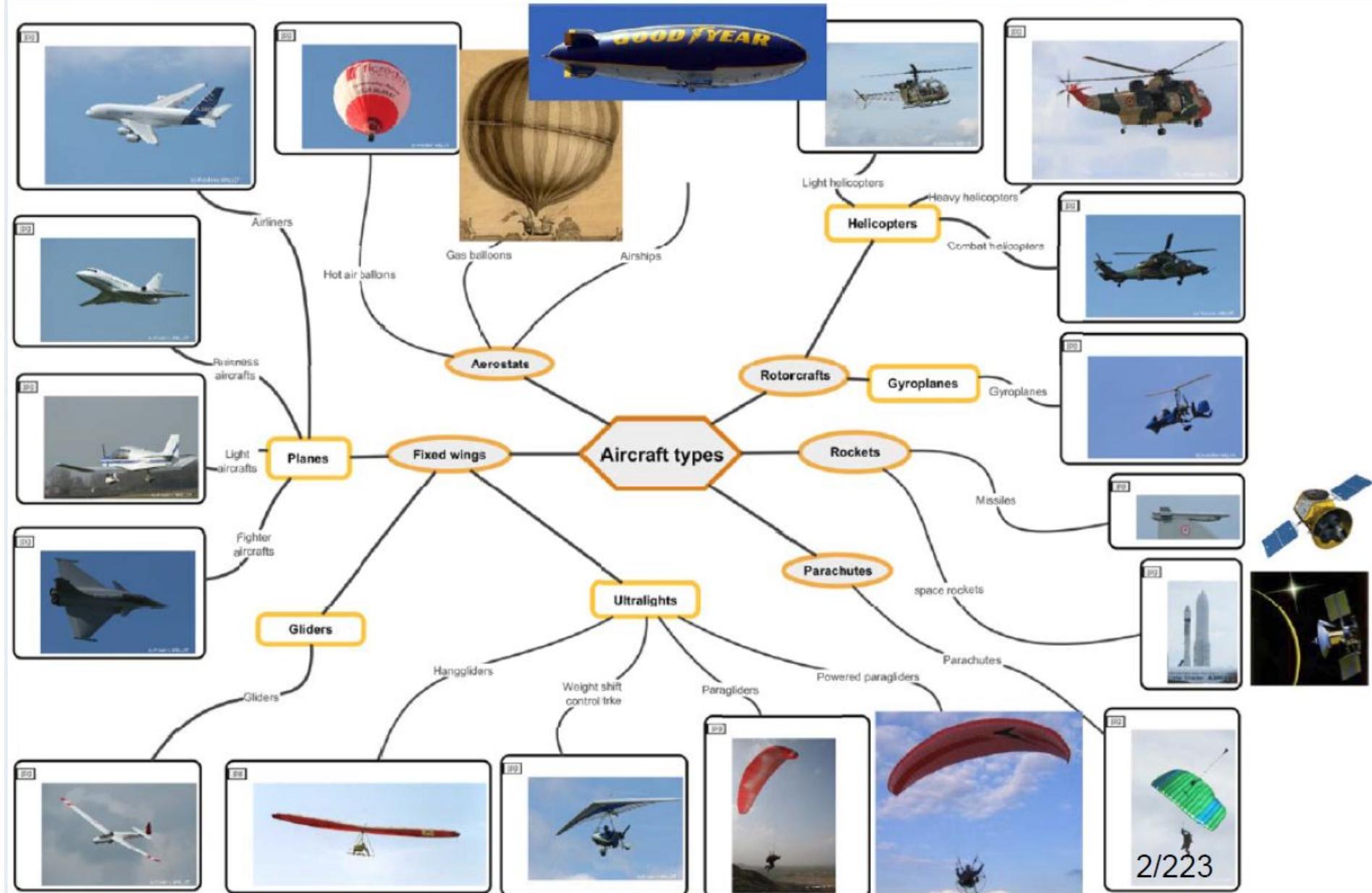


CONNAISSANCE DES AERONEFS



DEFINITIONS (Petit Larousse)

Aéronef

- Tout appareil capable de s'élever et de circuler dans l'atmosphère

Aérostat

- Tout appareil dont la sustentation est assurée par un gaz plus léger que l'air ambiant (ballon, dirigeable ...)

Aérodyné

- Tout appareil de navigation aérienne qui n'est pas un aérostat:

- planeur
- avion / ulm
- hydravion
- hélicoptère

3-1 Classification des aéronefs et engins spatiaux



AEROSTATS





AERODYNES

Voilure

- fixe
- tournante



LES ULM (Ultra Légers Motorisés)

Six classes d'ULM:

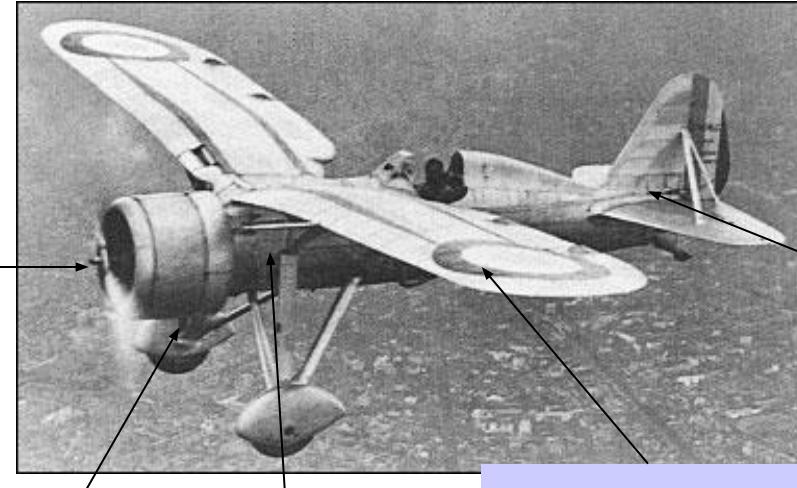
CLASSE		PIUSSANCE (kW)	MASSE (kg)
1	Paramoteur monoplace	60	300
	biplace	75	450
2	Pendulaire monoplace	60	-
	biplace	75	-
3	Multiaxe monoplace	75	300
	biplace	90	450
4	Autogire monoplace	75	300
	biplace	90	450
5	Dirigeable monoplace	75	
	biplace	90	
6	Hélicoptère	80	300
		100	450



Vocabulaire

ELEMENTS CONSTITUTIFS D' UN AVION

groupe
motopropulseur



fuselage

aile ou voilure

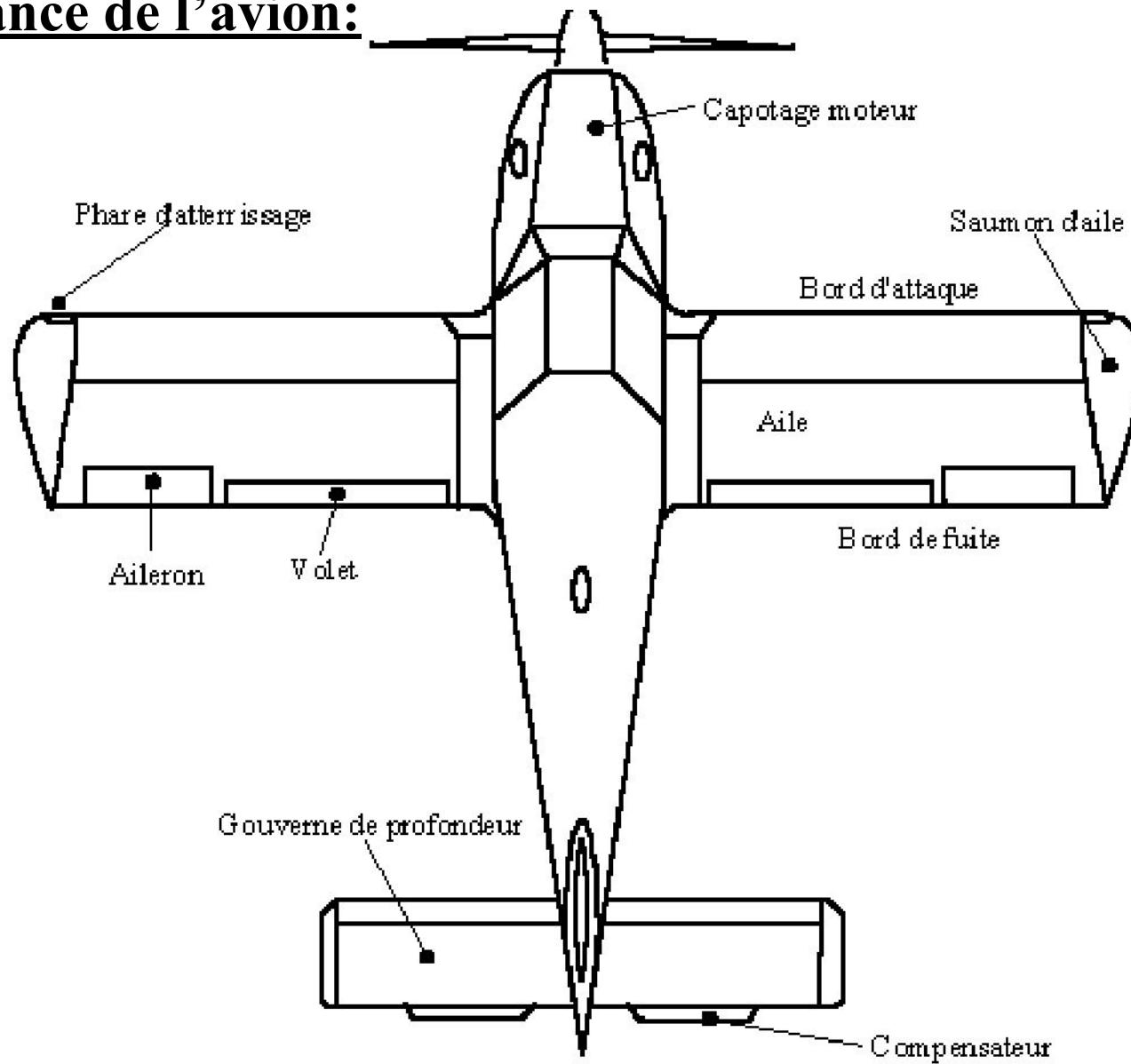
Empennages

moteur à
réaction

train d'atterrissege

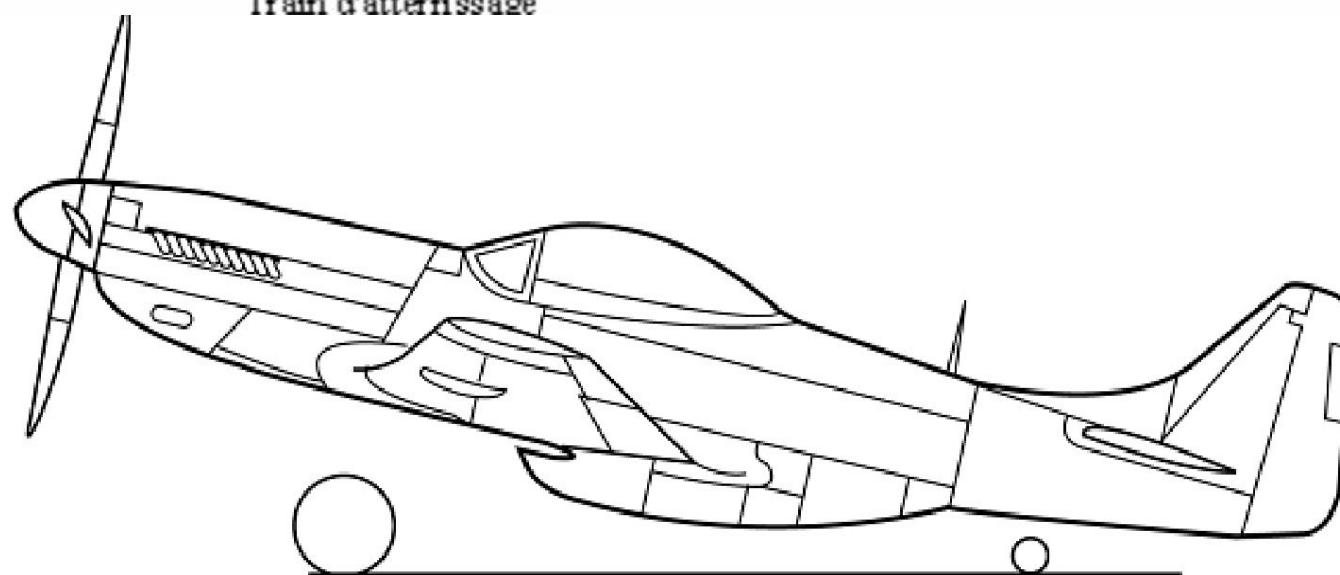
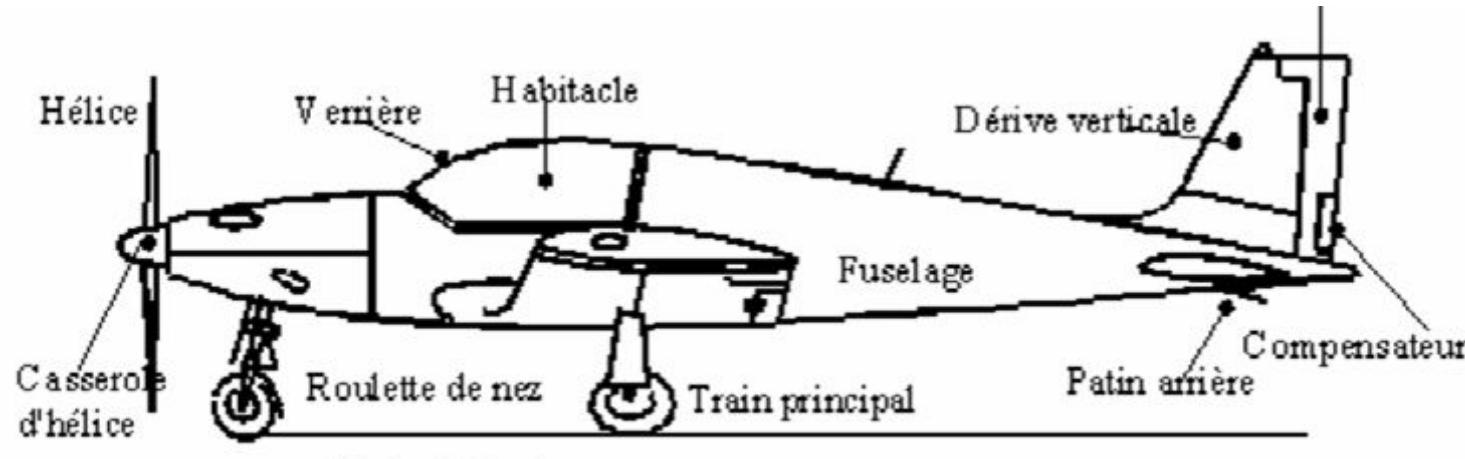


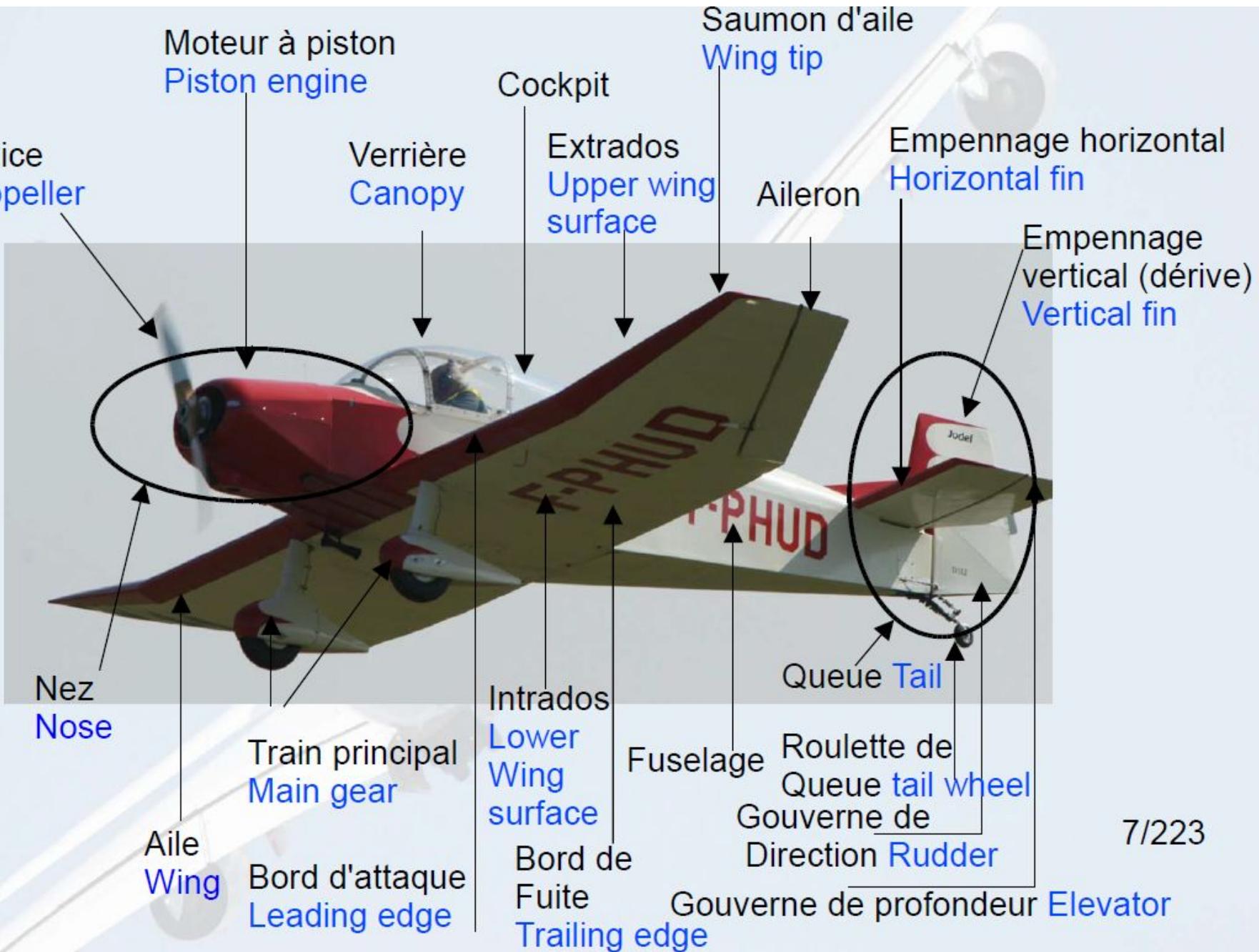
Connaissance de l'avion:

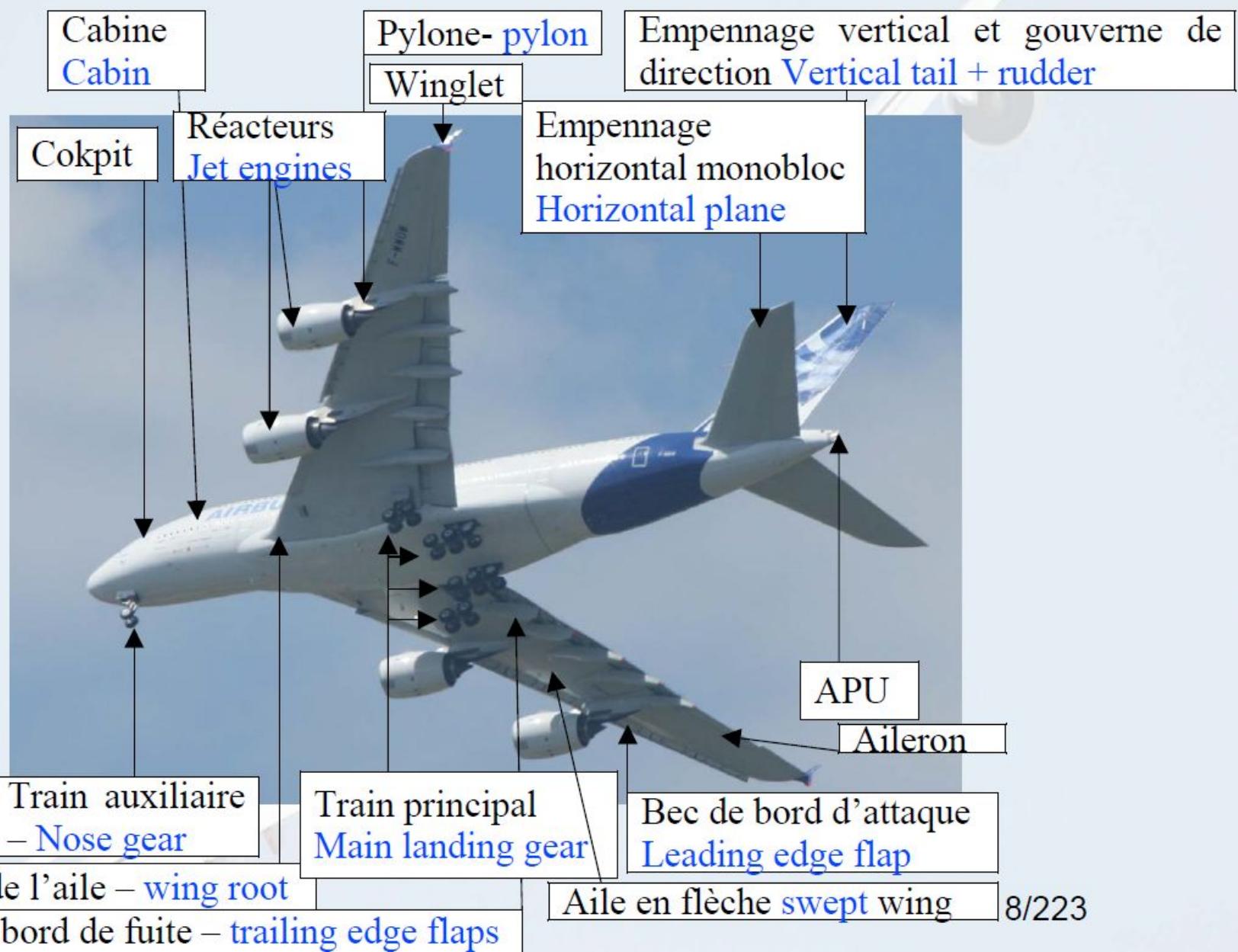


Structure et matériaux

Gouverne de direction







Empennage vertical
Vertical plane

Siège éjectable
Ejectable seat

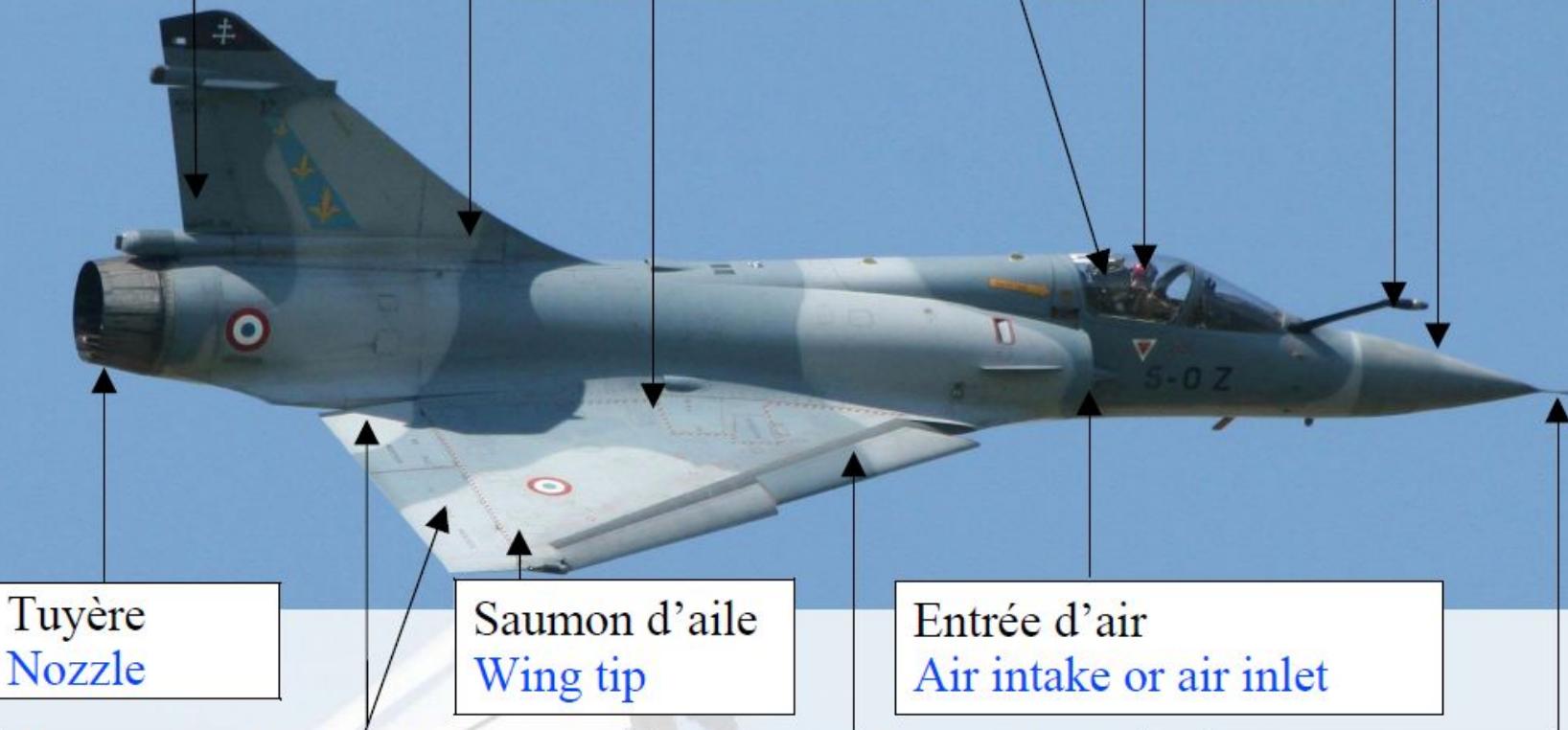
Perche de ravitaillement
en vol – refueling probe

Gouverne de direction
Rudder

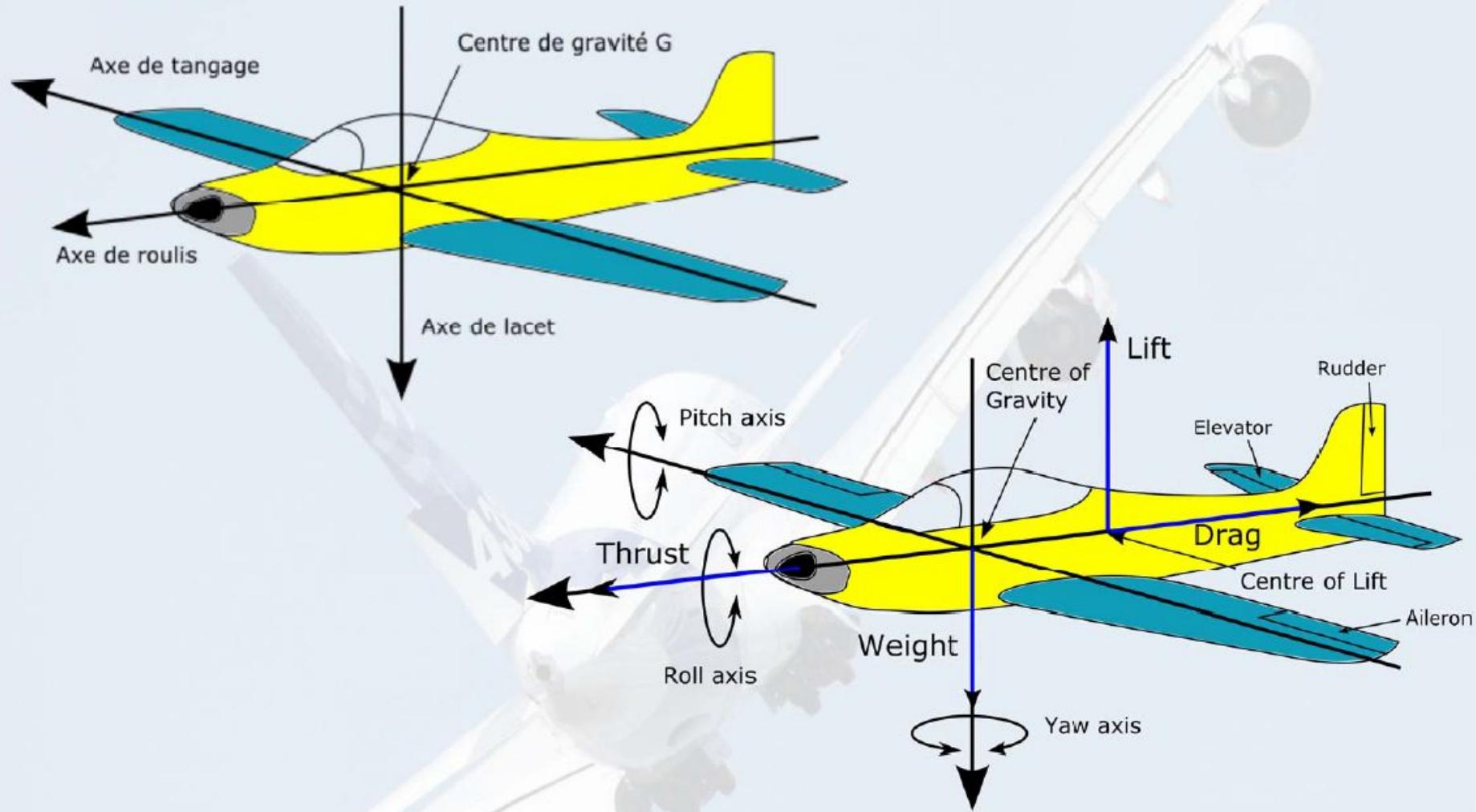
Aile delta –
Delta wing

Cokpit

Radar







Les axes du mouvement – Motion axis

Le fuselage

Formes de fuselages:
Carré - Cylindrique



Formes de fuselages:
En coque de bateau – en 8
Elle peut être adaptée à des usages très spécifiques.



<https://www.youtube.com/watch?v=MEFKvVCI3mo>

VI. Structure d'un avion.

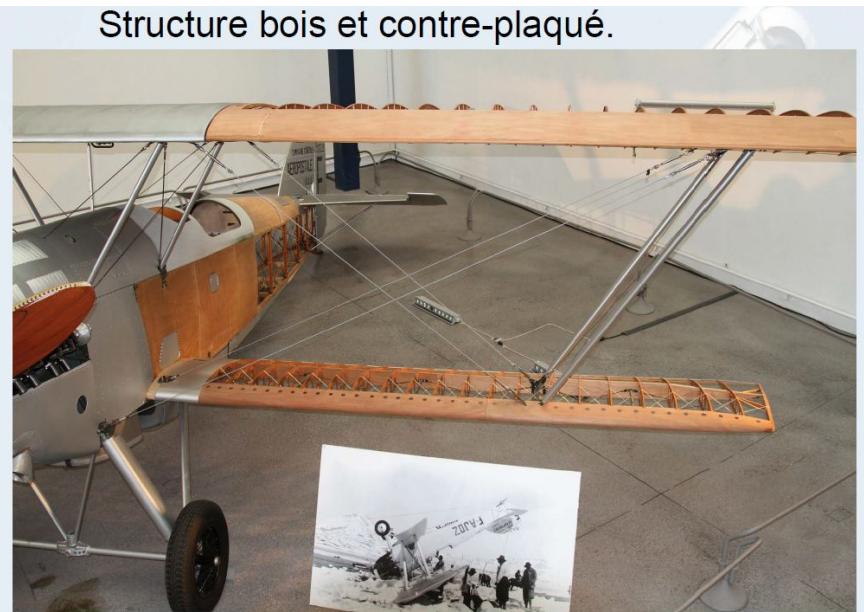
- Matériaux de construction:
 - Bois (épicéa, acajou, frêne, sapin)
 - Toile (dacron, lin, coton)
 - Tube métallique (duralumin: aluminium + cuivre)
 - Tôle métallique (duralumin)
 - Poutres métalliques (alliages de titane)
 - Composites (carbone et polymères)

BIA TOURNEFEUILLE 2017/2018

Structure bois et toile.



Structure bois et contre-plaqué.



Structure métallique.



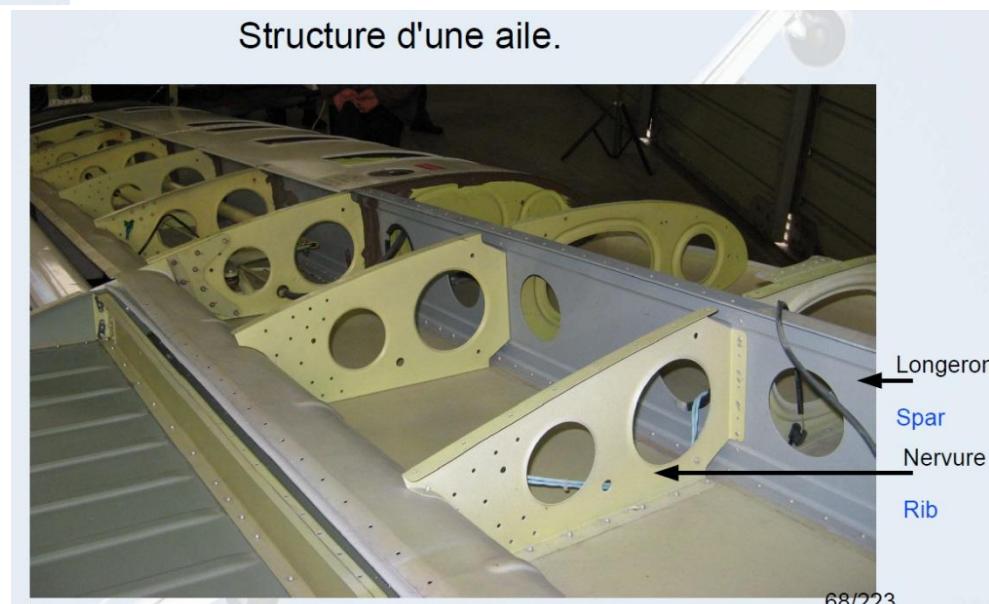
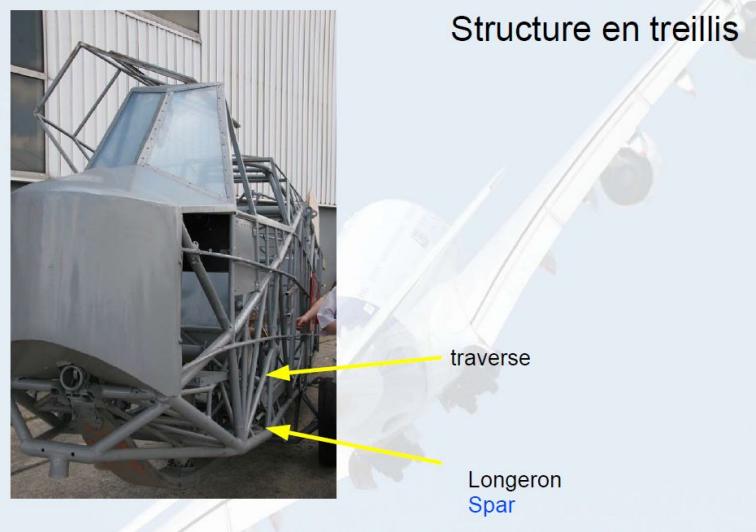
Structure composite.



