

I - Résistance des matériaux

- I.1 - Construction en bois coffré ou bois entoilé
- I.2 - Construction en aluminium
- I.3 - Construction en tubes d'acier
- I.4 - Construction composite

II - Les éléments de l'aéronef

III - Groupe moto-propulseur

- III.1 - Alimentation en carburant
 - III.1.2 - Le carburateur, les gaz et la mixture
 - III.1.3 - Le givrage carburateur
 - III.1.4 - Comment utiliser la réchauffe carburateur
- III.2 - Carburant
- III.3 - Huiles
- III.4 - Allumage

III.5 - [Circuit électrique](#)

III.6 - [Refroidissement moteur](#)

IV - [Réacteurs et fusées](#)

V - [Train d'atterrissage](#)

V.1 - [Le train classique](#)

V.2 - [Le train tricycle](#)

VI - [Poste de pilotage et instruments de bord](#)

VI.1 - [Manche et palonnier](#)

VI.2 - [Le tableau de bord](#)

VI.3 - [Les instruments moteur](#)

VI.4 - [Les instruments de pilotage](#)

VI.4.1 - [Anémomètre](#)

VI.4.2 - [Altimètre](#)

VI.4.2.1 - [Etalonnage de l'altimètre](#)

VI.4.2.2 - [Les calages](#)

VI.4.2.3 - [Variation des pressions](#)

VI.4.2.4 - [En pratique](#)

VI.4.2.5 - [Utilisation des calages en fonction des vols](#)

VI.4.3 - [Variomètre](#)

VI.4.4 - [Horizon artificiel](#)

VI.4.5 - [Indicateur de virage](#)

VI.5 - [Les instruments de radio et navigation](#)

VI.5.1 - [Compas](#)

VI.5.2 - [Conservateur de cap ou directionnel](#)

VI.5.3 - [La radio](#)

VI.5.4 - [Le VOR](#)

VI.5.4.1 [Utilisation du VOR en alignement](#)

VI.5.4.2 [Utilisation du VOR en butée de navigation](#)

VI.5.5 - [Le radio Compas](#)

VI.5.6 - [Le gonio](#)

VI.5.7 - [Le transpondeur](#)

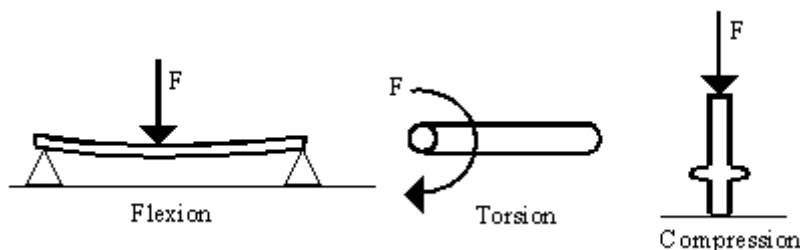
VI.5.8 - [Le DME](#)

VI.5.9 - [ILS et GCA](#)

I - [Résistance des matériaux](#)

Tout objet manufacturé est constitué de divers matériaux, dans le domaine de l'aviation légère, trois types de matériaux principaux coexistent : le métal, le bois et les composites.

Pour chacun de ces matériaux, il existe des contraintes générales qui sont :



Chacun des matériaux possède des caractéristiques propres qui lui permettent de répondre plus ou moins bien à ces contraintes, et lui permettent également une mise en oeuvre plus ou moins aisée.

Lors de la réalisation d'un avion, il est tout à fait possible de mélanger ces matériaux afin d'adapter l'aéronef construit à certaines contraintes et besoins (voltige, transport, entretien, etc ...)

1.1 - Construction en bois coffré ou bois entoilé

Cette technique, la plus ancienne, utilise des bois résineux de type Hemlock, Spruce ou pin d'Orégon, des bois dur de type Frêne ou Hêtre et des feuilles de contreplaqué d'okoumé ou de bouleau.

La structure réalisée est ensuite entoillée avec des tissus de lin, de coton ou des tissus synthétique de type dacron, ou coffrée. Certain appareils réalisés ainsi il y a plus de 50 ans et ayant été réentoilés tous les 15 ans volent toujours de façon admirable.

Avantages	Inconvénients
facilité de réalisation	conditions de température et d'humidité
facilité de rattrapage des erreurs	formes courbes difficiles à réaliser

légèreté	formes évolutives difficiles à réaliser
bon vieillissement	manque de respect du profil entre nervures
très bonne résistance aux efforts	déformation à grande vitesse

1.2 - [Construction en aluminium](#)

Cette technique consiste à utiliser des tôles d'alliage d'aluminium (AU4G 2017/2024) assemblées par rivetage entre elles et sur des profils d'aluminium extrudés. De nombreux appareils construits selon cette technique et ayant plus de 30 ans volent encore sans avoir subi de réfection notable. Cette technique utilisée dans l'industrie est apparue au début des années 70 chez les constructeurs amateurs.

Une variante de cette technique utilise des tubes d'aluminium (ULM particulièrement)

Avantages	Inconvénients
pas de conditions de réalisation	outillage spécifique
nombre de pièces réduit	sensibilité à la corrosion
rapidité de construction	difficulté de réalisation de formes évolutives
pas d'attente entre assemblages	accumulation de fatigue suite aux efforts
bon respect des formes et profils	

1.3 - [Construction en tubes d'acier](#)

Cette technique utilise des tubes d'acier spéciaux (25CD4S, 15CDV6) assemblés en treillis et soudés en atmosphère neutre. L'entoilage est ensuite réalisé directement sur le treillis ou sur une structure secondaire en bois ou aluminium. Ce type de construction est principalement rencontré pour les gouvernes et fuselages d'appareils de voltige, ces parties travaillant peu.

Avantages	Inconvénients
très grande rigidité	soudure en atmosphère neutre
treillis initial très simple	demande un banc d'assemblage
facilité de reproduction du treillis	Nécessite un habillage conséquent

1.4 - Construction composite

Cette technique, la plus récente, utilise des tissus résistants et travaillants comme la fibre de verre, de carbone ou de kelvar imprégnés de résine thermodurcissable de type polyester ou epoxy.

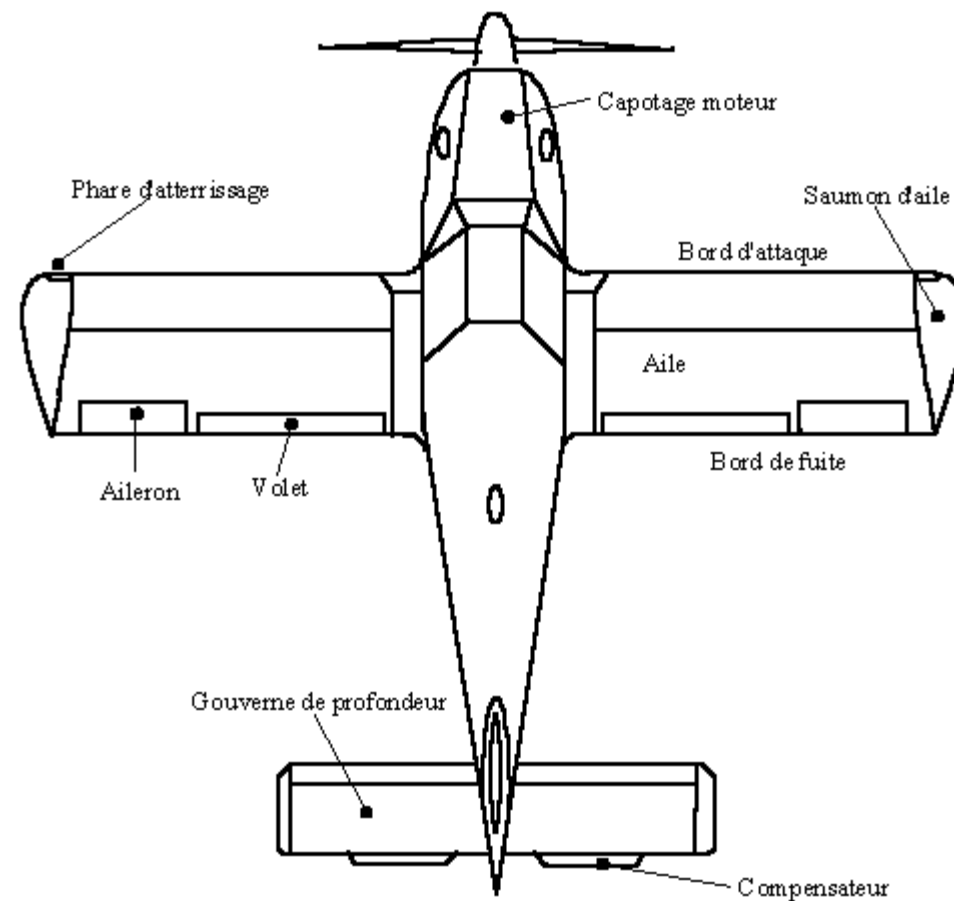
Les surfaces sont élaborées sur des pains de mousse mis en forme ou par mise en place du complexe composite dans un moule en creux.

Avantages	Inconvénients
possibilité infinie de formes	lourd
respect absolu des profils	sensible à la chaleur
nombre réduit de pièces	allergie humaine aux produits utilisés

II - Les éléments de l'aéronef

La voilure est constituée de deux demi-ailes qui assurent la sustentation, la distance séparant les extrémités des deux demi-ailes se nomme *envergure*.

