

# **Chapitre 1 :**

# **ETUDE DES AERONEFS ET DES ENGINS SPATIAUX**



# AÉRONEF

## AÉRODYNÉ

« Plus-lourd-que-l'air »

## AÉROSTAT

« Plus-léger-que-l'air »

### Motorisé

Fusée

Voiture Fixe

Voiture tournante

### Non-Motorisé

Lanceur

Missile



Avion

Deltaplane

Paramoteur

Planeur

Hélicoptère

Autogyre

Gyrodyne



Convertible



Planeur



Parapente



Deltaplane

### Motorisé = Dirigeable

Rigide

Semi-Rigide

Souple



Dirigeable

### Non-Motorisés = Ballon

Ballon libre

Ballon Captif



Montgolfière



# Les aéronefs



Image : ULM Autogire

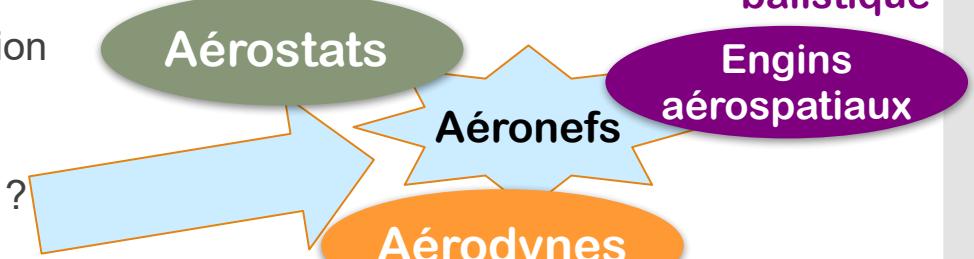


- C'est quoi un aéronef ?
  - Aéronef = *Aircraft*
  - Moyen de transport capable d'évoluer dans l'atmosphère terrestre
  
- Classification
  - 1) 3 principes de vol  
→ 3 catégories dans la classification des aéronefs
  - 2) Motorisé ou non ?
  - 3) Léger ou non ?  
Autre particularité ? (giraviation...)
  
- Étude détaillée
  - Dans l'ordre « d'apparition »
  - Voir briefings suivants



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

## Principe de la flottabilité



## Principe aérodynamique

- 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



## Principe de la balistique



- Lanceurs spatiaux
- Fusées
- Missiles
- Modèles réduits



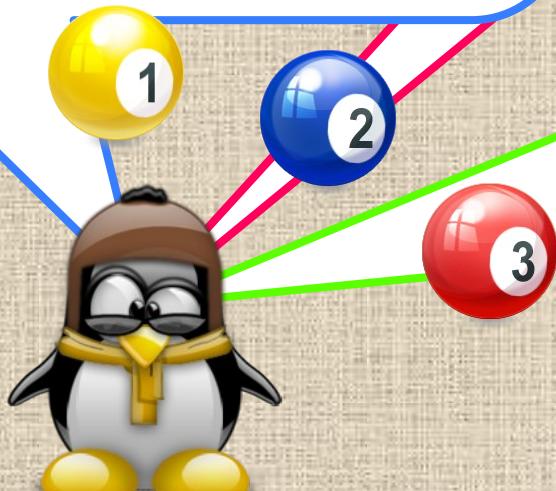
Je m'exer...  
1



E01/2015

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



<https://engelaero.wordpress.com>

A48/2011b

"A power-driven heavier than an aircraft, deriving its lift in flight chiefly from aerodynamic reactions on surface which remain fixed under given conditions of flight".

The precedent text (from ICAO) defined :

- a) a glider
- b) an aeroplane
- c) a kite
- d) a gyropter

E05/2018

Quelle est la mauvaise classification ?

- a) aérodynes non motorisés : deltaplanes, planeurs.
- b) aérostat : parachutes, ballons, dirigeables.
- c) engins aerospatiaux : lanceurs, fusées.
- d) engins spatiaux : satellites, sondes.

aérodyne



Je  
m'ex

2



E03/2013

Un ballon à air chaud ou montgolfière est un :

- a) aérophage
- b) aérostat
- c) aéroplane
- d) aérodyne



4

5

6

A12/2019

Le terme anglais « airship » désigne principalement :

- a) tout type d'aéronef
- b) les planeurs
- c) les ballons dirigeables
- d) les avions gros porteurs

E03/2009 (→ voir aussi : E09/2004)

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



Je  
n'ex

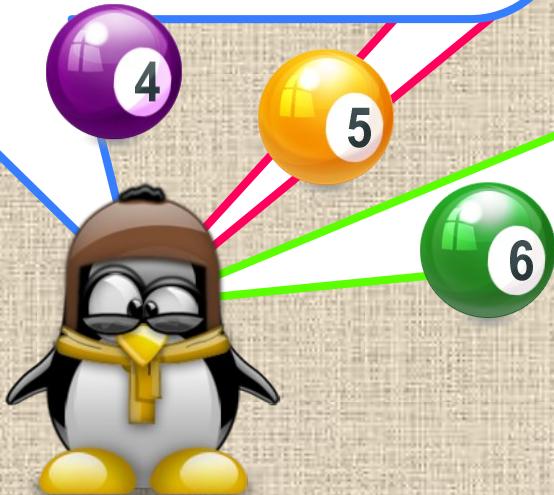
2



P19/2020

Le déplacement horizontale d'une montgolfière :

- a) au gré des vents
- b) grâce à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe
- c) grâce à la poussée d'Archimède
- d) en agissant sur la soupape qui bouche le sommet de l'enveloppe



Un ballon mixte (à gaz et à air chaud) non motorisé, tel que le « Breitling Orbiter 3 » qui a fait le premier tour du monde sans escale en mars 1999 est aussi appelé :

- a) montgolfière
- b) charlière
- c) rozière
- d) dirigeable

E02/2019

La soupape qui permet l'évacuation de l'air chaud pour faire descendre un ballon est placée :

- a) sur la première couronne.
- b) sur la deuxième couronne.
- c) à la base de l'enveloppe.
- d) au sommet de l'enveloppe.



je

m'ex

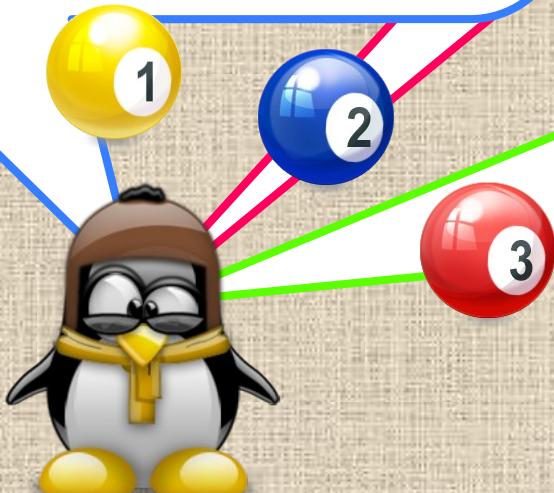


<https://engelaero.wordpress.com>

E02/2015

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



P04/2017

Si en vol la température extérieure augmente fortement, la portance :

- a) augmente fortement.
- b) reste constante.
- c) augmente faiblement.
- d) diminue.

P18/2017

En cas d'élévation de température extérieure,  
la force ascensionnelle d'un aérostat :

- a) n'évolue pas.
- b) augmente.
- c) diminue.
- d) dépend exclusivement du vent.



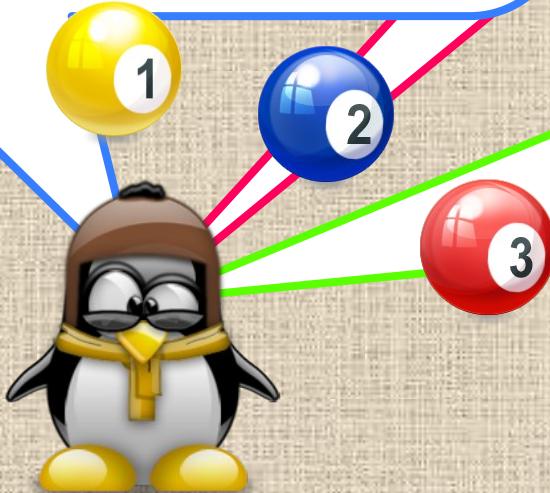
Je m'exer<sup>ce</sup> à



N17/2017

Dans un planeur, le parachute est :

- a) obligatoire pour tous les occupants.
- b) obligatoire uniquement pour le pilote.
- c) n'est pas obligatoire.
- d) obligatoire uniquement en compétition.



A12/2016

Choose the good proposition for « glider » :

- a) c'est un dispositif permettant d'empêcher le givrage du carburateur.
- b) c'est un dispositif d'atterrisseage aux instruments.
- c) c'est une commande de vol
- d) c'est un planeur.

E02/2012

Un ballast d'eau (water ballast) :

- a) est une poche d'eau, placée dans la cloison pare-feu des petits avions de tourisme pour limiter la progression d'un début d'incendie.
- b) est un équipement de toilettes compact spécialement destiné à l'aviation légère.
- c) est un réservoir permettant d'emporter de l'eau sur certains planeurs afin d'augmenter leur vitesse dans certaines phases de vol.
- d) est un système de délestage des flotteurs améliorant le décollage des hydravions.



Je  
m'ex

2



(> voir aussi : N08/2007 N07/2007  
N73/PIG)

Le port du parachute individuel en planeur non équipé d'un motopropulseur :

- a) est facultatif.
- b) est obligatoire selon du type de planeur.
- c) est toujours obligatoire
- d) n'est obligatoire que pour le vol en montagne.



A10/2015

Choose the good proposition for a glider :

- a) c'est un dispositif d'atterrisseage aux instruments
- b) c'est un homme volant
- c) c'est un planeur
- d) c'est un dispositif permettant d'empêcher le givrage du carburateur

F5(Vol à voile)03/2015

Parmi les propositions suivantes concernant les moyens de lancement, laquelle est correcte ?

- a) L'avion remorqueur ne peut larguer le planeur qu'à la verticale de l'aérodrome
- b) Le remorquage par avion est moins cher et plus écologique que le treuillage
- c) Le treuillage est un moyen de lancement plus rapide et économique que le remorquage par avion
- d) Le treuil génère plus de nuisances sonores pour les riverains que l'avion remorqueur



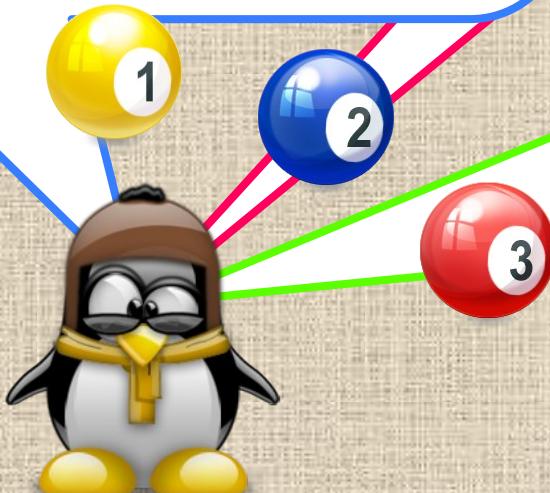
Je m'exer<sup>ce</sup> à



E04/2015

Un appareil semi-rigide qui se pilote par déplacement de la position du pilote est :

- a) un parachute
- b) un ballon à gaz
- c) un ballon à air chaud
- d) un deltaplane



A20/2019

Pour des parachutistes, le terme anglais « drop zone » signifie :

- a) la zone d'atterrissage des parachutistes.
- b) l'endroit où il ne faut pas se poser.
- c) l'atelier de pliage des parachutages.
- d) la zone de poser de l'avion largueur.

E03/2019

Sur un parapente, la liaison entre les élévateurs et l'aile s'appelle :

- a) des ficelles
- b) des suspentes.
- c) des lignes.
- d) des cordelettes.



Je  
m'ex

2



E11/2016 (→ voir aussi : F6(Vol libre)04/2015)

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



A12/2018

Un deltaplane est appelé en anglais :

- a) Hang-glider.
- b) Glider
- c) Paraglider.
- d) Glider-plane.

E02/2007

Les commandes principales permettant de diriger l'aile parapente et de contrôler son incidence sont :

- a) les aérofreins.
- b) les freins.
- c) la sellette.
- d) les élevons.



Je

3 n'ex

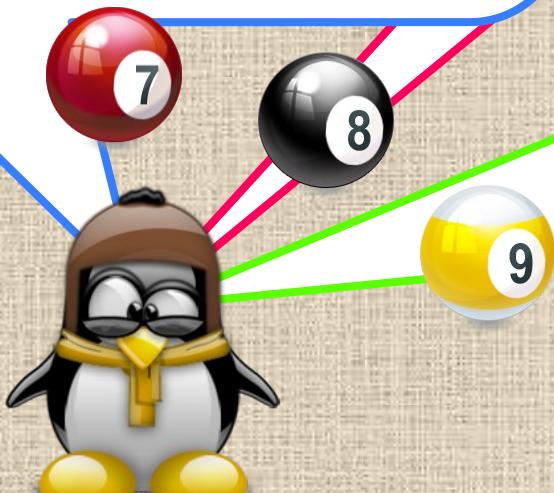


E07/2008

Un parapente est constitué :

- a) d'une voile souple.
- b) de suspentes.
- c) d'une sellette de pilotage.

d) les trois propositions ci-dessus sont exactes.



F6(Vol libre)20/2015

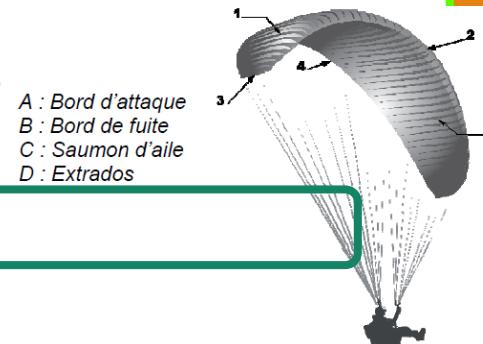
Le speedriding est une activité récente de vol libre qui se pratique principalement à :

- a) ski alpin, en aile delta
- b) ski nautique, avec une aile delta
- c) ski alpin, avec des ailes de parapente de très petites tailles
- d) ski nautique, avec des ailes de kitesurf modifiées

E07/2016, F6(Vol libre)01/2015

En considérant la figure ci-dessous, les combinaisons correctes sont :

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



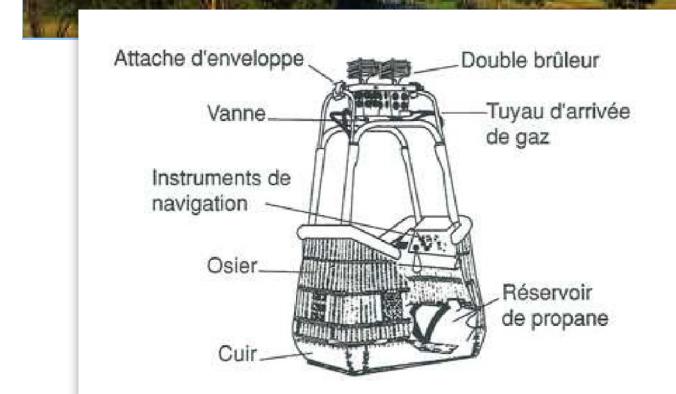


# Ballons et dirigeables



- Classification des aérostats
  - Ballon à air chaud : **montgolfière** *hot air balloon*
  - Ballon à gaz : **charlière**
  - Ballon mixte : **rozière**  
exemple : le « Breitling Orbiter 3 » dans lequel Bertrand Piccard et Brian Jones ont fait le tour du monde sans escale en mars 1999
  - Aérostat motorisé : **dirigeable** *airship*

- Description de la montgolfière
  - **Lest** : sacs de sable = accélérer montée ou ralentir descente
  - **Soupape** (sommittale) : pour faire le contraire
  - **Panneau de déchirure** : pour une descente rapide





# Parachutisme et vol libre

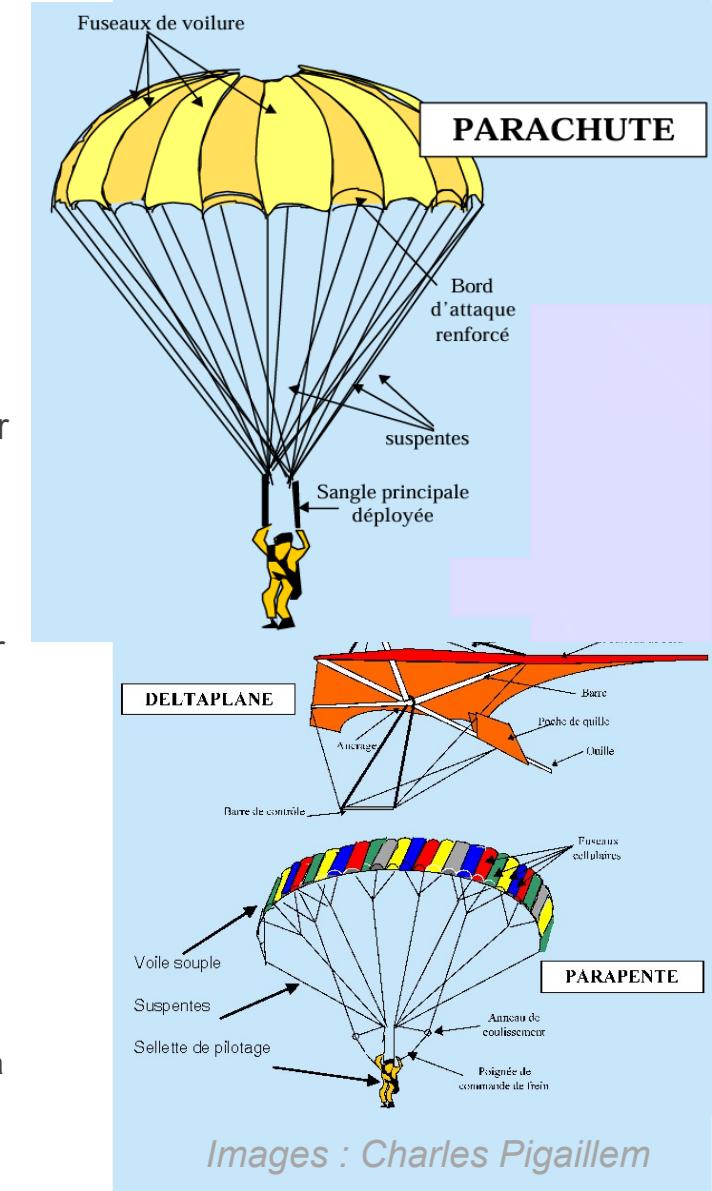


## Parachutisme

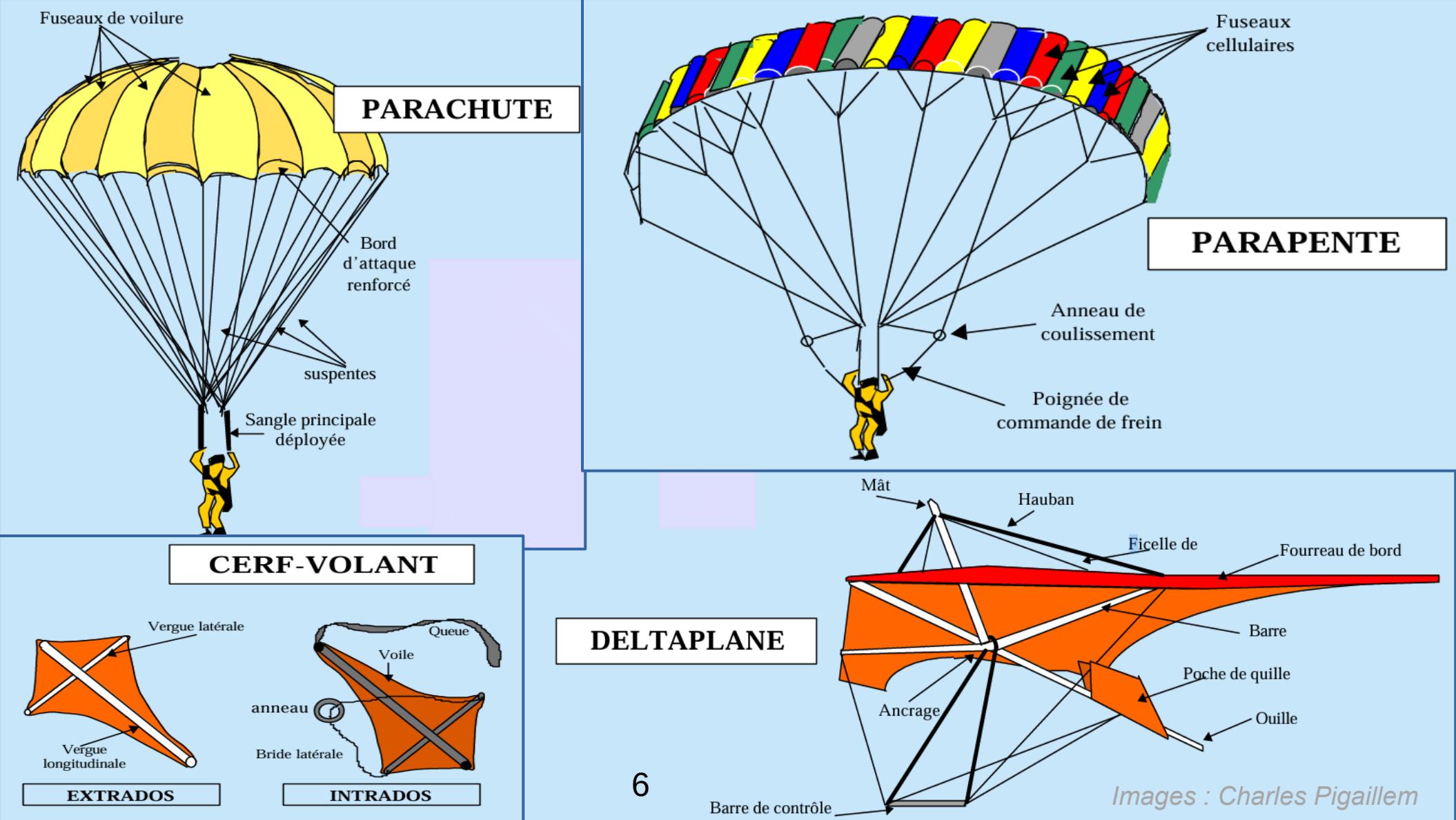
- Le **parachutiste parachutist** pratique le **parachutisme parachuting** au sein de la **FFP**, Fédération Française de Parachutisme
- Saut d'un avion en vol, en **parachute**
- Saut d'un pont ou d'une falaise = saut extrême **base jump**
- Compétitions : précision d'atterrissement sur une **drop zone**, voltige, pilotage sous voile...

