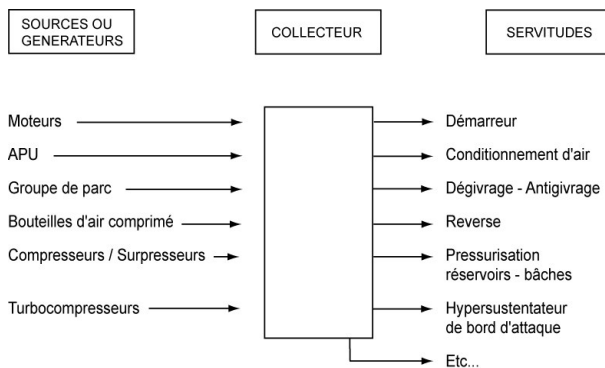




GÉNÉRALITÉS

Le rôle de la génération pneumatique est d'alimenter, à partir de plusieurs sources, différentes servitudes, pour un fonctionnement normal ou secours.



Avantages de l'énergie pneumatique :

- *Energie disponible (prélèvements).*
- *Légèreté.*
- *Pas de circuit de retour.*
- *Risque de moindre inflammabilité.*

Inconvénients de l'énergie pneumatique :

- *Compressibilité de l'air.*
- *Fuites difficiles à localiser.*
- *Diamètre des tuyauteries important.*

SOURCES DU GÉNÉRATEUR D'AIR

Les compresseurs et surpresseurs : Lorsque le prélèvement d'air est impossible ou partiellement possible sur le moteur (GTR ou GMP) on a recours au compresseur et surpresseur entraîné mécaniquement.

- Le surpresseur assure un fort débit sous une faible pression.
- Le compresseur assure un faible débit sous une forte pression.

Les turbocompresseurs : Ensemble constitué d'une turbine et d'un compresseur centrifuge liés mécaniquement. Le compresseur aspire l'air à l'extérieur et le refoule vers le circuit de conditionnement d'air.

Prélèvement moteur : C'est le système le plus utilisé. Les prélèvements sont effectués sur les étages du compresseur haute pression GTR (N2). Les prélèvements effectués sur le fan (N1) ne sont utilisés que pour les refroidissements.

LE CIRCUIT PNEUMATIQUE

Le circuit pneumatique d'air est spécifique à chaque avion. Néanmoins il se dégage des généralités.

- **En fonctionnement normal**, l'air est prélevé sur un des étages intermédiaires des compresseurs HP.
- **Un collecteur pneumatique** reçoit l'air provenant de chaque GTR, de l'APU et au sol du groupe de parc, pour alimenter les servitudes.
- **La régulation de pression** s'effectue entre le GTR et le collecteur, à l'aide de vannes de type papillon.
- **Un prérefroidisseur**, constitué d'un échangeur air / air alimenté par de l'air frais venant du fan permet de refroidir l'air de prélèvement avant qu'il n'entre dans le collecteur.

- **La régulation de température** (de 180°C à 200°C) est obtenue en modulant l'air frais venant du fan à l'aide d'une vanne (fan air valve).
- **Le prélèvement APU** permet en vol comme au sol, l'alimentation via le collecteur, de la majeure partie des servitudes en conditions normales et secours. L'air est prélevé sur le compresseur de l'APU, par l'intermédiaire d'une vanne régulatrice de pression ≈ 40 PSI (Bleed APU) et d'un clapet anti-retour, pour être directement admis dans le collecteur sans passer dans le prérefroidisseur.
- **Au sol, un groupe de parc** permet l'alimentation directe du collecteur et par conséquent des servitudes. Il est surtout utilisé pour démarrer les moteurs et pressuriser les bâches hydrauliques en cas de panne APU.

PROTECTIONS

Protection surchauffe :

Les conduits d'air chaud, prélèvements CTR et APU, collecteur pneumatique, antigivrage voilure, sont surveillés par des boucles de détection surchauffe type « Gravinger » qui cheminent le long des tuyauteries.

