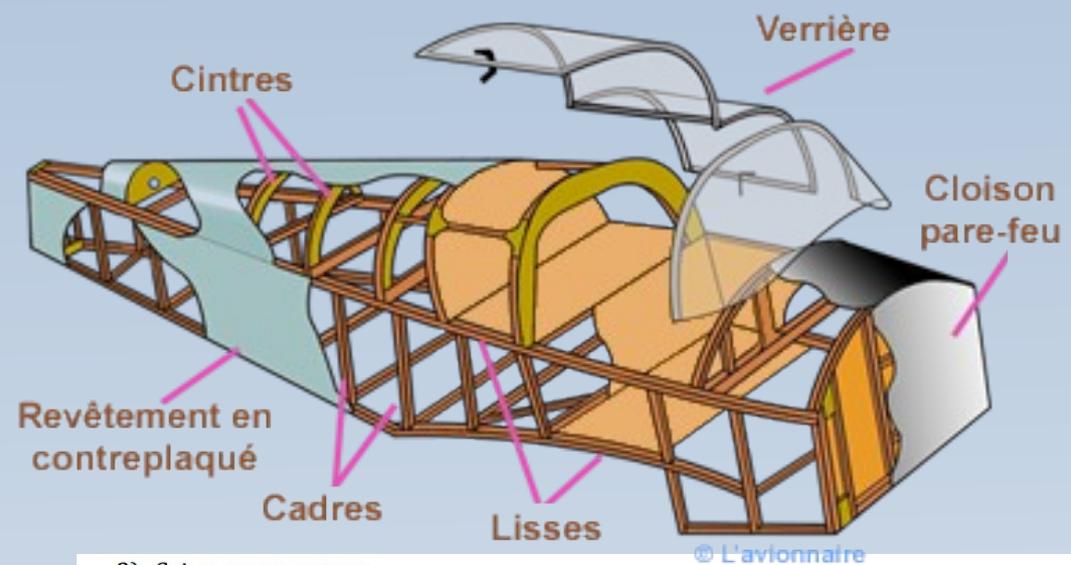
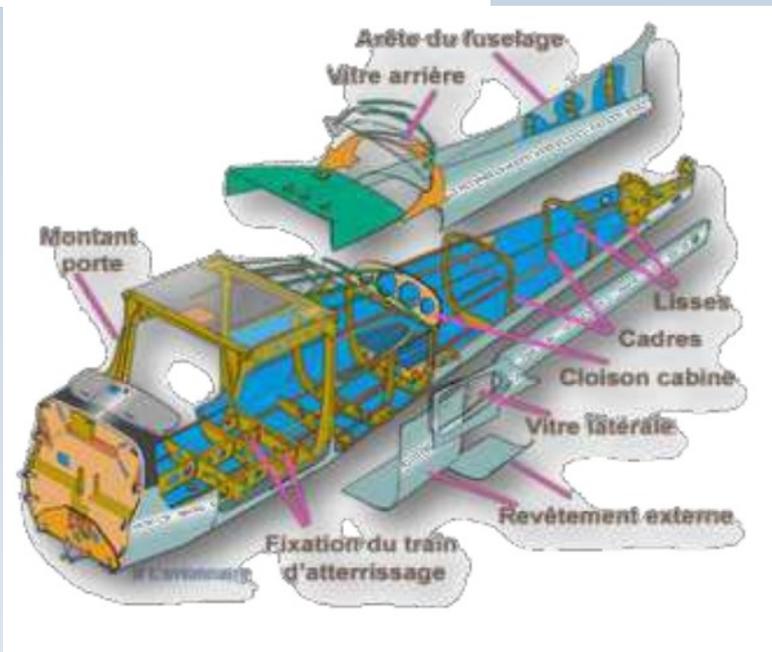


Figure 2.10. Structure Métal



## 3) Caisson monocoque

Le revêtement (fibre de verre ou de carbone) est directement vissé ou riveté sur les cadres et donc participe à la transmission et l'absorption des efforts. Utilisé pour les planeurs et ULM.

Le contour métallique maintient les cadres : pas besoin de longeron

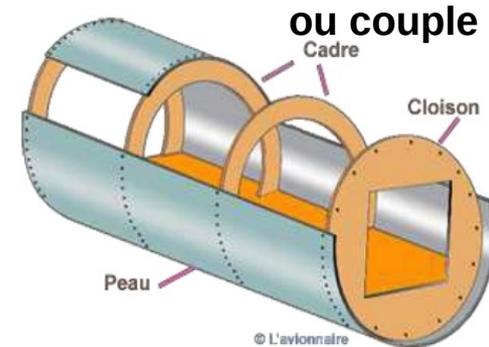


Figure 2.11.

## D. Structure de la voilure

### 1) Treillis (pour les nervures)

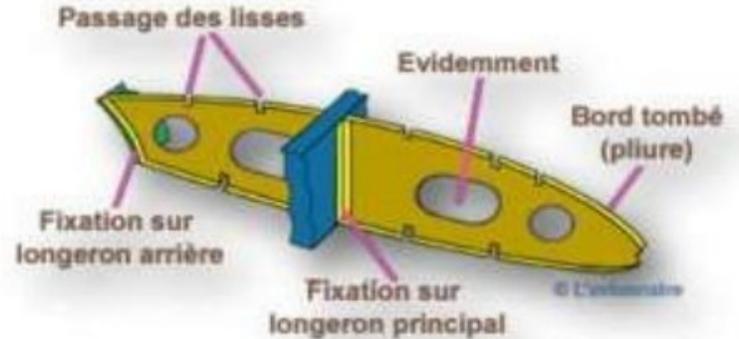
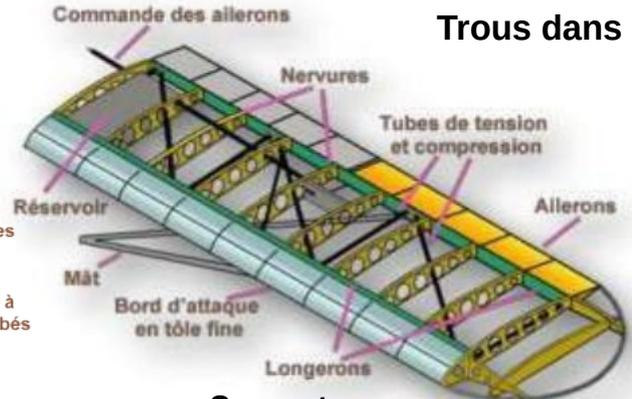
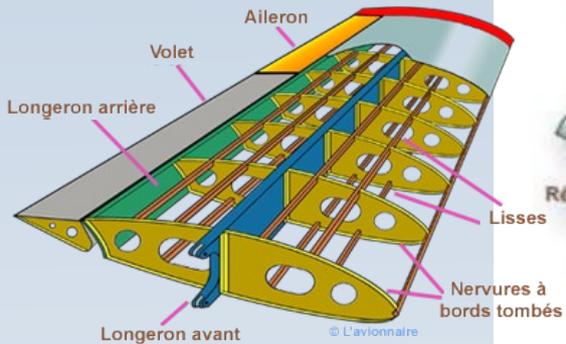
plutôt utilisés pour les avions en bois et toiles



### 2) Caisson

Les longerons reprennent les efforts de flexion et les nervures les efforts de torsion. Le carburant contribue à la rigidité de l'aile.

Trous dans les nervures pour faire circuler le carburant



2 poutres

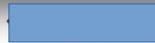
## II. La voilure

L'ensemble de la voilure est constitué de deux ailes qui sont ancrées sur le fuselage. Celles-ci sont conçues pour résister aux efforts que peuvent générer les différentes forces appliquées à l'aéronef, aussi bien en vol qu'au sol.

### A. Emplanture *Endroit où l'aile est rattachée au fuselage*

En fonction de leurs ancrages sur le fuselage, les ailes peuvent être :

#### Par rapport à la cabine



Si le moteur cale : Pompe électrique pour ramener le carburant vers le moteur

## B. Géométrie



Les Ailes «



Les Ailes «

# B. Géométrie



Les Ailes « Droites »



Les Ailes « Trapézoïdales »



Les Ailes « [ ] »



Les Ailes « [ ] »



Triplan

Spitfire



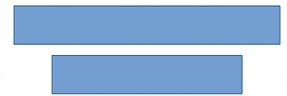
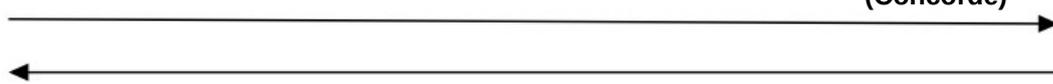
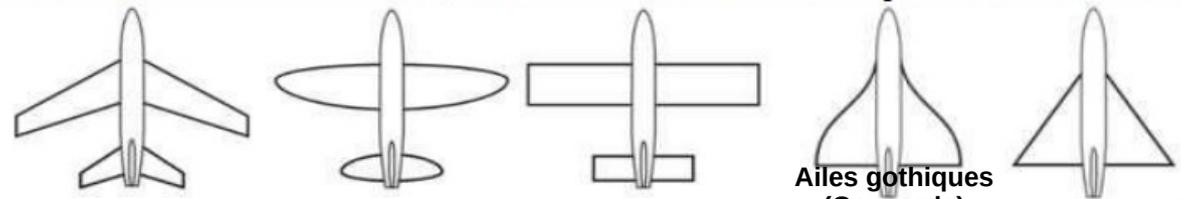
Les Ailes « [ ] »



Les Ailes [ ]

Ailes plus petites  
Permet de gagner de la place

Celle-ci permettra à l'avion d'être plus ou moins stable ou plus ou moins maniable



## C. Caractéristiques

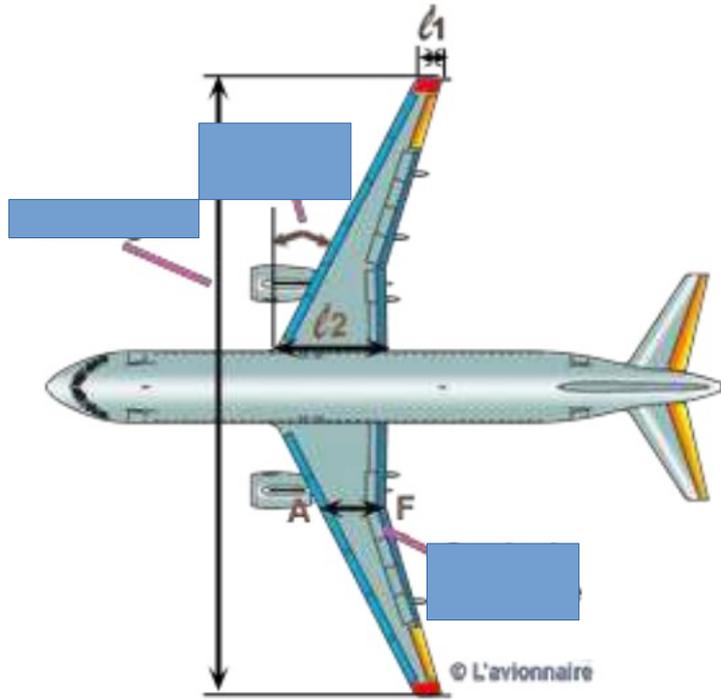


Figure 2.15.

- **L'Emplanture** : Partie qui assure la jonction avec le fuselage
- **Le Karman** : Partie améliorant l'écoulement de l'air à l'emplanture
- **Le Saumon** : Partie se trouvant en bout d'aile
- **L'Extrados** : Partie supérieure de l'aile
- **L'Intrados** : Partie inférieure de l'aile
- **Le Bord d'Attaque** : Partie avant de l'aile
- **Le Bord de Fuite** : Partie arrière de l'aile

## D. Le Dièdre



**Plus stable**  
**Moins maniable**

Le saumon est plus haut que l'emplanture

**Moins stable**  
**Plus maniable**

Le saumon est plus bas que l'emplanture



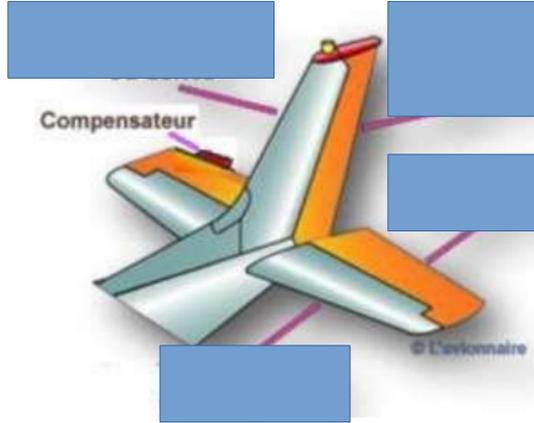
# III. Empennages et gouvernes

## A. L'empennage

Sa fonction principale est de supporter deux des trois ensembles de gouvernes de l'avion.

### Empennage Vertical

Il se trouve à l'arrière du fuselage et se compose d'un plan fixe (dérive) et de la gouverne de direction (mobile).



### Empennage Horizontal

Il se trouve aussi à l'arrière du fuselage et est généralement posé sur l'empennage vertical.

En haut

Figure 2.16.

## Les principaux types d'empennages :



Le plus répandu :  
Empennage

En bas



Empennage

Au milieu

Empennage « en »



Empennages en



On trouve des empennages horizontaux à l'avant de l'avion

On parle alors de configuration

## B. La gouverne de profondeur

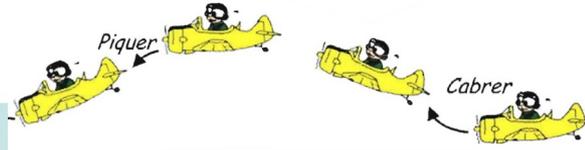
Une gouverne est une surface mobile située sur la structure (voilure, empennage), qui permet de réaliser les manœuvres nécessaires pour modifier l'attitude de l'avion.



C'est le **tangage** (modification de l'assiette).

À piquer ou à cabrer

Figure 2.17.



Le pilote pousse le manche vers l'avant : L'avion pique

Le pilote pousse le manche vers lui : L'avion se cabre

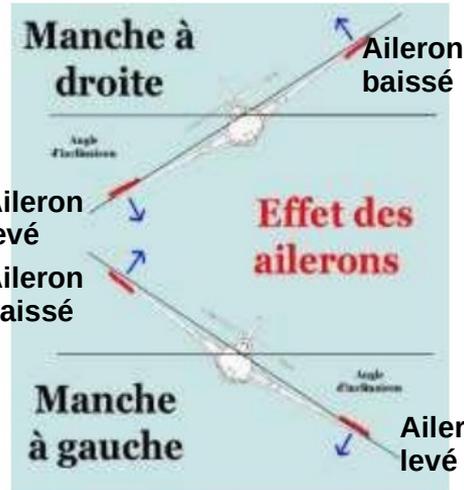
La première commande est la **commande de profondeur**. Elle est faite d'un manche (ou d'un volant) que je peux déplacer vers l'avant ou vers l'arrière. Elle est placée devant moi, entre les jambes. Ma démonstration se fait en *vol en palier* (\*)



## C. Les ailerons

Situés à l'extrémité de chaque aile, ils permettent de contrôler la mise en virage modifiant légèrement la géométrie des ailes de l'avion.

C'est le **roulis** (gauchissement de l'aile).



Lorsque je déplace le manche à droite, l'aileron de droite se lève et l'aileron de gauche se baisse.



Je maintiens le manche à droite, l'inclinaison continue d'augmenter.



Quand j'ai atteint l'inclinaison choisie, je ramène le manche vers le neutre (au centre).



Angle d'inclinaison

## D. La gouverne de direction

Située sur l'empennage vertical, elle permet le contrôle du virage en agissant sur la gouverne de direction grâce aux palonniers.

**Appuyer sur le palonnier gauche pour aller à gauche**

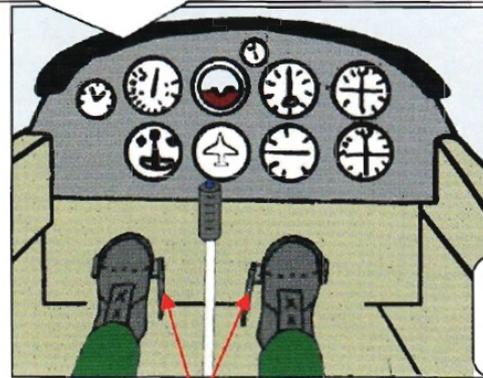
C'est le **lacet** (Manœuvre des palon

**Au sol : le palonnier est relié aux roues et permet de diriger l'avion**

Au sol, les palonniers permettent au pilote de guider l'appareil. Comme nous l'avons vu précédemment, le haut des palonniers d'actionner les freins lors du roulage sur la piste.

Angle de lacet

Le palonnier est composé de deux pédales. Il est placé devant le pilote, sous ses pieds.



Palonnier

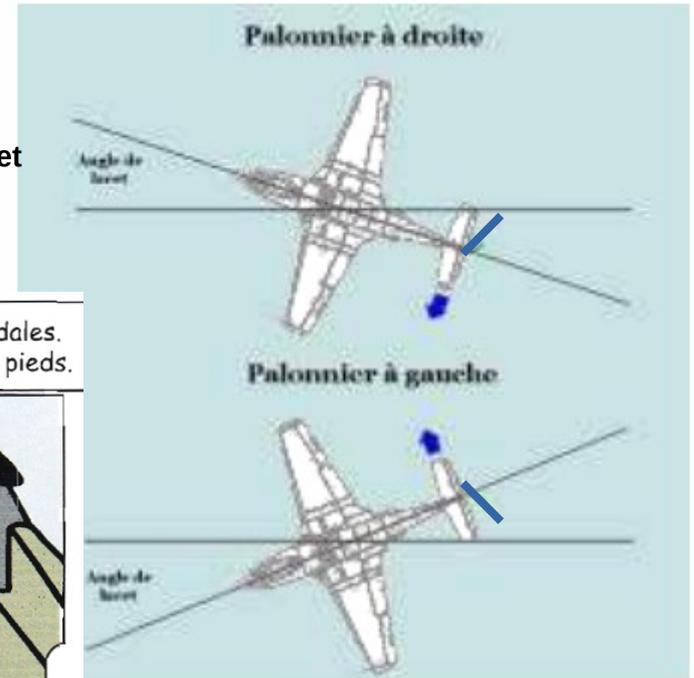


Figure 2.19.