La structure générale des avions est, quelque soit le type ou la taille, généralement la même, à savoir :

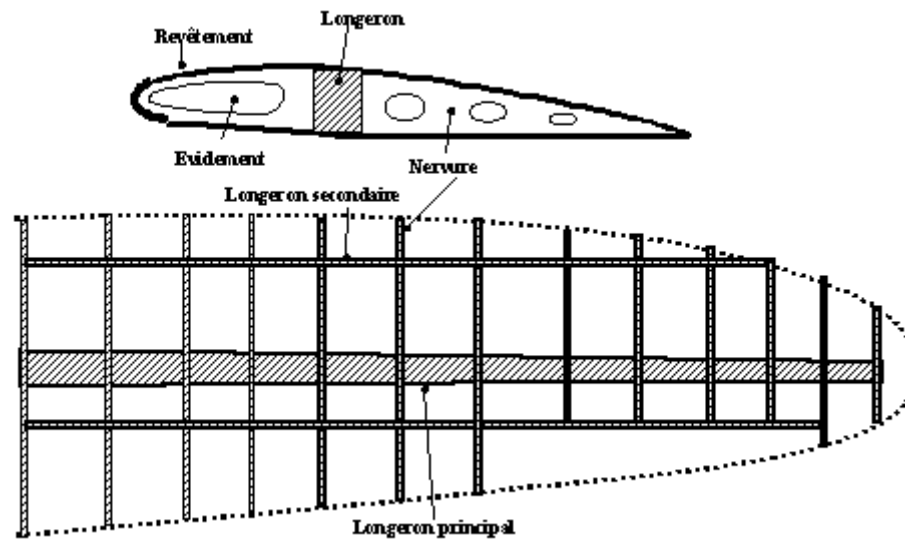
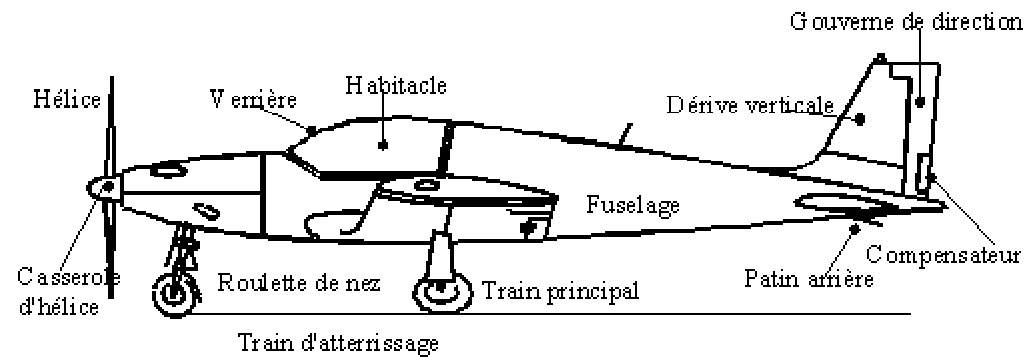


La rigidité de l'aile est assurée par des *longerons* et des *nervures*. Le *revêtement* de la voilure peut être en bois, en métal, en composite ou en toile.

L'extrémité de chaque aile se termine généralement par une partie profilée dénommée *saumon*. Ce saumon supporte les *feux de navigation*.

L'espace laissé libre entre les nervures permet de loger des réservoirs de carburant.

Les parties avant et arrière de l'aile se nomment respectivement le bord d'attaque et le bord de fuite. Sur le bord de fuite sont articulés les volets (le plus près du fuselage) et sur le bord d'attaque les becs.



Vers l'extrémité de l'aile se trouvent les *ailerons*, ces deux surfaces qui se braquent en sens inverse permettent en vol d'incliner l'avion à droite ou à gauche (l'aileron baissé génère de la portance qui permet à la demi-aile associée de se lever)

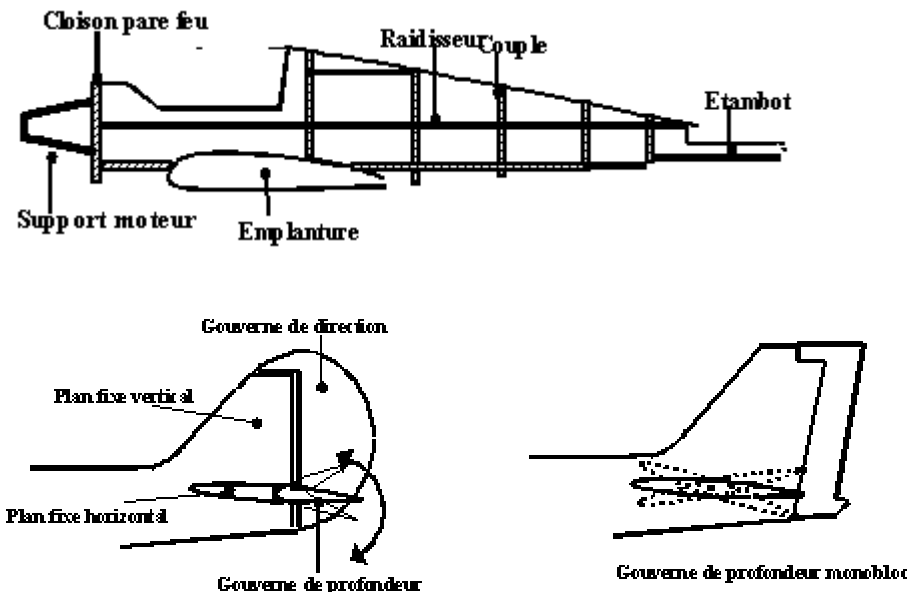
La partie de l'aile qui assure la jonction avec le fuselage se nomme l'*emplanture*, le profilage aérodynamique de l'emplanture se nomme le *Karman*.

Le *fuselage* est un caisson dont la rigidité est assurée par des *couples* et des *raidisseurs*, de même que pour l'aile, son revêtement peut être du bois, du métal, du composite ou de la toile.

L'implantation de l'aile sur le fuselage peut se faire à différents niveaux, *basse*, *médiane* ou *haute*.

A l'arrière du fuselage se trouvent les *empennages*. Ils sont généralement *cruciformes*.

La partie verticale comprend un plan fixe dénommé *dérive* à l'arrière duquel est articulé la *gouverne de direction*. La partie horizontale est constituée par un *plan fixe* sur lequel s'articule la *gouverne de profondeur*. Sur certains avions, l'empennage horizontal est constitué par une seule surface entièrement mobile. Il s'agit dans ce cas d'un *empennage monobloc*.



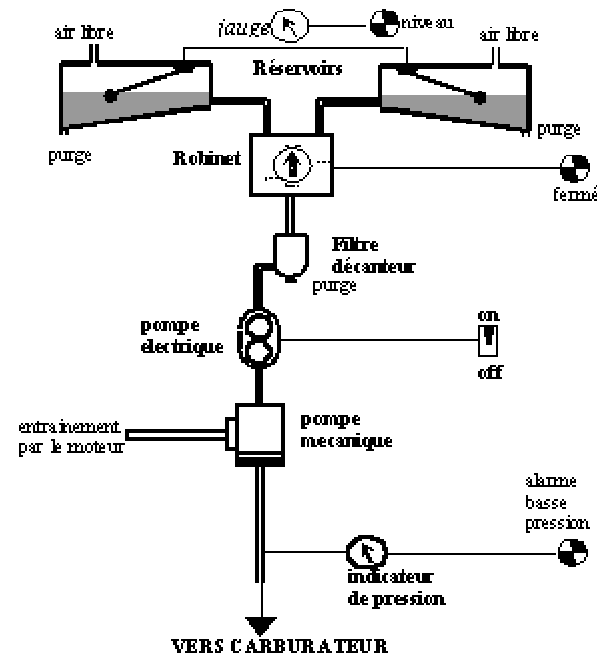
Les empennages ne sont pas tous cruciformes, il existent également des *empennages en T* (la gouverne de profondeur est placée sur la partie supérieure de la dérive) et des *empennages en V* (les surfaces inclinées à 45° assurent ensemble les fonctions de profondeur et de direction)

III - [Groupe moto-propulseur](#)

Il est fixé à la *cellule* de l'avion par le *bati moteur* et isolé de la *cabine* par la *cloison pare-feu*. Les capots moteur et la casserole d'hélice permettent d'assurer un écoulement aérodynamique ainsi qu'un bon refroidissement du moteur. Dans le capot moteur sont aménagées des *prises d'air* de refroidissement et d'alimentation en air du carburateur. Certains appareils

possèdent en plus des *volets de capot*, petites surfaces mobiles destinées à améliorer la circulation de l'air autour des cylindres.

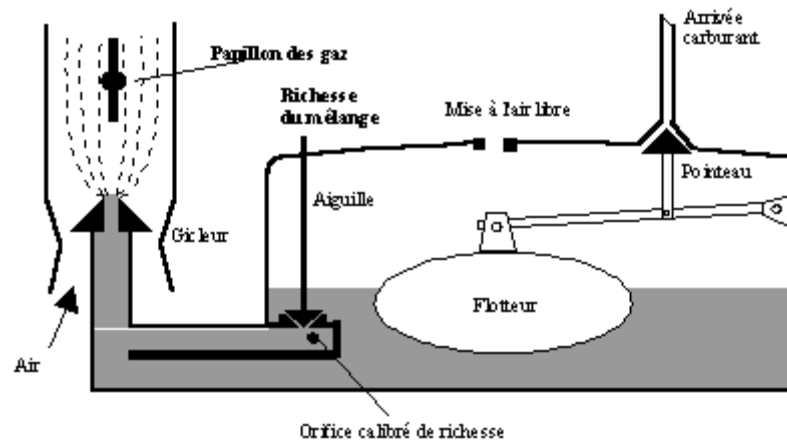
III.1 - Alimentation en carburant



Cette alimentation est effectuée soit par gravité, soit par l'intermédiaire d'une *pompe mécanique* entraînée par le moteur. Pour la sécurité, elle est doublée par une *pompe électrique* qui peut être utilisée en vol

L'alimentation en carburant assure l'approvisionnement du moteur en combustible. L'essence parvient au carburateur par des canalisations qui comportent en général un *robinet sélecteur* qui permet de fermer ou d'ouvrir l'arrivée d'essence.

III.1.2 - Le carburateur, les gaz et la mixture



Il assure l'élaboration du mélange air essence avant son introduction dans les cylindres.

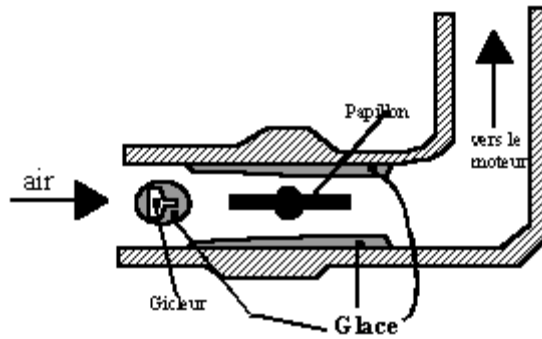
Le *flotteur et le pointeau* assurent le débit correct en provenance des canalisations (moteur noyé)

En tournant, le moteur crée une dépression (pression à l'admission) qui aspire dans les cylindres le mélange carburé. La puissance délivrée par le moteur est fonction du volume de mélange aspiré. On peut modifier ce volume et donc la puissance en changeant la position du *papillon des gaz* grâce à la *manette de gaz* (accélérateur) (le schéma représente la pleine puissance)

Le mélange idéal devant parvenir au cylindre est sensiblement égal à 1gramme d'essence pour 15 grammes d'air.(*mélange 1/15^e*)

La densité de l'air variant avec la température et l'altitude, sur la plupart des moteurs on peut régler en vol les proportions du mélange air / essence grâce à la *commande de richesse* encore dénommée *correcteur altimétrique* ou *mixture* ou *commande de mélange* De plus afin de maintenir une densité d'air constante, certains moteurs sont équipés d'un turbo-compresseur dont le rôle est de comprimer l'air admis dans le mélange.

