

I.1. Généralités sur l'information

Les informations associées à une **variable physique** comme par exemple la **température**, l'**humidité**, la **pression**, peuvent être de nature : **analogique**, **numérique** ou **logique**.

Information Analogique : Une information **analogique** (tension ou courant) est proportionnelle à la grandeur physique à mesurer. Elle est continue dans le temps et peut prendre une infinité de valeurs.

Information Logique : Une information **logique** est associée à une variable binaire. Elle ne peut prendre que deux états distincts : '0' ou '1', vrai ou faux, haut ou bas.

Information Numérique : Une information **numérique** est une information binaire codée sur plusieurs fils ou bits de différents poids représentant une valeur numérique (mot).

I.2. Chaîne d'information

La chaîne d'information est la partie d'un système automatisé qui capte l'information, la traite et enfin la communique à la chaîne d'énergie sous forme d'ordres. Cette chaîne peut être découpée en plusieurs blocs fonctionnels (sous-ensemble mettant en évidence une fonction technique).

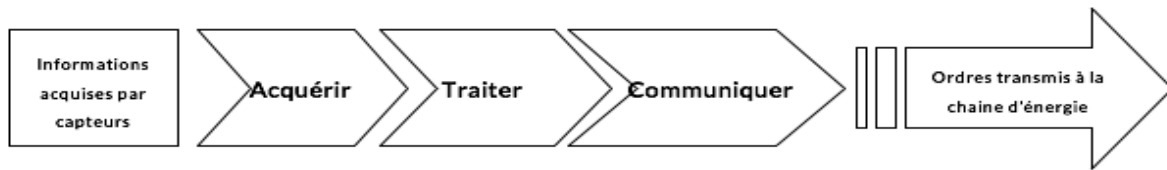
I.3. Caractéristiques d'une Chaîne d'information : On peut découper la chaîne d'information en plusieurs blocs fonctionnels qui sont.

Acquérir : Fonction qui permet de prélever des informations à l'aide de **capteurs**.

Traiter : C'est la partie commande composée d'un automate ou d'un microcontrôleur.

Communiquer : Cette fonction assure l'interface l'utilisateur et/ou d'autres systèmes.

Transmettre : Cette fonction assure l'interface avec l'environnement de la partie commande



I.4. Chaîne d'énergie

Dans un système automatisé, on appelle une chaîne d'énergie l'ensemble des procédés qui vont réaliser une action (dit : **actionneur**). Les blocs fonctionnels de cette chaîne d'énergie sont :

Alimenter : Mise en forme de l'énergie externe en énergie compatible pour créer une action.

Distribuer : Distribution de l'énergie à l'actionneur réalisée par un distributeur ou un contacteur.

Convertir : L'organe de conversion d'énergie appelé actionneur peut être un vérin, un moteur...

Transmettre : Cette fonction est remplie par l'ensemble des organes mécaniques de transmission de mouvement et d'effort : engrenages, courroies, accouplement, embrayage.....

II. GENERALITES SUR CAPTEURS ET DETECTEURS

II.1. Introduction :

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs ...), on a besoin de mesurer ou de contrôler de nombreuses grandeurs physiques (température, force, position, vitesse, luminosité, ...). Le **capteur** est l'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques.

II.2. Ou'appelle-t-on par capteur ?

II.2.1. Un capteur : est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique mesurable (vitesse, pression, lumière, température), une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée (un signal électrique de nature analogique ou numérique) est utilisable à des fins de mesure ou de commande.

II.2.2. Un détecteur : est aussi un capteur qui délivre des signaux électriques correspondant au franchissement d'un seuil (niveau,...). L'information est alors en logique binaire 0 ou 1.

Les systèmes automatisés, la robotique, l'informatique ont démultiplié l'utilisation des capteurs et détecteurs en véritables auxiliaires de commande automatique.

II.2.3. Famille des Capteurs : Il existe deux catégories de capteurs :

a. **Capteurs Actifs** : Un capteur actif fonctionne en **générateur**.

Principe : un effet physique assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement.

b. **Capteurs Passifs** : Il s'agit généralement de **capteurs résistifs sensibles à la grandeur mesurée**. Ils ont besoin d'être alimentés pour fonctionner.

II.3. Eléments de Métrologie

a. **L'incertitude (dx)** : Le résultat de la mesure x d'une grandeur X n'est pas complètement défini par un seul nombre. Il faut au moins la caractériser par un couple (x, dx) et une unité de mesure dx est l'incertitude sur x . Les incertitudes proviennent des différentes erreurs liées à la mesure.

b. **Justesse** : Un capteur est juste si ses valeurs ne changent pas quand on les compare à des valeurs étalon, ou à des valeurs données par d'autres capteurs normalisés.

c. **Sensibilité S_c** : C'est le coefficient qui lie la grandeur physique d'entrée à mesurer à la grandeur électrique de sortie.

$$S_c = \frac{d(\text{entrée})}{d(\text{sortie})}$$

d. **Linéarité**: Un capteur est linéaire si sa sensibilité est constante. La relation entre grandeur physique à mesurer et grandeur électrique est alors linéaire (équation d'une droite).

e. **Fidélité**: Un capteur est fidèle si ses valeurs ne changent pas au cours du temps (mesures reproductibles) : si on mesure deux fois la même grandeur à deux moments différents, on doit obtenir deux fois la même valeur.

g. **Plage de mesure**: C'est la gamme des valeurs d'entrée qu'il peut traiter sans dégrader son fonctionnement.

h. **Rapidité/temps de réponse**: Un capteur est caractérisé par son temps de montée t_m (ou t_r : rise time) à 90% ou 95% : c'est le temps au bout duquel la sortie atteint 90% ou 95% de sa valeur finale quand la grandeur d'entrée est un échelon.

Rappel :

Les instruments de bord

Les instruments de bord servent d'interface entre le pilote et toutes les informations utiles au maintien en vol de l'aéronef, à la navigation, aux communications avec les infrastructures de la gestion du trafic aérien.

Les instruments de bord sont regroupés selon leur fonction :

- INSTRUMENTATION DE PILOTAGE
- INSTRUMENTATION DE NAVIGATION
- INSTRUMENTATION DE MOTOPROPULSEUR
- INSTRUMENTATION DE GESTION DES TELECOMMUNICATIONS
- :
- INSTRUMENTATION DE GESTION DES SERVITUDES

I. INSTRUMENTATION DE PILOTAGE :

PILOTAGE : est l'action de conduire un véhicule à moteur, pour assurer cette action convenablement

I.1. horizon artificiel : constitué de gyroscopes, permet de mesurer l'inclinaison et l'assiette de l'avion et surtout de garder une référence en cas de perte visuelle de l'horizon naturel.

I.2. Anémomètre : (dit badin, du nom de Raoul Badin, son inventeur) permet de mesurer la vitesse de l'avion par rapport à l'air.

I.3. Altimètre : c'est un simple baromètre mais gradué directement en altitude. Chaque tour correspond à 1000 pieds. On peut voir une fenêtre qui indique le calage de l'altimètre, ici 1023 hPa, qui correspond à une pression au niveau de la mer, calculée pour nous par le contrôleur. Ce calage est très important. Observez la différence d'altitude entre les 2 altimètres. L'un (à 1023) indique l'altitude (450 pieds QNH) du terrain, l'autre (à 1006) indique, ici, 0, soit la hauteur (QFE) par rapport au sol.

I.4. Variomètre : indique la vitesse verticale de l'avion en mesurant la différence de pression atmosphérique. Il est gradué en pieds par minute. 1 m/s = 200 ft/min

II. INSTRUMENTATION DE NAVIGATION :

NAVIGATION : Technique du pilotage des avions. Activité relative aux voyages dans l'air.

II.1. compas : Conservateur de cap (ou directionnel), c'est un gyroscope qui permet une lecture stable du cap suivi par l'avion. **Le compas magnétique** (non photographié) flotte dans un fluide comme une boussole et tend à danser la gigue dans les turbulences.

II.2. ILS : Système d'atterrissage aux instruments

L'ILS est utilisé pour les atterrissages tous temps en Vol aux instruments. L'indication « droite-gauche » est transmise par une émission VHF (de 108,10 à 111,95 MHz), tandis que l'indication « haut-bas » est transmise par une émission UHF (de 334,7 à 330,95 MHz).

II.3. VOR : Le récepteur VOR, une fois réglé sur la fréquence de la balise au sol, comporte une aiguille qui permet de se situer par rapport à cette balise. L'application directe est de connaître la direction à prendre pour rejoindre ou s'éloigner de la balise.

II.4. GPS : (Global Positioning System)

L'information délivrée au pilote est sa position sur le globe terrestre (latitude, longitude et, avec une mauvaise précision, altitude), sa route vraie ainsi que sa vitesse par rapport au sol. Il n'est pas considéré comme un instrument primaire, du fait de sa dépendance au réseau de satellites américains. On l'utilise comme aide en navigation de vol à vue.

III. INSTRUMENTATION DE MOTOPROPULSEUR : regroupe les organes de contrôle de l'appareil, qui produisent et transmettent le mouvement

III.1. Tachymètre : c'est le compte-tours du moteur. Sur certains avions, il est directement lié au régime de l'hélice. Il indique la vitesse de rotation du moteur (en tours/minutes) ou d'un réacteur (en % d'un régime nominal).

III.2. contrôleur de température : L'indicateur de température d'huile, à surveiller de temps en temps, pour détecter la surchauffe du moteur due par exemple à une montée prolongée.

III.3. Manomètres : Ils indiquent les pressions d'huile, de carburant ou d'admission.

III.4. L'horamètre sert à mesurer le temps de fonctionnement du moteur. C'est primordial pour l'entretien où les visites ont lieu toutes les 50 heures. Accessoirement, c'est comme cela que l'on me facture mes heures de vol...

III.5. La pompe à vide sert à entraîner les gyroscopes des différents instruments. En panne, il n'y a plus d'horizon artificiel, de conservateur de cap, donc pas une solution d'avenir de nuit...

III.6. Les jaugeurs d'essence donnent une indication sommaire sur le contenu des réservoirs. Le seul truc dont on est à peu près sûr, c'est que 0, c'est vide. Après...

III.7. la charge batterie fournit le courant de charge de l'alternateur vers la batterie. Typiquement, on démarre donc on tire sur la batterie. Ensuite, en fermant le circuit alternateur, l'aiguille passe du côté "+" puisque la batterie demande du courant.

Avertisseur de décrochage

Il émet un signal sonore ou une vibration du manche au pilote lorsque l'avion s'approche de l'angle d'incidence maximum avant le décrochage.

Avertisseur de proximité du sol

L'avertisseur de proximité du sol permet de prévenir (par un message vocal) le pilote lorsque l'avion s'approche du sol. Une version améliorée possède en plus une cartographie plus ou moins fine du terrain qui est présentée aux pilotes sur les écrans des systèmes électroniques des instruments de vol en cas d'alarme. Sur A380, le programme présente une vue en coupe latérale du plan de vol.

Dispositif d'évitement de collisions

Le dispositif d'évitement de collisions permet de prévenir (sur un écran et par un message vocal « trafic ») le pilote lorsque l'avion s'approche d'un autre appareil.

IV. INSTRUMENTATION DE GESTION DES TELECOMMUNICATIONS :

La Télécommunication : est l'Ensemble des procédés de transmission d'informations à distance ; en utilisant le système radiotéléphonique, le système d'intercommunication de bord,...

Le système radiotéléphonique permet de transmettre des clairances et des informations importantes pour la sécurité de la circulation aérienne et l'efficacité de la gestion du trafic aérien.

On distingue deux types de services mobiles aéronautiques régis par des procédures différentes¹ :

- le service mobile aéronautique (R) (« en route dans des couloirs aériens ») réservé aux communications relatives à la sécurité et à la régularité des vols, principalement le long des routes nationales ou internationales de l'aviation civile²;
- le service mobile aéronautique (OR) (« hors des routes ») destiné à assurer les communications, y compris celles relatives à la coordination des vols, principalement hors des couloirs aériens³.

V. INSTRUMENTATION DE GESTION DES SERVITUDES :

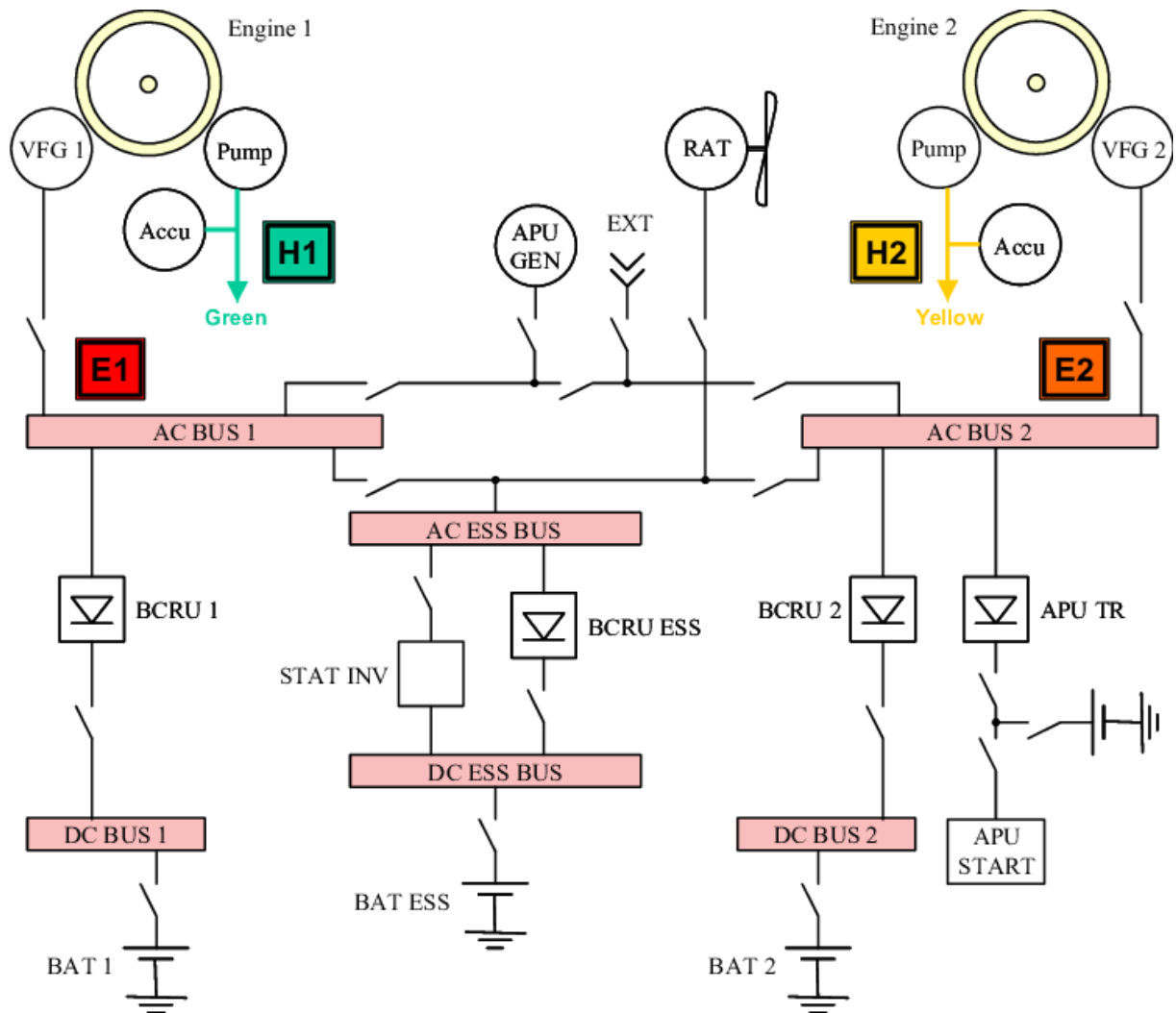
Génération et distribution électrique

L'ensemble des systèmes présents sur un avion militaire ou un avion de ligne civil moderne représente une puissance de plusieurs dizaines de kW. Les plus gros consommateurs sont les systèmes de dégivrage (Dans l'aéronautique, le **dégivrage** consiste à retirer la glace et le givre accumulés sur les avions et l'**anti-givrage** s'attache à éviter la formation de glace nouvelle) en vol et cuisines de bord. Les appareils construits dans les années 1950 à 1970 étaient équipés de génératrices de courant continu 28 V. La plupart des appareils

actuels sont équipés d'alternateurs produisant du courant alternatif triphasé 115/200 V - 400 Hz.