## Vol libre

- Le **libériste**, pilote de Planeur Ultra Léger La **FFVL**, Fédération Française de Vol Libre
- Décollage par la force musculaire du pilote du **PUL**, Planeur Ultra Léger *ultra-light glider* :
  - ✓ Le **deltaplane hang-glider** pilotage avec le **poids du corps**, action sur la barre de contrôle du **trapèze** déplacement de son centre de gravité
  - ✓ Le **parapente paragliding** pilotage par traction sur les **poignées de commande de freins** et... orientation de la sellette à l'aide des **fesses** 😅 !
  - ✓ **L'Archaeopteryx**, le Swift...

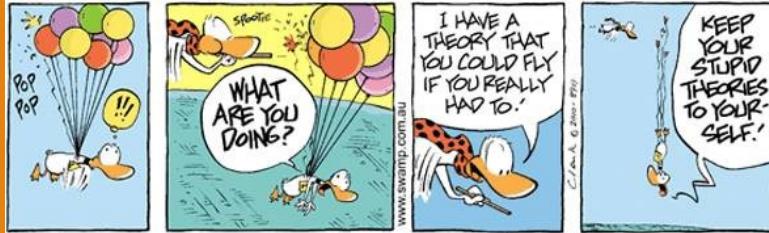


Images : Charles Pigaillem





# Vol et activités aérostatiques



- **Aéronaute et aérostier**
  - **Aéronaute** *hot air balloon pilot, aeronaut* : pilote de ballon libre
  - **Aérostier** : pilote de ballon captif (rélié au sol par un câble)
  - Un millier d'aéronautes environ au sein de la FFA,  
**Fédération Française d'Aérostation**
  
- **Ascension**
  - **Ascension** = vol en ballon
  - Gonflage, puis chauffage de l'enveloppe (durée env. 20 mn) :  
**+ l'air du ballon est chaud (ou + il fait froid), + on a de portance**
  - Vols par **vent très faible** (< 10 kt), tôt le matin ou en fin de journée

- **« Lorraine Mondial Air Ballons » (LMAB)**
  - Plus grand rassemblement d'aérostats au monde
  - Un été sur deux, à Chambley en Lorraine
  - 2017 : 12 000 pilotes, 70 pays, 456 montgolfières

- **Coupe « Gordon Bennett »**
  - Compétition de ballons libres (à gaz)
  - Celui qui part le plus loin a gagné
  - Le vainqueur organise la coupe l'année suivante
  - Coupe octroyée au pays remportant l'épreuve 3 années consécutives





# Activités des aérodynes motorisés



Image : Cessna 337



## □ Avion

- Aérodyne à voilure fixe *plane*
- 40 000 pilotes privés en France au sein de la **FFA**, Fédé. Française Aéronautique
- Sports aériens : voltige, pilotage de précision, rallye aérien
- Quelques avions particuliers :
  - ✓ Avion **lourd** (capa max >10 pax ou MMD >5,7T) vs. Avion léger (de tourisme, de voltige...)
  - ✓ Avion **push-pull** : avion à 2 moteurs, l'un tractant et l'autre propulsant
  - ✓ **ADAC** : avion à décollage et atterr. *court STOL Short Take-Off and Landing*
  - ✓ **ADAV** : avion à décollage et atterr. *vertical VTOL Vertical Take-Off and Landing* hybride entre un avion et un hélicoptère

## □ Hélicoptère

- **FFH**, Fédération Française d'Hélicoptère (anciennement FFG, FF de giraviation)

## □ ULM (Ultra Léger Motorisé)

- **FFPLUM**, Fédé. Française d'ULM

## □ Aéro-modèles

- **FFAM**, Fédé. Française d'AéroModélisme



Avions

Hélicos

Aérodynes  
motorisés

Aéro  
modèles

ULM





# Vol en planeur



Image : <https://www.chalons-planeur.net>



## ❑ Vélivole et planeur

- Le **vélivole**, pilote de planeur pratique au sein de la **FFVP**, Fédération Française de Vol en Planeur (ex-FFVV, FF de vol à voile)
- Description du **planeur glider** → → →
- Compétitions : vitesse (avec ballast d'eau **waterballast**), distance, voltige...

## ❑ Décollage de planeur

- **Treuillage** *winch launching*
- **Remorquage** *aero-towing*
- **Autonome** pour motoplaneur

## ❑ Aller « aux vaches » !

- Se vacher = atterrir sur une pâture
- Choix du sens d'atterrissage... « au cul des vaches »

## AILES

saumon  
aileron  
aérofrein

volet de courbure  
bord d'attaque  
bord de fuite  
emplanture

## EMPENNAGE HORIZONTAL

gouverne de profondeur  
plan fixe

## EMPENNAGE VERTICAL

dérive  
gouverne de direction

## FUSELAGE

trappe du train d'atterrissement

patin ou roulette de queue

crochet de remorquage

crochet de treuillage

verrière

patin ou roulette de queue

Image : <http://technolascasc.free.fr>

**Parachute obligatoire  
pour tous les occupants d'un  
planeur**

# Pour s'entraîner

## 1) Quelle est la mauvaise classification :

- a) aérodynes 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 trainée
- c) possède obligatoirement un moteur
- d) est piloté depuis l'intérieur de son cockpit

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

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

Les aérostats subissent la poussée d'Archimède

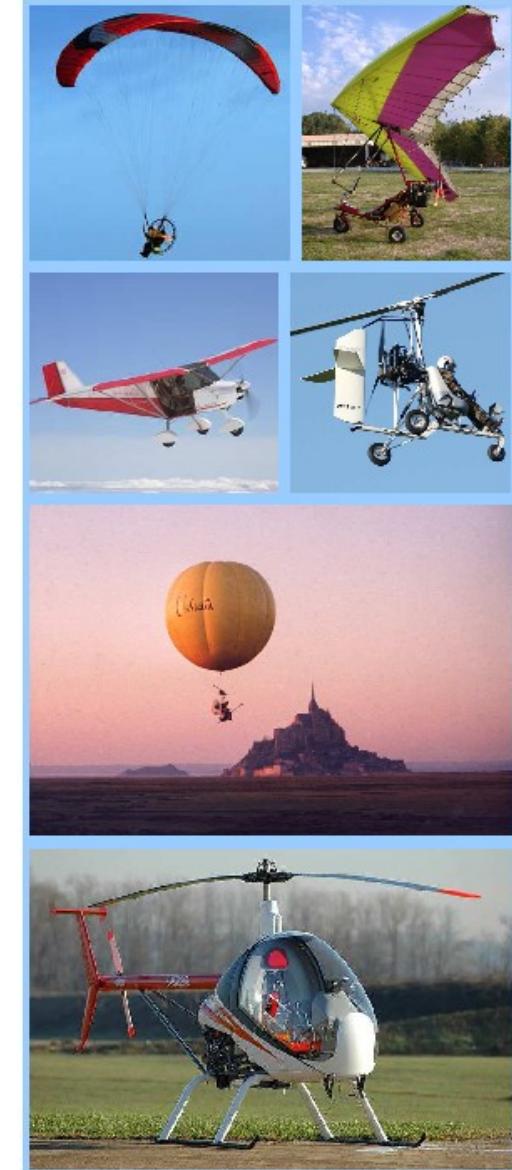
Le bout de la pâle subit une portance plus grande



# ULM



- **L'ULM**
  - **Ultra Léger Motorisé**  
*microlight aircraft, ultra light aircraft (ULAC)*
  - Environ 15 000 pilotes d'ULM en France
  - **FFPlum**, Fédération Française d'ULM  
(de Planeur ultraléger motorisé)
  
- **Les 6 classes d'ULM**
  1. **Paramoteur** *paraglider* (parapente + moteur)
  2. **Pendulaire** (deltaplane + moteur)
  3. **Multiaxe** (petit avion ultra léger)
  4. **Autogire** *gyroplane*  
(sustentation : voilure tournante libre)
  5. **Aérostat dirigeable UL**
  6. **Hélicoptère UL** (depuis 2012)
  
- **Quelques règles ULM**
  - **Atterrissage et déco hors ad possible**  
(avec l'accord du propriétaire du champ)
  - **Propriétaire assure l'entretien**



**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 kérozène
- b) à l'oxygène et à l'hydrogène
- c) au méthane
- d) au gasoil



# Hélicoptères



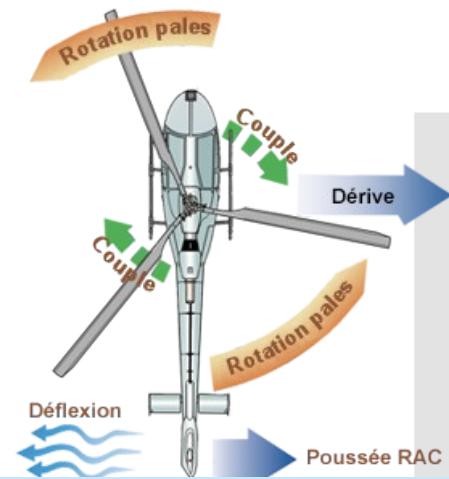
Source : US NAVY SH-60B



Image : Lavionnaire

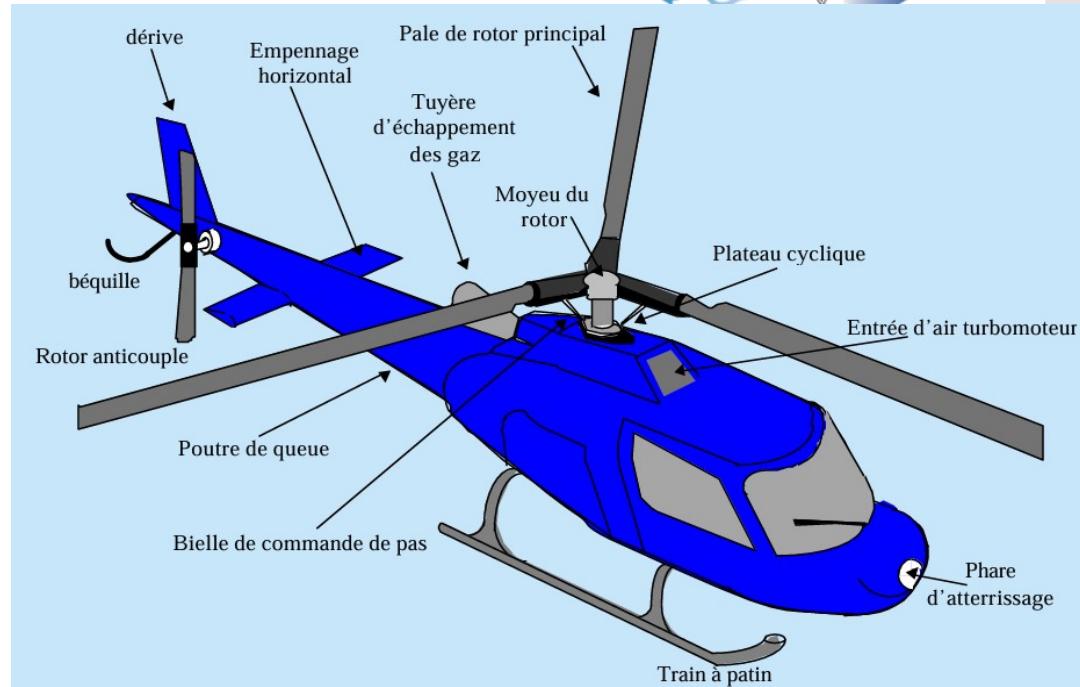
## Giravion ou girodyne

- Aérodrome à voilure tournante
- Autogire (= classe d'ULM)
- Hélicoptères *helicopter*  
Hybrides, convertibles, **ADAV Avion à décollage et atterrissage vertical**  
*VTOL Vertical Take-Off and Landing*
- Env. 10 000 pilotes en France,  
**FFH** Fédération française d'hélico (ex-FFG)



## Hélicoptère

- Description
- **Rotor anti-couple** (hélice verticale) pour contrôler les rotations **lacet** et éviter que toute la structure tourne autour d'elle-même
- Vitesse de l'hélico limitée par celle de la « pale avançante » (subsonique)





# Aéromodèles



Image : X-UFO, quadrirotor



- Aéro-modèle
  - Drone civil de loisir
  - Environ 25 000 modélistes
  - FFAM, Fédération Française d'AéroModélisme
  - **Aéromodélisme** = modélisme aérien

- Drone
  - Terme générique français pour aéronefs télé-pilotés
  - Drone (faux-bourdon) *UAV, Unmanned Aerial Vehicle*
  - *UAS, Unmanned Aircraft System*
  - *RPAS, Remote Piloted Aircraft System*
  - Drones professionnels, télé-pilote de drone civil
  - Drones militaires (de combat) : *UCAV, Unmanned Combat AirVehicle*

## Usage d'un drone de loisir



**Assurer la sécurité des personnes et des autres aéronefs est de votre responsabilité**

L'utilisation d'un drone dans des conditions d'utilisation non conformes aux règles édictées pour assurer la sécurité est passible d'un an d'emprisonnement et de 75 000 euros d'amende en vertu de l'article L. 6232-4 du code des transports.

Faire survoler par un drone une portion du territoire français en violation d'une interdiction de survol est passible de 45 000 euros d'amende, 1 an de prison, et de la confiscation du drone en vertu des articles L. 6232-12 et L. 6232-13 du code des transports.

Règles d'un bon usage d'un drone de loisir  
Pour plus d'information rendez-vous sur le site de la direction générale de l'aviation civile :  
[www.developpement-durable.gouv.fr/-Drone-aeronefs-telepilotes-.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Drone-aeronefs-telepilotes-.html)

Je ne survole pas les personnes.

Je respecte les hauteurs maximales de vol.

Je ne perds jamais mon drone de vue et je ne l'utilise pas la nuit.

Je n'utilise pas mon drone au-dessus de l'espace public en agglomération.

Je n'utilise pas mon drone à proximité des aérodromes.

Je ne survole pas de sites sensibles ou protégés.

Je respecte la vie privée des autres.

Je ne diffuse pas mes prises de vues sans l'accord des personnes concernées et je n'en fais pas une utilisation commerciale.

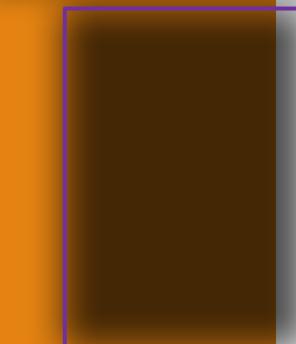
Je vérifie dans quelles conditions je suis assuré pour la pratique de cette activité.

En cas de doute, je me renseigne.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10



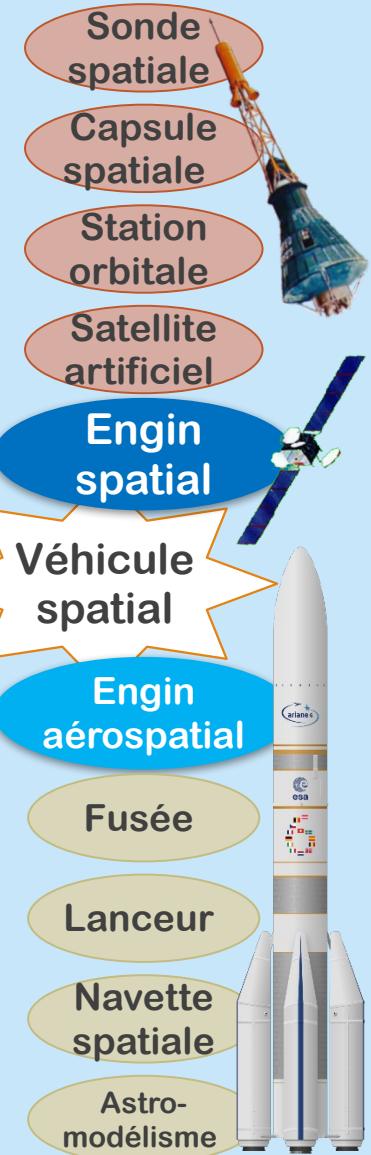
# Véhicule spatial



- **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)

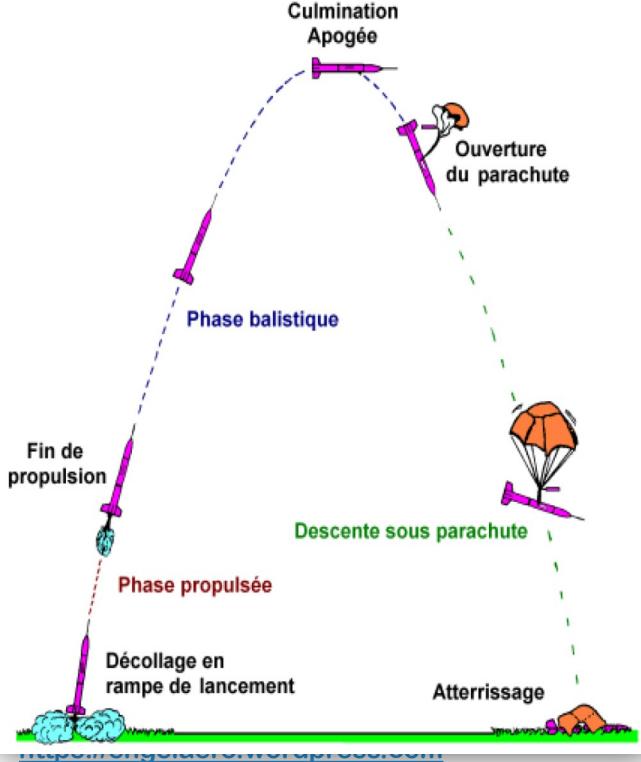
- **Engin spatial**
  - Déplacement exclusivement dans l'espace (selon lois de la **ballistique** et de l'**attraction des astres**)
  - Types d'engins spatiaux :
    - ✓ **Satellite artificiel** : gravite autour de la Terre (ex: **Telstar** communications, **Spot** observation de la Terre, **Meteosat** 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 **ballistique** dans l'espace
  - Exemples : fusée spatiale, navette spatiales...