III.1.3 - [Le givrage carburateur](#)



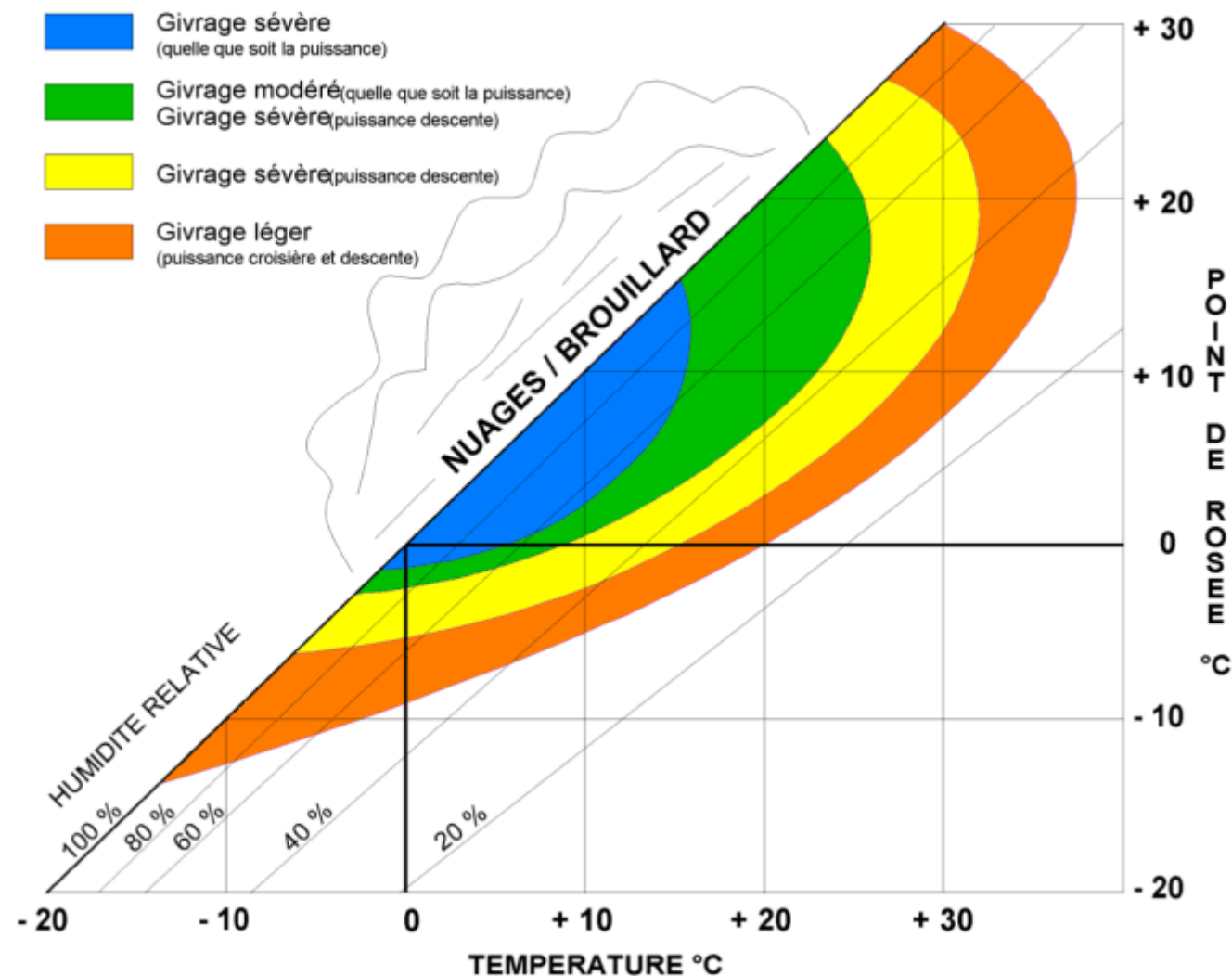
Il s'agit d'un phénomène dangereux en aviation légère, en effet le givrage de l'intérieur du carburateur arrête l'arrivée de carburant au moteur.

Le mélange air / essence s'effectue dans une zone de dépression, le gicleur étant placé dans un étranglement de l'arrivée d'air. La vaporisation de l'essence et la détente du mélange sont génératrice de refroidissement (de 20 à 30 ° de perte) qui occasionne le givrage de la vapeur d'eau contenue dans l'air. La glace ainsi formée obture plus ou moins l'admission de carburant.

Sur un avion à calage fixe, le givrage se détecte par une chute du régime moteur, alors que sur un avion à calage variable et vitesse constante, il est annoncé par une chute de la pression d'admission.

Les conditions propices au givrage carburateur sont :

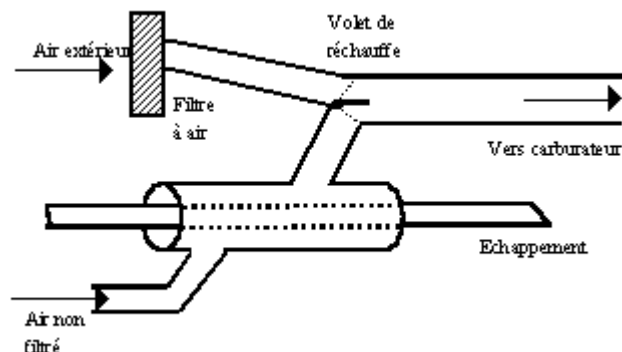
1. Une température carburateur comprise entre -15 et 0 degré, la température la plus favorable étant de -5 Avec une chute de de 20 à 35° par rapport à l'air extérieur, par 15° extérieur on peut avoir -5° au carburateur. Cette température carburateur peut être surveillée par un *indicateur de température carburateur*.
2. Une atmosphère humide, le risque est plus grand au niveau des basses couches



Pour éviter le givrage carburateur, un dispositif dénommé *réchauffe carbu* permet le réchauffage de l'air admis (en général de 50°). Ce dispositif permet de prendre l'air, non plus à l'extérieur, mais autour des canalisations d'échappement du moteur.

Ce dispositif de réchauffage possède un inconvénient, l'air chaud ainsi admis est moins dense ce qui entraîne une augmentation de la richesse du mélange (le rapport 1/15 n'est plus respecté).

Un autre dispositif éliminant le givrage carburateur est l'adoption sur l'avion d'un système d'injection de carburant.



III.1.4 - [Comment utiliser la réchauffe carburateur](#) :

L'utilisation permanente de la réchauffe carburateur est impossible pour les raisons suivantes :

1	Détérioration du moteur (dosage explosif du mélange non contrôlé à forte puissance)
2	Peut amener un givrage lorsque la température de l'air avoisine les - 20 ° (altitude)
3	Surconsommation et diminution de puissance

L'utilisation de la réchauffe carburateur est donc à effectuer en accord avec le manuel de vol et les conditions du moment (chute du régime, de la pression d'admission ou estimation de risque), soit :

Au sol	Au minimum pour les essais et en cas de givrage réel (air non filtré)
Décollage	Jamais de réchauffe car il y aurai diminution de puissance
Croisière	Dès que le risque est pressenti, en tout ou rien s'il n'existe pas d'indicateur de température carburateur - noter les valeurs des paramètres (régime ou pression)

	- enclencher la réchauffe , noter la chute de régime ou de pression - attendre 10 à 20 secondes la stabilisation des paramètres - couper la réchauffe - si les nouveaux paramètres sont inférieurs ou égaux aux initiaux pas de givrage - si les paramètres sont supérieurs aux initiaux, givrage, recommencer l'opération.
Descente Approche Finale	Selon les recommandations du manuel de vol, mais de manière générale : - Réchauffe à fond 30 secondes à 1minute avant la diminution des gaz - Couper la réchauffe aux alentours de 300 ft lors de l'approche finale, cette mesure permet de disposer de la totalité de la puissance en cas de remise des gaz

III.2 - Carburant

Le carburant utilisé pour le moteur est une essence aviation. les essences sont classées selon leur indice d'octane, qui caractérise leur pouvoir antidétonnant.

Le carburant à utiliser est spécifié par le constructeur du moteur, il est indiqué dans le manuel de vol et généralement sur une plaque située à côté de l'orifice de remplissage des réservoirs.

La contamination de l'essence par de l'eau ou de la poussière est dangereuse, ainsi il est conseillé d'effectuer le plein après le dernier vol de la journée afin d'éviter la condensation durant la nuit.

L'essence est colorée de manière à pouvoir être reconnue immédiatement selon le code :

80 / 87	<i>couleur rose</i>
100 LL	<i>couleur bleue</i>

L'utilisation de carburant automobile est possible pour certains avions, sous réserve de l'acceptation de ces carburants plombés par le moteur (dans tous les cas attention).

La densité moyenne de l'essence est de 0,72, une approximation correcte dans les calculs de centrage est 0,7 soit un litre de carburant pèse 700 grammes

III.3 - [Huiles](#)

Il existe deux catégories d'huiles:

	Composition	Caratéristique	Utilisation
<i>Minérale</i>	Naphte et paraffine	Neutralité chimique Viscosité constante Point éclair élevé	Rodage moteur
<i>Dispersante</i>	Huile minérale + aditifs	Pas de résidu de combustion	Grands écarts de température du milieu ambiant Faible viscosité à basse température Bon démarrage à froid Bonne lubrification à froid Grande plage de température de

			fonctionnement
			Propriétés anti-friction

De manière générale toutes les huiles sont miscibles, cependant il; faut éviter de mélanger de l'huile minérale pure et de l'huile dispersante, cette dernière n'étant pas neutre chimiquement

Le grade d'une huile correspond à ses qualités de viscosité. Le grade de l'huile à utilisé augmente avec la température ambiante.

entre -20° et +20	grade 65	commerciallement SAE30
entre 0° et 30°	grade 80	commerciallement SAE40
au dessus de 15°	grade 100	commerciallement SAE35

III.4 - [Allumage](#)

Son rôle est de fournir l'étincelle qui déclenche la combustion du mélange air essence. L'allumage est effectué par un circuit à *magnéto*. La magnéto est un organe autonome entraîné par le moteur qui fourni de l'électricité (ne jamais manipuler une hélice si les magnétos ne sont pas coupées)

Au démarrage, la *batterie* fournit l'électricité nécessaire pour faire tourner le démarreur qui entraîne le moteur et les magnétos. Une fois le moteur démarré, le circuit de batterie est alors déconnecté du moteur.