Dans le cas nominal la puissance est exclusivement fournie par les générateurs entraînés par le ou les moteurs. En cas de panne moteur le mode de secours est fourni par une batterie 28 V continu. Sur les appareils gros porteur on dispose d'un groupe auxiliaire de puissance qui fournit la puissance nécessaire au sol (moteurs à l'arrêt) et qui peut être utilisé en secours. En tout dernier ressort certains appareils sont équipés d'une éolienne rétractable.

À puissance égale, le bilan de masse est plus favorable au courant alternatif. Par contre les alternateurs doivent tourner à vitesse constante bien qu'étant entraînés par des moteurs dont la vitesse de rotation varie d'où la nécessité d'un système de régulation de la fréquence lourd et complexe. Beaucoup d'équipements utilisent en fait du courant continu, la conversion étant effectuée dans l'équipement lui-même, ils peuvent accepter un courant alternatif à fréquence variable et on peut alors s'affranchir d'une régulation poussée.



Architecture type d'un biréacteur « plus électrique » 2H+2E, constituée de deux circuits hydrauliques ainsi que d'un réseau électrique AC et DC.

Servitudes hydrauliques

La plupart des mouvements mécaniques sont obtenus par des systèmes hydrauliques : sortie et rentrée du train d'atterrissage, rotation de la roulette de nez, déploiement des aérofreins et des volets, freins, gouvernes, etc. Le piston permet en effet d'obtenir un mouvement linéaire plus rapide et plus souple que le système vis sans fin et moteur électrique. C'est pourquoi on continue à trouver de l'hydraulique à bord malgré une tendance vers le tout électrique.

Les avions militaires préfèrent le tout électrique, au moins pour les systèmes vitaux, car moins sensible que l'hydraulique aux agressions ; de plus un générateur ou un moteur électrique peut accepter une surcharge de 200 % pendant quelques minutes et même 300 % ponctuellement.

On notera que même sur un avion dit « à commandes électriques », le mouvement final peut être obtenu par un système hydraulique.

Les servitudes de bord : sont l'ensemble des réseaux qui permettent le fonctionnement d'un aéronef et la vie à bord, en particulier le réseau électrique et la génération à bord.

Energie électrique : Le réseau électrique des avions est constitué d'une partie alternative triphasée (115/200 V – 400 Hz) et continue (28 V). Comme c'est généralement le cas pour les avions de transport, le réseau principal est alternatif, et le réseau secondaire est continu basse tension. Cette coexistence des deux formes de courant s'explique par leur complémentarité ; certains équipements sont naturellement mieux alimentés en courant alternatif, d'autres le sont mieux en courant continu. Avantagusement, les gros consommateurs sont généralement alimentés en alternatif tandis que les petits le sont en continu. Sur chaque réacteur est couplé un générateur (IDG : Integrated Drive Generator) permettant la génération électrique normale en 115/200 V AC. Le générateur est entraîné en rotation par le compresseur haute pression, tout comme la pompe hydraulique. Chaque générateur alimente un des bus alternatifs principaux (AC BUS). Il n'y a pas de mise en parallèle des générateurs, ce qui signifie que les bus principaux ne sont jamais interconnectés en fonctionnement normal². Cependant, un générateur peut prendre en charge l'alimentation d'un autre bus pour lequel l'IDG associé aurait été perdu après une panne quelconque.

Le réseau continu (28 V DC) est obtenu à partir du réseau alternatif (115/200 V AC) à l'aide de plusieurs unités transformateurs-redresseurs (TRU :Transformer Rectifier Unit).

Plusieurs sources auxiliaires sont embarquées sur l'avion. Elles permettent de réaliser des fonctions particulières, telles que le démarrage de l'avion, ou d'assurer une génération électrique en cas de panne.

Les sources auxiliaires sont :

- **Des batteries** : en fonctionnement normal, elles ne sont pas connectées au reste du réseau. Elles peuvent être utilisées pour la mise sous tension de l'avion, avant son démarrage. Dans les situations d'urgence, elles assurent la continuité de l'électricité pendant des périodes transitoires en vol, et permettent de terminer un atterrissage (exemple : l'évacuation des passagers). A elles seules, ces batteries peuvent maintenir un niveau de tension suffisant, en alimentant seulement quelques équipements, pendant une dizaine de minutes. N'étant normalement pas utilisées en vol, elles ne sont couplées au réseau continu que lorsqu'elles doivent être chargées.

- **Un CSM/G (Constant Speed Motor/Generator)** : c'est le générateur électrique de secours. Il permet de générer de l'électricité en 115/200 V – 400 Hz à partir d'un circuit hydraulique. De faible puissance, il alimente la partie vitale du réseau électrique en cas d'urgence. Il est lui-même alimenté par la RAT ou par l'hydraulique moteur suivant l'avion et suivant les cas de panne.

En cas de perte totale moteur, la RAT est obligatoirement utilisée, et entraîne une dégradation des performances. Il peut même se produire une rupture de l'alimentation hydraulique du CSM/G par l'intermédiaire d'une vanne, car la priorité est donnée aux commandes de vol. Dans ce cas, un fonctionnement temporaire sur batteries est nécessaire.

- **Un APU (Auxiliary Power Unit)** : qui est un groupe fonctionnant au kérosène. La turbine entraîne un alternateur triphasé 115/200 V – 400 Hz. L'APU est normalement utilisé au sol. Il permet la génération d'air pour le

démarrage des moteurs en autonome. Il intervient pour la plupart des démarrages dans les aéroports.

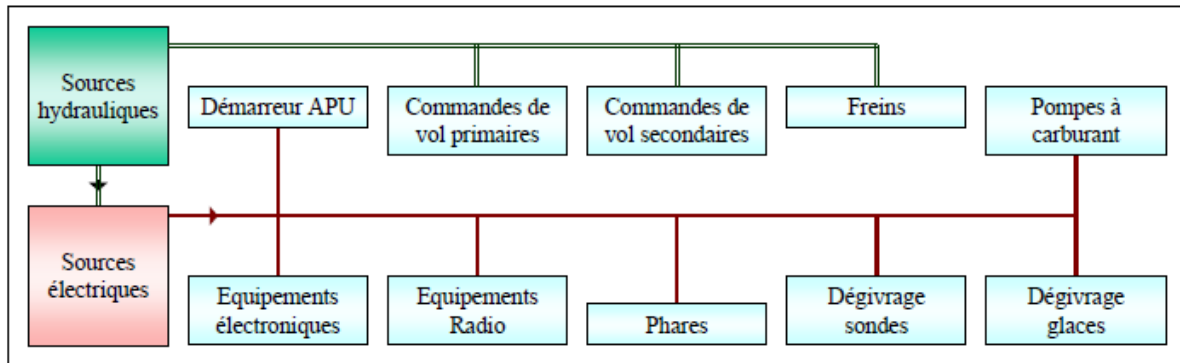
Attention : l'APU n'est pas un élément de secours. En effet, l'avion est prévu pour décoller et fonctionner normalement sans lui. Il n'est donc pas pris en compte dans le calcul de probabilité de défaillance de l'avion. En outre, sa disponibilité est contestable en vol, car le démarrage de la turbine en altitude est difficile, et il est souvent nécessaire de s'y reprendre à plusieurs reprises. L'APU n'est pas jugé suffisamment fiable, d'autant plus qu'il n'est pas totalement autonome puisqu'il utilise le même kérosène que les réacteurs.

- En pratique, il est néanmoins intéressant de l'utiliser en vol dans le cas d'une perte partielle ou totale de la génération électrique, car il est capable de fournir une énergie conséquente. Par contre, la turbine entraînant le générateur de l'APU ne peut fonctionner à une altitude élevée, ce qui impose la descente de plusieurs niveaux de vol. Les réacteurs fonctionnant normalement, la puissance hydraulique est maintenue ; l'avion peut terminer le vol avec de nombreuses charges « commerciales » en service, et donc avec un meilleur confort.

- Le démarrage de l'APU doit être effectué dans certains cas de perte totale des moteurs. Si le redémarrage des moteurs par la force de l'air extérieur (« windmilling ») a échoué, l'air fourni par l'APU donne une chance supplémentaire de retrouver les réacteurs. Sa génération électrique peut également être utilisée, augmentant ainsi la sécurité de l'avion.

Enfin, une dernière possibilité d'alimenter l'avion est le recours aux groupes de parc, par l'intermédiaire d'une ou deux prises de parc. Ces prises permettent l'alimentation au sol en triphasé 115/200 V – 400 Hz.

Les principales charges hydrauliques et électriques à alimenter en secours :
sont montrées sur la Figure.



Les sources hydrauliques alimentent les plus gros consommateurs, à savoir les actionneurs de commande de vol et les freins des roues. En cas de perte de la génération principale uniquement, les sources hydrauliques sont les pompes entraînées par les moteurs. En cas de perte totale des moteurs, la génération hydraulique de secours est obtenue par la RAT (Ram Air Turbine), excepté après l'atterrissage ou celle-ci n'est plus disponible. La source hydraulique utilisée pour le freinage des roues est alors constituée par des accumulateurs hydrauliques locaux.

Les équipements électriques sont alimentés par deux types de sources : les batteries ou le générateur CSM/G (Constant Speed Motor/Generator : c'est le générateur électrique de secours), lui-même alimenté par l'hydraulique.

Contrôles Electriques : assurés par :

- Les interrupteurs « batterie et alternateur » : en basculant l'interrupteur, tous les appareils électriques (radios, phares, démarreur) sont disponibles. Quand le moteur tourne, l'alternateur permet de recharger la batterie et de fournir l'électricité dans l'avion.
- disjoncteur alternateur : si l'alternateur part à la masse, on essaie de le réenclencher, sinon économie d'électricité à bord... et déroutement
- La balise de détresse se déclenche automatique (position auto) en cas de décélération brutale et émet en continu sur 121.500 MHz.
- injection carburant (primer) : en hiver, cela permet d'injecter directement de l'essence dans les cylindres sans passer par le carburateur.

- fusibles : tout branchement électrique est protégé par son fusible, par exemple, la radio, les phares, etc.
- Les interrupteurs pour les différents feux :
 - de navigation à allumer si la visibilité est faible (rouge à gauche, vert à droite et blanc derrière),
 - anticollision à allumer à partir du moment où l'on va démarrer le moteur jusqu'après son arrêt,
 - d'atterrissage à allumer dans le circuit d'aérodrome ou dans les zones à fort trafic pour la sécurité, et bien sûr, de nuit pour atterrir,
 - de roulage à allumer au sol. La différence entre ces deux phares se trouve dans la forme et la position du faisceau lumineux.

L'ALIMENTATION ELECTRIQUE

En dehors du système d'allumage du moteur qui doit être impérativement indépendant, les avions sont équipés d'un circuit électrique général d'alimentation des divers équipements, notamment au niveau de la cabine.

L'énergie initiale est fournie par une batterie de plus ou moins grande capacité.

La capacité d'une batterie définit la quantité d'électricité qu'elle peut débiter et qui est exprimée en Ampère-heure (Ah).

A la décharge, le courant normal susceptible d'être débité sans risque de détérioration correspond à une décharge totale en dix heures, c'est-à-dire un courant égal au dixième de la capacité. Il en est de même lors de la charge. Néanmoins, un courant de plus forte valeur peut être supporté sans inconvénient pendant un temps pas trop long.

- 1) Les différents types de batterie :
- 2) Le problème de la batterie déchargée :
- 3) L'alternateur et le régulateur :
- 4) La panne électrique :
- 5) Le feu d'origine électrique :
- 6) La mise en route d'un avion :

7) La prise de parc :

8) L'APU :

1) **Les différents types de batterie :**

On distingue :

a) **Les batteries à électrolyte liquide :**

Les batteries à électrolyte liquide sont d'un emploi généralisé malgré leurs deux inconvénients principaux :

- Il faut veiller à ce que le niveau d'eau distillée reste au-dessus d'un minimum, faute de quoi l'acide de l'électrolyte ne pourrait pas jouer son rôle.

- En cas de fuite de liquide, l'acide dilué attaque et ronge les matériaux qu'il touche. Même les vapeurs suffisent. De ce fait, le compartiment de la batterie doit être énergiquement ventilé et il ne faut pas faire de manœuvres pouvant permettre à l'électrolyte de s'échapper.

b) **Les batteries à électrolyte sec :**

Les batteries à électrolyte sec ou batteries sèches, comme les batteries étanches, sont utilisées en particulier pour les avions de voltiges.

Ainsi, on trouve des batteries au plomb (24 V, 35 A/h environ) qui sont toutefois sensibles à la température surtout en partie déchargée. Ces batteries qui ont une durée de vie de 3 ans en moyenne, nécessitent un entretien important.

On trouve également des batteries au cadmium - nickel (alcaline) qui ont toujours une même tension et un même ampérage. Ces batteries peu sensibles à la température sont étanches et ont une durée de vie de 10 à 15 ans mais elles sont 10% plus lourde pour une même énergie avec une possibilité d'emballement thermique.

2) **Le problème de la batterie déchargée :**

Il ne faut jamais laisser une batterie se vider complètement de son énergie et surtout la laisser dans cet état.

En effet, lorsque la décharge est complète "batterie à plat", des dépôts de couleur émeraude et granuleux se forment sur les bornes. On dit alors que la batterie se sulfate et qu'elle se détériore.

Ainsi, si l'avion doit être immobilisé longtemps, il faut débrancher les bornes, bien les nettoyer puis les enduire de graisse et entreposer ensuite la batterie dans un endroit sec.

3) **L'alternateur et le régulateur** :

Chaque fois qu'un appareil électrique est mis en route, il tire sur la batterie qui se décharge plus ou moins rapidement.

A noter que le démarreur et les phares d'atterrissage sont gourmands en énergie.

Il faut par conséquent prévoir un dispositif pour rétablir la charge des accumulateurs de la batterie.

C'est l'alternateur qui remplit maintenant ce rôle autrefois dévolu à une dynamo sur certains moteurs.

Ainsi, l'avion possède un dispositif qui permet de charger ses batteries ou ses accumulateurs.

On utilise en principe pour produire de l'électricité à bord de l'avion :

a) **Un alternateur** :

L'alternateur produit un courant électrique alternatif de 115 V et 400 Hz qui est ensuite converti à l'aide d'un redresseur en 28 V pour recharger la batterie.

b) **Une génératrice** :

La génératrice ou la dynamo produit un courant continu de 28 V qui peut aussi fournir à l'aide d'un redresseur un courant électrique alternatif de 115 V et 400Hz.

A noter aussi la présence d'une barre bus qui est chargée de recevoir le courant électrique d'origine pour le dériver ensuite vers les différents postes.

Pour surveiller la production d'électricité à bord de l'avion ainsi que le fonctionnement des divers équipements, le pilote dispose d'un ampèremètre qui mesure l'intensité du courant électrique exprimée en ampères et d'un voltmètre qui mesure la tension du courant électrique exprimée en volts.

La puissance du courant électrique correspond au produit de la tension et de l'intensité :

Puissance électrique = Tension du courant x Intensité du courant

$W = T \times I$

4) La panne électrique :

La panne électrique la plus courante est l'oubli par le pilote de mettre le contact de l'alternateur.

En effet, l'alternateur tourne alors sans fournir le moindre courant.

Si l'étourderie persiste, le pilote s'apercevra de la chose quand la batterie sera très déchargée et que les accessoires électriques ne voudront plus fonctionner.

De plus, les radios ne vont plus porter et les aiguilles des instruments de radionavigation vont hésiter entre plusieurs indications.

Toutefois, en vérifiant la charge, le pilote va s'apercevoir que l'aiguille de l'ampèremètre est du côté négatif où elle sera venue tout doucement.

Une mise en route de l'alternateur résous le problème mais il faut prendre des précautions car on risque de le surcharger et de le détériorer.