# Engin aérospatial



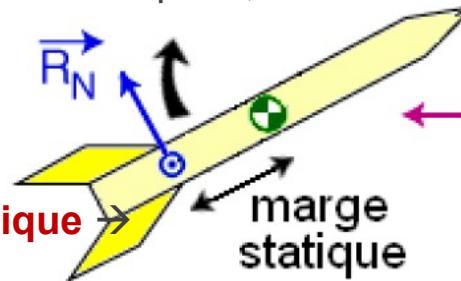
## □ Navette spatiale *space shuttle*

- 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*

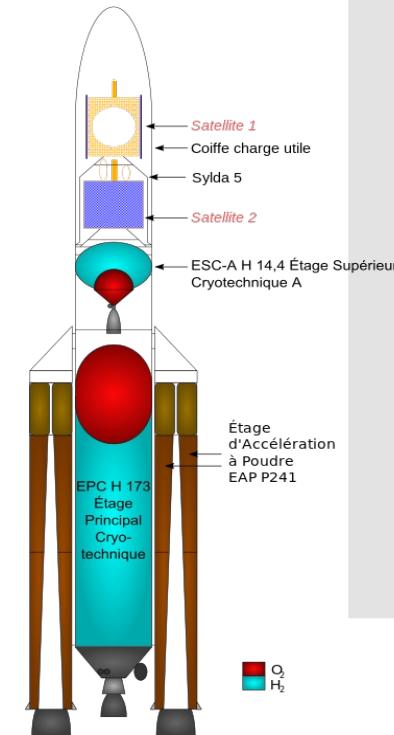
- Se déplace grâce à un **moteur-fusée**
- Stabilité : **marge statique**



## □ 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)...

Ariane 5 ECA



## □ Astromodélisme

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



# Composition de la cellule



Image : <http://www.air-cosmos.com>

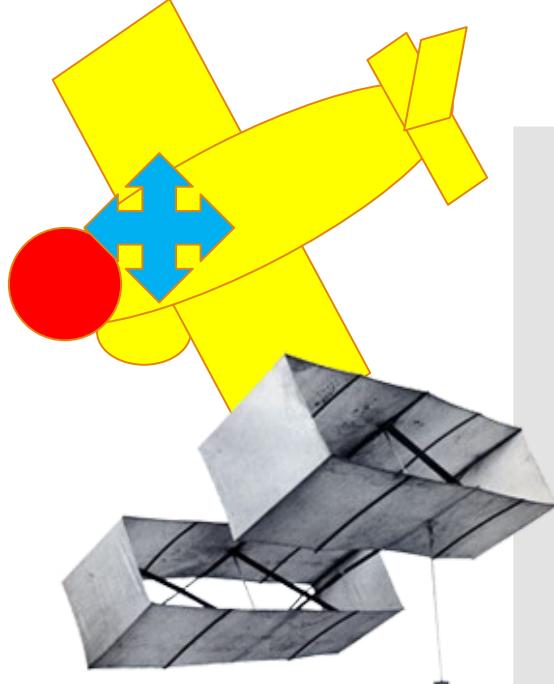


## □ Composition de l'avion

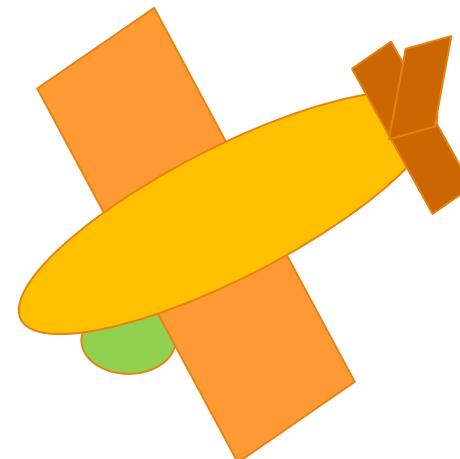
- Avion *airplane*
- Décomposons l'avion :
  - ✓ **Cellule airframe**, aéro-structure
  - ✓ **Moteur engine, powerplant**
  - ✓ **Instrumentation et systèmes**
- Donc **Cellule** = Avion – **Moteur** – **Instrumentation et systèmes**  
(avionique, réseaux...)

## □ Composition de la cellule

- Cerf-volant **cellulaire** de Hargrave
- Étude détaillée de chaque partie dans des briefings spécifiques
- **Fuselage fuselage** « carlingue »
- **Voilure (ailes wings)**  
(→ cf. briefings de « **Principe du vol** »)
- **Empennage empennage**  
(pour la stabilité de l'avion) et  
**Gouvernes aircraft controls**  
(pour le contrôle de l'avion)
- **Train d'atterrissege landing gear**



Source: <http://www.airplanesandrockets.com>



# Composantes de l'avion

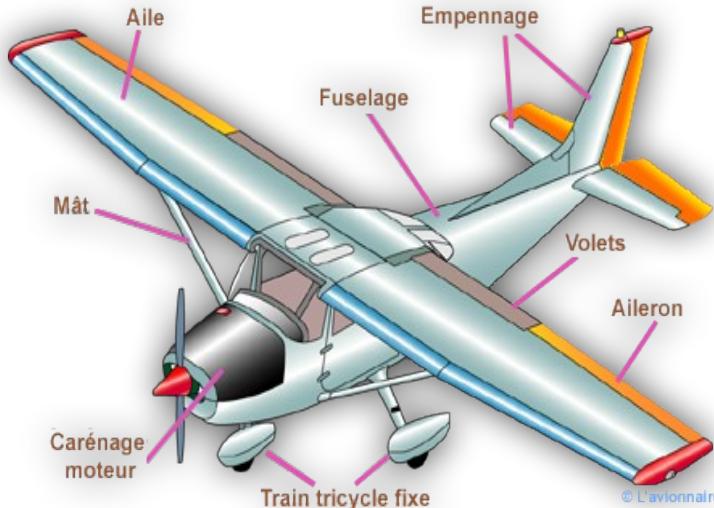
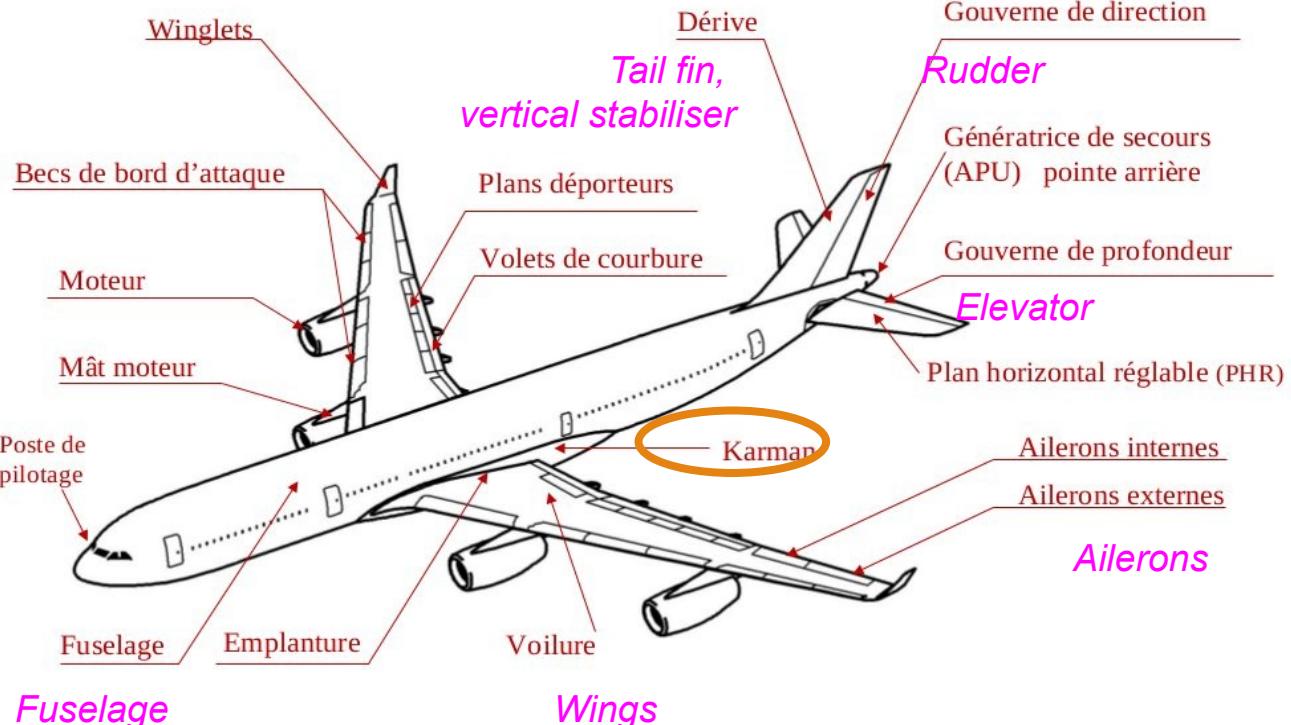


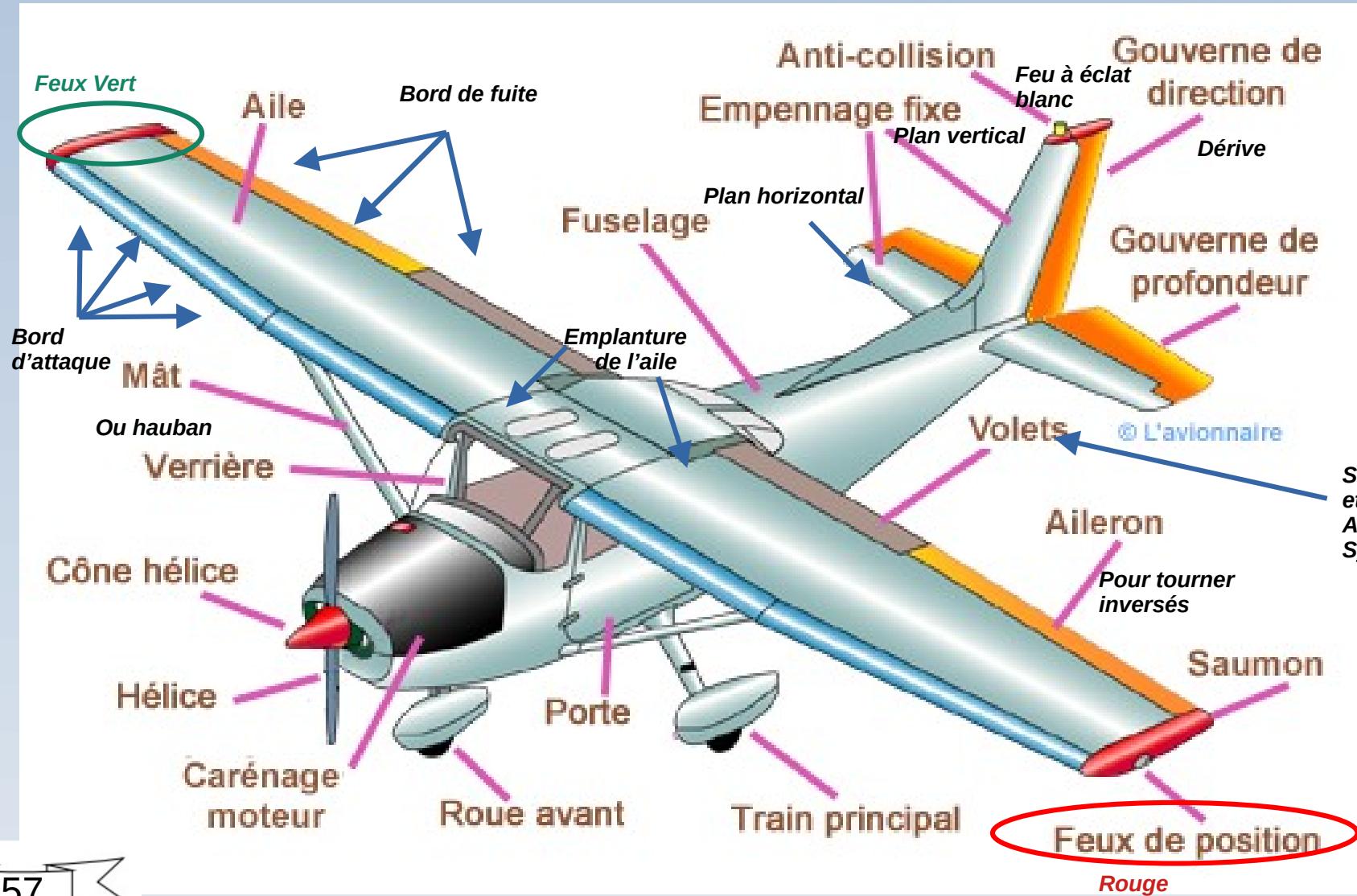
Image : <http://www.lavionnaire.fr>

Habitacle, verrière *Canopy*  
Pare-brise *Windscreen*  
Phare anticollision *Strobe light*  
Phare de roulage *Taxi-light*

Empennage *Empennage*

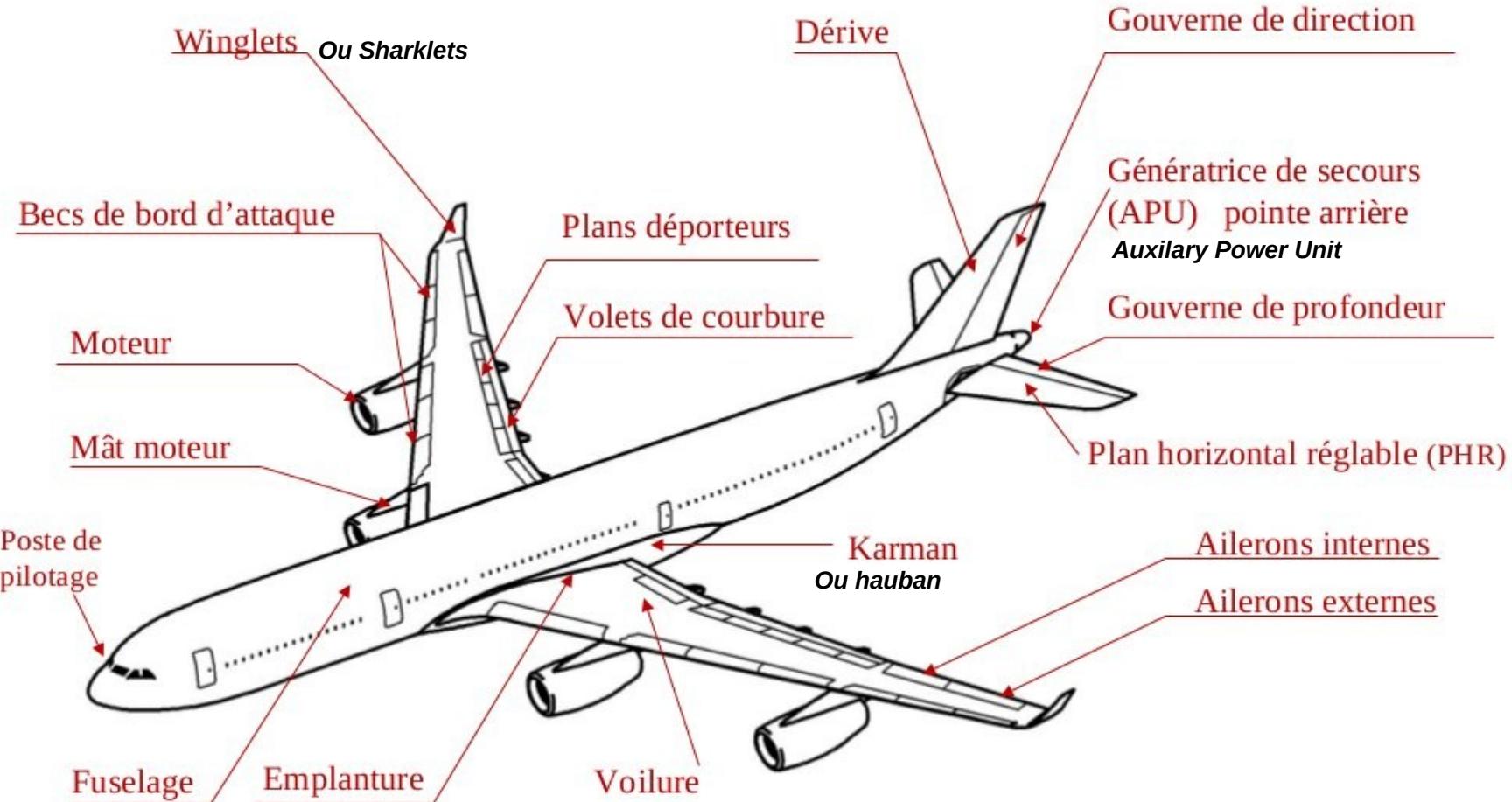


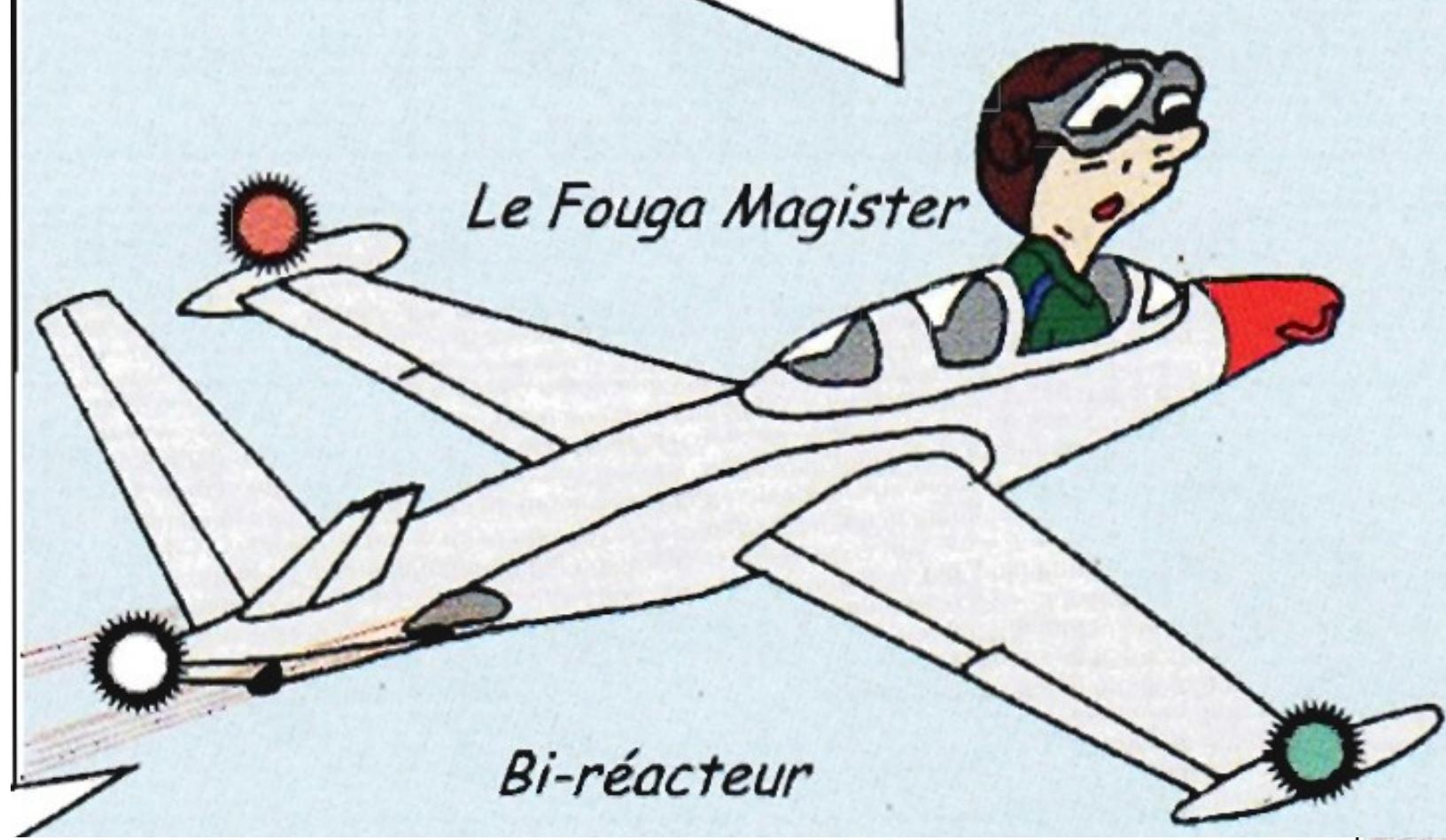
**Saumon-Aileron-Volet-Emplanture-Karman**



## II. La Composition générale des aéronefs

Prévol avant chaque décollage





*Le Fouga Magister*

*Bi-réacteur*

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



## □ Différents trains d'atterrisseage *landing gear*

- **Roues** (herbe, bitume), **patins** (glace), **skis** (neige), **flotteurs** (eau) ; **hydravion** = *seaplane*
- À **train fixe** (freinent l'avion en vol → parfois **caréné**) ou à **train rentrant** (escamotable) *retracting gear* train sorti = « **les 3 vertes** » *green gear position light*
- Pour éteindre les feux, les **canadairs** procèdent à des **écopages** *scooping operations*

### Train classique et train tricycle



**Train classique** *taildragger* : ancienne génération de trains d'atterrisseage, composé de deux parties :

- ✓ Le **train principal** *main landing gear*
- ✓ Le **train auxiliaire** : **roulette de queue** *tail landing gear*

**Train tricycle** : plus moderne, **robuste**, coûteux et lourd, en deux parties :

- ✓ Le train principal *main landing gear*, en général sous les ailes (avions légers) ou le fuselage (gros porteurs)
- ✓ Le train auxiliaire : **roulette de nez** *nose landing gear*

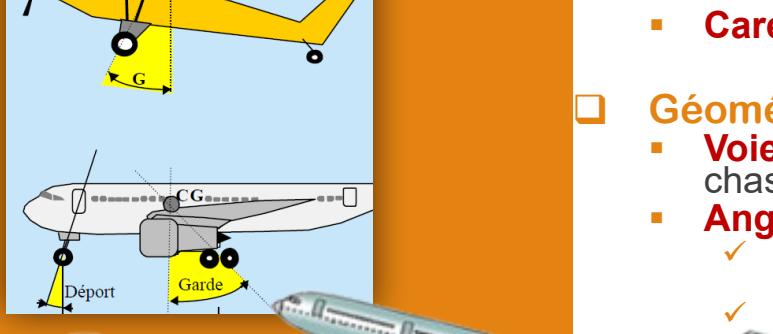
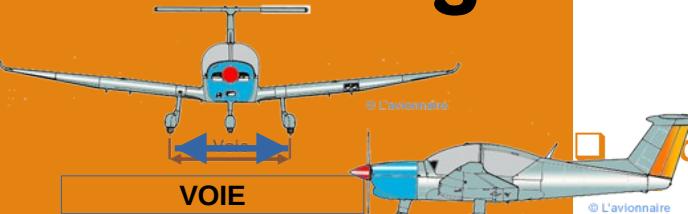
Train d'atterrisseage auxiliaire : il peut être directionnel **steerable** (par les **palonniers**, ou **malonniers** pour les paraplégiques) pour diriger l'avion au sol

**Train monotrace** : train unique sous le fuselage, et éventuelles **balancines** en bout d'aile





# Composition du train d'atterrisseage



## □ Configuration des roues

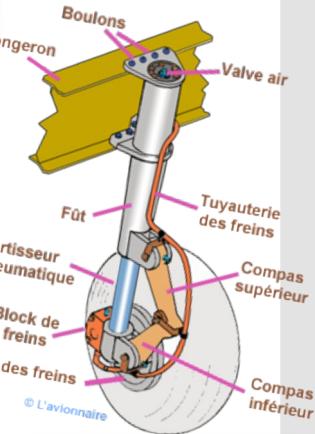
- En fonction du poids de l'aéronef et de la charge à supporter par chaque roue, on peut avoir :
  - ✓ Une **roue simple** isolée
  - ✓ Un **diabolo** (2 roues **jumelées**)
  - ✓ Un « chariot », bogie ou **boggie** (de 4 à 14 roues... voire plus !)