Le circuit d'allumage est doublé, chaque circuit est indépendant de l'autre. Chaque magnéto fournit le courant à une *bougie* par cylindre, il y a donc deux bougies par cylindres.

Ce système entraîne une commande de circuit magnéto à quatre positions soit :

ARRET, GAUCHE, DROITE, GAUCHE + DROITE

et se présente sous la forme :

Arret	Gauche	Droite	Gauche + Droite
Off	Left	Right	Both
0	1	2	1+2

Ce système doublé permet d'améliorer la sécurité et la combustion du mélange.

Lors de la préparation du vol, au sol il est nécessaire, moteur en route, de contrôler le fonctionnement des circuits magnétos en sélectionnant alternativement l'une et l'autre des *rampes d'allumage*.

III.5 - [Circuit électrique](#)

Le circuit électrique de bord est constitué de la batterie, utilisée au démarrage, et qui permet également d'alimenter la radio, les feux de navigation, le phare d'atterrissage et certains équipement de bord (GPS, etc ...). Cette batterie est rechargée par un alternateur couplé mécaniquement au moteur et électriquement par un système de disjoncteurs et un régulateur.

Sur certains avions, il est possible au sol de brancher ce circuit électrique sur un circuit extérieur dénommé *groupe auxiliaire de démarrage*.

Sur certains autres avions, il existe une unité complète de génération d'électricité indépendante de la rotation du moteur, il s'agit alors de micro-réacteurs dénommé *APU* (Auxiliaire Puissance Unit)

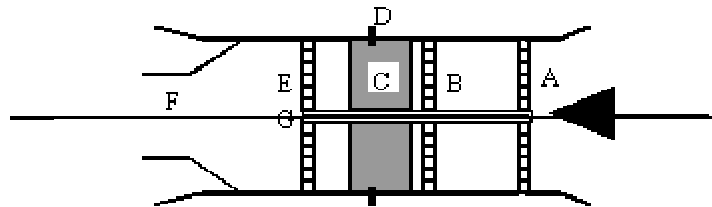
III.6 [Refroidissement moteur](#)

La combustion du carburant produit une chaleur intense qu'il faut évacuer vers l'extérieur. Sur la plupart des moteurs d'avion léger, cette évacuation est assurée par l'air extérieur (*refroidissement à air*) qui est forcé à passer, par le

capotage moteur, entre des ailettes situées sur les cylindres. Ce système nécessite des précautions particulières lors du roulage au sol à faible vitesse et des montées à faible vitesse. La température des cylindres peut être indiquée sur le tableau de bord par l'intermédiaire d'un *indicateur de température cylindre*.

IV - Réacteurs et fusées

Le système à réaction est un système où la puissance est transmise à un flux d'air éjecté vers l'arrière du groupe propulseur. Le fonctionnement en est le suivant



L'air est aspiré par l'ensemble de pales tournantes A, puis comprimé par l'ensemble tournant B. Au point D est injecté le carburant (en général du *Kérosène*) dans la chambre de combustion C. L'étincelle permettant la combustion est produite également au point C.

L'ensemble ainsi brûlé produit des gaz chauds dont le volume est supérieur au volume d'air initialement admis. Ces gaz chauds sont évacués sous pression au niveau de la tuyère F.

L'axe G permet de transmettre une partie de l'énergie aux ensembles A et B afin de les faire tourner.

Lorsque l'axe G est relié mécaniquement dans sa partie avant à une hélice il s'agit alors d'un *turbopropulseur* ou turbine et lorsque seuls les gaz chauds éjectés assurent la poussée il s'agit d'un *réacteur*.

Le système fusé emporte son *carburant en réservoir* comme le moteur à explosion ou le réacteur, mais devant fonctionner sans atmosphère extérieure, emporte également son *comburant sous forme liquide* (air ou oxygène). En général le carburant est de l'hydrogène et le comburant de l'oxygène.

Dans le système fusée, le décollage étant vertical, les lois de l'aérodynamique (portance entre autre) ne sont plus utilisées, ce sont alors les lois de la balistique qui sont prises en compte.

La fusée décolle lorsque la poussée devient supérieure au poids. A noter que le poids diminue au fur et à mesure de la combustion (aucun apport extérieur)

La caractéristique principale des fusées est que les réservoirs représentent 80 à 90 % de la masse et du volume total du système.

V - Train d'atterrissage

Son rôle est d'assurer la conduite de l'avion et d'amortir les efforts subis lors de la prise de contact de l'avion avec le sol. Il existe deux types de trains d'atterrissage.

V.1 - Le train classique

Il est constitué d'un atterrisseur principal disposé sous la voilure ou le fuselage de chaque côté de l'axe principal de l'avion, ainsi que d'une *roulette de queue* qui permet de diriger l'avion au sol. Ce système tend à disparaître car le centre de gravité étant en avant du système de rotation (roulette de queue), l'ensemble est particulièrement instable .

V.2 - Le train tricycle

Il est constitué d'un atterrisseur principal disposé sous la voilure ou le fuselage de chaque côté de l'axe principal de l'avion, ainsi que d'une *roulette de nez* qui permet de diriger l'avion au sol..

Sur ces deux types de trains, des freins sont montés sur les roues principales (train principal). Les efforts liés au roulage ou à l'atterrissage sont absorbés par des amortisseurs oléopneumatique, mécanique ou constitués de lames métalliques .

Qu'il soit tricycle ou classique le train principal doit supporter seul les efforts liés à l'atterrissage.

Le train de type quelconque peut être *rentrant* afin de diminuer la traînée

Lorsque la roulette de nez ou de queue est liée mécaniquement à la gouverne de direction, on dit que la *roulette est conjuguée*

D'autres systèmes d'atterrissage existent et dépendent de la nature de la zone d'atterrissage (flotteurs pour hydravion, skis en montagne, roue centrale et roulette en bout d'aile etc...)

VI - Poste de pilotage et instruments de bord

Le poste de pilotage est constitué d'un tableau de bord (ensemble d'indicateurs de commandes), d'un manche ou volant et palonnier et au minimum d'un siège pilote. En général sur un avion ayant au minimum deux places de front, le siège de gauche est le siège pilote, alors que sur un hélicoptère le siège de droite est le siège pilote (pas cyclique à main gauche et manche à main droite)

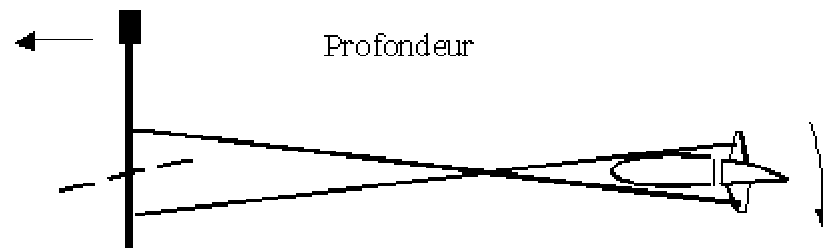
Le volant ou manche et les palonniers constituent les commandes de vol et sont la plupart du temps doublées.

VI.1 - Manche et palonnier

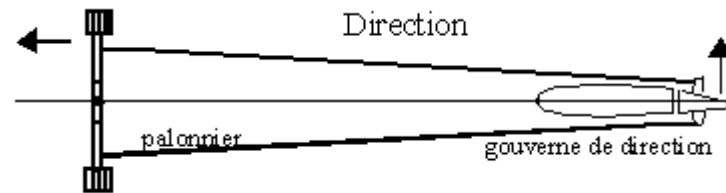
Le volant ou manche peut se déplacer d'avant en arrière, il commande alors la gouverne de profondeur.

Il peut également se déplacer de droite à gauche et commande alors les ailerons

Le palonnier, actionné aux pieds, commande la gouverne de direction.

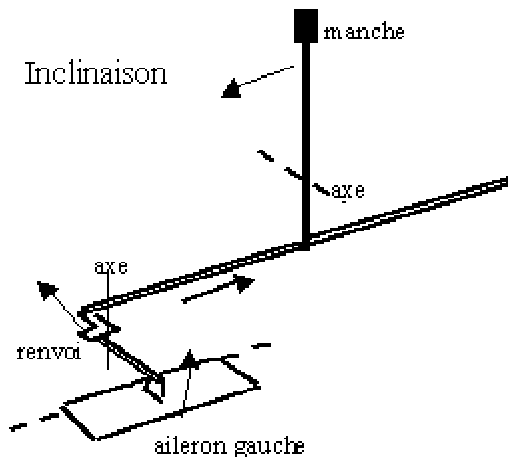


Une action en profondeur sur l'axe de tangage vers l'avant (manche en avant) entraîne une rotation autour de l'axe du manche et une traction sur le câble supérieur (manche) et inférieur au niveau gouverne de profondeur. Celui ci met alors l'avion en piqué, de même dans l'autre sens à cabrer



Une action à pousser au pied droit entraîne la gouverne de direction vers la droite et engage un virage plat à droite.

Les deux palonniers sont liés mécaniquement, lorsque le pied droit avance, le pied gauche recule.



Une action latérale gauche sur le manche entraîne un effort vers la droite sur le câble situé entre la partie inférieure du manche (sous l'axe) et le renvoi. Le renvoi articulé autour de son axe transforme cet effort en traction vers l'avant. Cette traction tire alors l'aileron vers le haut. Cet ensemble d'action permet de lever l'aileron gauche, symétriquement de baisser l'aileron droit et ainsi d'incliner l'avion sur la gauche.

VI.2 - [Le tableau de bord](#)

Bien que chaque avion possède un tableau de bord qui lui soit propre, on retrouve certaines constantes et groupe d'instruments imposés par la réglementation. Ce sont :

Les instruments de pilotage	Position de l'avion dans son espace (par rapport à la terre)
Les instruments moteur	Surveillance, contrôle, conduite et réglages moteur
Les équipements de radio et de radionavigation	Communication avec l'extérieur et position de l'avion par rapport à un point de destination ou de départ

VI.3 - [Les instruments moteur](#)

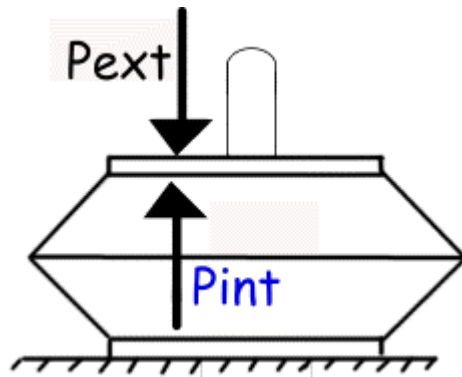
Les instruments de contrôle et commande moteur sont nombreux et dépendent du type de GMP, du calage d'hélice et de la personnalisation de l'avion. En général on trouve les éléments suivant

Compte tour	Commande de richesse	Commande magnétos
Pression carburant	Commande de gaz	Breakers divers
Jauge à carburant	Réchauffe carburateur	Température moteur
Température et pression huile	Commande de pompe	Température cylindres
Charge alternateur	Commande générale batterie	etc

VI.4 - [Les instruments de pilotage](#)

Les instruments de pilotage permettent de contrôler les paramètres avion par rapport à la masse d'air.