En effet, la batterie étant à plat, elle va demander beaucoup de courant et pendant longtemps. Il ne faut donc pas donner encore plus de travail à l'alternateur en laissant en service des appareils électriques non indispensables.

Dans ce cas, le pilote doit procéder de la manière suivante :

- Couper tous les appareils électriques non indispensables.
- Réduire, si possible, avant de mettre le contact de l'alternateur.
- Mettre le contact alternateur puis reprendre un régime normal.
- Vérifier la charge de la batterie.

* Si elle est forte. Le pilote ne doit pas laisser le contact de l'alternateur en permanence mais l'arrêter de temps en temps pour laisser refroidir.

* Si c'est le disjoncteur qui coupe de lui-même, le pilote doit laisser refroidir davantage. Cet incident peut se produire plusieurs fois.

- Remettre en service progressivement les appareils électriques quand l'intensité de la charge est redescendue dans des valeurs plus acceptables.

* Si les mêmes symptômes se produisent alors que le contact est effectivement mis, c'est que l'alternateur est défectueux.

Un alternateur en panne peut compromettre un vol même de jour et par beau temps. De plus, de nuit, il est absolument hors de question de continuer et le premier aérodrome doit être impérativement utilisé pour atterrir.

- S'assurer que le disjoncteur n'a pas coupé le circuit. Si c'est le cas, le pilote doit le réenclencher et vérifier la charge.

Une valeur anormale du courant signifie qu'une anomalie est présente et que la panne totale n'est pas loin. L'alternateur n'est pas forcément en cause. Dans ce cas, le pilote peut essayer de localiser et d'isoler l'élément fautif. En effet, il peut s'agir d'une surcharge momentanée si le courant est normal, mais c'est un avertissement cependant à ne pas négliger.

Le pilote doit donc garder à l'esprit qu'un risque de panne est à prendre tout autant au sérieux qu'une panne franche. Il en sera de même pour une panne intermittente. C'est la surveillance fréquente des instruments qui permet de prévoir une défaillance.

Chaque fois qu'il y a un doute, le pilote doit tout de suite réduire la consommation d'électricité et rejoindre l'aérodrome le plus proche surtout par mauvais temps et la nuit.

De jour par beau temps, le problème est moins grave, mais peut néanmoins obliger à se poser ailleurs que prévu à cause de la radio qui ne fonctionnera plus.

Sur certains avions, le pilote risque aussi des ennuis de train d'atterrissage et de devoir utiliser aussi la sortie de secours.

Toutefois, si seul un appareil électrique ne fonctionne pas, le pilote doit alors vérifier le fusible correspondant.

5) **Le feu d'origine électrique** :

Le feu d'origine électrique sur un avion est rare. Le pilote le détecte tout de suite par l'odeur très acre qu'il dégage.

Normalement, le disjoncteur ou le fusible correspondant au circuit incriminé doit couper celui-ci mais le pilote doit néanmoins couper immédiatement le contact électrique général et l'alternateur.

Le pilote doit déterminer ensuite le circuit fautif et l'isoler avant de remettre la batterie en service sans oublier le contact alternateur.

Mentionnons qu'il est souhaitable d'avoir un extincteur à bord de la cabine, le cas échéant.

A noter que lors de la mise en route ou de l'arrêt de l'alternateur et des radios, il se produit des impulsions à tension élevée qui sont destructrices de transistors.

Le pilote doit donc s'assurer que toutes les radios sont coupées avant la mise en route et avant l'arrêt du contact de l'alternateur :

- **Après la mise en route** : Alternateur puis radios.
- **Avant l'arrêt** : Radios puis alternateur.

6) **La mise en route d'un avion** :

Si la mise en route d'un avion léger, autonome en énergie électrique, ne pose pas de difficultés particulières avec une batterie en bon état et bien chargée, il n'en est pas de même avec un avion de ligne équipé de réacteurs, donc plus sophistiqué et par conséquent nettement plus gourmand en énergie électrique au démarrage.

Ainsi, pour démarrer ce type d'appareil, il est nécessaire afin de disposer d'une énergie électrique suffisante de se servir d'un APU qui peut être parfois renforcé par une génératrice extérieure en cas de gros besoins.

Aussi, pour démarrer un avion "Cold and Dark", le pilote doit appliquer une procédure en suivant une check-list en effectuant des opérations dans l'ordre : l'électricité, l'APU, les centrales inertielles, les circuits hydrauliques et les circuits d'air, avant de procéder à la mise en route des réacteurs.

7) **La prise de parc** :

Certains avions sont équipés d'une prise de parc extérieure pour soulager la batterie au démarrage du ou des moteurs.

8) **L'APU** :

Un avion léger démarre en général avec sa batterie ou par l'intermédiaire d'une prise de parc qui amène l'énergie électrique nécessaire pour les divers besoins électriques.

Par contre pour un avion de ligne, le réacteur a besoin d'air comprimé pour se lancer sans parler aussi de la puissance nécessaire à l'alimentation des circuits hydrauliques ou d'air climatisé. A cet effet, les appareils à réaction sont équipés d'un APU (Auxiliary Power Unit) ou groupe d'alimentation auxiliaire qui est un moteur indépendant, à pistons ou à turbine à gaz, avec sa propre réserve de carburant.

L'APU est généralement situé dans la queue de l'avion où une pipe d'échappement trahit sa présence.

Ce moteur fait tourner une dynamo pour produire du courant électrique, ainsi qu'un compresseur à air.

A noter que l'APU qui est un moteur indépendant, possède son propre circuit d'extinction d'urgence en cas d'incendie. Le pilote doit alors armer sa sécurité avant de le manipuler et tester, le cas échéant, son alarme si elle est présente à bord.

La commande "START" de l'APU se trouve en principe sur le tableau supérieur (overhead) du cockpit.

Après avoir laissé le temps au moteur ou à la turbine de monter en puissance, il est possible de sélectionner cette source comme origine du courant électrique, à choisir selon la disponibilité d'une génératrice externe ou non.

En outre, l'APU sert aussi à alimenter le circuit d'air conditionné, voire le dégivre, sans oublier toutefois de vérifier que les vannes correspondantes à ces équipements soient ouvertes

Malgré que certains manuels de vol recommandent de couper l'APU dès que les génératrices associées aux réacteurs ont pris le relais pour alimenter électriquement l'appareil, on peut conserver l'APU en marche jusqu'en vol, durant la phase d'ascension.

En effet, si une panne de réacteur survient, le pilote risque alors de se retrouver dans un avion sans électricité avec peut-être des batteries insuffisamment chargées pour permettre un redémarrage d'urgence.

L'APU, malgré le risque d'incendie, est donc un système de sécurité qu'il est souhaitable de conserver jusqu'à 4 000 pieds au moins. Il faudra cependant le couper en altitude où la raréfaction de l'oxygène l'empêchera de fonctionner correctement.

Ainsi, une fois que l'APU fonctionne, le pilote peut le sélectionner comme source d'alimentation électrique dans le panneau dédié.

Certains appareils possèdent un contacteur rotatif à plusieurs positions : batteries, génératrices internes, génératrices externes, APU, Automatique.

En plaçant le curseur sur la position "Automatique", l'électronique embarquée est capable de trouver la meilleure source électrique pour s'alimenter.

A l'issue, de cette mise en route de l'APU, le pilote doit mettre en fonctionnement les centrales inertielle de bord (IRS) en les alimentant électriquement, autoriser aussi l'APU à alimenter les compresseurs des circuits hydrauliques, tout en ouvrant les vannes des circuits hydrauliques et d'air conditionné, tout en vérifiant les températures et les pressions de fonctionnement.

Toutefois, après avoir réglé la température en soute et en cabine, le pilote ne doit pas trop demander à l'APU car il ne peut délivrer de l'énergie électrique pour tous les systèmes de l'appareil car si la température extérieure est très basse, il devra en outre utiliser l'option de dégivrage (deicing) sur les nacelles des réacteurs. A cet effet, l'air chaud provenant de l'échappement de l'APU sera injecté sur ces parties sensibles avant le démarrage des réacteurs.

GLOSSAIRE :

Les instruments de bord :

Les infrastructures de la gestion du trafic aérien : البنية التحتية لإدارة الحركة الجوية .

ILS (L'Instrument Landing System (ILS) : ou Système d'atterrissage aux instruments est le moyen de radio-navigation le plus précis utilisé pour l'atterrissage IFR des aéronefs. L'ILS est aussi un type d'approche.

Le **VOR** est un système de positionnement radioélectrique utilisé en navigation aérienne et fonctionnant avec les fréquences VHF.),

GPS(Le Global Positioning System (GPS), originellement connu sous le nom de Navstar GPS, est un système de positionnement par satellites appartenant au gouvernement des États-Unis. Mis en place par le département de la Défense des États-Unis à des fins militaires à partir de 1973, le système avec 24 satellites est totalement opérationnel en 1995 et s'ouvre au civil en 2000.)

EIS (Electronic Information System) ou **CDS** (Cockpit Display System): EIS (نظام عرض قمرة القيادة) CDS (نظام المعلومات الإلكتروني) أو).

Chapitre IX : Le groupe motopropulseur

- Le moteur
- L'hélice
- Le circuit carburant et la combustion
- L'avitaillement
- L'allumage
- La carburation
- Le refroidissement et la lubrification
- La conduite du moteur

Rappels

- Le tableau de bord
- L'équipement minimum en VFR de jour
- L'équipement minimum en VFR de nuit
- Le circuit anémométrique
- Le circuit de dépression
- Le gyroscope
- Les instruments basés sur un principe gyroscopique
- Les instruments basés sur la pression atmosphérique

Chapitre I : L'anémomètre

- Pression dynamique et pression totale
- Le système de graduation
- Les différentes vitesses
- Le contrôle du fonctionnement

Chapitre II : L'altimètre

- Le principe de fonctionnement
- Les différents calages
- Les erreurs de l'altimètre

Chapitre III : Le variomètre

- Le principe de fonctionnement
- les corrections
- Les erreurs

05

06

07

10

13

14

16

17

18

20

21

22

23

24

25

26

34

35

36

37

40

41

Chapitre IV : Le compas magnétique

- Présentation
- Composition de l'instrument
- Les erreurs du compas à flotteur
- Les autres modèles

Chapitre V : Le conservateur de cap

- Le principe de fonctionnement
- Systèmes érecteurs et recalage

Chapitre VI : L'horizon artificiel

- Le principe de fonctionnement
- Lecture de l'instrument

Chapitre VII : La bille et l'indicateur de virage

- Bille
- L'aiguille

Chapitre VIII : Les EFIS

Chapitre IX : Le groupe motopropulseur

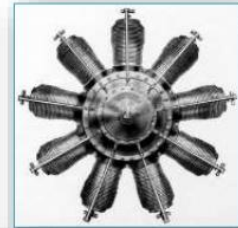
- Le moteur
- L'hélice
- Le circuit carburant et la combustion
- L'avitaillement
- L'allumage
- La carburation

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Les différents types (1/17)

- ▶ Dans les moteurs **thermiques**, en **aviation**, il existe **deux grandes familles** de moteurs : les moteurs à **piston** et les moteurs à **réaction**.
- ▶ L'aviation a commencé avec des moteurs à **piston rotatifs** comme le Gnome OMEGA en **1909**.
- ▶ Dans la catégorie des moteurs à **réaction**, on trouve :
 - ▶ Les **turbopropulseurs** qui font leur apparition en **1945**. À l'instar des moteurs à piston ils sont **équipés d'une hélice**. On les retrouve aujourd'hui sur l'Airbus **A400M** ou les **ATR**. Ils utilisent la technologie du turboreacteur générateur de puissance pour entrainer une hélice mais sont **limités en terme de poussée**.
 - ▶ Les **turboréacteurs** font leur apparition au début des **années 50**. A l'origine, ils sont à **simple flux**, mais la plupart sont désormais à **double flux** ce qui offre un meilleur rendement propulsif. Leurs **caractéristiques différent** en fonction de leur utilisation (Par exemple les avions de combat ou le Concorde avec la technologie de la **postcombustion** développée dans les années 60).



Instruments & GMP
François SUTTER (23/12/2018)

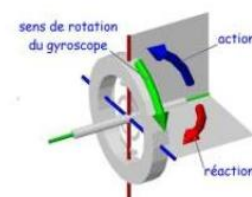
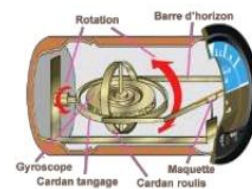
79/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

Rappels : Le gyroscope (6/8)

- ▶ Un **gyroscope** est composé d'un **rotor** (tournant à grande vitesse autour d'un axe).
- ▶ L'**entraînement** du rotor est assuré par la **pompe à vide** du circuit de dépression (ou par un **moteur électrique**).
- ▶ **3 instruments** utilisent un **gyroscope** : l'**horizon artificiel**, le **conservateur de cap** et l'**indicateur de virage**.
- ▶ Afin d'être **soustrait aux perturbations extérieures**, le **rotor** est **suspendu**. Grâce à la suspension, son **axe de rotation** acquiert une **très grande stabilité** et devient **fixe dans l'espace** en pointant toujours dans la même direction.
- ▶ Le gyroscope a **deux propriétés** :
 - ▶ Parce qu'il **tourne à vitesse élevée** (12 000 t/mn), il **conserve la même orientation dans l'espace** (comme une **toupie** tant qu'elle tourne à une vitesse importante qui reste verticale même sur un plan incliné). Cette propriété (**fixité dans l'espace**) permet au **gyroscope** d'être utilisé comme **repère angulaire**.
 - ▶ Si l'on tente de faire **tourner un gyroscope autour d'un axe perpendiculaire à son axe de rotation**, celui-ci **réagit avec un couple** s'exerçant de manière à faire basculer l'axe initial de rotation de manière à faire tourner le gyroscope dans le sens de l'action appliquée.



Instruments & GMP
François SUTTER (23/12/2018)

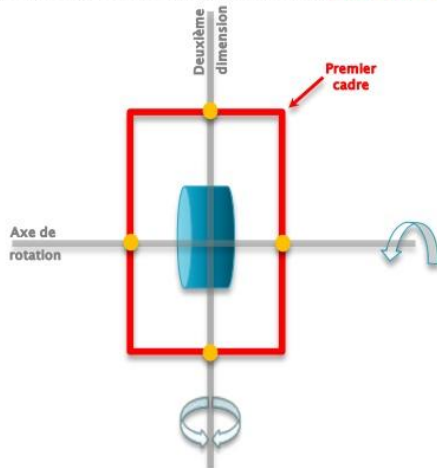
16/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

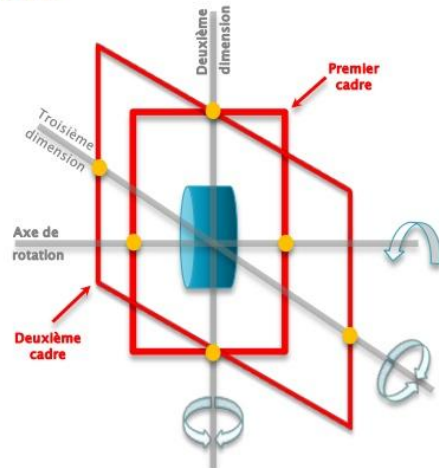
[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

Rappels : Le gyroscope (6/8)

- La **propriété** de **fixité** des gyroscopes permet de les utiliser comme des **plateformes de référence stables**, à bord des **avions**.
- Les différents types de gyroscope sont **caractérisés** par leur **degré de liberté**.