- Structures de fuselage:
 - Treillis
 - Géodésique
 - Monocoque
 - Semi-monocoque
- Structures des ailes et empennages:
 - Monocoque
 - Semi-monocoque
 - Caisson



Monocoque

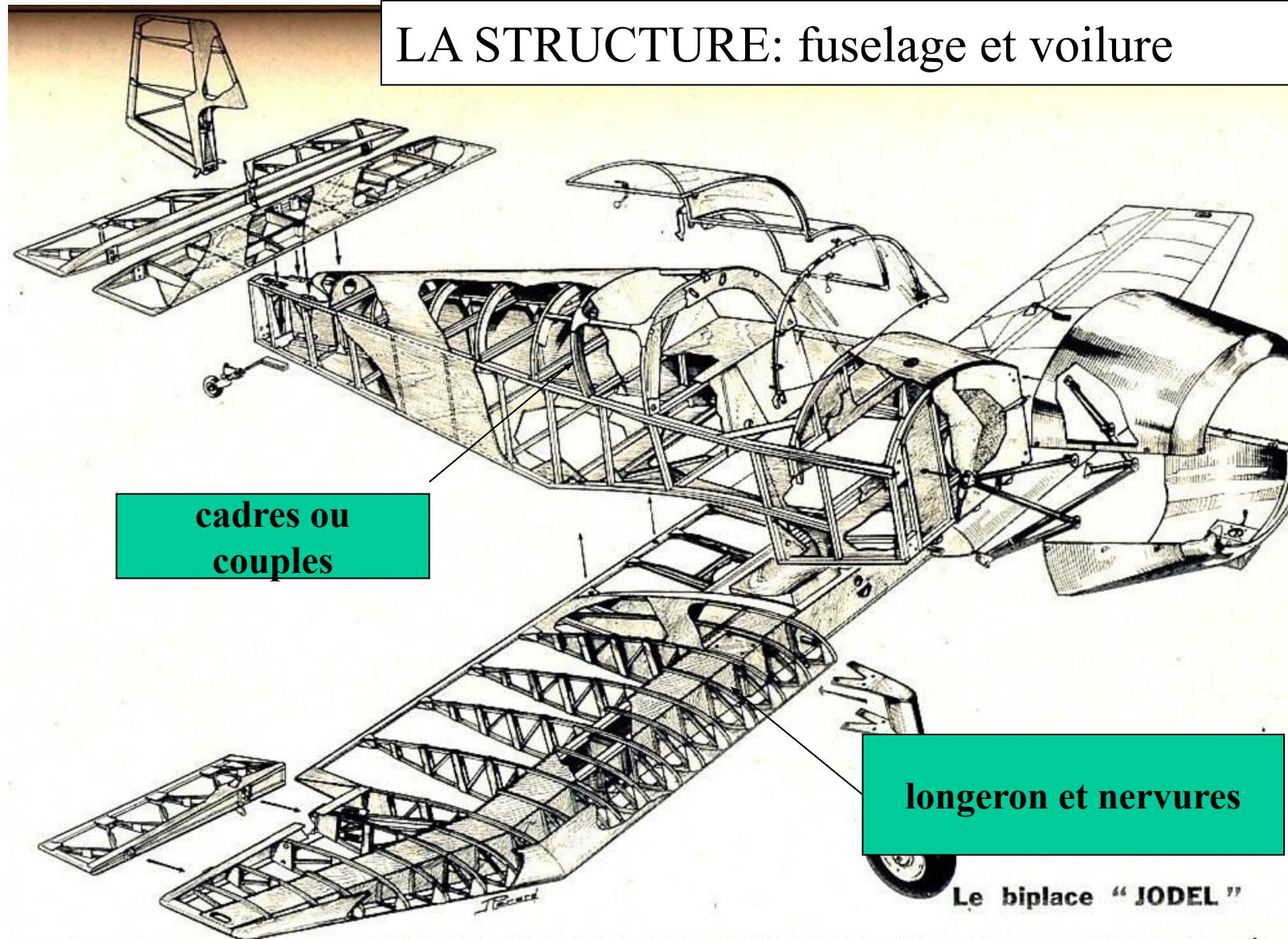




Source : Wikimedia Commons / auteur inconnu

Structure et matériaux

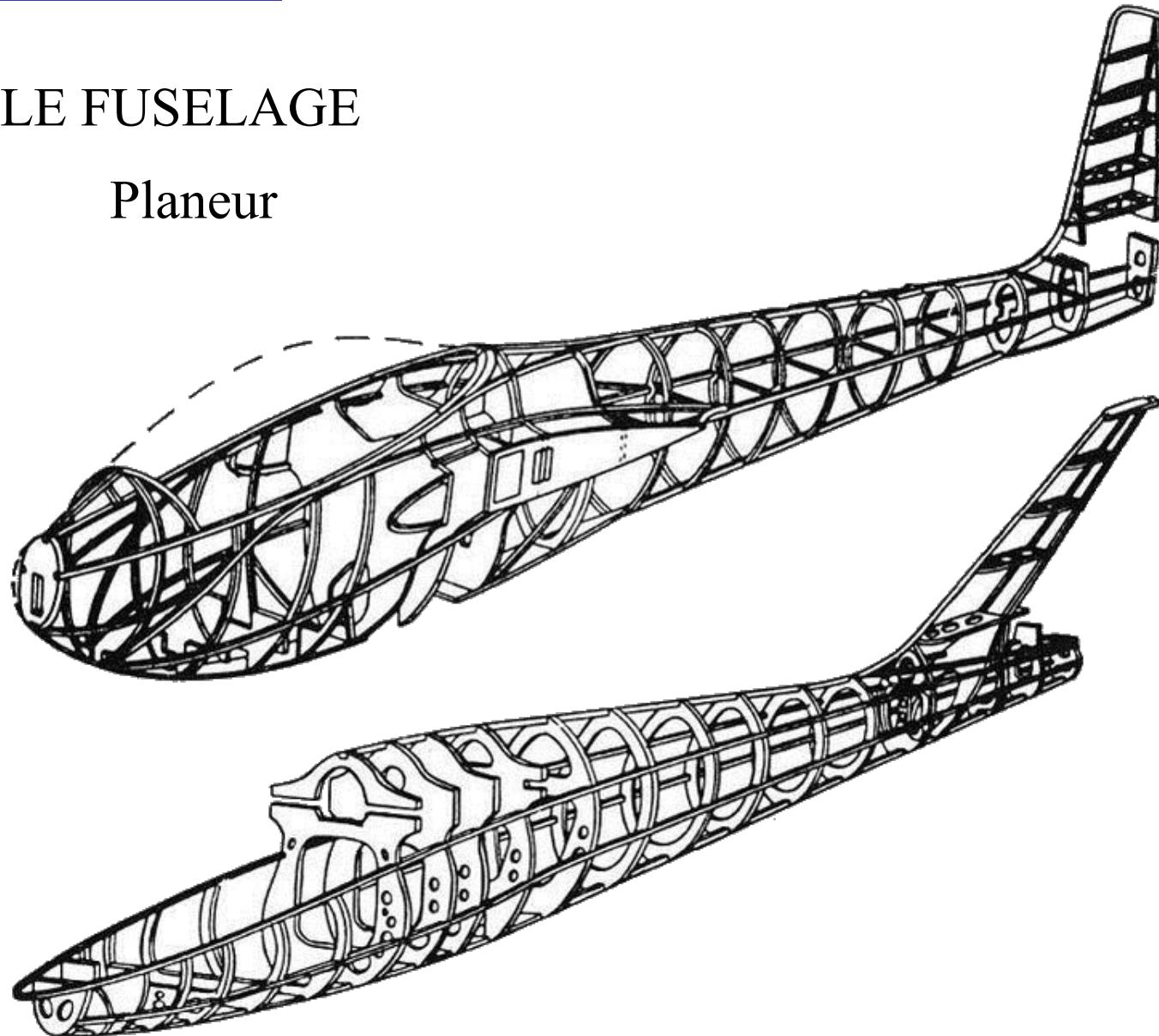
LA STRUCTURE: fuselage et voilure



Le biplace "JODEL"

LE FUSELAGE

Planeur



Structure et matériaux

LE FUSELAGE

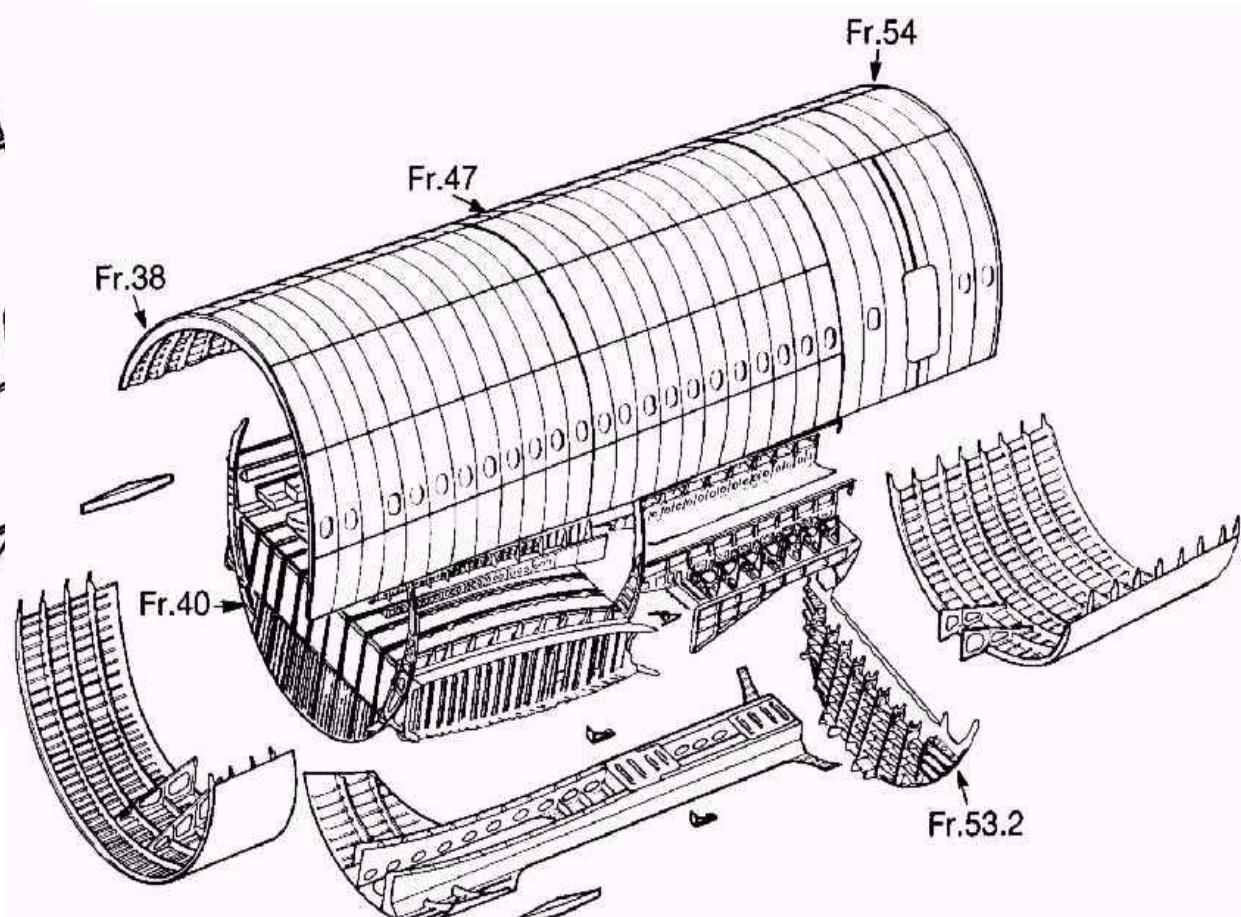
Avion léger en bois

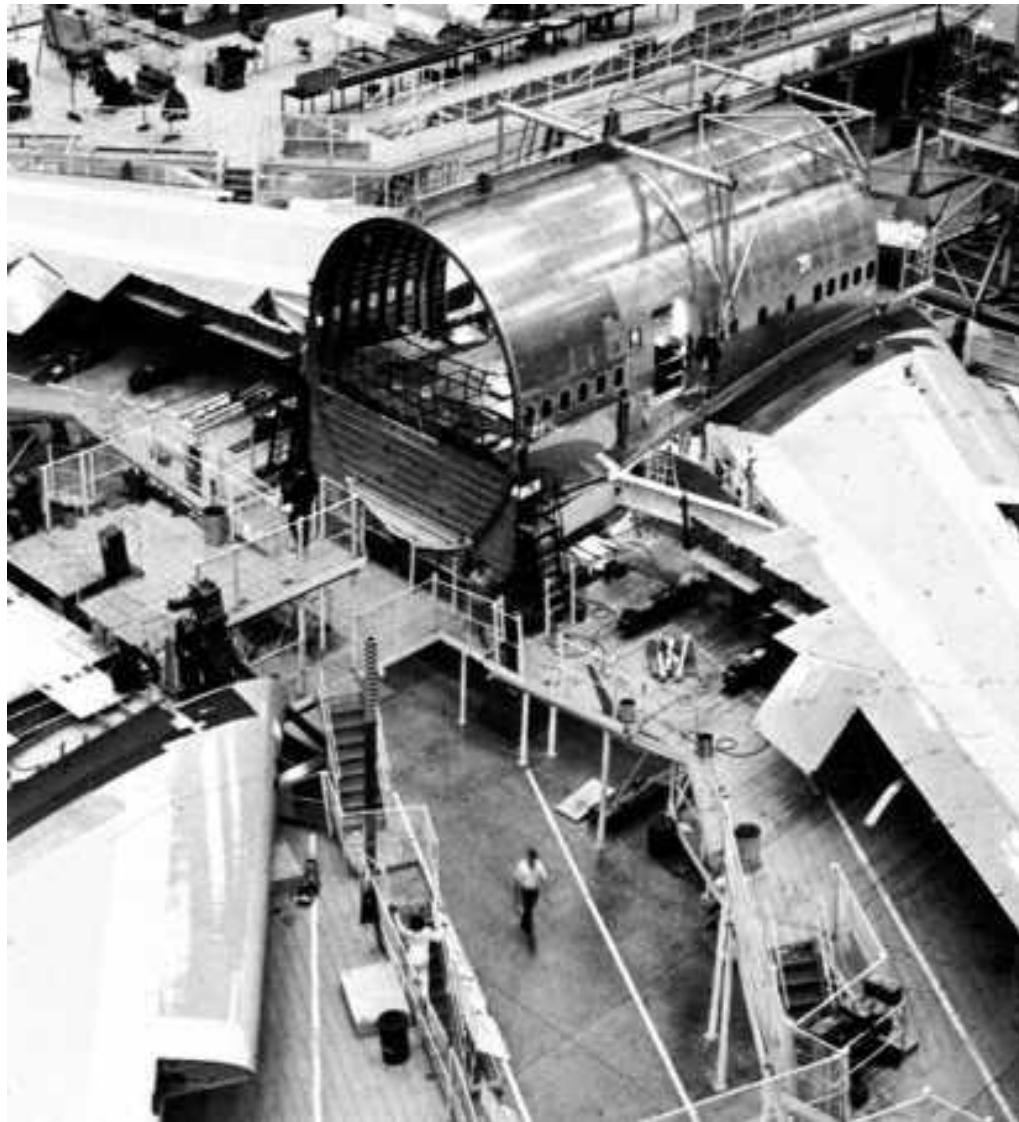
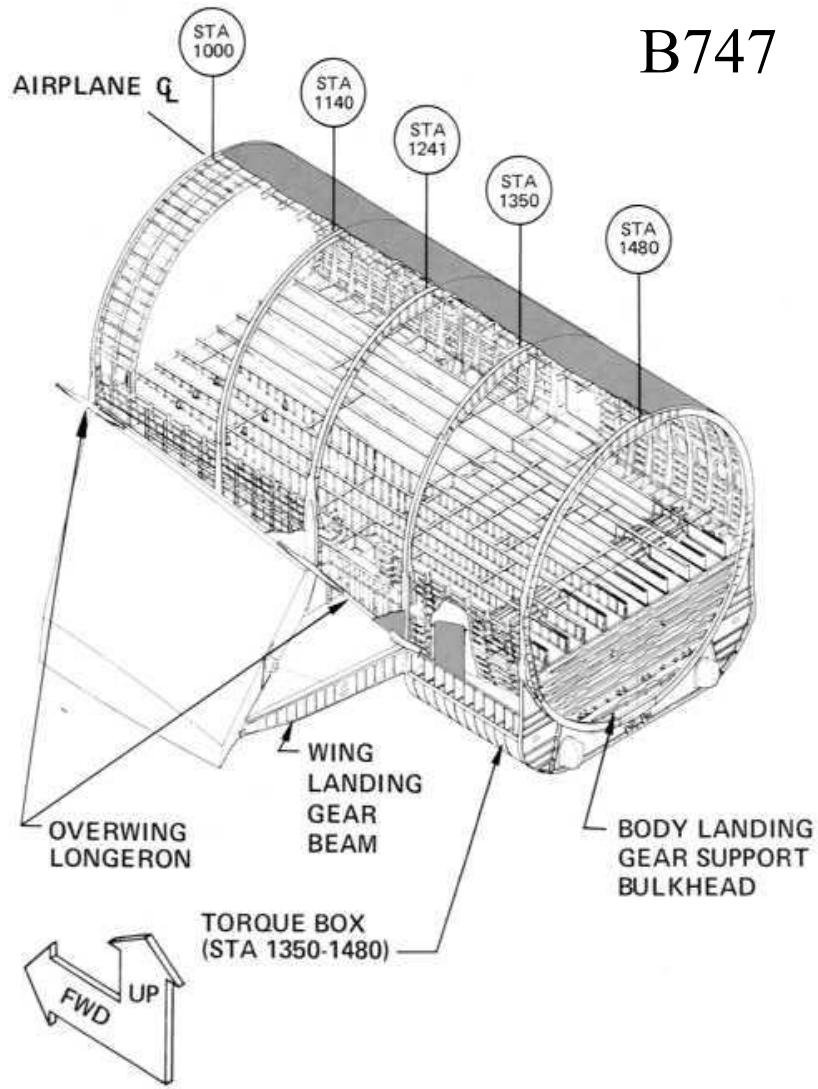


Structure et matériaux

LE FUSELAGE

A340





Les ailes

BIA TOURNEFEUILLE 2017/2018

Forme des ailes: wing shape
Droites (**straight**)



- Trapézoïdales

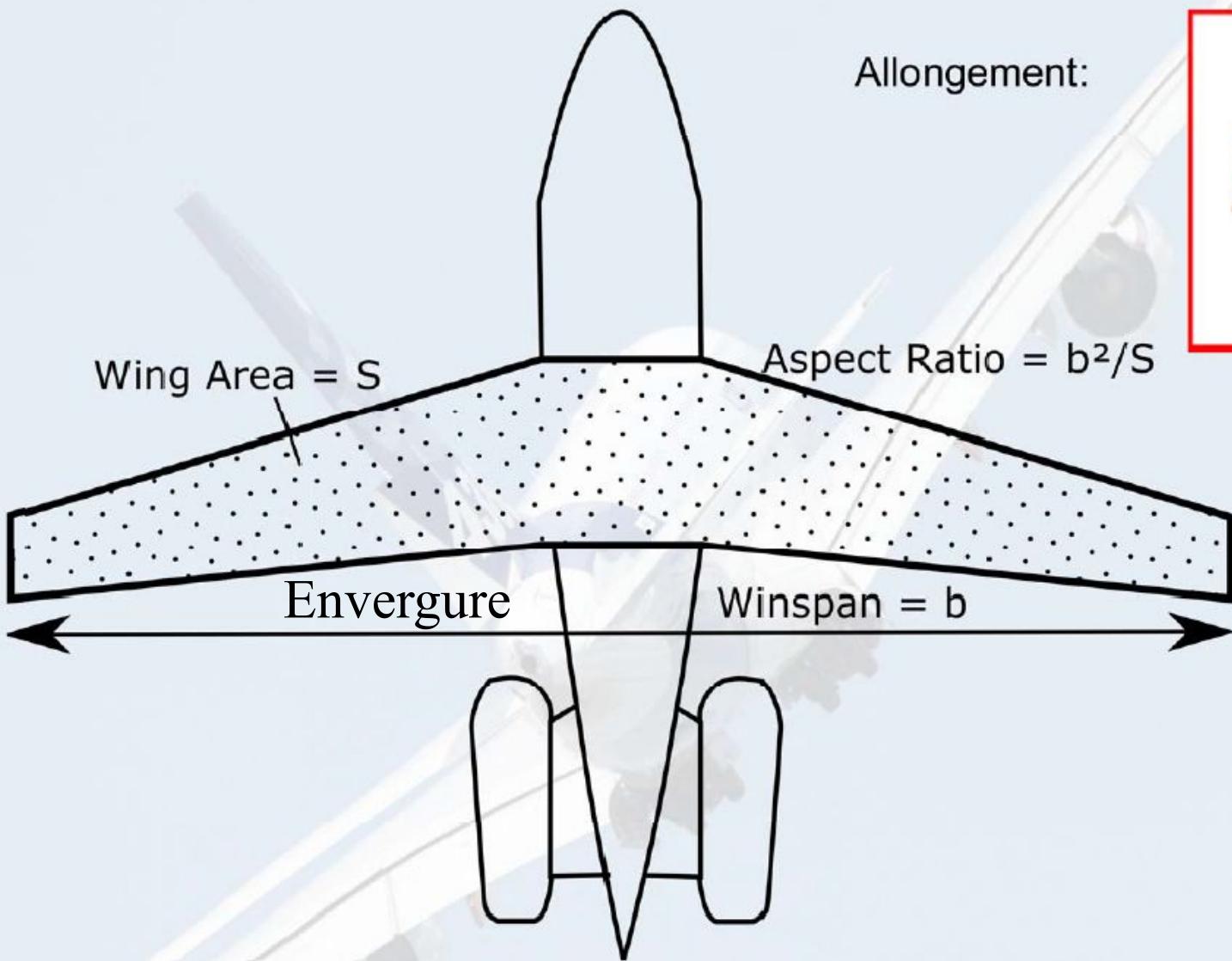


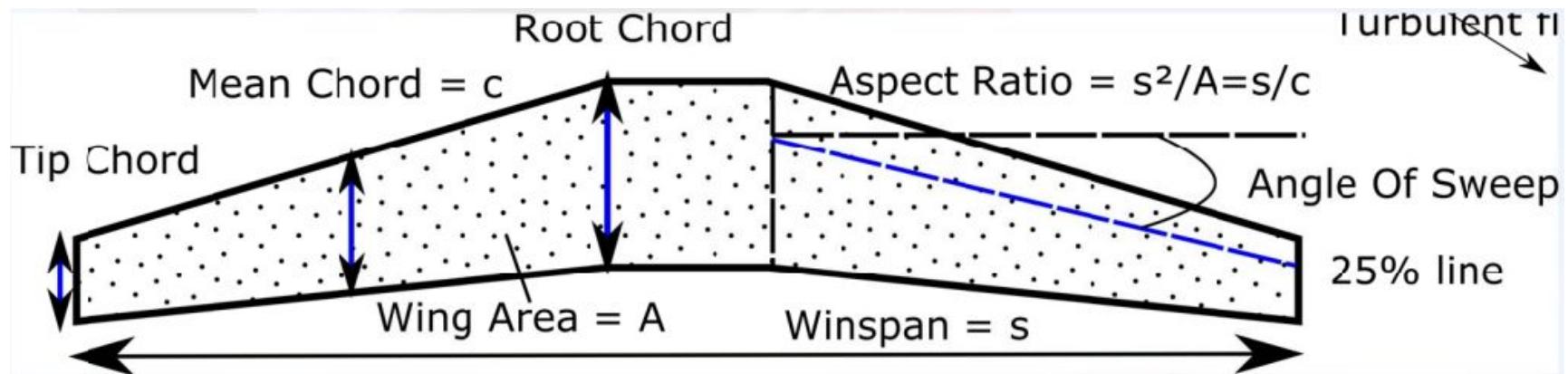
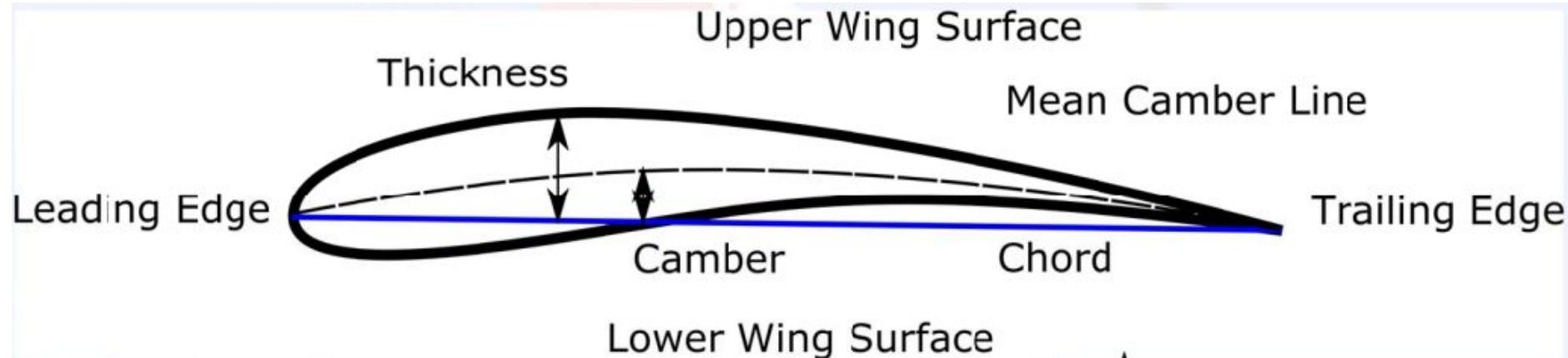
Forme des ailes:
En flèche (**swept wings**) – Delta (**delta wings**)



Forme des ailes:
Elliptiques - Biplan (**Biplane**)

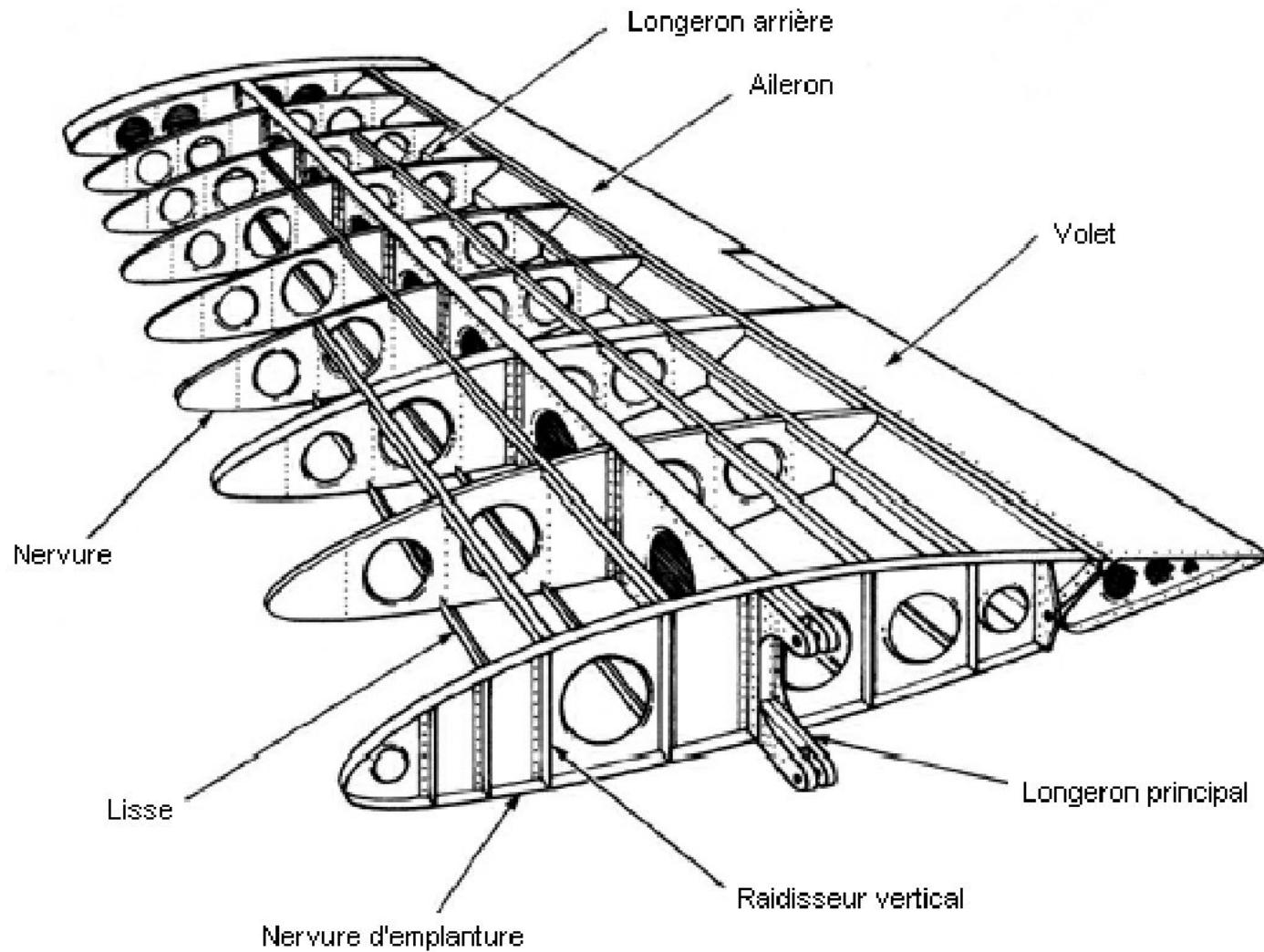




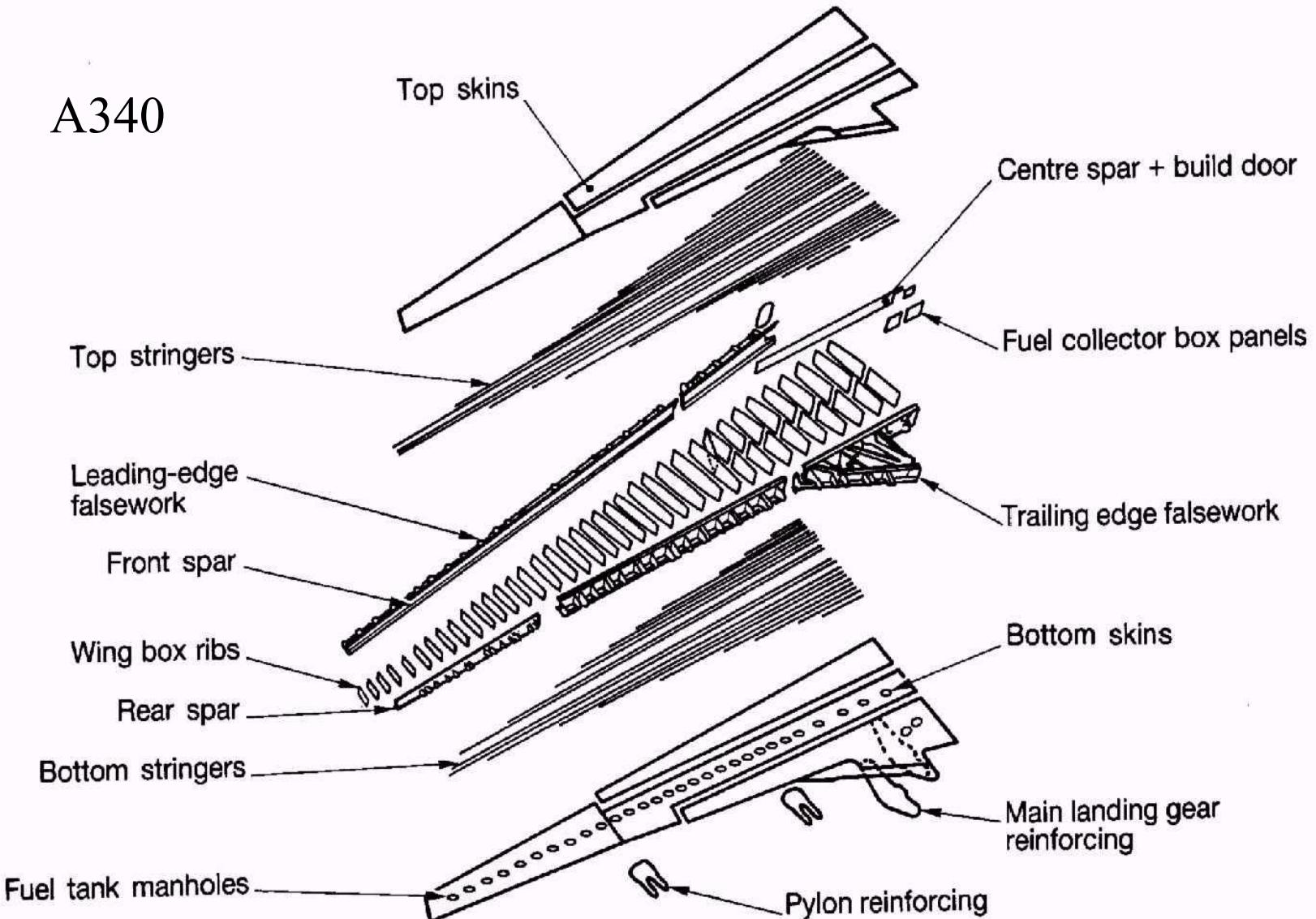


Structure et matériaux

LA VOILURE



A340



Dièdre nul



Dièdre négatif



Dièdre: angle entre le plan d'un aile et l'horizontale.
Généralement un dièdre positif stabilise l'appareil

Dièdre positif



Position des ailes:
Hautes ([shoulder wings](#))
Basses ([low wings](#))
Médianes ([mid wings](#))



Structure et matériaux

LA VOILURE

LES VOLETS HYPERSUSTENTATEURS

Ils augmentent la portance aux basses vitesses



Avion léger: DR400



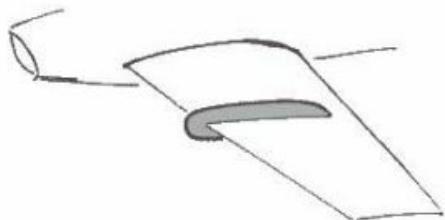


bec mobile

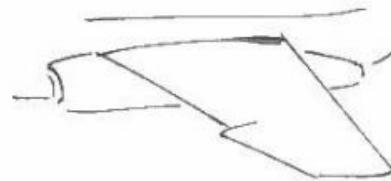


bec fixe

Leading edge flaps.



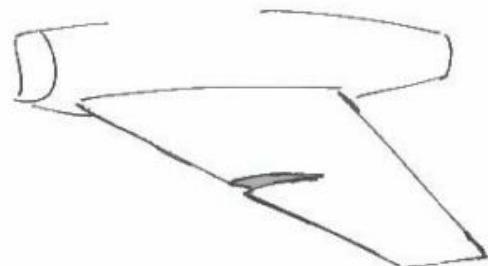
lame



dent de scie



volet KRUEGER



fente



volet simple



volet d'intrados



volet à fente

Trailing edge flaps : simple or slotted flaps.



volet FOWLER



volet à double fente



triple fente

- Freinage aérodynamique : aérofreins et spoilers ([airbrakes](#))
 - Aérofreins : permettent de diminuer la vitesse par freinage
 - Spoilers : permettent de diminuer la portance et augmenter la traînée d'une aile (freinage et contrôle en roulis)

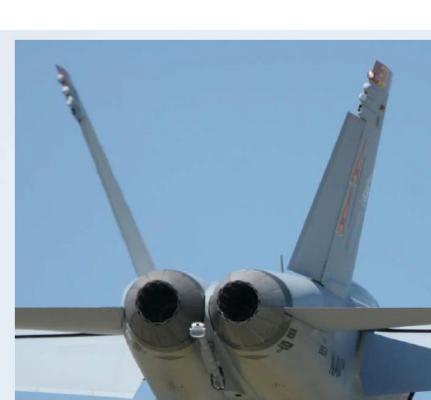


Les enpennages



Différentes géométries d'empennages:

Classique (classical) - en T (T tail)



Différentes géométries d'empennages:
Double dérive ([double fin](#)) de F18 pour éviter une dérive unique trop grande et sans empennage horizontal pour un M2000 à aile delta.



37/223

Différentes géométries d'empennages:
Papillon ([V tail](#)) d'un CM170 (profondeur et direction mixées)
Cruciforme d'un CL415T



Les ailes de vol libre n'ont pas d'empennage ce qui les rend assez instables en lacet et impose un pilotage 2 axes (lacet et roulis sont toujours conjugués).