Ventilation bords d'attaque :

Le bord d'attaque interne de chaque demi-voilure entre le mât réacteur et le fuselage est ventilé en permanence pour éviter des surchauffes dues au passage des gaines d'air chaud.

SERVITUDES PNEUMATIQUES

La génération pneumatique est très utilisée à bord des avions. Voici la liste des systèmes pouvant être alimentés :

- Conditionnement d'air (climatisation, pressurisation, ventilation).
- Antigivrages GTR et voilure.
- Pressurisation des réservoirs hydraulique et eaux.

- *Inverseurs de poussée*
- *Hypersustentateur de bords d'attaque.*
- *Entraînement des pompes hydrauliques.*
- *Réchauffage carburant.*

CONDITIONNEMENT D'AIR

Le conditionnement d'air permet de recréer en altitude les mêmes conditions de vie et de confort qu'au sol. Trois fonctions sont nécessaires pour assurer ces conditions :

- *La climatisation = Confort*
- *La ventilation = Vie*
- *la pressurisation = Vie*

Dans un avion pressurisé, ces trois fonctions sont simultanées. En secours seul la ventilation sera assurée.

La climatisation : *Température ambiante comprise entre 18 et 25°C. L'air introduit sera donc réchauffé ou refroidi, compte tenu de la température extérieure mais aussi du nombre de passagers.*

- *Les avions subsoniques sont soumis à des températures totales négatives, il faudra alimenter la cabine en air chaud.*
- *les avions supersoniques sont soumis à des températures totales positives, il faudra alimenter la cabine en air froid.*
- *Le nombre de passagers est important. Le corps humain dissipe un nombre de calorie relatif à son état ou son comportement (repos = 75 W, activité ≈ 100 à 150 W).*

La ventilation : *Assure le renouvellement de l'air (donc O₂) en cabine afin d'éliminer les fumées, les gaz toxiques, les odeurs. La valeur est fixée par la réglementation (JAR 25) à un minimum de 280 l/min/passager d'air frais, auquel on ajoute de l'air recyclé jusqu'à 40 et 50 %.*

La pressurisation : *Consiste à maintenir à l'intérieur de la cabine une pression normale égale ou supérieure à 750 hPa (2500 m). Le débit d'entrée (Q_E) étant*

maintenu constant, il suffit de maîtriser le débit de sortie (Q_s) pour déterminer une pression cabine.

PROCÉDÉS DE RÉCHAUFFEMENT

L'air provenant du collecteur est trop chaud pour être utilisé tel quel et devra être refroidi. Trois procédés sont très utilisés dans les circuits de climatisation d'avions commerciaux.

- ***Refroidissement par échangeur air / fréon.*** Même principe que les réfrigérateurs, l'air se refroidit en circulant au travers d'un évaporateur à fréon.
- ***Refroidissement par échangeur air / air.*** Une écope située sous le fuselage permet à l'air dynamique de traverser l'échangeur pour refroidir l'air provenant du collecteur de prélèvement.
- ***Refroidissement par détente.*** L'air venant du collecteur ou d'un échangeur (dans la plupart des cas) se refroidit par détente sur la turbine. Cet ensemble turbine-compresseur se nomme groupe de réfrigération.

Nota : Les procédés de refroidissement par échangeurs air / air et par détente sont les plus utilisés.

CLIMATISATION

Groupe de climatisation ou pack :

L'air venant du collecteur traverse le pack où il est fortement refroidi. À sa sortie sa température $\approx 0^\circ\text{C}$. Un piquage alimente en air froid les aérateurs individuels passagers. L'air climatisé est un mélange d'air pris en amont et en aval du pack.

Il existe deux types de groupes de climatisation :

- Le groupe cycle simple ne possède qu'un seul échangeur thermique air / air. Il est situé à l'entrée du groupe et permet une chute importante de la température. Et d'un seul compresseur celui du GTR.