Ils utilisent un instrument de base dénommé capsule anéroïde qui permet de mesurer une différence de pression .



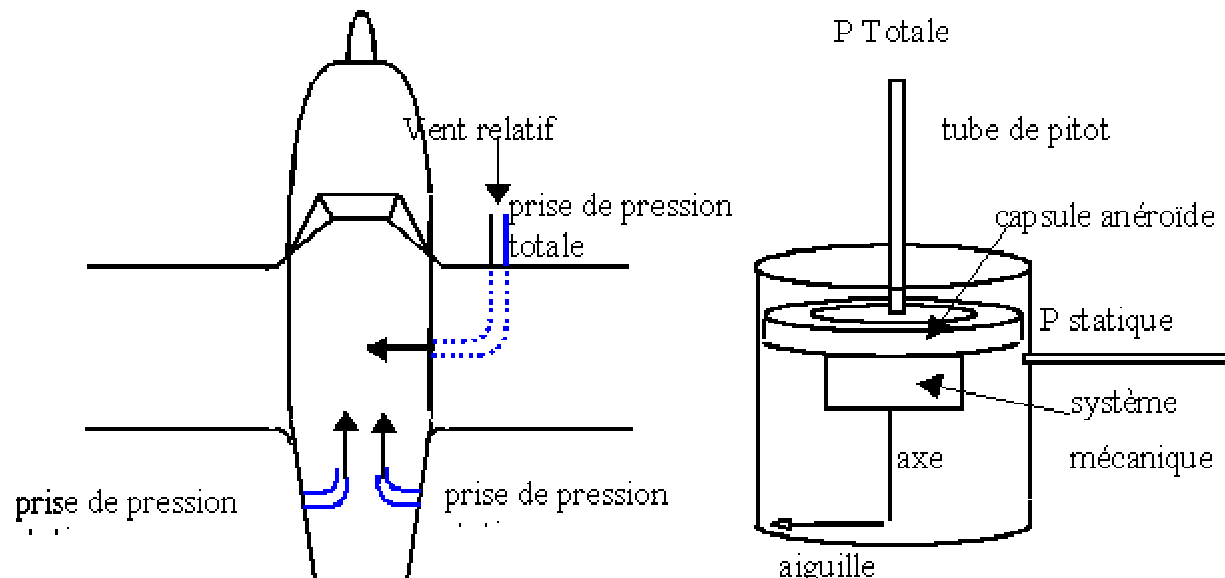
Il s'agit d'un ensemble fermé et sellé en usine sous atmosphère standard (1013,25 Hpa à 15° C).

Le gaz contenu exerce une pression P_{int} à laquelle s'oppose la pression à mesurer P_{ext} .

Si P_{ext} est différent de P_{int} , une déformation mécanique est engendrée et récupérée sur la partie haute

VI.4.1 - Anémomètre

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



Il mesure un écart entre la *pression totale* de l'air en avant de l'avion (*tube de pitot* ou antenne anémométrique) et la *pression statique* mesurée sur les *prises de pression statique*. Une capsule anéroïde vidée d'air se déforme plus ou moins en fonction de cet écart, et un dispositif mécanique relié à cette capsule fait tourner l'aiguille indicatrice.

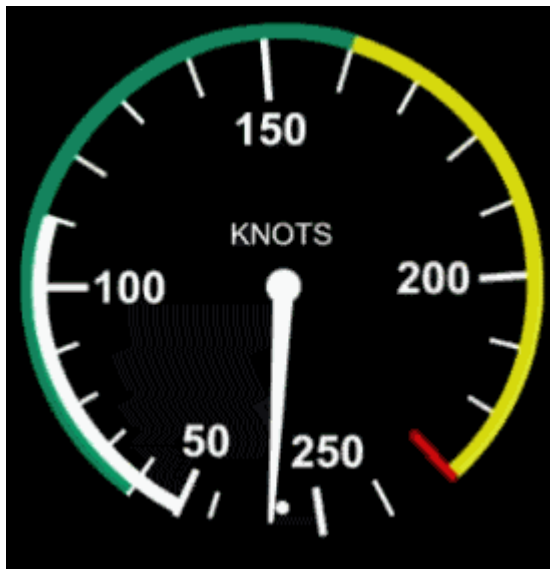
Cet instrument est étalonné en usine pour une pression de 1013 Hpa et une température de 15° C. Dans ce cas il indiquera une vitesse correcte, dans les autres cas il faut appliquer une correction de 1% par tranche de 600 ft au dessus de la surface 1013 Hpa à la vitesse lue ou vitesse indiquée. , par exemple dans le cas suivant :

- vitesse lue 180 kt, altitude 2500 ft, QNH 990 entraîne

écart par rapport à la surface 1013 Hpa : $2500 + (1013 - 990) \times 28$ soit 2400 ft

en pratique 5 tranches de 600 ft soit une correction de 5%, et $V_p = 180 + 9 = 189$ Kt

Nous avons vu précédemment qu'il existe des plages de vitesses critiques pour l'avion, ces plages seront repérées sur l'anémomètre par des arcs de différentes couleur



VNE Vitesse Never Exceed

VNO Vitesse Normal Operation

VFE Vitesse Flap Extend

VLE Vitesse Land Extend

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 sortis

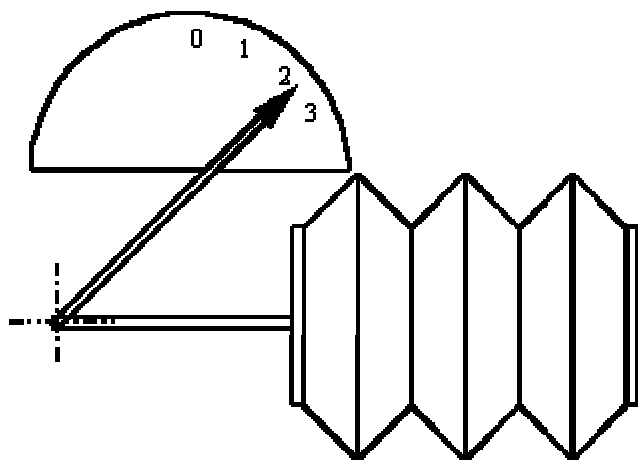
VLE vitesse max d'utilisation du train sorti

VSO vitesse de décrochage volets et train sortis

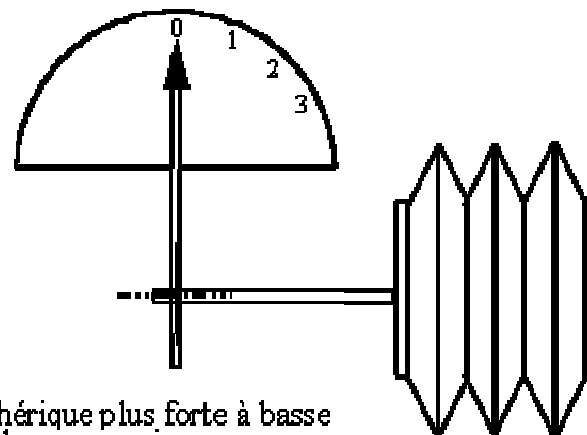
Trait rouge limite de vitesse du domaine de vol



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.



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

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.

Cette déformation est transmise à une aiguille qui se déplace devant un cadran gradué.

Tous les altimètres sont munis d'une fenêtre ou apparaît une échelle de pression graduée en hectopascals (hPa).

Le cadran est généralement gradué en pieds (ft), 1ft = 0,33 m (règle des 10 / 3)

150 m = 500 ft	450 m = 1500 ft	1200 m = 4000 ft	1800 m = 6000 ft
300 m = 1000 ft	600 m = 2000 ft	1500 m = 5000 ft	2100 m = 7000 ft



VI.4.2.1. - [Etalonnage de l'altimètre](#)

Les constructeurs et les services de réglementation se sont mis d'accord pour choisir une pression standard à une altitude donnée (à une pression de 843 hPa, l'altimètre indique une altitude de 5000 ft)

Cette pression standard de base est située au niveau de la mer et calée artificiellement à 1013,25 hPa, les indications de l'altimètre seront donc valables uniquement si les conditions météo du jour donnent 1013,25 Hpa au niveau de la mer.

VI.4.2.2 - [Les calages](#)

En fonction des besoins, il est parfois souhaitable de connaître l'altitude par rapport à plusieurs références différentes, ce sont :

QNH	par rapport au niveau de la mer
QFE	par rapport à un point spécifique
QNE	par rapport à la référence normalisée 1013,25 hPa

Le calage QFE est utilisé en vol local au-dessus d'un aéroport (*hauteur* par rapport au sol)

Le calage QNH est utilisé en vol régional en dessous du niveau de transition

Le calage QNE est utilisé en niveau de vol (flight level) au-dessus du niveau de transition

La hauteur s'exprime par rapport à un point donc en ft QFE (**ATTENTION** par extension il est parfois utilisé le **terme altitude QFE**)

L'altitude s'exprime par rapport à la mer donc en ft QNH, les altitudes indiquées sur les cartes sont au QNH

Les niveaux de vol s'expriment par rapport au QNE

VI.4.2.3 - [Variation des pressions](#)

La pression atmosphérique varie, à une altitude donnée, en fonction des conditions du jour, *les surfaces isobares* se décalent. (un calage QFE à 0 à 15h peut ne plus être valable à 18 h)

Les surfaces isobares ne sont ni planes ni parallèles, un avion suivant une surface isobare (volant à altitude indiquée constante) aura une trajectoire présentant des variations par rapport au sol .