38/223



Praglider
Hang-glider



Le train d'atterrissage

Landing gear

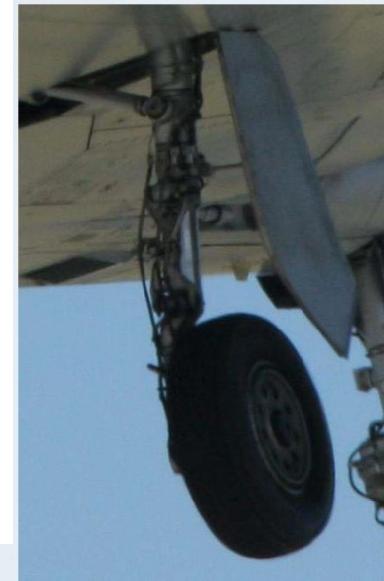


Train classique.
Tail wheel gear

Train tricycle.
Tricycle gear



Angle de garde
40/600

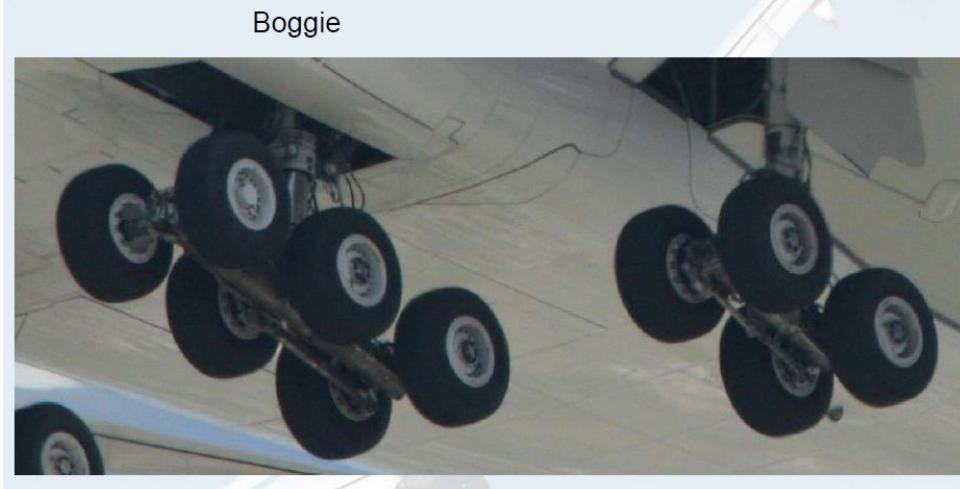


Bogie

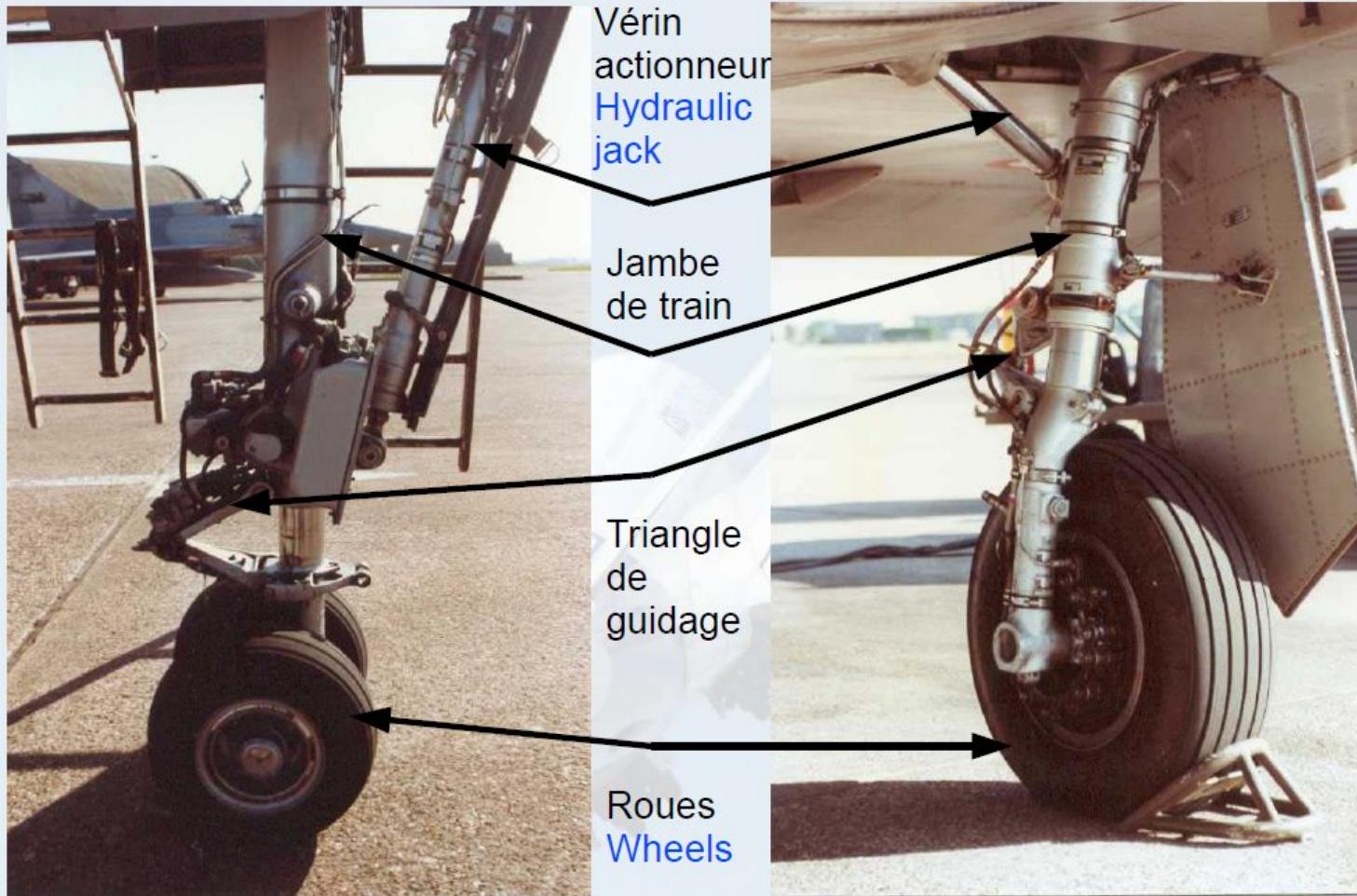
Train simple.



Diabolo.



IV. Les trains d'atterrissage.



Les commandes de vol

3.4 Les commandes de vol

- Technologies

- Mécanique

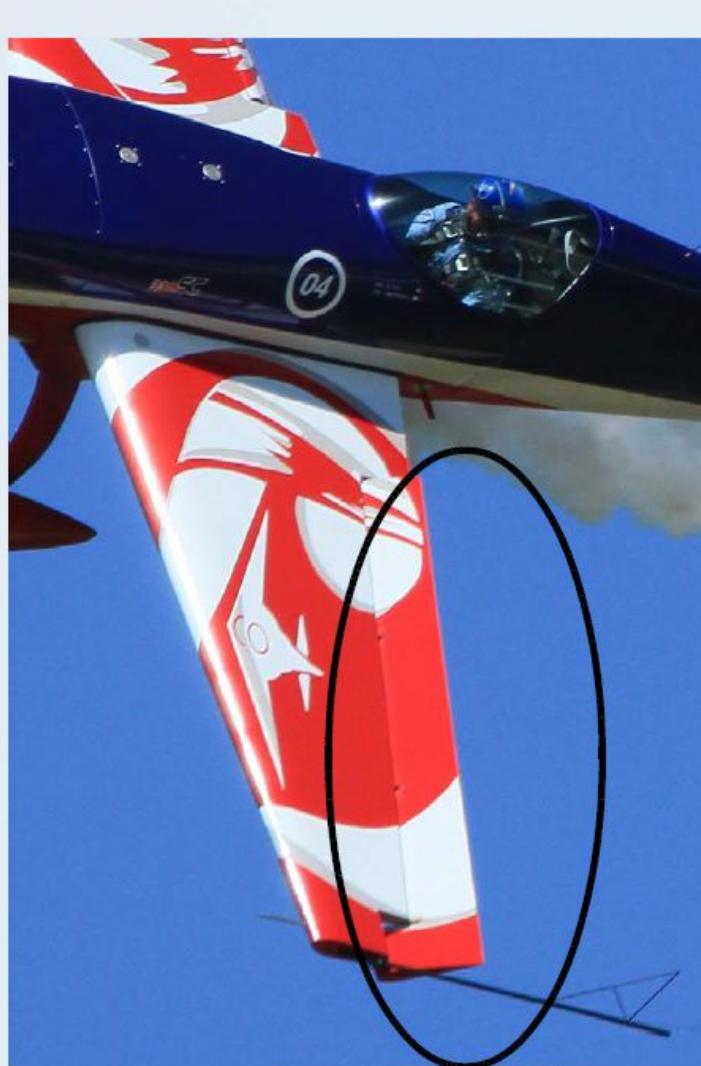
- câbles et bielles
- Efforts des gouvernes directement transmis au pilote

- Hydraulique

- Puissance fournie par la pression hydraulique
- Gouvernes manœuvrées par des vérins irréversibles

- Électrique

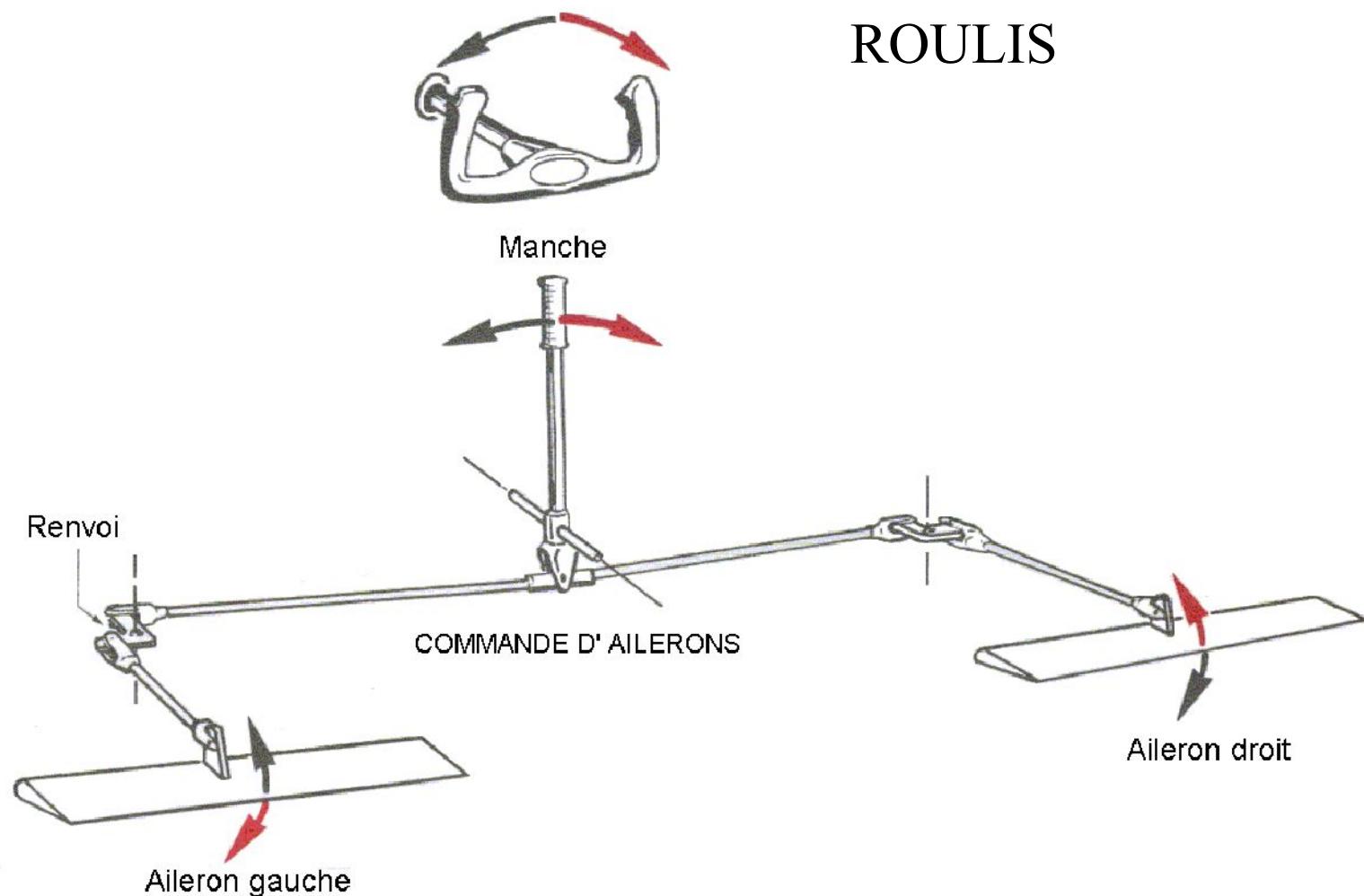
- Ordres du pilote transmis électriquement
- Vérins hydrauliques ou électriques



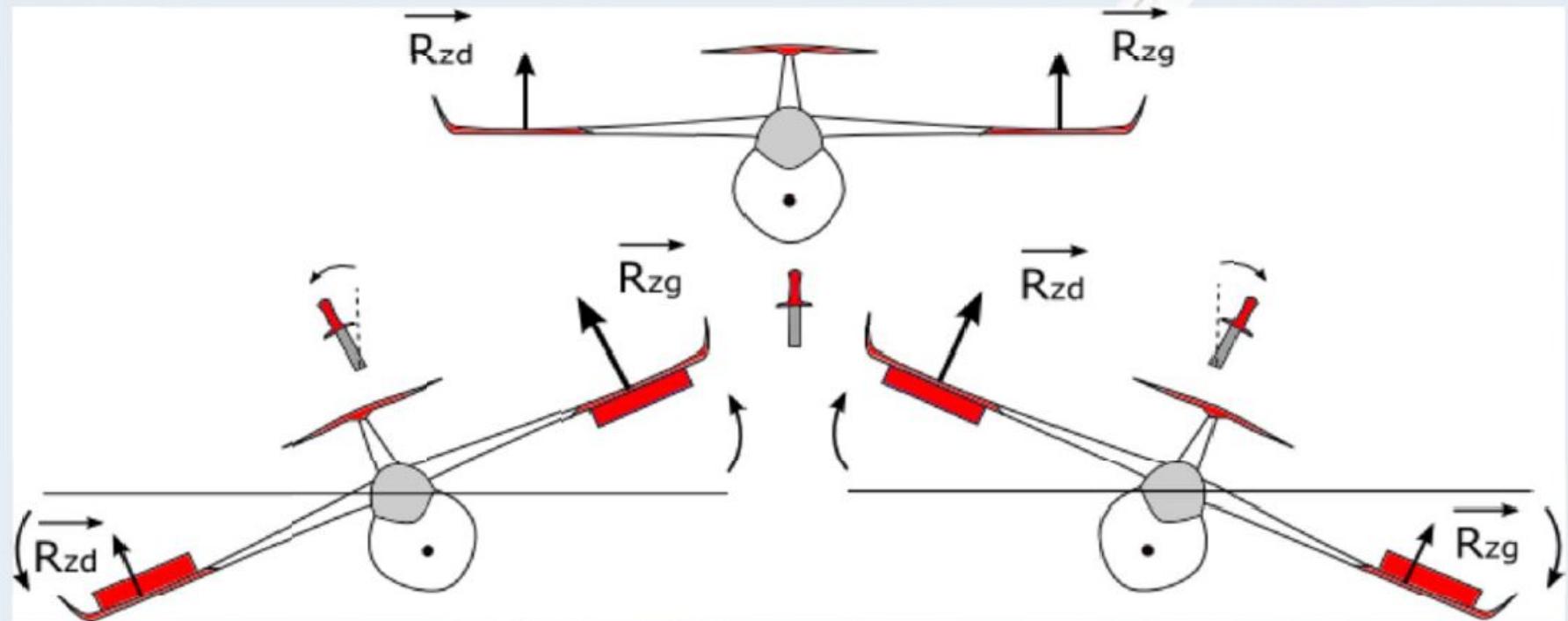
Ailerons.



3.4 Les commandes de vol



Le contrôle en roulis – roll control



Commande de gauchissement(manche).
Effet secondaire: lacet inverse.

Command : the stick left and right ; Controls : ailerons

Le contrôle en tangage. - Pitch control



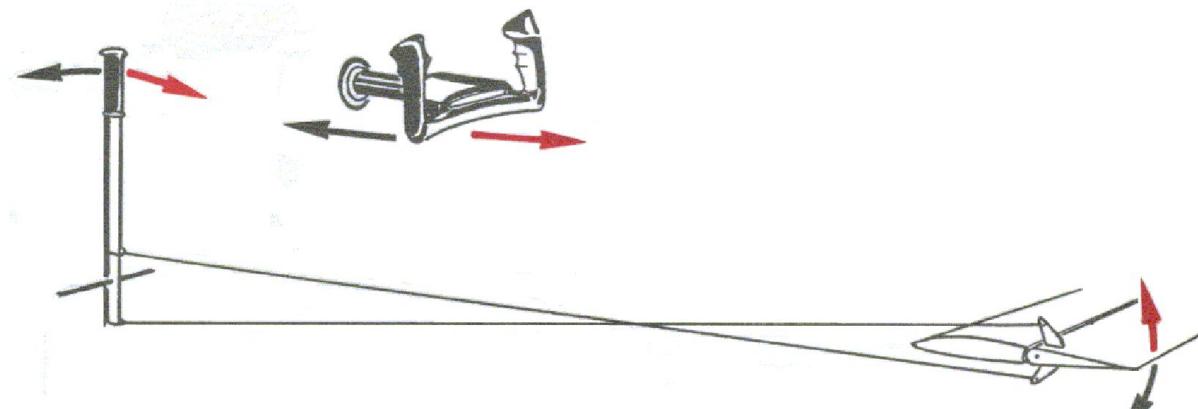
Commande de profondeur (manche) et gouvernes de profondeur.



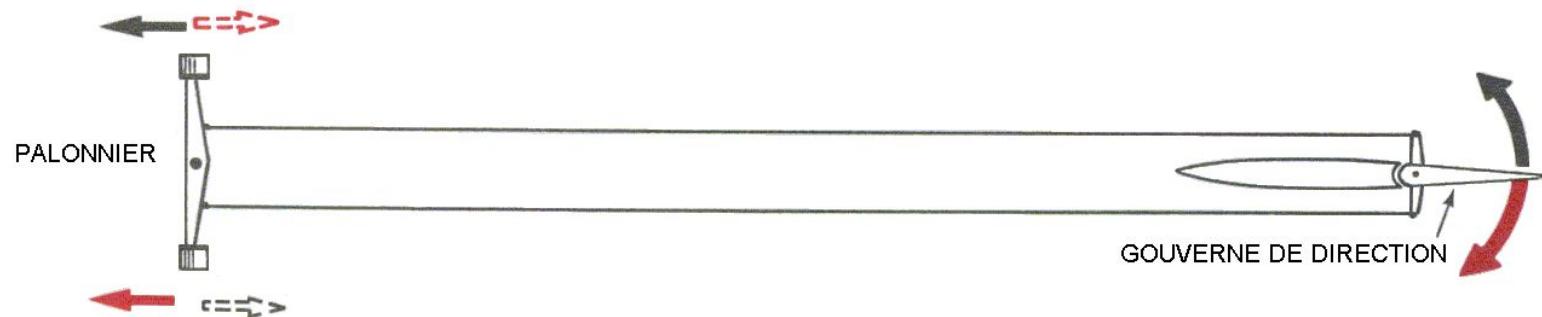
Command : the stick aft and forward ; Controls : elevators

45/223

3.4 Les commandes de vol

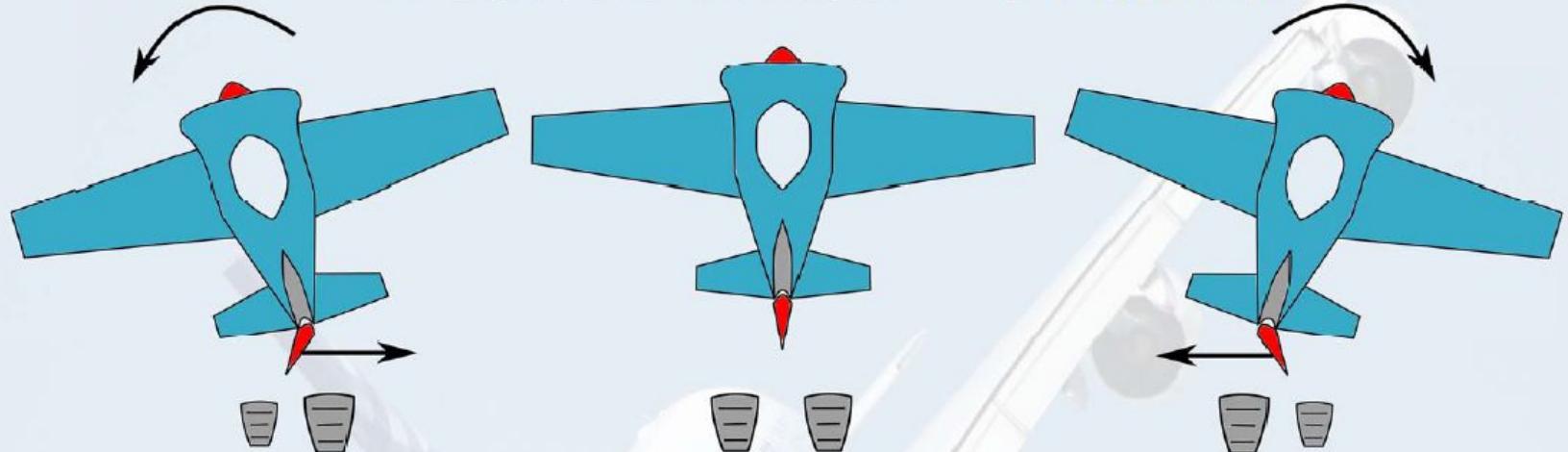


TANGAGE



LACET

Le contrôle en lacet – Yaw control



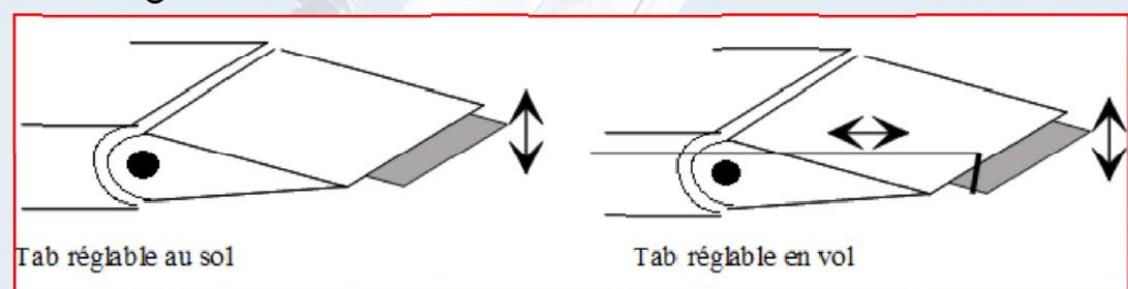
La commande (palonnier) et la gouverne de direction.
Effet secondaire: roulis induit.

Command : the rudder pedals ; Controls : rudder



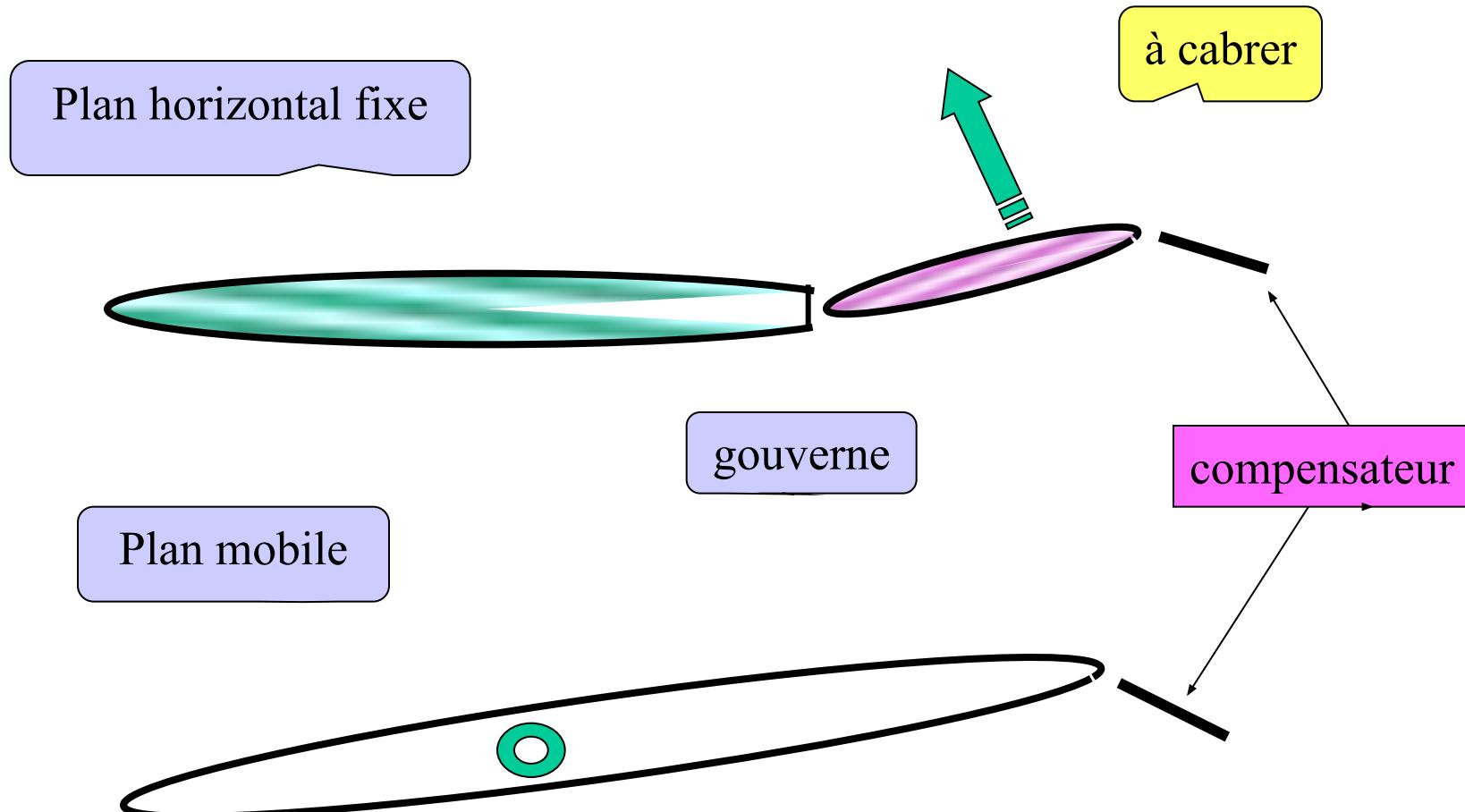
La compensation des gouvernes:

- Les compensateurs d'évolution: les TAB
 - Limiter les efforts du pilote pour bouger les gouvernes
 - Fixes (en général)
- Les compensateurs de régime : les TRIM
 - Annuler les efforts en vol stabilisé
 - Réglables en vol



3.4 Les commandes de vol

TYPES DE GOUVERNES DE PROFONDEUR - compensation





Les gouvernes hybrides.



Flaperons = volets + ailerons
Elevons = élévateurs + ailerons

...

3.4 Les commandes de vol

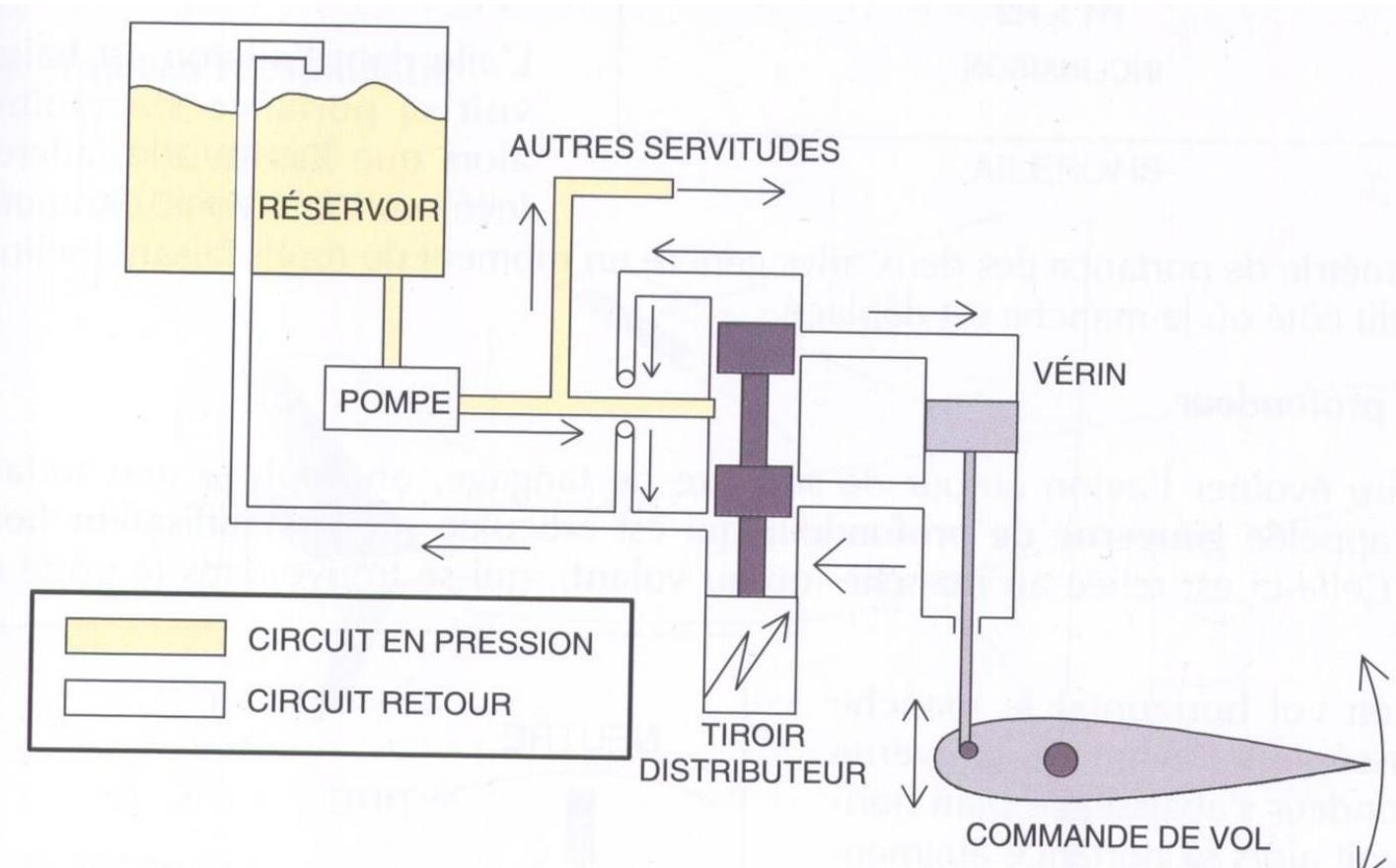
Le trapèze, commande de vol de l'ULM pendulaire



PRINCIPE DES COMMANDES HYDRAULIQUES

Puissance fournie par la pression d'un fluide

Mouvement commandé par déplacement d'un distributeur:
effort nul, nécessité d'une « sensation musculaire »



2. Qu'est-ce que la cellule d'un avion ?

- a) la partie du fuselage où se trouvent pilote et passagers
- b) le fuselage
- c) tout l'avion sauf les équipements et propulseurs
- d) les parties mécaniques de l'avion

3. L'emplanture d'une aile est :

- a) la partie assurant la jonction aile – fuselage
- b) l'extrémité de l'aile également appelée saumon
- c) le dessous de l'aile
- d) le logement des aérofreins

4. Un saumon d'aile est :

- a) la pièce maîtresse de l'aile
- b) l'extrémité de l'aile appelée aussi bord marginal
- c) une pièce en forme de poisson qui sert à équilibrer l'aileron
- d) une pièce renforcée de l'aile qui sert de marchepied

16. Les trois feux de position d'un avion sont de couleur :

- a) deux : vert et rouge
- b) trois : 2 rouges et 1 vert
- c) trois : 1 rouge, 1 vert et 1 blanc
- d) trois : 2 blancs et un rouge

17. L'avertisseur de décrochage est :

- a) une alarme sonore et / ou lumineuse
- b) un repère rouge sur l'anémomètre
- c) un repère placé sur l'horizon artificiel
- d) un système électromagnétique qui, couplé avec l'indicateur de vitesse, provoque des vibrations dans le manche, prévenant ainsi le pilote de l'imminence du décrochage

18. 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

11. Un empennage monobloc :

- a) comporte un plan fixe et une gouverne mobile
- b) comporte une seule partie
- c) comporte deux parties
- d) comporte trois parties

12. Parmi les dispositifs hypersustentateurs, on peut citer :

- a) les becs
- b) les volets
- c) les aérofreins
- d) les réponses a et b sont exactes

13. Parmi les systèmes suivants lequel n'est pas un système hypersustentateur :

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

14. Le croquis associé à la légende correcte est :

- a) profil avec volets braqués b) profil en lisse



- c) profil avec becs sortis d) profil volets Fowler sortis

15. Un compensateur est une petite surface placée à l'arrière d'une gouverne et qui sert à :

- a) compenser les erreurs de pilotage
- b) compenser les variations de pression dues aux changements d'altitude de l'avion
- c) diminuer les efforts que le pilote doit effectuer sur les commandes
- d) maintenir le cap de l'avion en cas de turbulences

BIA TOURNEFEUILLE 2017/2018

Ekranoplane



Piaggio
Avanti



Hawker/MDD
Harrier/AV8B



Burt Rutan / Scaled Composites



Akoya



Eurocopter
X3



Le groupe motopropulseur

3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS



MOTEURS A PISTONS



II. Les moteurs à pistons.



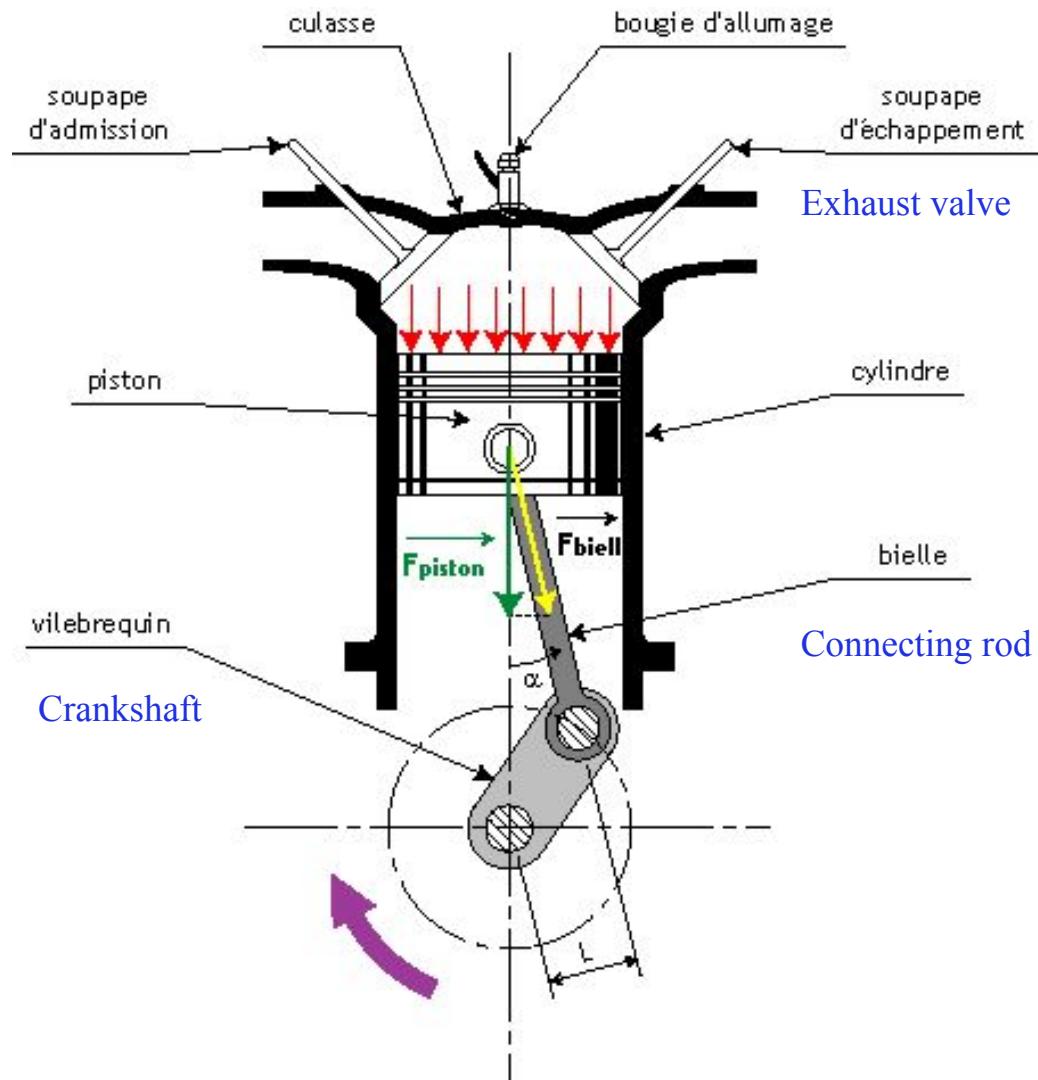
4 cylindres à plat diesel - 7 cylindres rotatifs en étoile