Source : Wikimedia Commons / Auteur Arpingstone.



Source : <http://www.acam.asso.fr/>



## □ Composition du train

**Amortisseurs** : absorbent l'impact à l'atterrissement (*to damp*)

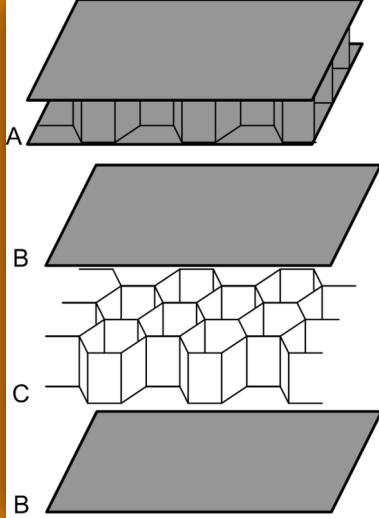
- **Freins** situés sur le train principal, commandés en général au niveau des palonniers, et **de manière dissymétrique**
- **Carénages** de roue, limitant le frottement dans l'air

## □ Géométrie du train d'atterrisseage

- **Voie, empattement**, angles de garde, de déport, de chasse...
- **Angle de garde G** : de 15 à 20° (p/r au CG) pour éviter :
  - ✓ La **mise en pylône** (**cheval de bois**) des avions à train classique
  - ✓ Le basculement sur la queue des avions à train tricycle ; sur les grands fuselages, des **patins de queue** évitent les dégâts lors du frottement du fuselage à la rotation ou à l'arrondi



# Efforts et matériaux de construction



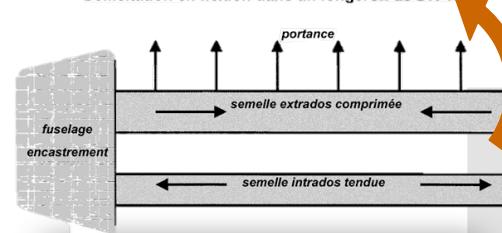
## □ Efforts et résistance des matériaux

- Quelques exemples d'efforts élémentaires :
  - ✓ Traction  $\leftarrow \rightarrow$  et Compression  $\rightarrow \leftarrow$
  - ✓ Cisaillement  $\rightarrow$
  - ✓ Flexion  $\curvearrowright$
  - ✓ Torsion  $\curvearrowleft$
- Résistance en vol : **flexion vers le haut** (portance) compression extrados + traction intrados
- Résistance au sol : **flexion vers le bas** (poids) l'inverse de la situation en vol
- **Flutter explosif** : **vibrations** subies par la structure d'un avion qui entre **en résonance**

## □ Matériaux de construction

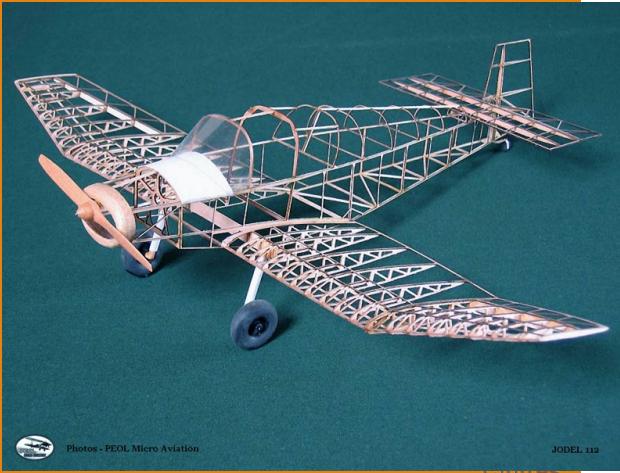
- **Bois et toiles** : premiers avions, moins coûteux
  - ✓ Essences de bois souples et légers : **épicéa, sapin, pin**, frêne, hêtre...
  - ✓ Toiles en lin, coton ou dacron
- **Avions métalliques** : en Zicral, Duralinox, **aluminium, alliages de magnésium, titane**... Attention à éviter la corrosion et le poids
- **Avions composites** : avions modernes, plus légers
  - ✓ **Résine** (produit liquide durcissant)
  - ✓ Et **Tissus de fibres** (de verre ou de carbone)

Sollicitation en flexion dans un longeron de DR 400



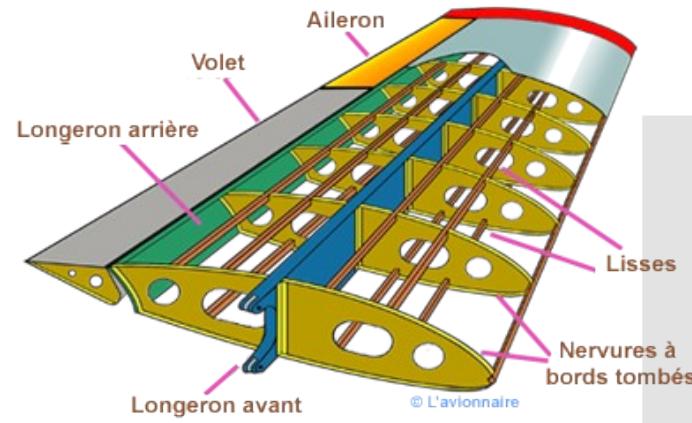


# Structures de l'avion



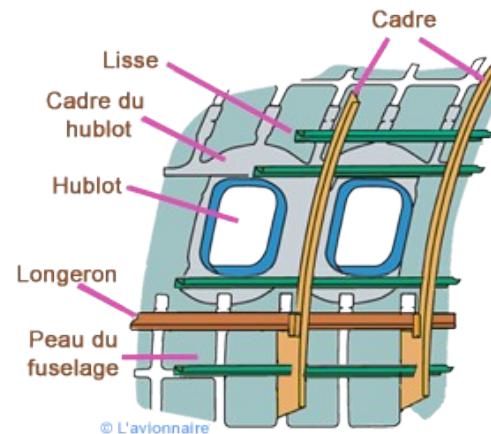
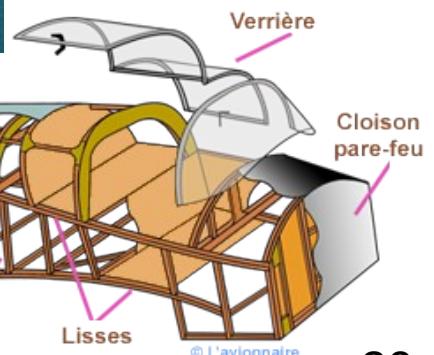
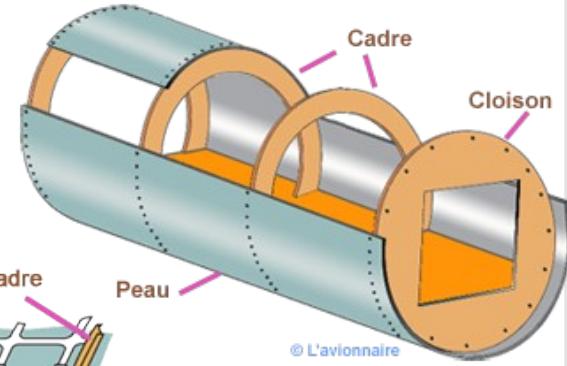
## □ Structure de l'aile

- **Longerons** : efforts principaux
- **Nervures** : donnent la forme de l'aile
- **Lisses** : liens entre les nervures
- **Revêtement (peau)** : non travaillant



## □ Structure du fuselage

- **Longerons** : efforts principaux
- **Cadres** (appelés aussi couples) : donnent la forme
- **Lisses** : liens entre les cadres
- **Revêtement**



E12/2018

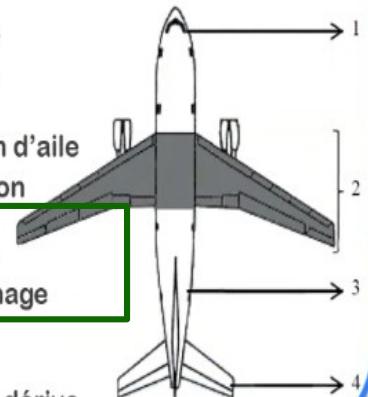
Identifier les éléments 1, 2, 3 et 4 de la structure d'avion représentée ci-dessous :

- a) 1 = cockpit / 2 = réacteur  
3 = longeron / 4 = aileron

- b) 1 = fuselage / 2 = saumon d'aile  
3 = emplanture / 4 = aileron

- c) 1 = cockpit / 2 = les ailes  
3 = fuselage / 4 = empennage

- d) 1 = fuselage / 2 = volets  
3 = poutre de queue / 4 = dérive



1



A17/2017

Les « strobe lights » sont :

- a) les feux de brouillard.
- b) les feux d'atterrissement.
- c) les feux de navigation.
- d) les feux à éclat.

E08/2019 (→ voir aussi : E01/2012 E03/2011  
E03/2008 E01/2005)

Le dispositif situé à l'emplanture d'aile permettant un meilleur écoulement de l'air est :

- a) le volet.
- b) le winglet.
- c) le karman.
- d) le spoiler.

E09/2008 E05/2001 E11/PIG

Un train d'atterrissement « classique » comprend :

- a) deux atterrisseurs principaux et une roulette de queue
- b) deux atterrisseurs principaux et une roulette de nez
- c) deux atterrisseurs principaux et une roulette de nez non orientable
- d) un atterrisseur principal et deux balancines

E05/2020

L'avion représenté sur la photographie ci-après possède un train :

- a) classique.
- b) tricycle.
- c) caréné.
- d) rentrant.



E07/2013

Lorsqu'un train d'atterrissement comporte des bogies cela signifie :

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

2



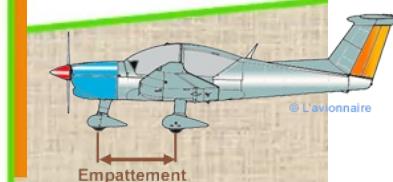
E21/2016

L'empattement est :

- a) la distance entre les saumons.
- b) la distance entre les roues des trains principaux.
- c) la distance entre le nez et la queue de l'avion.
- d) la distance entre les axes du train principal et de la roulette de nez.



Media Components / Auteur Stoff



© L'avionnaire

E19/2017

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

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

1



E05/2012 E05/2009

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

E05/2017

Au sol, le carburant contenu dans une aile, entraîne sur les longerons :

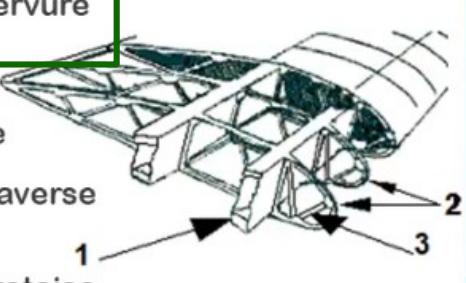
- a) un effort de cisaillement.
- b) un effort de flexion.
- c) un effort de torsion.
- d) n'a pas d'influence sur la structure de l'aile.



E12/2015 (→ voir aussi : E02/2010 E05/2007  
E01/2004 E01/2002 E18/PIG)

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

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



E13/2020 E13/2019

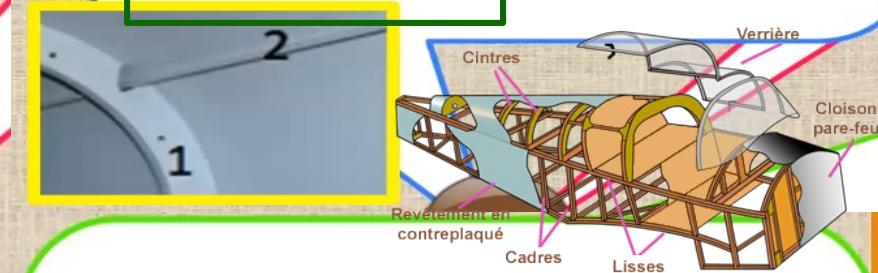
Pour un avion en bois et toile moderne :

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

E02/2020

Sur cette photographie, on aperçoit la structure du fuselage d'un Rallye. (1) et (2) correspondent à :

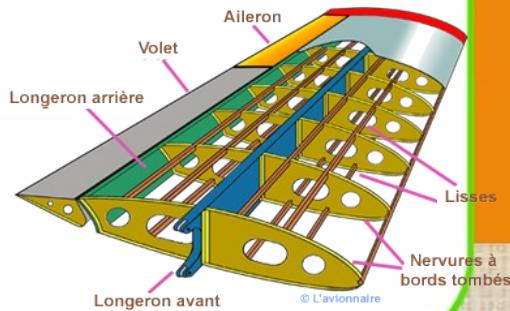
- a) 1 longeron ; 2 : lisse.
- b) 1 lisse ; 2 : cadre.
- c) 1 nervure ; 2 : cadre.
- d) 1 cadre ; 2 : lisse.



E09/2019

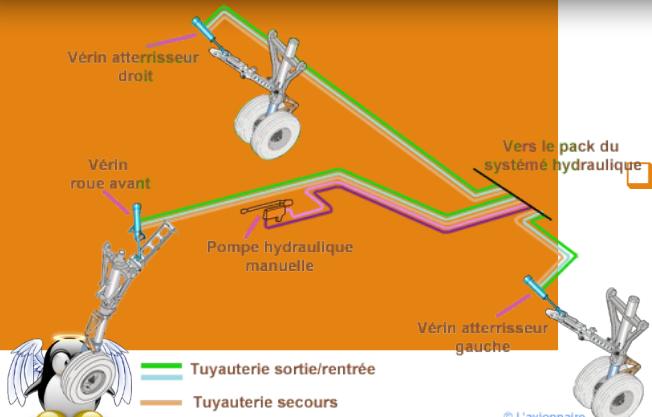
Le profil d'une aile est donné par :

- a) les longerons.
- b) les nervures.
- c) les lisses.
- d) les raidisseurs.





# 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 )

- ✓ **Antigivreur** : résistance électrique (chauffage), injection d'alcool (pare-brise...), air chaud
- ✓ **Dégivreur** : 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)...



# Électricité de bord

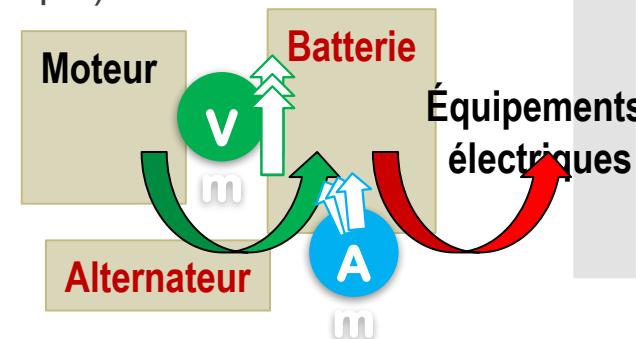


A  
m  
V  
m

- **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 (gros avions), 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**





# Motorisation et aviation verte



Daedalus



## □ Rôle du moteur

- **Fournir l'énergie nécessaire** à la propulsion de l'aéronef et au fonctionnement des servitudes de bord (électricité, instruments...)
- **Moteur = engine** ; **bloc moteur = power plant**

## □ Différents types de moteurs

- Groupe Moto-Propulseur **GMP** : moteur à pistons + **hélices**
  - ✓ peut être **turbocompressé** : système de suralimentation du moteur à pistons, à ne pas confondre avec un **turbopropulseur**
- **Turbomachines** fonctionnant au kéroène
  - ✓ Groupe **Turbo-Réacteur GTR** : réacteur + soufflante
  - ✓ Groupe **Turbo-Propulseur GTP** : réacteur + **hélices**
  - ✓ Turbomoteur, pulsoréacteur, statoréacteur, moteur-fusée...



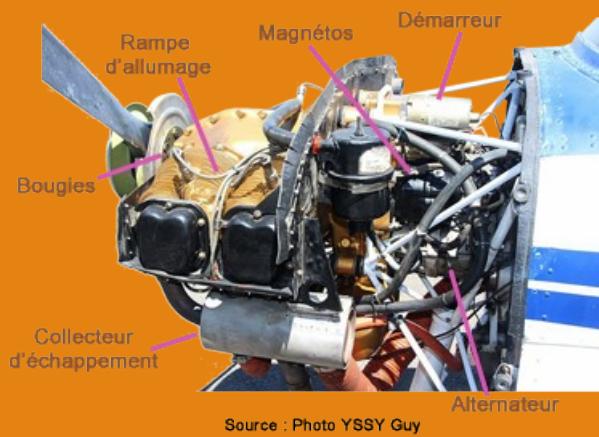
## □ Aviation verte

- Énergie électrique (batteries embarquées)
  - ✓ Exemple : le **Cri-Cri électrique**, avec un moteur Electravia ; au Salon du Bourget en 2011 : 283 km/h
- Énergie électrique solaire (panneaux **photovoltaïques**)
  - ✓ Exemple : le **Solar Impulse**, 1<sup>er</sup> vol en 2009 ; 1600 kg, 70 km/h ; un second a été construit.
- **Énergie musculaire** (avion à pédales)
  - ✓ Exemple : le **Daedalus**, 32 kg à vide ; en 1988, il a parcouru 119 km en 3h55 reliant Héraklion (Crète) à Santorin.
- **Taxiage vert Green-taxiing** : roulage de l'avion grâce à des moteurs électriques, alimentés par l'**APU** → gain d'énergie et réduction de bruit





# Description du GMP



## □ Groupe Moto-Propulseur (GMP)

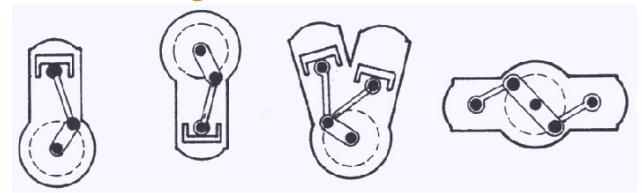
- **Moteur à pistons et à hélices**
- Configurations et moteurs particuliers : monomoteur = 1 moteur, bimoteur (= 2x), trimoteur, quadrimoteur, hexamoteur...

## □ Description du GMP

- Schéma d'ensemble du GMP →

- Description du **bloc-cylindre** → →

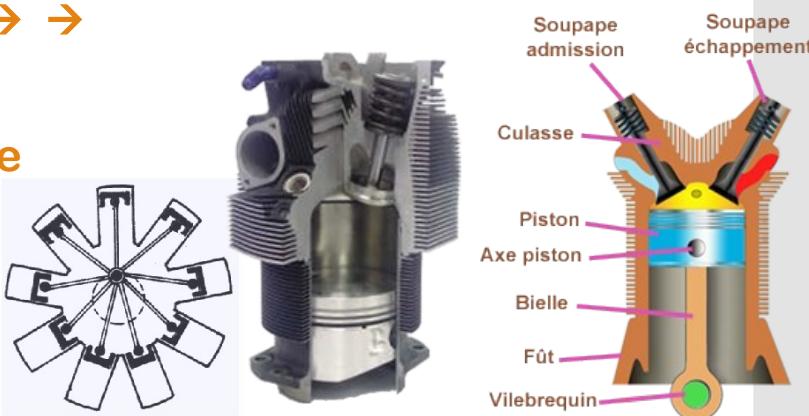
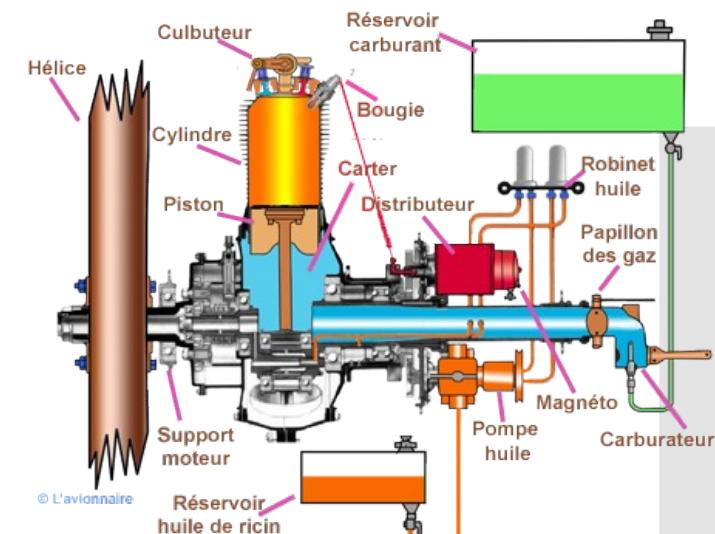
## □ Différents types de montage des cylindres



en V

à plat

en étoile



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



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

E08/2010 E08/2008 E08/2005

À bord des avions légers, on rencontre souvent une alimentation électrique en :

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

Un avion vole en croisière. Si l'on place l'interrupteur batterie sur « arrêt » :

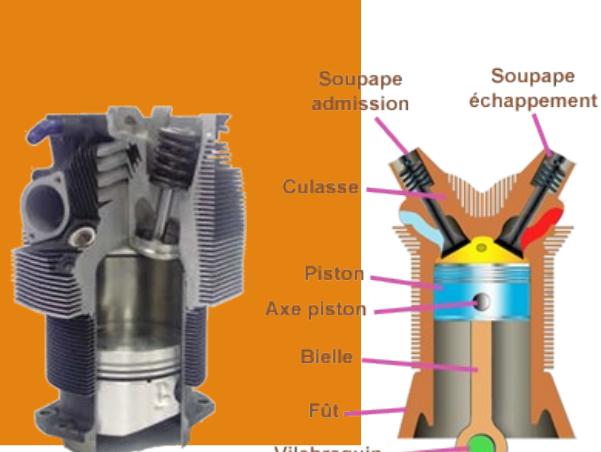
- a) le moteur s'arrête.
- b) on constate une baisse de régime du moteur (environ 100 tr/min de moins).
- c) le moteur continue de tourner.
- d) tous les instruments cessent de fonctionner.