VI.4.2.4 - [En pratique](#)

Le calage de l'altimètre est effectué au moyen d'une molette située sur l'appareil qui fait tourner la couronne graduée en Hpa, En fonction du calage, on lira des valeurs différentes :

Altitude et pression

La pression de l'air décroît avec l'altitude et la vitesse de décroissance augmente avec l'altitude

L'altimètre mesure cette pression

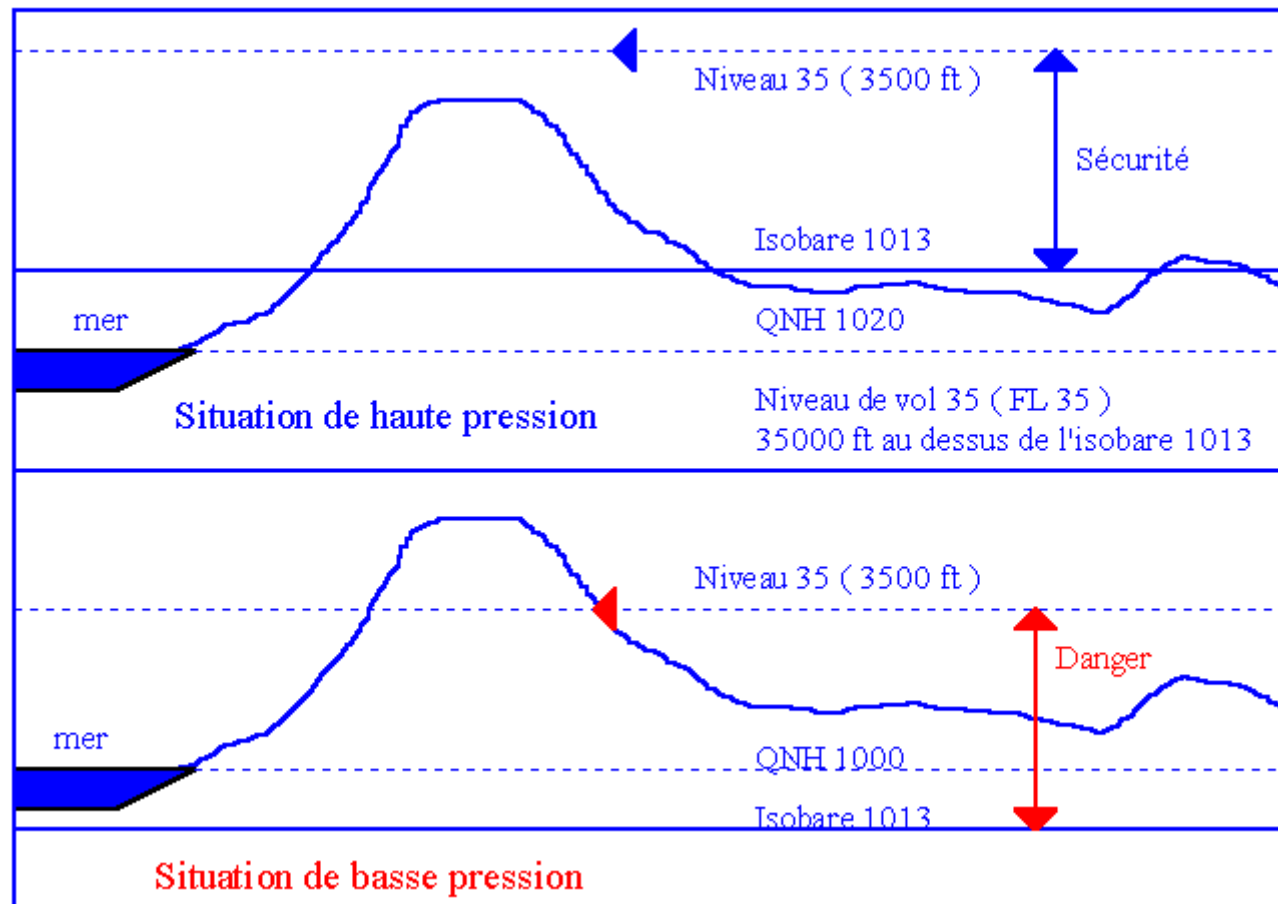
Problème	Conséquence
P varie avec le temps	Le zéro altimètre n'est pas fixe
La variation de P dépend de T	Conversion P altitude dépend de T
Solution	Standard de référence
Pression de référence à zéro	1013 Mb ou hecto pascal
Température de référence à zéro	15 ° Celsius

Zéro altimètre en fonction des conditions de vol					
Position géographique	Pression de référence	Représentation graphique	Indication altimètre fonction du calage zéro		
			QFE	QNH	1013 Hp
			Hauteur	Altitude	Niveau de vol Indication altimètre en ft - deux 0
		Relief			
Altitude du terrain	Pression sol terrain	Terrain	0 = P terrain		
Niveau de la mer	Pression au niveau mer	mer		0 = P mer	
	Pression standard référence 1013				0 = 1013 Hp

VI.4.2.5 - Utilisation des calages en fonction des vols

Phase de vol	Altimètre	Remarque
Circuit de piste	QFE Hauteur	Hauteur pas de référence carte
Croisière sous S	QNH Altitude	Réf. régionale cartes et obstacles

Problème lié au niveaux de vol

Recommandations :

- Indication altimètre approximative
- Si QNH < 1013 les FL sont plus bas (attention au relief)
- Si QNH > 1013 les FL sont plus haut

- Si $T^\circ < T^\circ$ Standard à l'altitude alors le vol est plus bas qu'indiqué
- Si $T^\circ > T^\circ$ Standard à l'altitude alors le vol est plus haut qu'indiqué
- Isotherme 0° de givrage en millier de m = $T^\circ / 6,5$ (perte théorique de 2° par 100 ft ou de 6° par 1000 m)

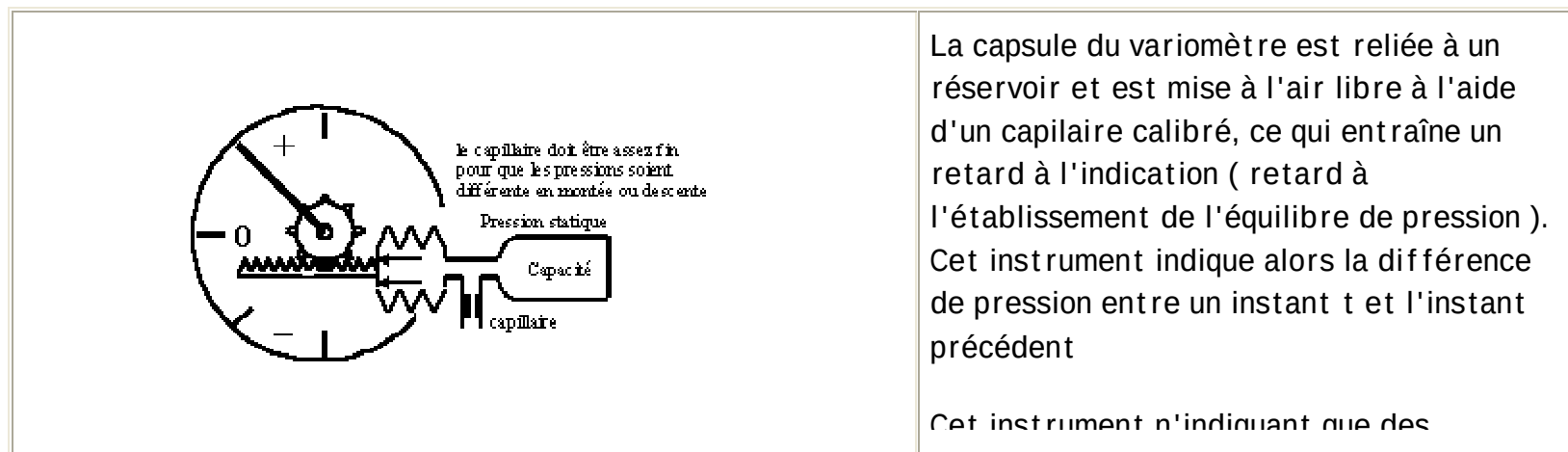
Niveaux de vol à prendre en VFR (le plus 5)

La règle est : Le niveau de vol VFR sur un cap compris entre 0 et 179 ° est impair + 5

Cap	IFR	VFR	Exemple IFR	Exemple VFR
de 0° à 179	Impair	Impair + 5	30, 50, 70, 90, 110	35, 55, 75, 95, 115
de 180° à 359	Pair	Pair + 5	40, 60, 80, 100, 120	45, 65, 85, 105, 125

VI.4.3 - Variomètre

Généralement gradué en ft/mn, il permet de *mesurer la vitesse verticale* de l'avion



variations de pression, si l'avion est en palier, l'indicateur est à zéro

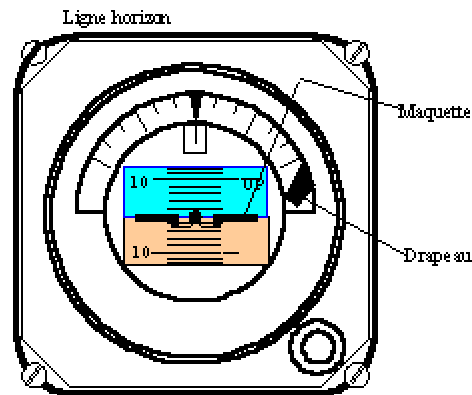


ATTENTION, cet instrument possédant un retard à l'indication ne doit pas être considéré comme un instrument de pilotage mais seulement comme un instrument de tendance (le maintien d'altitude en vol en palier doit être vérifiée à l'altimètre et non au variomètre)



VI.4.4 - Horizon artificiel

Il s'agit l'un des instruments les plus importants car il permet de mesurer simultanément une assiette et une inclinaison, il n'indique pas le taux de virage.

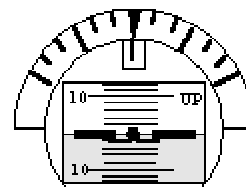


Il est constitué d'un gyroscope tournant à une vitesse élevée, dont la principale caractéristique est la fixité dans l'espace. Il reste fixe alors que son boîtier, fixé à l'avion, se déplace.