## Récapitulatif:

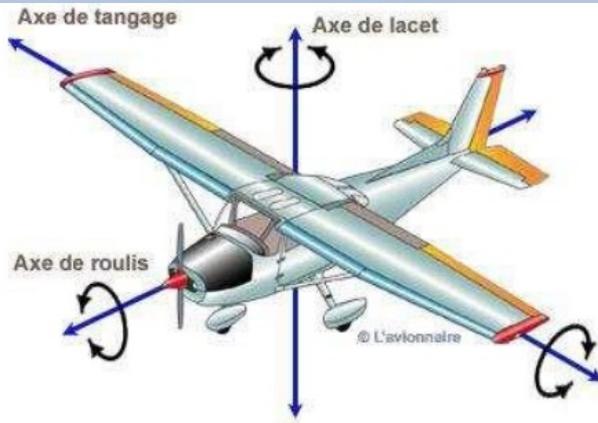


Figure 2.20.

La transmission des manœuvres des pilotes aux commandes se fait soit de façon mécanique (câbles, poulies, ...) soit de façon électrique (Airbus, Rafale,...).

Les **compensateurs** permettent de réduire les efforts pour le pilote. On distingue le compensateur de régime (Trim) et le compensateur d'évolution (Tab).

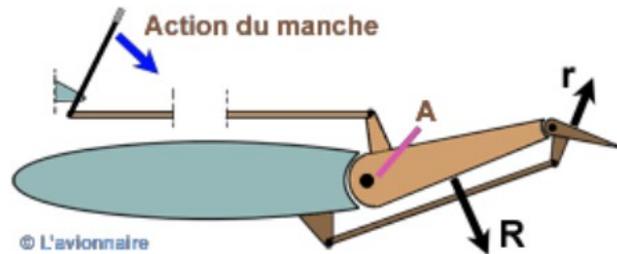
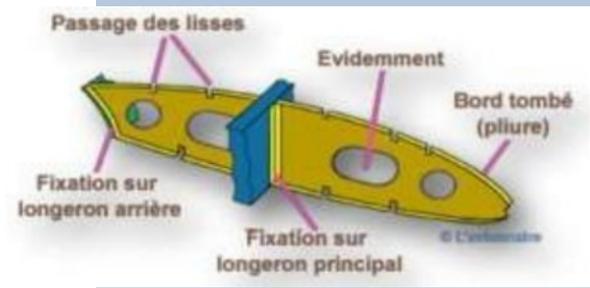


Figure 2.21.



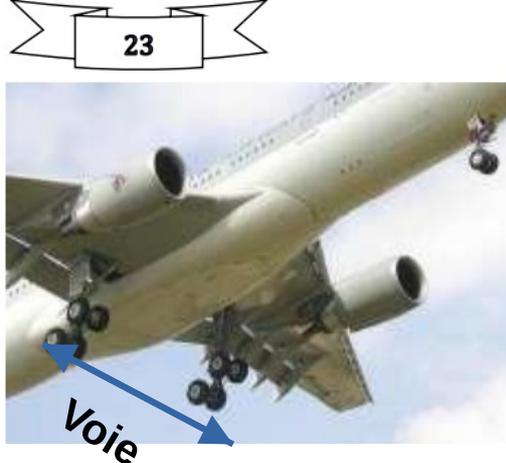
3 types de transmissions :  
Mécanique : câbles, poulies...  
Électriques : fils  
Hydraulique : fluide

Permet de compenser les efforts pour maintenir l'avion en équilibre (évite de tirer en permanence le manche)

## IV. Le train d'atterrissage :

### roues/ski/flotteurs/patins

Il permet à l'avion de quitter et de retrouver le sol « en douceur ». Il est « fixe » ou « rentrant ». Celui-ci peut être constitué de roues, de flotteurs, de skis ou de patins.



E16

Il se compose:

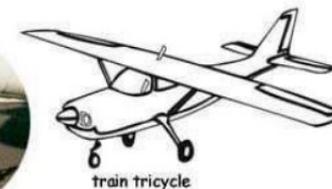
- d'un train principal : sous les ailes pour les avions légers et sous le fuselage pour un gros porteur
- d'un train auxiliaire qui peut être :
  - ☐ Une roulette de nez (**train tricycle**)
  - ☐ Une roulette de queue (**train classique**)

Dans les deux cas, la roulette est commandée par les palonniers et permet de diriger l'avion au sol.

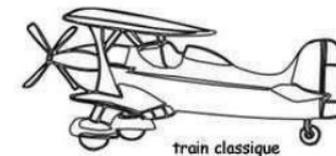
Roulette de nez



Roulette de queue



train tricycle



train classique

Figure **empattement**

**Classique : avions Anciens**  
**Très sensible pour tourner au sol**  
**Piste moins visible**

Certains avions n'ont qu'un train principal situé sous le fuselage (**train monotrace**).  
L'équilibre latéral peut être assuré par des balancines en bout d'ailes.



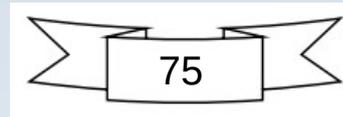
**Limite la résistance de l'air**

En fonction de la charge que l'avion doit supporter on utilisera :

Une Roue Simple



Un Diabolo



Un Boggie

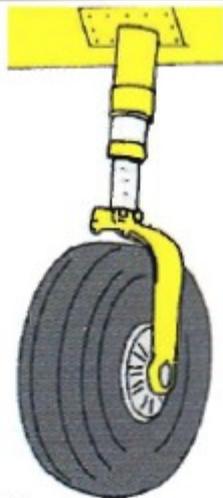


**Avions  
lourds**

La nature de la piste joue un rôle important sur le choix des pneumatiques. Sur une piste « dure » (goudron ou béton), on utilisera des pneumatiques à « haute pression », sur une piste sommairement aménagée (herbe ou terre battue), les pneus seront à « basse pression ».



Pneumatique  
« haute pression »



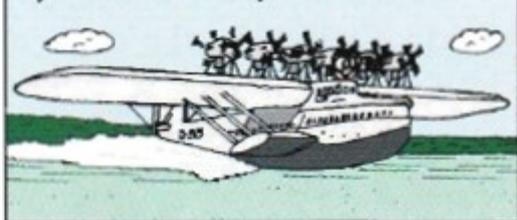
Pneumatique  
« basse pression »

Sur l'eau, les roues sont remplacées par des flotteurs ou le fuselage (comme la coque d'un bateau).

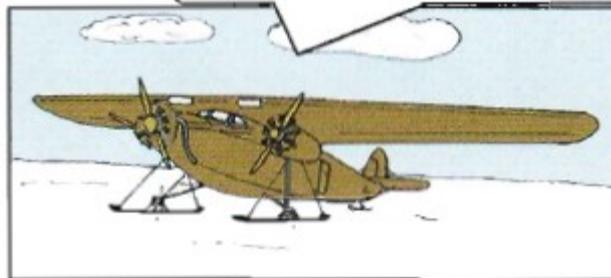
*Hydravion à flotteurs*



*Hydravion à coque*

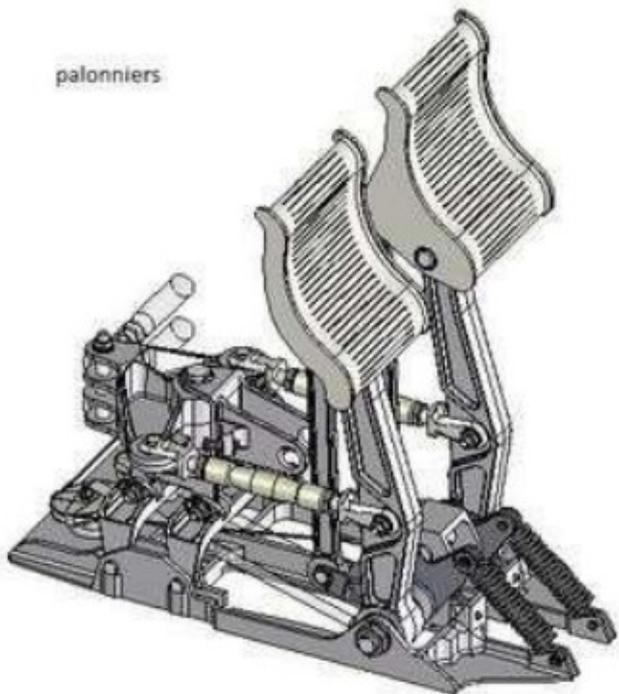


Sur la neige, on monte des skis.

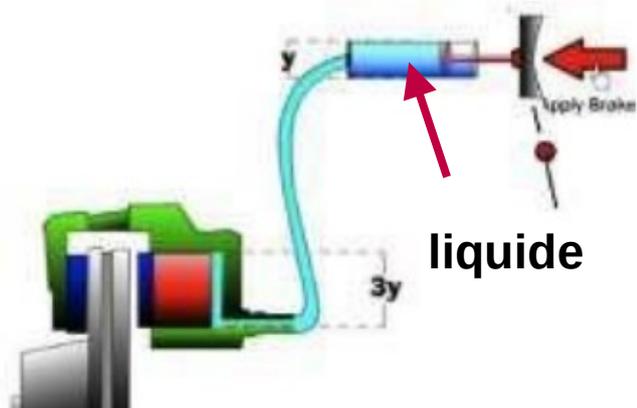


Les freins sont disposés sur le train principal et se commandent le plus souvent avec les palonniers (haut du palonnier).

palonniers



amortisseur



Déformation, souplesse  
Permet d'absorber le choc



Figures 2.23. 2.24. et 2.25.

## Pour s'entraîner

10) En vol, la structure de l'aile d'un avion doit être capable de subir :

- a) une compression à l'extrados et une traction à l'intrados
- b) une traction à l'extrados et une compression à l'intrados
- c) une traction à l'extrados et à l'intrados
- d) une compression à l'intrados et à l'extrados

11) 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

12) 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

13) Identifier les éléments 1, 2 et 3 de la structure

- a) 1 = nervure 2 = couple 3 = lisse.
- b) 1 = longeron 2 = nervure 3 = entretoise.
- c) 1 = poutre 2 = traverse 3 = semelle.
- d) 1 = couple 2 = entretoise 3 = traverse.



14) Les couples :

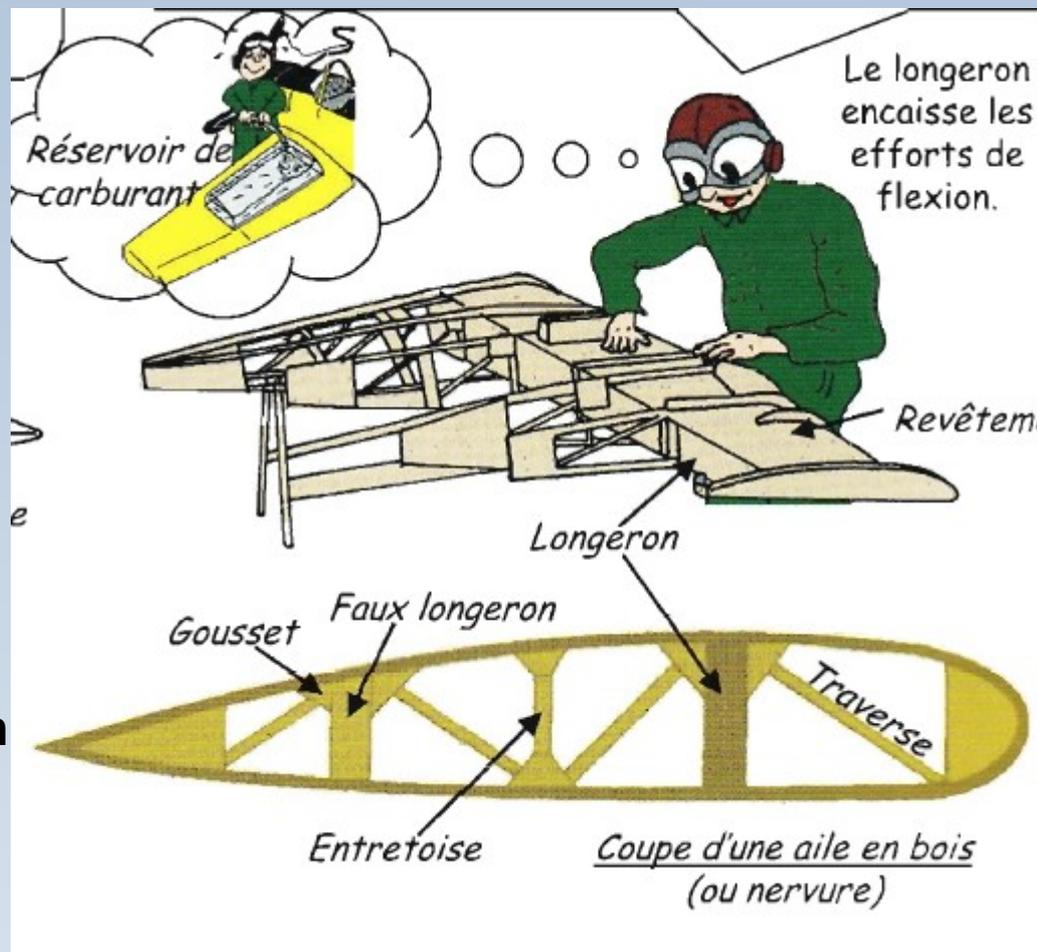
- a) ont dans le fuselage le même rôle que les nervures dans les ailes
- b) sont situés en bout d'aile pour éviter les tourbillons marginaux
- c) sont les pièces maîtresses du fuselage qui supportent les efforts de flexion
- d) sont toujours montés par paire pour augmenter leur solidité

15) Les avions de transport ont des réservoirs de carburant dans les ailes pour :

- a) que l'avion soit moins stable en vol quand l'air est turbulent
- b) obtenir du carburant plus froid donc plus dense, ce qui améliore le rendement des moteurs
- c) limiter la consommation des moteurs
- d) limiter les efforts au niveau de l'emplanture de l'aile

16) Le flutter explosif :

- a) est un accident causé par une fuite de carburant dans le circuit d'alimentation électrique.
- b) survient toujours au même nombre de Mach, quel que soit l'avion.
- c) est un flotteur de sécurité, présent sur les hydravions et dont le gonflement rapide a donné le qualificatif d'« explosif ».
- d) est un phénomène de vibrations subies par la structure d'un avion qui entrent en résonance.



17) Un Karman est :

- a) un célèbre appareil de compétition utilisé dans les courses de vitesse aux USA (courses de pylônes).
- b) un carénage d'emplanture optimisant l'écoulement de l'air.
- c) un chariot de déplacement d'aéronef lourd sur les aires de parking des aéroports.
- d) un dirigeable gonflé au sulfure d'hydrogène.

18) Les spoilers :

- a) sont des limiteurs de traînée.
- b) sont des réducteurs de portance.
- c) sont toujours automatiques.
- d) ne servent qu'au sol pour ralentir l'avion.

19) Parmi les dispositifs suivants, lequel n'est pas un dispositif hypersustentateur :

- a) les volets Fowler.
- b) les volets à fente.
- c) les bords de bord d'attaque.
- d) les aérofreins.

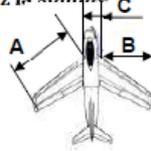
20) La gouverne de direction est une surface :

- a) fixe et horizontale placée à l'arrière de l'avion.
- b) mobile et verticale placée à l'arrière de l'avion.
- c) mobile et située à l'extrémité de chaque demi-aile.
- d) fixe et verticale placée à l'arrière de l'avion.

← aileron

21) Pour déterminer l'envergure de cet avion, vous effectuez la somme des longueurs suivantes :

- a) A + A
- b) B + B
- c) A + C + A
- d) B + C + B



22) Un avion qualifié de " canard " est caractérisé par :

- a) la présence de bords de bord d'attaque, ayant la forme d'un bec de canard.
- b) son train d'atterrissage mixte (flotteurs avec roues déployables) permettant de se poser sur la terre ou sur l'eau.
- c) la nature de son revêtement d'aile comportant des micro-stries imitant celles des plumes d'un canard.
- d) une gouverne de profondeur placée en avant de l'aile.

23) Par rapport au train d'atterrissage classique, le train d'atterrissage tricycle a pour avantage :

- a) une meilleure visibilité au roulage.
- b) une traînée plus faible en vol.
- c) une meilleure stabilité au roulage.
- d) les propositions a et c sont exactes.

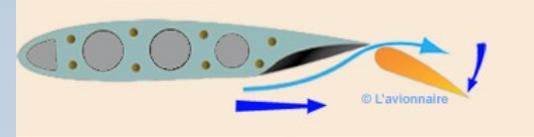
24) Le fluide d'un circuit hydraulique :

- a) est de l'eau utilisable sous basse pression et à une température supérieure à 0°C.
- b) est difficilement utilisable sur avion du fait de sa compressibilité.
- c) n'est utilisé qu'au-delà de 0°C pour actionner les freins et les vérins des trains escamotables.
- d) est utilisé sous pression pour actionner des commandes.

Carénage = coque (carrosserie)

= aérofrein

Hypersustentateur = aide à voler



Volet Fowler

# Partie 3 : Les Groupes Motopropulseurs (G.M.P.)

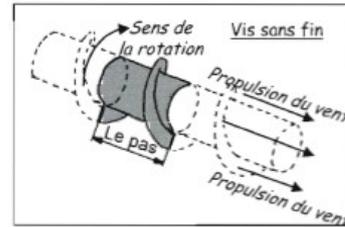
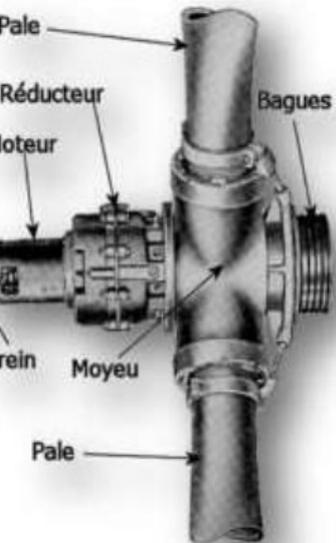
## I. L'Hélice

E29

C'est un dispositif qui permet de transformer l'énergie mécanique, fournie par le moteur, en force tractive ou propulsive utilisé par l'avion pour se déplacer.