- 1 degré de liberté
- Conservateur de cap



- 2 degrés de liberté
- Horizon artificiel

: Roulement

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

Rappels : Les 3 instruments basés sur un principe gyroscopique (7/8)



Indicateur de taux de virage



Horizon artificiel



Conservateur de cap

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

Rappels : Les 3 instruments basés sur la pression atmosphérique (8/8)



Anémomètre



Altimètre



Variomètre

Le groupe Motopropulseur est composé du moteur, des circuits électriques ainsi que de la gestion des gaz



Chapitre IX : Le groupe Motopropulseur

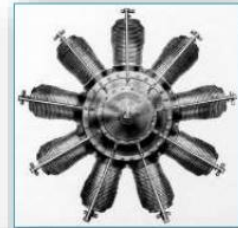
- > Les différents types de moteur
- > La position des cylindres
- > Le moteur piston à 4 temps
- > Détail des éléments du piston à 4 temps
- > Les 4 temps
- > Explication en vidéo
- > L'hélice
- > Le circuit carburant
- > La combustion
- > L'avitaillement
- > L'allumage
- > La carburation
- > L'injection
- > Les moteurs turbocompressés
- > Le refroidissement
- > La lubrification
- > La conduite du moteur

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Les différents types (1/17)

- ▶ Dans les moteurs **thermiques**, en **aviation**, il existe **deux grandes familles** de moteurs : les moteurs à **piston** et les moteurs à **réaction**.
- ▶ L'aviation a commencé avec des moteurs à **piston rotatifs** comme le Gnome OMEGA en **1909**.
- ▶ Dans la catégorie des moteurs à **réaction**, on trouve :
 - ▶ Les **turbopropulseurs** qui font leur apparition en **1945**. À l'instar des moteurs à piston ils sont **équipés d'une hélice**. On les retrouve aujourd'hui sur l'Airbus **A400M** ou les **ATR**. Ils utilisent la technologie du turboreacteur générateur de puissance pour entrainer une hélice mais sont **limités en terme de poussée**.
 - ▶ Les **turboréacteurs** font leur apparition au début des **années 50**. A l'origine, ils sont à **simple flux**, mais la plupart sont désormais à **double flux** ce qui offre un meilleur rendement propulsif. Leurs **caractéristiques différent** en fonction de leur utilisation (Par exemple les avions de combat ou le Concorde avec la technologie de la **postcombustion** développée dans les années 60).



79/101

Instruments & GMP

François SUTTER (23/12/2018)

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : La position des cylindres (2/17)

- ▶ Un moteur en **étoile** est un type de moteur à **pistons** dont les **cylindres** sont placés sur un **même plan autour du vilebrequin** et **axe de sortie moteur**. Le nombre de **cylindres** qui composent une rangée peut être de 3, 5, 7 ou 9. Certains moteurs « **double étoile** » ont **2 rangées** de 7 ou 9 cylindres disposés radialement autour du carter, l'un devant l'autre. Il existe aussi des moteurs en étoile à **4 rangées** de cylindres avec 7 cylindres dans chaque rangée soit **28 cylindres**. Le nombre de cylindres par rangée est **impair** pour des raisons **d'équilibrage** et de **régularité cyclique** et éviter les vibrations dues aux asymétries de poussée des bielles.
- ▶ Un moteur **en ligne** est un moteur à **combustion interne** dans lequel les **pistons se déplacent** dans un même **plan vertical**. Les **cylindres** sont **placés les uns à côté des autres**. Le moteur en ligne droite a disparu en aviation vers 1930 pour faire place au **moteur en ligne inversé**. Cette disposition à l'avantage d'améliorer la visibilité du pilote vers l'avant car les moteurs droits devaient être disposés suffisamment hauts pour que l'hélice placée en bas ne touche pas le sol.
- ▶ Un moteur en **forme V** est un moteur à **combustion interne** dans lequel les **pistons** se déplacent dans un même plan **presque vertical**. Les **cylindres** sont placés **les uns à côté des autres longitudinalement** mais **décalés** d'un certain **angle** (15° à 135°) **latéralement**, ce qui permet de les placer plus près les uns des autres, les têtes de cylindre s'intercalant les unes avec les autres.
- ▶ Un moteur **à plat** est un moteur à **combustion interne** dans lequel les **pistons se déplacent dans un même plan**, généralement **horizontal**. Les **cylindres** sont toujours en nombre **pair** et sont **disposés de chaque côté du vilebrequin**. **Actuellement** la plupart des avions sont équipés de **moteur à plat**. C'est le moteur **le plus récent** (Continental, Lycoming,...).



Instruments & GMP

François SUTTER (23/12/2018)

80/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Le moteur piston à 4 temps (3/17)

- ▶ Un **moteur à plat** est un moteur à **combustion interne** dans lequel les **pistons se déplacent** dans un même plan, généralement **horizontal**. Les **cylindres**, toujours **en nombre pair**, sont disposés **de part et d'autre du vilebrequin**.
- ▶ Les **éléments** de base d'un **moteur à plat** :
 - ▶ Le **carter** moteur (crankcase)
 - ▶ Le **vilebrequin** (crankshaft)
 - ▶ Les **bielles** (connecting rod)
 - ▶ L'**arbre à came** (camshaft)
 - ▶ Les **cylindres** (cylinder)
 - ▶ Les **pistons** (piston)
 - ▶ Les **soupapes d'admission** et **d'échappement** (intake valve et exhaust valve)
 - ▶ **Mécanisme de commande** des **soupapes** (valve operating mechanism)

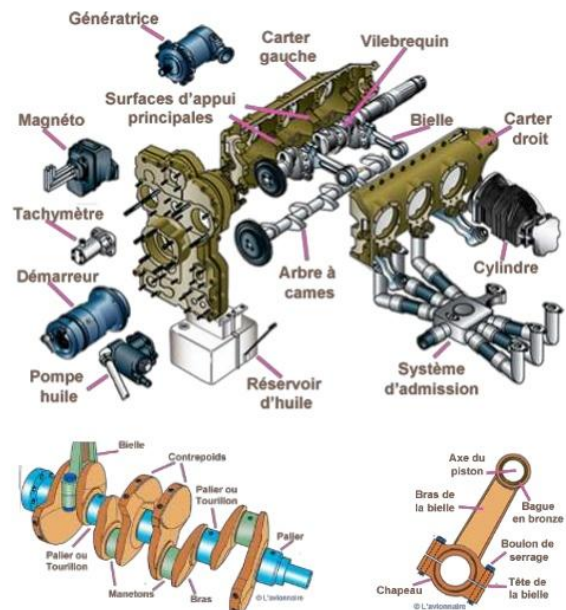


Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Détail des éléments (4/17)

- ▶ Le **carter** est constitué de **deux éléments** en alliage léger assemblés suivant le plan vertical médian du moteur. Les **deux demi-carters** sont **réunis** par des boulons et des écrous sur le pourtour des carters. Le carter fournit une **enceinte étanche** pour **l'huile** de lubrification et **supporte** divers **mécanismes externes** (démarreur, magnétos etc...) et **internes** (paliers du vilebrequin) du moteur. Il fournit également un **soutien pour la fixation** de l'ensemble **des cylindres**.
- ▶ Le **vilebrequin** est l'**épine dorsale** du moteur à piston. Il est soumis à la majeure partie des forces développées par le moteur. Son but est de **transformer le mouvement alternatif du piston en mouvement rotatif** par l'intermédiaire de la bielle. Il doit être parfaitement équilibré pour **éviter toutes vibrations** qui entraîneraient des défaillances des structures métalliques. Le vilebrequin généralement en **acier forgé**, peut être d'**une seule ou plusieurs pièces**.
- ▶ Les **bielles** transforment le mouvement alternatif rectiligne du piston en un mouvement rotatif quasi continu du vilebrequin. Les bielles comportent **deux alésages circulaires**, l'un de petit diamètre, appelé pied de bielle, et l'autre de grand diamètre, appelé tête de bielle. Les **bielles** et leur **chapeau** sont faits à partir d'**une seule pièce en acier forgé**.

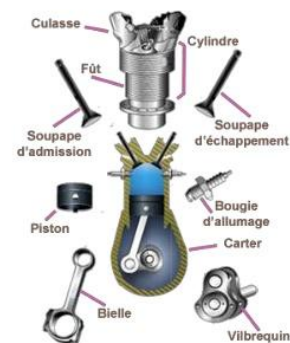
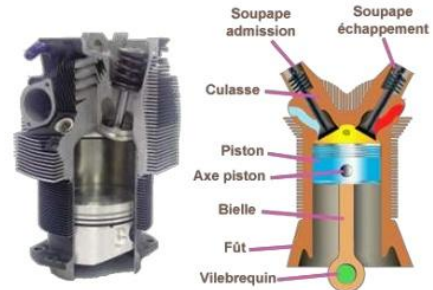


Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Détail des éléments (4/17)

- ▶ Chaque **cylindre** est un ensemble de **deux grandes parties** : la **tête de cylindre** et le **fût** du cylindre.
 - ▶ Le **fût** du cylindre est un **élément central** du moteur **dans lequel se déplace le piston**. Il est doté d'**aillettes** dont le but est d'assurer le **refroidissement par l'air externe**.
 - ▶ La partie supérieure est **fermée par la tête de cylindre** nommée **culasse**. Elle contient les **soupapes**, les **chambres d'admission** et d'**échappement** et les trous de fixation des **bougies**. La culasse **fournit un lieu** pour la **combustion du mélange air/carburant** et **donne** au cylindre plus de **conductivité thermique** pour un **refroidissement adéquat**. La **culasse** est généralement en un **alliage d'aluminium**.
- ▶ À l'intérieur de **chaque cylindre** on trouve :
 - ▶ un **piston** relié au vilebrequin par une **bielle** ;
 - ▶ la **soupape d'admission** ;
 - ▶ la **soupape d'échappement** ;
 - ▶ les **bougies**.



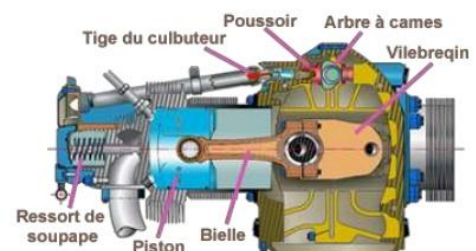
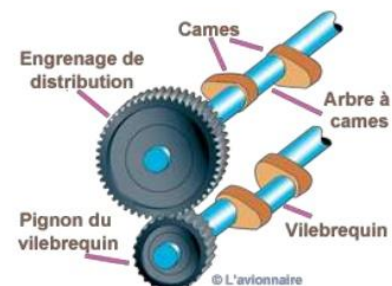
83/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [IX] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Détail des éléments (4/17)

- ▶ L'**arbre à cames** est actuellement fabriqué en **acier forgé**. Un arbre à cames **synchronise plusieurs déplacements** et **transforme** le mouvement de **rotation continu de l'arbre** en un mouvement de **translation alterné**. Dans les moteurs **quatre temps à combustion interne**, le **cycle complet** de combustion nécessite **deux tours de vilebrequin** pour un tour de l'arbre à cames.
- ▶ Les **soupapes d'admission** sont **ouvertes juste avant que le piston atteigne le point mort haut**, et les **soupapes d'échappement restent ouvertes après le point mort haut**. A un instant donné, par conséquent, les deux soupapes sont ouvertes en même temps (fin de la course d'échappement et au début de la course d'admission). Ce **calage** des soupapes est **commandé par un mécanisme**.



84/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE – [II] ALTIMÈTRE – [III] VARIOMÈTRE – [IV] COMPAS – [V] CONSERVATEUR DE CAP – [VI] HORIZON – [VII] BILLE AIGUILLE – [VIII] EFIS – [IX] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Les 4 temps (5/17)

- Un moteur à **quatre temps** transforme l'énergie chimique du mélange carburé en **énergie mécanique** en deux allers/retours de piston.
- Temps 1 « **Admission** » : Le piston est au **point mort haut**, la **soupape d'échappement** est fermée et le **volume** compris entre le piston et le fond du cylindre est occupé par des **gaz brûlés** provenant de **combustions antérieures**. La **soupape d'admission s'ouvre** pour établir la **communication** entre le **carburateur** et le **cylindre**. Tiré vers le bas par le **vilebrequin**, le **piston descend** et **aspire** un nouveau **mélange air/carburant** provenant du **carburateur**. Au **point mort bas** (près de la fin de course du piston), la **soupape d'admission se ferme** par un mécanisme liant la soupape au vilebrequin.
- Temps 2 « **Compression** » : La course de compression **commence** lorsque la **soupape d'admission se ferme** et que le **piston** sous l'action du vilebrequin **commence à se déplacer vers le haut du cylindre**, comprimant le **mélange** dans un espace réduit appelé **chambre de combustion** situé en haut du cylindre.
- Temps 3 « **Explosion** » : Le **mélange** est **mis à feu** par une **bougie** dont l'**alimentation** par **haute tension électrique** se fait par **intervalles** appropriés. Instantanément, le mélange **commence à brûler près de la bougie**, et la **flamme se propage** très rapidement jusqu'à ce que le mélange soit entièrement consommé. Cette **combustion rapide** provoque une **énorme augmentation** de la **pression** dans le **cylindre**, et **force le piston vers le bas** loin de la tête de cylindre en créant une **force motrice** qui fait **tourner le vilebrequin**. Lorsque le piston est proche du point bas de sa course, la **soupape d'échappement s'ouvre** et laisse les **gaz chauds s'échapper**. Si la **combustion** est **correcte**, tout le mélange brûle proprement, de façon **continue**.
- Temps 4 « **Échappement** » : Lors du temps d'échappement, la **quasi totalité** des **gaz brûlés** est **rejetée** par la **remontée du piston** vers la tête de cylindre. Juste **avant que le piston atteigne le point mort haut** la **soupape d'admission s'ouvre** et la **soupape d'échappement restent ouvertes** quelques instants après le point mort haut. Par conséquent, à un instant donné, **les deux soupapes sont ouvertes en même temps** (fin de la course d'échappement et au début de la course d'admission).



Admission



Compression



Explosion



Échappement

Instruments & GMP

François SUTTER (23/12/2018)

85/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE – [II] ALTIMÈTRE – [III] VARIOMÈTRE – [IV] COMPAS – [V] CONSERVATEUR DE CAP – [VI] HORIZON – [VII] BILLE AIGUILLE – [VIII] EFIS – [IX] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : L'hélice (7/17)

- L'hélice est constituée de **deux pales profilées** (parfois plus pour les avions plus performants). La **forme profilée** de la pale **aspire l'air en avant** (amont) et le **repousse vers l'arrière** (aval), d'où la propulsion qui génère une vitesse horizontale.
- Le **profil** d'une pale d'hélice est assez similaire au **profil d'une aile** (avec un bord d'attaque, un bord de fuite, une corde de référence, une épaisseur moyenne, une cambrure,...) et **détermine** à la fois les **performances** d'une hélice, mais également sa **résistance**.
- Comme pour une aile**, une pale d'hélice a un **profil portant**.
 - Une pale d'hélice a un **angle de calage** qu'on appelle : le **pas**.
 - Si l'**angle d'attaque est trop important**, il y a risque de **décrochage** (l'angle d'attaque d'une pale d'hélice dépend du pas et de la vitesse de l'avion).
 - Si l'**angle d'attaque est trop faible**, la **traction disparaît**.
- Depuis quelques années, les constructeurs expérimentent des « **soufflantes non carénées** ». Le moteur est équipé de **deux hélices contrarotatives** (« à ciel ouvert ») **sans carénage**.



Instruments & GMP

François SUTTER (23/12/2018)

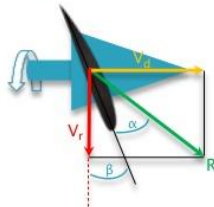
87/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

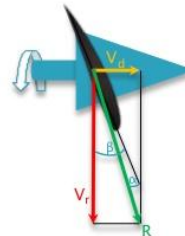
[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : L'hélice (7/17)

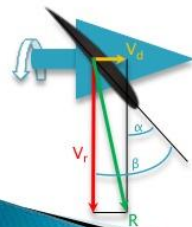
- Le **pas** de l'hélice doit être **Judicieusement choisi**, et **tenir compte** de la **vitesse** de vol. En tournant, les pales se déplacent selon la **vitesse** de **rotation** (V_r). L'avion, lui, vole suivant la **vitesse** de **déplacement** (V_d). Par combinaison des vitesses lorsque l'avion est en vol, les pales se déplacent réellement selon la **résultante** R .
- Le **vent relatif** vient donc sur la pale suivant R , mais **en sens inverse** de la flèche (le vent relatif vient toujours en sens inverse du déplacement). Donc, **si le pas** (l'angle de calage au départ) est représenté par β , l'**angle d'attaque réel** des pales est α .