- **Le groupe à cycle double** (ou boots trap) qui comporte deux compresseurs en série, le premier étant le compresseur GTR et le second le compresseur situé à l'intérieur du pack. **C'est actuellement le plus utilisé**

Fonctionnement d'un groupe à cycle double :

L'air venant du collecteur au travers de la vanne du groupe (ou pack valve) est comprimé par le compresseur, puis refroidi dans l'échangeur (air frais). La détente sur la turbine va encore abaisser sa température (air froid). Il traversera le séparateur d'eau puis sera dirigé vers la cabine et le poste par les gaines de distribution.

La vanne by-pass turbine et le volet de sortie sont liés mécaniquement.

- **Plein chaud** : Vanne by-pass turbine ouverte, volet de sortie échangeur fermé.
- **Plein froid** : Vanne by-pass turbine fermée, volet de sortie échangeur ouvert.

Le séparateur d'eau :

Si le séparateur d'eau n'existait pas, il y aurait condensation sur les parois internes du à la différence de température entre les parois externes (-25°C) et interne (+25°C).

Il est surtout utilisé au sol et dans les basses couches, ou l'humidité de l'air est importante. Par contre, en croisière cette humidité étant nulle (-56°C) sa présence n'est pas indispensable.

L'air qui pénètre en cabine sera donc très sec et va s'humidifier dans les poumons des passagers qui se déshydratent (distribution fréquente de boissons).

Protection des groupes et gaines :

Les ensembles turbine / compresseurs sont pourvus de détecteurs de surchauffe et de survitesse.

Une surveillance est également assurée dans les gaines de distribution concernant les anomalies de surchauffe.

Régulation de température du groupe (pack) :

- *Mode manuelle : en utilisant les deux positions momentanées « COLD et HOT » du sélecteur de commande, on agit sur le vérin électrique du volet de sortie d'air qui va positionner la vanne by-pass turbine en ouverture ou fermeture suivant que l'on demande du chaud ou du froid.*

- *Mode automatique : le vérin électrique donc la vanne by-pass est commandé par un régulateur qui tient compte des informations :*

- *Du signal de température demandée au groupe.*
- *De la température de sortie de groupe.*
- *De la position du sélecteur sur « AUTO ».*

Régulation de température des zones :

Sur les avions de moyenne et de grande capacité, le volume en cabine est tel que la régulation est impossible. On a donc divisé la cabine en 3 ou 4 zones qui pourront être alimentées par des températures différentes.

Tous les packs fournissent un collecteur dit « froid » qui alimente les zones.

En amont de chaque pack une dérivation d'air alimente, au travers d'une vanne (trim air valve), un collecteur dit « chaud ».

Des vannes de contrôle température zone (temp control valves) permettent d'augmenter si nécessaire la température dans une zone ou l'autre.

En principe, les packs régulent leur température de sortie sur la plus basse des valeurs demandées dans les zones.

Le contrôleur de température zone arrière, par exemple, reçoit des informations :

- *D'une sonde de température gaine (anticipation)*
- *D'une sonde de température ambiante*
- *Du sélecteur de température plage AUTO situé au poste*
- *Du vernier PNC*

A partir de ces informations, le contrôleur de température commande le TEMP CONTROL VALVE qui rajoute plus ou moins d'air chaud à l'air frais.

VENTILATION - DISTRIBUTION

La ventilation d'un avion est généralement effectuée de l'avant vers l'arrière (poste de pilotage → 1^{ère} Classe → Cabine touriste) et du haut vers le bas (plafond → plancher → soutes).

Poste de pilotage : *Toujours alimenté par 100 % d'air frais au travers de rampes et diffuseurs.*

Cabine passagers : *L'air est mélangé à de l'air recyclé et distribué par des gaines et diffuseurs situés au plafond. Cet air quitte la cabine par des grilles latérales situées au niveau du plancher le long des parois. Il traverse les soutes avant d'être évacué vers l'extérieur.*

Des prises individuelles passagers, alimentées en air froid prélevé directement sur la sortie du séparateur d'eau, augmentent le confort en cabine.