### A. La Composition

L'hélice se compose de :

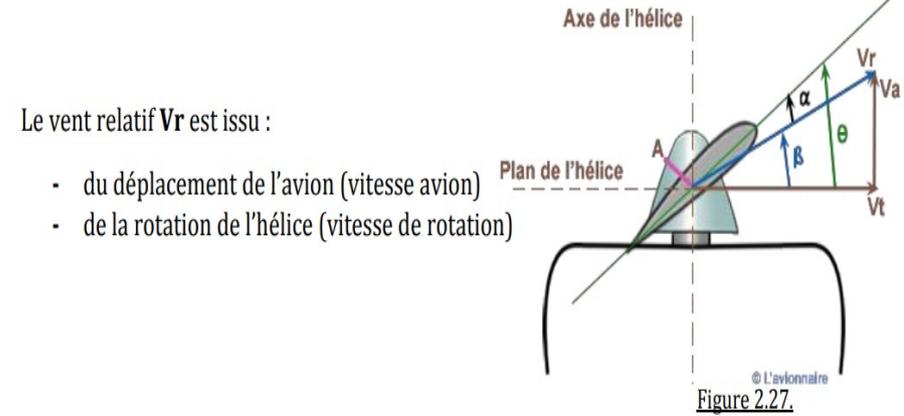


- D'un moyeu centré sur l'arbre de sortie du moteur
- De deux ou plusieurs pales

→ La distance parcourue par l'hélice le long de son axe de rotation en un tour est appelé **Pas**.

→ L'angle formé par la corde de profil de l'hélice et le plan dans lequel tourne la pale est appelé **Calage ( $\beta$ )**

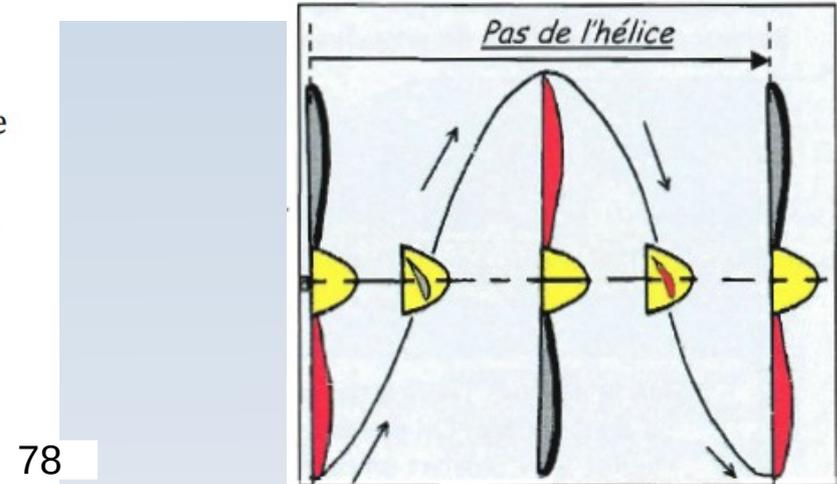
Le Calage est un Angle  
Le Pas est une Distance



Le vent relatif  $V_r$  est issu :

- du déplacement de l'avion (vitesse avion)
- de la rotation de l'hélice (vitesse de rotation)

La vitesse de rotation est limitée par la vitesse en bout de pale, qui ne doit pas être sonique (perte d'efficacité, bruit).



Le vent relatif  $V_r$  est issu :

- du déplacement de l'avion (vitesse avion)
- de la rotation de l'hélice (vitesse de rotation)

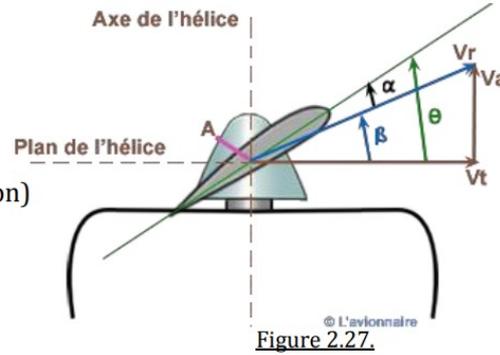


Figure 2.27.

La vitesse de rotation est limitée par la vitesse en bout de pale, qui ne doit pas être sonique (perte d'efficacité, bruit).

### B. Le Fonctionnement

Le fonctionnement d'une hélice est le même que celui de l'aile d'un avion. Les forces aérodynamiques sur les pâles sont à l'origine de la traction et du couple résistant de l'hélice.

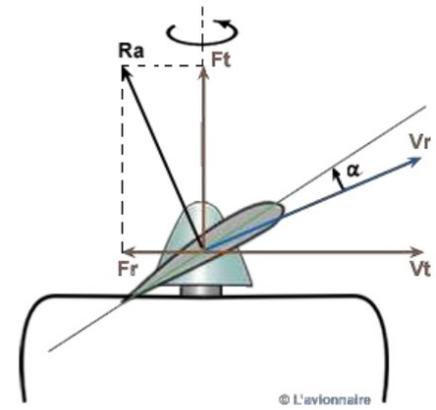
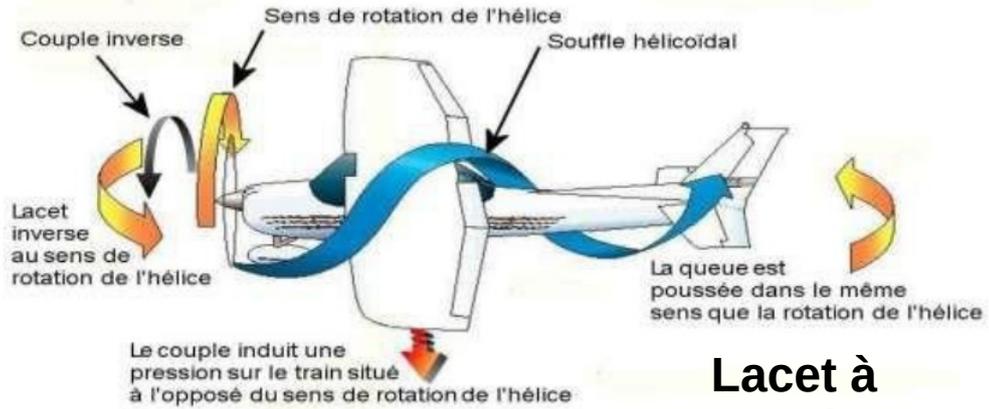


Figure 2.28.

La présence de l'hélice génère également des effets secondaires sur les axes de tangage, roulis et lacet.

**Pale vrillée pour que la traction soit la même partout (homogène)**

La présence de l'hélice génère également des effets secondaires sur les axes de tangage, roulis et lacet.



**Lacet à gauche**

Figure 2.29.

# C. Les différents types d'hélices

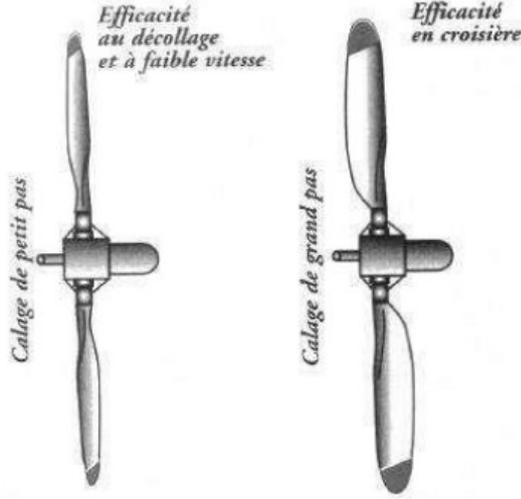
E30

Il en existe deux types :

## 1) L'hélice à calage fixe

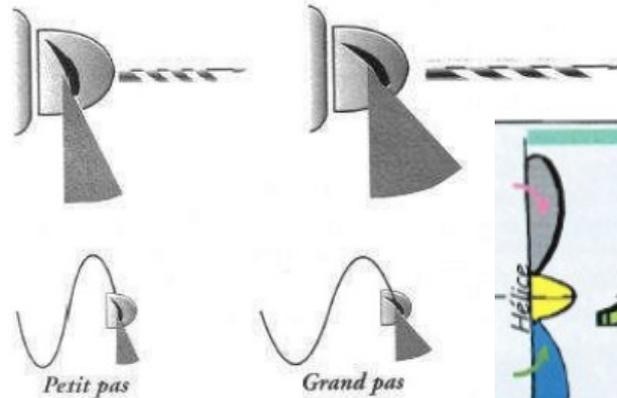
Cette hélice est surtout équipée sur les aéronefs de tourisme. Elle est, en général, en bois multicouche avec un bord d'attaque renforcé par une lame en laiton ou en alliage d'aluminium (plus lourde).

Ce type d'hélice à l'inconvénient de ne pas permettre d'adapter la vitesse en fonction des phases du vol.



## 2) L'hélice à calage variable (ou pas variable)

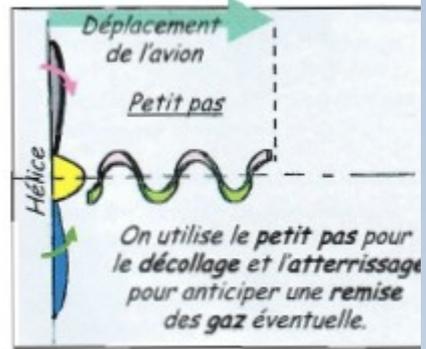
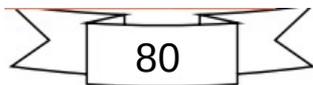
Le pilote peut alors, grâce à un mécanisme, changer le calage des pales pour que la vitesse de rotation de l'hélice (donc du moteur) reste constante.



Petit pas : décollage, atterrissage

Faible vitesse

Grand pas : croisière



De la valeur de l'angle de calage dépend la vitesse de l'avion et de la configuration choisie en vol.

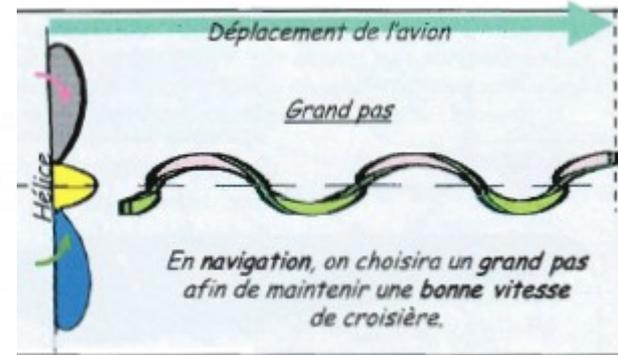


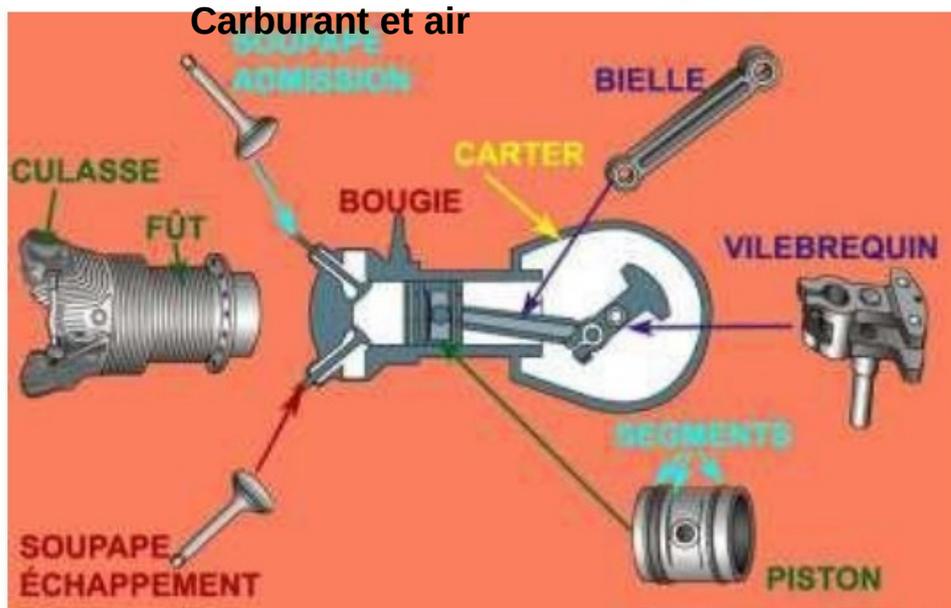
Figure 2.30.

# A. La Composition

E22

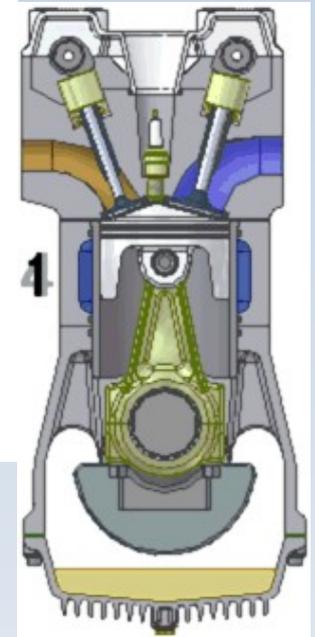
L'ensemble est composé de :

- De **plusieurs cylindres (4 à 8)** très souvent munis **d'ailettes** pour le refroidissement (assuré par l'air) et dont la partie supérieure est fermée par **une culasse** et la base inférieure par **un carter**.

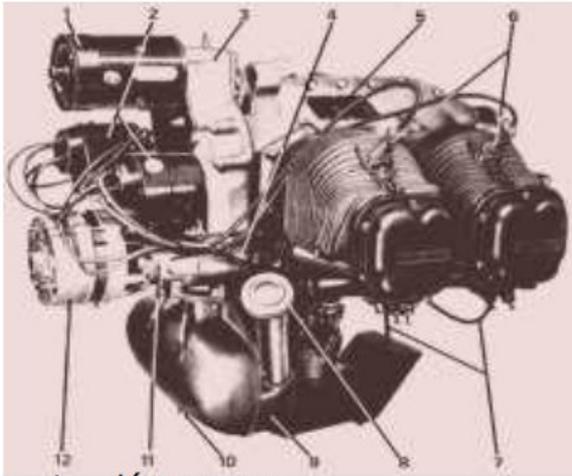


Carter = enveloppe extérieur solide

Figure 2.31.



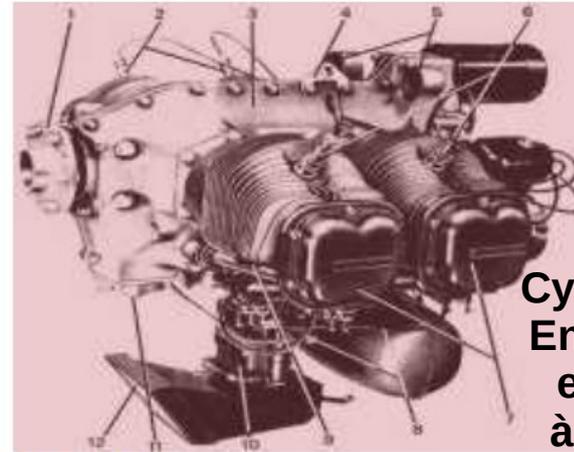
- **La culasse** est dotée de dispositifs appelés **soupapes** qui permettent l'admission des gaz frais et l'échappement des gaz de combustion, et d'un dispositif créant l'inflammation du mélange carburant/air : **les bougies**. ( **2 bougies par cylindre par sécurité**)



Moteur d'avion  
léger à 4  
cylindres

← Avant

Arrière →

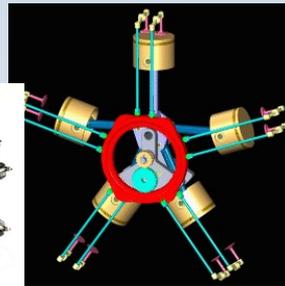


Cylindre  
En ligne  
en V,  
à plat  
ou en étoile

1. démarreur
2. magnétos → **Permet de créer l'étincelle des bougies**
3. boîte de distribution
4. clapet de pression d'huile
5. plaque d'identification
6. bougies supérieures (cylindres droits)
7. fils des bougies supérieures
8. bouchon et jauge à huile
9. bêche à huile
10. bouchon de vidange
11. filtre à huile
12. alternateur



1. moyeu d'hélice
2. bougies supérieures (cylindres droits)
3. carter
4. anneau de levage
5. points supérieurs d'attache au bâti
6. bougies supérieures (cylindres gauches)
7. cache culbuteurs
8. fils des bougies inférieures
9. échappement
10. carburateur
11. couvercle du point de montage de pompe à vide
12. filtre à air





# Description du GMP



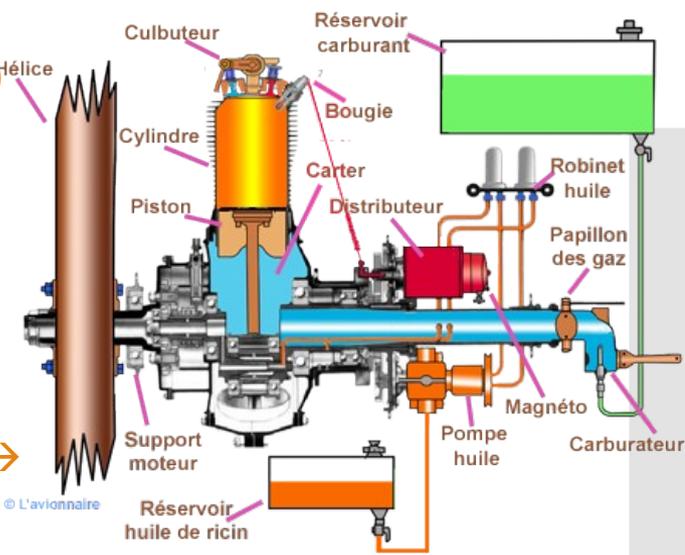
Source : Photo YSSY Guy

Alternateur

## □ Groupe Moto-Propulseur (GMP)

### ▪ Moteur à pistons et à hélices

- Configurations et moteurs particuliers : monomoteur = 1 moteur, bimoteur (= 2x), trimoteur, quadrimoteur, hexamoteur...