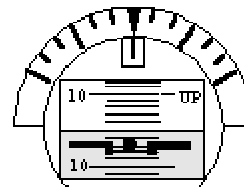
Son alimentation peut être électrique ou par dépression (pompe à vide)

La maquette qui représente l'avion se déplace devant un tambour sur lequel figure une représentation de l'horizon naturel, de la terre (sombre) et du ciel (clair). Ce tambour gradué en degré donne l'assiette

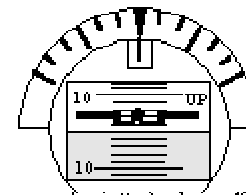
La couronne porte de part et d'autre du repère origine trois repères principaux à 30° , 60° et parfois 90° permettant de mesurer l'inclinaison. L'horizon doit être calé au sol



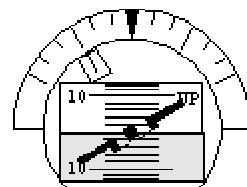
Assiette nulle
Inclinaison nulle



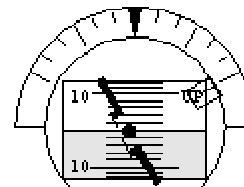
Assiette à piquer 4°
nez sous l'horizon
Inclinaison nulle



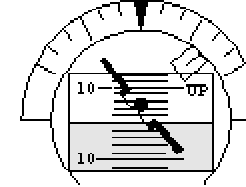
Assiette à cabrer 4°
nez au dessus de l'horizon
Inclinaison nulle



Assiette nulle
Virage gauche à 5°



Assiette nulle
Virage droit 10°



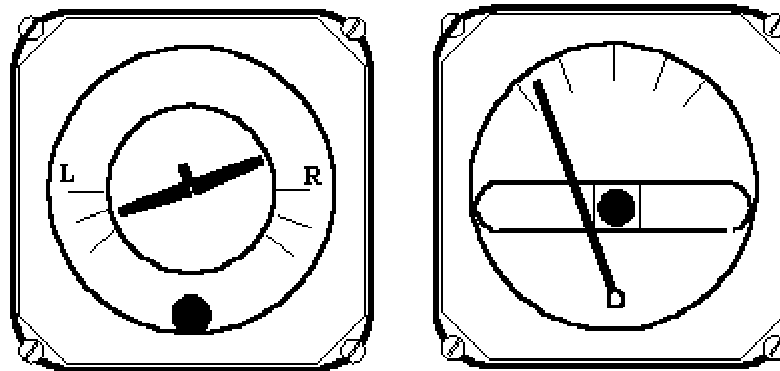
La partie ciel / terre reste immobile dans l'espace.



VI.4.5 - [Indicateur de virage](#)

Il est composé de deux éléments indépendants, une bille et une aiguille, d'où son nom de bille aiguille.

La bille renseigne sur la symétrie du vol et l'aiguille sur le sens du virage

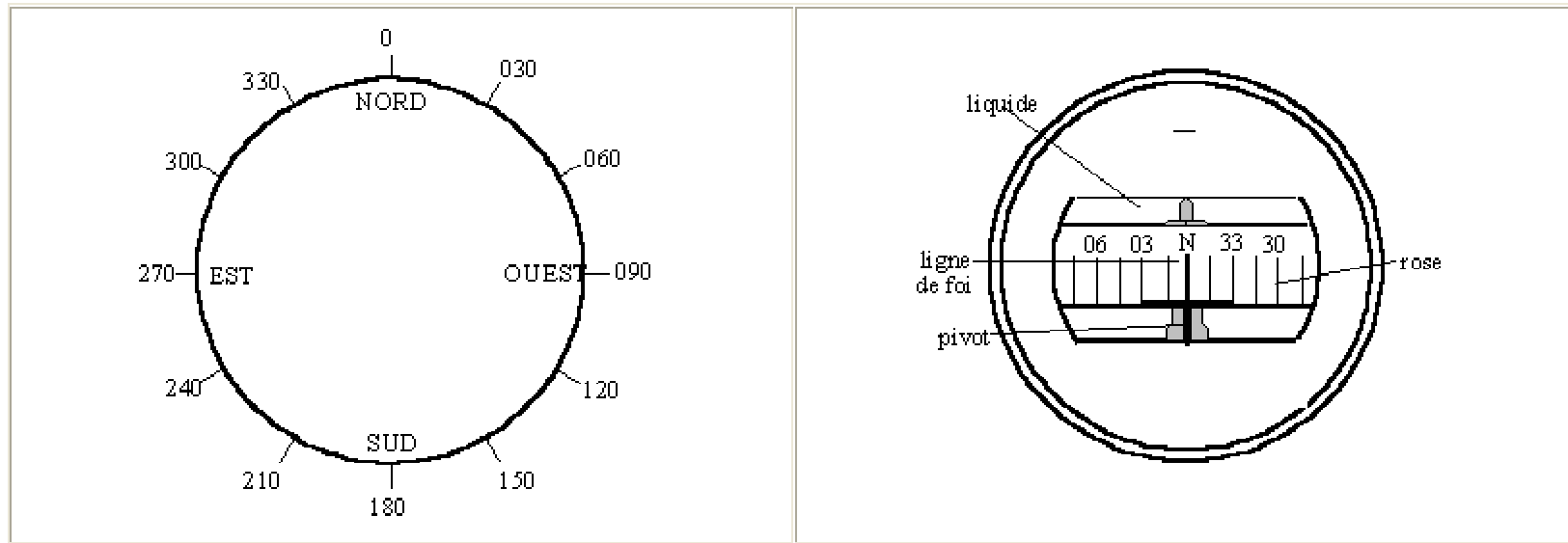


VI.5 - [Les instruments de radio et navigation](#)

VI.5.1 - [Compas](#)

Cet instrument permet de mesurer l'orientation magnétique de la trajectoire. Il s'agit d'une boussole élaborée dont l'élément indicateur est une rose des caps associée à un barreau aimanté.

La rose des cap est divisé en 360 °, l'information de cap est donnée par le déplacement de la ligne de foi, liée à l'avion, devant la rose graduée. Cet instrument donne des indications erronées en virage, en air agité et lors des variations de vitesses.



VI.5.2 - [Conservateur de cap ou directionnel](#)

Il représente l'avantage de conserver une référence de cap choisie par le pilote, quelle que soit la phase de vol (montée, descente, virage, etc..)

Le directionnel est un gyroscope dont le rotor tourne à une vitesse élevée (10.000 t / mn) .et qui conserve sa position dans l'espace. Si le pilote choisi de le caler vers le sud magnétique, l conservera alors la référence du sud magnétique..

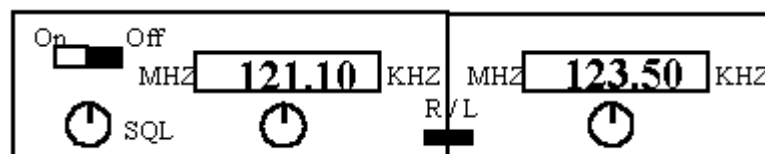
L'indication fournie par le directionnel est cependant altérée par les frottements et par la précision de fabrication. Il faut donc que le pilote, de temps en temps, recalcule son directionnel sur le compas magnétique.

VI.5.3 - [La radio](#)

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

Les fréquences utilisées pour les communications air / sol sont dans la gamme VHF (Very High Fréquence) de 118 à 136 Mhz. par pas de 0.01 ou 0.001 Mhz (soit 720 fréquences ou canaux)

La face avant du système radio possède un bouton de marche/arret, un bouton de réglage des fréquences associé à un cadran de visualisation de la fréquence en cours, ainsi qu'un *sqlch* (SQL). Certains appareils possèdent un second système de sélection permettant la présélection de la fréquence suivante.



Pour ne pas encombrer la fréquence, il est nécessaire d'employer une phraséologie simple et précise, chaque message doit être concis en indiquant les informations nécessaires. Lorsque vous contactez un organisme de contrôle, celui ci doit remplir un formulaire dénommé *strip* dans lequel doivent figurer les renseignements tels que : immatriculation, provenance, destination, type d'appareil, etc...

Le fait de quitter la fréquence se nomme cloturer et vous devez impérativement en informer le contrôleur, afin d'éviter des recherches qui seront lancées sans nouvelle de vous.

Les alphabets sont de deux types, l'alphabet radio et l'alphabet morse utilisé par les balises

A	Alpha	N	November	
---	-------	---	----------	--

B	Bravo	O	Oscar
C	Charlie	P	Papa
D	Delta	Q	Québec
E	Echo	R	Romeo
F	Fox (trot)	S	Sierra
G	Golf	T	Tango
H	Hotel	U	Uniforme
I	India	V	Victor
J	Juliet	W	Whisky
K	Kilo	X	X ray
L	Lima	Y	Yankee
M	Mike	Z	Zoulou

A	• —	N	— •
B	— • • •	O	— — —
C	— • — •	P	• — — •
D	— • •	Q	— — • —
E	•	R	• — •
F	• • — •	S	• • •
G	— — •	T	—
H	• • • •	U	• • —
I	• •	V	• • • —
J	• — — —	W	• — —
K	— • —	X	— • • —
L	• — • •	Y	— • — —
M	— —	Z	— — • •

Une exception à la règle radio est la dénomination des routes aériennes ou A se dit Ambre, B Blue, G Green, R Rouge et W White.

Les nombres d'un seul chiffre s'énoncent comme ils se prononce à l'exception de 1 qui se dit unité.

Les nombres à plusieurs chiffres s'énoncent comme une série de chiffres séparés.

Il existe également un code dénommé code Q et qui utilise les éléments suivants :

QFE	Pression atmosphérique au sol	QDM	Route magnétique vers une station
-----	-------------------------------	-----	-----------------------------------

QNH	Pression atmosphérique ramenée au niveau de la mer	QFU	Orientation magnétique d'une piste
QNE	Calage sur niveau de vol	QDR	QDM + 180°
QGO	Aérodrome fermé pour raisons météorologiques	QGP	Numéro d'ordre à l'atterrissage