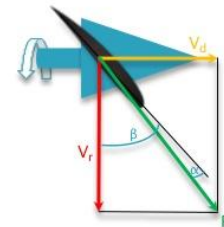
Dans ce 1^{er} schéma, V_d est **trop grand**, ou β **trop petit**, mais l'angle α est "en dessous" de R , et tout se passe comme sur une aile dont l'angle d'attaque serait **négatif** (pas de portance, au contraire).



Dans ce 2^{ème} schéma, l'angle β est le même que sur le premier schéma, mais V_d est **plus petit**, si bien que l'angle α est **positif** par rapport à R , sans pour autant être trop grand. C'est la **situation parfaite**.



Dans ce 3^{ème} schéma, l'angle β est **nettement plus grand** et V_d est encore **plus petit**; si bien que l'angle α est, cette fois **beaucoup trop grand**. Les pales vont **décrocher** comme une aile à trop grand angle d'attaque.



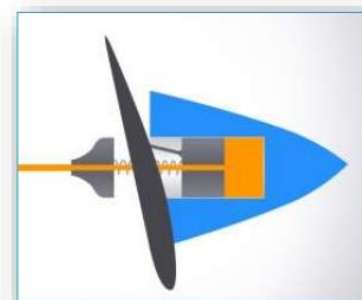
Dans ce 4^{ème} schéma, le rapport entre la valeur de β , et la vitesse de vol (V_d) est de nouveau conforme au bon fonctionnement de l'hélice. β et V_d sont **grands**.

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : L'hélice (7/17)

- Pour qu'une **hélice fonctionne bien**, il faut un **bon rapport** entre le **pas** et la **vitesse**. Ce bon rapport n'est pas un chiffre, c'est une **fourchette** entre 2 chiffres.
- Il y a **deux possibilités** :
 - Soit, une **hélice à pas fixe**, avec un pas, disons **moyen, compatible** avec une **vitesse de vol nulle** (début du décollage), et **optimisé** pour une vitesse de **croisière** forcément **limitée** puisque la **fourchette** de fonctionnement **commence à 0 kts**.
 - Soit une **hélice à pas variable adaptable** à toute situation. Dans ce cas, le pilote **augmente le pas au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse** de l'avion (et inversement), grâce à une **commande agissant sur un dispositif à engrenage** logé dans le **moyeu** de l'hélice.
 - Plus l'**hélice tourne vite**, plus elle "**tire**", et **plus l'avion accélère**. Il y a des **limites**. La première, c'est la diminution de l'angle α avec la vitesse si le pas reste inchangé, donc, pour une hélice à pas fixe.
 - La **1^{ère} limite**, c'est la **diminution de l'angle** α avec la vitesse si le pas reste inchangé (pour une hélice à pas fixe).
 - La **2^{ème} limite**, c'est la **vitesse en bout de pale** qui ne peut pas devenir supersonique (vibration, décollement de la couche limite, augmentation de la traînée).
 - Pour **corriger** ces deux limitations, on a mis au point un système de **variation de pas automatique, réagissant**, non pas en fonction de la vitesse de l'avion, mais en fonction du **régime moteur**.
- Pour **minimiser** la **traînée**, il est préférable d'avoir un **minimum de pale**. Le **nombre idéal** de pales est donc le **nombre minimum capable de transformer** toute la **puissance** du moteur en **traction sans devoir tourner trop vite**. **Plus le moteur est puissant, plus il faut de pales** pour utiliser toute cette puissance en tournant à vitesse raisonnable.
- La **vitesse en bout de pale** est de : V_r (Vitesse de rotation) $\times 2 \times \pi \times R$ (Rayon de l'hélice)
 - Pour une hélice de **2 mètres** de **diamètre**, tournant à **2500 tours/min** (41,6 tours par seconde), la vitesse en bout de pale est de :
 - $41,6 \times 2 \times \pi \times 1 = 261,38$ **mètres / secondes** (soit 522 kts soit 968 km/h ... auquel il faudrait ajouter la composante de vitesse de l'avion).

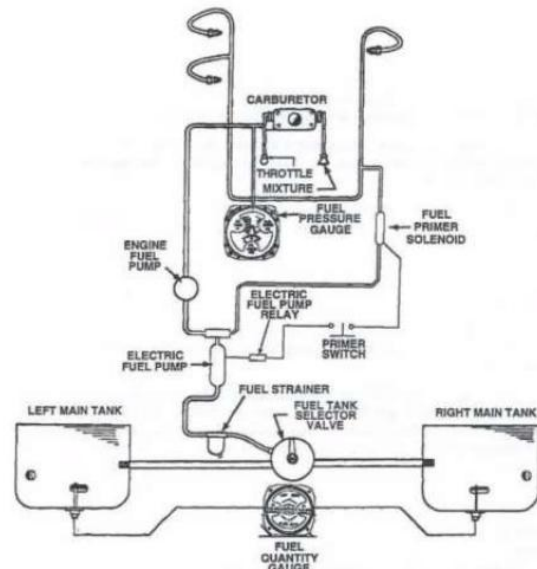


Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Le circuit carburant (8/17)

- Pour les **moteurs thermiques**, la **source d'énergie** nécessaire à la propulsion est le **carburant, mélangé à l'air atmosphérique**. Le mélange est **hautement énergétique**.
- Pour que l'**essence parvienne** des réservoirs jusqu'au dispositif de mélange l'avion utilise des **canalisations** (qui doivent résister aux vibrations).
 - En **amont** du moteur se trouve une **pompe à essence mécanique, entraînée par la rotation du moteur**. Sur les **avions à ailes hautes**, c'est la **gravité** qui amène l'essence à la pompe mécanique.
 - Les **tuyaux** doivent **traverser la cloison pare-feu** et sont donc **soumis à des températures très élevées**. Certains carburants peuvent « bouillir » à une température de 50°. L'**essence se vaporise** alors dans le tuyau, ce qui **stoppe l'arrivée d'essence** au moteur (phénomène de « vapor lock »).
 - On trouve également une **pompe électrique** (branchée sur le réseau électrique de l'avion) qui **envoie un « flot d'essence »** (pour **chasser** les éventuelles **bulles de vapeur**) et **augmenter la pression** dans le tuyau (ce qui **diminue** également le **risque d'ébullition**).
 - Des orifices de **purge** permettent de **chasser l'eau de condensation** et les **impuretés** qui pourraient se trouver dans les **points bas des réservoirs**.
 - Le **circuit carburant** est aussi équipé d'un **robinet** (ou plusieurs) **permettant la commutation** d'un réservoir à l'autre. Le même robinet sert aussi à **couper l'arrivée d'essence** en cas d'**incendie**. Sur les **avions à ailes hautes** on **décolle** et on **atterrit** sur la position « both ». Sur les **avions à ailes basses** on **décolle** et on **atterrit** sur le **réservoir le plus plein**.

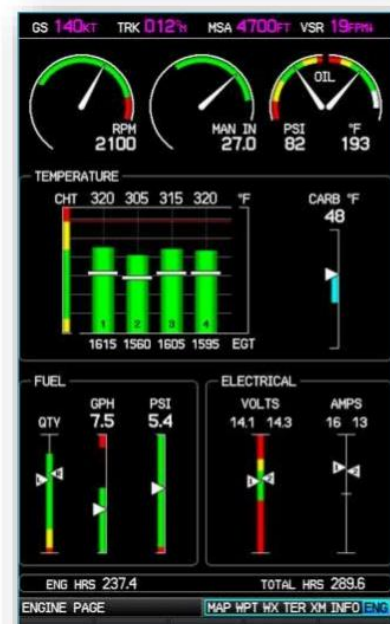


Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : La combustion (9/17)

- Lorsqu'un **mélange** quasi **homogène** de **carburant** (essence) et de **comburant** (oxygène de l'air) est chauffé à une **certaine température** il y a **inflammation**.
- L'**inflammation débute** au niveau où la **chaleur est apportée** (au niveau des **électrodes** des bougies d'allumage), puis (si la chaleur est suffisante) se **diffuse aux parties avoisinantes** du mélange gazeux qui s'enflamme à son tour. La **flamme se propage ensuite** aux zones voisines.
- Pour que la **flamme se propage**, il faut que le **mélange initial** soit **correctement dosé**. Le **pourcentage** d'air et d'essence doit être **compris entre 2 limites**.
- Il y a **combustion**, si la **masse d'essence** dans l'**air** (à la pression atmosphérique du niveau de la mer) est **comprise entre** :
 - **1 gramme d'essence pour 20 grammes d'air** (05 %) et **1 gramme d'essence pour 8 grammes d'air** (12,5 %) ;
 - Le **dosage stœchiométrique** (mélange chimiquement parfait) est de **1 gramme d'essence pour 15 grammes d'air** (07 %).
- Le **mélange** sera donc :
 - Dosage compris de **1/8 à 1/15** : le mélange est **riche** ;
 - Dosage compris de **1/15 à 1/20** : le mélange est **pauvre** ;
 - Dosage de **1/12,5** : la **puissance** est **maximale** ;
 - Dosage de **1/15** : la **température** est **maximale** ;
 - Dosage **supérieur à 1/8** et **inférieur à 1/20** : **extinction**.
- La commande de **richesse** doit donc être **manœuvrée** de manière **lente** et **précautionneuse** pour ne pas aller trop loin et provoquer un **abaissement brutal de la puissance** !
- Les **résidus** de combustion **créent des points chauds** et des **dépôts** qui peuvent engendrer un **mauvais fonctionnement**.



Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE – [II] ALTIMÈTRE – [III] VARIOMÈTRE – [IV] COMPAS – [V] CONSERVATEUR DE CAP – [VI] HORIZON – [VII] BILLE AIGUILLE – [VIII] EFIS – [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : L'avitaillement (10/17)

- Il existe **plusieurs types** de carburants :
 - L'**Avgas 100 LL** pour les moteurs à **essence** (densité de 0,72 Kg) ;
 - L'**Avgas UL91** pour les moteurs à **essence sans plomb** des avions très légers ;
 - Le **Jet A1** ou **Kérosène TR0** pour les moteurs **Diesel, turboréacteurs** ou **turbopropulseurs** (Densité de 0,80 kg).
- Les possibilités en **avitaillement** sont mentionnées sur les **fiches VAC** des aérodromes.
- Concernant l'**Avgas 100 LL** :
 - Le chiffre **100** désigne l'**Indice d'octane** (pouvoir anti détonnant) ;
 - LL** indique qu'il s'agit d'une essence à **faible teneur en plomb** (Low Lead) ;
 - L'**Avgas 100 LL** est de **couleur bleutée**.
- Le **point éclair** (à partir d'une certaine température, apparaît un éclair, mais l'essence ne se vaporise pas assez vite et la flamme ne se propage pas) de l'essence est **entre -20° et -05°**.
- Le **point feu** (à partir d'une certaine température, l'essence + chaude se vaporise plus vite et la flamme se propage et dégage assez de chaleur pour augmenter encore la vaporisation de l'essence liquide et le feu est entretenu) de l'essence est **entre 0° et 30°**.
- Lors de l'**avitaillement** il faut prendre des **précautions** pour **éviter les étincelles** (en mettant l'avion à la terre).
 - Dans un **réservoir fermé**, l'air est saturé en vapeur d'essence, le mélange est **trop riche** et l'**inflammation ne peut pas se produire**.
 - Dans un **réservoir ouvert** (avitaillement ou perte du bouchon en l'air), l'air peut ne plus être saturé en vapeur d'essence, le **mélange peut se situer entre 5 % et 18 %** et les **conditions du point feu sont réunies**. Si une étincelle se produit, le mélange s'enflamme. Un **réservoir plein est moins dangereux**.
 - Un **réservoir vide contient de l'air** qui peut **éventuellement contenir de la vapeur d'eau**. Si la température descend (la nuit dans le hangar par exemple), de la **vapeur d'eau se condense** sur les parois des réservoirs **et coule au fond**. Moins il y aura d'air dans les réservoirs moins il risque d'y avoir de la condensation. Les **circuits doivent être purgés le matin** avant la première utilisation de l'avion (**avant le déplacement** de l'avion).



AD 2 LFXU TXT 02		AIP FRANCE
21 JUN 2018		
LES MUREAUX		
Informations diverses / Miscellaneous		
Horaires sauf indication contraire / Timetables unless otherwise specified UTC HWY - HGR ETE : -1HR / UTC W/W : SKED SUM -1HR		
1- Situation / Location :	2 km ENE Les Mureaux (78 - Yvelines)	
2- ATS :	NIL	
3- VFR de nuit / Night VFR :	Non agréé / Not approved	
4- Exploitant d'aérodrome / AD operator :	SIVU AD Les Mureaux TEL : 01 34 74 06 01, FAX : 01 30 88 16 16 E-mail : sivu.aerodrome-lmv@orange.fr	
5- CAA :	Délégation Ile de France (voir / see GEN)	
6- BIRA :	LE BOURGET (voir / see GEN)	
7- Préparation du vol / Flight preparation :	Acheminement FPL VFR / Addressing VFR FPL : voir / see GEN 12	
8- MET :	VFR : voir / see GEN VAC ; IFR : voir / see AIP GEN 3.5 ; Station : NIL	
9- Douanes, Police / Customs, Police :	NIL	
10- AVT :	Carburant / Fuel : 100 LL : se renseigner auprès de / see ACB Janin. Paiement comptant ou carte de crédit TOTAL / Cash payment or TOTAL credit card	

Instruments & GMP

François SUTTER (23/12/2018)

92/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE – [II] ALTIMÈTRE – [III] VARIOMÈTRE – [IV] COMPAS – [V] CONSERVATEUR DE CAP – [VI] HORIZON – [VII] BILLE AIGUILLE – [VIII] EFIS – [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : L'allumage (11/17)

- Les **bougies initialisent l'inflammation** en produisant une **étincelle**. L'**étincelle** doit être produite **avant** que le **piston** ne soit en **position haute** pour que le front de flamme atteigne le piston lorsqu'il se trouve en bout de course. Le réglage est en « **avance à l'allumage** ».
- L'**organe chargé d'alimenter les bougies en énergie électrique** est la **magnéto**. Elle est **autonome** puisqu'elle n'a pas besoin de batterie pour fonctionner.
- Pour **mettre en route le moteur**, la **batterie** de bord fournit du **courant électrique** qui **alimente le démarreur**. Le démarreur **entraîne** alors le **moteur** et les **accessoires** mécaniquement liés tel que l'**élément rotatif de la magnéto** qui **fournit** dans chaque cylindre l'**étincelle** nécessaire.
- Dès que le **moteur tourne**, le **circuit du démarreur** est **déconnecté** et la **batterie** ne joue plus **aucun rôle** dans le **fonctionnement du moteur**.
- Un **fil relie le contact aux magnétos**. Ce **fil de coupure** sert à **mettre à la masse les magnétos** afin de les neutraliser. S'il casse, en vol le moteur continuera de tourner (c'est un fil de coupure et non d'alimentation). Par contre, le fait que les magnétos n'aient pas besoin de batterie pour fonctionner présente une contre partie. **Si le fil est rompu**, le **manèment de l'hélice** peut faire **démarrer le moteur**. C'est la raison pour laquelle on fait un **essai coupure au sol** pour vérifier la mise à la masse des magnétos.
- Le **circuit d'allumage** est **doublé**. Il est constitué de **deux magnétos** qui alimentent chacune un circuit d'allumage. Il y a donc également **2 bougies par cylindre**. Le circuit double présente **2 avantages** :
 - La **combustion** est **améliorée** car l'allumage se produit à **2 endroits de la chambre** de combustion.
 - En cas de **panne de l'un des deux circuits d'allumage**, le **moteur continue de fonctionner**. Mais la combustion se fait **moins bien** et un **dépôt de suie** peut apparaître sur la **bougie** et entraîner un **arrêt** du moteur.
- Lors des **tests** au point d'attente on effectue la « **sélection magnétos** ». La **diminution** du nombre de tours **doit se produire**. Dans le cas contraire, il s'agirait d'un défaut de coupure de la magnéto.
- En cas d'**écart important** (plus de 75 tours) entre les deux magnétos, il est possible que l'**engrenage interne** de la magnéto est **usé** et que la roue dentée a sauté une dent. C'est un **symptôme annonciateur** d'une **panne de magnéto**.