Un turbopropulseur a pour rôle de :

- a) compresser l'air admis dans les cylindres d'un moteur à pistons. **turbocompresseur**
- b) augmenter la pression aux injecteurs d'un moteur à pistons à injection. **turbocompresseur**
- c) entraîner une hélice.
- d) servir de génératrice auxiliaire.

Dans un moteur à explosion, l'ensemble bielle-vilebrequin :

- a) sert à limiter la course du cylindre.
- b) transmet le mouvement des soupapes aux bielles.
- c) transmet le mouvement alternatif des pistons aux cylindres.
- d) transforme le mouvement alternatif des pistons en mouvement de rotation du vilebrequin.



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



Un hexamoteur est un :

- a) avion propulsé par un moteur à hélice et dont la sustentation est assurée une hélice.
- b) aéronef hybride dont la sustentation est assurée par 8 moteurs à hélice.
- c) hélicoptère dont le rotor principal est composé de 8 pales.
- d) avion propulsé par 6 moteurs.





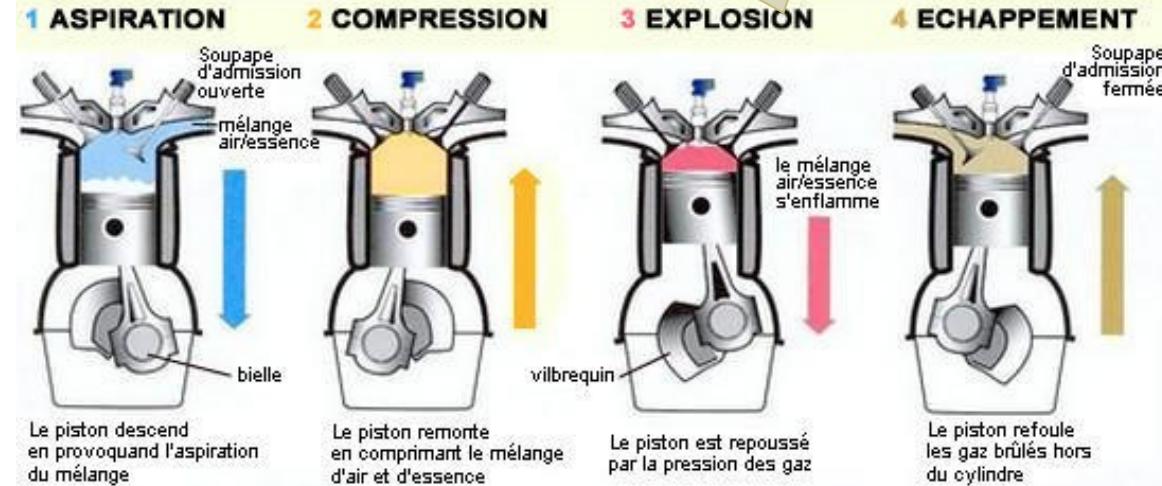
# Cycle de fonctionnement

- Exemples de l'enchaînement des phases
  - Moteur à 4 temps

- Détail du cycle de fonctionnement

Admission

**Combustion / détente :**  
phase fournissant l'énergie mécanique





# Circuit carburant



Atterrissage d'urgence dans un champ près de l'aéroport



## Circuit carburant :

- **Alimentation, carburant**
- **Carburation et mélange**
- **Réchauffage carburateur**

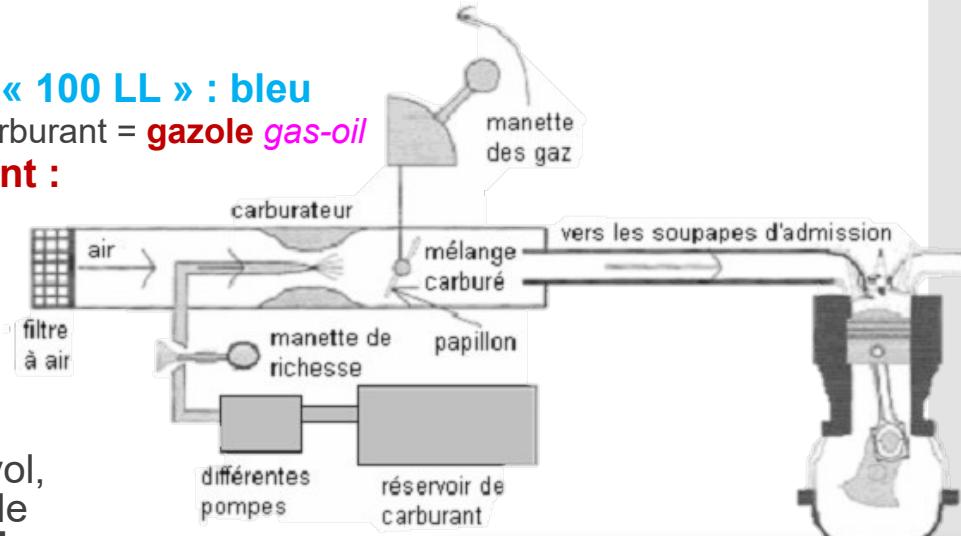
## Moteur :

- Fonctionnement (à 4 temps)
- Allumage ( $\neq$  circuit électrique)
- Lubrification & refroidissement

Hélice

### □ Carburant

- **Carburant aviation « 100 LL » : bleu**
  - ✓ Moteur **Diesel** : carburant = **gazole gas-oil**
- **Densité du carburant : environ 0,7**
  - ✓ 1 litre pèse 0,7 kg
  - ✓ Carburant moins dense que l'eau



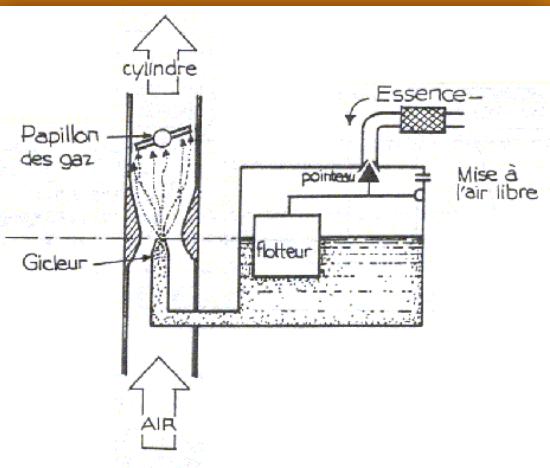
### □ Actions du pilote

- Lors de la visite prévol, **purger** le réservoir de l'eau de condensation (qui stagne au fond du réservoir)
- Alimentation en carburant par :
  - ✓ une **pompe mécanique** principale (entraînée en permanence par le moteur)
  - ✓ une **pompe électrique** de sécurité ou de secours (activée par sécurité dans certaines phases de vol)
  - ✓ Elles évitent aussi le **vapor lock** (« bulles dans les tuyaux »)



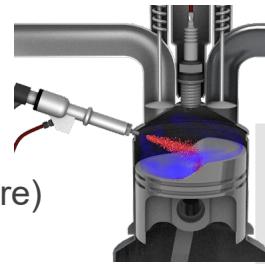


# Carburation ou injection



## □ Mélange air-essence

- Le mélange pour l'inflammation dans les cylindres se fait :
  - ✓ Par **carburation** dans le carburateur en amont des cylindres
  - ✓ Ou par **injection** (de très fines gouttelettes juste avant le cylindre)
- **Turbocompresseur** : système de suralimentation en air, (ne pas confondre avec un turbopropulseur)
- Mélange idéal : **1 g d'essence pour 15 g d'air**



Mélange trop pauvre :  
**moteur étouffé**

Mélange pauvre  
essence  
Moins de 1g  
Pour 15g d'air

Mélange **idéal**  
essence  
= 1g  
d'essence  
pour 15g d'air

Mélange **riche**  
essence  
plus de 1g  
pour 15g  
d'air

Mélange trop riche :  
**moteur noyé**

## □ Commande de mélange

La **commande de richesse (mixture)**, permet :

- ✓ De régler le mélange (notamment en altitude, où la quantité d'air diminue)
- ✓ D'arrêter le moteur en fin de vol en l'étouffant (**étouffoir**)

Ne pas confondre avec la **manette des gaz** : commande qui fait varier la **pression entrante** du mélange air-essence

## □ Instruments de contrôle

- Indicateur « **EGT** » *Exhaust Gas Temperature*
  - ✓ Mesure de température des gaz d'échappement  
→ permet l'estimation du mélange
- Si pas d'EGT, contrôle du mélange grâce au **tachymètre** (compte-tours)



## 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).

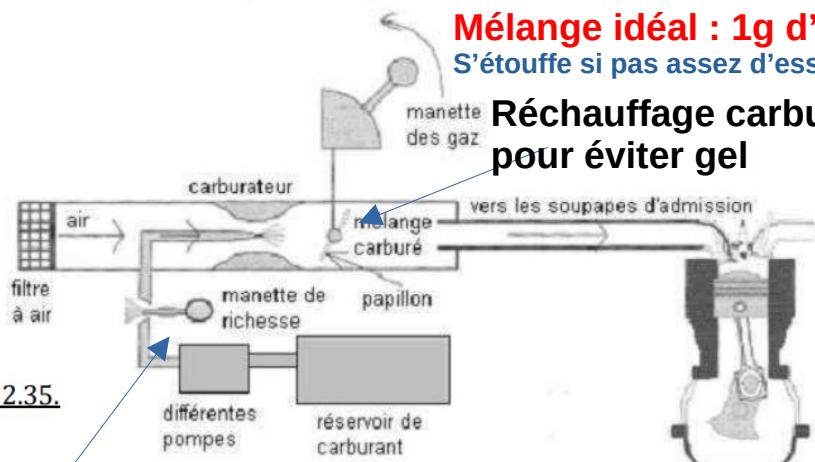
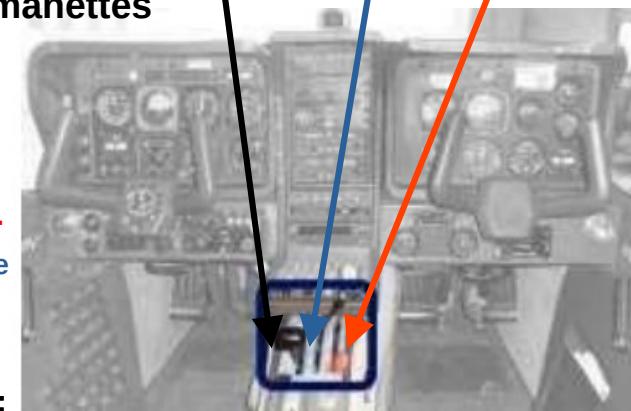


Figure 2.35.

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

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

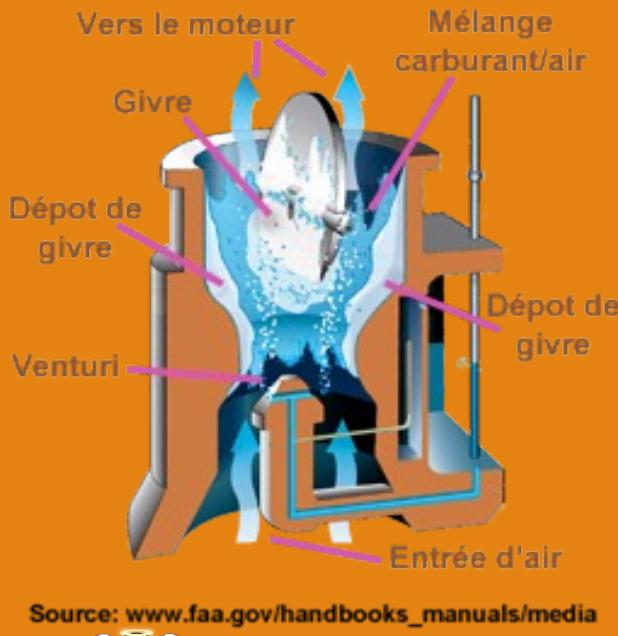
Figure 2.36.

Manette de réchauffe du carburant pour éviter le givrage en altitude

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

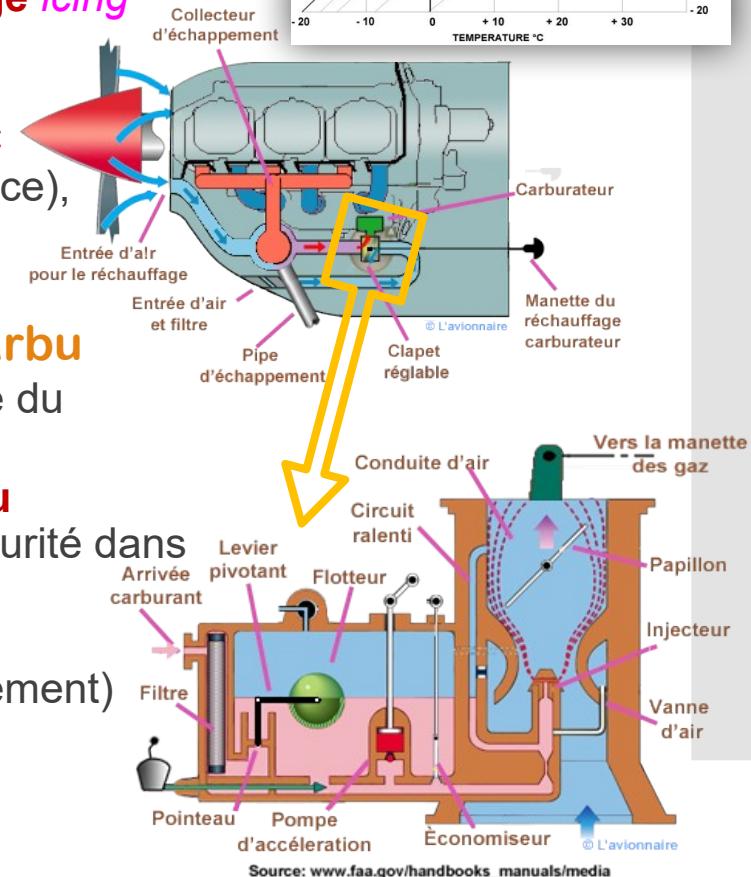
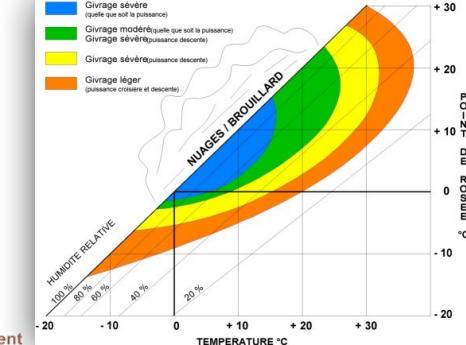


# Réchauffage carburateur



## □ Givrage du carburateur

- Danger de **l'effet Venturi** en entrée de carburateur :
  - accélération du mélange
  - baisse de pression et température
- Le carburateur risque le **givrage icing**
- Risque accentué :
  - en cas **d'air humide**,
  - à basse **température < 25 °C**
  - à **bas régime** (basse puissance),



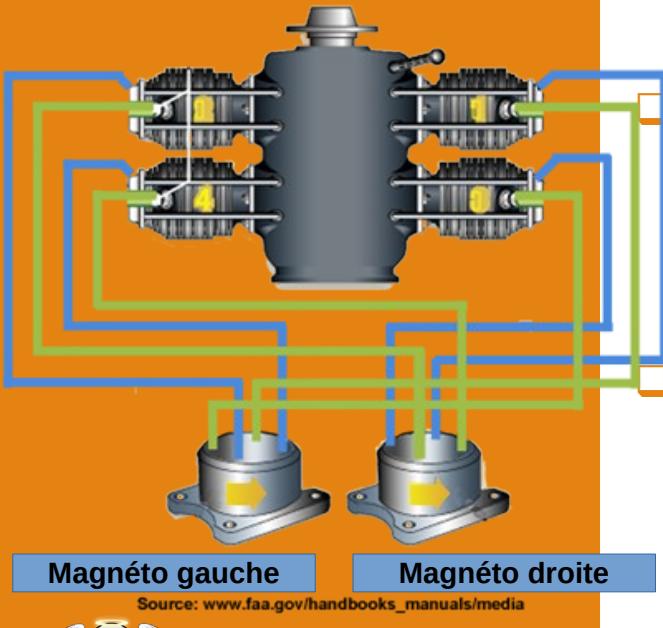
## □ Commande de réchauffe carbu

- Solution **préventive** au givrage du carburateur
-  Commande de **réchauffage du carburateur** actionnée par sécurité dans certaines phases de vol
- Chauffage de l'air du mélange (souvent par les gaz d'échappement)
- Sa mise en action provoque une légère baisse de régime



# Allumage du GMP

Alimentation des bougies inférieures  
Alimentation des bougies supérieures



## □ Rôle du circuit d'allumage *ignition*

- Rôle = production de l'**étincelle** qui provoque la combustion du mélange essence/air dans le cylindre du moteur à pistons
- À ne pas confondre avec l'**électricité de bord** (indépendant)



## □ Fonctionnement du circuit

- Allumage réalisé par une **bougie** *engine spark plug*
- La bougie est alimentée par une **magnéto** *magneto*
- La magnéto est **directement alimentée par le moteur** (et NON pas par l'alternateur, ni la batterie)



## Double allumage et sécurité

- Circuit presque toujours **doublé**
- Pour chaque cylindre, 2 bougies alimentées par **2 magnétos**  
**≠**
- Conséquence : meilleure sécurité et meilleure combustion

## Vérifications faites par le pilote

- **Essais moteurs avant le décollage** :  
test de chaque magnéto, **gauche L left**, puis **droite R right**  
→ faible perte de régime sur chaque magnéto (sinon abandon du vol)
- **Essai coupure** avant l'arrêt du moteur (par l'étouffoir)





Dans un moteur à 4 temps, la compression intervient après :

- a) la combustion.
- b) la détente.
- c) l'admission.
- d) l'échappement.

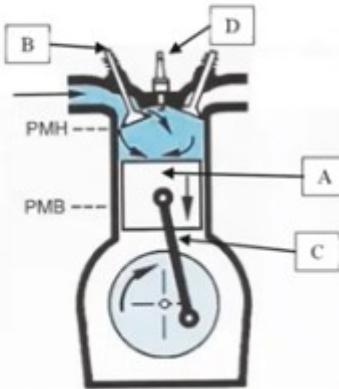
Dans un moteur 4 temps, lors de l'explosion (ou combustion) :

- 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



Sur le schéma ci-contre, les lettres correspondant aux différents éléments sont :

- a) A : piston. B : soupape.  
C : bielle. D : bougie.
- b) A : bielle. B : piston.  
C : soupape. D : bougie.
- c) A : piston. B : soupape.  
C : bougie. D : bielle.
- d) A : bougie. B : soupape.  
C : soupape. D : bielle.

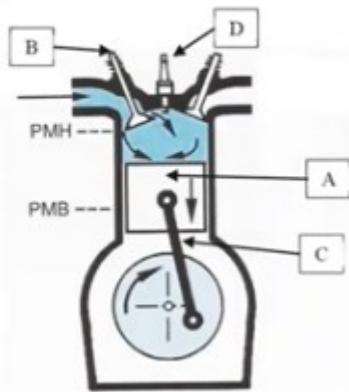


Durant un cycle de fonctionnement d'un moteur à pistons, le seul temps qui produit de l'énergie mécanique utile pour la propulsion est :

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

Sur le schéma précédent, le piston descend du point mort haut vers le point mort bas.  
Le temps moteur correspondant est :

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



La masse approximative d'un litre d'essence est de l'ordre de :

- a) 550 g.
- b) 750 g.
- c) 1050 g.
- d) 1250 g.