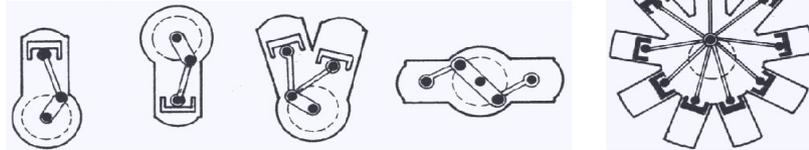


## □ Description du GMP

- Schéma d'ensemble du GMP → →

- Description du bloc-cylindre → →

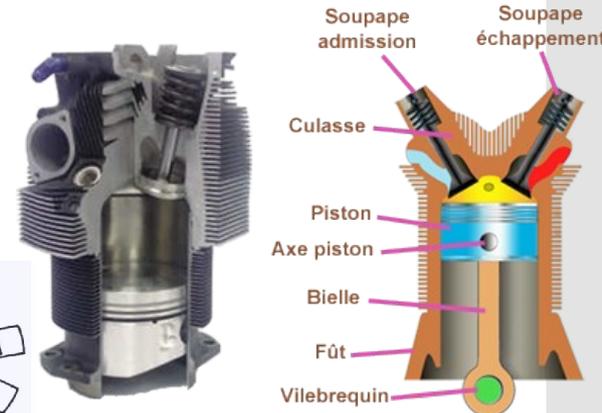
## □ Différents types de montage des cylindres



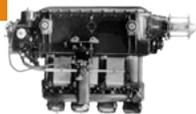
en V

à plat

en étoile



Source: www.faa.gov/handbooks\_manuals/media



# B. Le fonctionnement d'un moteur thermique

## 1) Moteur à deux temps

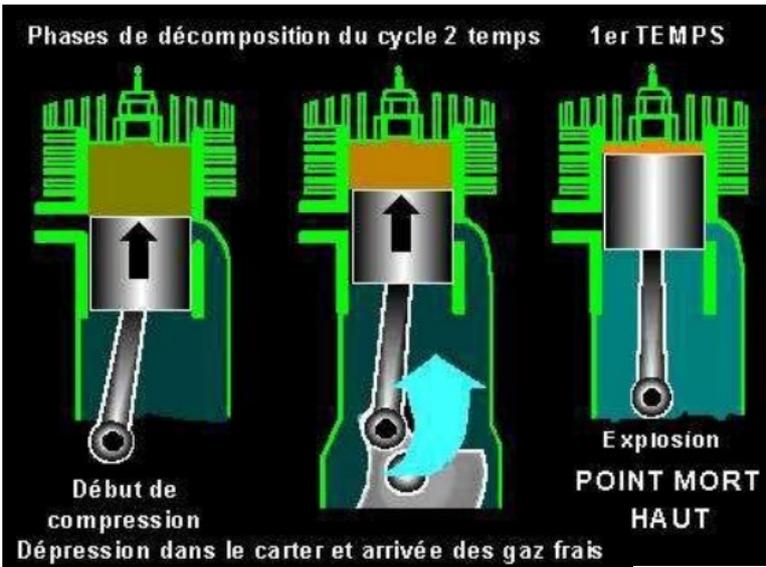
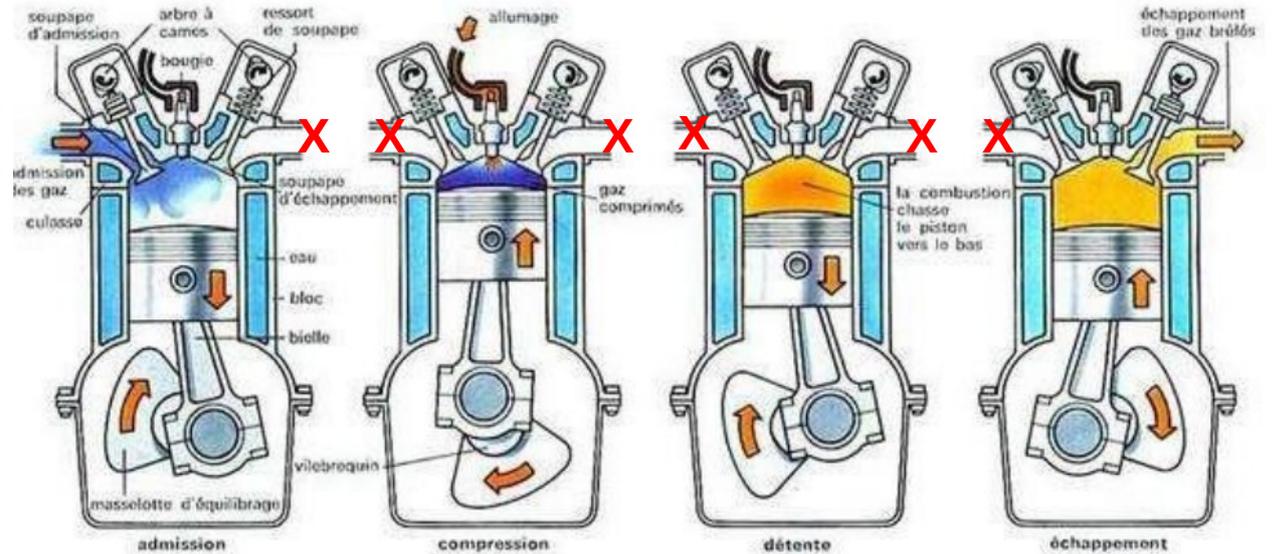


Figure 2.33.

## 2) Moteur à quatre temps



**Admission**  
Entrée de l'air  
Piston bas

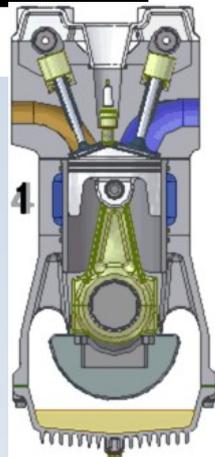
**Compression**

Figure 2.34.

**Explosion-détente :**  
Produit l'énergie mécanique

**Échappement**  
Du gaz brûlé

Les 4 temps se répètent jusque 2500 fois par minute !



## C. L'Alimentation en carburant

E24

Pour que l'essence parvienne des réservoirs jusqu'au dispositif de mélange, on utilise **une pompe mécanique** entraînée par le moteur, doublée **d'une pompe électrique de secours** que l'on mettra en fonction à la demande (par exemple au décollage).

Essence de type 100 LL bleu pour petits avions (essence normale pour ULM)

Kérosène pour grands avions

## D. L'Elaboration du mélange air-essence

Deux procédés sont utilisés :

- **L'injection**, qui consiste à vaporiser de fines gouttelettes d'essence directement dans la chambre du cylindre.
- **La carburation**, qui assure l'élaboration du mélange air-essence avant son entrée dans les cylindres (la masse volumique de l'air diminue avec l'altitude).

**Mélange idéal : 1g d'essence pour 15g d'air**  
S'étouffe si pas assez d'essence, se noie si trop d'essence

**Réchauffage carburateur pour éviter gel**

**La richesse du mélange : augmente avec l'altitude Et la température**

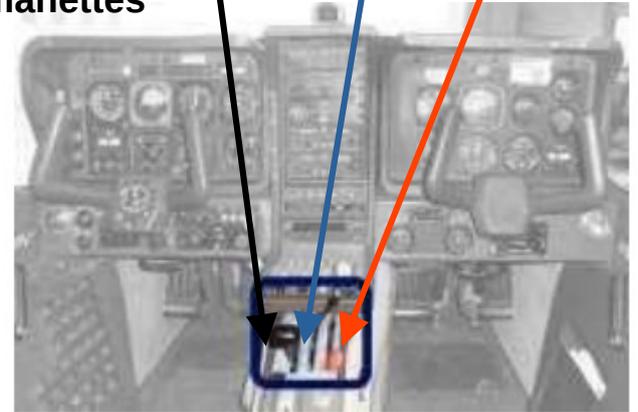
**Manette de réchauffe du carburant pour éviter le givrage en altitude**

**Régler la quantité d'essence par rapport à l'air**

**Essence plus dense (plus léger que l'eau) : Purger l'eau qui s'est condensé avant le décollage**

La commande qui permet de faire varier la pression du mélange air-essence entrant dans les cylindres est **la manette des gaz** (en noir). La manette rouge est la manette de richesse, qui permet d'ajuster la quantité d'essence (mélange riche ou économique). La manette bleue est la commande du pas de l'hélice.

**Trois manettes**



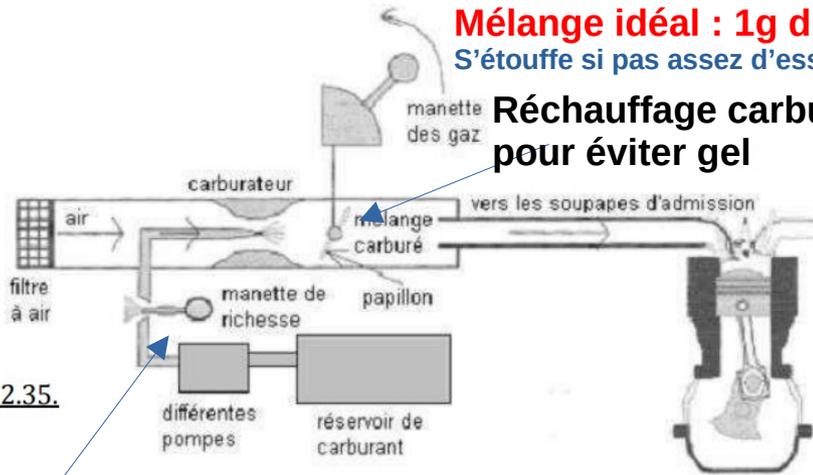
F

Figure 2.36.

83

82

Figure 2.35.



Il réside de la production d'une étincelle permettant de démarrer la combustion du mélange.

Il est réalisé par une bougie alimentée par une magnéto. Pour des raisons de sécurité le système est doublé (2 magnétos). Pour des raisons de rendement, on utilise 2 bougies par cylindre.

### III. Les turboréacteurs

#### A. Le principe de fonctionnement

Lorsque l'on gonfle un ballon, la pression de l'air à l'intérieur du ballon est supérieure à la pression de l'air à l'extérieur.

Si on libère l'embouchure du ballon, alors l'air à l'intérieur du ballon va être éjecté et, par réaction, créer une force de même direction mais de sens opposé à la vitesse d'éjection.

**Un turboréacteur fonctionne sur le même principe : il comprime l'air et ensuite l'éjecte à grande vitesse de façon contrôlée.**

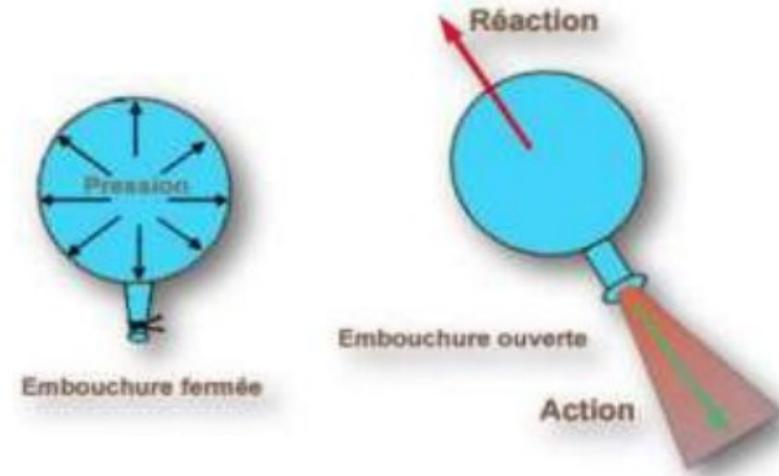


Figure 2.37.



# Électricité de bord



## ❑ Circuit électrique de bord

- Génération et distribution de l'électricité *electrical wiring* pour l'alimentation de l'avionique et des systèmes de vol
- **Basse tension**, bas voltage (12 volts) et **courant continu** (cf. piles)
- Système électrique **indépendant** du fonctionnement du moteur (ne pas confondre avec **allumage**, magnétos... → cf. briefing moteur)

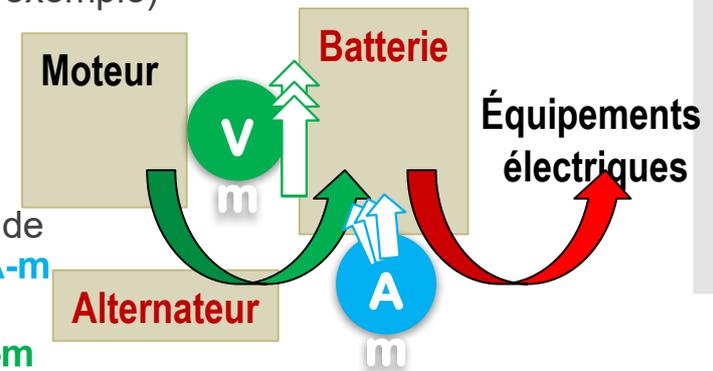
**En cas de panne de batterie, le moteur ne s'arrête pas !**

## ❑ Groupe auxiliaire de puissance

- **APU Auxiliary Power Unit** :
  - ✓ sur les liners, groupe auxiliaire (en général turbogénérateur)
  - ✓ utilisé au sol quand les moteurs principaux sont à l'arrêt (économie de carburant)
  - ✓ Alimentation des différents systèmes de bord et démarrage des moteurs
- **GPU Ground Power Unit**, groupe générateur d'énergie externe (pour le démarrage de l'avion par exemple)

## ❑ Batterie et alternateur

- **Batterie** chargée par le moteur grâce à l'**alternateur**
- Mesure de l'intensité de charge de la batterie par un **ampèremètre A-m**
- Mesure du niveau de charge de la batterie par un **voltmètre V-m**



## B. Le Principe du Réacteur à simple flux

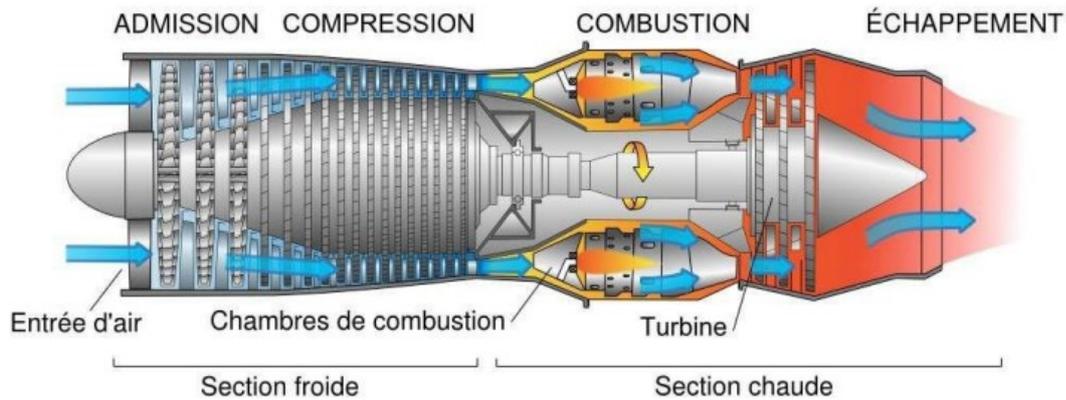


Figure 2.38. Réacteur monocorps

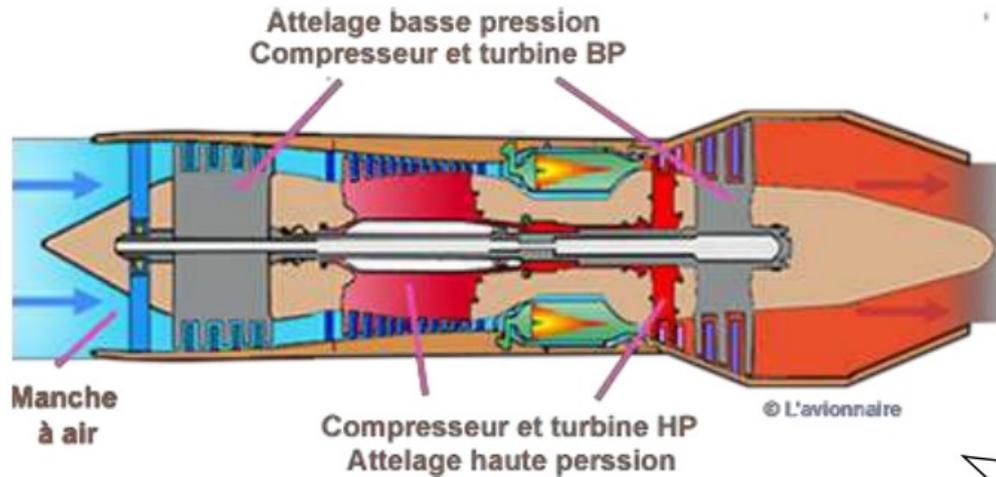


Figure 2.39. Réacteur double corps

Faire ressortir l'air plus vite qu'il n'est entré par une explosion

Le démarreur permet de lancer le système en « aspirant » de l'air au départ

Plus performant, moins bruyant

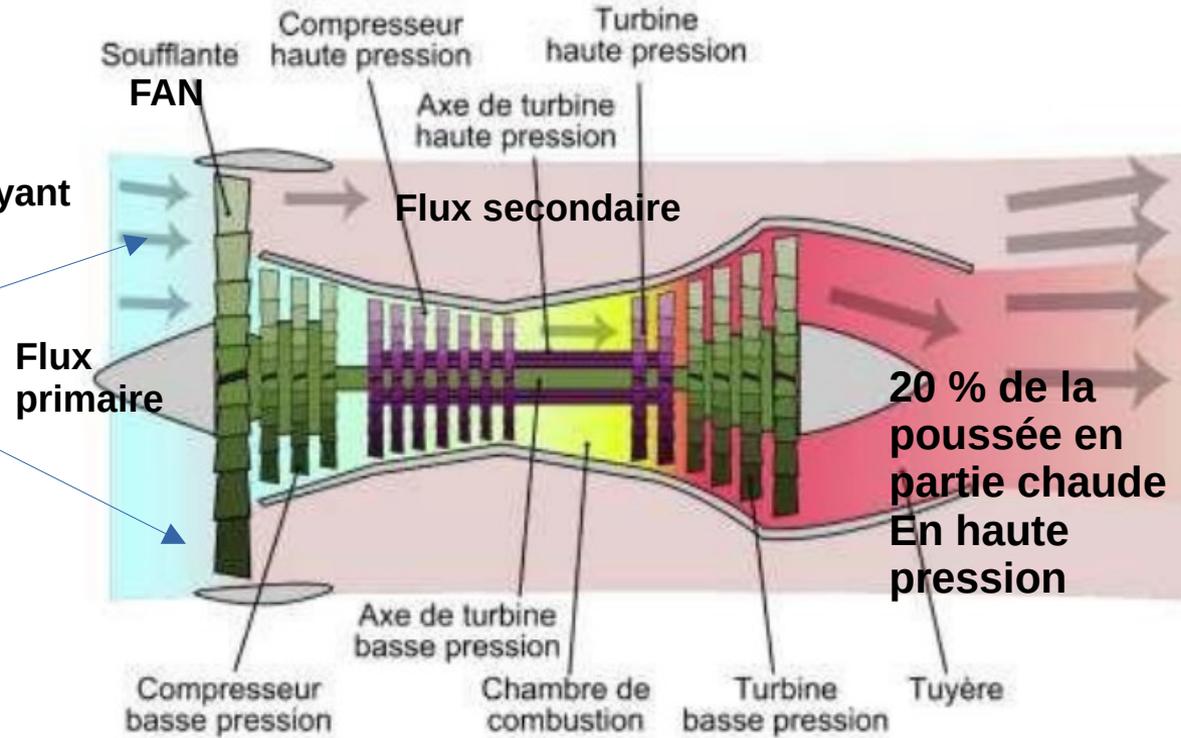
## C. Le Turboréacteur à double flux

C'est le type de réacteur que l'on trouve sur la plupart des avions de ligne aujourd'hui.