Écorché d'un cylindre.
12 cylindres en V

LE PISTON

- OBJECTIFS
 - Fonctionnement et dysfonctionnements
- LE MOTEUR A PISTON
 - Le piston
 - Le cycle à 4 temps
 - La carburation
 - Lubrification
 - Le refroidissement
 - L'allumage
- L'HELICE
 - Calage fixe
 - Calage variable
- DYSFONCTIONNEMENTS

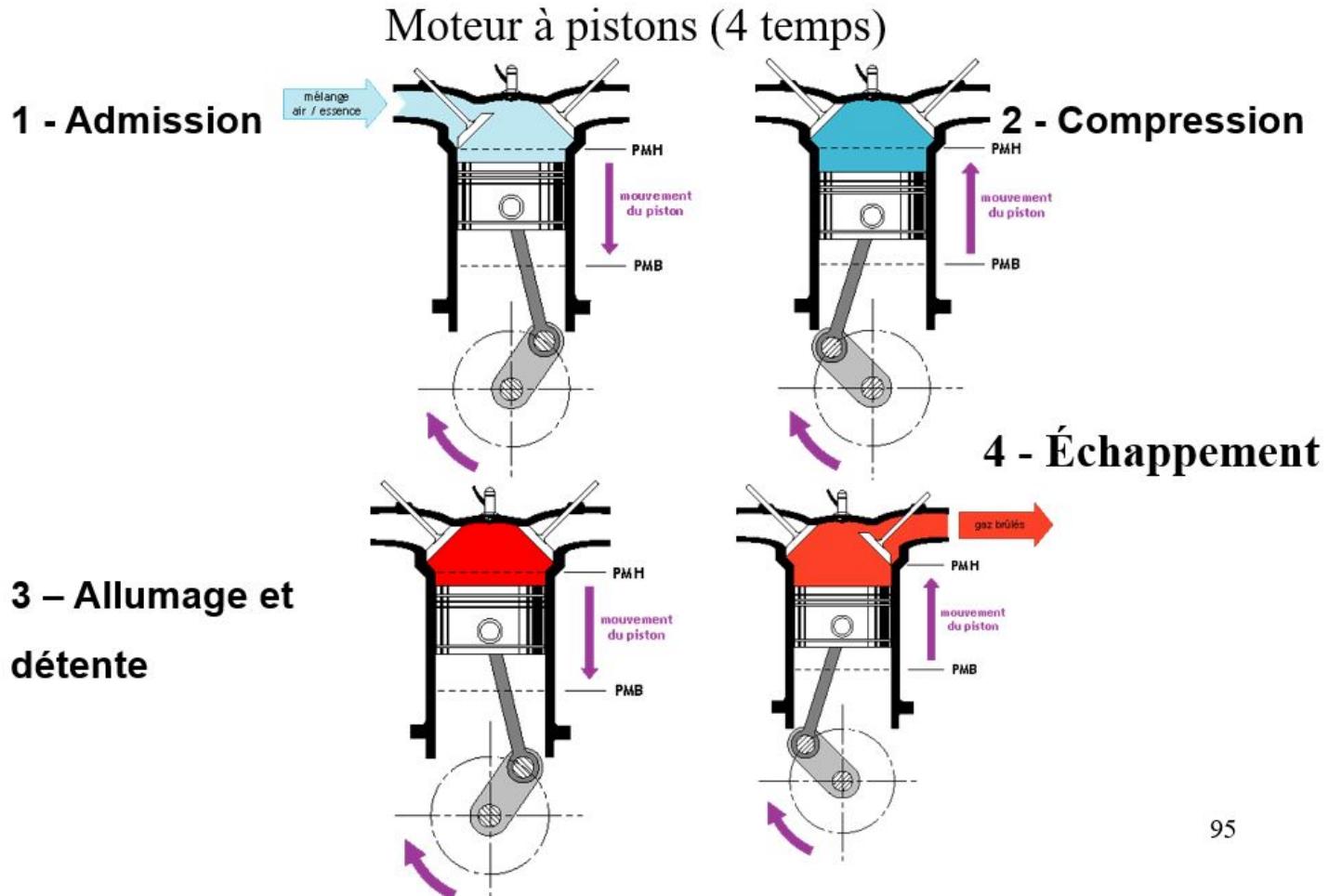


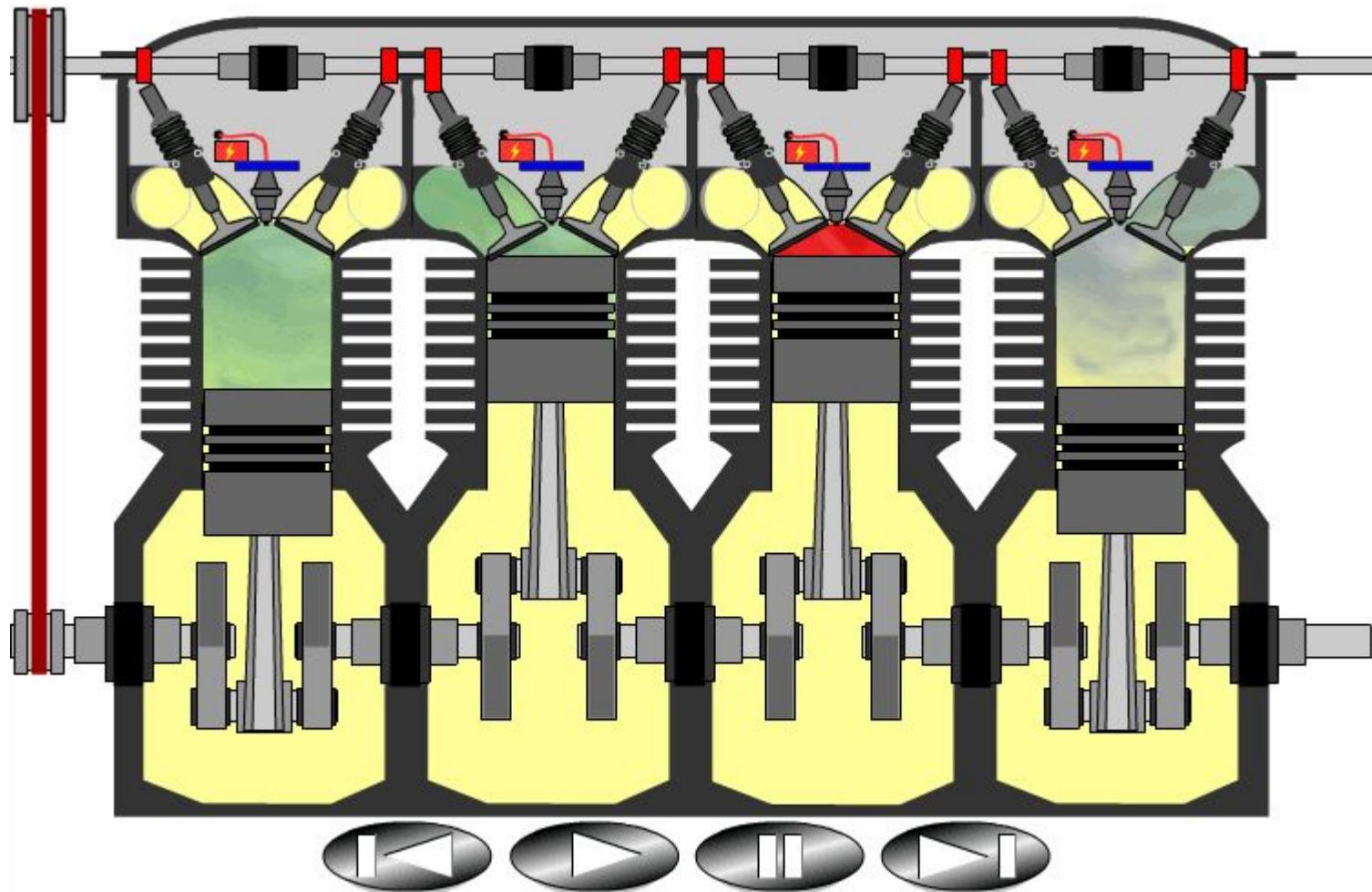
LE CYCLE A 4 TEMPS

- OBJECTIFS
 - Fonctionnement
 - Dysfonctionnements
- LE MOTEUR A PISTON
 - Le piston
 - **Le cycle à 4 temps**
 - La carburation
 - Lubrification
 - Le refroidissement
 - L'allumage
- L' HELICE
 - Calage fixe
 - Calage variable
- DYSFONCTIONNEMENTS

Le cycle à 4 temps

3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS





LA CARBURATION

- OBJECTIFS
 - Fonctionnement
 - Dysfonctionnements
- LE MOTEUR A PISTON
 - Le piston
 - Le cycle à 4 temps
 - **La carburation**
 - Lubrification
 - Le refroidissement
 - L'allumage
- L' HELICE
 - Calage fixe
 - Calage variable
- DYSFONCTIONNEMENTS

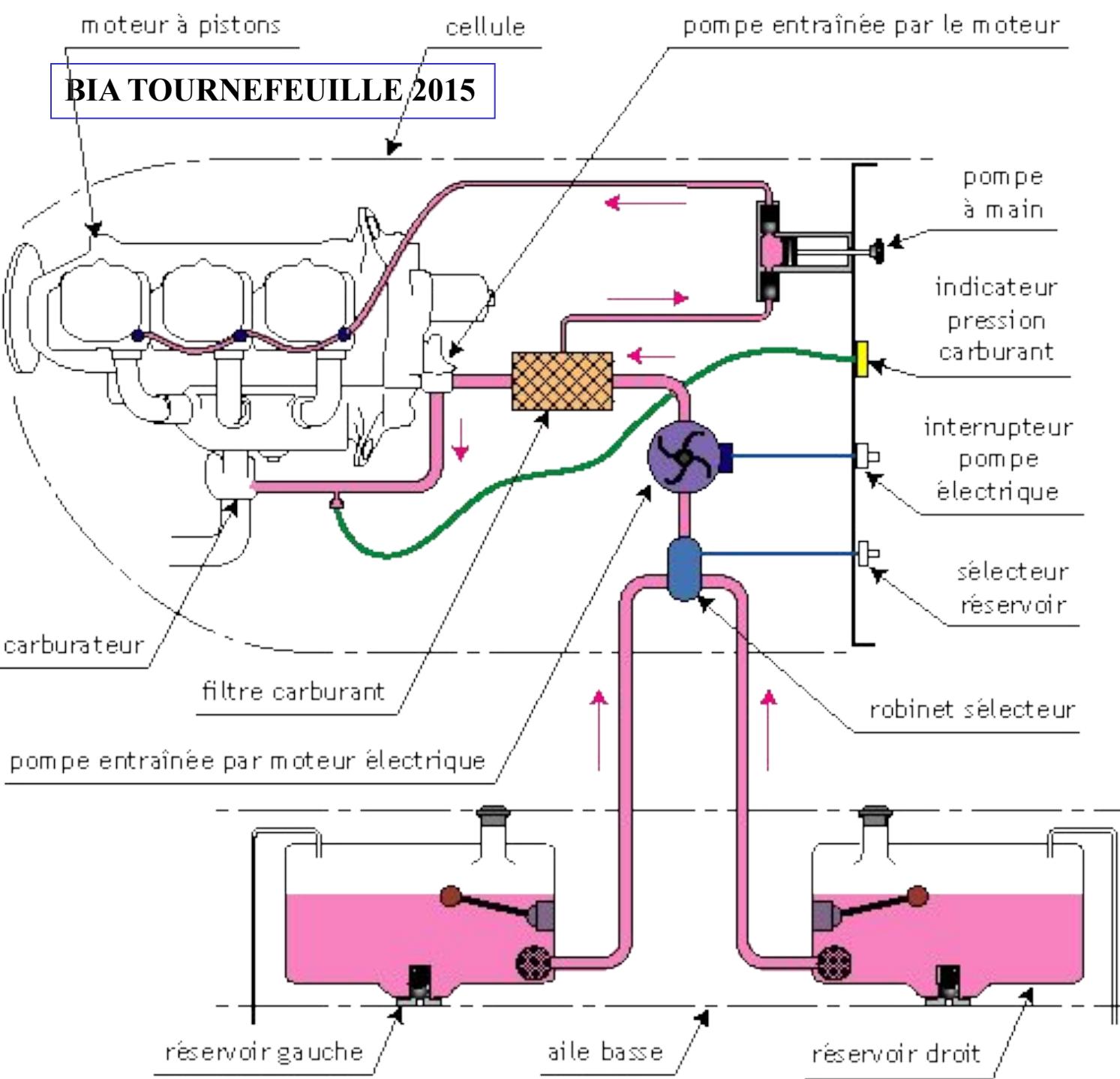
- Les essences :
 - pouvoir calorifique élevé
 - bonne résistance à la détonation
- Pour qualifier les essences on utilise un « indice d'octane » :
 - indice 0 : extrêmement détonant
 - indice 100 : très peu détonant

Indice d'octane de 80 = pouvoir antidétonnant d'un mélange de 80% d'octane et 20% d'heptane.

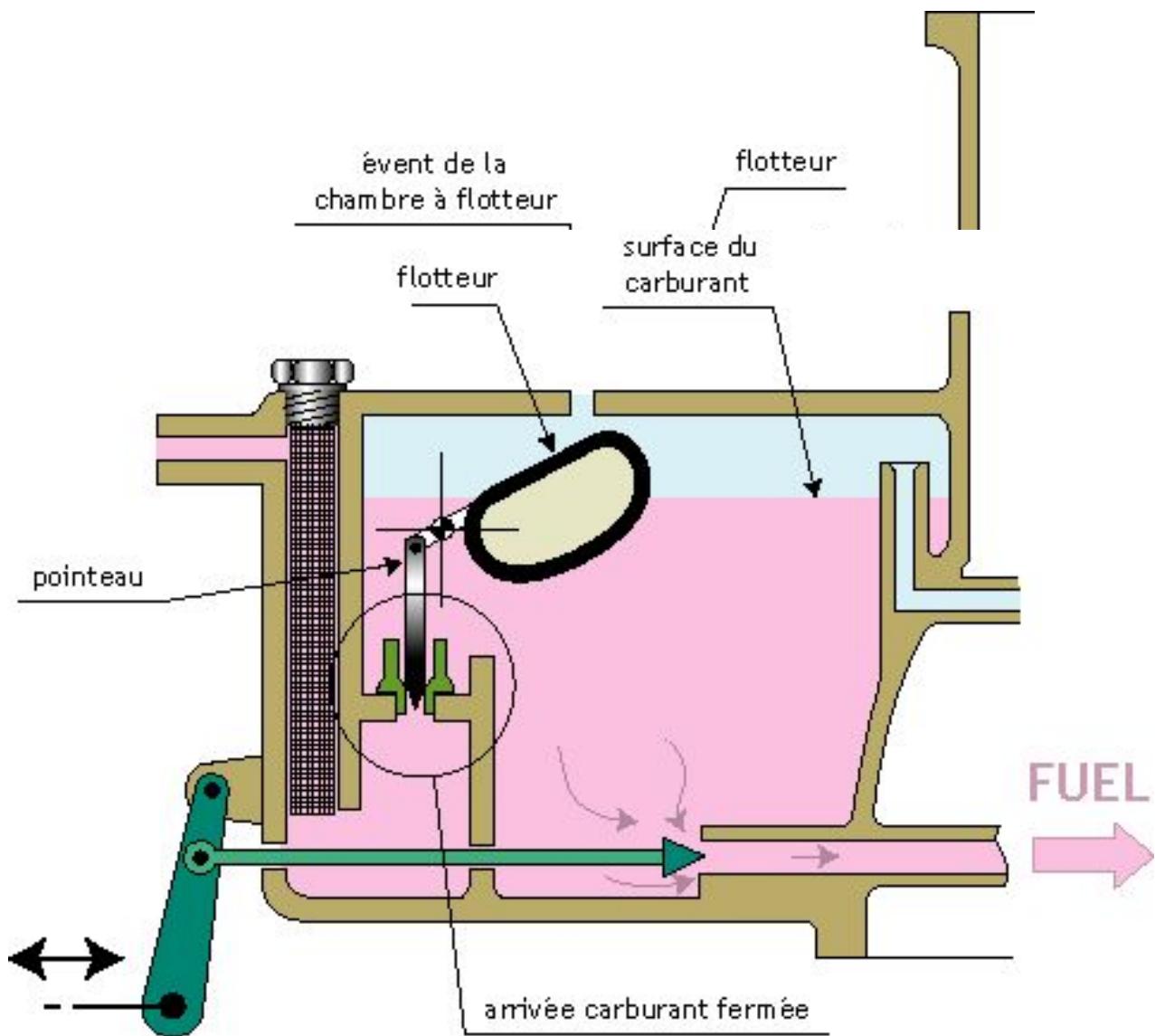
- Le plomb permet de diminuer le pouvoir détonnant d'un mélange et sert de lubrifiant
- Grades = indices d'octane mélanges pauvres et mélanges riches.

La couleur des essences est révélatrice de leurs grades :

- 80/87 : rose (aviation)
- 100LL : bleue (aviation)
- 100/130 : verte (aviation)
- 115/145 : violette
- sans plomb : blanche



Le carburateur à flotteur

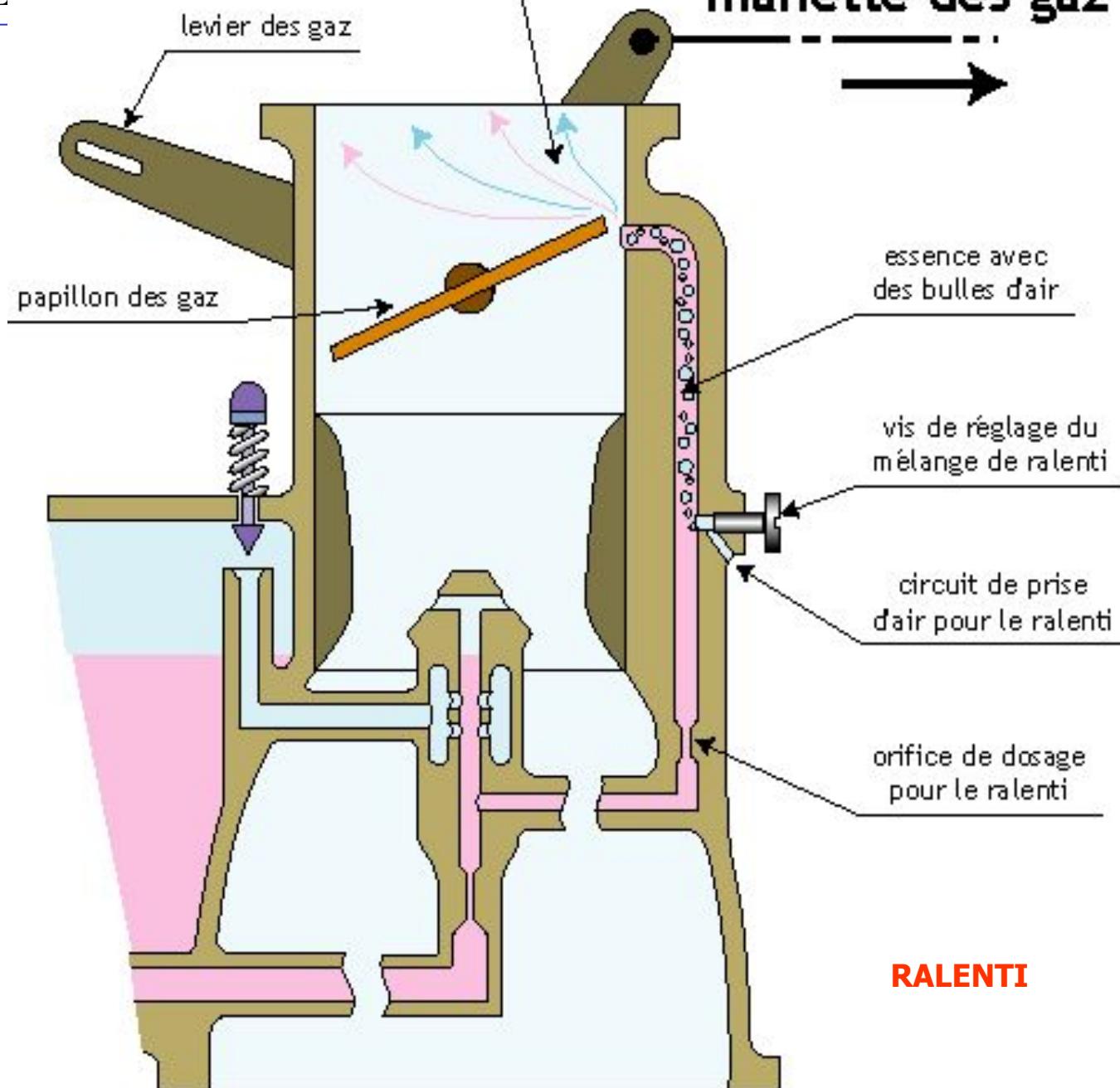


Ralenti

BIA TOURNEFEUILLE

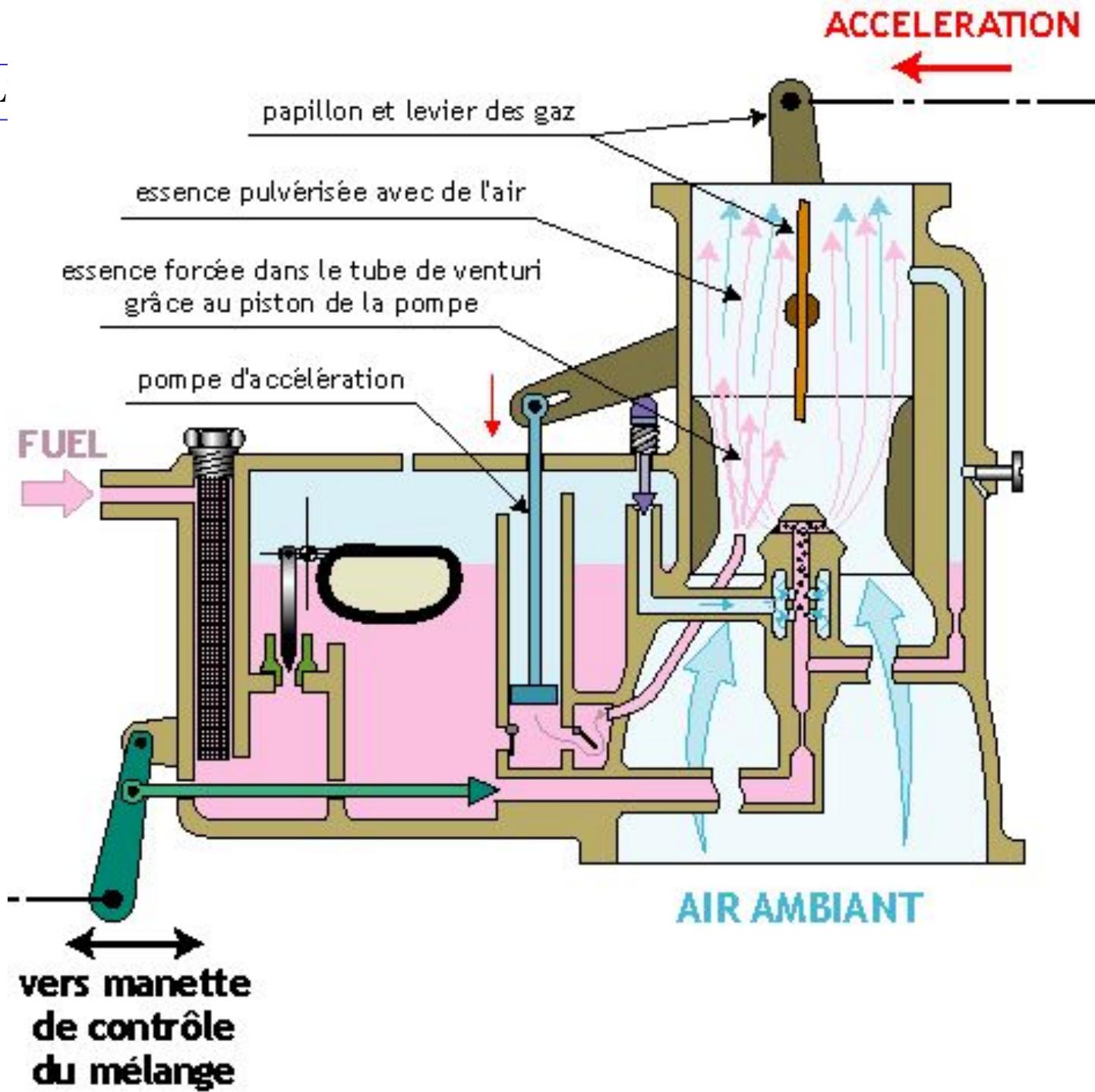
mélange essence/air
de ralenti

vers la
manette des gaz

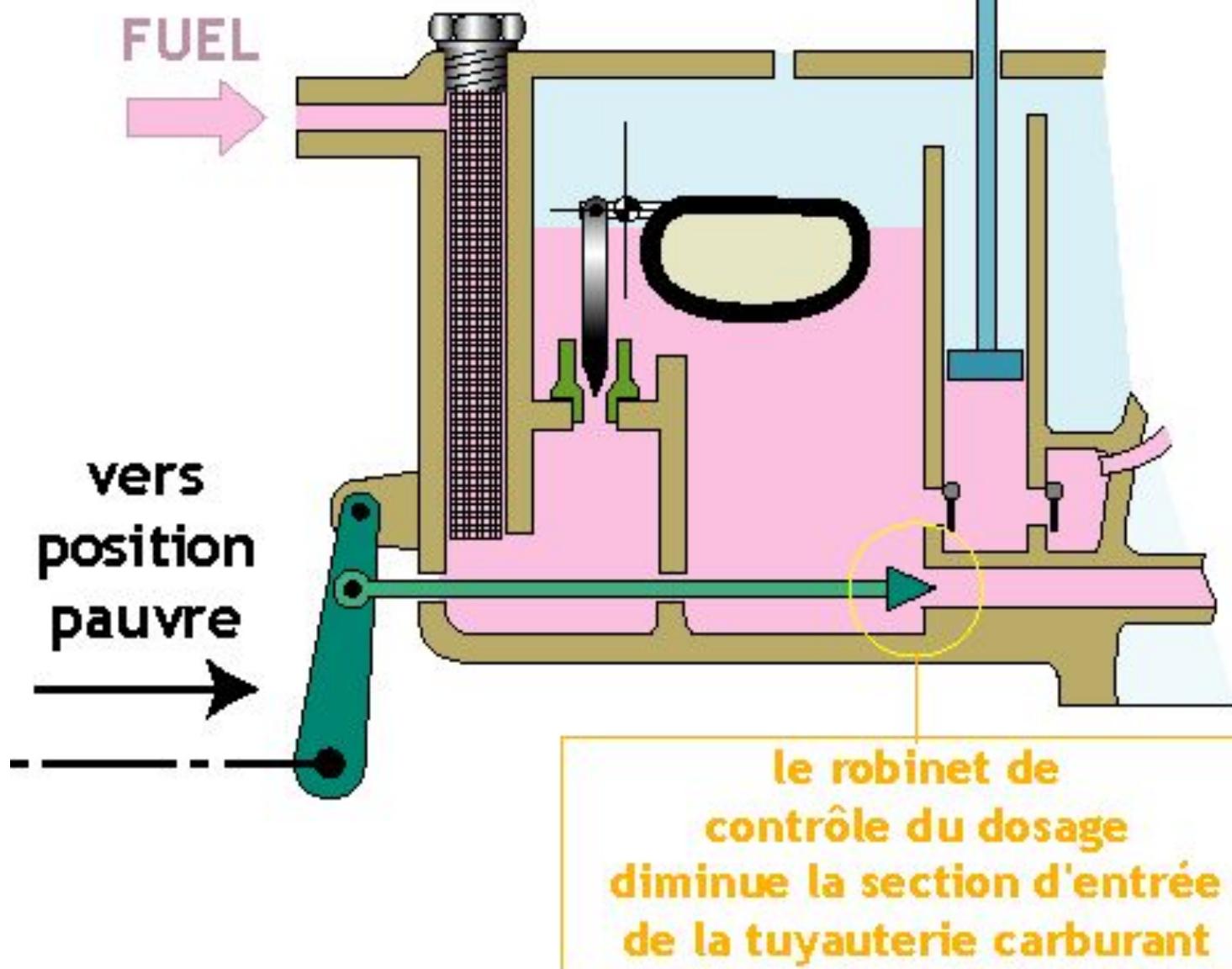


Accélération

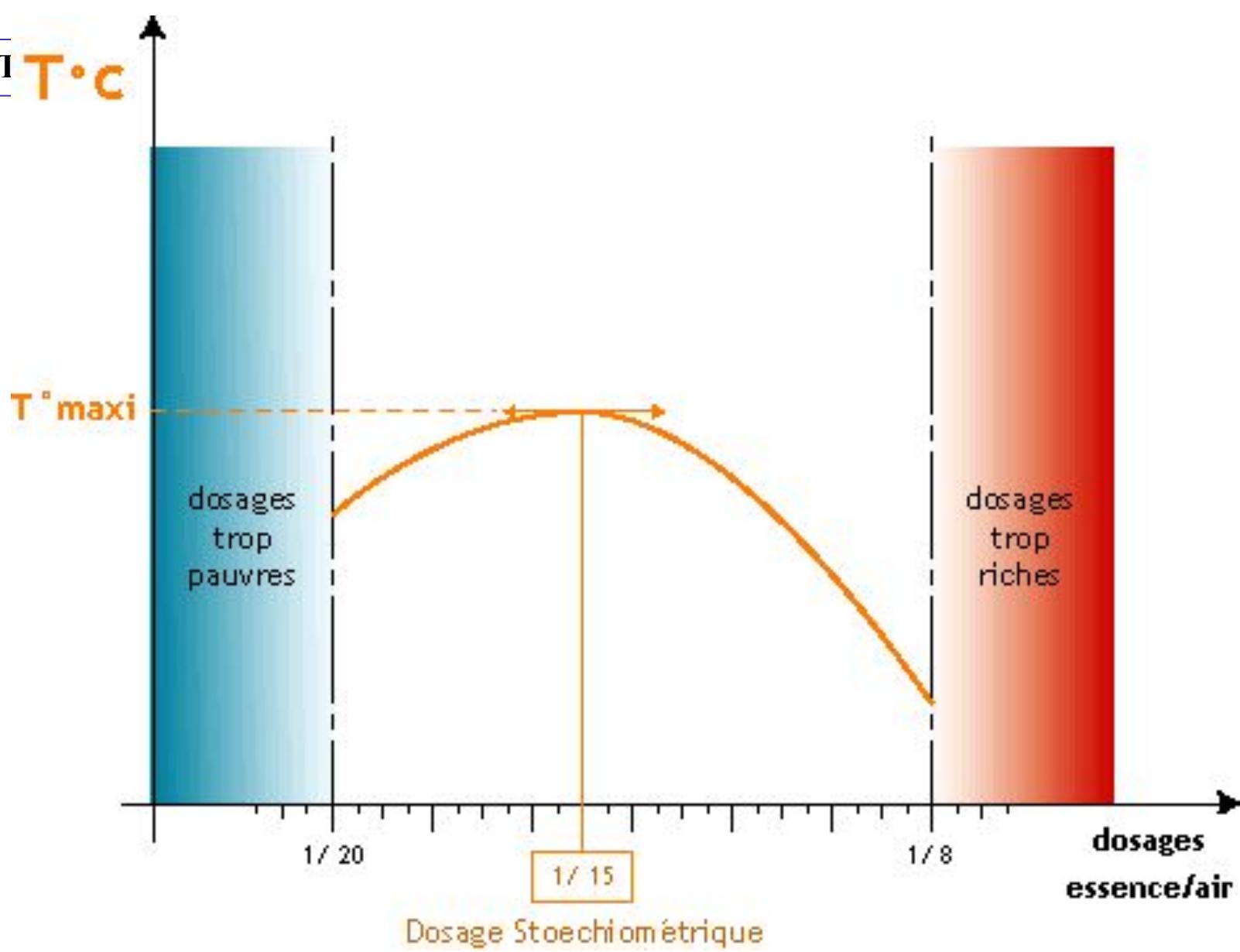
BIA TOURNEFEUIL



LA RICHESSE



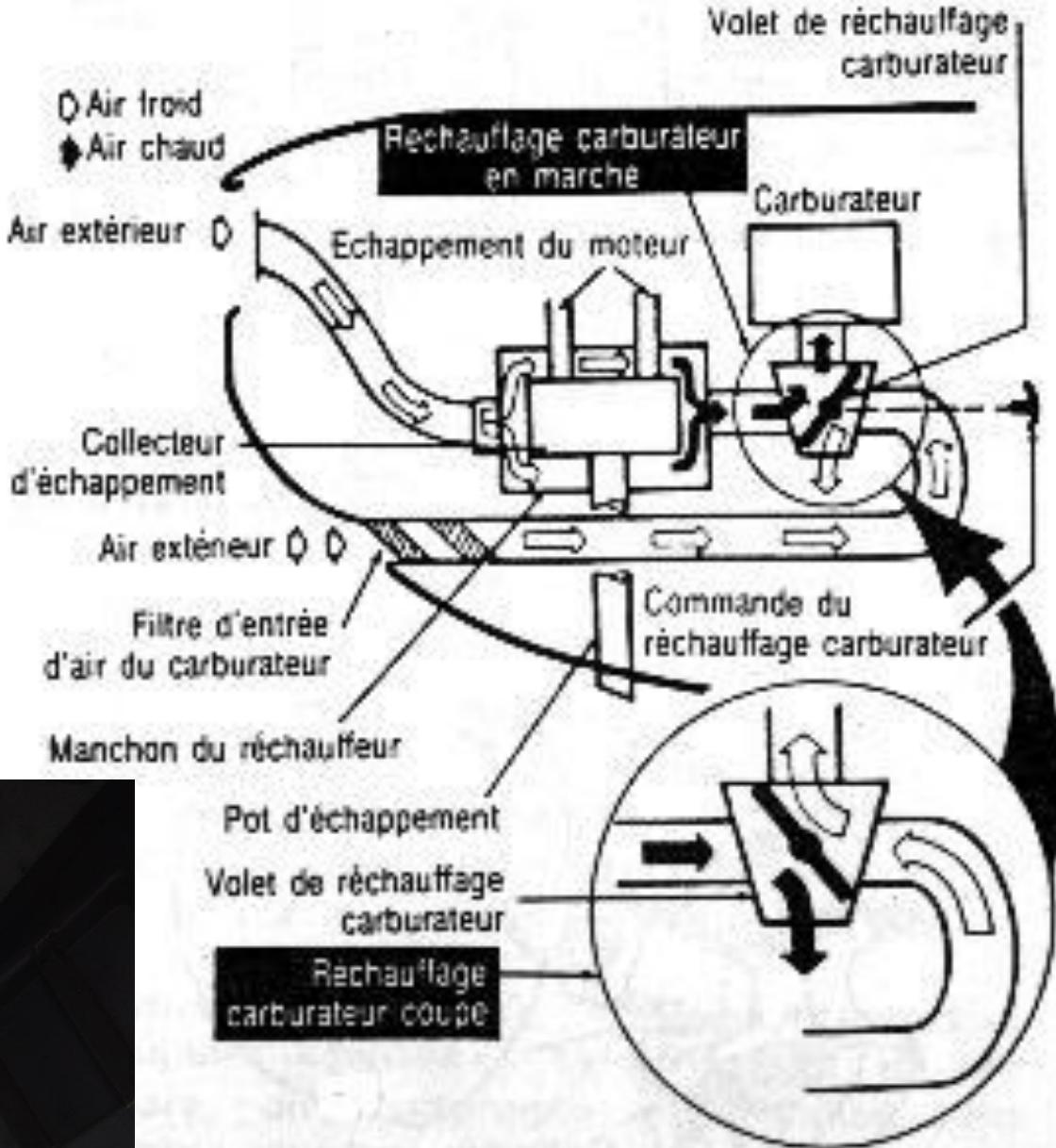
BIAT $T^{\circ}\text{C}$



STOECHIOMETRIQUE

- Certains moteurs d'avion sont réglés pour fonctionner au carburant automobile et même au diesel.
- L'essence doit être adaptée au moteur : un indice d'octane plus élevé entraîne un encrassement du moteur par mauvaise combustion et un indice plus faible peut détruire le moteur par une augmentation excessive de la température et une détonation trop violente.
- Lorsque la température d'admission augmente, la puissance diminue (1% pour 6°C)
- A température constante l'augmentation de l'humidité de l'air diminue la puissance (+1g d'eau pour 100g d'air => -4% de P)
- Avec l'altitude, la densité de l'air et la pression d'admission diminuent => la puissance moteur diminue, il faut ajuster la richesse en diminuant l'admission de carburant. ($z = 5000\text{m} \Rightarrow P/2$)
- Pour maintenir la densité de l'air on utilise un compresseur (suralimentation) et on peut parfois aller au delà (surcompression) pour augmenter le rendement.