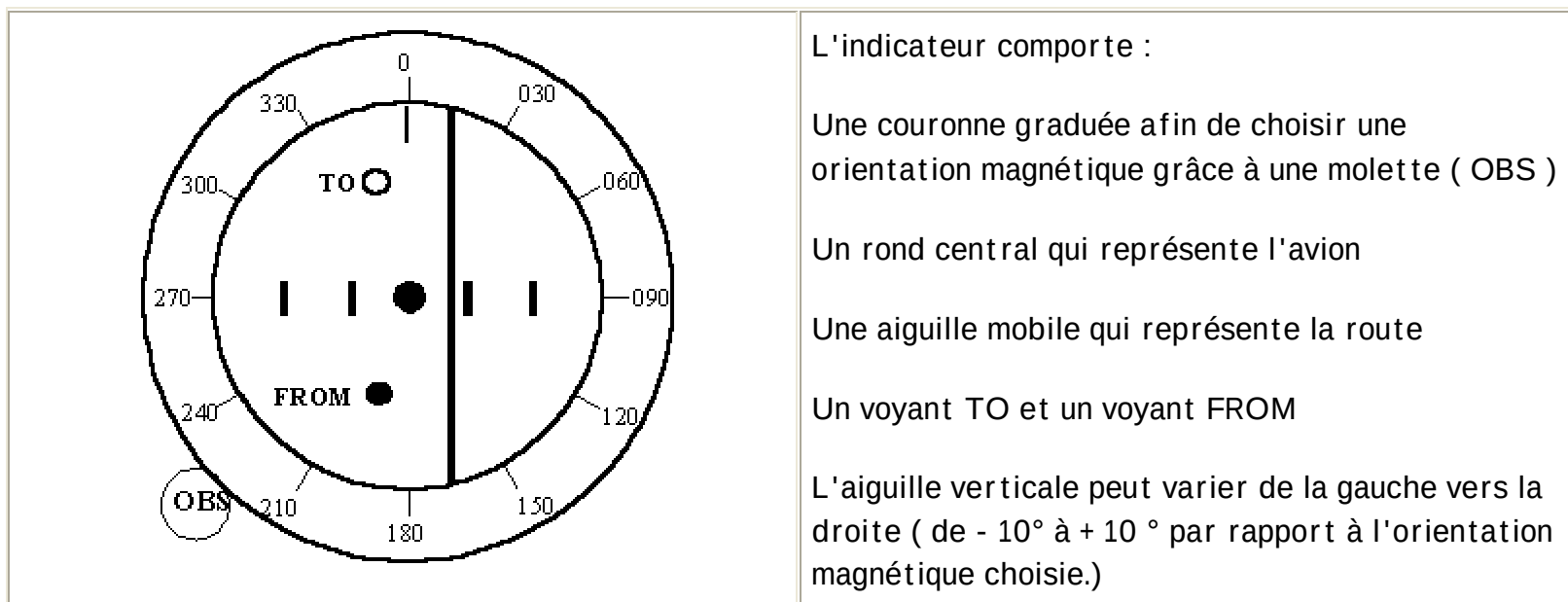
VI.5.4 - Le VOR

Le VOR est un moyen de navigation parfois implanté sur un aérodrome, parfois implanté en campagne.. Son indicatif comporte 3 lettres et sa portée est optique (Réception à vue sans obstacle, plus l'avion est haut, meilleure est la réception).

L'émission VOR s'effectue dans la plage de fréquence VHF de 108 à 117,95 Mhz , et pour chaque émetteur, sur les cartes au 1/500000^{ème} OACI et de radionavigation au 1/1000000^{ème} sont indiqués :

- son emplacement
- son indicatif (en clair, transmis en morse)
- sa fréquence
- une rose orientée NORD Magnétique permettant la lecture directe d'un QDR.

La réception VOR utilise trois éléments : l'antenne généralement en forme de V, le boîtier de commande comparable à un boîtier radio (ne pas confondre, les fréquences ne sont pas les mêmes)



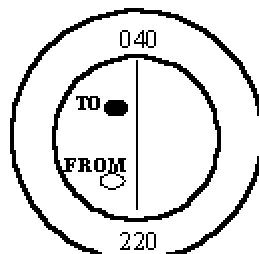
L'INDICATION EST INDEPENDANTE DU CAP DE L'AVION.

Utilisation :

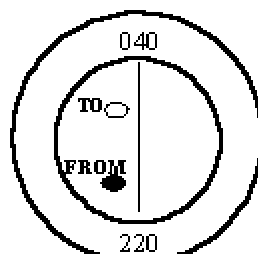
Phase une : Dès la mise sous tension et après avoir sélectionné une fréquence, vous devez entendre l'indicatif morse de cette fréquence (exemple pour Dinard trait-point-point suivi de point-point et de trait-point) Il est possible de réduire au maximum cette réception auditive.

Phase deux : En tournant la couronne sur 360°, l'aiguille se déplace et passe deux fois au niveau zéro, une fois avec l'indicateur TO et une fois avec l'indicateur FROM, car une fois sur le QDM et une fois sur le QDR (QDM et QDR sont à 180° l'un de l'autre)

Le QDM indique la direction à prendre pour rejoindre la station et le QDR pour s'en éloigner selon une orientation magnétique précise



Vous êtes sur le QDM 40



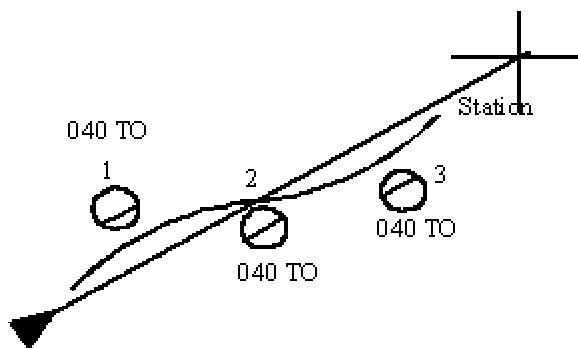
Vous êtes sur le QDR 220

Sur le QDM 40 il faudrait prendre le cap compas 40 pour rejoindre la station et sur le QDR 220, il faudrait prendre le cap 220 pour avoir la station dans l'axe arrière

Le QDM et le QDR n'indique jamais le cap de l'avion mais la direction qu'il faudrait prendre pour rejoindre la balise.



VI.5.4.1 Utilisation du VOR en alignement



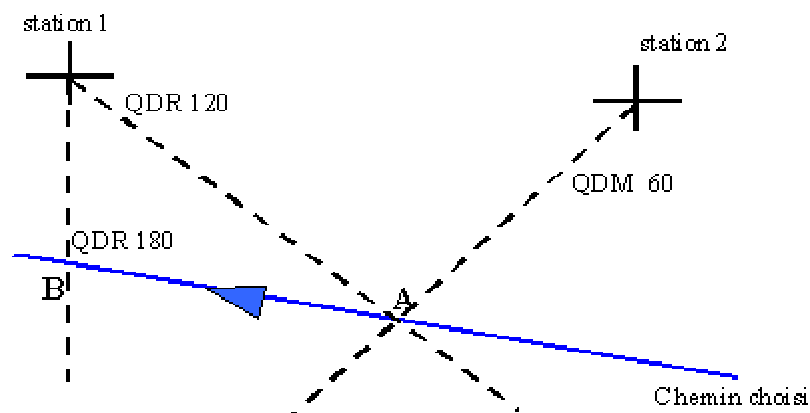
Vous êtes au sud / sud-ouest de la station et voulez suivre le QDM 40 jusqu'à la station. Après avoir affiché 040 en indication magnétique, vous virez jusqu'à avoir l'aiguille centrée et l'indicateur TO allumé (QDM 40). Ensuite, au point 1 il faut venir sur la droite , au point 2 vous êtes sur l'axe, et au point 3 il faut venir sur la gauche.

Une fois l'indicateur TO éteint et l'indicateur FROM allumé, vous êtes sur le QDR 40 et utiliser le même principe pour vous éloigner de la station

A l'approche de la station, vous entrez dans le cône d'incertitude et l'appareil n'arrive plus à distinguer les routes, en général les deux voyants TO et FROM sont inactifs et parfois le voyant OFF est allumé

VI.5.4.2 Utilisation du VOR en butée de navigation

Le VOR peut également être utilisé afin d'effectuer un point de navigation ou d'indiquer une butée de navigation (point particulier de la navigation).



Votre navigation vous fait parcourir le trajet de A vers B, au point A il vous est possible de contrôler votre position car vous devez être à la fois sur le QDM 60 de la station 2 et le QDR 120 de la station 1.

Au point B, le QDR 180 de la station 1 peut vous indiquer le moment auquel il faut contacter un contrôle, ou bien que vous avez manqué votre destination (elle est derrière).ou tout autre décision pré programmée de pilotage à prendre

VI.5.5 - Le radio Compas

Le radio compas est constitué d'un ensemble antenne, boîtier et indicateur qui indique l'angle (*gisement*) que fait l'axe de l'avion avec la direction de la station.

Contrairement au VOR, deux avions sur le même QDM mais ayant des caps différents n'ont pas la même indication instrumentale.

Pour obtenir le QDM à partir du gisement, il faut additionner le CAP et le GISEMENT

$$\text{QDM} = \text{CAP} + \text{GISEMENT}$$

Le radio compas est sensible aux perturbations atmosphériques de type orage (attention)

VI.5.6 - [Le gonio](#)

Le gonio ou VDF (VHF Direction Finding) est une aide à la navigation qui nécessite un équipement spécifique au sol. Cet équipement permet à l'opérateur au sol de relever votre relèvement par rapport à lui, et en retour il peut vous transmettre le QDM pour le rejoindre L'avantage de cette méthode est que vous n'avez besoin que d'une VHF, mais l'inconvénient réside dans le fait que toutes les stations sol n'en sont pas équipées (liste et fréquence dans les compléments aux cartes de radio-navigation)

VI.5.7 - [Le transpondeur](#)

C'est un système dit de radar secondaire qui, associé au radar au sol permet d'identifier clairement un avion. Le radar au sol envoie à l'avion une interrogation à laquelle le transpondeur répond en indiquant le numéro à 4 chiffres (de 0 à 7 par chiffre) que le pilote a affiché. Cette réponse est alors, au sol, décodée et permet d'avoir un affichage personnalisé (motif, immatriculation ou numéro) sur le scope radar du contrôleur.

Certains transpondeurs dit mode C indiquent de plus le niveau de vol de l'avion. Les transpondeurs simples sont dit mode A

Certains numéros sont réservés à des utilisations particulières :

7000	SANS INDICATION DE CONTROLE (Sécurité de vol)
------	---

7500	DETOURNEMENT
7600	PANNE RADIO
7700	DETRESSE

VI.5.8 - [Le DME](#)

Cet appareil mesure la distance oblique entre l'appareil et une station au sol en analysant le signal émis par l'avion et retransmis par la station.

Le DME (Distance Measuring Equipement) est en général associé à un VOR, mais toutes les stations VOR ne disposent pas du retransmetteur

L'indication fournie correspond à la distance oblique entre l'avion et la station, et indique alors votre altitude lorsque vous êtes à la verticale de la station.

VI.5.9 - [ILS et GCAs](#)

Ce sont des installations au sol permettant de visualiser sur un indicateur similaire au VOR (deux aiguilles perpendiculaires) le plan de descente et l'axe de piste.

L'aiguille horizontale se nomme le Glide et indique la position par rapport au plan de descente (en haut, l'avion est trop bas, il faut remonter) (en bas vous êtes trop haut il faut descendre)

TOUJOURS SUIVRE L'AIGUILLE

L'aiguille verticale indique la position par rapport à l'axe de la piste(a droite l'avion est trop à gauche et à gauche l'avion est trop à droite).

L'indicateur associé est en général celui du VOR qui n'a plus d'utilité en approche de piste.

Parfois ce système est associé à des marqueurs permettant d'indiquer en plus la distance à la piste. Ces marqueurs sont des faisceaux d'onde très fin qui, captés par l'avion lorsqu'il passe à leur verticale allument des voyants de distance (il y en a trois), ce sont les outermakers