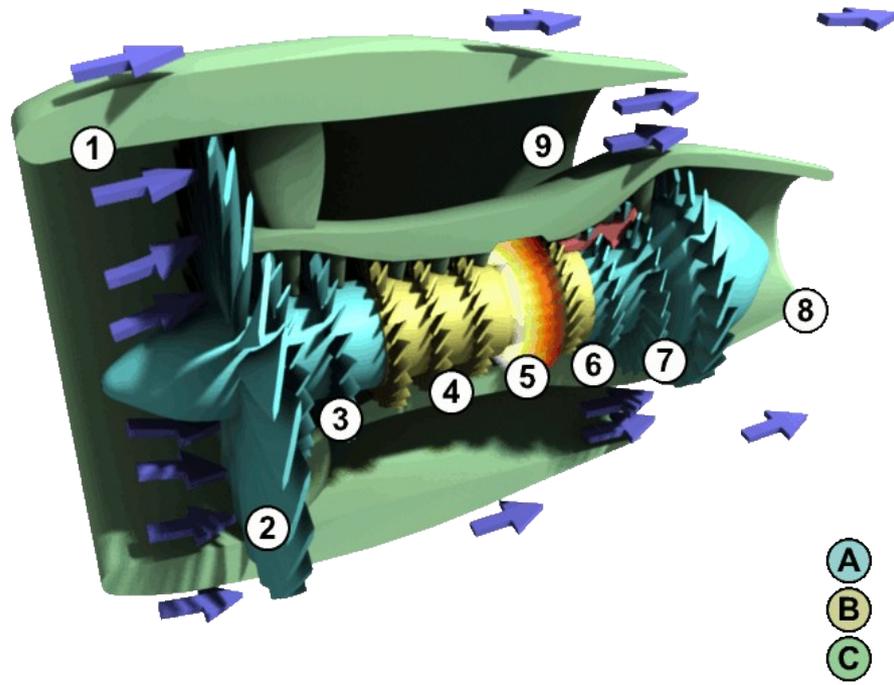
Dans ce réacteur, deux débits d'air le traversent et le flux secondaire ne traverse pas la chambre de combustion.

Plus performant, moins bruyant  
Car air froid autour

80 % de la poussée  
En haute pression



20 % de la  
poussée en  
partie chaude  
En haute  
pression



Le **taux de dilution** est le rapport des débits entre le flux froid et le flux chaud. Il vaut 11 sur les réacteurs les plus récents. Plus il est élevé, plus le réacteur est silencieux et économe en carburant. En revanche l'encombrement et la trainée sont plus importants.



## Cap sur l'environnement

Au cours du temps, les turboréacteurs ont évolué pour devenir de plus en plus efficaces et silencieux, grâce à une augmentation progressive de leur taux de dilution. Dans les turboréacteurs les plus récents, le taux de dilution est très fort, et **le flux froid génère environ 80% de la poussée.**

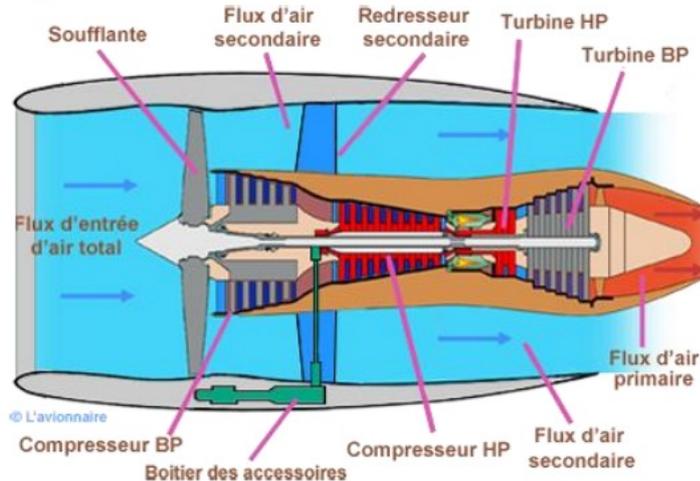


Figure 2.41.

Cela est particulièrement intéressant quand on sait que le bruit des moteurs est majoritairement lié à la différence de vitesse entre l'air chaud éjecté et l'air ambiant. Ainsi, **en réduisant la proportion d'air chaud éjecté, on obtient des moteurs moins bruyants.** De la même façon, **en réduisant la quantité d'air chaud pour une même poussée, on diminue la quantité de carburant nécessaire !**

# IV. Les autres turbomachines

## A. Le Turbopropulseur Possède une hélice

Dans le Turbopropulseur, comme dans un Turboréacteur, l'air est aspiré par l'avant puis il est comprimé dans le compresseur avant de traverser les chambres de combustion. Mais cette fois, la turbine de sortie prélève la majeure partie de l'énergie des gaz pour faire tourner une hélice et le compresseur.

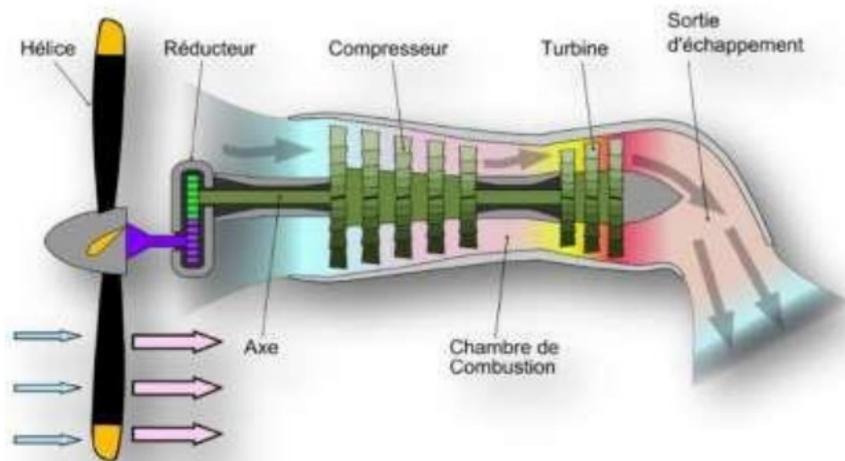


Figure 2.42.

Ce type de propulsion est utilisé pour des avions dont la vitesse se situe entre 300 et 800 km/h. Elle offre l'avantage d'une consommation plus faible et de meilleures performances au décollage.

**Consomme moins, efficace pour décoller**

**(couple de vitesse petit entraîne un couple supérieur au niveau du réducteur)**



**Pilatus**

## B. Le Turbomoteur

Utilisé sur **hélicoptère**, c'est un turbopropulseur dont le réducteur entraîne non plus l'hélice mais une boîte de transmission commandant à la fois le rotor principal et le rotor anti couple.

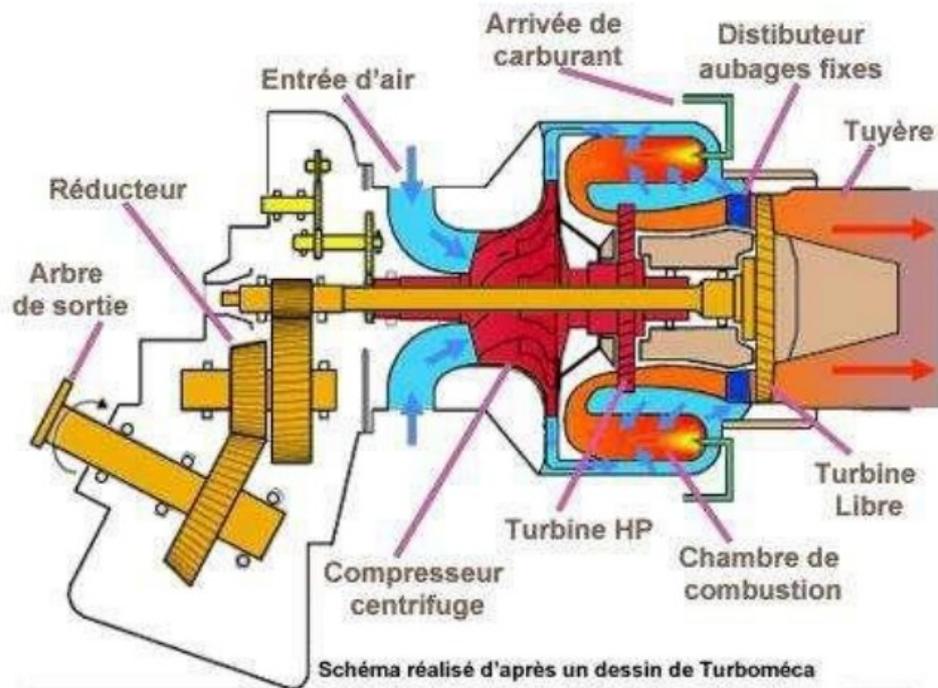


Figure 2.43.

## C. Le Statoréacteur

Un Statoréacteur est un système de propulsion qui utilise le cycle thermodynamique classique : compression/combustion/détente, et pour lequel la poussée est produite par éjection de gaz issu de la combustion d'un carburant, généralement le kérosène (il n'y a pas de partie tournante).

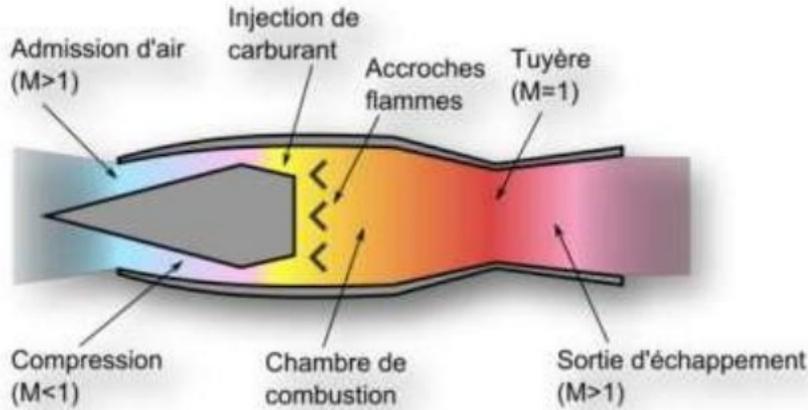
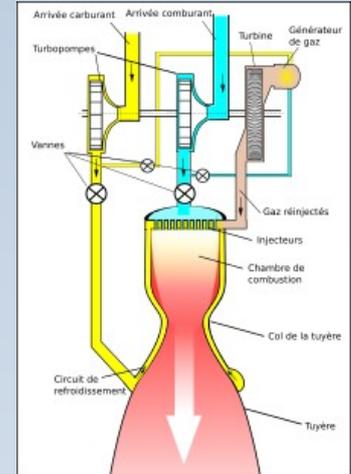


Figure 2.44.

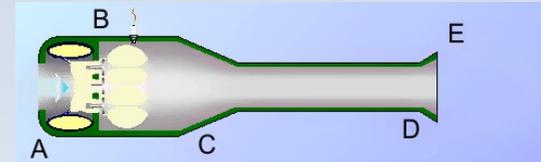
Ce type de propulsion est aujourd'hui surtout utilisé sur propulser des missiles. Il permet d'atteindre de très grandes vitesses (au-delà de Mach 3) mais ne peut fonctionner de manière autonome à basse vitesse.

Dans un **pulsoréacteur**, un volet à l'entrée d'air génère des cycles de combustion (utilisé sur les V1 pendant la seconde guerre mondiale).

## Autre : Moteur fusée ergol solide



## Pulso réacteur





# Servitudes de bord



## Servitudes de bord *easements*

- Ensemble des réseaux permettant le **fonctionnement de l'aéronef** (parfois géré par un ordinateur de bord) et la **vie à bord** (**commissariat de bord**, **catering**, divertissements, repas, toilettes, communications internes **public adress**...)
- Circuits de types **mécanique** (câbles, poulies), **hydraulique** (fluides sous pression, vérins) ou encore **électrique** (faisceaux électriques, servocommandes)

## Exemples de différents systèmes



■ **Systèmes hydrauliques *hydraulics*** → mouvements mécaniques de gros aéronefs : sortie/entrée train, rotation roulette de nez, aérofreins et volets, freins, gouvernes...

■ **Circuit pneumatique** (permet la vie à bord de l'avion en haute altitude)

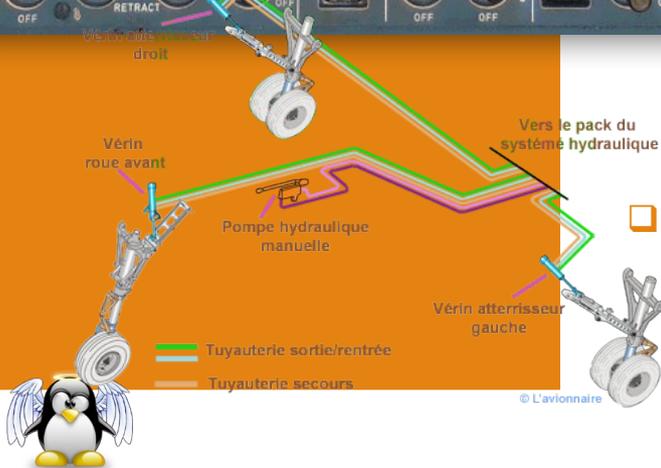
- ✓ **Pressurisation** de l'air de la cabine **cabin press** à une **pression** acceptable équivalant à une **altitude fictive de 8000ft** (prélèvement d'air comprimé sur le réacteur)
- ✓ **Conditionnement** de l'air à une **température** acceptable (-56°C à l'extérieur).
- ✓ **Alimentation en oxygène**, masques à O2 individuels si **dépressurisation accidentelle**

■ **Antigivrage** (**anti-icing**, système préventif → éviter la formation de glace) et **dégivrage** (**de-icing**, système curatif → retirer la glace et le givre accumulés )

- ✓ **Antigivreux** : résistance électrique (chauffage), injection d'alcool (pare-brise...), air chaud
- ✓ **Dégivreux** : pneumatique gonflable sur bords d'attaque, systèmes chimiques (alcool)
- ✓ Ne pas confondre avec **dégivrage** des avions au **sol**, et **déverglaçage** des **pistes**

## Autres systèmes

- **Circuit anémo-barométrique**, instruments → altimètre, indicateur de vitesse...
- **Circuit électrique *electrical wiring***, génération/distribution → avionique, systèmes
- **Circuit carburant *fuel circuit***, alimentation/pompe → moteurs
- Protection anti-g, évacuation rapide (siège éjectable, toboggans...), anti-incendie, bus de transfert de données (réseau informatique)...



## Pour s'entraîner

25) A bord des avions légers, on rencontre souvent une alimentation électrique en:

- a) 220 volts    b) 110 volts    **c) 12 volts**    d) 50 Hz

26) La pompe électrique de gavage est utilisée :

- a) pour la mise en route du moteur.  
 b) pour prévenir une panne de la pompe principale au décollage ou à l'atterrissage.  
 c) pour lutter contre la formation de " vapor lock ".  
**d) pour tous les cas ci-dessus.**

27) Un avion " Push Pull " est un avion qui est équipé :

- a) d'un système de marche arrière permettant des manœuvres aisées au sol.  
 b) d'une motorisation à deux positions (tout ou rien).  
**c) de deux moteurs alignés sur l'axe longitudinal, fonctionnant l'un en traction l'autre en propulsion.**  
 d) d'un pilotage automatique par GPS, enclenché par une simple pression sur un bouton situé sur le manche (push) et libéré en tirant sur ce même bouton (pull).

28) Un des matériaux ci-dessous n'est pas utilisé pour la réalisation d'une hélice d'avion léger ou ULM. Indiquez lequel :

- a) un alliage tungstène-céramique.**    b) le bois.  
 c) un alliage d'aluminium.    d) un composite à fibres de carbone.