Instruments & GMP

François SUTTER (23/12/2018)

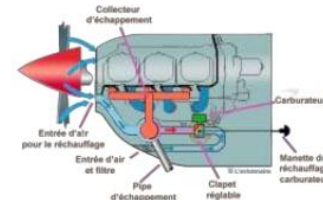
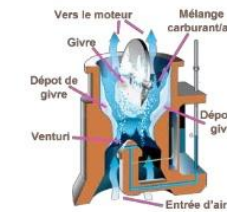
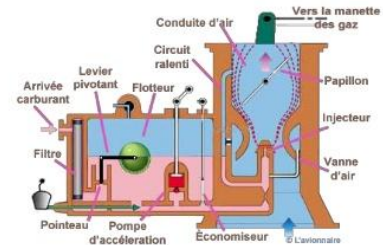
93/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE – [II] ALTIMÈTRE – [III] VARIOMÈTRE – [IV] COMPAS – [V] CONSERVATEUR DE CAP – [VI] HORIZON – [VII] BILLE AIGUILLE – [VIII] EFIS – [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : La carburation (12/17)

- La **carburation** est la fonction permettant la **réalisation du mélange carburé** avant son admission aux cylindres.
- Le **carburateur** comprend :
 - Une **cuve à niveau constant**, dans laquelle un flotteur muni d'un pointeau permet l'ouverture ou la fermeture de l'orifice d'arrivée de l'essence ;
 - Un **diffuseur** qui présente un étranglement et prend la forme d'un tube de Venturi. Il crée la dépression nécessaire à l'aspiration du carburant ;
 - Un **gicleur**, qui sert à introduire le combustible dans la zone de dépression du diffuseur ;
 - Un **papillon**, placé dans le conduit en aval du diffuseur qui **assure le dosage** de la quantité du mélange admise en fonction de l'effort demandé au moteur. Il est commandé par la manette de gaz ;
 - Un circuit et gicleur pour le **ralenti** ;
 - Un système de **réglage manuel** ou **automatique de mélange**.
- À la **sortie du venturi**, juste en avant du papillon des gaz, **se produit un brutal refroidissement de l'air** (dû à la combinaison de la **déente** (dépression) de l'air, et de la **chute de température** consécutive à la vaporisation du carburant). L'**abaissement** de la température peut atteindre **- 20 °**, et l'**eau** contenue dans le mélange air-carburant peut rapidement **se transformer en givre et/ou en glace**, et se déposer en périphérie du venturi, et sur le papillon des gaz. Ce phénomène en obturant le venturi entraîne une **perte de puissance** et même potentiellement **l'arrêt du moteur**. La plage de givrage se situe entre
 - La **réchauffage carburateur** est utilisée pour se prémunir de cette menace. Un dispositif **admet de l'air réchauffé par circulation autour du collecteur d'échappement**. Un **papillon actionné** par une manette dirige le flux d'air chaud ou froid vers le carburateur. Ce dispositif ne fonctionne qu'en **tout ou rien**.
 - Sur la position « **chaud tirée** », le volet obture l'arrivée de l'air frais, dans ce cas le **carburateur aspire un air qui s'est réchauffé au contact de la tubulure d'échappement**. Sur la position « **froid poussé** », le volet **obture l'arrivée de l'air chaud**, dans ce cas l'air frais traverse le filtre avant d'entrer dans le carburateur.



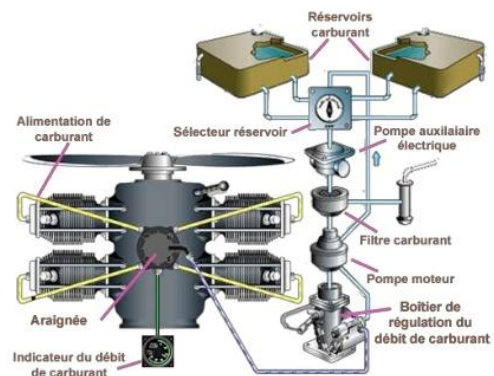
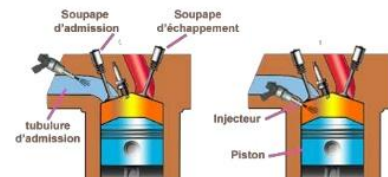
Instruments & GMP
François SUTTER (23/12/2018)

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE – [II] ALTIMÈTRE – [III] VARIOMÈTRE – [IV] COMPAS – [V] CONSERVATEUR DE CAP – [VI] HORIZON – [VII] BILLE AIGUILLE – [VIII] EFIS – [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : L'injection (13/17)

- Dans un système d'**injection** de carburant, le **carburant est injecté directement dans les cylindres**, ou **juste avant la soupape d'admission**. L'entrée d'air pour le système d'injection de carburant est similaire à celui utilisé dans un système de carburateur, avec une source d'air de secours situé à l'intérieur du capotage du moteur. Le carburant est délivré en **très fines gouttelettes** (brumisation).
 - À gauche injection dans la **tubulure** (pipe) d'admission ;
 - À droite injection **directement dans l'ouverture de la soupape d'admission**.
- Le **système à injection** comprend :
 - Une **pompe** de carburant **auxiliaire** (électrique) ;
 - Une **pompe** de carburant **entraînée par le moteur** ;
 - Un **filtre** de carburant ;
 - Un boîtier de **régulation** du débit de carburant ;
 - Un bloc de **commande** ;
 - Un **répétiteur** de carburant (**araignée**) ;
 - Des **injecteurs** ;
 - Un **indicateur de débit**.
- Les **avantages** du système à injection : fonctionne lorsque l'avion est sur le dos, réduction du givrage par évaporation, meilleur débit de carburant, réponse plus rapide à l'accélération, contrôle précis du mélange, consommation plus réduite, démarrage plus facile par temps froid.
- Les **inconvénients** du système à injection : difficulté à démarrer un moteur chaud, difficulté à redémarrer un moteur après un manque de carburant.



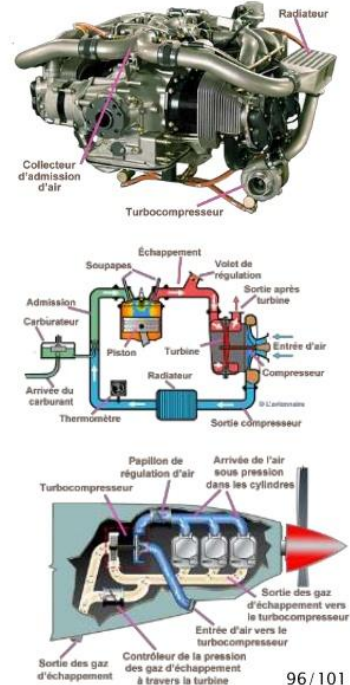
Instruments & GMP
François SUTTER (23/12/2018)

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE – [II] ALTIMÈTRE – [III] VARIOMÈTRE – [IV] COMPAS – [V] CONSERVATEUR DE CAP – [VI] HORIZON – [VII] BILLE AIGUILLE – [VIII] EFIS – [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Les moteurs à turbo (14/17)

- ▶ Lorsque l'**altitude augmente** la **densité** de l'air par rapport au niveau de la mer **diminue** progressivement (environ - 50 % à 6000 m). Lorsque l'avion atteint une altitude à laquelle la puissance utile ne permet plus de monter, on dit qu'il a atteint son plafond.
- ▶ Pour **augmenter la puissance** d'un moteur, il y a **plusieurs solutions** :
 - ▶ **Accroître la cylindrée** ;
 - ▶ **Augmenter la vitesse de rotation** ;
 - ▶ Fournir **plus d'énergie**, donc plus de carburant (solution utilisée par les moteurs **turbocompressés**).
- ▶ Les turbocompresseurs sont **alimentés** par les **gaz d'échappement** d'un moteur. Cela signifie qu'un turbocompresseur **recupère l'énergie provenant des gaz d'échappement chauds** qui serait autrement perdue. Plus de **35 % de l'énergie libérée par la combustion du carburant est perdue** dans l'échappement. Un moteur turbocompressé peut **maintenir une pression d'admission constante du niveau de la mer** jusqu'à une certaine altitude.
- ▶ Une **turbine** placée **dans le flux des gaz d'échappement** sortant du moteur est **entraînée** à grande vitesse (partie rouge du schéma à droite). Elle est **reliée par un arbre à un compresseur** placé dans le **conduit d'admission** du moteur (partie bleu du schéma à droite). Ce **compresseur** (de type centrifuge) aspire et comprime l'air ambiant, **l'envoie dans les cylindres** (en passant éventuellement par un échangeur air/air) pour le **refroidir**, pour les raisons suivantes :
 - ▶ La **compression chauffe les gaz** et la température de ces gaz est aussi l'un des principaux facteurs entraînant l'auto-allumage.
 - ▶ Un **gaz froid** est **plus dense** qu'un gaz chaud. Il contient donc **plus de molécules d'oxygène** à volume identique.
 - ▶ Le **rendement** du moteur dépend en partie de la **température de l'air** entrant et celle des gaz d'échappement. **Plus la différence** entre ces températures est **élevée, meilleures** seront les **performances** du moteur. Une augmentation de la température d'admission dégrade donc le rendement moteur.



Instruments & GMP
François SUTTER (23/12/2018)

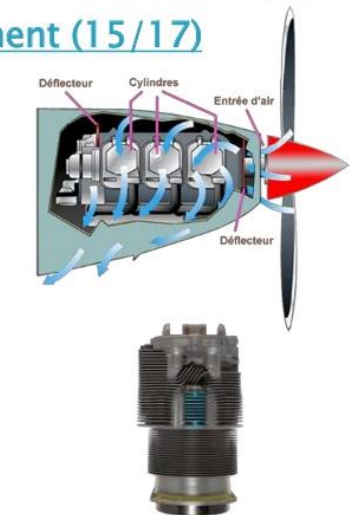
96/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE – [II] ALTIMÈTRE – [III] VARIOMÈTRE – [IV] COMPAS – [V] CONSERVATEUR DE CAP – [VI] HORIZON – [VII] BILLE AIGUILLE – [VIII] EFIS – [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : Le refroidissement (15/17)

- ▶ Les **moteurs d'avion** sont habituellement équipés de **capots** (tôle d'aluminium ou matériaux composites). Lorsque l'avion est en vol, les capots présentent une forme telle qu'ils **assurent la continuité aérodynamique** du moteur et permettent également de **canaliser l'air pour refroidir les moteurs**.
- ▶ L'**efficacité** du **refroidissement à air** est liée à la **surface des parties chaudes en contact avec l'air**. C'est pourquoi les **cylindres comportent de ailettes** rapprochées qui créent des surfaces importantes. Pour évacuer les calories on doit faire circuler un courant d'air frais conséquent, prélevé à l'avant de l'avion et évacué à l'arrière du moteur. La circulation de l'air **refroidit également** le radiateur **d'huile**, les **magnétos**, et la **batterie**.
- ▶ Certains avions sont équipés de **volets de capot moteur** (Cowl flaps). Ces volets de capot **participent au refroidissement** du moteur en laissant passer de manière accrue le vent relatif entre les cylindres. Le pilote les **ouvrent en montée lorsque le flux d'air circulant autour du moteur est faible**, et les **ferment en croisière et descente lorsque ce flux est suffisant**.



Instruments & GMP
François SUTTER (23/12/2018)

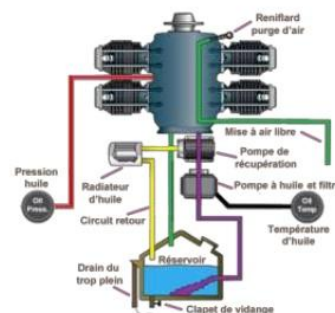
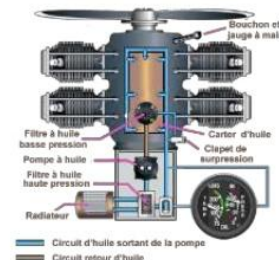
Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : La lubrification (16/17)

- L'objectif d'un **lubrifiant** est de **réduire la friction** entre les pièces mobiles. Puisque les lubrifiants ou les huiles liquides peuvent être distribués facilement, ils sont utilisés universellement dans les moteurs d'avions. La **lubrification du fluide** est basée sur la **séparation effective des surfaces** de sorte **qu'aucun contact métal-métal n'est censé se produire**.
- Il existe **deux systèmes** de lubrification :

 - Le **carter humide stocke l'huile à l'intérieur du bloc moteur**. Après que l'huile soit pompée distribuée dans le moteur, elle retourne au réservoir en bas du carter.
 - Le **carter sec** utilise un **réservoir ou bache externe au bloc moteur**. L'huile est pompée et distribuée à travers le moteur, puis récupérée par une seconde pompe pour être stockée dans le réservoir externe.
- Dans un **carter humide** l'huile est **contenue dans le carter** situé en **partie basse** du moteur. Elle est **puisée par une pompe** à engrenages qui la **distribue vers les parties à lubrifier**. La lubrification du vilebrequin se fait par « **barbotage** ».
- Dans un **carter sec** l'huile n'est **pas stockée dans le carter**, qui fait uniquement office de **récupérateur du liquide**, qui est ensuite **pompé vers un réservoir** (« bache »). La **lubrification** se fait par « **projection sous pression** ». L'huile est **pompée**, pour être ensuite **redistribuée dans les canalisations d'huile** du moteur. Après avoir lubrifié les pièces en mouvement, elle **retombe dans le carter**, est aspirée par la pompe de récupération, et **retourne au réservoir**.



Instruments & GMP

François SUTTER (23/12/2018)

98/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE - [II] ALTIMÈTRE - [III] VARIOMÈTRE - [IV] COMPAS - [V] CONSERVATEUR DE CAP - [VI] HORIZON - [VII] BILLE AIGUILLE - [VIII] EFIS - [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : La conduite du moteur (17/17)

- La **conduite** du moteur se fait au moyen de **commandes** (gaz, richesse, pas,...) et de **paramètres** qu'on vérifie (tachymètre, EGT, huile, pression, pression d'admission,...).
- Les **couleurs** des commandes sont **codifiées** :

 - Noir** : commande de puissance
 - Rouge** : commande de richesse
 - Bleu** : commande de pas d'hélice
 - Jaune** ou gris : réchauffe carburateur ou air de remplacement
- Avec une **hélice à calage fixe** : la commande de **puissance** (manette noire) **ouvre le papillon des gaz**.

 - L'augmentation du couple de l'arbre fait **tourner l'hélice plus vite**.
 - Le **régime** ne **doit pas dépasser une certaine vitesse** (trait rouge du tachymètre) pour éviter de **détériorer le moteur** ou d'**entraîner la rupture de l'hélice**.
- Avec une **hélice à calage variable** (« hélice à **vitesse constante** ») : la commande de **puissance** (manette noire) **ouvre le papillon des gaz** et la commande de pas d'hélice (manette bleue) règle le calage.

 - Pour **contrôler la puissance** le pilote dispose d'un manomètre de « **pression d'admission** »
 - La commande de **pas d'hélice agit** directement **sur l'incidence** des pales de l'hélice.
 - La **vitesse de rotation de l'hélice dépend aussi de la vitesse de l'avion**. Il existe donc un **régulateur** de régime qui **compense automatiquement les variations** de vitesse de l'avion par des variations de calage de l'hélice qui maintient ainsi une vitesse constante.
 - Pour **augmenter la puissance** il faut **toujours agir sur la commande de pas d'hélice** pour adopter un pas plus faible (pour augmenter la vitesse de rotation) **avant d'augmenter la pression d'admission** pour éviter un surcouple du moteur : « **la droite enrichit** »
 - Pour **réduire la puissance** il faut **toujours réduire la pression d'admission** et ensuite agir sur la **commande de pas d'hélice** : « **la gauche appauvrit** ».