Le réchauffage carburateur



CIRCUIT DU RECHAUFFAGE CARBURATEUR

La Lubrification

- OBJECTIFS
 - Fonctionnement
 - Dysfonctionnements
- LE MOTEUR A PISTON
 - Le piston
 - Le cycle à 4 temps
 - La carburation
 - **Lubrification**
 - Le refroidissement
 - L'allumage
- L'HELICE
 - Calage fixe
 - Calage variable
- DYSFONCTIONNEMENTS



Le grade est l'indice qui caractérise les qualités de viscosité d'une huile.

Le grade à utiliser augmente avec la température.

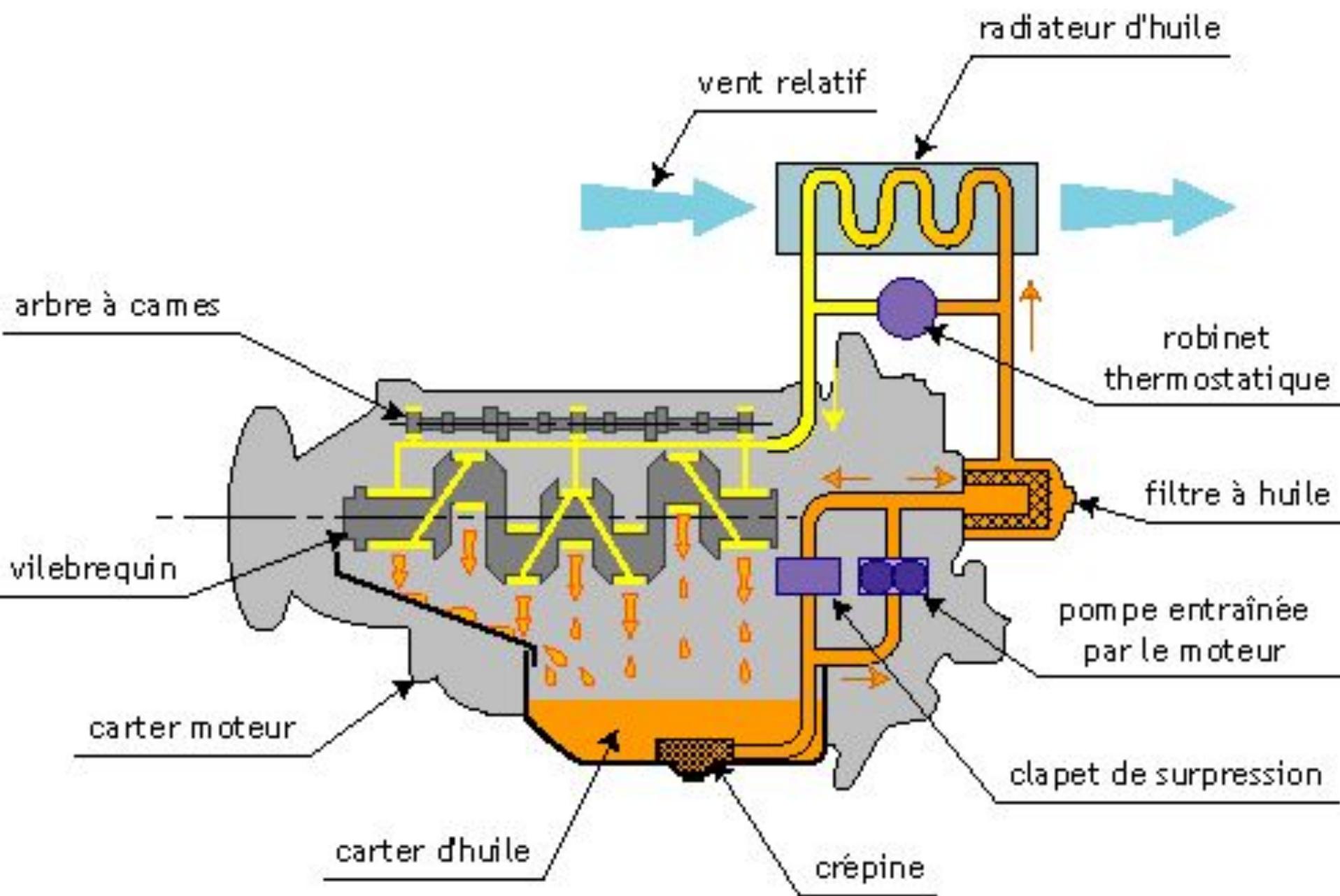
température > 15°C

grade 100

0°C < température < 30°C

grade 80

-20°C < température

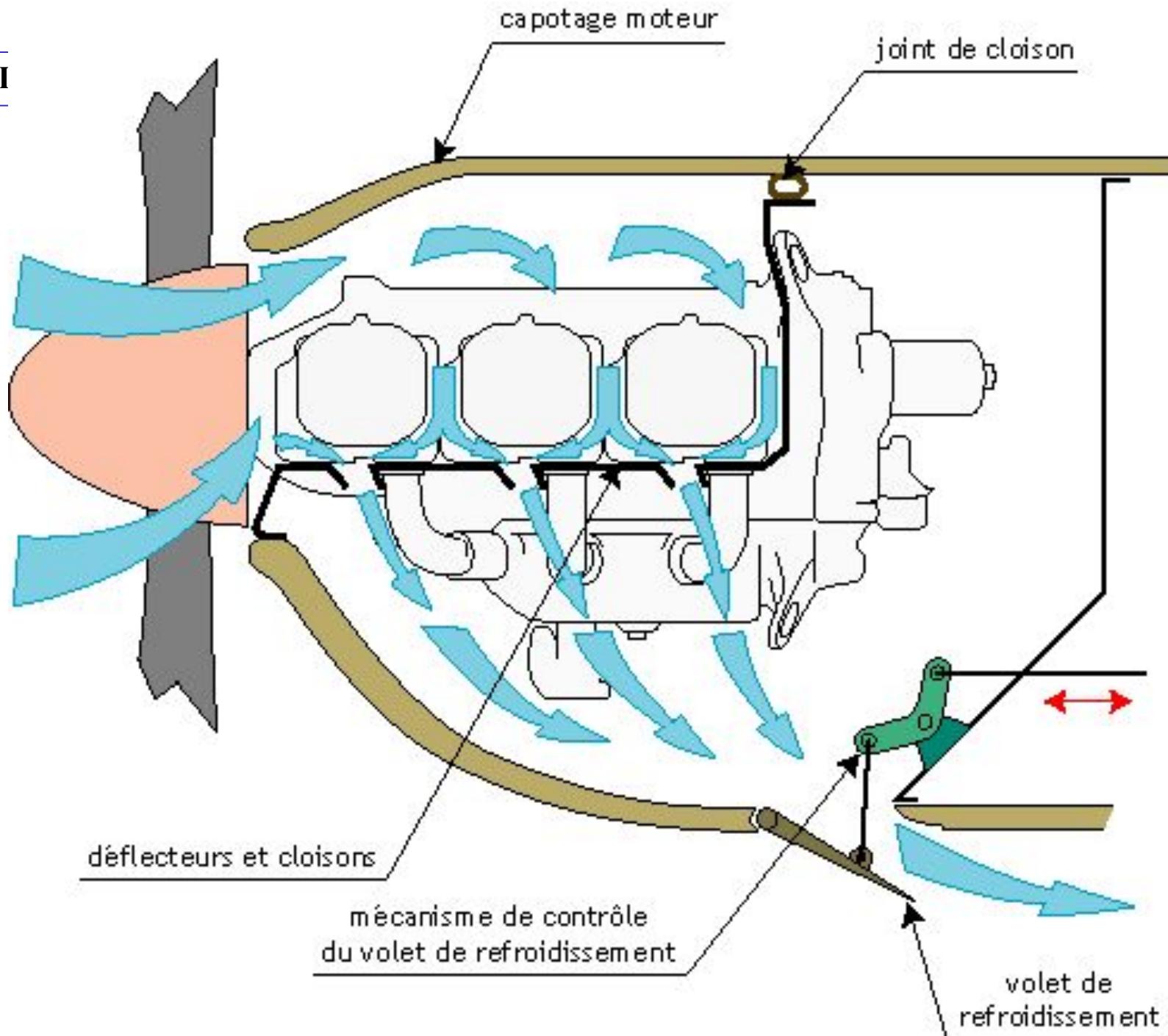


BIA TOURNEFEUILLE 2015

Le refroidissement

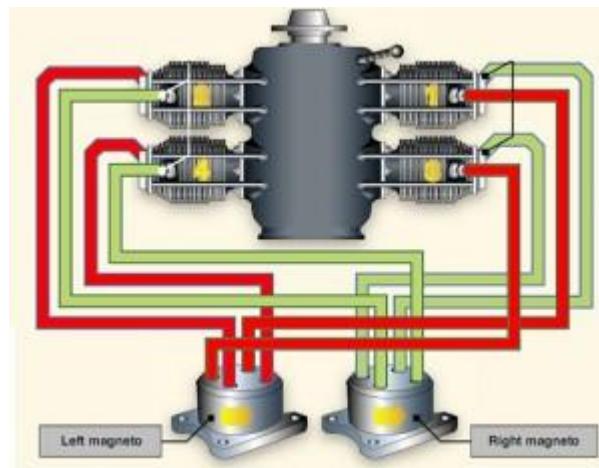
- OBJECTIFS
 - Fonctionnement
 - Dysfonctionnements
- LE MOTEUR A PISTON
 - Le piston
 - Le cycle à 4 temps
 - La carburation
 - Lubrification
 - **Le refroidissement**
 - L'allumage
- L' HELICE
 - Calage fixe
 - Calage variable
- DYSFONCTIONNEMENTS

BI



- OBJECTIFS
 - Fonctionnement
 - Dysfonctionnements
- LE MOTEUR A PISTON
 - Le piston
 - Le cycle à 4 temps
 - La carburation
 - Lubrification
 - Le refroidissement
 - L'allumage
- L' HELICE
 - Calage fixe
 - Calage variable
- DYSFONCTIONNEMENTS

BIA TOURNEFEUILLE 2015



3.5 L'instrumentation de bord

LES INSTRUMENTS MOTEUR Conduite et Surveillance

Régime (t/mn)



BIA TOURNEFEUILLE 2015 LES DYSFONCTIONNEMENTS

- OBJECTIFS
 - Fonctionnement
 - Dysfonctionnements
- LE MOTEUR A PISTON
 - Le piston
 - Le cycle à 4 temps
 - La carburation
 - Lubrification
 - Le refroidissement
 - L'allumage
- L' HELICE
 - Calage fixe
 - Calage variable
- DYSFONCTIONNEMENTS

LES DYSFONCTIONNEMENTS

- AUTO-ALLUMAGE :
 - » Subsistance d'un point chaud provoqué par l'encrassement
- VAPOR-LOCK :
 - » vaporisation de l'essence entraînant un mélange très pauvre
- VIBRATION MOTEUR : Provoquées par :
 - » un mélange incorrect
 - » un fonctionnement défectueux de l'allumage
 - » l'auto-allumage
 - » la détonation
 - » un mauvais équilibrage de l'hélice
 - » une détérioration mécanique du moteur

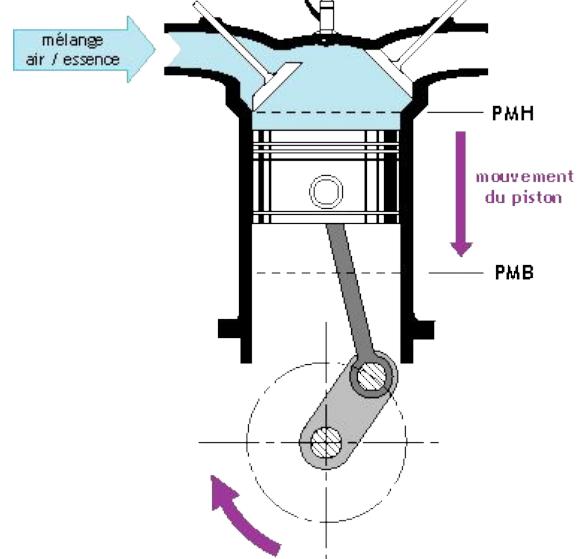
LES DYSFONCTIONNEMENTS

- SURCHAUFFE MOTEUR : Provoquée par :
 - » un mélange trop pauvre
 - » un régime de rotation trop élevé
 - » l'air d'admission trop chaud
 - » un mauvais refroidissement
 - » un défaut de lubrification
 - » la détonation
- PRESSION D'HUILE FAIBLE :
 - » fuite circuit de lubrification
 - » mauvais fonctionnement de la pompe
 - » quantité d'huile insuffisante
- FUMEE NOIR A L' ECHAPPEMENT : Provoquée par :
 - » un mélange trop riche
 - » Peut entraîner :
 - » l'encrassement des cylindres
 - » un risque d'explosion

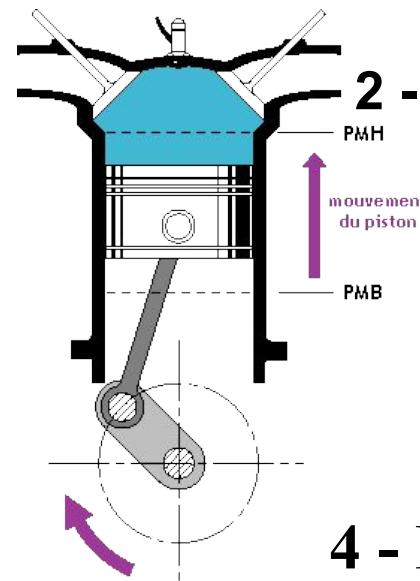
3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

Moteur à pistons (4 temps)

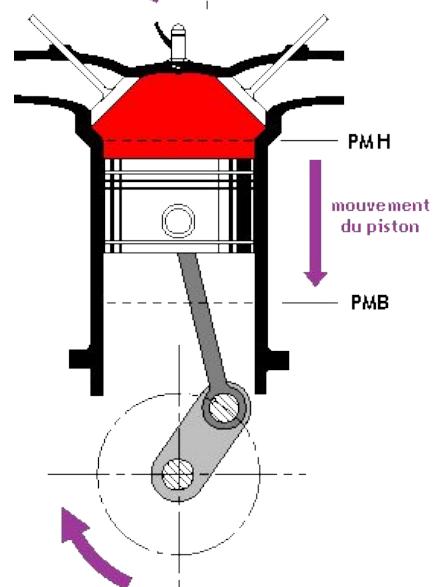
1 - Admission



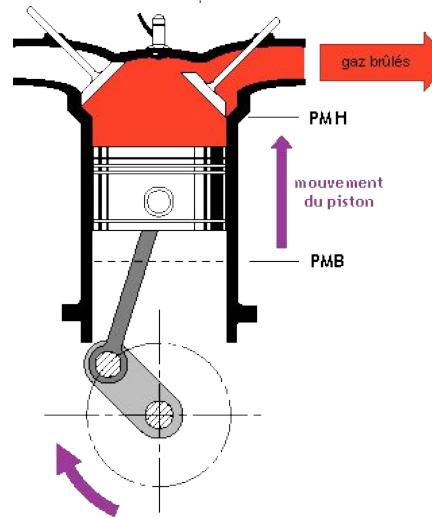
2 - Compression



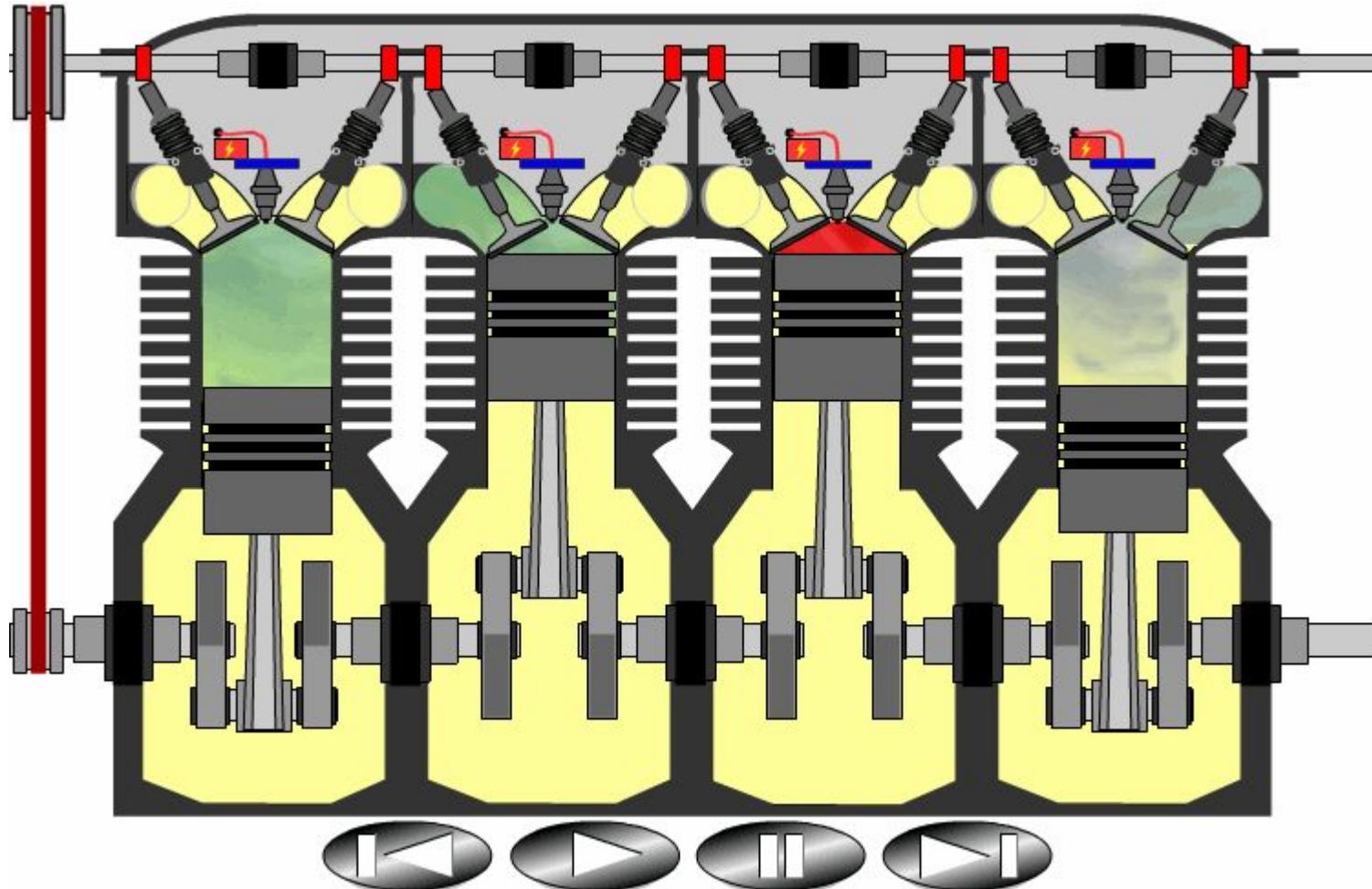
3 – Allumage et détente



4 - Échappement



Moteur 4 cylindres en ligne, arbre à cames en tête



3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

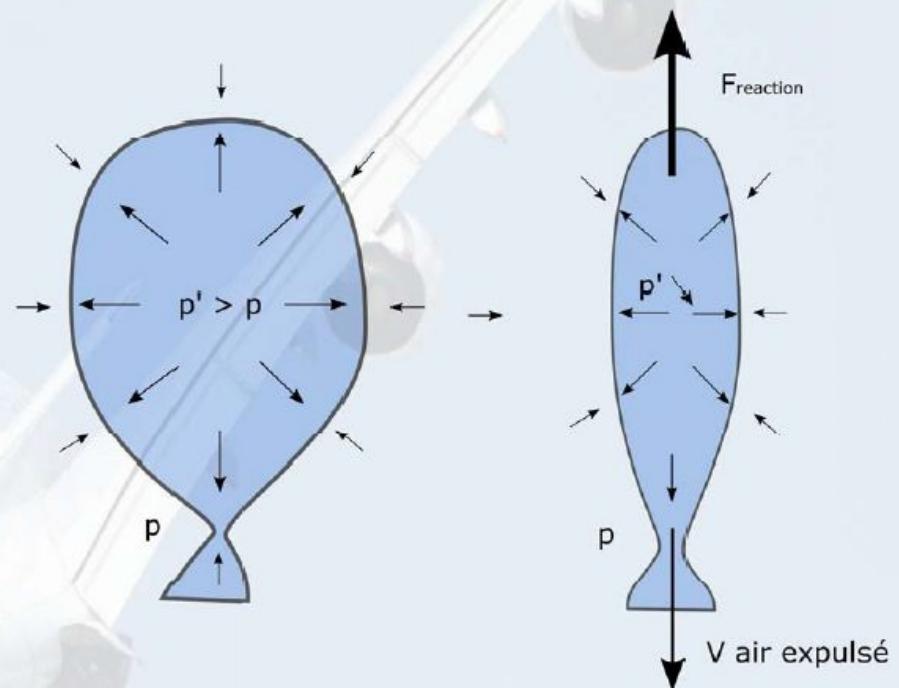


PROPILEURS A REACTION



- Des gaz sous pression dans une enveloppe s'échappent vers la zone de plus basse pression.
- Le surcroît de pression se transforme en vitesse conformément au théorème de BERNOULLI:

$$p' = p + \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$



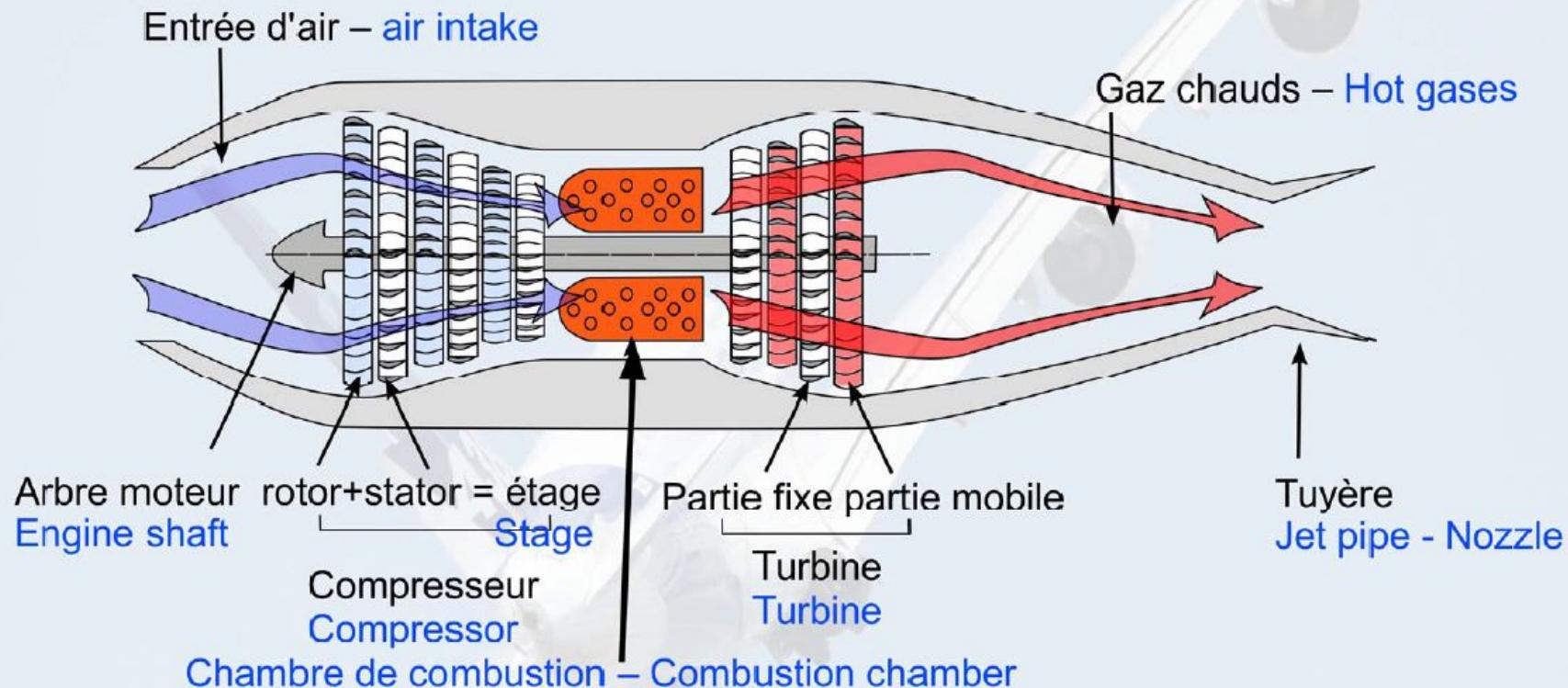
- La masse d'air expulsée avec une vitesse V_{air} crée une force sur l'enveloppe, c'est la poussée par réaction.

- La poussée est donnée par le théorème d'EULER:

$$F = Dm \cdot V_{air}$$

- F est la poussée brute (en New ton N)
- Dm et le débit d'air (en kg/s). c'est à dire la masse d'air éjectée chaque seconde
- V_{air} est la vitesse de l'air éjecté (en m/s)

- Principe d'un turboréacteur monocorps monoflux :



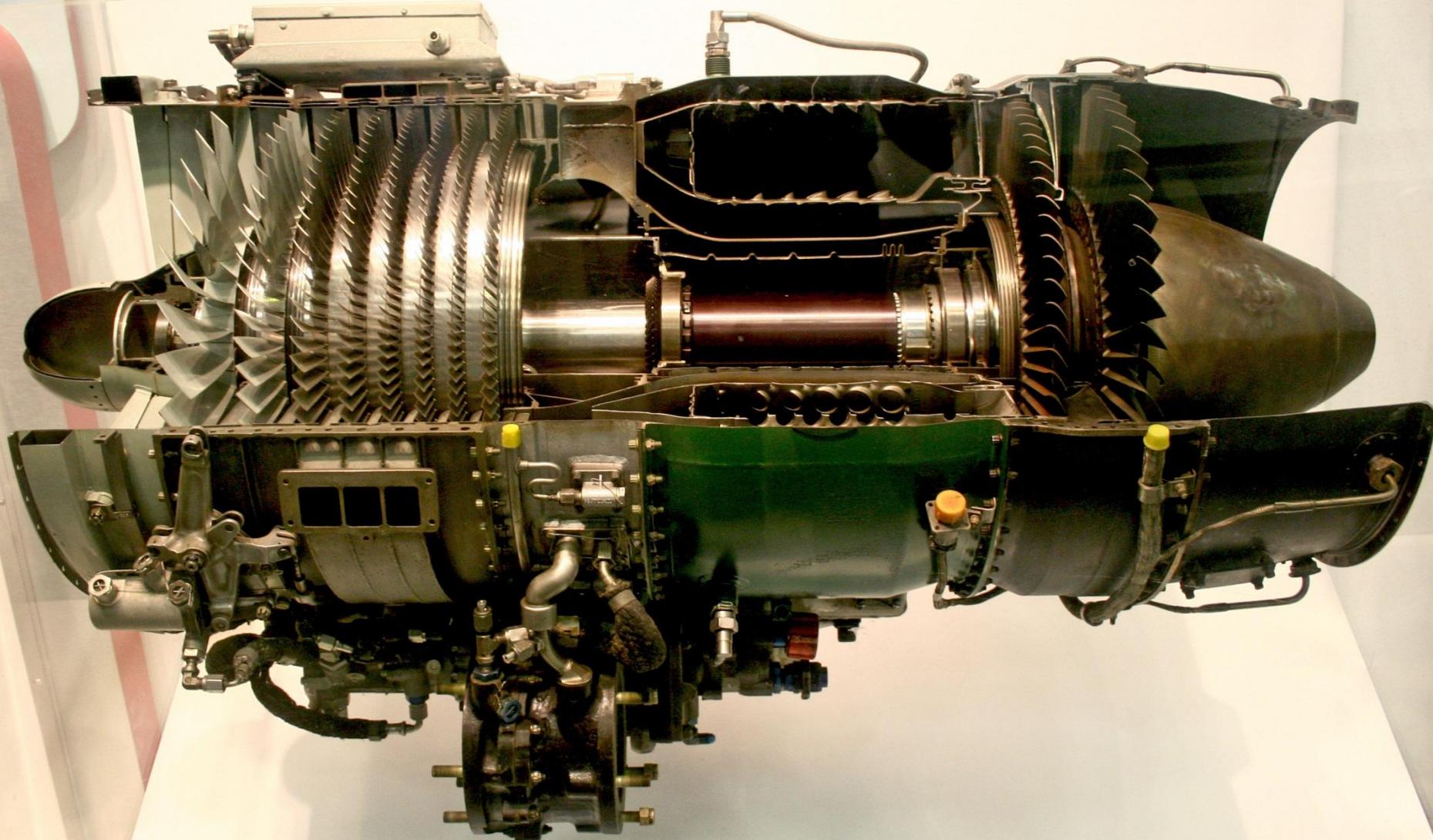
$$F = Dm \cdot (V_{\text{sortie}} - V_{\text{entrée}})$$

- La poussée résulte de la masse de gaz expulsée et de la différence de vitesse des gaz entre l'entrée et la sortie:

168/223

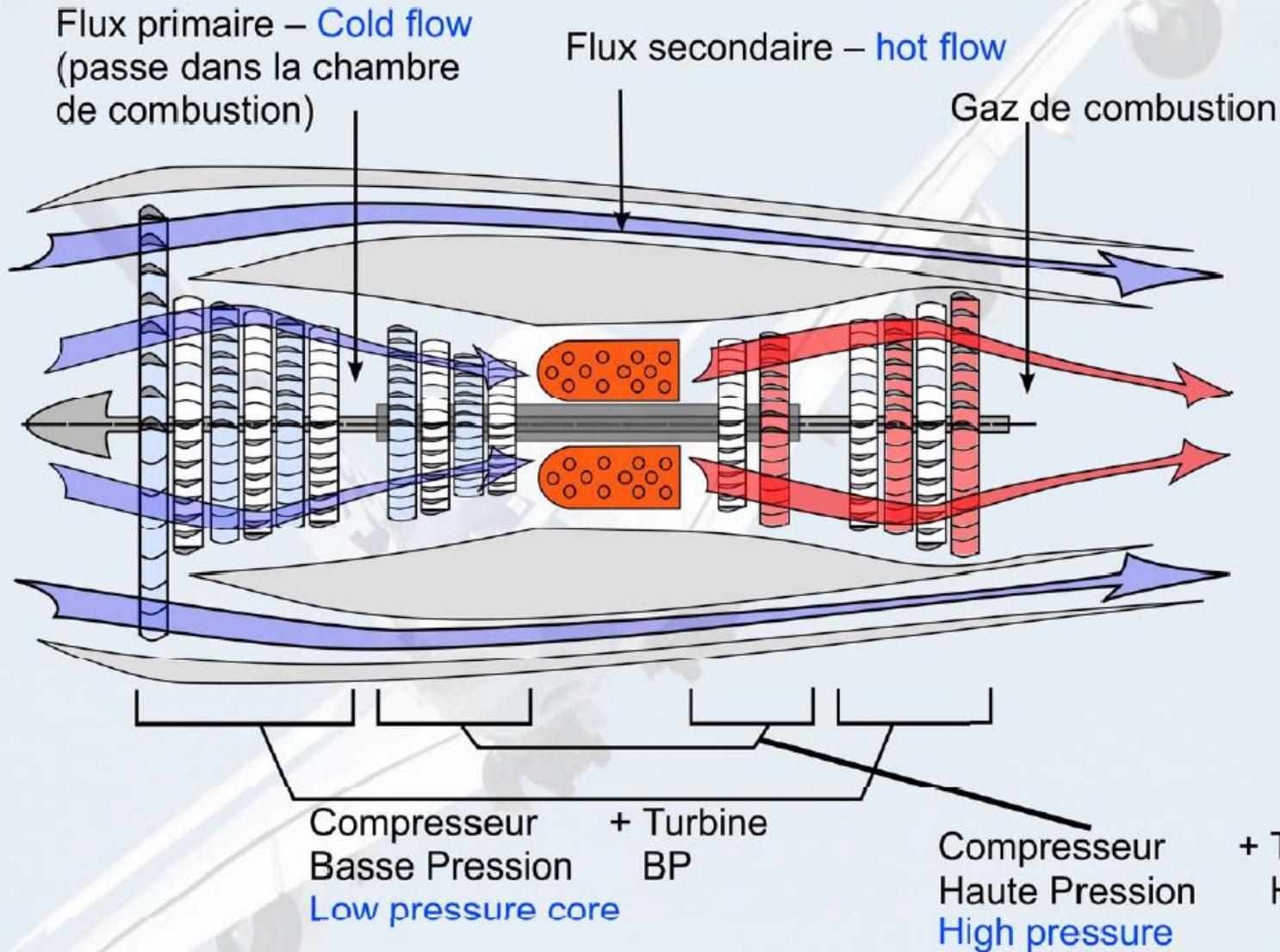
- Entrée d'air :
 - L'air est ralenti et sa pression et sa température augmentent
- Compresseur :
 - L'air est encore comprimé et monte en température.
 - Si la compression est très importante, le compresseur est divisé en plusieurs ensembles appelés corps.
- Chambre de combustion :
 - L'injection du carburant et la combustion du mélange y sont réalisés.
 - Cela produit une quantité très importante de gaz à haute température et haute pression qui s'échappent par l'arrière du moteur.
- Turbine :
 - Elle récupère une partie de l'énergie des gaz brûlés pour faire tourner le compresseur.
- Tuyère :
 - Les gaz s'y détendent en accélérant pour produire la poussée.