Parmi les éléments suivants, un seul ne concerne pas le circuit carburant :

- a) la pompe électrique de gavage.
- b) le carburateur.
- c) les réservoirs.
- d) l'alternateur.

Lors de la visite prévol, il faut purger les réservoirs d'essence afin :

- a) d'éliminer les bulles d'air du circuit carburant
- b) d'éliminer les impuretés piégées dans les filtres des pompes à carburant
- c) d'empêcher le phénomène de « vapor lock » en cas de surchauffe de la cellule
- d) d'évacuer l'eau venant de l'humidité de l'air qui s'est condensée au fond du réservoir



L'essence 100LL utilisée pour les moteurs à pistons en aviation légère est de couleur :

- a) verte.
- b) incolore.
- c) bleue.
- d) rouge.

La commande de richesse d'un avion à moteur à piston agit sur :

- a) l'indice d'octane de l'essence.
- b) le taux de mélange essence/huile.
- c) le taux de mélange air/essence.
- d) l'arrivée d'air dans le carburateur.

Lorsqu'un avion est en montée, la diminution de la densité de l'air aura tendance à :

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

Le dosage air - essence idéal pour un moteur à pistons est de :

- a) 1 g d'essence pour 15 g d'air.
- b) 15 g d'essence pour 1 g d'air.
- c) 10 g d'air pour 1 g d'essence.
- d) 1 g d'air pour 10 g d'essence.



Sous certaines conditions de température et d'humidité, on utilise le réchauffage du carburateur pour :

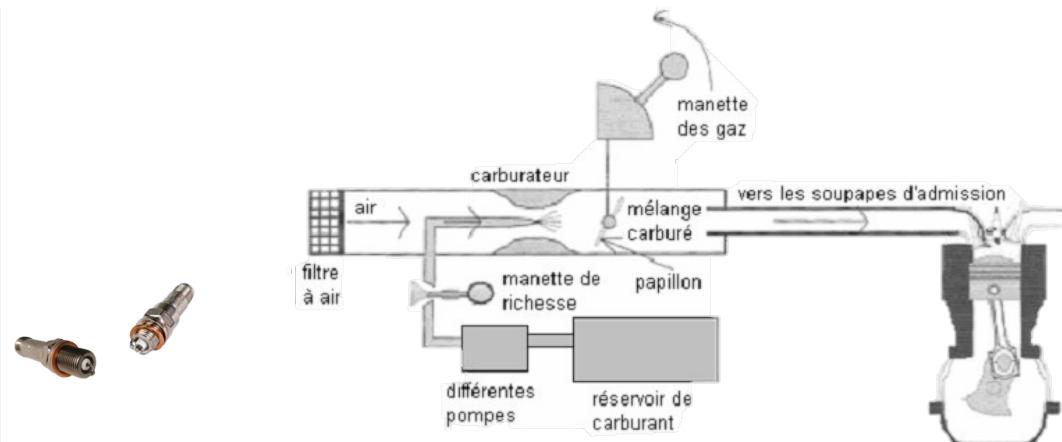
- a) réchauffer l'air entrant dans la cabine.
- b) éviter le givrage du carburant contenu dans la cuve du carburateur.
- c) vaporiser l'essence injectée dans le circuit d'admission du moteur.
- d) éviter le givrage autour du papillon d'admission.

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

- 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.

En atmosphère humide, le réchauffage carburateur doit être utilisé :

- a) aux forts régimes du moteur si la température de l'air se situe entre -5°C et +5°C.
- b) aux faibles régimes du moteur jusqu'à une température de l'air pouvant atteindre +25°C
- c) lorsque la température de l'air est négative.
- d) aucune des réponses ci-dessus n'est exacte.





# Lubrification et refroidissement



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

## ❑ Lubrification du moteur

- **L'huile de lubrification** *lubricating oil* :
  - ✓ diminue les frottements des pièces et les refroidit
  - ✓ draine les impuretés, filtrées par le **filtre à huile**
- Surveillance par le pilote de :
  - ✓ la **pression d'huile** → fuite ?
  - ✓ la **température d'huile** → surchauffe ?

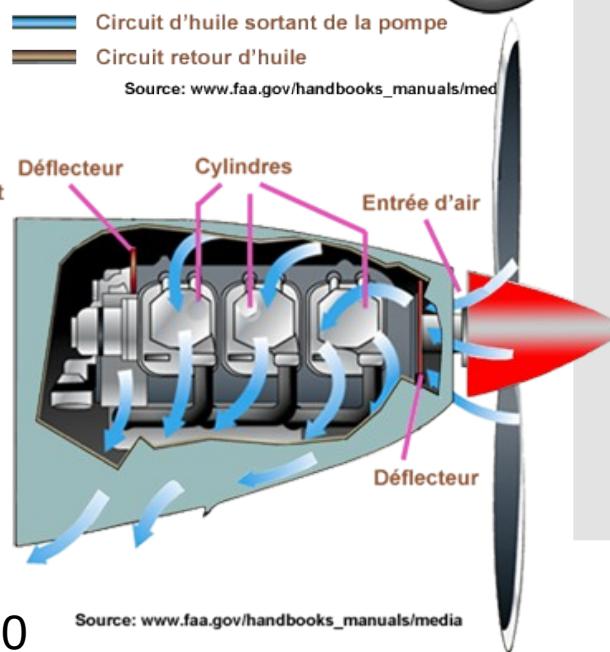
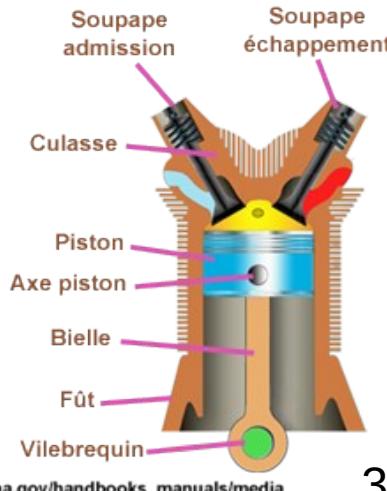
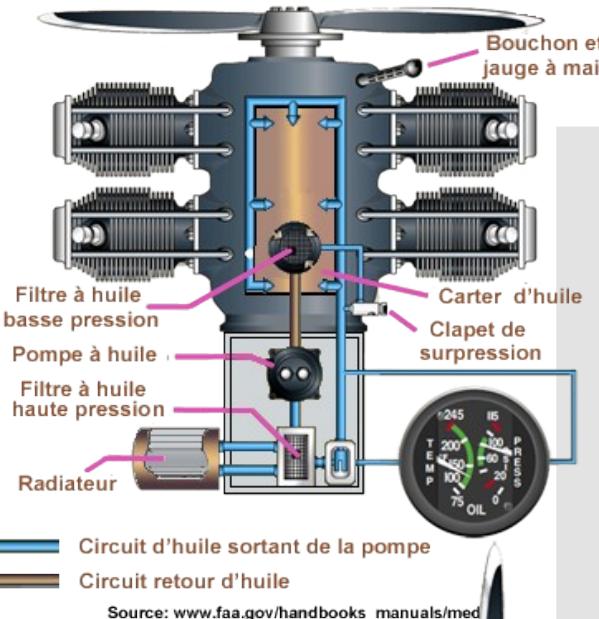
## ❑ Refroidissement du moteur

- Refroidissement *cooling* par **air**, grâce aux **ailettes de moteur**, aux **déflecteurs**...
- Lors d'une **montée** ou d'une **attente au sol prolongées**, le moteur peut chauffer  
→ **DANGER !!!**



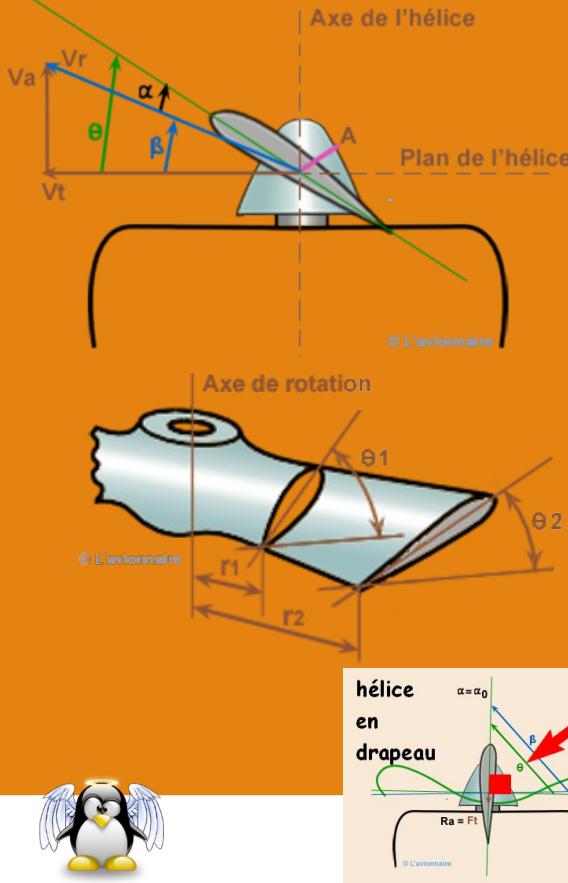
Images : [www.lavionnaire.fr](http://www.lavionnaire.fr)

<https://engelaero.wordpress.com>





# Hélice



## □ Description de l'hélice

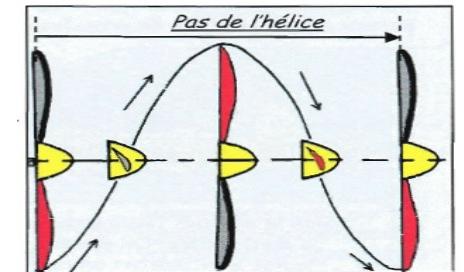
- Constitution de l'hélice *propeller*
  - ✓ **Moyeu** centré sur l'arbre de sortie du moteur
  - ✓ **Pales blades** fixées sur le moyeu (bipales... A400M : 8 pales)
  - ✓ **Cône ou casserole** d'hélice : profil plus aérodynamique et favorisant le refroidissement
- Matériaux : bois (très résistant) ou alliage métallique (aluminium...) ou composite, à fibres de carbone...
- Rôle : transformer l'énergie mécanique du moteur en force (traction ou propulsion) « ailes qui tournent »
  - ✓ GMP : utilisation limitée par la baisse de **rendement de l'hélice au-delà de Mach 0,7 et au-delà de 8 000 mètres d'altitude**



Source : <http://www.ratier-figeac.com/>

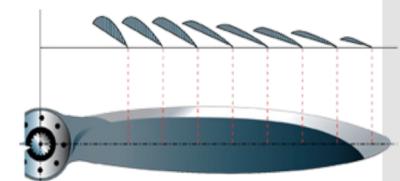
## □ Principe de fonctionnement

- Calage, pas et rendement :
  - ✓ **Calage  $\theta$**  = angle entre la corde de la pale (à 70% du rayon de l'hélice) et le plan de rotation de l'hélice
  - ✓ **Pas théorique  $H$  pitch** = distance parcourue par l'hélice le long de son axe de rotation en un tour
  - ✓ **Avance par tour** = **pas réel  $H'$**  <  $H$
  - ✓ **Rendement  $\eta_h$**  = puissance utile / puissance absorbée (= puissance moteur)



## ▪ Vrillage de l'hélice :

- ✓ But : **répartir uniformément la portance** sur toute la pale
- ✓ Corrige l'effet de la vitesse qui augmente le long de la pale



Source : Aerodynamic of flight

Images : [www.lavionnair.com](http://lavionnair.com)

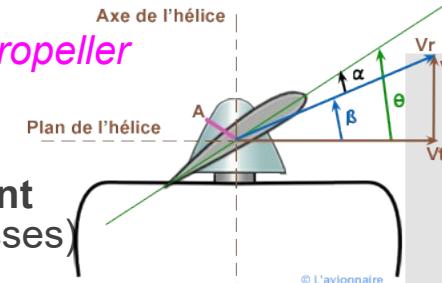


# Hélice à pas variable



## □ Deux technologies : pas fixe et pas variable

- Hélice à **pas fixe** (et vitesse variable) *fixed-pitch propeller*  
→ Moins efficace à faible ou forte vitesse
- Hélice à **pas variable** (et vitesse constante)  
*constant speed propeller*  
→ plus coûteux et plus fragile mais plus **performant**
- Analogie avec le vélo (à plusieurs plateaux et vitesses)

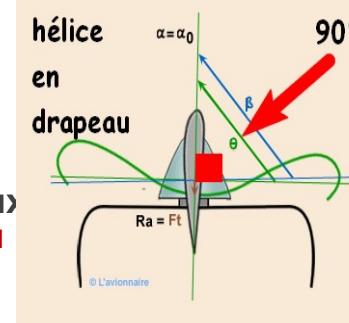
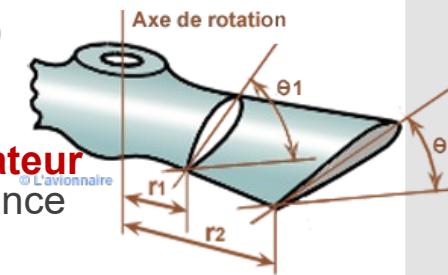


## □ Fonctionnement de l'hélice à pas fixe

- Action sur **manette des gaz** → variation de puissance  
→ variation de la vitesse de rotation de l'hélice  
→ surveillance avec le **tachymètre** (compte-tours)

## □ Fonctionnement de l'hélice à pas variable

- Réglage automatique du pas d'hélice par le **régulateur**
- Action sur **manette des gaz** → variation de puissance demandée  
→ surveillance de la « **pression d'admission** »
- Action sur **manette de pas** → variation de vitesse de rotation d'hélice  
→ surveillance du « **régime hélice** »  
(nombre de tours au tachymètre)
- Quelques calages usuels en vol :
  - ✓ **Décollage** et atterrissage : **plein petit pas** (PPP)
  - ✓ **Croisière** : **grand pas** (GP), fonctionnement **plus silencieux**
  - ✓ **Panne moteur**, hélice arrêtée : fonctionnement **en drapeau**



**La casserole d'hélice :**

- a) favorise la mise en température du moteur
- b) améliore l'écoulement de l'air
- c) évite le souffle hélicoïdal autour du fuselage
- d) les affirmations « a » et « c » sont exactes

**L'hélice à pas variable :**

- a) s'utilise avec grand pas au décollage et petit pas en croisière
- b) diminue la vitesse de décrochage lorsque le moteur est réduit
- c) ne peut s'utiliser que sur des avions multimoteurs
- d) permet de raccourcir la distance de décollage



**L'angle de calage d'une hélice est :**

- a) l'angle formé entre les pales ( $180^\circ$  pour une bipale,  $120^\circ$  pour une tripale, etc.).
- b) l'angle formé par la corde de profil de la pale à un endroit donné et le plan de rotation de l'hélice.
- c) le diamètre de l'hélice multiplié par le coefficient de plénitude.
- d) l'angle formé par la verticale et une des pales de l'hélice lorsque le moteur est arrêté.

**Le grand pas d'une hélice à pas variable est utilisé pour :**

- a) le décollage.
- b) l'atterrissage.
- c) le décollage et l'atterrissage.
- d) le vol de croisière.



La fonction des ailettes d'un bloc moteur à refroidissement par air est d'améliorer :

- a) l'aérodynamisme.
- b) la résistance de la structure.
- c) le refroidissement des cylindres.
- d) rapport poids/puissance.

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.

Un moteur refroidi par air risque de chauffer :

- 1) au cours d'un roulage ou d'une attente au sol prolongés
- 2) par condition givrante
- 3) lors d'une montée prolongée
- 4) au cours d'un vol à haute altitude

Choisir la combinaison la plus complète :

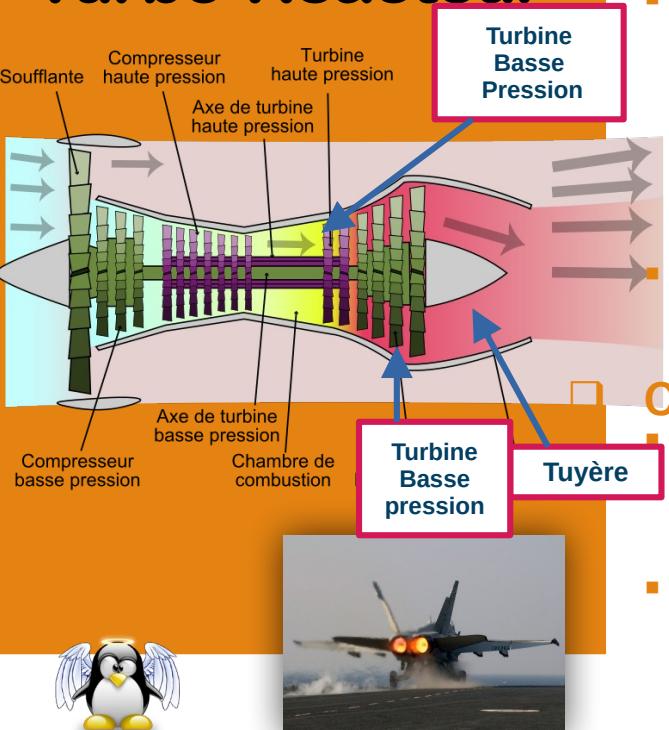
- a) 2 et 4.
- b) 2 et 3.
- c) 1 et 3.
- d) 3 et 4.

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  $90^\circ$ .



# Le GTR, Groupe Turbo-Réacteur



## ❑ Fonctionnement du GTR

- **Groupe Turbo Réacteur**  
= GTR = *turbojet engine* : turbomachine sans hélice
- Cycle thermodynamique du réacteur en 4 phases → →

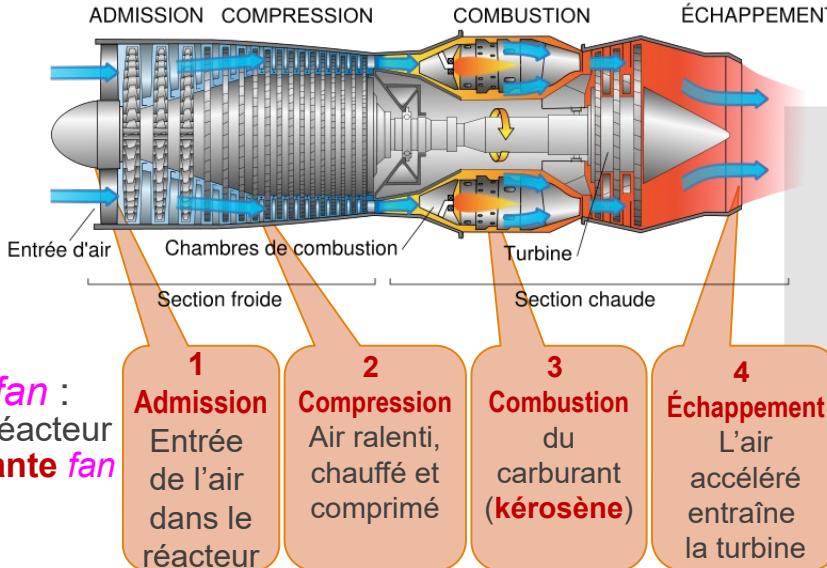
## Réacteur moderne

- **Réacteur GTR *turbojet***
- Simple flux / **double flux *turbofan*** :
  - ✓ Flux primaire par le cœur du réacteur
  - ✓ Flux secondaire par la **soufflante** *fan*
  - ✓ **Taux de dilution**

= flux secondaire / flux total, proche de **80 %** à haute vitesse  
 Simple corps (« **pur** ») / double corps (plus performant et moins bruyant)  
 ✓ 2 étages de compression : 1) **basse pression** puis 2) **haute pression**

## Caractéristiques complémentaires

- **Poussée** du GTR : en kilo-Newton, **Tonnes** ou Livres
- **Post-Combustion (P.C.)**, « **la réchauffe** » *afterburner*  
= injection et inflammation de kérosène derrière la tuyère  
→ surcroît de puissance (+ conso), supersonique militaire
- Motoristes : Pratt et Whitney (USA), Rolls-Royce (UK) ; **Safran** (FRA) anciennement SNECMA et GE (USA) fabriquent le **LEAP** *Leading Edge Aviation Propulsion*