Instruments & GMP

François SUTTER (23/12/2018)

99/101

Les instruments & Le groupe motopropulseur

[I] ANÉMOMÈTRE – [II] ALTIMÈTRE – [III] VARIOMÈTRE – [IV] COMPAS – [V] CONSERVATEUR DE CAP – [VI] HORIZON – [VII] BILLE AIGUILLE – [VIII] EFIS – [X] GMP

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR : La conduite du moteur (17/17)

- Pour le **dosage** du mélange, on utilise les **consignes du manuel de vol**.
- Lors du **décollage, montée** ou **remise des gaz** :
 - La commande de **richesse** est sur **plein riche**.
 - Le **dosage** élaboré **par le carburateur** est **optimisé** pour la **puissance maximale** et permet **d'éviter la détonation** lors des fortes valeurs de pression d'admission.
 - Dans le cas d'un **terrain** situé en **altitude**, il peut être nécessaire de **réduire la richesse** afin de **compenser la diminution** de la **densité de l'air**.
- En **croisière** : suivant l'altitude, il peut être nécessaire de **réduire la richesse** afin de **compenser la diminution** de la **densité de l'air**.
- En **descente** : il faut penser à **ré enrichir le mélange** avec la commande de richesse pour **compenser l'augmentation de la densité de l'air** sans risquer la détonation due à l'appauvrissement du mélange.
- Avec une hélice à **calage fixe**, la **méthode** consiste à **appauvrir lentement jusqu'à** constater une **chute du régime**. La chute de régime signifie que le mélange est trop pauvre. Dans ce cas, il faut alors **enrichir un peu**. La **température des têtes de cylindre** doit être **surveillée via le CHT** (Cylinder Head Temperature).
- Avec une hélice à **calage variable**, la **méthode** consiste à **utiliser les valeurs** du **tableau de performances** du **manuel de vol**. Le tableau indique le régime moteur (**RPM**) ainsi que la pression d'admission (**PA**) et le débit de carburant (**Fuel Flow**).
- Dans le cas d'un avion équipé d'un **EGT** (Exhaust Gas Temperature) le pilote peut suivre la **température des gaz d'échappement** des **cylindres les moins bien refroidis**. La méthode pour appauvrir consiste à appauvrir en **suisant la déviation de l'aiguille** indiquant le **pic de température**. Dans tous les cas il est recommandé de suivre les consignes du manuel de vol.
- Dans le cas particulier des avions équipés d'un **FADEC** (Full Authority Digital Engine Control), il n'y a **qu'une seule commande** (« mono manette ») **qui assure toute seule la régulation**. Un **boîtier ECU** (Electronic Control Unit) **calcule les paramètres** moteur, les **applique** et les **régule**. La **richesse** et le **calage** de l'hélice sont **entièrement automatisés**. L'alimentation se fait par **injection** et offre un **gain de consommation** d'environ **15 à 20 %**. La conduite d'un FADEC **nécessite une variante** mentionnée sur le carnet de vol.

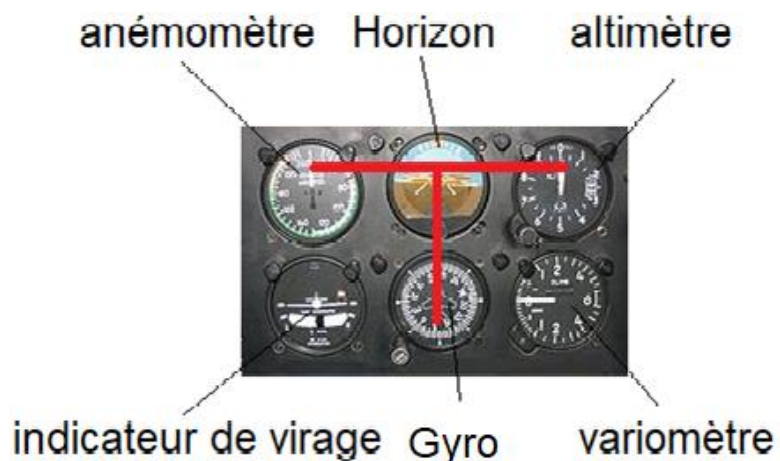


Conclusion & Questions

- ▶ Les 3 gyroscopiques (H.A.C.)
Horizon artificiel / Aiguille / Cap
- ▶ Les 3 pneumatiques (B.A.V.)
Badin / Altimètre / Variomètre
- ▶ Les 3 expressions verticales
Hauteur / Altitude / Niveau
- ▶ Les EFIS
**Primary Flight Display
Multi Function Displays**
- ▶ Virage au taux 1 (15 % de la Vp)
**03 ° par seconde
180° en 60 secondes
360° en 120 secondes**
- ▶ Les types de moteur
Piston / Turbo / Turbine / Réacteur
- ▶ L'allumage des SEP
Carburateur / Injection
- ▶ Les 4 temps d'un moteur piston
**Admission / Compression /
Explosion / Échappement**
- ▶ Les 2 types d'hélice
Fixe / Pas variable
- ▶ Les indicateurs pour la conduite
moteur
RPM / CHT / EGT / FUEL FLOW

Présentation des instruments

On trouvera des instruments issus de 2 époques technologiques,
instrument à cadran
et aiguille
(analogique) et
maintenant une
présentation donne
sur écran
(numérique) encore



appelé Glass cockpit quand la majorité des instruments se présentent sous forme d'informations sur écran.

Pour que le pilote soit le moins perturbé possible, les instruments de base sont répartis toujours de la même façon sur le tableau de bord situé devant lui. (Configuration de T basique)

L'horizon artificiel au centre,

L'anémomètre à gauche,

L'altimètre à droite,

Le gyro directionnel ou plateau de route en dessous.

La planche de bord tout écran permet de regrouper un maximum d'informations sur une même surface de visualisation et ainsi diminuer la charge de travail des pilotes. Ce système d'affichage est également appelé EIS (Electronic Information System) ou CDS (Cockpit Display System).

On va retrouver différents écrans

-EFIS (Electronic flight Instrument System) qui regroupent les informations de pilotage et de navigation



-PFD (Primary Flight display) : visualisation des paramètres de vol (altitude, vitesse, assiette, cap, etc.)

-ND (Navigation Display) : visualisation des paramètres de route (plan de vol, points de cheminement, balises radio (VOR) etc.)

-DMAP (Digital MAP) : système de cartographie

-TD (Tactical Display, sur avion militaire) : visualisation des informations sur les zones amies ou ennemies, ainsi que les menaces et les paramètres propres aux missions militaires

-EICAS (Electronic Indicating and Crew Alerting System) ou ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitoring) qui affiche les paramètres systèmes

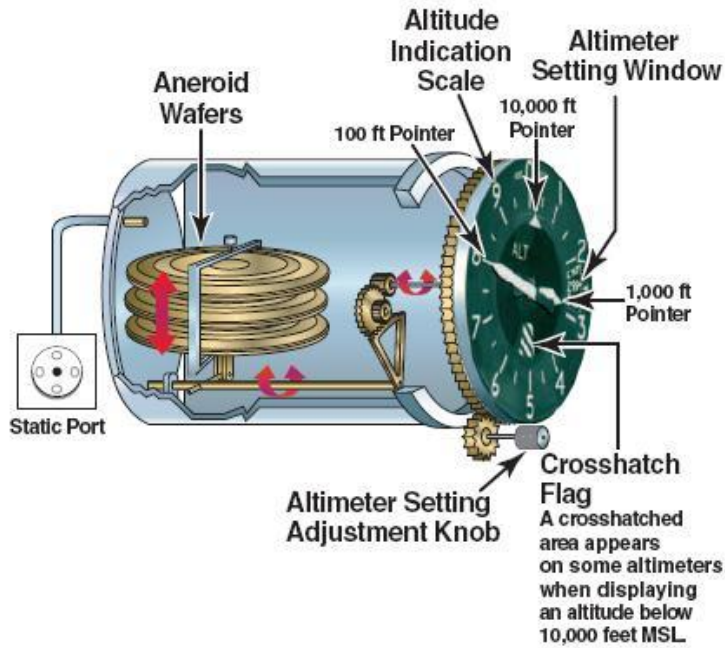
-EWD (Engine and Warning Display) : visualisation des paramètres moteur indispensables, des messages d'alarme et des listes de vérification à suivre

-SD (System Display) : visualisation sous forme de synoptique les principaux systèmes de l'avion (carburant, hydraulique, électricité, conditionnement d'air etc.).

Vu l'énorme quantité d'informations pouvant être affichées, seules le seront celles indispensables en un instant donné, en particulier les messages d'alarme, les mesures à prendre. Le pilote peut sélectionner des page-écran présentant les informations qui lui sont nécessaires

INSTRUMENTS DE PILOTAGE

Altimètre : Le calage est affiché dans la petite fenêtre à droite

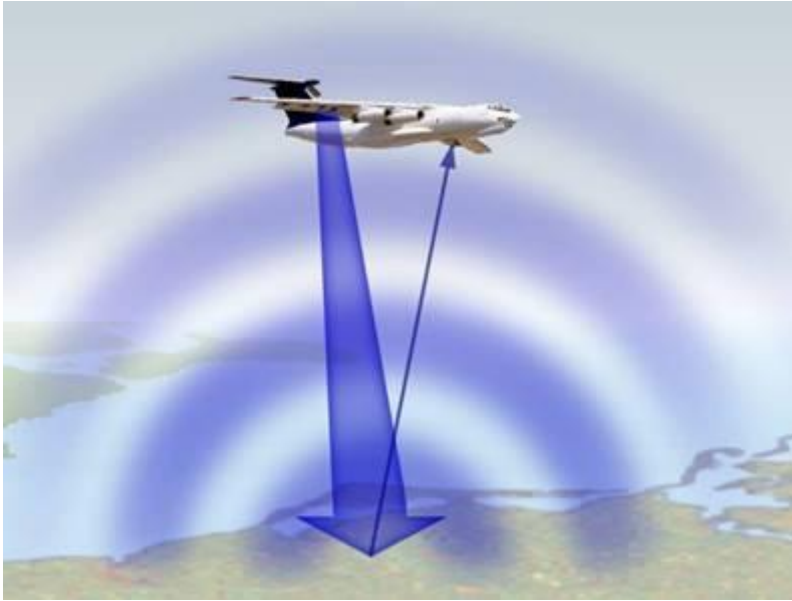


Un altimètre est un instrument de mesure permettant de déterminer la hauteur d'un aéronef par rapport à un niveau de référence : le sol, le niveau de la mer (mesure d'altitude) ou une surface isobare. Il est relié à la sonde statique, et constitué d'une capsule de vidi, qui « s'écrase sous l'effet de la pression » et se dilate quand la pression diminue, cette capsule est reliée aux aiguilles par l'intermédiaire d'un système amplificateur de mouvement.

Radioaltimètre (ou sonde altimétrique)

Il utilise un radar placé sous le fuselage. Il est utilisé pour les procédures d'approche finale ou dans le cadre de la prévention contre le risque de percuter le relief. Il indique de façon très précise (à 50 cm près) la hauteur de l'avion par rapport au sol. Le radioaltimètre ou sonde ou radar altimétrique ou altimètre radar est un appareil à bord d'un aéronef (ou d'un satellite) destiné à mesurer sa hauteur par rapport au sol ou la surface de l'eau. En aéronautique c'est un instrument d'aide au pilotage en particulier en vol sans visibilité, ou vol aux instruments. Il indique la hauteur de l'aéronef au-dessus du sol et non l'altitude barométrique mesurée par un altimètre simple. Le « 0 » correspondant à la position de l'appareil au moment précis où, lors de l'atterrissage les roues entrent en contact avec le sol.

Principe de fonctionnement



Une onde est envoyée vers le sol, cette onde est réfléchiée par le sol et à nouveau captée par le radar. Le temps mis par l'onde pour



faire l'aller-retour détermine la distance parcourue, la hauteur de l'aéronef étant égale à la moitié du chemin parcouru par cette onde.

Le radioaltimètre peut être couplé à un système avertisseur de proximité du sol (GPWS, ou Ground Proximity Warning System). Sur la plupart des radioaltimètres, une consigne de hauteur minimale de vol peut être affichée :

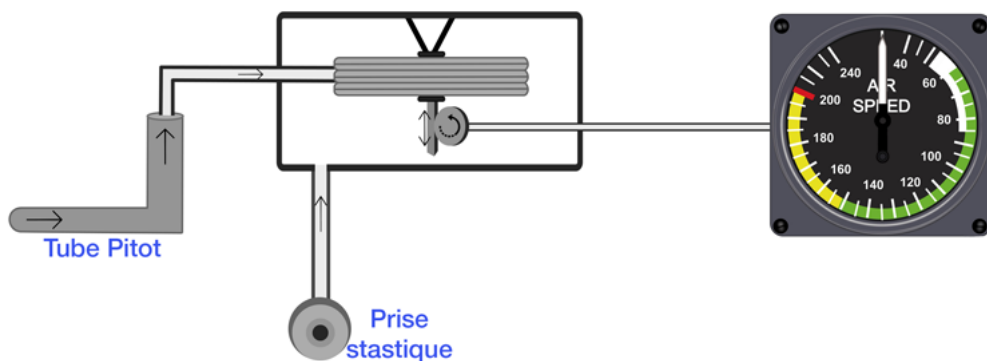
Anémomètre : Un anémomètre est un instrument de mesure permettant de déterminer la vitesse d'un aéronef par rapport à l'air ambiant.

(voir aussi la page <http://www4.ac-nancy-metz.fr/ciras/cahierdubia/mesurevitesse/mesuredelavitesse.html>)

Le Badin : Aujourd'hui, le dispositif utilisé est un instrument appelé " badin " en France (en 1911, du nom de son inventeur, Raoul Badin) associé au tube de Pitot.

Principe de fonctionnement

Une chambre reçoit une capsule de vidi qui est alimentée par la sonde pitot (pression totale, dynamique+statique) plus la pression est élevée, plus la capsule se gonfle. La chambre est alimentée par la prise de pression statique ce qui permet de « soustraire » l'effet de la pression atmosphérique le mouvement de la capsule de vidi de ce fait n'étant



dépendant que de la pression dynamique dont la racine carrée est l'image de la vitesse de l'aéronef.