- Entrée d'air : $V_{air} \downarrow$, $p \uparrow$ et $T \uparrow$
- Compresseur :
 - Roues constituées d'aubes ou ailettes
 - roues mobiles (compression) et roues fixes (redressement)
 - Ensemble 1 roue mobile + 1 roue fixe = 1 étage
 - Ensemble d'étages solidaires (2 à 15) = 1 corps
- Chambre de combustion :
 - Injection du carburant
 - Combustion du mélange
- Turbine :
 - Même constitution que le compresseur
 - Prend de l'énergie aux gaz (rotation compresseur, génération hydraulique, électrique...) => $p \downarrow$
 - Un corps de turbine est solidaire d'un corps de compresseur
- Tuyère : $P_{gaz} \downarrow \Rightarrow V_{gaz} \uparrow \Rightarrow$ Poussée



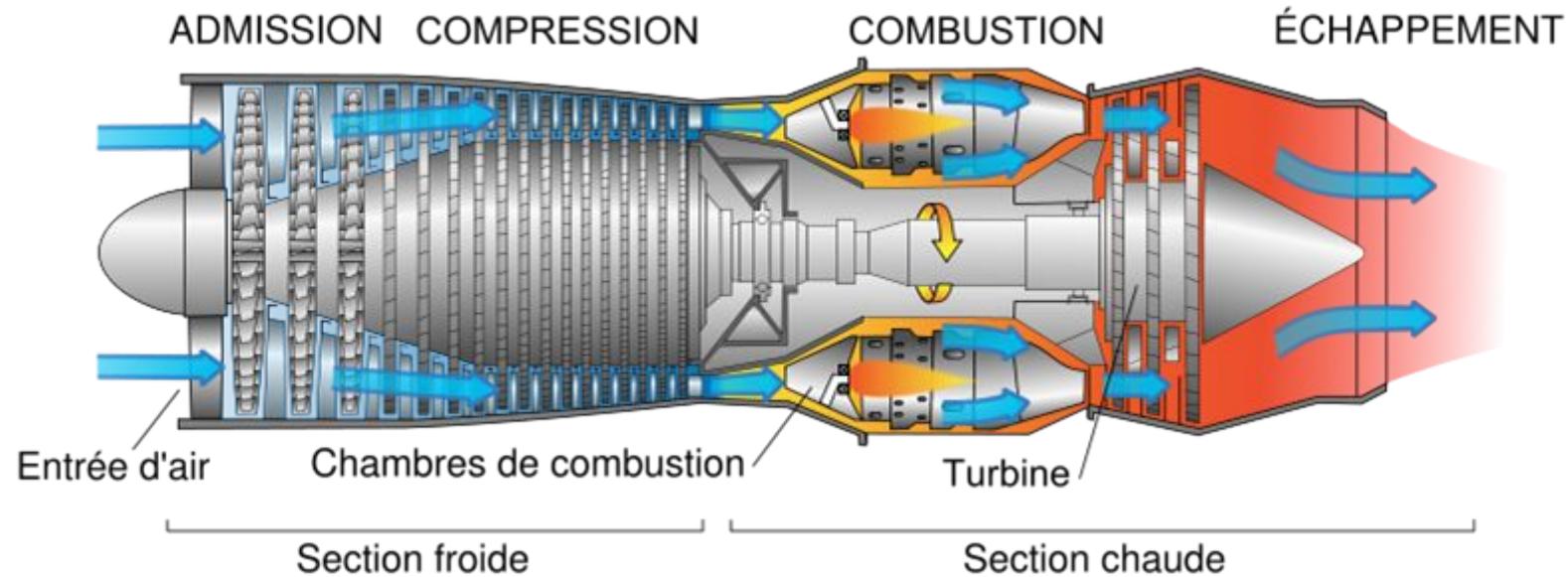
GENERAL ELECTRIC J 85

Double corps – double flux :

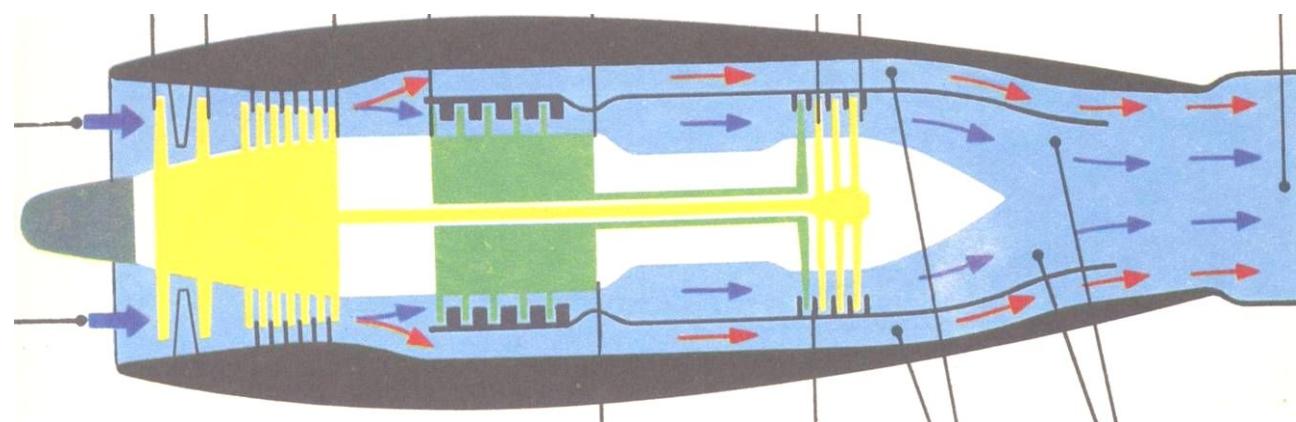


3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

Le Turboréacteur (simple flux)



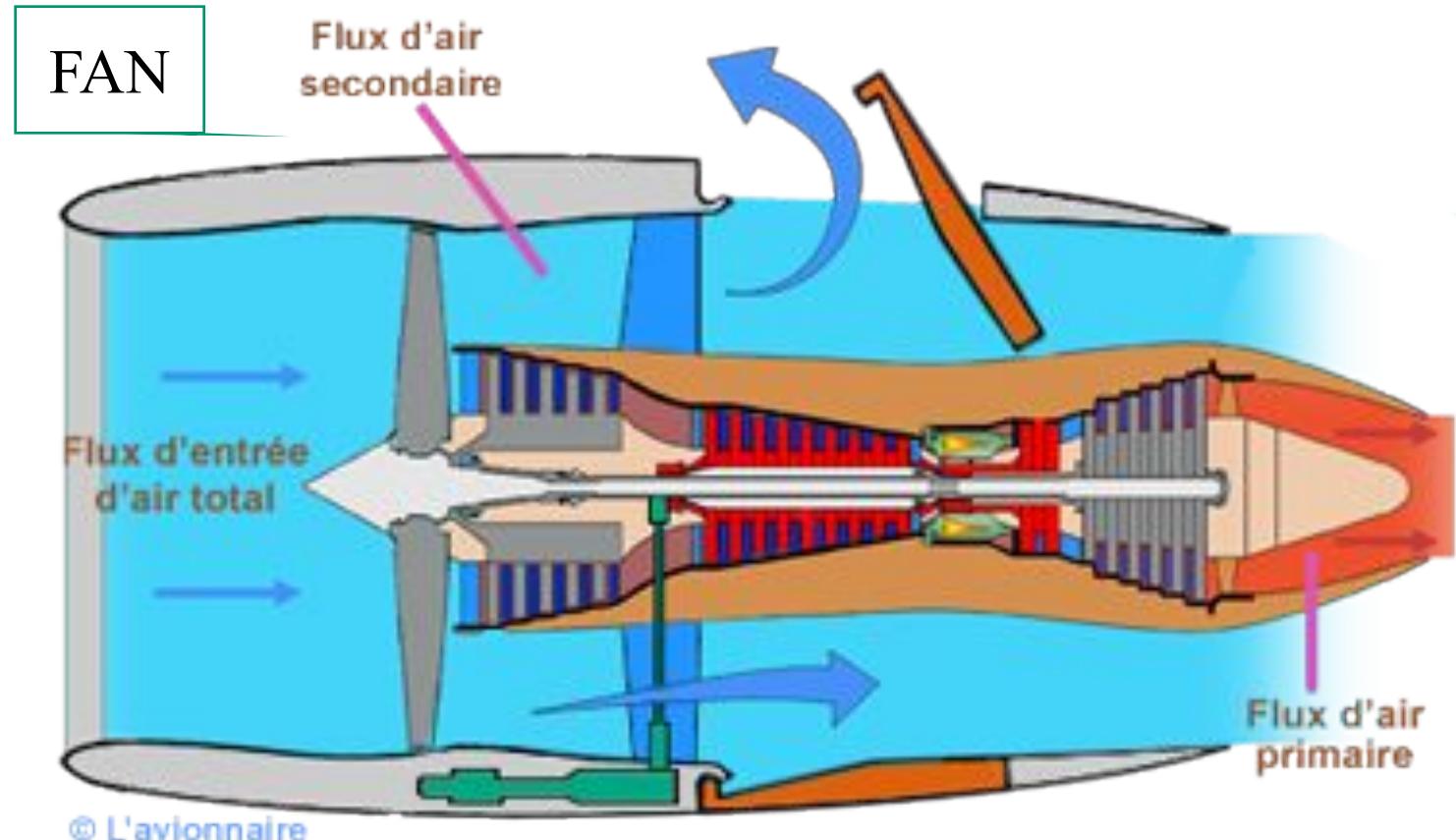
Turboréacteur (double flux)



3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

Le Turbofan

L'inverseur est actif, la porte dévie le flux d'air vers l'avant



© L'avionnaire

Porte de l'inverseur fermée, l'air circule normalement

3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

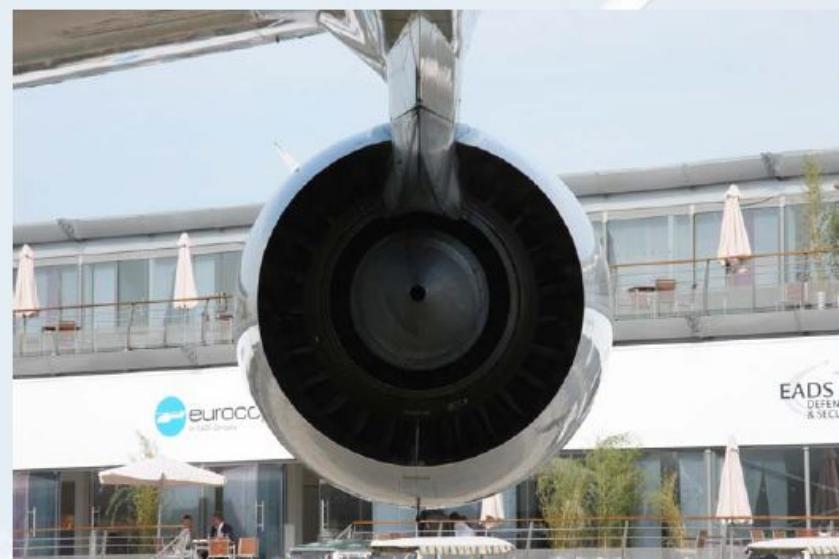
Le Turbofan



- Permet de diminuer la consommation spécifique.
- Augmente de façon importante la poussée à peu de frais (grand fan des réacteurs civils).
 - Taux de dilution :
 - Rapport entre le débit massique du flux secondaire et celui du flux primaire
 - Grand : civils (jusqu'à 15 : 1 => 80% de la poussée sur le Fan)
 - Petit : militaires
- Tuyère :
 - Convergente en écoulement subsonique
 - Convergente – Divergente en écoulement supersonique car il faut élargir la tuyère au point où l'écoulement devient supersonique pour qu'il continue à accélérer.



Entrée d'air et Fan B787



Tuyère A380

Réacteurs en nacelle et tuyère APU

- Il reste assez d'oxygène dans la tuyère pour brûler du carburant = POSTCOMBUSTION
- Employée sur les avions militaires
- Surcroît de poussée (20-30%)
- Augmentation de consommation (+ 100 à 500%)



174/223



Entrées d'air d'un Su 30

Anneaux de PC d'un Mirage 2000



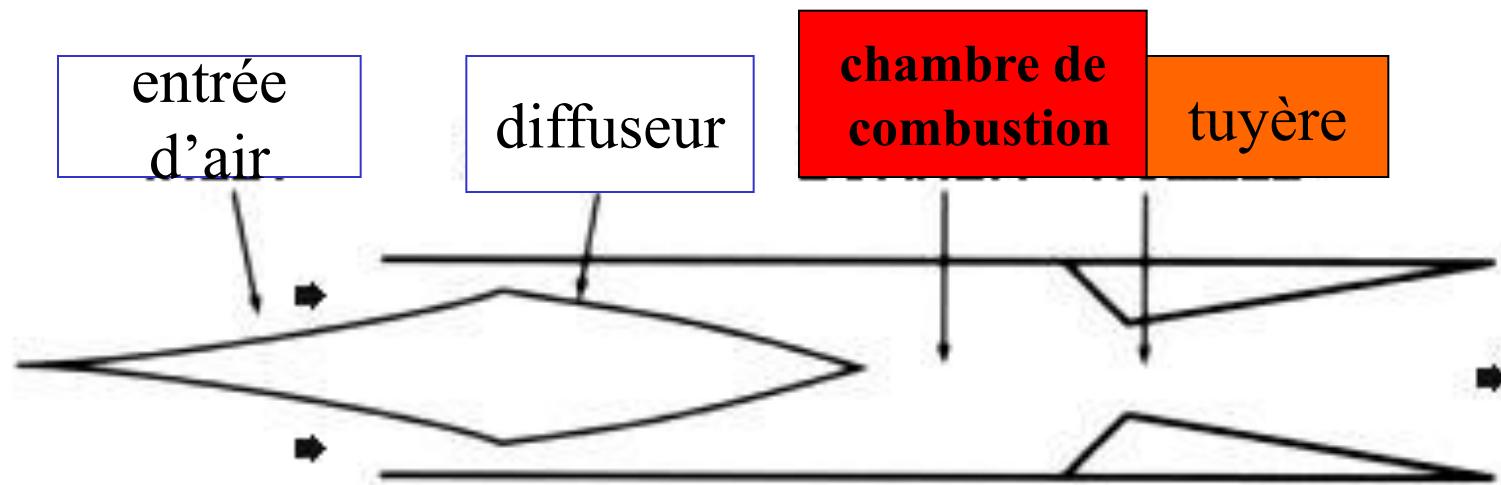
Paupières de tuyères d'un Typhoon (contrôle de la géométrie en sortie de tuyère) et dispositif de poussée vectoriel et contrôle des paupières pour le même appareil.



- Contrôle du fonctionnement:
 - tachymètre gradué en % indique le régime de fonctionnement (50 à 110%).
 - T° tuyère (ou EGT)
 - T° et p huile de lubrification
- Puissances de 500 daN à 30 000 daN.
- Utilisations:
 - Avions de ligne
 - Jet d'affaires
 - Avions de combat
- Le carburant utilisé est du kérosène.

3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

STATOREACTEUR OU TUYERE THERMOPROPULSIVE

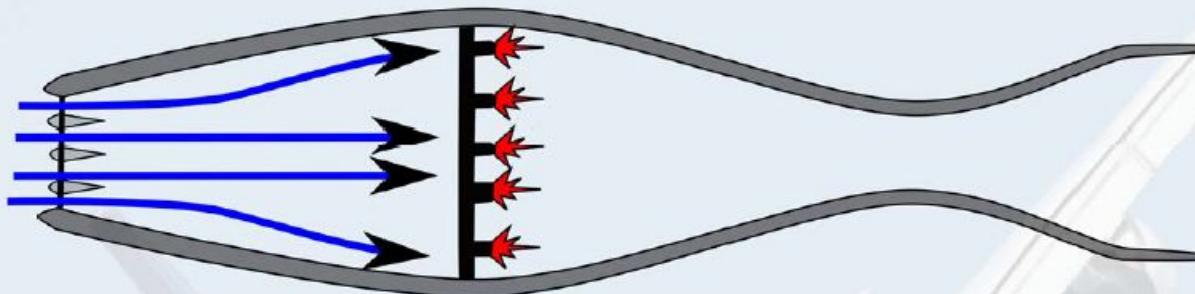


Le plus simple apparemment

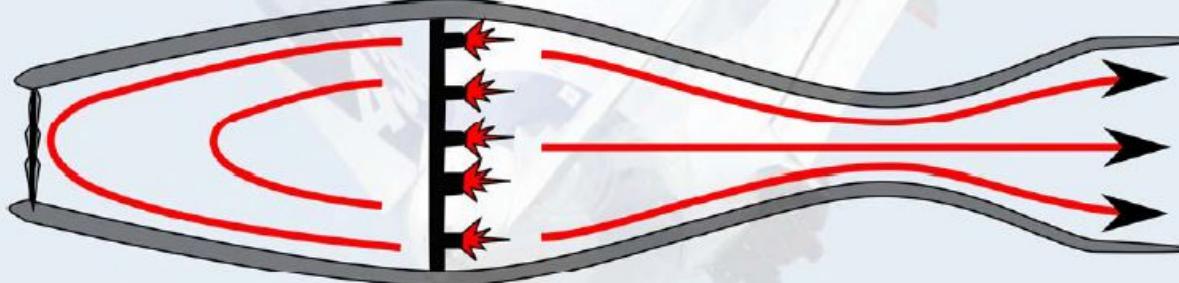
Nécessite d'avoir une vitesse initiale

Un gouffre à pétrole

- Un pulsoréacteur est un réacteur sans parties mobiles autres que des volets d'entrée d'air:

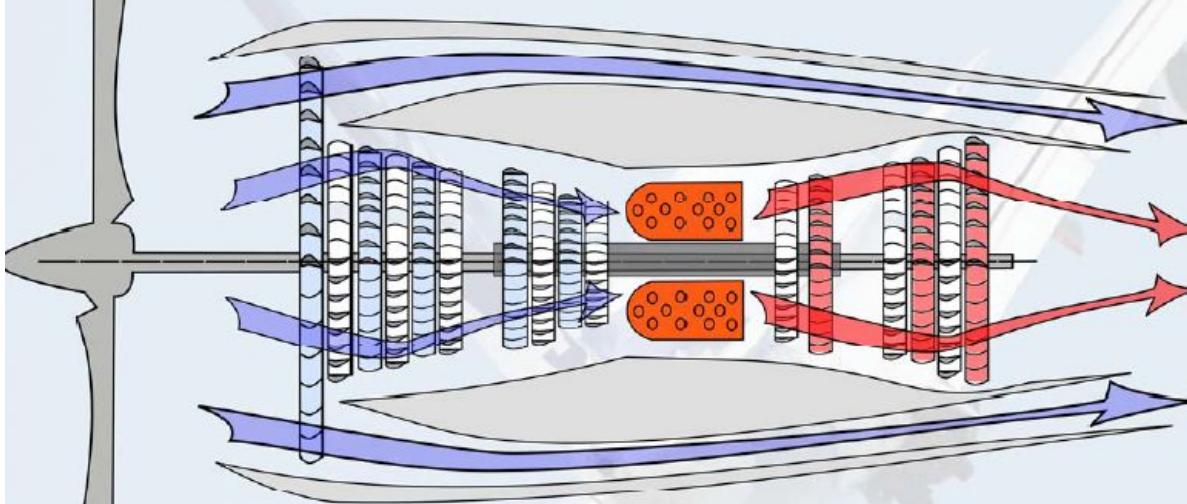


- La compression de l'air dans l'entrée d'air l'amène à une température suffisante pour enflammer le carburant injecté.



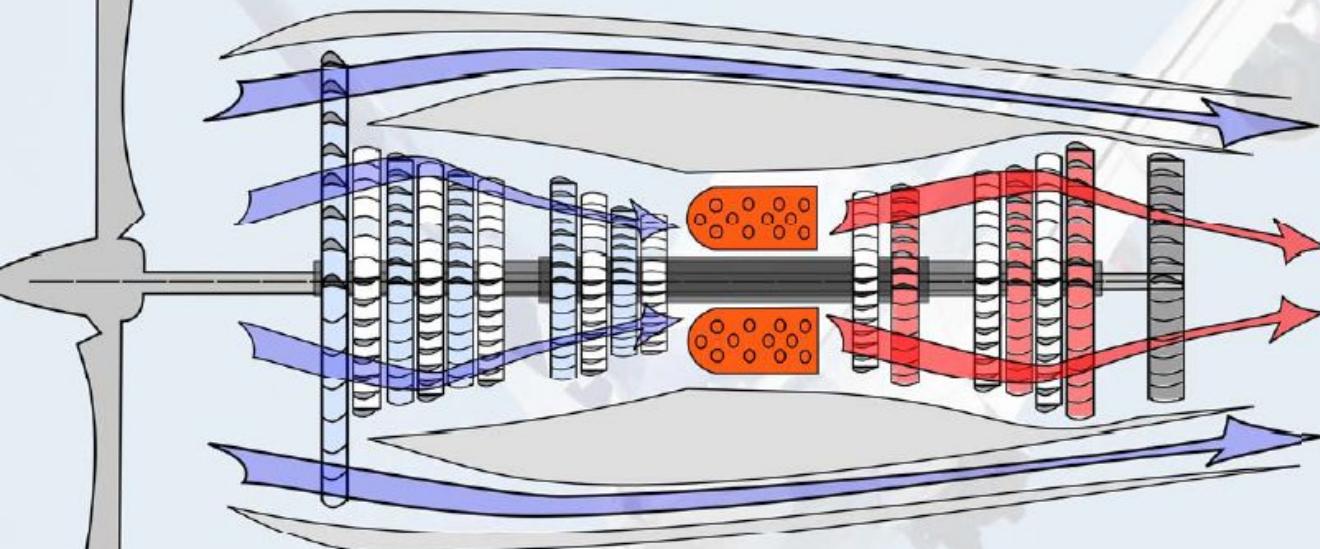
- La surpression due à la combustion ferme les volets; La pression augmente encore et les gaz sont éjectés par la tuyère.
- Lorsque la pression a suffisamment diminué les volets s'ouvrent et le cycle recommence.

- Principe des turbopropulseurs :
 - on utilise une turbine pour faire tourner une hélice
 - Les turbines prennent un maximum d'énergie aux gaz brûlés.



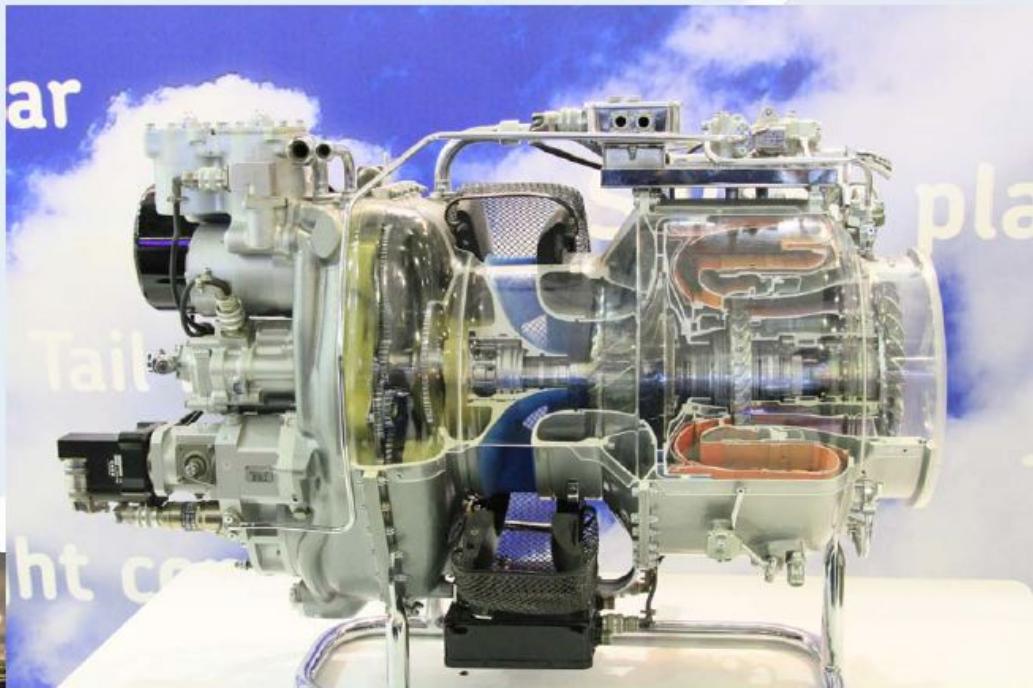
- Il n'y a pratiquement pas de poussée
- La turbine peut être monocorps ou multicorps et monoflux ou multiflux.

- 2 grands types de turbopropulseurs :
 - À turbine liée : l'hélice est en liaison avec le corps de turbine basse pression par l'intermédiaire d'un boîtier de réduction.



- À turbine libre : l'hélice est en liaison avec un étage de turbine spécifique et indépendant du reste du moteur.

- Turbine pour hélicoptère :



- TP400 de l'A400M



V. Les Turbopropulseurs.

- Contrôle du fonctionnement:
 - régime de rotation de la turbine N1 et N2 en %
 - couple hélice
 - T° turbine (ITT)
 - débit carburant (FF)
- Le contrôle du pas de l'hélice peut être manuel ou automatique selon les appareils.



3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

La motorisation électrique

Sources d'énergie

- Batteries rechargeables au sol
- Batteries rechargeables par panneaux solaires

Propulsion

- Soufflante carénée
- Hélices



VII. Moteurs électriques

- Les moteurs électriques se développent assez rapidement pour l'aviation légère.
- Le constructeur slovène Pipistrel propose déjà 5 modèles d'avion et motoplaneurs électriques dans sa gamme.
- Airbus industrie se lance dans la course avec un plan industriel important pour l'E-Fan.
- Les chinois aussi se lancent dans l'aventure.
- L'augmentation des performances des batteries pourrait encore progresser plus rapidement avec l'accroissement de la part de l'électrique dans les avions de ligne et ainsi profiter à la motorisation électrique des avions légers.
- Avec les moteurs électriques il est possible de concevoir les avions différemment en utilisant un nombre important de moteurs de faible puissance entraînant des petites hélices.

BIA TOURNEFEUILLE 2017/2018



Image: ©VoltAero 2020



Ascendance Flight Technologies présente son appareil ATEA, développé à Toulouse, comme une alternative à l'hélicoptère. (Crédits : Ascendance Flight Technologies)



<https://www.noradsanta.org/>

[Moteur pop-pop \(pulsoréacteur/statoréacteur\)](#)

[Moteur à 4 temps](#)

[Ekranoplane](#)

[NH90](#)

[Tête de rotor en slow motion](#)

Les hélices

3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

L'hélice

Une machine à transformer la puissance du moteur en traction

- une action plus complexe qu'il n'y paraît
- à traiter avec précautions
 - fragilité
 - danger

Pas fixe ou pas variable

Rendement:

puissance restituée par l'hélice/ puissance moteur

Il varie beaucoup suivant de nombreux paramètres

- Dimensions, calage, vitesse de rotation,

vitesse avion ...

3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

L'hélice



HELICE DE DC 3



HELICE EN DRAPEAU
CONSTELLATION

I. L'hélice – The propeller

- Extrapolée de l'hélice navale.
- Constituée de plusieurs pales (**blades**)
 - 2 = bipale
 - 3 = tripale
 - 4 = quadripale ...
- La forme des pales est plus ou moins complexe
- Construction en :
 - Bois
 - Métal
 - Matériau composite



I. L'hélice



Bipale



Tripale



Quadripale

97/223



Raytheon

2 hélices contrarotatives couplées

I. L'hélice

Le profil d'une pale est similaire à un profil d'aile.

L'angle de calage Cr évolue depuis l'axe vers l'extrémité de la pale.

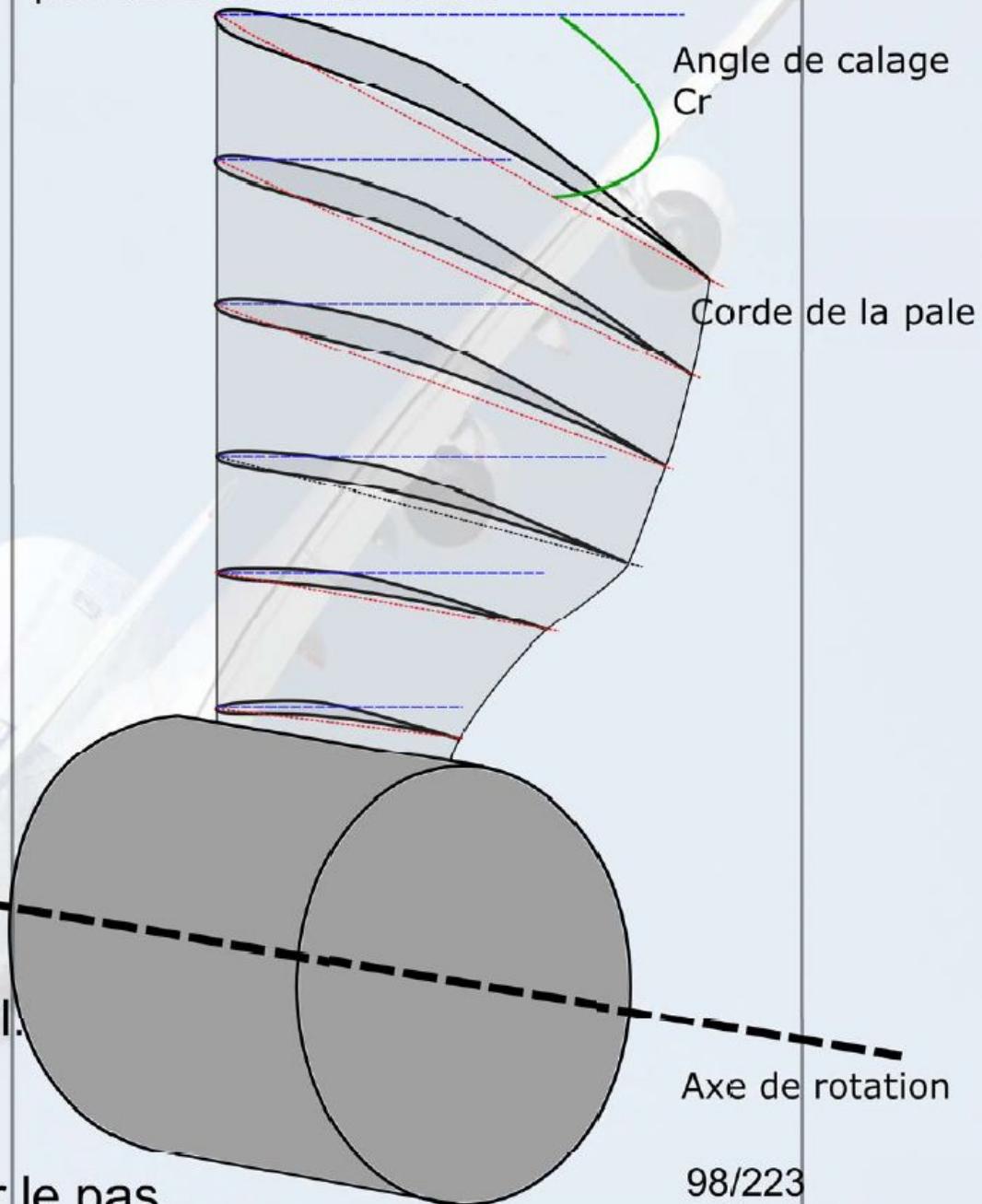
Pas de l'hélice = avance dans l'air en un tour.

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \tan(Cr)$$

r = distance de l'axe au profil.

Hélice vrillée pour conserver le pas

plan de rotation de l'hélice



I. L'hélice

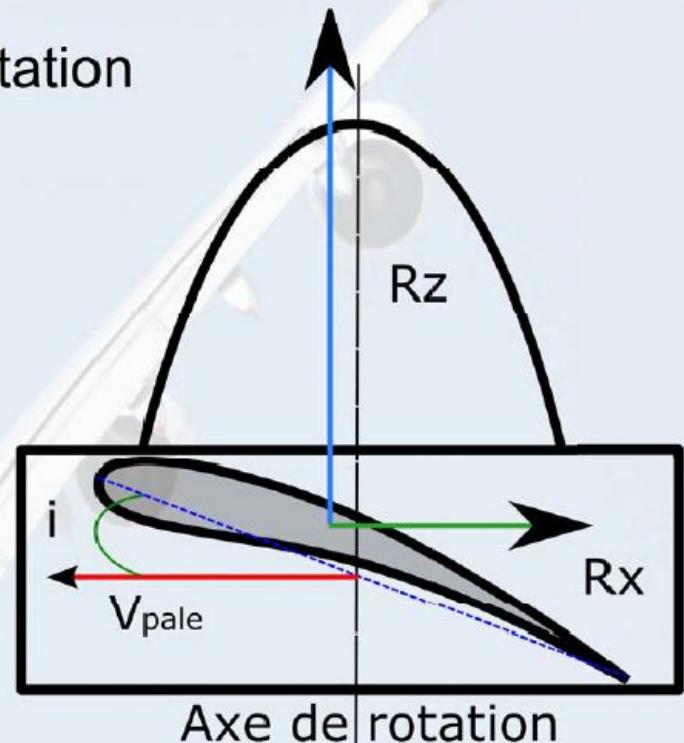
Cr donne incidence i dans l'air pendant rotation

=> résultante forces aérodynamiques

- R_z équivalent d'une portance
- R_x traînée

=> force de traction.

La casserole d'hélice permet d'améliorer
l'écoulement sur les pales.



Rendement de l'hélice :

$$r = \frac{P_{utile}}{P_{absorbée}}$$

Pour un calage donné le rendement dépend de la vitesse.

I. L'hélice

- Calage fixe => optimisé pour la croisière.
- Pas variable :
 - Petit pas = grande puissance
=> décollage, atterrissage et manoeuvre
 - Grand pas = grande efficacité
=> croisière
- L'hélice peut être :
 - Tractrice si placée à l'avant
 - Propulsive si placée à l'arrière
- Pour freiner on peut réaliser un changement de pas pour obtenir une inversion de traction.



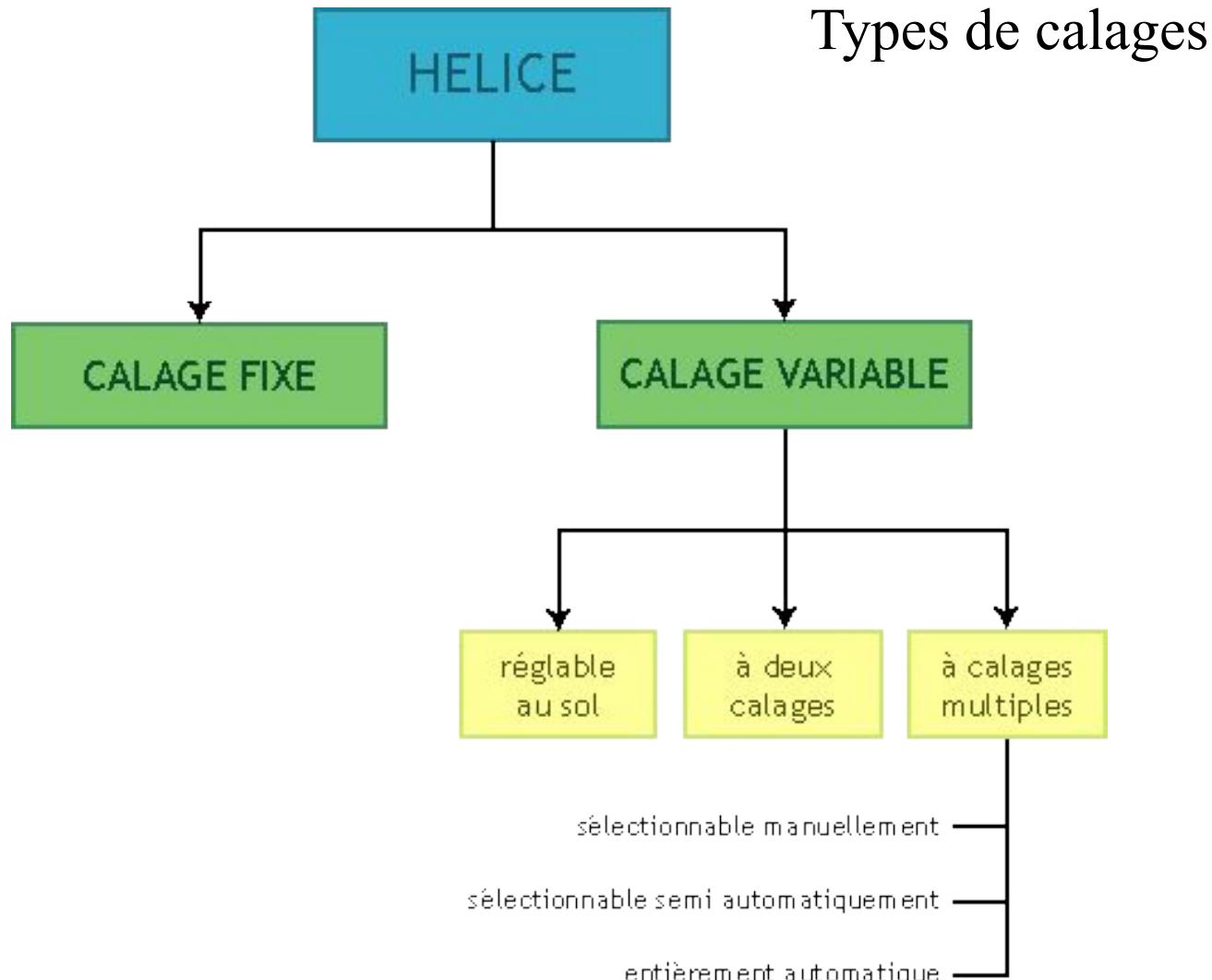
I. L'hélice

Les régimes de l'hélice :

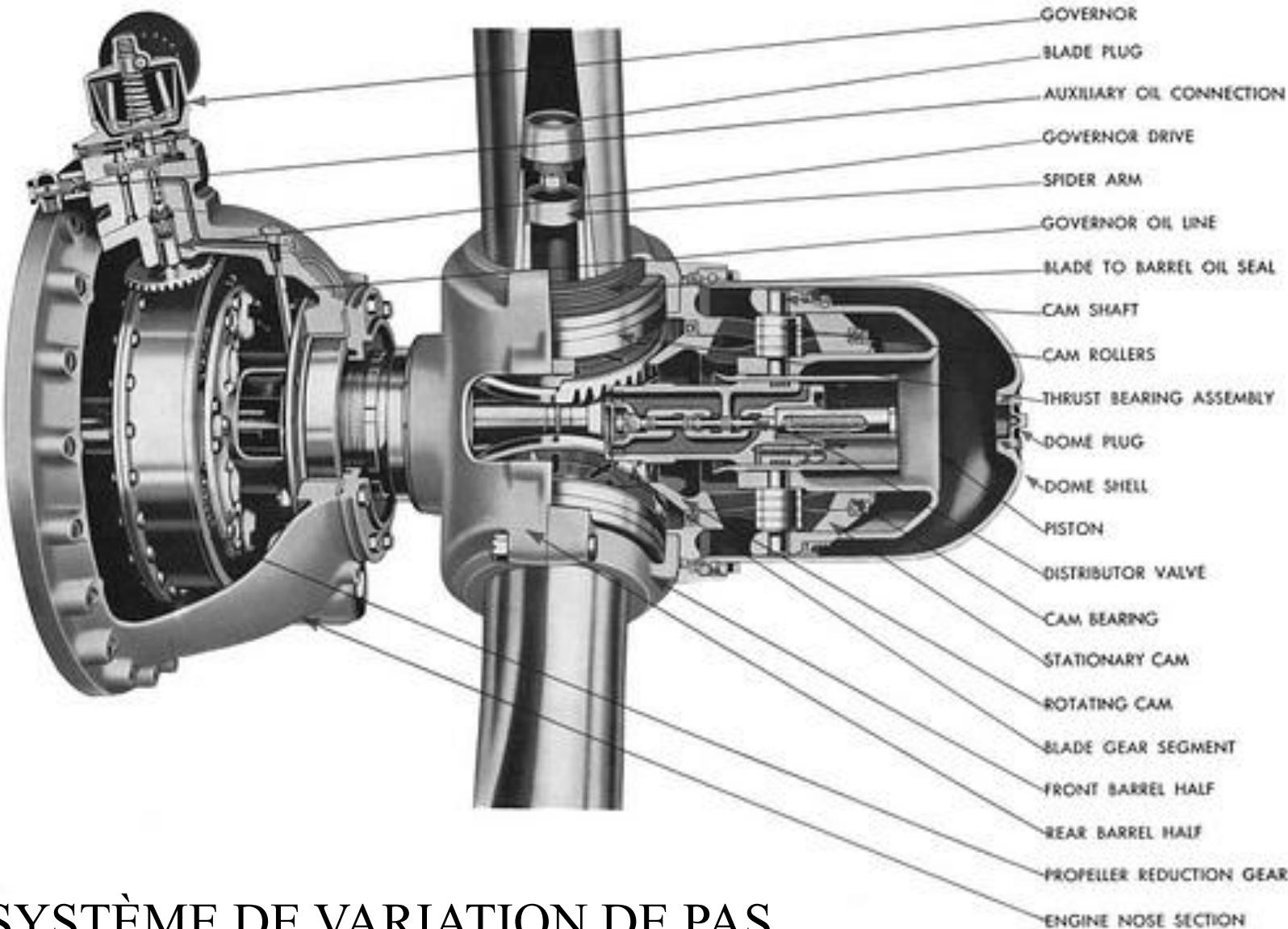
- Normal : fournit une traction mais consomme de la puissance pour vaincre sa traînée.
- Transparence : à une certaine vitesse avion, pour un calage et une vitesse de rotation donnés, la traction devient nulle ($i=0$). L'hélice ne fournit plus de traction mais consomme de la puissance en raison de sa traînée.
- Freinage : mêmes conditions, si $V_a \uparrow$, i devient <0 l'hélice freine l'avion et consomme de la puissance en raison de sa traînée.
- Moulinet : rotation hélice par la vitesse aérodynamique (moteur arrêté) mais l'hélice freine toujours l'avion.
- Inversion de poussée : calage $< 0 \Rightarrow$ freinage important (au sol). L'hélice fournit un freinage important et consomme de l'énergie pour vaincre sa traînée.
- Drapeau : calage à $90^\circ \Rightarrow$ très peu de traînée et pas de traction. C'est la position la moins pénalisante en cas de panne moteur.