# Le Principe du Réacteur à simple flux

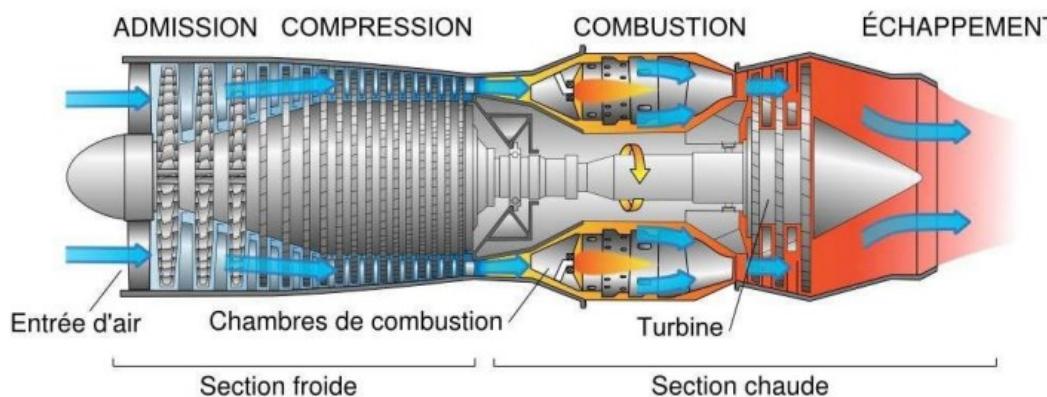


Figure 2.38. Réacteur monocorps

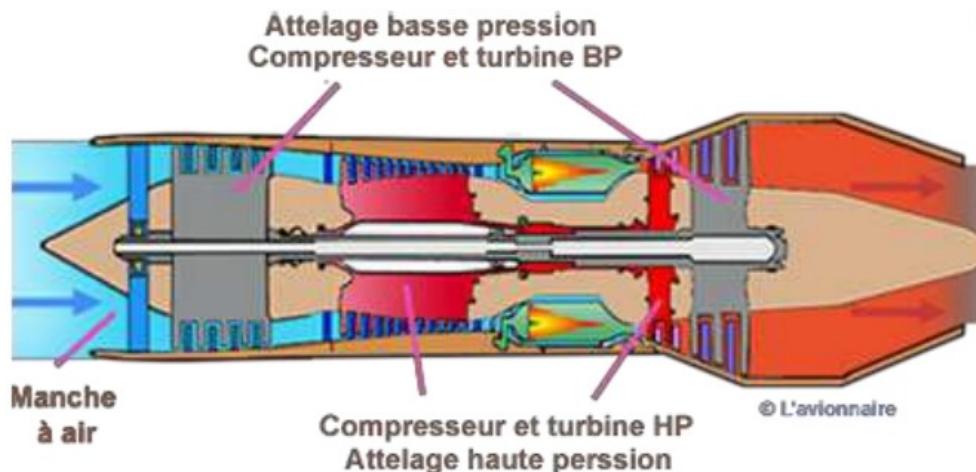


Figure 2.39. Réacteur double corps

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

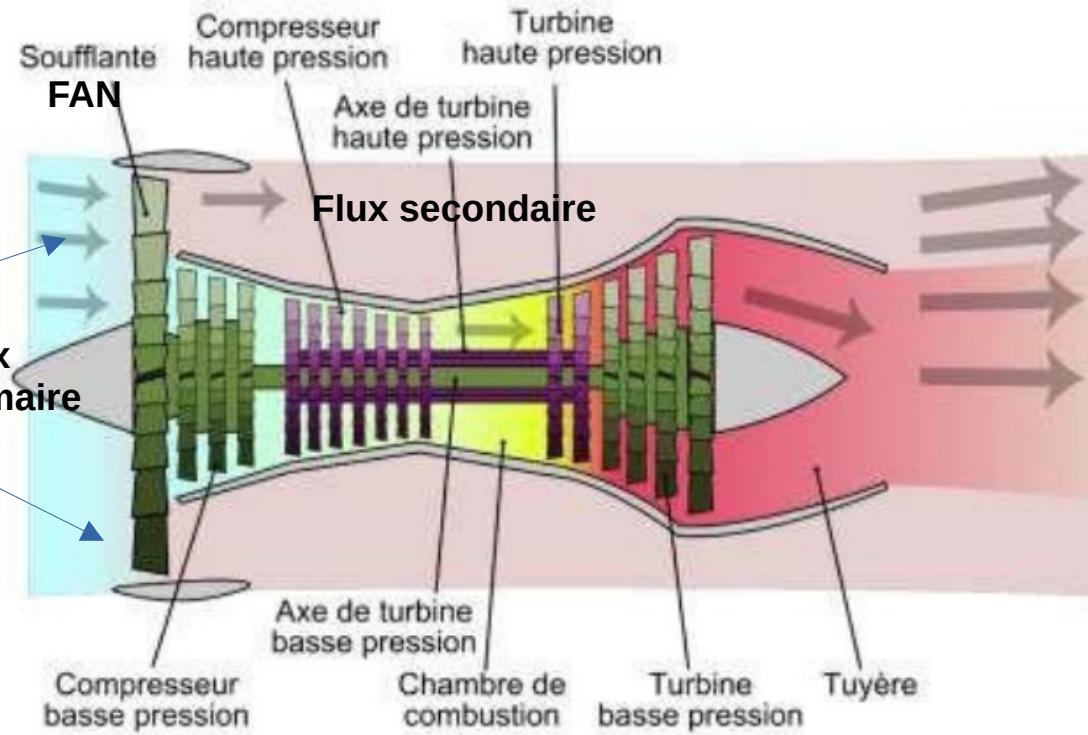
# Le Turboréacteur à double flux

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

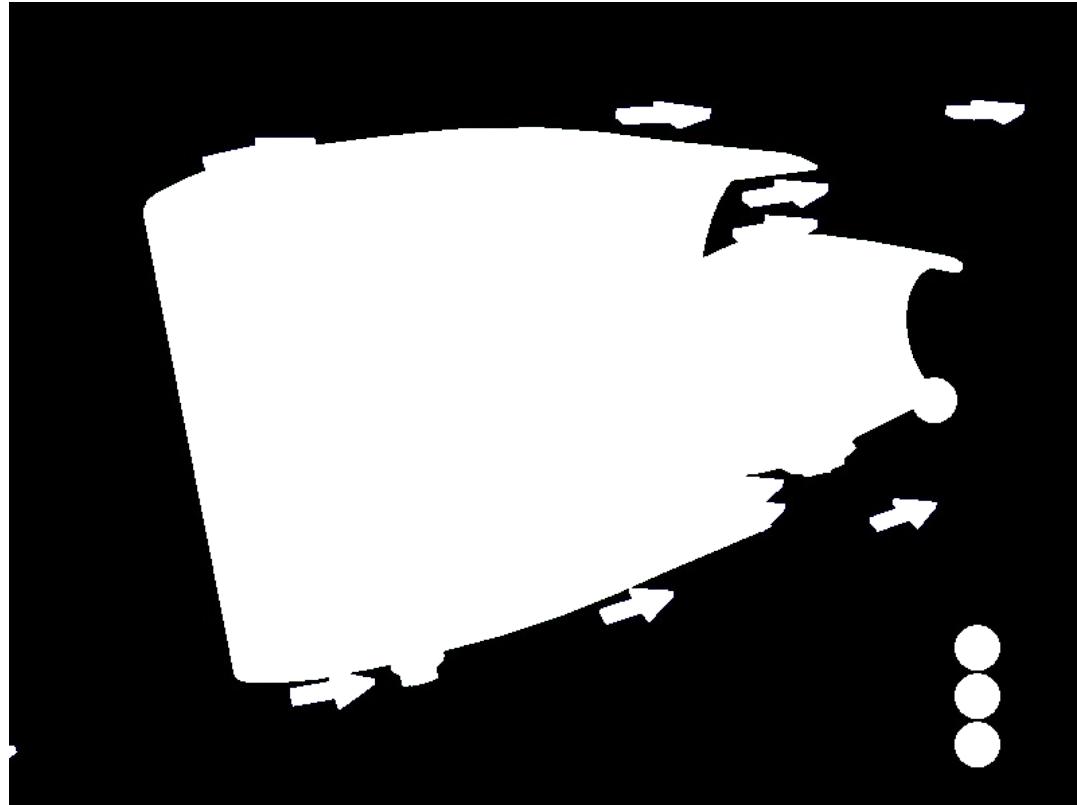
Dans ce réacteur, deux débits d'air le traversent et le flux secondaire ne traverse pas la chambre de combustion.

**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**

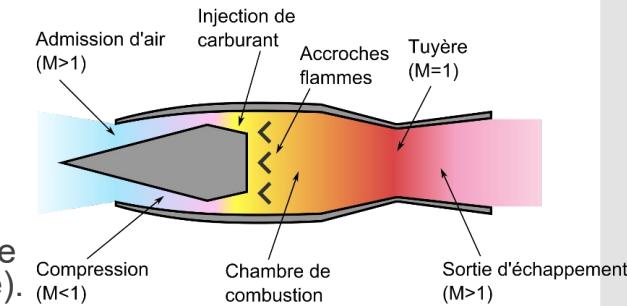




# Turbomachines et moteur fusée

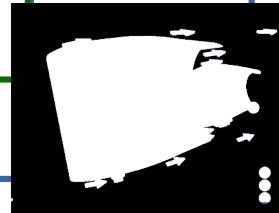


- **Turbomachines à hélice**
  - **Turbomachine** : éjection à grande vitesse de gaz, carburant = kérosène
  - **Groupe Turbo-Propulseur (GTP)** « turboprop » :
    - ✓ La turbine entraîne une hélice (un réducteur permet de diminuer sa vitesse de rotation)
    - ✓ Rendement supérieur à celui du turboréacteur, mais utilisation limitée (par la baisse de rendement hélice si  $> \text{Mach } 0,7$  ou altitude  $> 8000\text{m}$ )
  - **Turbomoteur** (hélicoptères) : fonctionnement similaire au turboprop
  
- **Turbomachines sans hélice**
  - Groupe Turbo-Réacteur (GTR)
  - **Statoréacteur**
    - ✓ Constitué d'un tube, 0 pièce mobile (« *stato* » = statique)
    - ✓ Ne fonctionne qu'avec une vitesse élevée (conséquence : décollage non autonome).
  - **Pulsoréacteur**
    - ✓ Moteur à réaction cyclique ; exemple : V1
    - ✓ Injection cyclique de carburant et comburant
  
- **Moteur fusée**
  - Moteur anaérobie (fonctionne sans oxygène)
  - Carburant = **ergols** (poudre ou liquide, ex : hydrogène + oxygène)



Un turboréacteur moderne à double flux équipant un avion de transport a comme particularité par rapport à un turboréacteur simple flux :

- a) un meilleur rendement et une nuisance sonore importante
- b) un mauvais rendement et moins de nuisance sonore
- c) un meilleur rendement et moins de nuisance sonore
- d) un mauvais rendement et une nuisance sonore importante



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.

Un turboréacteur possède entre autres :

- a) une tuyère et un vilebrequin
- b) une hélice quadripale
- c) un compresseur et une tuyère
- d) une turbomachine couplée à une hélice

Un groupe turbopropulseur est alimenté en carburant avec :

- a) du kérosène
- b) du super 98 avec additif
- c) une essence spéciale aviation de type 100LL
- d) du propergol



Dans un statoréacteur :

- a) l'hélice est entraînée par la turbine.
- b) le compresseur est entraîné par la turbine.
- c) on ne trouve aucune partie mobile.
- d) la turbine est située sur le même axe que le compresseur.

Parmi ces instruments, un seul est facultatif à bord d'un planeur. Il s'agit :

- a) du compas.
- b) de l'altimètre.
- c) de l'anémomètre.
- d) du transpondeur.

- a) n'a jamais propulsé d'objets volants. C'est un système d'analyse de vibrations, sans chambre de combustion uniquement destiné aux bancs d'essais des réacteurs
- b) est un moteur fusée à réaction qui ne comporte qu'une turbine mais aucun étage de compression
- c) est un moteur fusée fonctionnant avec un couple carburant / comburant solide (poudre) injectés de manière pulsée (alternativement l'un puis l'autre)
- d) est un moteur à réaction qui ne comporte comme pièce mobile que des volets placés sur l'entrée d'air





# Tableau de bord



Image : <http://www.francebleu.fr>

## ☐ Tableau de bord

- Aussi appelé **planche de bord**, regroupe les instruments de bord (de conduite, de navigation, de contrôle moteur, etc.)

- Avionique** = ensemble des équipements électroniques, électriques et informatiques qui aident au pilotage des avions et astronefs

Planche de bord **ancienne** ou **moderne**

- ✓ Planche **conventionnelle Steam gauges** : aiguilles et cadrans, instruments analogiques
- ✓ Planche « tout écran » **Glass cockpit** : écrans, instruments digitaux

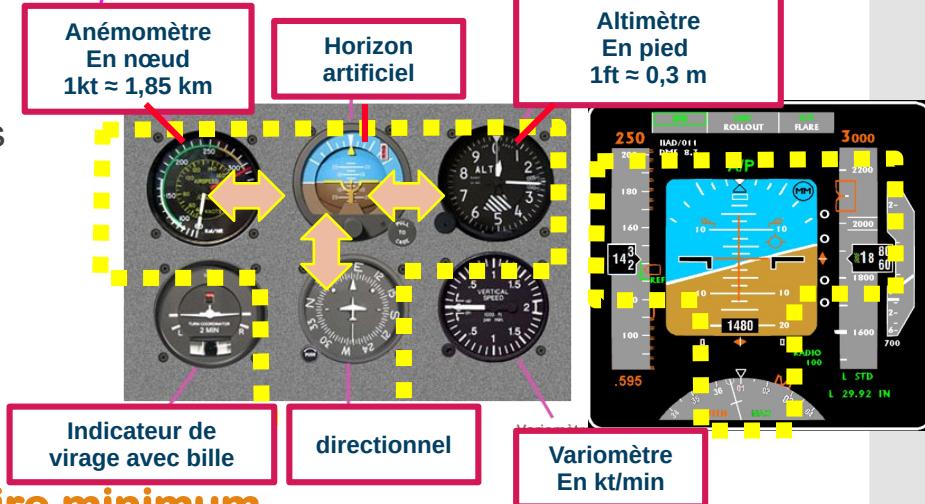


## T-standard

Équipement de base toujours disposé de la même manière d'un avion à l'autre :

→ ergonomie → sécurité

- ✓ Anémomètre à gauche
- ✓ Horizon artificiel au centre
- ✓ Altimètre à droite,
- ✓ Directionnel (CC) dessous



## Équipement réglementaire minimum

- En vol à vue de jour : **anémomètre, indicateur de dérapage, compas magnétique et montre** (« le cap et la tocante »)

- Pour les planeurs : anémomètre, altimètre et compas magnétique





# Horizon artificiel



Images : [www.lavionnaire.fr](http://www.lavionnaire.fr)

## □ Gyroscopie

- **Gyroscope** = toupie tournant à grande vitesse, à laquelle on laisse plusieurs **degrés de liberté** pour utiliser l'un de ces deux principes :
  - ✓ **Principe de la fixité** : la toupie tend à garder son orientation dans l'espace (principe utilisé pour les instruments gyroscopique à 2 degrés de liberté)
  - ✓ **Principe de la précession** : application d'un couple perpendiculaire à l'axe de rotation → rotation dans la troisième dimension (gyro à 1° de liberté)
- **Vide** autour du gyro créé par une pompe entraînée par le moteur
  - ✓ **Indicateur de dépression (suction)** vérifiée lors des essais moteur
  - ✓ Friction → rotation ralentie → la toupie penche + ou - vite (à recaler)

## □ Horizon artificiel

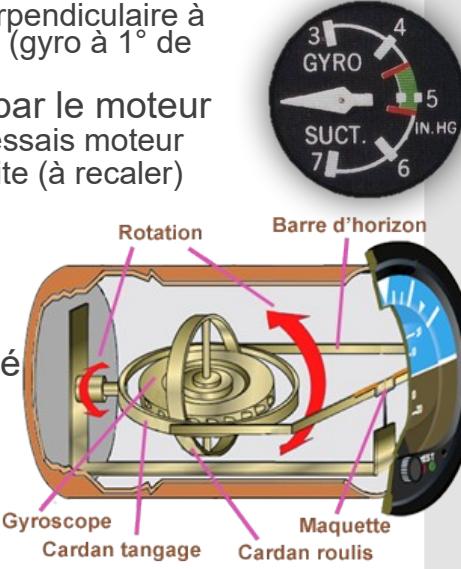
- **Horizon artificiel = indicateur d'attitude** (*attitude indicator*, indique l'assiette et l'inclinaison)
- Principe de l'instrument : gyroscopique à 2° de liberté il garde sa direction dans l'espace (**fixité**)
- Exemple ici, avec une assiette de -10° : la maquette vise **le sol** (foncé) au lieu **du ciel** (clair)



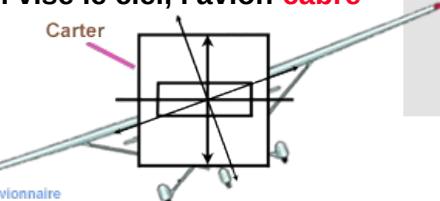
Virage à gauche  
inclinaison 30°

Vol rectiligne

Virage à droite  
inclinaison 30°



En piqué dans les 3 cas (l'avion vise le sol)  
Si l'avion vise le ciel, l'avion cabre



## 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...

E34

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

Ciel

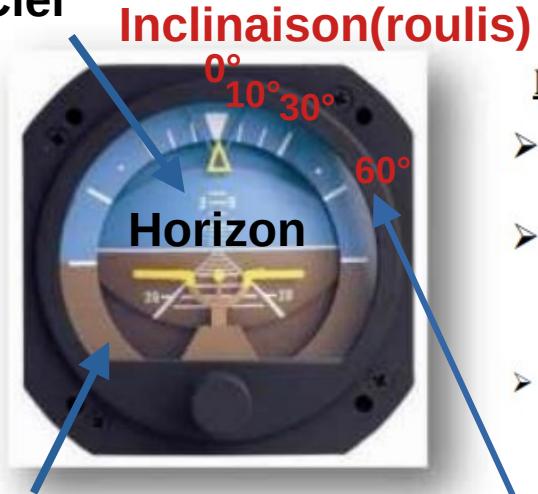


Figure 2.56.

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

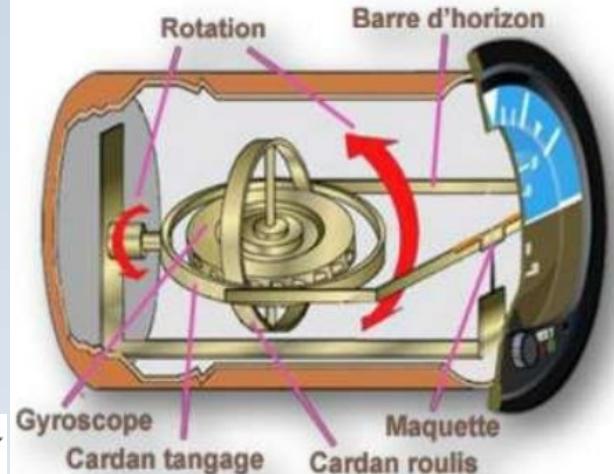
(sensation de peser 2 fois plus lourd)

### 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



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



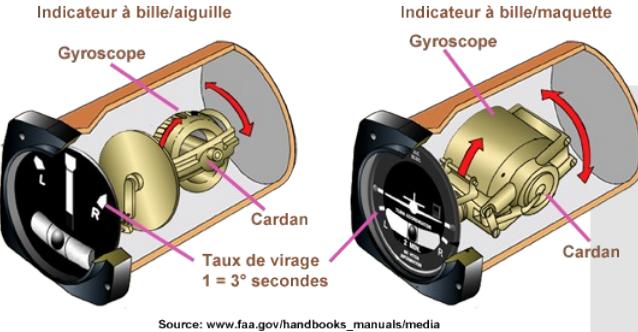
# Bille-Aiguille



On dit que « le pied chasse la bille »  
Il faut pousser le palonnier (pédale)  
côté bille pour annuler le dérapage.

## Aiguille

- = indicateur de virage *turn indicator*
- Principe : gyroscope à 1 degré de liberté
- Indique le taux de virage (la **cadence**)
  - ✓ **Taux 1 =  $180^\circ/\text{mn} = 1 \text{ tour en } 2 \text{ mn}$**   
**= cadence standard**
  - ✓ Taux 2 =  $360^\circ/\text{mn} = 1 \text{ tour en } 1 \text{ mn}$



## Bille

- **Bille** *slip indicator* indique la **symétrie du vol**
- Principe du niveau à bulles, utilisé dans le bâtiment
  - ✓ Mouvement dû à l'orientation du poids apparent (par rapport à la verticale de l'appareil)

## Bille-Aiguille

- *Turn and slip indicator*
- Permet de détecter glissade et dérapage
  - ✓ **Glissade** = bille et aiguille du même côté
  - ✓ **Vol symétrique** = bille au milieu
  - ✓ **Dérapage** = bille et aiguille de côté opposé (**dangereux**)
- Exemples :
  - ✓ Pour un virage à gauche :



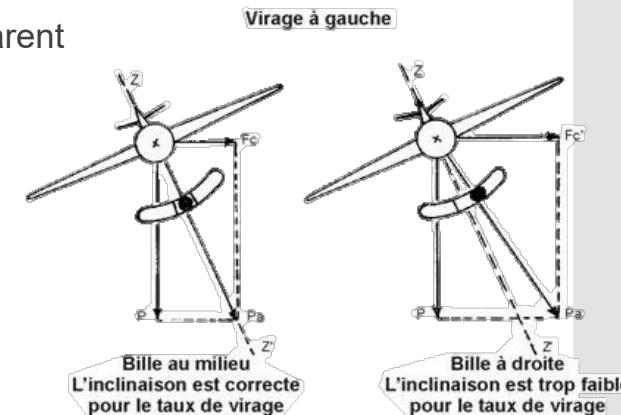
glissade



dérapage



✓ Pour un  
vol en  
« crabé » :



## 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.



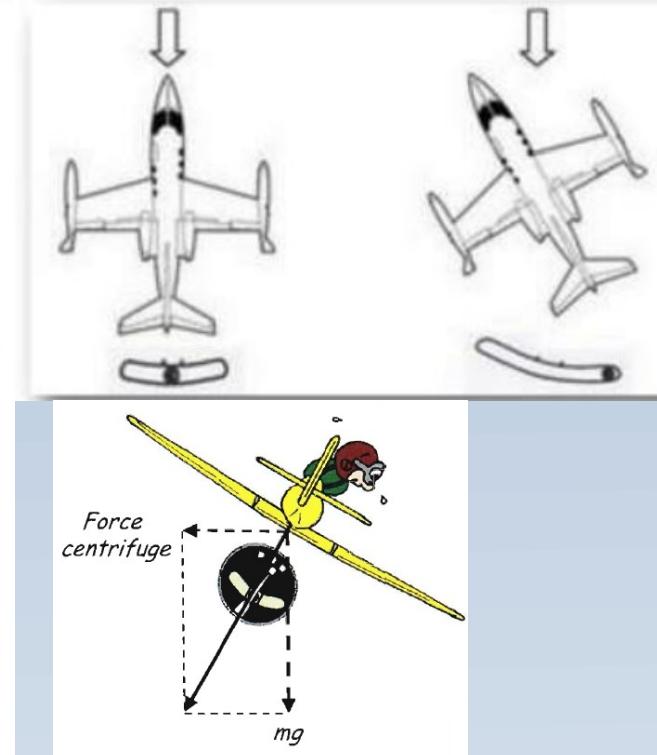
Figure 2.54.