29) Mettre une hélice en drapeau consiste à amener les pales dans une position telle que :

- a) l'angle de calage soit nul    b) l'angle d'incidence soit maximum.  
 c) le pas soit nul.    **d) l'angle de calage soit voisin de 90°**

30) Le rendement d'une hélice est défini par le rapport :

- a)  $\frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance absorbée}}$**     b)  $\frac{\text{puissance absorbée}}{\text{puissance utile}}$     c)  $\frac{\text{traction}}{\text{vitesse}}$     d)  $\frac{\text{puissance}}{\text{traction}}$

31) Une hélice à calage variable est utilisée de la façon suivante :

- a) grand pas au décollage, petit pas en croisière.  
**b) petit pas au décollage, grand pas en croisière.**  
 c) grand pas au décollage, drapeau en croisière.  
 d) petit pas au décollage, drapeau en croisière.

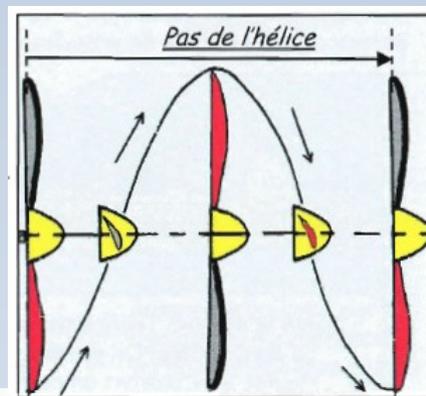
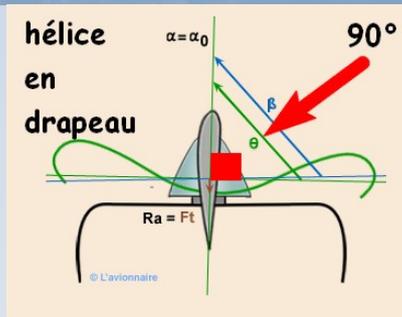
32) Lorsqu'un avion s'élève, la diminution de la densité de l'air aura tendance à :

- a) provoquer un givrage carburateur.    b) augmenter la puissance utile  
 c) appauvrir le mélange.    **d) enrichir le mélange.**

## Courant continu

Vapor lock :

problème causé par le changement d'état du carburant liquide en gaz alors qu'il est encore dans le circuit d'alimentation (pompe à carburant) La pompe de gavage sert à envoyer le carburant du réservoir vers le moteur.



33) Durant un cycle de fonctionnement d'un moteur à pistons, le seul temps qui produit de l'énergie mécanique utile pour la propulsion est :

- a) l'admission.      b) la compression.      c) l'échappement.

d) l'explosion-détente.

34) Dans un moteur 4 temps, lors de l'explosion (ou combustion) :

a) une des soupapes est fermée.

b) les soupapes sont ouvertes.

c) les soupapes sont fermées.

d) l'ouverture ou la fermeture des soupapes n'a pas d'importance.

35) Un turbopropulseur a pour rôle de :

a) compresser l'air admis dans les cylindres d'un moteur à pistons.

b) augmenter la pression aux injecteurs d'un moteur à pistons à injection.

c) entraîner une hélice.

d) servir de génératrice auxiliaire.

APU (Auxiliary Power Unit) pour grands avions à l'arrière

36) Dans un turboréacteur, l'air suit le trajet suivant :

a) tuyère, turbine, chambre de combustion, compresseur.

b) compresseur, chambre de combustion, turbine, tuyère.

c) turbine, compresseur, chambre de combustion, tuyère.

d) compresseur, tuyère, chambre de combustion, turbine.

37) La plupart des moteurs d'avions légers est équipée d'un système de double allumage qui a pour principal avantage :

a) d'améliorer la combustion et d'augmenter la sécurité en vol.

b) de diminuer l'usure des bougies.

c) de réduire la consommation de carburant.

d) de réguler la consommation électrique.

38) La composition idéale du mélange carburé air-essence correspond à une proportion de 1 gramme d'essence pour :

a) 17 g d'air.

b) 20 g d'air.

c) 15 g d'air.

d) 8 g d'air.

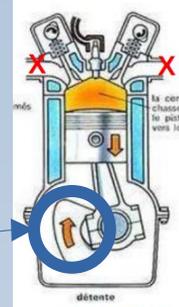
39) Dans un moteur à pistons, le vilebrequin :

a) sert à limiter la course du cylindre.

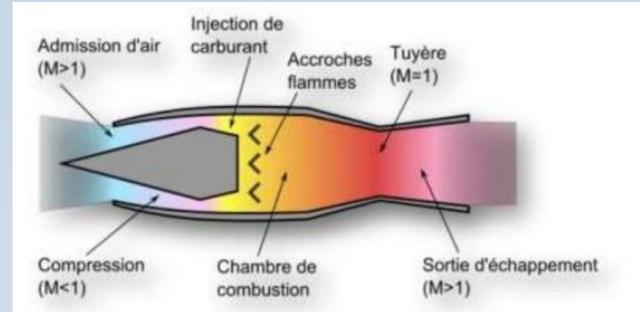
b) transmet le mouvement des soupapes aux bielles.

c) transmet le mouvement des pistons aux cylindres.

d) transmet le mouvement des pistons à l'arbre de l'hélice.



e 2.34. Explosion-détente : Produit l'énergie mécanique



# Questionnaire à choix multiples

## ÉPREUVE OBLIGATOIRE

<https://caea.annales-bia.fr/>

Durée de l'épreuve : 2 heures 30

Coefficient : 5

L'usage de tous documents personnels, des calculatrices électroniques et du dictionnaire est interdit.

### **Documents remis en début d'épreuve :**

➤ Dossier sujet :

Partie 1 : Météorologie et aérologie	page 2 à page 5
Partie 2 : Aérodynamique, aérostatique et principes du vol	page 6 à page 8
Partie 3 : Étude des aéronefs et des engins spatiaux	page 9 à page 12
Partie 4 : Navigation, réglementation, sécurité des vols	page 13 à page 15
Partie 5 : Histoire et culture de l'aéronautique et du spatial	page 16 à page 18
➤ Grille réponse	page 19

## ATTENTION

Ce sujet comporte **cinq parties**, chacune constituée d'un questionnaire à choix multiples (QCM) de vingt questions, soit cent questions pour la totalité du sujet.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Vous devez :

- composer sur la feuille de réponses fournie à cet effet dans le sujet (une feuille de réponses pour la totalité du sujet) ;
- renseigner le bandeau d'anonymat de la partie supérieure de la feuille de réponses ;
- rendre l'intégralité du sujet (questionnaires et feuille de réponses) en fin d'épreuve, même si aucune réponse n'a été apportée sur une ou plusieurs d'entre elles.

Consignes pour renseigner les grilles de QCM de la feuille de réponses :

- avec un stylo bille ou feutre, **griser** la case qui correspond à la réponse que vous considérez juste, **une seule réponse possible** ;

**Si plusieurs cases d'une même question sont marquées, totalement ou partiellement, la note de 0 sera automatiquement attribuée à cette question.**

<b>3.1</b>	<b>Tout appareil capable de s'élever et de circuler dans l'espace aérien :</b>
a)	est un aéronef.
b)	subit des forces aérodynamiques.
c)	possède obligatoirement un moteur.
d)	est piloté depuis l'intérieur de son cockpit.

<b>3.2</b>	<b>Quel type d'aéronef utilise le déplacement de son centre de gravité pour changer de trajectoire ?</b>
a)	avions et planeurs.
b)	paramoteurs et parapentes. ← <b>Tire sur les suspentes</b>
c)	deltaplans et pendulaires.
d)	hélicoptères et autogires.



Le Parapente



Parapente + moteur

La Classe 1 : Paramoteur

## Otto Lilienthal



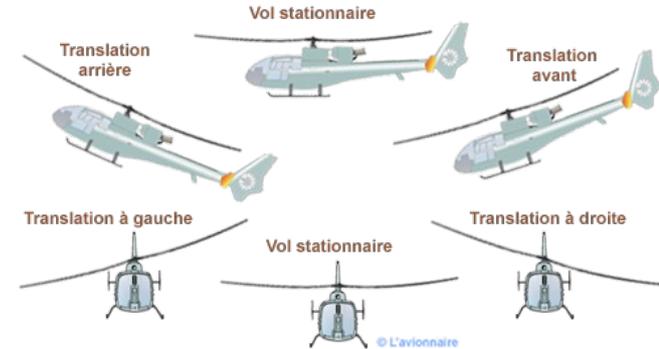
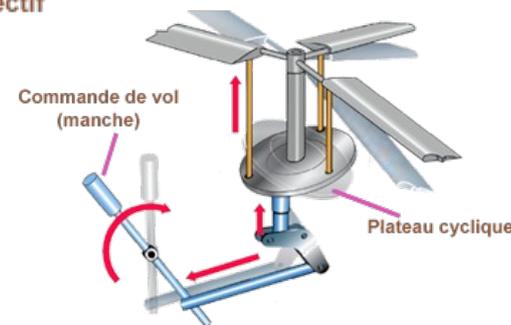
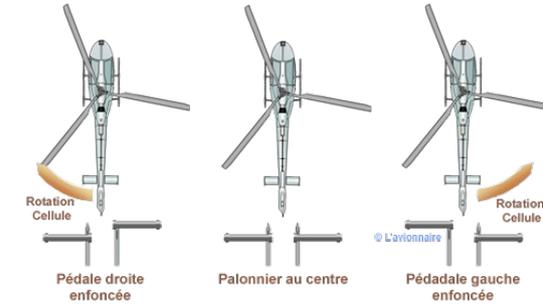
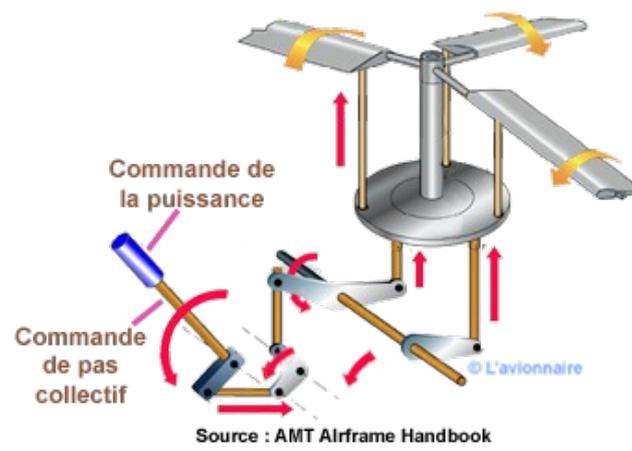
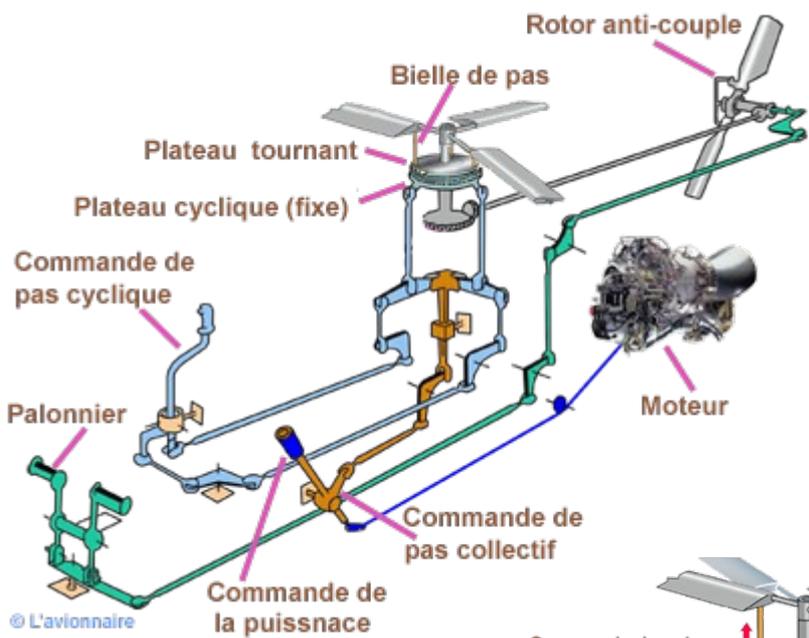
Deltaplane + moteur

La Classe 2 : Pendulaire



Le Deltaplane





<b>3.3</b>	<b>Le rotor anticouple des hélicoptères est contrôlé par :</b>
a)	les palonniers. —> Déplacement en lacet avec le rotor
b)	le levier du pas collectif. —> Manette de gauche qui permet de changer la portance pour monter ou descendre
c)	le levier du pas cyclique. —> Pencher l'hélicoptère en avant, en arrière, à gauche ou à droite
d)	la manette des gaz. —> Sur le levier du pas collectif



Le Ballon à air chaud

**3.4 Une montgolfière :**

- a) s'élève dans l'air car la masse volumique de l'air chaud est plus faible que celle de l'air froid.
- b) perd de l'altitude lorsque la température de l'air situé dans l'enveloppe augmente.
- c) fait partie de la catégorie des aérodynes.
- d) peut être dirigée à l'aide d'une gouverne de profondeur située sur la nacelle.

**2. Les Dirigeables**



A structure Souple ou Rigide

**3.5 Un aéronef qui, en croisière, voit son rotor entraîné par le vent relatif est :**

- a) un convertible.
- b) un girodyne.
- c) un hélicoptère.
- d) un autogyre.



**3.6 Un turbopropulseur :**

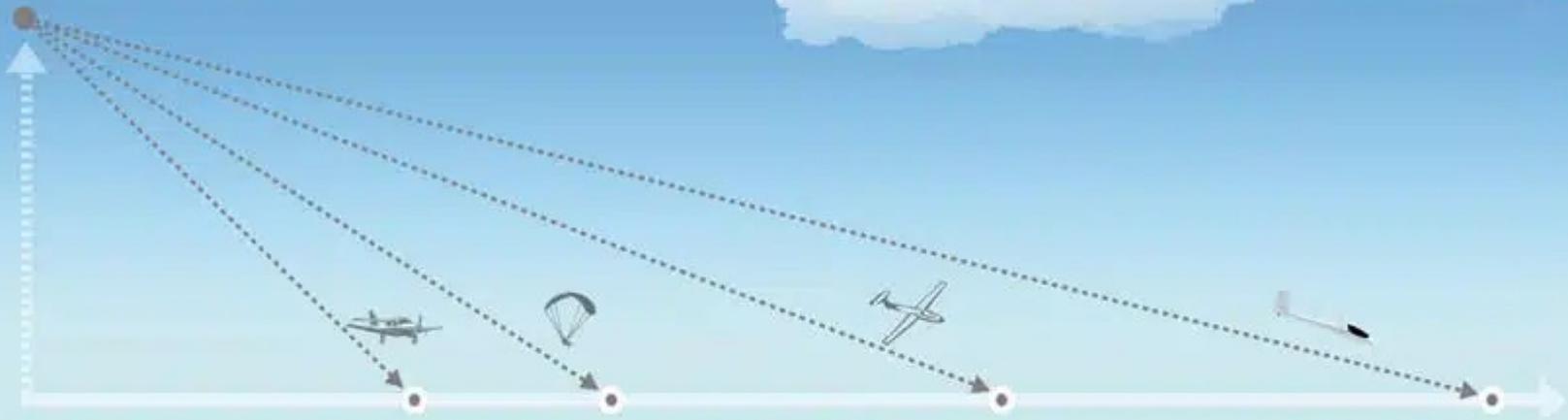
- a) est un pulsoréacteur précédé d'un réducteur et d'une hélice.
- b) est un statoréacteur précédé d'un réducteur et d'une hélice.
- c) est un moteur à pistons équipé d'un turbocompresseur.
- d) est un turboréacteur précédé d'un réducteur et d'une hélice.

**3.7 Si on la compare aux voilures d'un avion, la voilure des planeurs modernes se caractérise par :**

- a) une petite envergure.
- b) une très grande finesse.
- c) une grande épaisseur du profil.
- d) une très grande rigidité.



Hauteur de départ :  
1 000 mètres ( 1 Km )



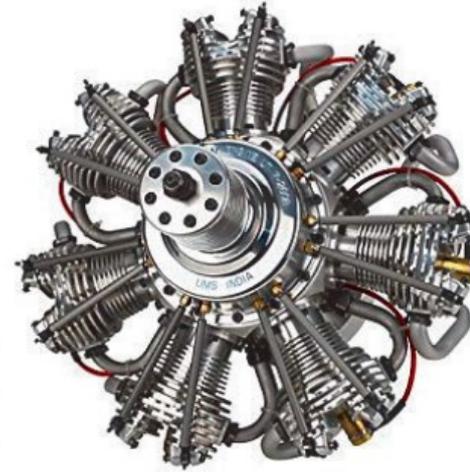
4 Km  
Avion  
finesse 4

8 Km  
Parapente  
finesse 8

30 Km  
Planeur d'entrainement  
finesse 30

60 Km  
Planeur de record  
finesse 60

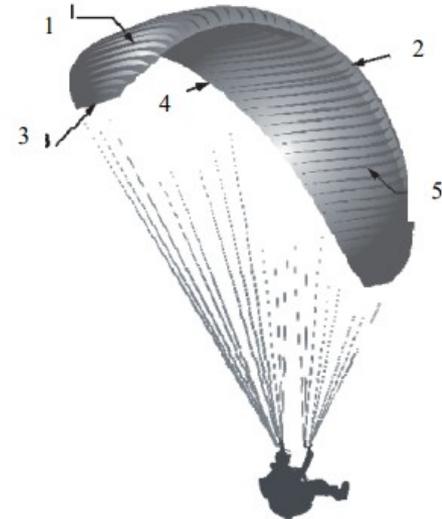
3.8 La disposition des cylindres de ce moteur est :



- a) en ligne.
- b) en V.
- c) en étoile.**
- d) à plat.

3.9 En considérant la figure ci-contre, les conditions correctes sont (associer les chiffres et les lettres) :

A : Bord d'attaque  
B : Bord de fuite  
C : Saumon d'aile  
D : Extrados



- a) A2, B4, C3, D1.**
- b) A2, B4, C1, D3.
- c) A4, B5, C2, D1.
- d) A4, B2, C3, D5.

parapente

<b>3.10</b>	<b>Dans une aile d'avion, les pièces se situant dans le sens longitudinal de l'aile et assurant la plus grande partie de la résistance sont :</b>
a)	les traverses.
b)	les longerons.
c)	les lisses.
d)	les raidisseurs.