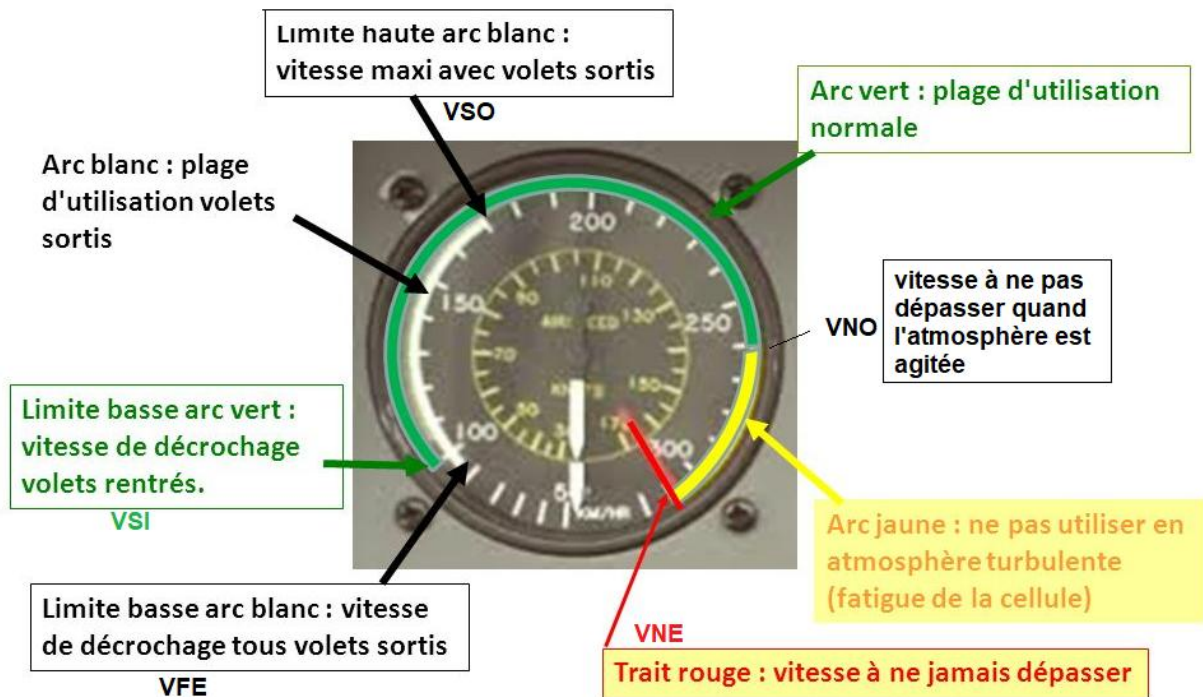
La connaissance de la vitesse air est indispensable pour conserver l'aéronef dans son domaine de vol, donc entre la vitesse minimale permettant sa sustentation et la vitesse maximale où les forces aérodynamiques risquent d'endommager la structure. Ces deux vitesses varient en fonction de la configuration (train sorti, volets sortis, etc.) et de l'attitude (virage, descente, etc.). C'est pourquoi un anémomètre adapté à un aéronef particulier comporte des zones de couleurs différentes :

l'arc vert indique les conditions normales de vol de l'avion,

l'arc jaune les vitesses interdites en air turbulent,

l'arc blanc la plage de sortie des dispositifs hypersustentateurs, configuration full (volets),

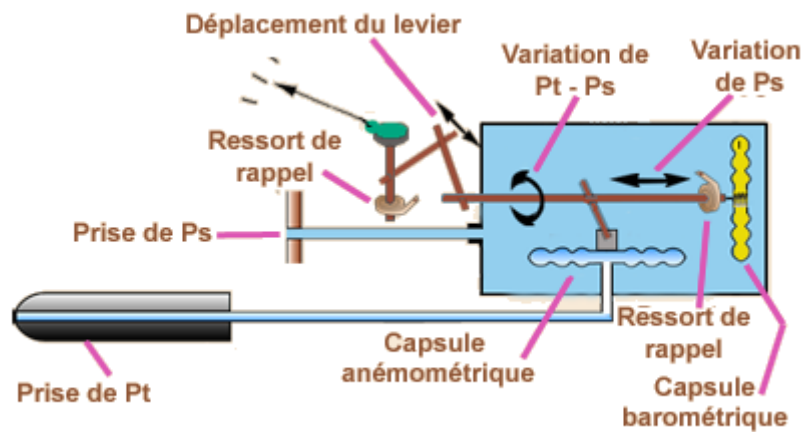
le trait rouge indique la vitesse limite (VNE :velocity never exceed), particulièrement pour la structure de l'appareil.



Le badin est un manomètre étalonné en fonction du Théorème de Bernoulli qui détermine la « pression dynamique » qui est égale à la différence entre la pression totale et la pression statique. Cette pression dynamique, est fonction de la vitesse de l'avion par rapport à l'air et permet d'afficher une information de vitesse air sur le badin. Elle est généralement mesurée en nœuds, mais, sur quelques avions français et sur les avions russes, elle est donnée en kilomètres par heure. L'anémomètre donne la vitesse indiquée (V_i) ou « vitesse lue ». Cette vitesse correspond à la « vitesse propre » (V_p) ou « vitesse vraie » à la pression de 1 013,25 hPa (au niveau de la mer en atmosphère standard) et à la température de 15 °C. Avec la baisse de la densité de l'air, donc en montant, la vitesse propre est supérieure à la vitesse indiquée (une approximation peut être faite en ajoutant 1 % par tranche de 600 pieds au-dessus de la surface 1 013 hPa).

Machmètre : Pour les avions volant à des vitesses proches de celle du son et au-delà, d'autres lois physiques sont applicables. On utilise un autre instrument, le machmètre, il mesure le rapport entre la vitesse de l'avion et la vitesse du son. Cette information est utile en vol subsonique pour éviter de pénétrer dans le domaine de vol transsonique et en vol supersonique.

Principe de fonctionnement



Le machmètre a la même structure que l'anémomètre, auquel on a rajouté une autre capsule de Vidi dans la chambre.

Une tige retransmettant les déviations des deux capsules.

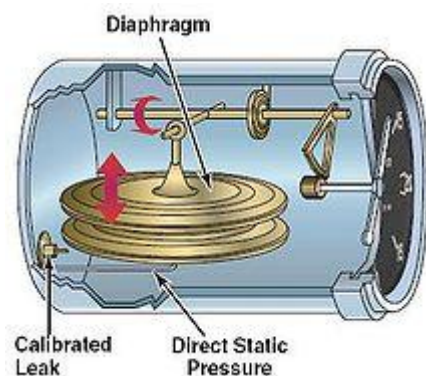
Un levier et système d'engrenages amplifient et retransmettent les déformations de l'ensemble des capsules à une aiguille qui se déplace devant un cadran gradué en nombre de mach. Ce qui permet de tenir compte à la fois de la loi de Saint-Venant pour M inférieur ou égal à 1 et de la loi de Rayleigh pour M supérieur à 1

Le nombre de Mach correspond au rapport entre la vitesse V de l'avion et la célérité C du son dans le milieu considéré

Variomètre : Un variomètre ou VSI (vertical speed indicator) est un instrument utilisé pour connaître leur vitesse ascensionnelle. La majorité de ces appareils fonctionnent d'après le différentiel de pression induit par la vitesse verticale de l'appareil.

Principe de fonctionnement

Sous sa forme simple, il consiste en un diaphragme séparant une chambre directement connectée à l'air libre et une chambre connectée à l'extérieur par un orifice calibré qui engendrera une fuite lente. Au moment de la mesure,



l'instrument fait la différence entre la pression extérieure et la pression de la capacité. Le variomètre fonctionne avec un léger temps de retard (hystérésis), dû au temps de remplissage de la capacité.

La version électronique simple du VSI consiste d'une flasque d'air connectée à l'air extérieur par l'intermédiaire d'un débitmètre. Le principe du débitmètre est le suivant. Lorsque l'altitude donc la pression atmosphérique change ce qui crée un flux d'air entre la flasque et l'air extérieur. Il suffit de convertir la vitesse du flux d'air entrant ou sortant en une vitesse verticale de l'aéronef positive ou négative.

Horizon artificiel : Avec l'horizon artificiel, nous entrons dans le domaine des instruments gyroscopiques.

L'effet gyroscopique

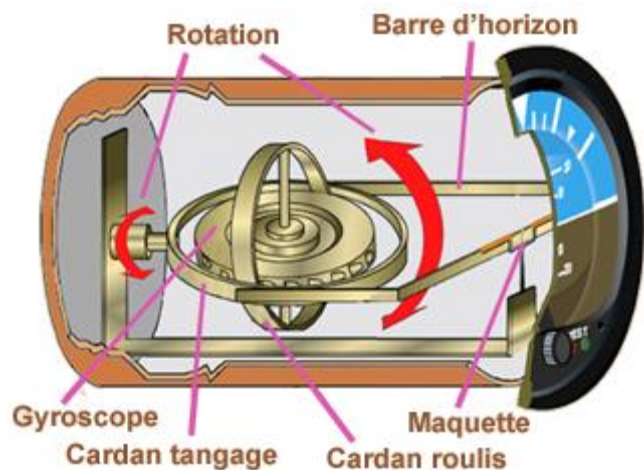
Si l'on fait tourner une roue ou tout objet correctement équilibré sur un axe qui, une fois lancée tend à résister aux changements de son orientation.

C'est l'effet gyroscopique qui explique qu'une toupie peut tenir en équilibre sur son extrémité.

Horizon artificiel classique : L'horizon artificiel ou indicateur d'assiette mesure l'assiette de l'aéronef par rapport à l'horizon c'est-à-dire les angles de tangage et roulis. Il utilise un gyroscope qui, en principe, conserve le calage initial réglé avant le décollage.

Principe de fonctionnement

Le détecteur d'assiette est constitué par un gyroscope avec 2 degrés de liberté dont l'axe propre est asservi à la verticale locale par un système érecteur. Le gyroscope est réglé à zéro avant le décollage et, en théorie, il conserve cette position fixe dans l'espace quels que soient les mouvements de l'aéronef. Il permet donc de mesurer l'angle entre



Il permet donc de mesurer l'angle entre

l'axe de l'aéronef et l'horizontale, correspondant à un angle de tangage, et l'angle avec la verticale, donnant l'angle de roulis.

Pour créer le mouvement rotatif du gyroscope, 2 possibilités existent :

- L'entraînement pneumatique a été le premier à être utilisé et utilisait le principe Venturi. Un tube placé dans le vent relatif, à l'extérieur de l'avion, assurait une dépression. Ce tube venturi a été remplacé par une pompe à vide électrique, qui assure une dépression suffisante pour faire tourner le gyroscope. Le flux d'air entraîne les ailettes de la roue gyroscopique pour assurer sa rotation. Par la suite, pour des raisons de fiabilité.
- L'entraînement par un moteur électrique. Dans ce cas, un drapeau rouge signale le non-fonctionnement de l'instrument, et un bouton permet de le régler sur l'horizontale avant le décollage, certains modèles, dits « Auto Erect », s'ajustent automatiquement.

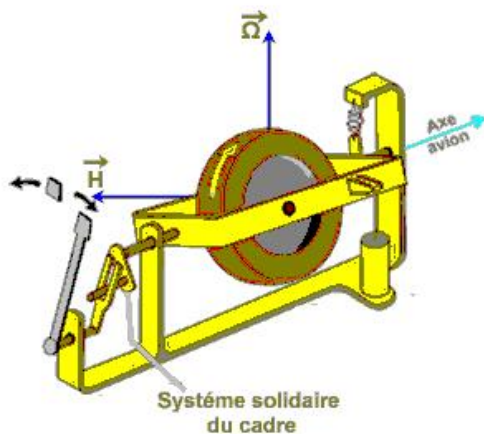
L'entraînement électrique imprime une vitesse de rotation plus importante au gyroscope, ce qui fait qu'en cas de panne, le gyroscope électrique donne encore pendant un moment la bonne référence horizontale.

Indicateur de virage et de dérapage (bille-aiguille)

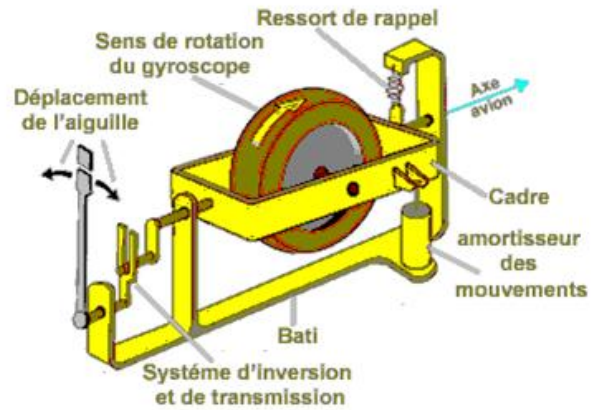
Cet instrument utilise un gyroscope à deux degrés de liberté, et la propriété de précession. Il indique, à la fois, le sens et le taux de virage.

Principe de fonctionnement

Lorsque l'avion tourne, un couple de forces tendant à faire tourner le gyroscope apparaît. Du fait de la précession, le basculement se fait avec 90° de décalage dans le sens de rotation. Le basculement se fait donc vers la gauche autour d'un axe horizontal.



Virage à droite



avion à plat

Un système d'inversion entraîne l'aiguille dans l'autre sens, donc en direction du virage.

Plus le virage est incliné, plus le couple de force appliqué au gyroscope est fort, et plus le basculement dû à la force de précession est important.

L'équilibre entre la force de précession et celle du ressort de rappel permet à l'aiguille de se stabiliser sur une déviation proportionnelle au taux de virage. Lorsque la maquette avion est positionnée sur le trait L ou R, l'avion vire au taux 1, soit $180^\circ/\text{mn}$

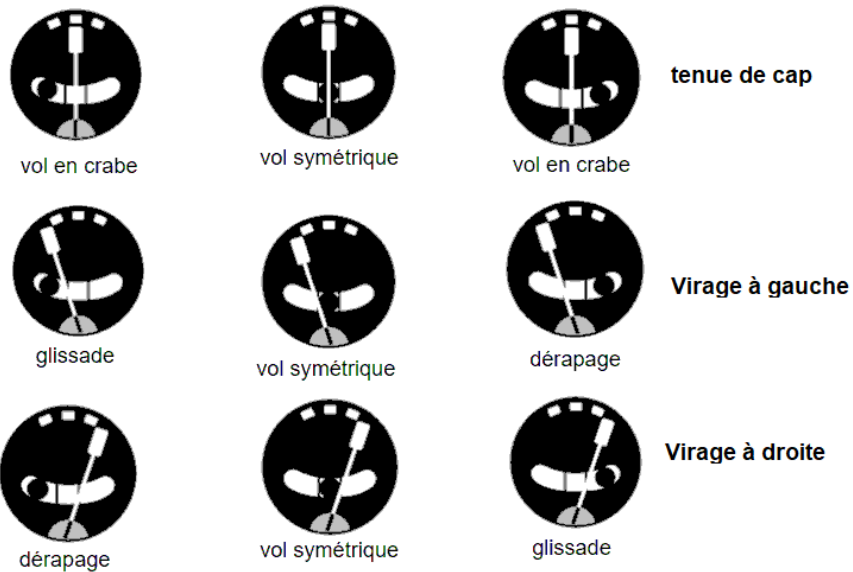
Sur le cadran de l'indicateur de virage, il y a, en plus de l'aiguille indicatrice, une fenêtre, contenant un tube en verre incurvé, dans lequel se trouve une bille. La position de cette bille dans la fenêtre permet de contrôler la coordination du virage...

On peut aussi trouver la bille comme un instrument indépendant de l'indicateur de virage.

Lorsqu'un avion vire, son inclinaison doit être telle que la direction de la portance soit la même, mais en sens inverse, que celle du poids apparent, et avec la même valeur.

L'indicateur de virage est associé à une bille qui se déplace dans un tube incurvé selon la verticale apparente et qui visualise le dérapage de l'avion. La bille fonctionne simplement par gravité. En effet, quand le dérapage est nul et le vol symétrique, la gravité relative (gravité équivalente créée par le poids et la force centrifuge) est selon l'axe de

lacet de l'avion. Si la gravité relative forme un angle avec l'axe de lacet, c'est qu'il existe un dérapage. Le pilote mettra du pied dans le sens ou se déplace la bille pour rendre symétrique son vol .



En vol à voile, la bille est souvent doublée voir remplacée par un fil de laine collé au centre de la verrière. Le fil de laine est collé par une de ses extrémités, et le fil de couleur rouge se déplace avec le vent relatif. Le fil indique alors l'angle entre le vent relatif et l'axe du planeur, ce qui

est la définition du dérapage ou de la glissade

Le fil de laine ira lui dans le sens opposé à la bille, dans ce cas le pilote mettra du pied dans le sens opposé au déplacement du fil de laine.

Servitude de bord

Les servitudes de bord sont l'ensemble des réseaux qui permettent le fonctionnement d'un aéronef ou la vie à bord.

Sommaire

- 1 Liste des servitudes de bord
- 2 Génération et distribution électrique

3 Servitudes hydrauliques

4 Articles connexes

Liste des servitudes de bord : les principales servitudes de bord sont :

Génération et distribution électrique ;

Servitudes hydrauliques ;

Circuit carburant ;

Pressurisation et conditionnement d'air (**La pressurisation de la**

cabine d'un avion permet le vol à haute altitude en évitant les risques physiologiques liés à la baisse de la pression atmosphérique, aux variations de pression en montée ou en descente ainsi qu'à la diminution du taux d'oxygène. Elle permet de créer un environnement sûr et confortable pour l'équipage et les passagers.);

Alimentation en oxygène ;

Protection contre les accélérations (anti-g) ;

Systèmes d'évacuation rapide (siège éjectable, toboggans, etc.) ;

Systèmes anti-givrage (Le **givre** est un dépôt assez lent de micro-gouttelettes d'eau en surfusion sur une surface froide. En effet, l'eau peut rester sous forme liquide jusqu'à -39 °C à la pression atmosphérique au niveau de la mer, si elle ne rencontre pas de noyau de congélation. Mais lors d'un tel contact, elle passera directement à l'état solide et formera des cristaux de glace, comme se forme la neige.) ;

Lutte contre l'incendie ;

Génération auxiliaire d'énergie ;

Bus de transfert de données (réseau informatique).