**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

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



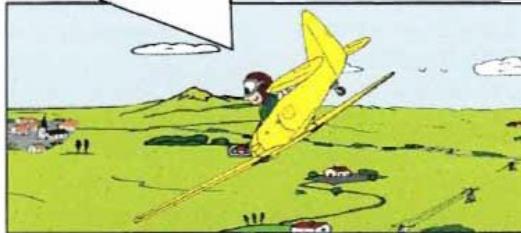
De par sa masse, la bille est constamment soumise aux forces résultantes des accélérations subies par l'avion dans le plan transversal. Le tube, étant lié à l'avion, la bille, agissant comme un pendule, indiquera la direction de la verticale apparente, qui se situe dans le plan de symétrie de l'avion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

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



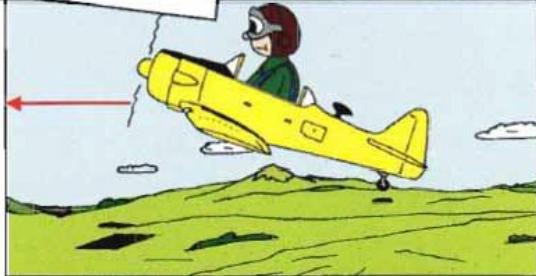
Horizon artificiel      Bille aiguille      Variomètre

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



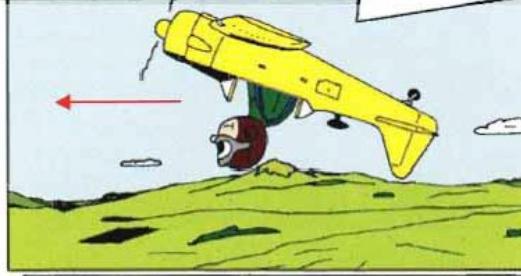
Horizon artificiel      Bille aiguille      Variomètre

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



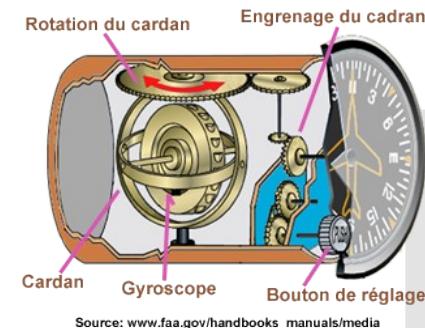
# Directionnel et compas



Images : [www.lavionnaire.fr](http://www.lavionnaire.fr)

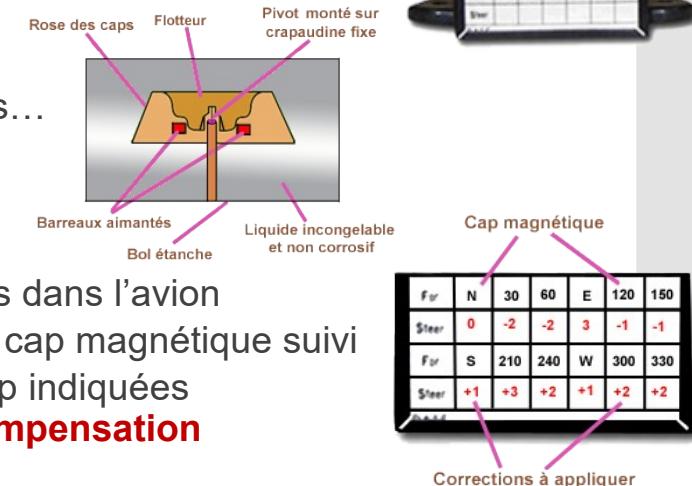
## □ Directionnel

- **Directionnel = Conservateur de cap (CC)**  
*directional gyro, heading indicator, course indicator*
- But : lecture rapide et précise du cap magnétique
- Principe : gyro à 1 degré de liberté (précession)
- Correction de la précession :
  - ✓ La Terre tourne sur elle-même...
  - ✓ Donc la direction de l'horizon change
  - ✓ Nécessité d'un **recalage sur le compas** régulièrement en vol



## Compas magnétique

- **Compas compass** = boussole indiquant le nord magnétique défilant devant la **ligne de foi**
- **Illisible dans certaines situations**
  - ✓ Virage, montée, descente, accélérations...
  - ✓ Utilisation d'un conservateur de cap (ex : pour le cap de sortie de virage...)
- Compensation de la déviation
  - ✓ Influences électromagnétiques parasites dans l'avion
  - ✓ Provoque une « **déviation** » **d**, selon le cap magnétique suivi
  - ✓ Corrections à appliquer pour chaque cap indiquées sous le compas, dans le **tableau de compensation**
  - ✓ **Cm** (suivi) – **d** = **Cc** (indiqué)  
« **Retranchez** votre dérive... Chaque mesure du Cap compas. »



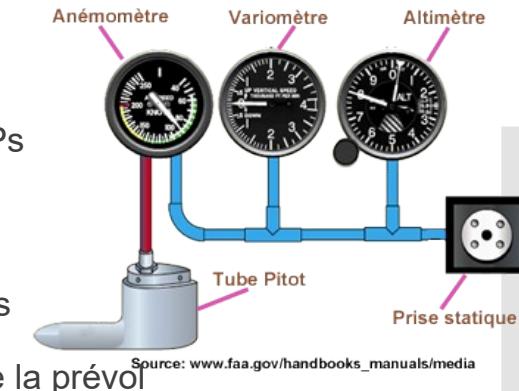


# Circuit anémo-barométrique et badin



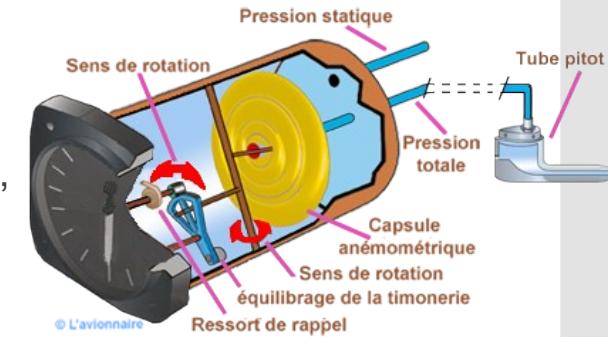
## □ Circuit anémo-barométrique

- Capteurs et principes
  - ✓ **Prises statiques** latérales : pression statique  $P_s$
  - ✓ **Sonde ou tube Pitot** : pression totale  $P_t$
- Protection du circuit :
  - ✓ Les **prises d'air** ne doivent pas être obstruées
  - ✓ Sinon informations sur les instruments erronées (Exemple : crash du vol Rio-Paris d'Air France)
  - ✓ Protection par des « **flammes** » retirées lors de la prévol



## □ Badin

- **Badin = anémomètre airspeed indicator**
- But : indiquer la **vitesse propre  $V_p$**  en nœuds ou km/h : **1 kt = 1,85 km/h**
- Principe : mesure de l'écart entre  $P_s$  et  $P_t$ , **pression dynamique**
- **Pdynamique = Ptotale – Pstatique**  
**Pdynamique** varie avec la vitesse
- Vitesses caractéristiques :
  - ✓ Arc blanc : plage de vitesses **volets sortis** de **V<sub>s0</sub> Velocity Stall 0** (configuration atterrissage) à **V<sub>FE</sub> Velocity Flaps Extended**
  - ✓ Arc vert : plage de vitesses normales de **V<sub>s1</sub> Velocity Stall 1** (configuration « **lisse** ») à **V<sub>NO</sub> Velocity Normal Operating**
  - ✓ Arc jaune : vitesses à éviter en air turbulent de **V<sub>NO</sub>** à **V<sub>NE</sub> Velocity Never Exceed (trait rouge)**



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

## 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

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

**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

E37

## 2) Principe de fonctionnement

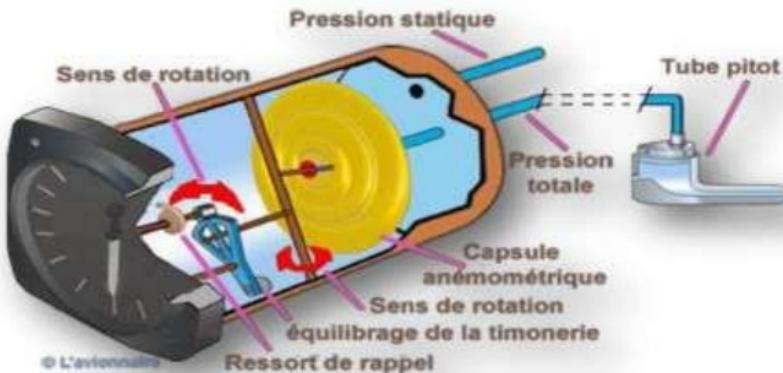


Figure 2.47.

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

123

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

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



95kt≈180km/h

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

## 2) Principe de fonctionnement

### BADIN

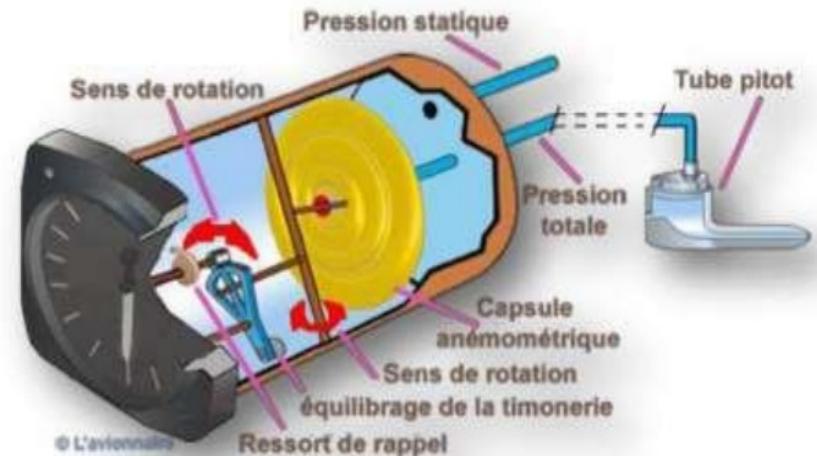
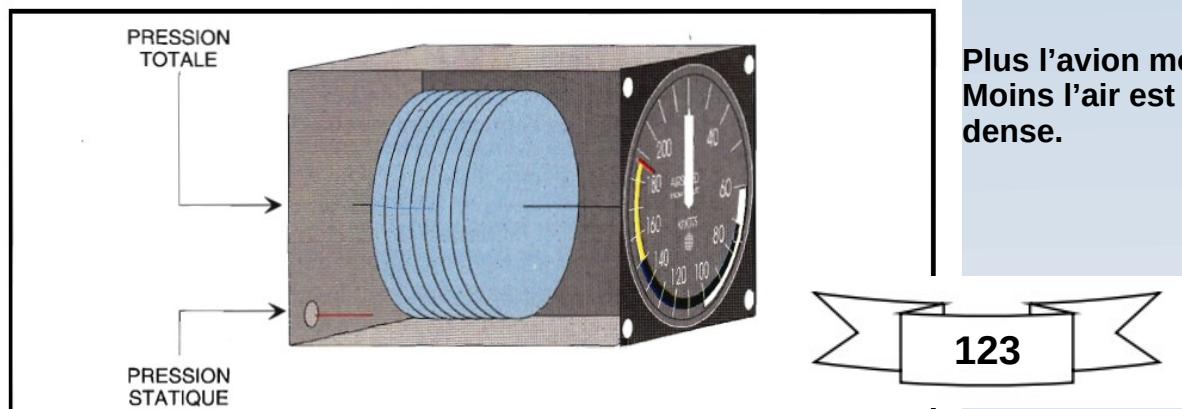


Figure 2.47.

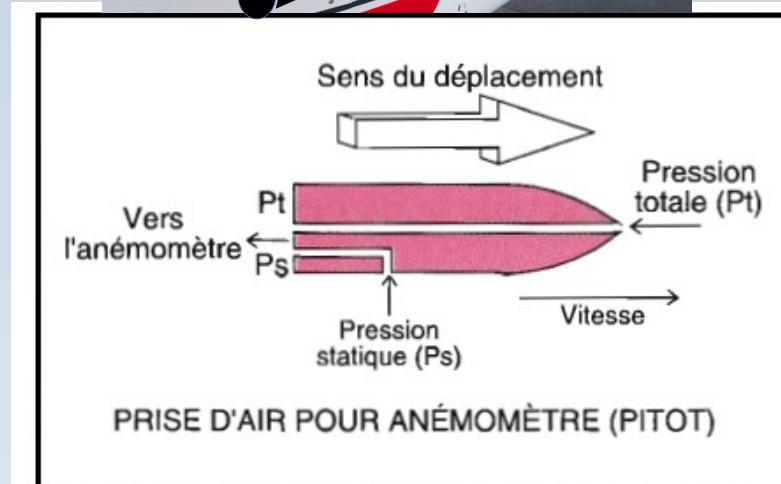
L'anémomètre donne une vitesse indiquée, qui diffère de la vitesse vraie selon l'adage « plus haut, plus chaud : plus vite ».



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

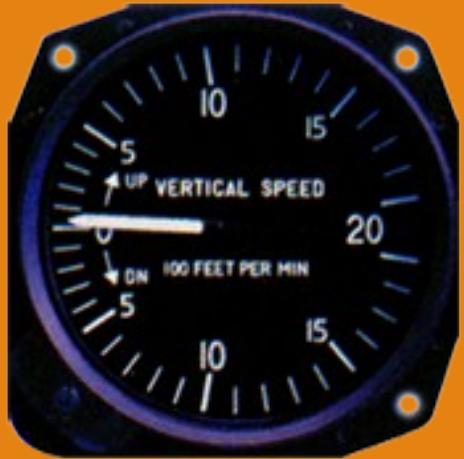
## Pression de l'air :

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





# Altimètre et variomètre



## □ Altimètre

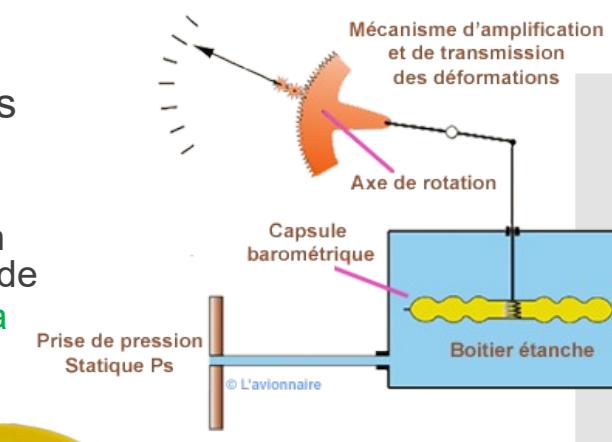
### ▪ Altimètre *altimeter*

But : indiquer l'altitude en pieds ou en mètres

**1 ft = 0,3 m environ**

Principe : l'altimètre est un baromètre

- ✓ Prises statiques latérales captant la pression statique extérieure  $P_s$ , en relation avec l'altitude
- ✓ Réglage du **calage altimétrique** par rapport à une pression de référence (en hPa hectopascals) :  
QFE, QNH ou 1013  
→ cf. *briefing de navigation*
- ✓ Capteur de pression = **capsule de Vidie** : capsule anéroïde (étanche)



$\Delta f$  est sensiblement proportionnel à la variation de la pression différentielle

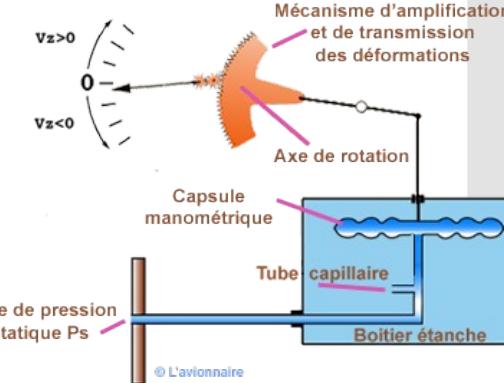
## Variomètre

### Variomètre *vertical speed indicator*

But : indiquer la **vitesse verticale  $V_z$**  en pieds par minute (**100 ft/mn = 0,5 m/s**)

Principe : un **tube capillaire** permet de comparer la pression statique actuelle  $P_s1$  à celle d'un instant légèrement antérieur  $P_s0$

**Indications imprécises** (simple tendance) et en retard (non instantanées : **hystérésis**)



## B. L'Altimètre (Altimeter)

E38

### 1) Présentation

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



Petite aiguille sur 0  
Grande 2,5  
 $0,25 \times 100 = 250$  ft

Pression en  
HectoPascal hpa  
Figure 2.48.

≈620 ft

Petite aiguille	Grande aiguille	$\times 100$
0	2,5	

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*

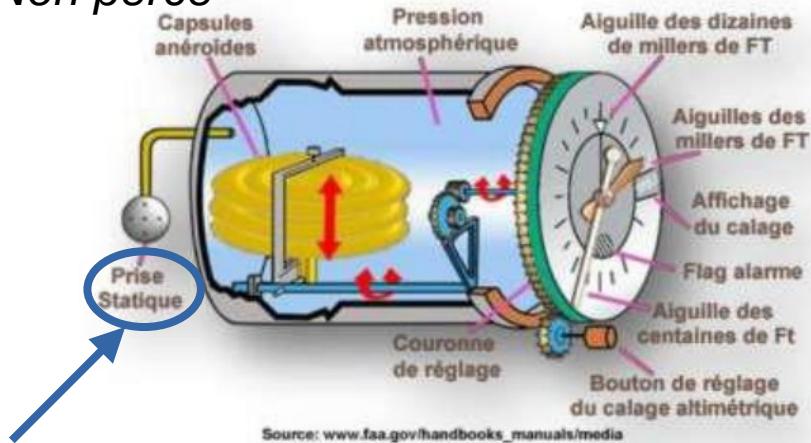
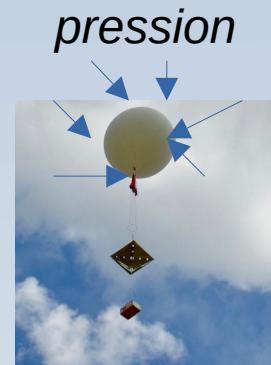


Figure 2.49.

# 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**



# Familles d'instruments et systèmes



## Familles d'instruments

- **Instruments de conduite** (pilotage)
  - ✓ **Les instruments anémo-barométriques**  
anémomètre, altimètre et variomètre
  - ✓ **Les instruments gyroscopiques**  
horizon artificiel, aiguille, conservateur de cap
  - ✓ La bille (qui fait partie de la « **bille-aiguille** »)
- **Instruments de navigation** : **compas**, récepteurs ADF, VOR, DME, GPS...
- **Instruments de contrôle** : des moteurs, servitudes, des pression et niveau carburant, batterie, etc.
- **Instruments de communication** : radio, transpondeur...

## Quelques systèmes complémentaires

- **Radar météo** : radar détectant les cellules orageuses
- **Système TCAS Traffic Collision Avoidance System** : radar anticollision détectant les avions environnants
- **Système de gestion de vol FMS flight management system** : logiciel fournissant au pilote des renseignements pendant le vol
- **Directeur de vol DV flight director FD** : affichage de barres de tendance sur certains instruments, aidant en pilotage manuel
- **Pilote automatique PA Auto-Pilot AP** : conservation de l'altitude, du cap...
- **Viseur Tête Haute** (VTH) = affichage TH, **collimateur TH**, visualisation TH, **Head Up Display HUD** : une superposition d'informations sur l'environnement extérieur, permet au pilote de surveiller en même temps son environnement et les informations des instruments