<b>3.11</b>	<b>La plupart des moteurs d'avions légers sont équipés d'un système de double allumage qui a pour principal avantage :</b>
a)	de réguler la consommation électrique.
b)	de réduire la consommation de carburant.
c)	d'améliorer la combustion et d'augmenter la sécurité en vol.
d)	de diminuer l'usure des bougies.

<b>3.12</b>	<b>Un train classique est constitué de :</b>
a)	un train principal et une roulette de queue.
b)	un train principal et une roulette de nez.
c)	un train monorace et deux balancines.
d)	un diabolos avant et deux roulettes arrière.



Je m'ex



<https://engelaero.wordpress.com>

*E13/2013 E11/2006*

Sur un avion de ligne, la pressurisation a pour principale fonction :

- a) d'assurer à l'intérieur de la cabine, une pression ambiante compatible avec la physiologie de l'homme.
- b) d'assurer la puissance nécessaire à la manœuvre des commandes de vol et du train d'atterrissage.
- c) d'alimenter les masque à oxygène.
- d) à gonfler les canots de secours.



*E14/2013*

Les zones de givrage sur l'aile d'un avion se situent essentiellement en premier lieu sur :

- a) l'extrados et le bord d'attaque
- b) l'intrados et le bord d'attaque.
- c) l'extrados et le bord de fuite.
- d) l'intrados et le bord de fuite

*E17/2016*

Le fluide d'un circuit hydraulique :

- a) est de l'eau utilisable sous basse pression et à une température supérieure à 0°C
- b) est difficilement utilisable sur avion du fait de sa compressibilité
- c) n'est utilisé qu'au-delà de 0°C pour actionner les freins et les vérins des trains escamotables
- d) est utilisé sous pression pour actionner des commandes

## Partie 4 : Les Instruments de bord



**Anémomètre  
ou Badin**  
Donne  
la vitesse  
En nœuds  
(knot)

1kt = 1Nm/h  
1Nm  
(Miles Nautique)  
= 1,852 km

**Indicateur de  
virage avec bille**

- Les instruments de **contrôle** (pressions, températures, charges, moteur)
- Les instruments de **navigation** (Radio, GPS, VOR-ILS, ADF).

Nous détaillerons chacun de ces instruments par la suite.



**Horizon  
artificiel**

**Conservateur  
FigDe cap**

**Altimètre**  
En ft (pied)  
1ft = 0,3 m

**Variomètre**  
Vitesse  
verticale  
ft/min

Chaque avion à un tableau de bord spécifique, pourtant on y retrouve certains instruments que l'on peut classer en trois grandes familles :

- Les instruments de **conduite** (altimètre, variomètre, anémomètre, horizon artificiel, conservateur de cap, indicateur de virage) dont la disposition est toujours la même. On appelle cette disposition le **T Basique**.

**T standard**

## Partie 4 : Les Instruments de bord



Chaque avion à un tableau de bord spécifique, pourtant on y retrouve certains instruments que l'on peut classer en trois grandes familles :

- Les instruments de **conduite** (altimètre, variomètre, anémomètre, horizon artificiel, conservateur de cap, indicateur de virage) dont la disposition est toujours la même. On appelle cette disposition le **T Basique**.



Figure 2.45.

- Les instruments de **contrôle** (pressions, températures, charges, moteur)
- Les instruments de **navigation** (Radio, GPS, VOR-ILS, ADF).

Nous détaillerons chacun de ces instruments par la suite.

**T** standard

On retrouve sur tous les appareils une « norme » de couleur :

- Le blanc pour les utilisations particulières
- Le vert pour les utilisations normales
- Le jaune pour les utilisations avec précautions
- Le rouge pour les utilisations interdites

E37

## I. Les instruments barométriques

### A. L'Anémomètre (Airspeed Indicator) ou Badin

#### 1) Présentation

L'appareil indique la vitesse de l'avion par rapport à l'air. Il peut être gradué en nœud **kt** ou en **km/h**. (1kt = 1,852 km/h). Il possède un trait rouge ainsi que trois arcs colorés qui correspondent à des vitesses caractéristiques :

**Vitesse de décrochage : en-dessous de cette vitesse l'avion « tombe »**

**Arc blanc** : Zone d'utilisation des volets, allant de la vitesse de décrochage volets sortis à la vitesse maximale d'utilisation des volets (**VFE** : Velocity Flaps Extended).

**Vitesse à ne pas dépasser pour sortir les volets**

**Arc vert** : Vitesse normale d'utilisation sans volet, allant de la vitesse de décrochage en lisse à la vitesse à ne pas dépasser lors de mauvaises conditions atmosphériques (**VNO** : Velocity Normal Operating).

**Vitesse à ne pas dépasser en cas de turbulences**

**Arc jaune** : Zone interdite lors de mauvaises conditions atmosphériques.

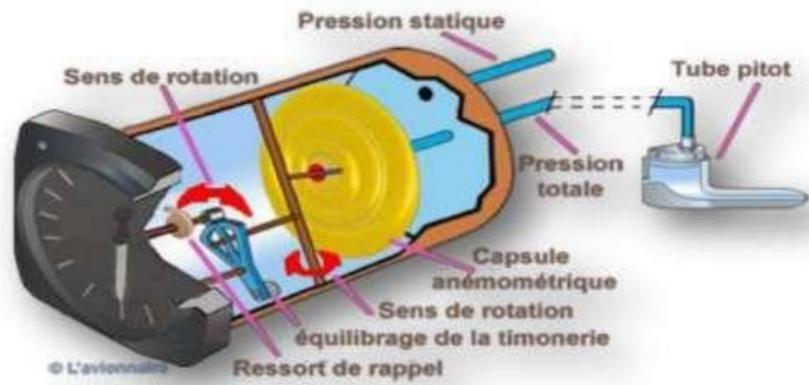
**Trait rouge** : Vitesse à ne jamais dépasser (**VNE** : Velocity Never Exceed)



Si « l'air est calme »

Vitesse max de sortie des volets

## 2) Principe de fonctionnement

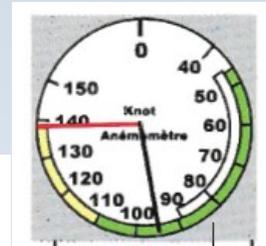
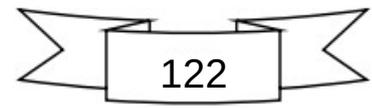


Il mesure la différence entre la pression totale  $P_t$  et la pression statique  $P_s$  et la convertit en vitesse.

Figure 2.47.

L'anémomètre donne une vitesse indiquée, qui diffère de la vitesse vraie selon l'adage « plus haut, plus chaud : plus vite ».

123



95kt ≈ 180km/h

Anémomètre

## 2) Principe de fonctionnement

BADIN

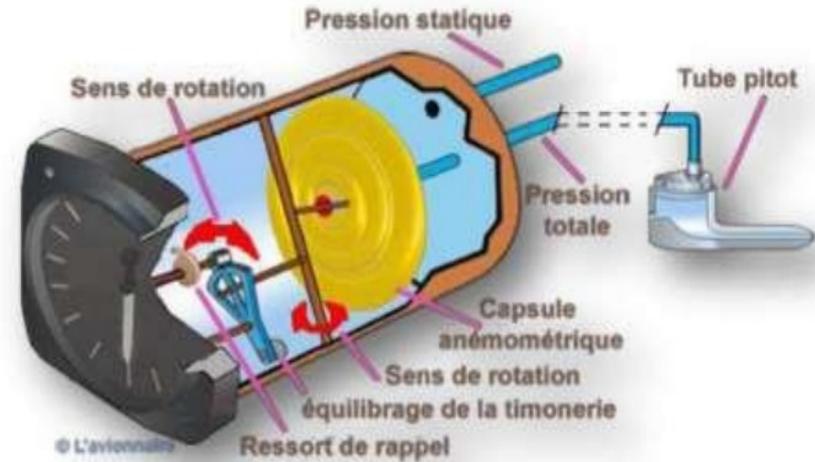


Figure 2.47.

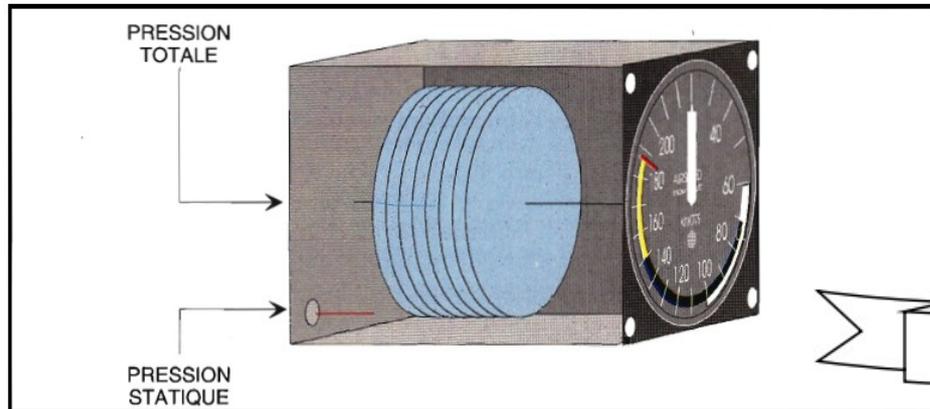
Il mesure la différence entre la pression totale  $P_t$  et la pression statique  $P_s$  et la convertit en vitesse.

$$P_{\text{totale}} = P_{\text{dynamique}} + P_{\text{statique}}$$

Donne la vitesse

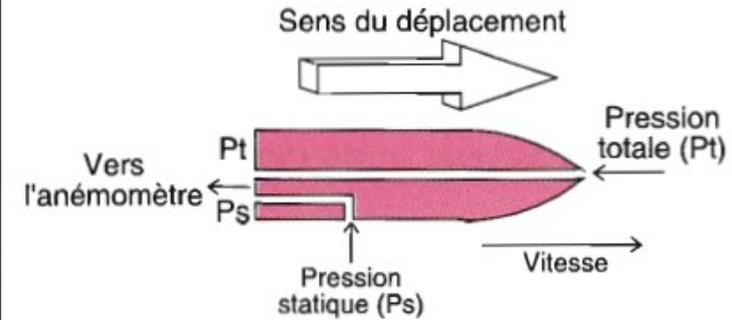


L'anémomètre donne une vitesse indiquée, qui diffère de la vitesse vraie selon l'adage « plus haut, plus chaud : plus vite ».



Plus l'avion monte  
Moins l'air est dense.

123



PRISE D'AIR POUR ANÉMOMÈTRE (PITOT)

## B. L'Altimètre (Altimeter)

### 1) Présentation

L'altimètre indique l'altitude en pieds ou en mètres (1ft ≈ 0,3 m).



Petite aiguille sur 0  
Grande 2,5  
 $02,5 \times 100 = 250 \text{ ft}$

Pression en  
HectoPascal hpa

Figure 2.48.

≈620 ft

E38

Petite aiguille	Grande aiguille	
0	2,5	x 100

C'est un instrument barométrique. Il indique l'altitude de l'avion par rapport à une référence choisie (cf ci-dessous)

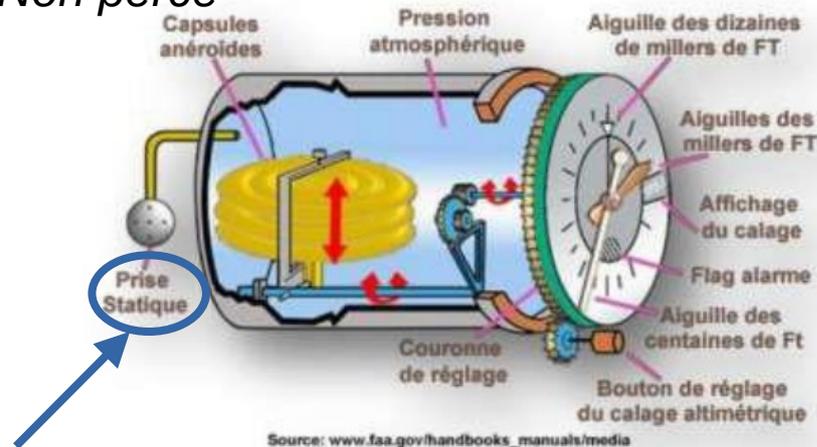
La petite aiguille indique les milliers de ft, la grande aiguille indique les centaines de ft.

## 2) Principe de fonctionnement

La pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude augmente. Pour des altitudes pas trop élevées, une variation de 1hPa correspond à une variation de 28 ft soit 8,5 m.

Par simple mesure de la pression atmosphérique, on peut donc déduire l'altitude de l'avion.

*Non percé*



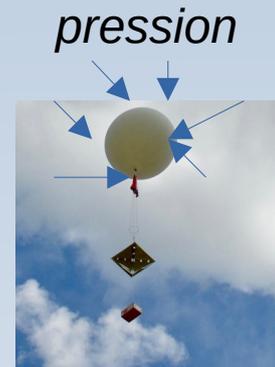
Source: [www.fsa.gov/handbooks\\_manuals/media](http://www.fsa.gov/handbooks_manuals/media)

Figure 2.49.

*Surestimé quand il fait froid (montagne)*

# On perd 1 hpa tous les 28 ft

*Ballon sonde gonfle puis explose en altitude*



## 3) Les différentes références altimétriques

**Le niveau de la mer (calage QNH)** : l'altimètre indique une **altitude**.

Le plus utilisé pour avions légers

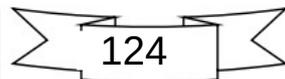
**La piste (calage QFE)** : l'altimètre indique une **hauteur** par rapport à l'aérodrome.

Surtout pour la voltige

**La pression 1013,25 hPa (calage standard ou QNE)** : l'altimètre indique un **niveau de vol (FL)**.

Pour les longues distances (avion de ligne)

**Flight Level, exemple FL 150 = 15000 ft**



## C. Le Variomètre (Vertical Speed Indicator)

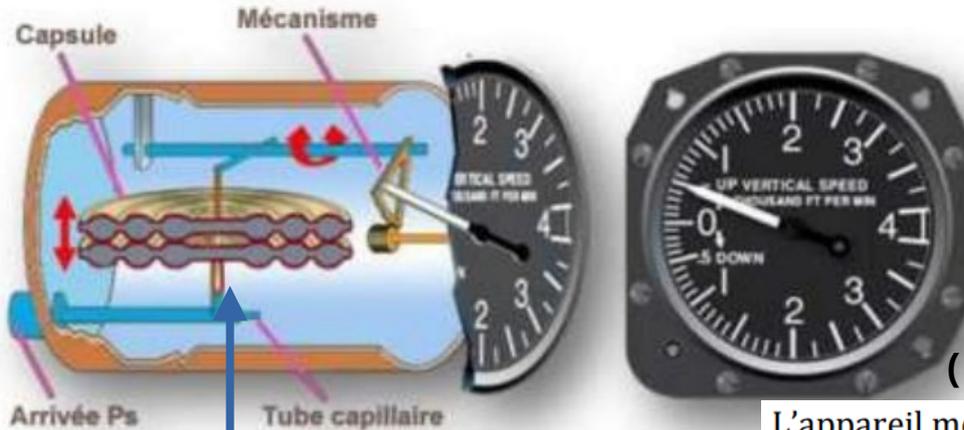
## 2) Principe de fonctionnement

### 1) Présentation

### Vitesse verticale

Le variomètre est aussi un instrument barométrique qui mesure une vitesse verticale de montée ou de descente.

Il est gradué en **ft/min** ou parfois en **m/s** ( $1\text{m/s} = 200\text{ft/min}$ ).



Source: [www.faa.gov/handbooks\\_manuals/media](http://www.faa.gov/handbooks_manuals/media)

Figure 2.50.

« ballon percé »  
Se dégonfle si on monte vite avec un décalage compris entre 3 et 5 secondes

Ne pas confondre position de l'avion et sens de descente ou montée)

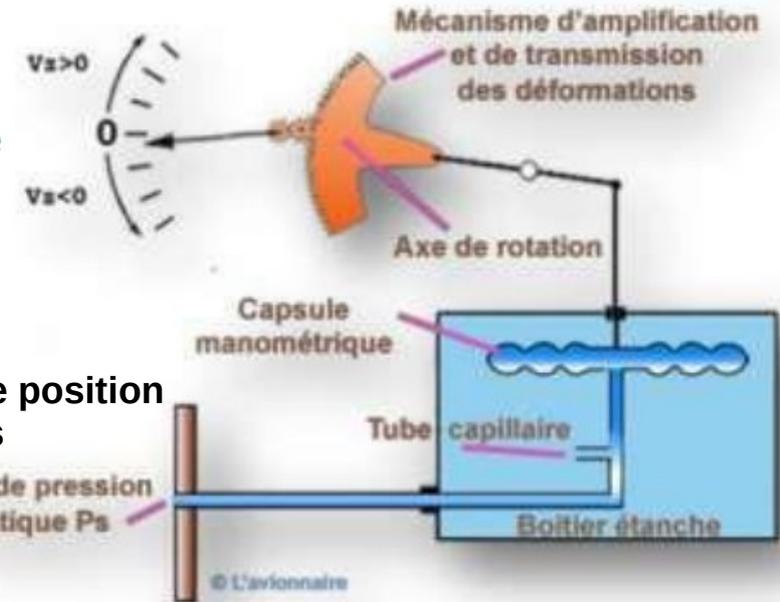
( éviter de descendre trop vite pour ne pas abîmer les tympans

L'appareil mesure la différence entre la pression atmosphérique et la pression de l'air à l'intérieur d'une capsule.

En vol horizontal (palier), les pressions sont équilibrées et l'aiguille indique zéro.

L'avion monte, la pression atmosphérique diminue, mais comme la pression à l'intérieur de la capsule met un temps à s'équilibrer on peut mesurer cette différence de pression.

Le variomètre est utile au pilotage pour déterminer soit une vitesse ascensionnelle  $V_z$  supérieure à 0, soit un taux de descente  $V_z$  inférieure à 0, il est possible de l'utiliser également pour contrôler le vol en palier, même si cela est très difficile du fait du temps de réponse important.



## II. Les instruments gyroscopiques

E35

### A. L'indicateur de virage (Turn and Slip Indicator)

#### 1) Présentation Virage court ou serré ?

Il est souvent associé à la bille et indique le sens si le virage est un virage taux 1 (360° en 2 minutes). Ceci est valable uniquement si la bille est maintenue au centre (symétrie du vol maintenue).