3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

L'hélice



3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS



SYSTÈME DE VARIATION DE PAS

3.2 GROUPES MOTOPROPULSEURS

Contraintes liées au développement durable

- Réduction du bruit
 - Bruit au décollage: moteur
 - Bruit en approche: moteur + aérodynamique

Des règlements contraignants (OACI) ont fait faire en quelques années des progrès spectaculaires

- Optimisation énergétique
 - Meilleur rendement des moteurs
 - Amélioration des carburants
 - Optimisation des trajectoires des avions
 - Navigation plus précise (GPS)
 - Préparation météorologique (jet streams)

B)

67. Pour augmenter la sécurité de fonctionnement des moteurs d'avion, on adopte généralement :

- a) quatre soupapes par cylindre
- b) un double système d'allumage
- c) le refroidissement par eau
- d) des vitesses de rotation très élevées

68. La plupart des moteurs d'avions légers sont équipés d'un système de double allumage qui a pour principal avantage :

- a) d'améliorer la combustion et d'augmenter la sécurité en vol
- b) de diminuer l'usure des bougies
- c) de réduire la consommation de carburant
- d) de régler la consommation électrique

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

- e) provoquer un givrage carburateur
- f) augmenter la puissance utile
- g) appauvrir le mélange
- h) enrichir le mélange

70. La manette de richesse d'un avion moteur à piston sert :

- a) à diminuer la richesse lorsque la température augmente et que la pression statique diminue
- b) à augmenter la richesse lorsque la pression statique diminue
- c) à diminuer la richesse quand la température diminue
- d) les réponses b et c sont exactes

75. Un turboréacteur :

- a) sert à compresser l'air admis dans les cylindres d'un moteur à pistons
- b) augmente la pression aux injecteurs d'un moteur à pistons à injection
- c) est une turbomachine sans turbine couplée à une hélice
- d) est un propulseur sans hélice

39. La commande « réchauffage carburateur » doit s'utiliser comme suit :

- a) ouvrir à fond en cas de givrage moteur, puis fermer complètement dès que le moteur reprend ses tours quitte à recommencer
- b) ne pas utiliser quand la température ambiante dépasse 10°
- c) l'ouvrir à moitié en cas de givrage faible
- d) maintenir ouvert à fond en permanence

40. 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) toujours lorsque la température de l'air est négative
- d) toujours lorsqu'il pleut

41. L'action du réchauffage carburateur se traduit par :

- a) une augmentation de la puissance
- b) une diminution de la puissance
- c) une réduction du débit carburant
- d) une réduction de la pression d'essence

77. Un moteur refroidi par air risque de chauffer :

- 1) au cours de roulages ou d'attentes au sol prolongées
- 2) par conditions givrantes
- 3) lors de montées prolongées
- 4) au cours de vols à haute altitude

Choisir la combinaison correcte :

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

78. Le seul temps qui produit de l'énergie mécanique utile sur un moteur à quatre temps est :

- a) admission c) échappement
- b) compression d) combustion – détente

79. Les réservoirs de carburant d'un avion léger sont :

- a) avec une mise à l'air libre
- b) parfaitement étanches
- c) pressurisés
- d) pressurisés avec une mise à l'air libre

80. La résistance mécanique des bois de construction aéronautique est meilleure dans le sens axial des fibres :

- a) en compression c) en flexion
- b) en traction d) en cisaillement



Robin DR400



PictAero.com



Airbus 3D Tour

<https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/cockpits.html>

3.5 L'instrumentation de bord

anémomètre



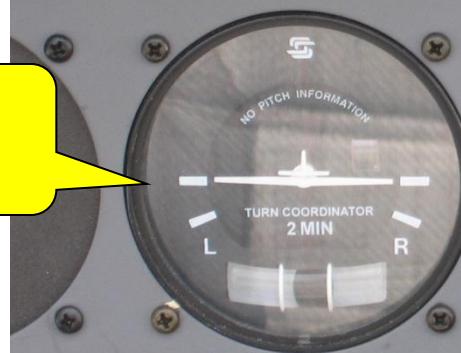
horizon



altimètre



Indicateur
de virage



variomètre



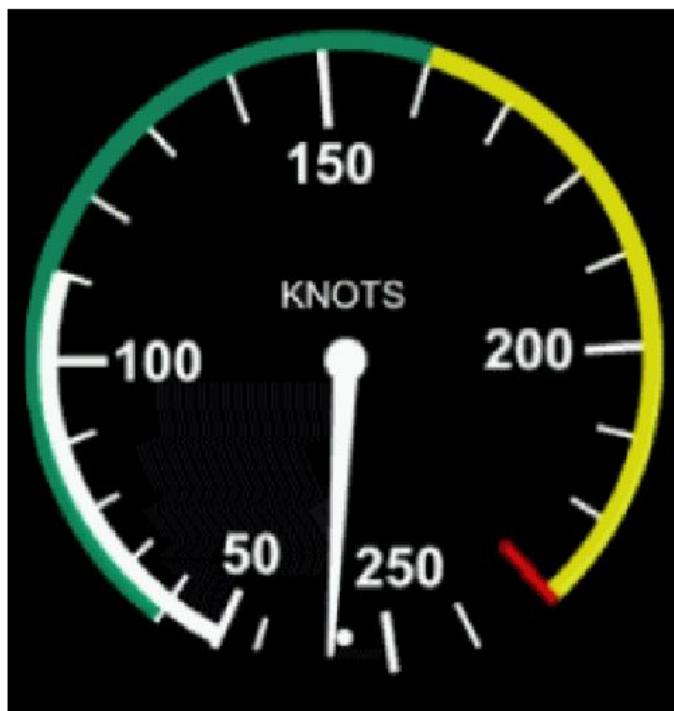
Conservateur de
cap



3.5 L'instrumentation de bord

Pilotage

L'Anémomètre: mesure de la vitesse



VNE Velocity Never Exceed

VNO Velocity Normal Operation

VFE Velocity Flaps Extended

VLE Velocity Landing-gear Extended

Arc vert zone d'utilisation normale limitée par VS1 et VNO

VS1 vitesse de décrochage en lisse

VNO vitesse à ne pas dépasser en atmosphère agitée

Arc jaune zone interdite en atmosphère turbulente, limité par VNO et VNE

VNE vitesse à ne jamais dépasser

Arc blanc zone d'utilisation normale en configuration d'atterrissage entre VSO et VFE et / ou VLE

VFE vitesse max d'utilisation des volets

VLE vitesse max d'utilisation du train

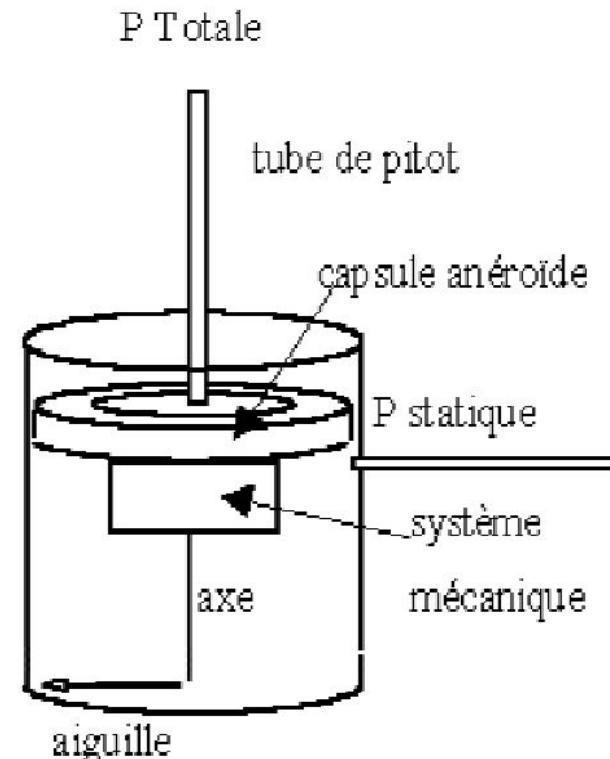
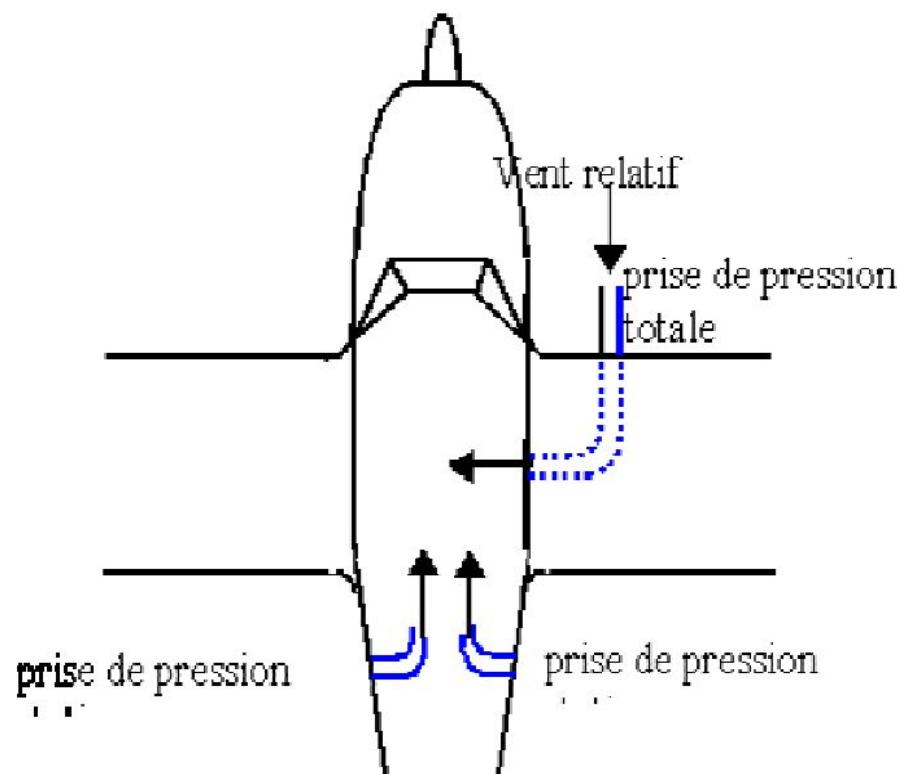
VSO vitesse de décrochage volets et train sortis

Trait rouge limite de vitesse du domaine de vol

3.5 L'instrumentation de bord

L'ANEMOMETRE

L'anémomètre encore dénommé badin est l'indicateur de vitesse relative de l'avion par rapport à la masse d'air qui l'entoure (V_p vitesse propre) Il peut être gradué en noeuds (kt), en MPH ou en Km/h.



I. Les instruments barométriques.

Anémomètre – airspeed Indicator

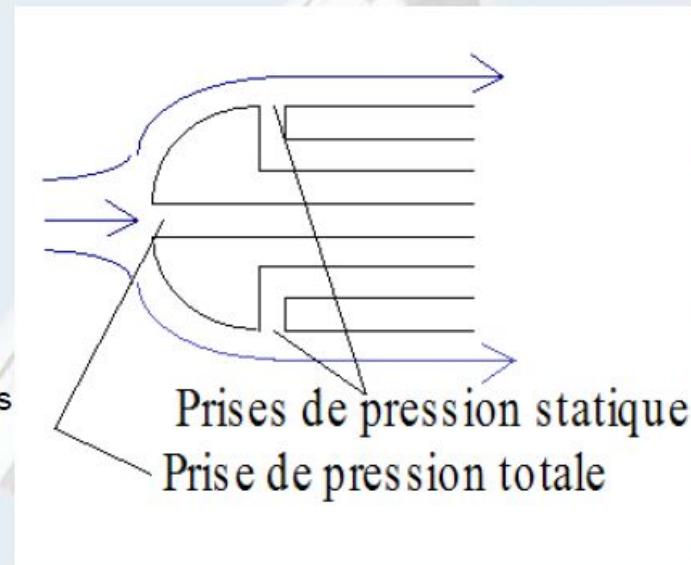
- Baromètre différentiel entre :
 - Pression totale p_t ou pression d'impact p_i
 - Pression statique p_s

- Mesure de p_t par sonde de Pitot et de p_s par les prises statiques ou mesure par sonde de Pitot double (schéma)

- Théorème de BERNOULLI :

$$p_t = p_s + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

- Calcul de la vitesse :



$$v = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{p_t - p_s}{\rho} \right)}$$

Les vitesses de l'avion :

- V_i , V_c ou CAS : Vitesse Indiquée ou Vitesse Calibrée (**Calibrated Air Speed**) = vitesses lue sur l'instrument avec les corrections de position des prises d'air.
Les écarts à l'atmosphère standard ne sont pas corrigés.
 $CAS = Calibrated Air Speed$
- V_v ou TAS : Vitesse Vraie (**True Air Speed**). C'est la vitesse réelle de l'avion dans l'air (corrigée des écarts de l'atmosphère à l'atmosphère standard). Pour V_i fixée, V_v augmente avec l'altitude.
- V_p : Vitesse Propre = composante horizontale de la V_v .
Utile pour la navigation.
- V_s ou GS : vitesse sol. C'est la V_p corrigée de la vitesse du vent.
Essentielle en navigation.
 $GS = Ground Speed$

Les vitesses particulières :

- V_{NE} : Velocity Never Exceed
vitesse à ne pas dépasser sous peine de déformation ou rupture de la cellule
- V_{NO} : Velocity Normal Operating
vitesse maximale en opérations normales
- V_{FE} : Velocity Flaps Extended
vitesse maximale volets sortis
- $V_{LE} - V_{LO}$: Velocity Landing gear Extended (sorti et verrouillé)
et Velocity Landing gear Operating(en mouvement)

3.5 L'instrumentation de bord

L'ALTIMETRE



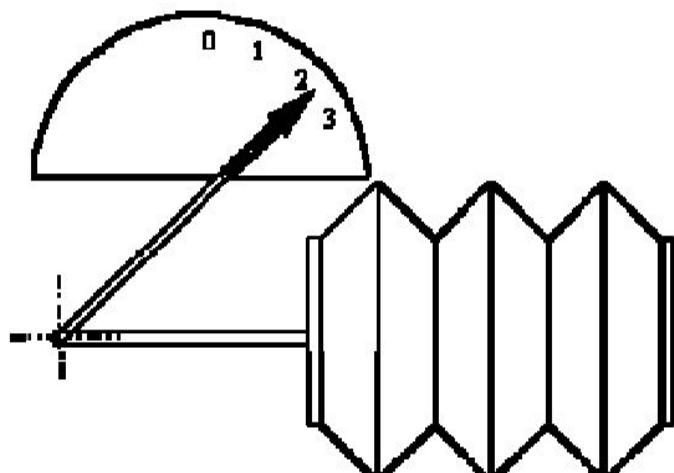
Bouton de
réglage de
la référence

Fenêtre de la
pression de
référence

3.5 L'instrumentation de bord

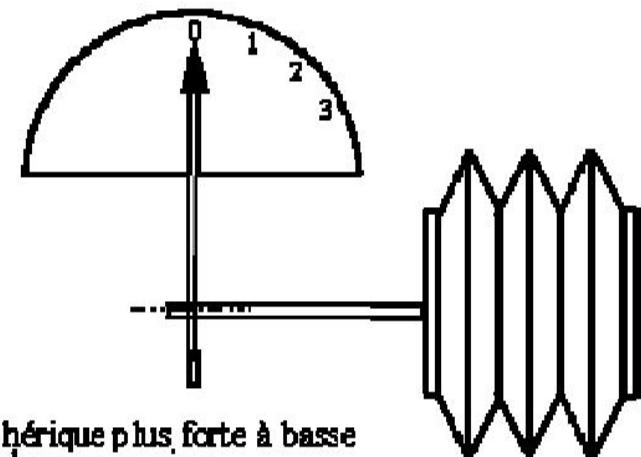
L'Altimètre

L'altimètre fournit une information de distance verticale par rapport à une référence choisie par le pilote (niveau de la mer, de l'aérodrome, de référence standard, etc...). Il faut interpréter ses indications, car ce n'est qu'un baromètre qui indique la pression extérieure sur un cadran gradué en pieds ou en mètres.



Pression atmosphérique plus faible en altitude,
la capsule se détend.

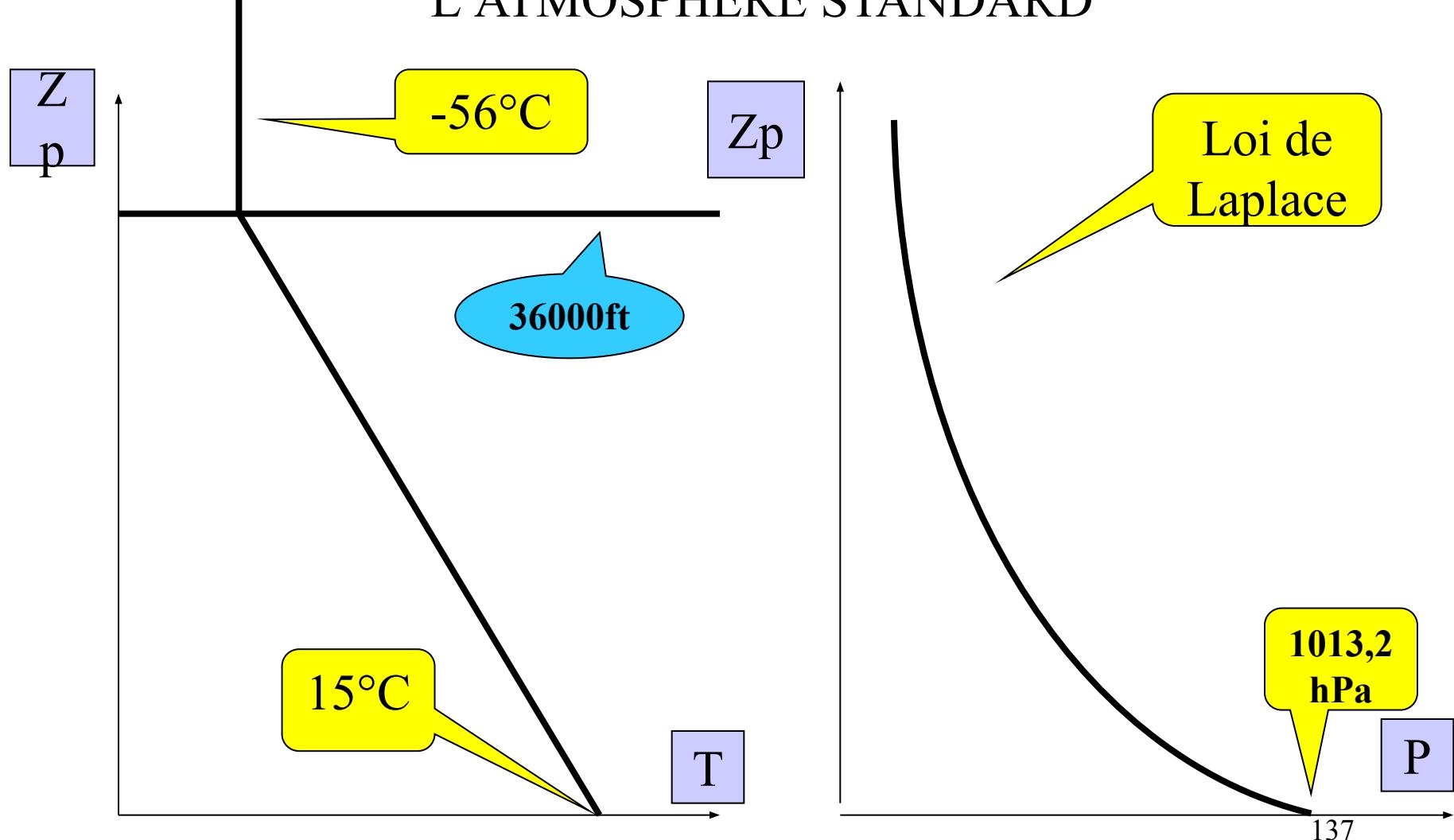
L'altimètre est un baromètre constitué d'une capsule anéroïde. La pression diminuant avec l'altitude, cette capsule se déforme plus ou moins selon l'altitude de l'avion.



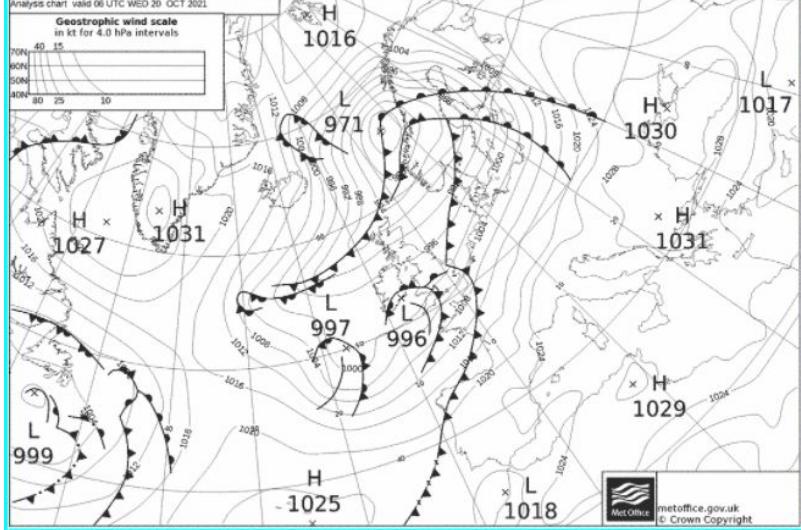
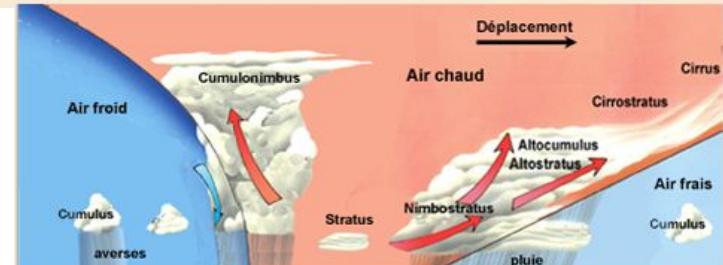
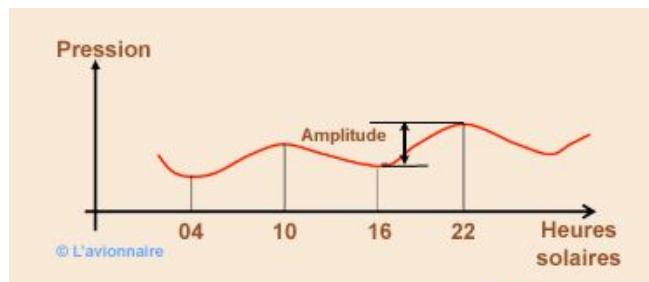
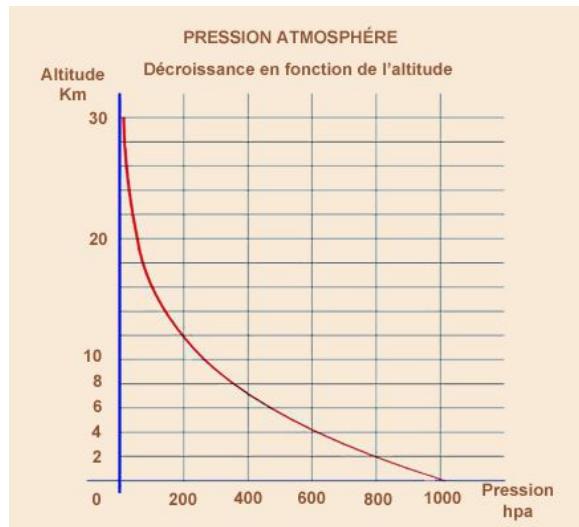
Pression atmosphérique plus forte à basse altitude,
la capsule se comprime.

3.5 L'instrumentation de bord

L'ATMOSPHÈRE STANDARD



BIA TOURNEFEUILLE 2017/2018



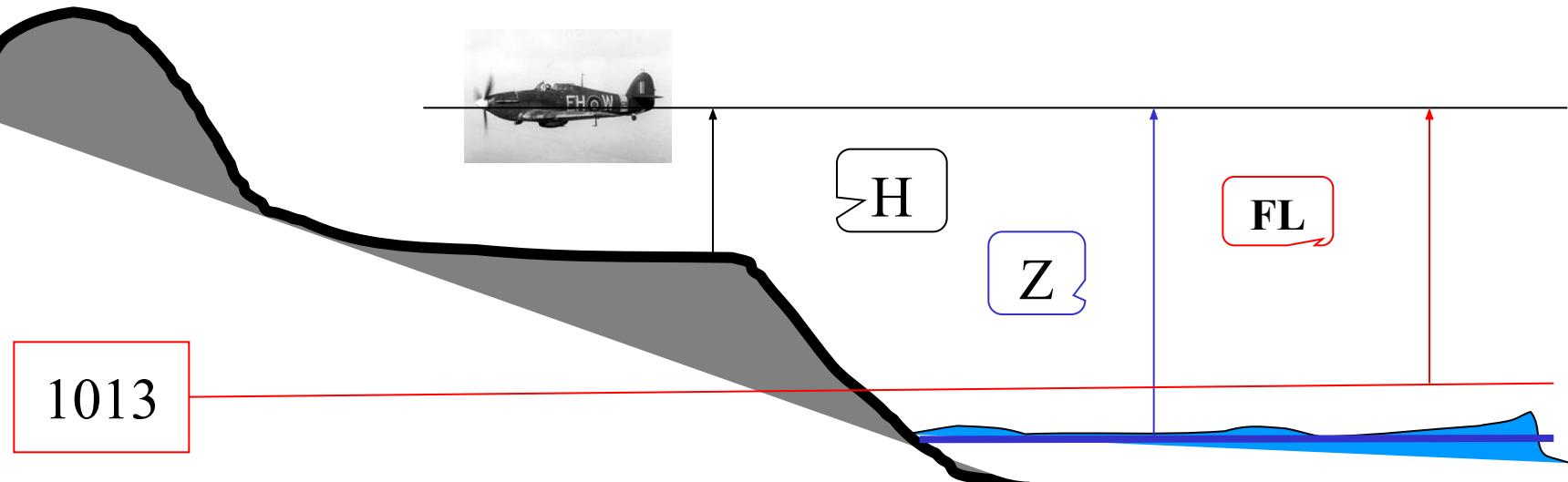
3.5 L'instrumentation de bord

LES DIFFERENTES REFERENCES

Z Altitude : par rapport au niveau de la mer (QNH)

H Hauteur : par rapport au sol survolé (QFE)

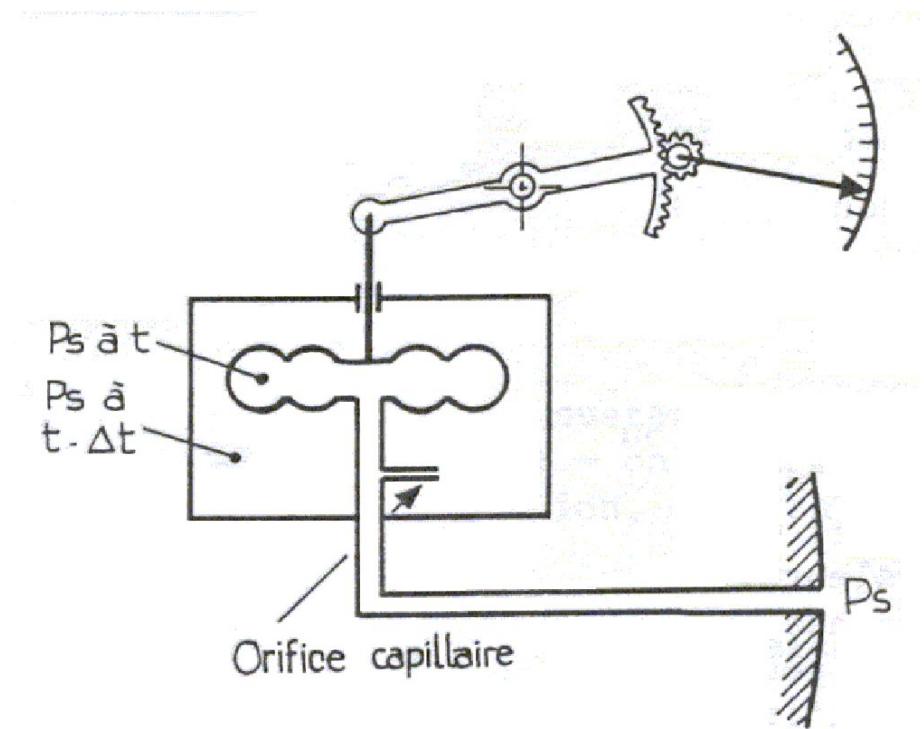
FL Niveau de vol : par rapport à une référence standard (QNE 1013 hPa)



1013

3.5 L'instrumentation de bord

Le Variomètre: mesure de la vitesse verticale



Le gyroscope

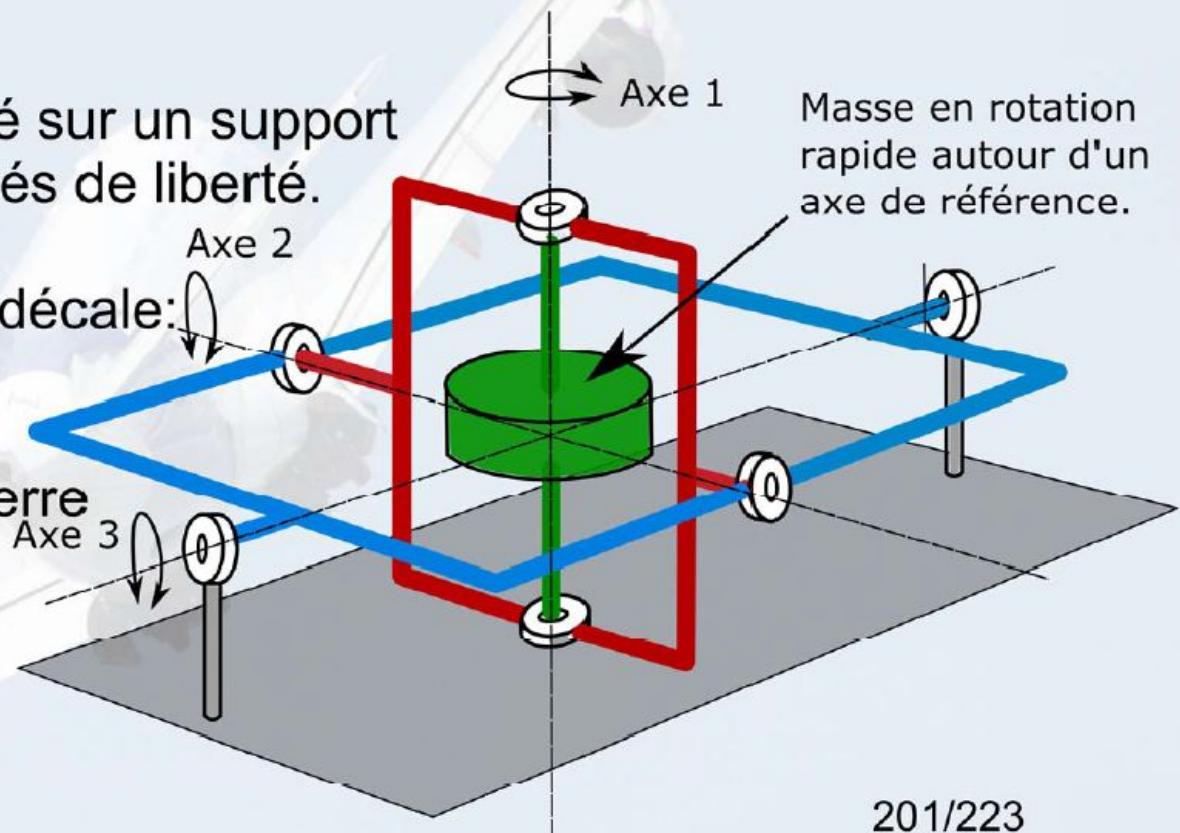
Gyroscope = masse en rotation rapide autour d'un axe
= toupie (démonstration).

Par inertie l'axe de rotation se conserve quand la masse est en mouvement.

Le gyroscope est monté sur un support autorisant de 1 à 3 degrés de liberté.

L'axe du gyroscope se décale:

- Par précession
 - par frottements
 - par la rotation de la Terre
 - par les mouvements de l'avion
- => Il faut le recalier régulièrement.