Figure 2.52.

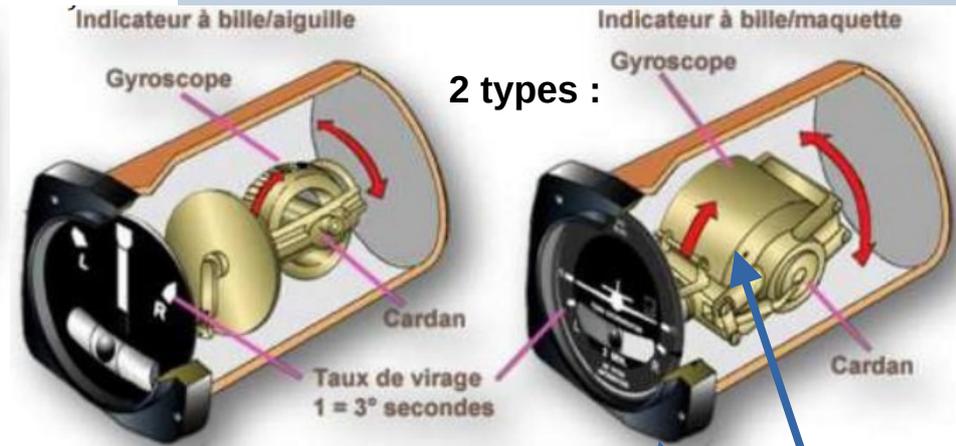
#### 2) Principe de fonctionnement

L'indicateur de virage indique le sens et le taux du virage. Associé à un gyroscope, comme une toupie, il reste stable un certain temps dans l'espace.

Exemple : Pour un virage effectué au taux 1, l'avion tourne de 180° en 1 min (3° par seconde)

1 tour en 2 min  
Donc 180° en 1 min

Gyroscope Roue qui tourne en permanence  
2 types :  
- tourne avec l'air (pneumatique, pompe à vide)  
- électrique



Source: [www.faa.gov/handbooks\\_manuals/media](http://www.faa.gov/handbooks_manuals/media)

Figure 2.53.

Reste fixe

Mobile

## B. La Bille

E35

### 1) Présentation

**Bille dans un liquide  
(fil dans un planeur)**

Elle ne fait partie ni des instruments barométriques, ni des instruments gyroscopiques mais se trouve associée à l'indicateur de virage.

**Permet de savoir si le virage est symétrique (je suis attiré vers le « sol » de l'avion) et non pas glissé ou dérapé**

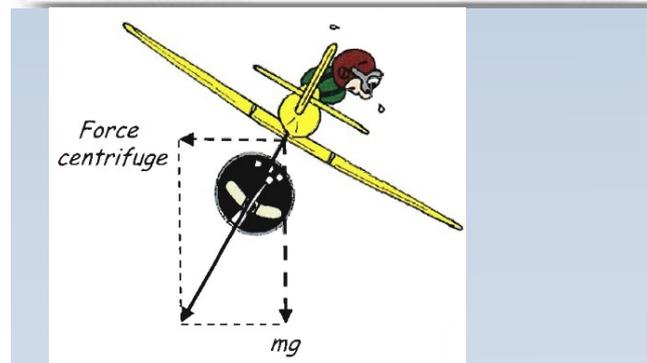
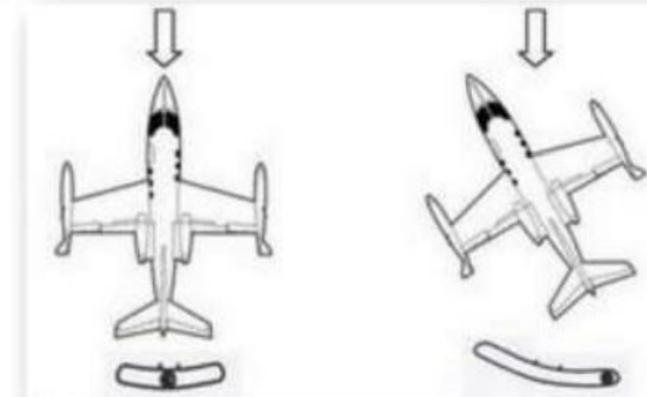
Par effet inertiel, elle renseigne le pilote sur la symétrie du vol. Pouvant être associée à un brin de laine sur la verrière, un pendule dans l'habitacle, elle permet de voir si l'axe de l'avion est parallèle au vent relatif.

### 2) Principe de fonctionnement

De par sa masse, la bille est constamment soumise aux forces résultantes des accélérations subies par l'avion dans le plan transversal. Le tube, étant lié à l'avion, la bille, agissant comme un pendule, indiquera la direction de la verticale apparente, qui se situe dans le plan de symétrie de l'avion en l'absence de force aérodynamique latérale).



Figure 2.54.



On dit que « le pied chasse la bille », c'est-à-dire qu'il faut pousser le palonnier côté bille pour annuler le dérapage.

Voici quelques indications particulières affichées aux instruments au cours de certaines configurations de vol. Dans le cas présent, je suis en montée à droite.

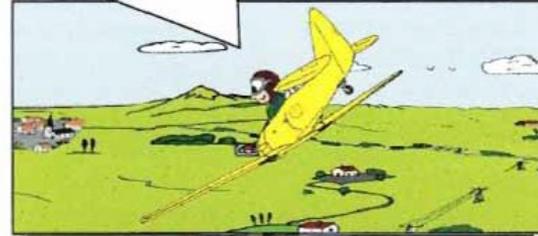


Horizon  
artificiel

Bille  
aiguille

Variomètre

Ici, je me trouve en descente et en virage à gauche. Le vol est toujours symétrique (bille au centre du tube).

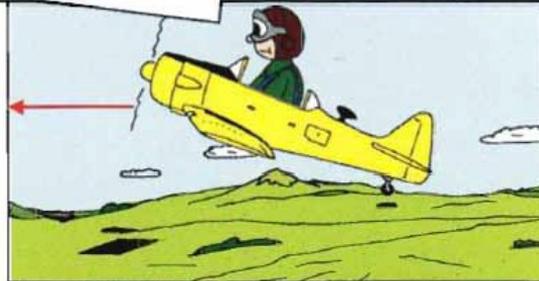


Horizon  
artificiel

Bille  
aiguille

Variomètre

Vol en palier à grande incidence, sans monter ni descendre.

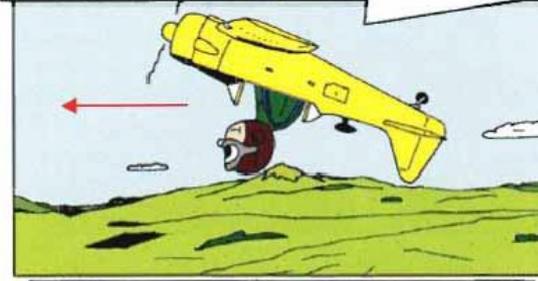


Horizon  
artificiel

Bille  
aiguille

Variomètre

En vol inversé (vol dos), sans monter ni descendre.



Horizon  
artificiel

Bille  
aiguille

Variomètre

## C. L'horizon artificiel (Artificial Horizon ou Attitude Indicator)

### 1) Présentation

Il permet de restituer au pilote la position de « l'horizon naturel » lorsque celui-ci n'est pas visible : vol de nuit, trop de nuage, altitude importante...

Le pilote voit alors l'assiette et l'inclinaison de l'avion.

E34

Ciel  
**Inclinaison(roulis)**



Il est constitué d'une :

- Maquette centrale qui représente un avion
- Sphère intérieure sur laquelle figure la ligne d'horizon en blanc, le ciel en bleu et la terre en marron.
- Couronne des valeurs d'inclinaison (10°, 20°, 30° ...)

Terre

**Roulis et tangage**

Figure 2.56.

Ici nez en-dessous  
de l'horizon  
assiette à piquer

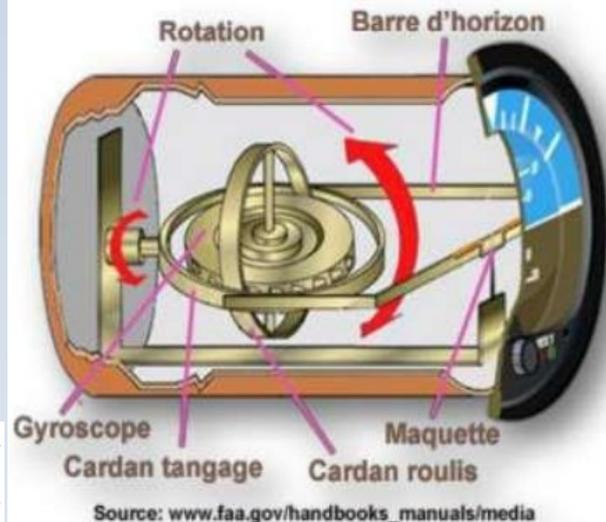
**2G**  
(sensation de peser 2 fois plus lourd)

### 2) Principe de fonctionnement

Lors d'un mouvement de l'avion, c'est l'ensemble avion-maquette qui se déplace autour de la sphère et de la couronne, ces dernières étant rendues fixes dans l'espace, par la toupie d'un gyroscope dont l'axe de rotation est maintenu à la verticale.

Figure 2.57.

## Gyroscope à deux mouvements



## D. Le conservateur de cap ou directionnel (Heading Indicator ou Directional Gyro Indicator DGI)

« là où je veux aller »

**Efficace sur les virages**

### 1) Présentation

Il donne aussi le cap magnétique mais permet d'éviter les erreurs du compas

(Masses métalliques proches, virages, atmosphère turbulent, accélérations, ...)



Figure 2.58.

### 2) Principe de fonctionnement

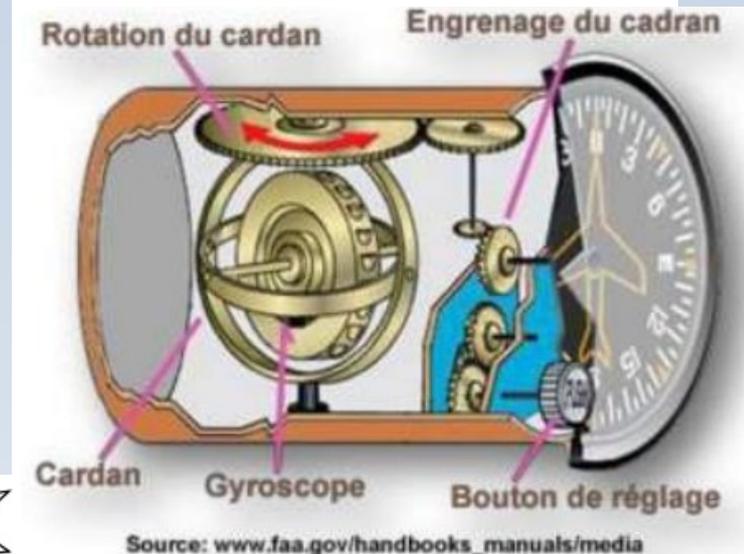
C'est un instrument gyroscopique à 2 ddl qui permet de conserver une direction fixe dans l'espace et donc de s'orienter. Il est stable et précis sur un temps « court ».

**E36**

Cependant, au bout d'un certain temps, le gyroscope du directionnel peut perdre sa référence d'orientation, du fait de la rotation de la Terre et du déplacement de l'avion.

Cela oblige donc à se recalibrer sur la référence du compas, tous les quarts d'heure à l'aide de la molette.

Cette opération se fait en ligne droite et à vitesse constante.



Source: [www.faa.gov/handbooks\\_manuals/media](http://www.faa.gov/handbooks_manuals/media)

## E. Le compas (Magnetic Compass) (Instrument non gyroscopique)

### 1) Présentation

Il s'agit d'une boussole qui permet de mesurer l'orientation de l'avion par rapport au Nord magnétique (cap magnétique).



Une graduation de 0 à 360 degrés tourne devant une ligne de foi figurant l'axe de l'avion, ce qui permet au pilote de savoir le cap magnétique suivi.

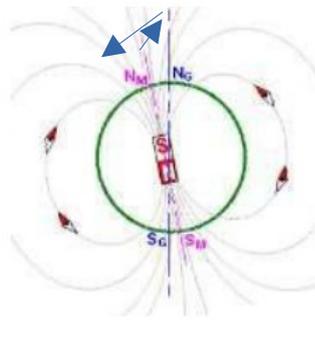
Il indique en permanence la direction du Nord magnétique, quelle que soit la route suivie par l'avion.

Figure 2.60.

Remarques :

- L'angle séparant l'axe passant par le nord magnétique et celui passant par le nord géographique s'appelle la **déclinaison**.

- Celui que fait l'aiguille du compas par rapport à l'horizontale s'appelle l'**inclinaison**. (En France, aux alentours de 50° N de latitude, l'inclinaison est d'environ 65°).



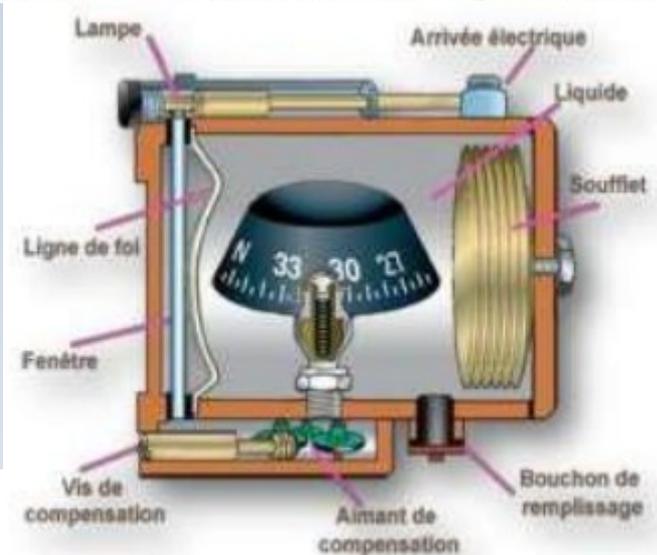
### 2) Principe de fonctionnement

Il se compose d'un plateau circulaire gradué en degré, associé à un aimant orienté sur l'axe Nord-sud.

L'ensemble est posé sur un pivot et baigne dans un liquide amortisseur qui limite les oscillations.

Certaines directions particulières sont repérées par des lettres : N (nord) 360°, E (est) 90°, S (sud) 180°, W (ouest) 270°.

Le compas est très sensible aux accélérations de l'avion (virage, turbulence, ...) mais ne dérive pas dans le temps.



## Différence entre le Nord magnétique et le Nord géographique

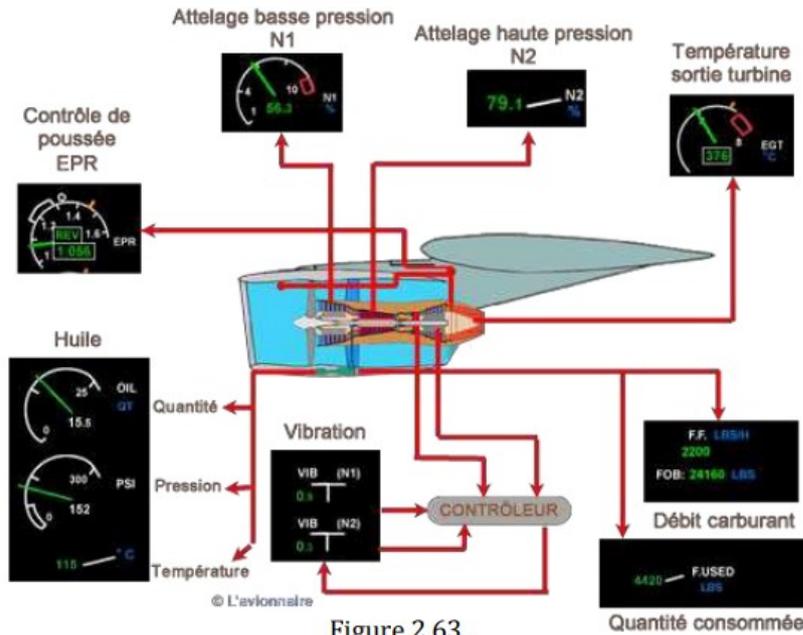
### III. Les autres instruments

### C. Les EFIS (Electronic Flight Information Systems)

#### A. Les instruments de radionavigation

Voir le chapitre 4, partie 3

#### B. Les instruments de contrôle



Un écran avec plusieurs infos...

Huile, carburant,...

## Pour s'entraîner

40) Sur le cadran de l'anémomètre, la vitesse de décrochage en configuration atterrissage  $V_{s0}$ , est représentée par :

a) le début de l'arc vert.  b) le début de l'arc blanc.   
 c) le début de l'arc jaune.  d) un trait rouge.

41) Un variomètre permet de mesurer :

- a) la vitesse propre de l'avion.  b) l'altitude de l'avion.   
 c) la vitesse verticale de l'avion.  d) l'orientation de la trajectoire de l'avion.

42) Parmi ces instruments, indiquez lequel n'a pas besoin d'être réglé par le pilote avant décollage :

- a) l'altimètre.  b) l'indicateur de virage.   
 c) le conservateur de cap (ou directionnel).  d) aucune des propositions n'est exacte.

43) Une prise de pression statique obstruée :

- a) entraîne des indications fausses du variomètre et de l'altimètre.   
 b) perturbe l'indication de l'horizon artificiel.   
 c) perturbe l'indication du conservateur de caps (directionnel).   
 d) est sans effet.

44) L'un de ces instruments de bord n'utilise pas de gyroscope pour son fonctionnement. Il s'agit :

- a) de l'indicateur de virage.  b) de l'horizon artificiel.   
 c) du conservateur de cap.  d) du compas magnétique.

45) L'anémomètre est un instrument essentiel :

- a) pour la navigation malgré l'erreur due à la variation de densité de l'air en altitude   
 b) pour le vol aux basses vitesses car son information peut éviter au pilote de faire décrocher son avion   
 c) au décollage pour savoir quand l'appareil est capable de s'élever   
 d) toutes les propositions ci-dessus sont exactes