201/223

141

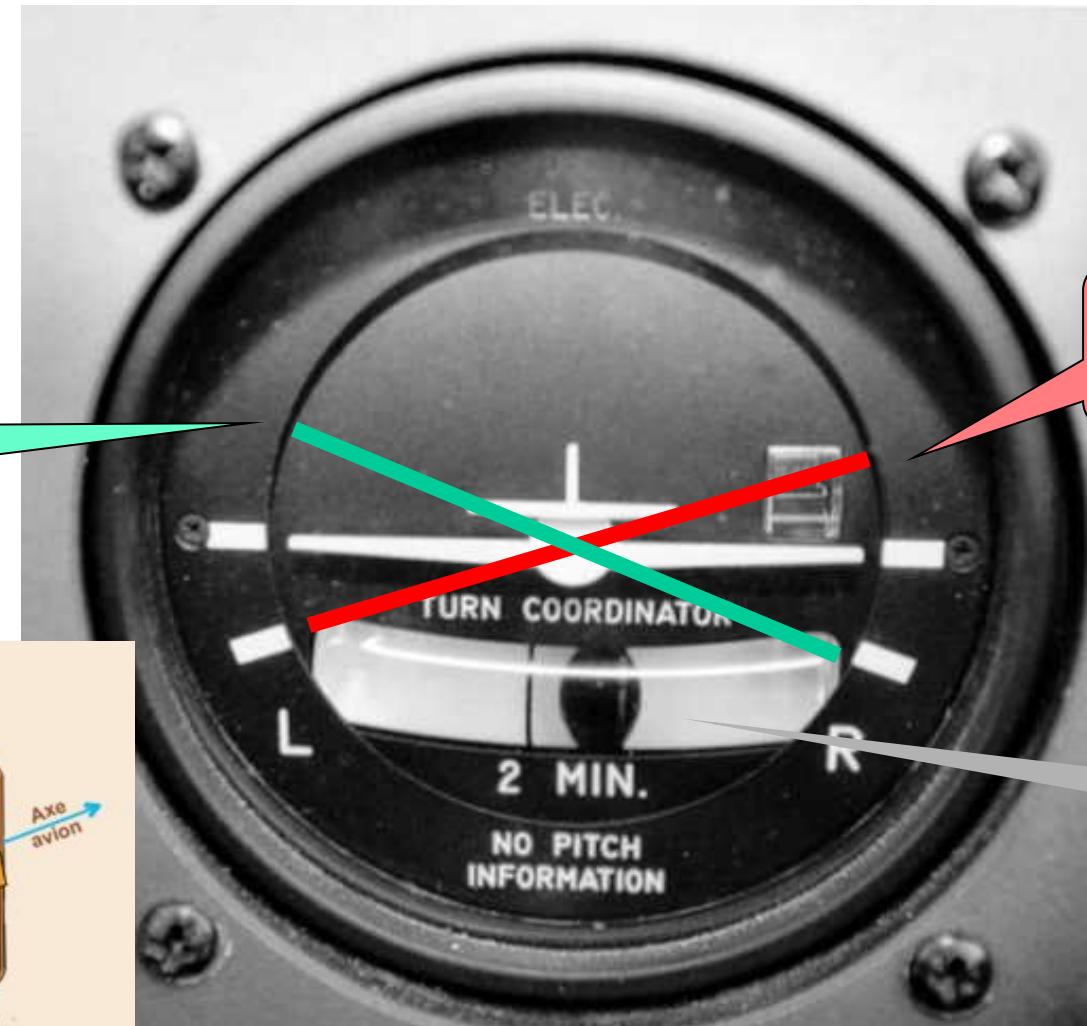
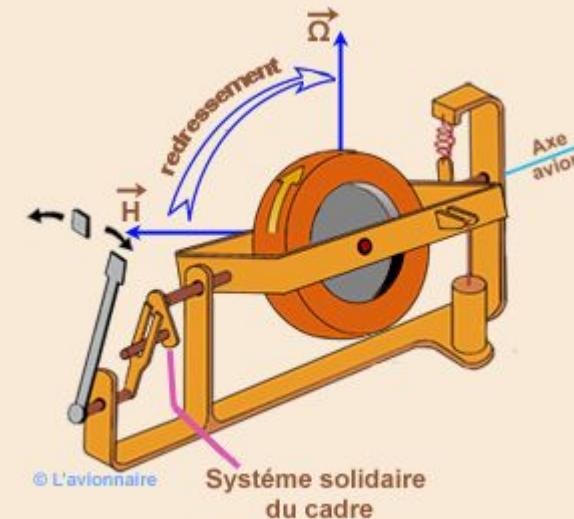


3.5 L'instrumentation de bord

indication
d'un taux de virage
(°/s)
 $360^\circ/2\text{min}$

Virage
À D

Virage
À G

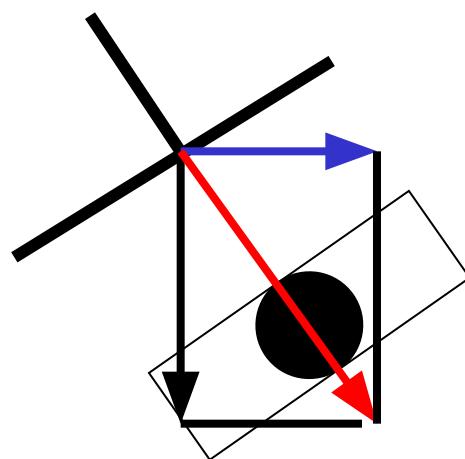


TEUR DE VIRAGE ET DE SYMETRIE

3.5 L'instrumentation de bord

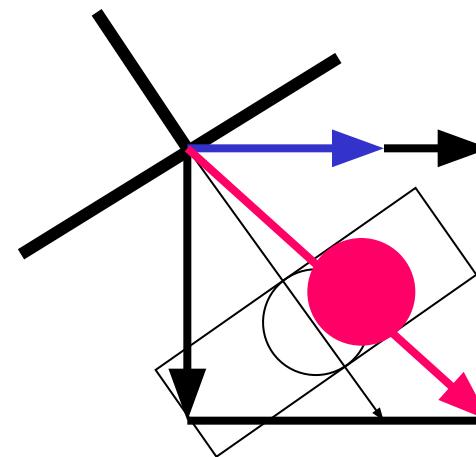


vol en palier

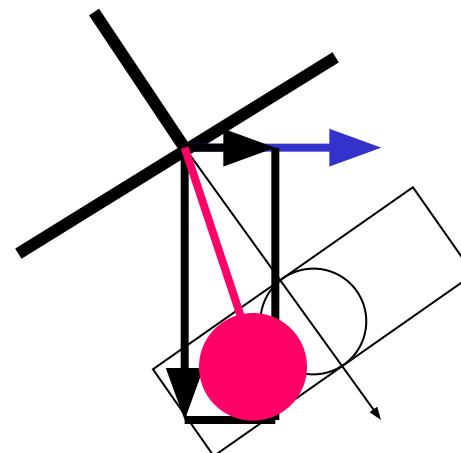


virage symétrique

LA BILLE



virage dérapé



virage glissé

3.5 L'instrumentation de bord

L'horizon artificiel:

Il indique l'assiette longitudinale et l'inclinaison latérale

Inclinaison à D
 30°

Assiette à cabrer

horizon

Maquette symbolisant l'avion

Bouton D'ajustement



60°

3.5 L'instrumentation de bord

Navigation

Le conservateur de cap: Il indique le cap en ($^{\circ}$)

Instrument gyroscopique

**Il doit être recalé
périodiquement**

**Quand l'avion tourne à Droite
les caps vont en augmentant**

Bouton de
réglage



3.5 L'instrumentation de bord

Le compas magnétique

N'est utilisable qu'en vol stabilisé rectiligne

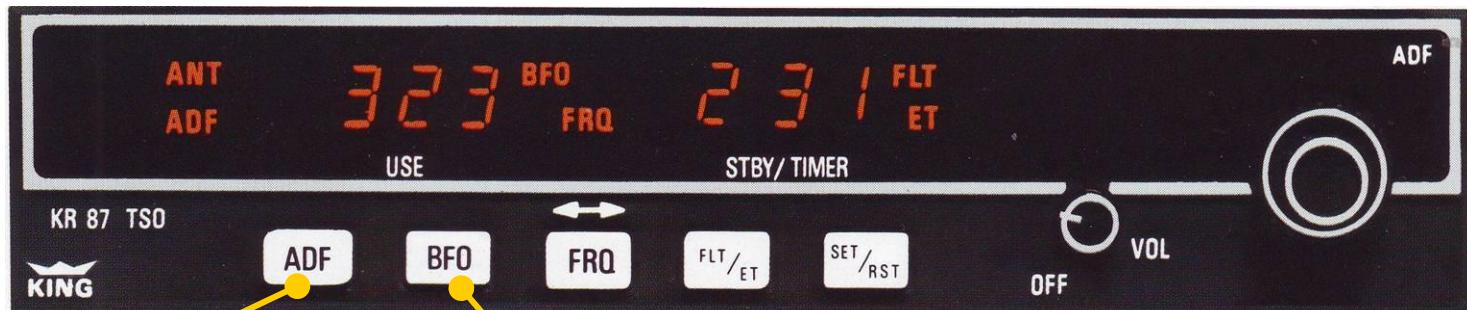
Permet de recaler le conservateur de cap

Attention, il évolue en sens inverse du conservateur de cap



3.5 L'instrumentation de bord

LE RADIO COMPAS



Automatic Direction Finder

Ecoute indicatif de la balise

3.5 L'instrumentation de bord

LE RADIO COMPAS

Le radiocompas est encore appelé

ADF (Automatic Direction Finder)
ou NDB (Non Directional Beacon)

Il se compose de deux parties:

Une **balise au sol** émettant dans toutes les directions

Un **récepteur embarqué**,
couplé à un indicateur, donnant le gisement de la balise

L'ADF est assez fiable et bon marché. Il est donc très répandu
(y compris dans les avions d'aéroclub).

Son utilisation est très simple: pour atteindre une balise il suffit de placer la flèche de l'indicateur dans l'axe de l'avion.

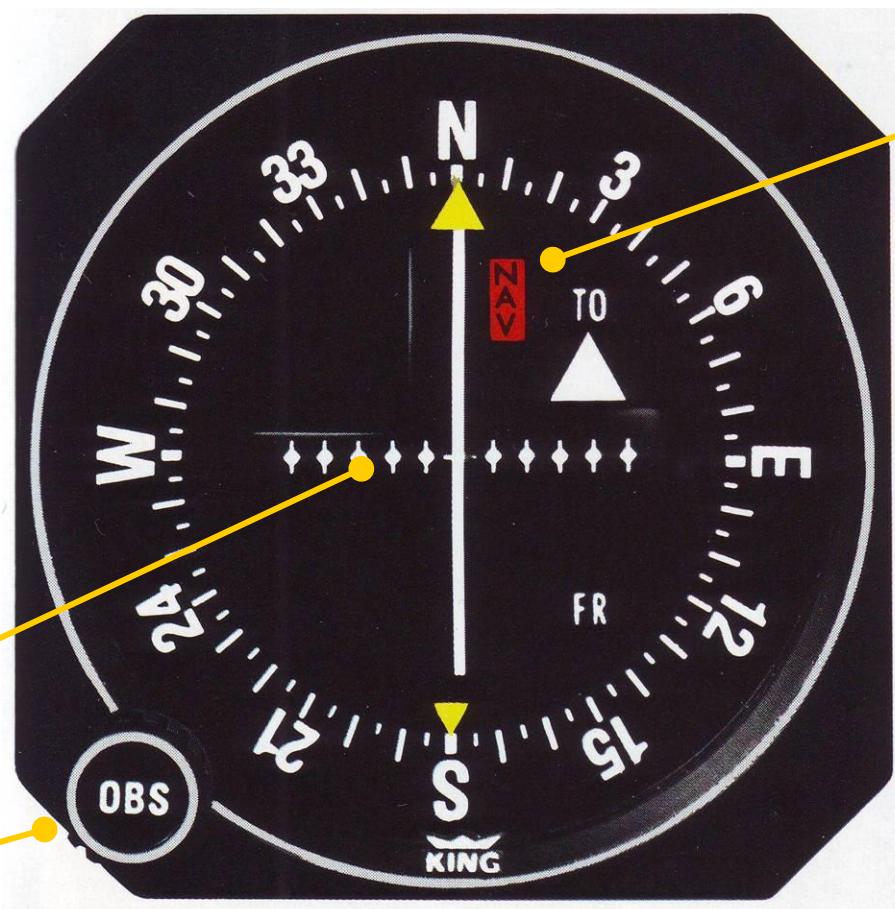


Aussone

Léguevin

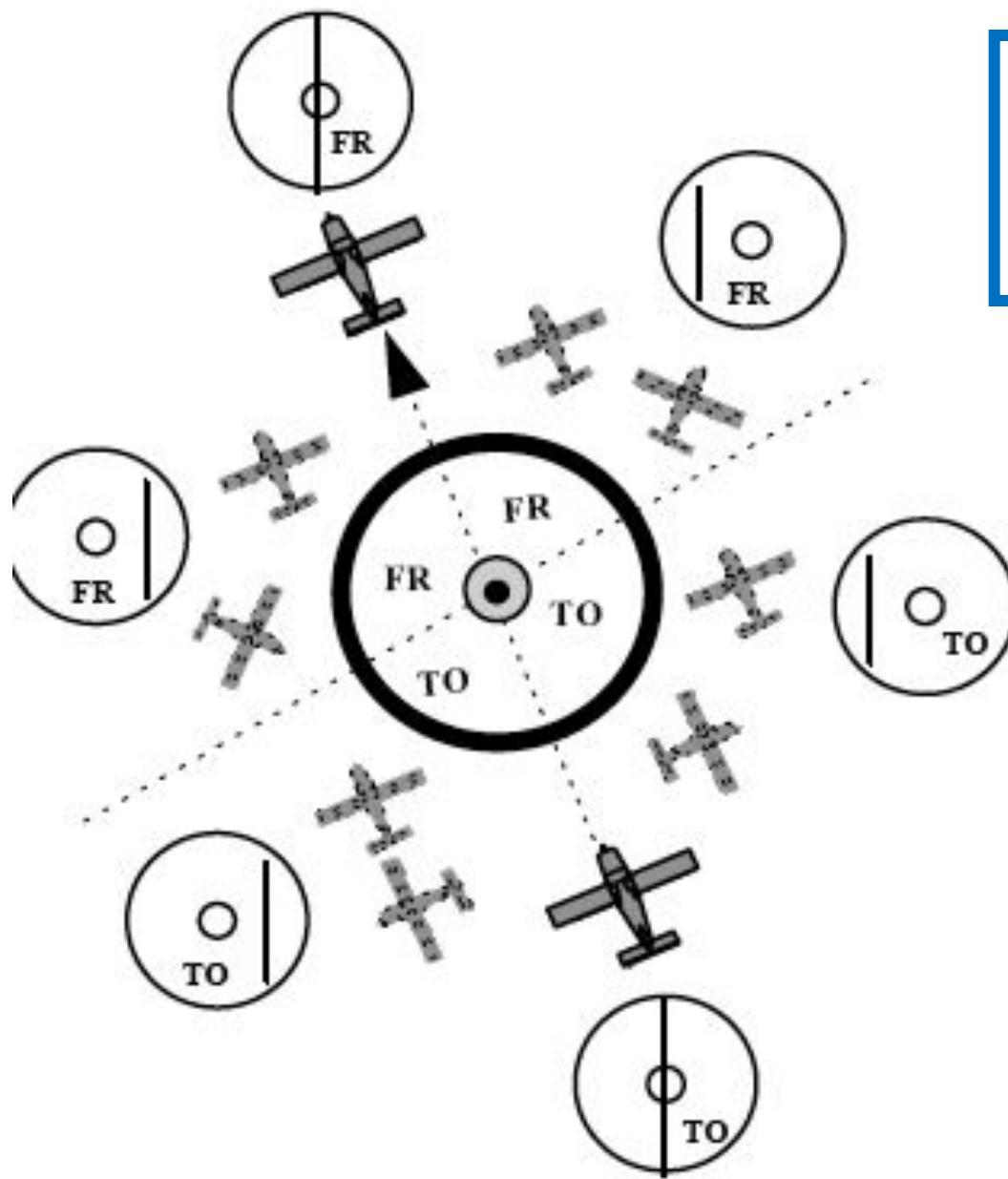
3.5 L'instrumentation de bord

LE VOR



3.5 L'instrumentation de bord

LE VOR



L'indication est indépendante du cap de l'avion

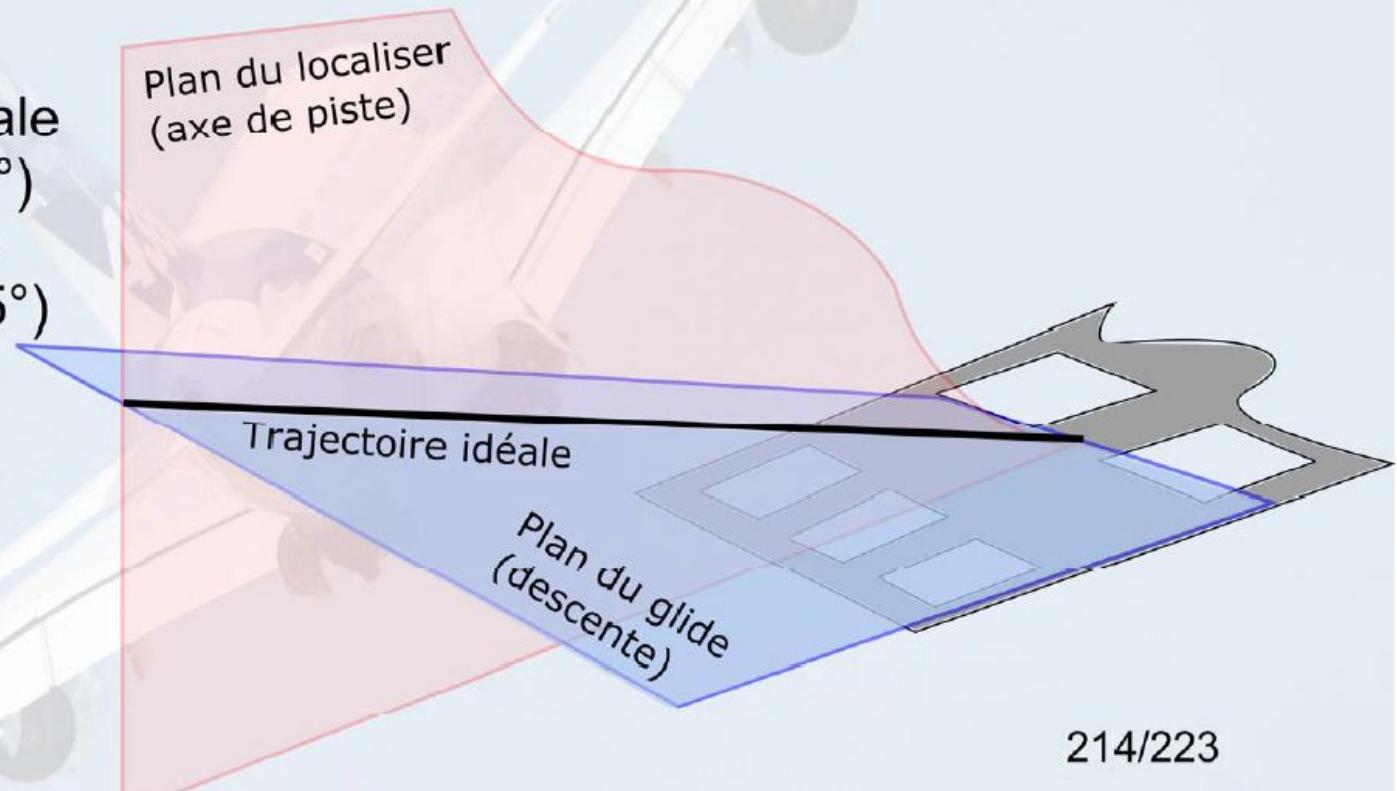
L'aiguille est directrice

III. Les instruments de Radionavigation. L'Instrument Landing System = ILS

- Barre verticale = axe de piste
 - Centrée = dans l'axe
 - A gauche = trop à droite
 - A droite = trop à gauche
- Barre horizontale = plan de descente
 - Centrée = sur le bon plan
 - En haut = trop bas (danger)
 - En bas = trop haut
- Corrections pour centrer les aiguilles.
- Attention à ne pas "tricoter"!



- 2 balises sol et 1 récepteur embarqué.
- Balises:
 - Localizer = LOC : donne l'axe de la piste; précis > VOR
 - Glide : donne la pente idéale de descente ($\pm 2,5^\circ$).
- Info sur OBS:
 - Barre horizontale = LOC ($\pm 2,5^\circ$)
 - Barre verticale = Glide ($\pm 0,5^\circ$)



214/223

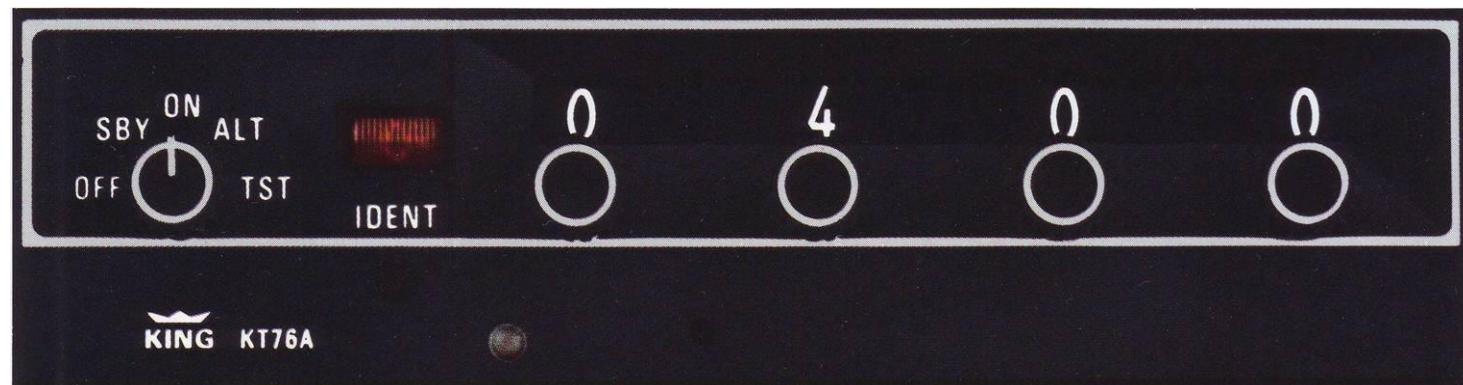
3.5 L'instrumentation de bord

LE TRANSPONDEUR

Le transpondeur est un appareil interrogé par un radar sol et renvoyant à celui ci l'indicatif affiché par le pilote ainsi que l'altitude de l'avion.

Le transpondeur permet aux contrôleurs d'identifier avec certitude les aéronefs.

Activer sur « ALT » dès le départ parc.



3.5 L'instrumentation de bord

LE GNSS/GPS

- « Global positioning system »
- Donne la position de l'avion grâce à un système de satellites
- De + en + perfectionné il fournit nombre d'informations
- Pas utilisable en système primaire de navigation

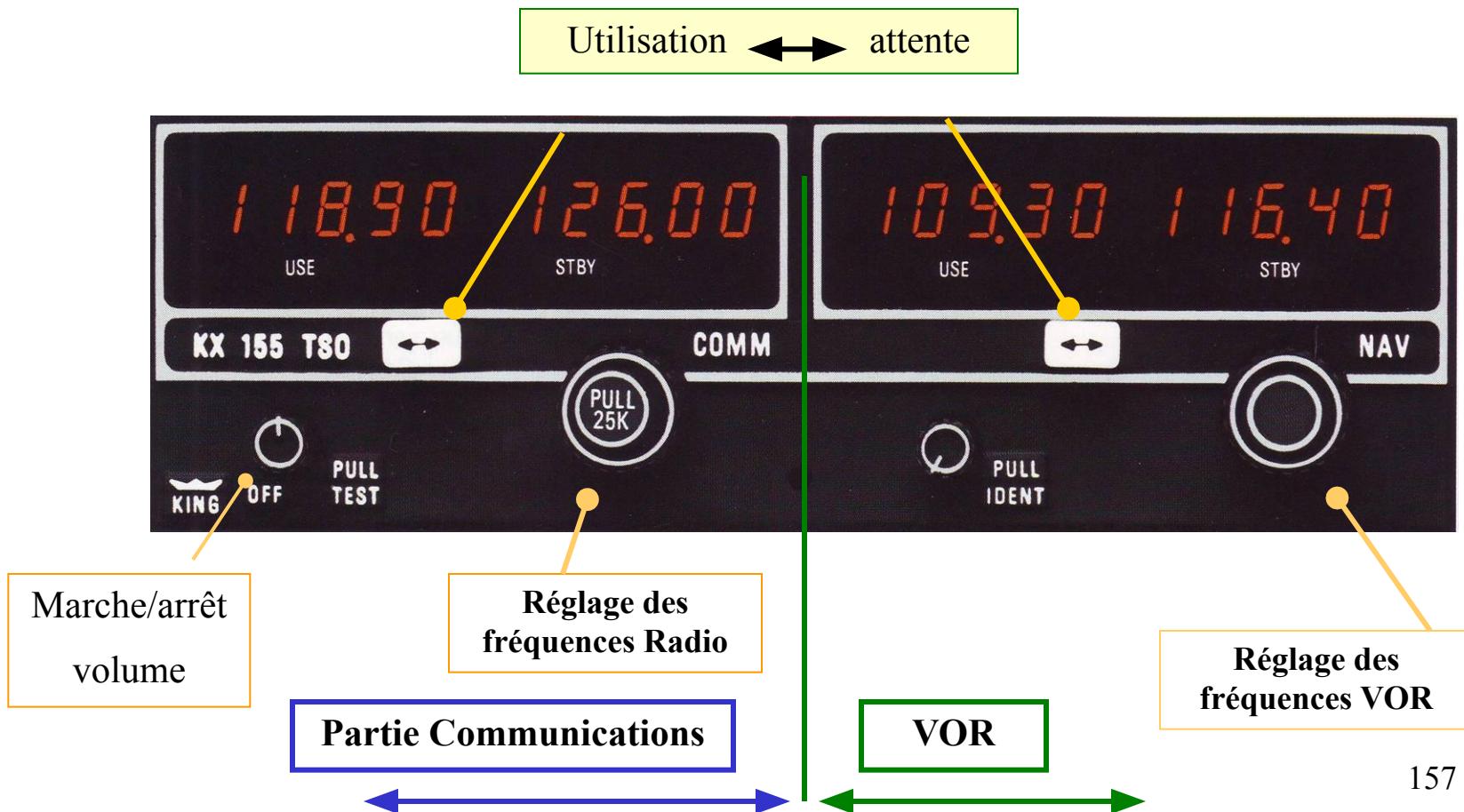
- Ne pas naviguer le nez sur le GPS
- Il peut tomber en panne: savoir où l'on est !

3.5 L'instrumentation de bord

La Radio:

Communication

Elle permet un contact permanent avec les organismes au sol (chacun sa fréquence) et est un facteur de sécurité: prévention des abordages etc....



3.5 L'instrumentation de bord

LA RADIO

La gamme de fréquences utilisée est de la VHF

Very High Frequency: de 118 à 136.975 Mhz

Avec un espace de 0,01 ou 0,001 Mhz (720 canaux)

Fréquences spécifiques:

Détresse: 121.5

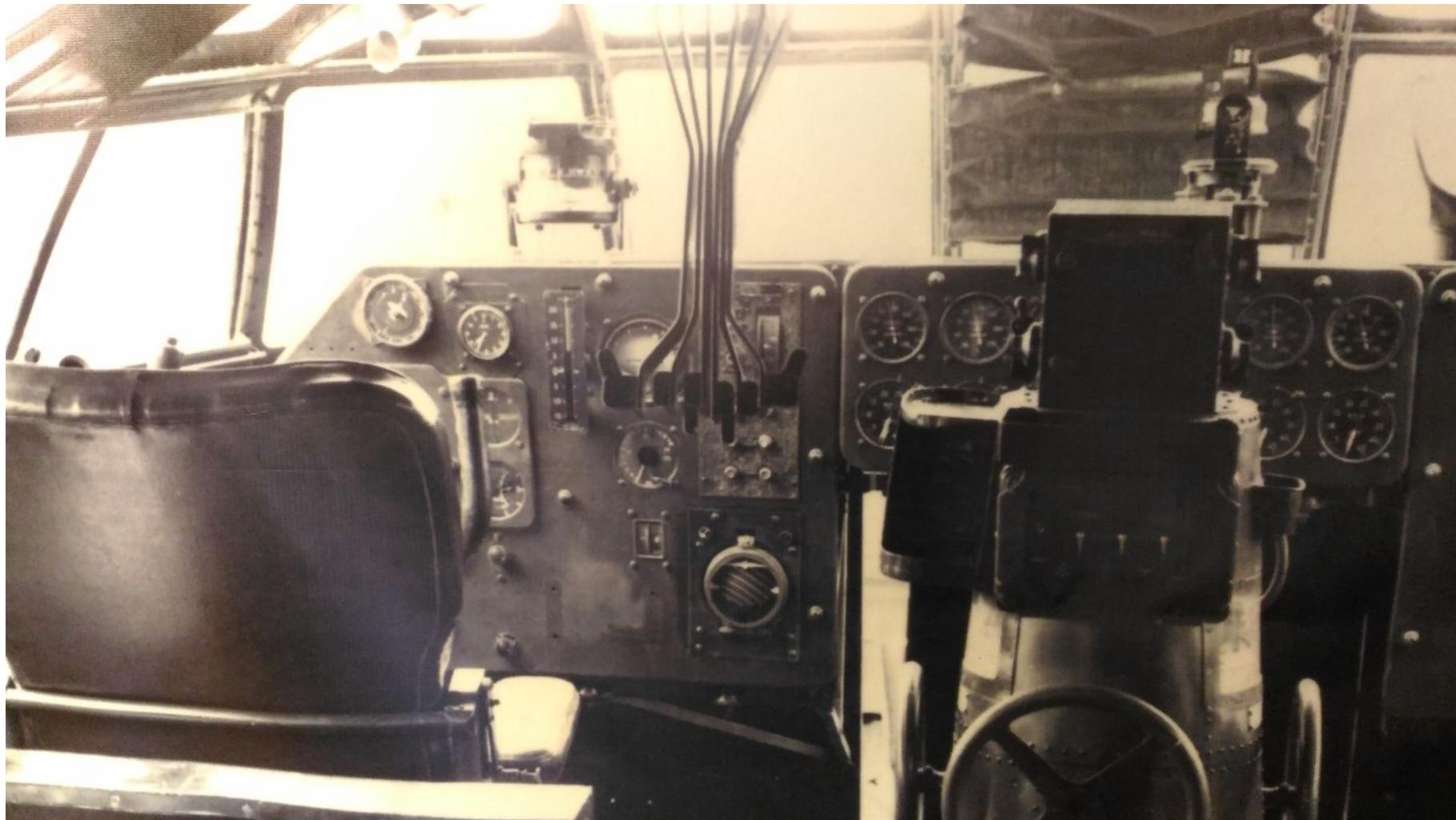
Terrains sans contrôle: 123.5

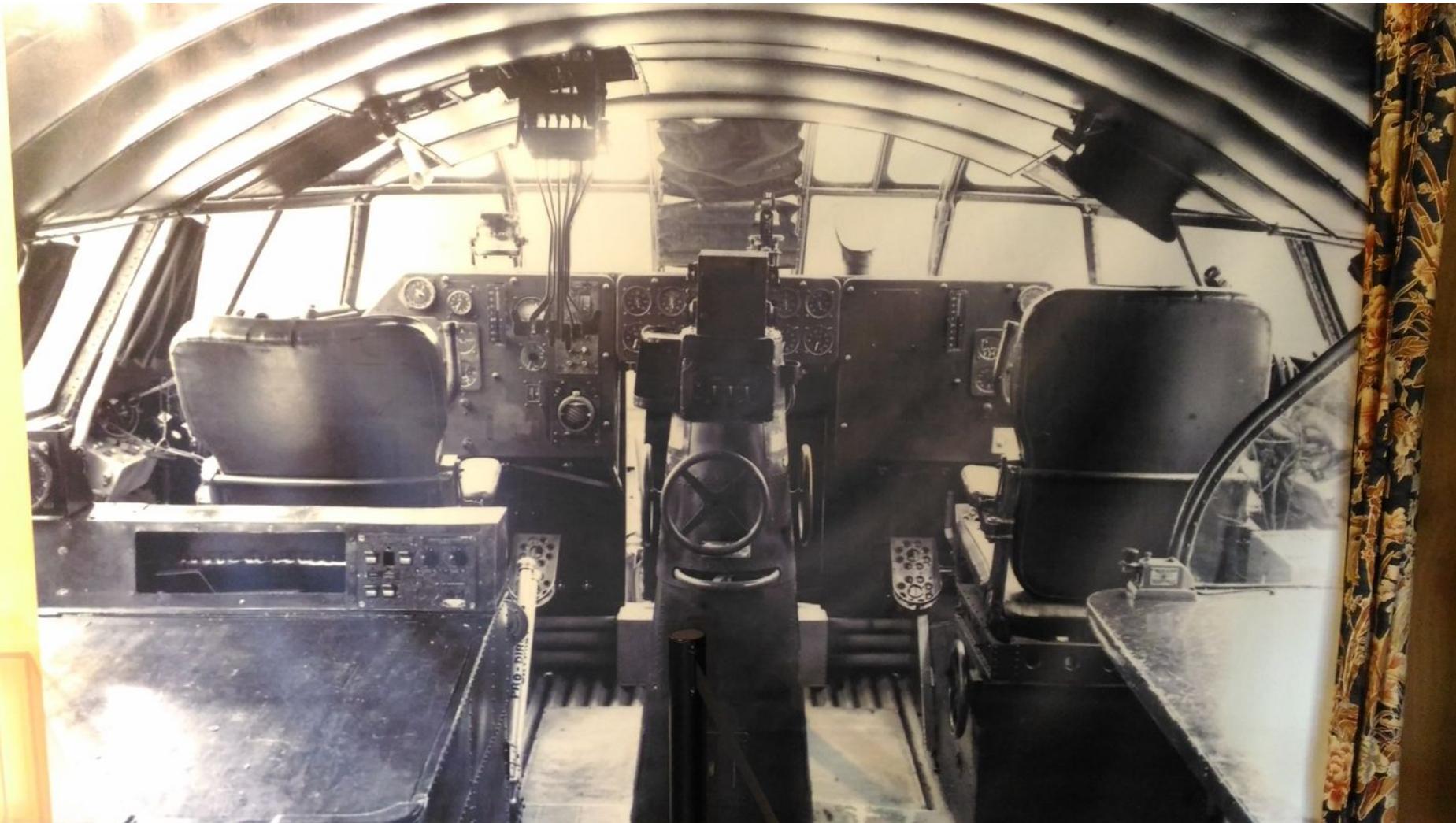
Montagne: 130.0

3.5 L'instrumentation de bord

LA PLANCHE DE BORD MODERNE







- Planche de bord d'un DA 40 :



- Planche de bord d'un EMB 145 :



3.5 L'instrumentation de bord



TABLEAU DE BORD A380



3.5 L'instrumentation de bord

Interprétation de la lecture d'une grandeur

- Choix des unités
- Précision
- Parallaxe
- Analogique ou numérique
- Retard: exemple, le variomètre
- Notion de limite à ne pas dépasser (trait rouge)
- Utilisation des informations: décision, action

42. Quel est, parmi ces instruments, celui qui n'est pas un instrument de radionavigation ?

- a) Radiocompas
- b) VOR
- c) Directionnel
- d) DME

43. Parmi ces instruments, lequel n'a pas besoin d'être réglé par le pilote avant décollage :

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

44. Un compas placé à bord d'un avion est soumis à des influences magnétiques parasites qui provoquent :

- a) la déclinaison
- b) la déviation
- c) la dérive
- d) l'inclinaison déviatrice

45. Quel appareil du tableau de bord n'utilise pas un gyroscope ?

- a) indicateur de virage
- b) horizon artificiel
- c) conservateur de cap
- d) compas magnétique

50. Quelle est la pression utilisée par un altimètre ?

- a) la pression totale
- b) la pression dynamique
- c) la pression statique de l'atmosphère
- d) la pression photonique

51. Un altimètre fonctionne par mesure de la :

- a) pression dynamique c) pression totale
- b) pression statique d) température

52. L'anémomètre indique :

- a) la vitesse sur trajectoire air de l'avion
- b) la vitesse ascensionnelle de l'avion
- c) la pression au sol
- d) le régime moteur

53. Pour mesurer la vitesse de l'avion, l'anémomètre utilise :

- a) la pression totale et la pression d'impact
- b) uniquement la pression totale
- c) la pression dynamique et la pression statique
- d) la pression totale et la pression statique

54. Sur les avions équipés d'un indicateur bille – aiguille, en virage dérapé extérieur à droite :

- a) la bille est à droite et l'aiguille à droite
- b) la bille est à gauche et l'aiguille à droite
- c) la bille est à gauche et l'aiguille à gauche
- d) la bille est à droite et l'aiguille à gauche

QUESTIONS ?