Soutes : *Elles sont toutes pressurisées, certaines chauffées et ventilées par l'air cabine. On peut y transporter des animaux. Elles sont isolées en cas d'émission de fumées.*

Soutes électronique et batteries : *L'air cabine est pulsé à l'aide de ventilateurs au travers des armoires et compartiments.*

Toilettes et galleys : *Même principe que la soute électronique, des ventilateurs souvent communs forcent le débit d'air et fonctionnent dès la mise sous tension de l'avion.*

Protections fumées – surchauffe : *Tous les conduits sont équipés de détecteurs qui signalent toute anomalie au poste de pilotage.*

Ventilation dynamique de secours : *Suite à une dépressurisation de la cabine ou une panne totale de conditionnement d'air et lorsque l'avion a rejoint l'altitude minimum requise (≤ 3000 m), que les masques à oxygène ne peuvent plus être utilisés, il est impératif de ventiler la cabine.*

Une prise d'air contrôlée par un volet permet l'admission d'air dynamiquement dans le collecteur froid. Cet air est dirigé en priorité vers le poste de pilotage et ensuite la cabine.

Recirculation d'aire cabine : Par souci d'économie de carburant, on a recours à une recirculation d'air cabine (40 à 50 %). Cet air est filtré puis pulsé dans le collecteur froid où il se mélange à l'air frais.

Epurateur d'air : Son rôle est de séparer l'air des poussières, surtout dans les basses couches et au sol.

CLIMATISATION ET VENTILATION DES AVIONS ÉQUIPÉS DE GMP

Ces avions n'étant pas pressurisés, l'air frais est directement prélevé à l'extérieur par une ou plusieurs écopés.

Air froid : Capté par une écope, pulsé par un ventilateur et distribué à la partie supérieure cabine par des prises individuelles passagers.

Air chaud : L'air est réchauffé et distribué par une gaine munie de diffuseurs situés dans le plancher cabine.

Deux sorties et un ventilateur permettent d'utiliser une partie de cet air en antigivrage / dégivrage pare-brise.

PRESSURISATION

Nous savons que le débit d'entrée Q_e est constant pour déterminer une pression cabine, il faut agir sur le débit de sortie Q_s .

La pression cabine est en vol supérieure à la pression extérieure. La valeur maximale de la différence de pression ΔP est liée à une limite structurale du fuselage et ne pourra en aucun cas être dépassée.

Principe de fonctionnement :

Le rôle de la pressurisation est d'assurer :

- Le contrôle de l'altitude cabine.
- Le contrôle de la vitesse verticale cabine ($V_z \text{ cab}$)
 - valeurs confort :

$V_z \text{ cab}$ montée 500 ft/min

Vz cab descente 300 ft/min

- *La limitation de la pression différentielle ΔP*
 - *valeurs situées entre 7,8 et 8,5 PSI*

Construction du circuit :

Un circuit de pressurisation comporte :

- *Un boîtier de commande qui permet :*
 - *de sélectionner les fonctions :*
 - normales (automatique)*
 - secours*
 - manuel*
 - amerrissage (ditching)*
 - *le réglage :*
 - de l'altitude du terrain*
 - de l'altitude de croisière cab/avion*
 - du vario cabine*
- *Un régulateur électronique qui reçoit :*
 - *les informations du boîtier de commande*
 - *la pression extérieure*
 - *la pression intérieure*
 - *la position de l'avion (relais sol/vol)*
 - *l'altitude pression (correction barométrique)*
 - *la position des manettes de poussée*
- *Une ou plusieurs vannes de régulation de débit de fuite (out flow)*
 - *vanne électro-pneumatique*
 - *vanne électrique*

Protection surpression / dépression :

Assurée par des soupapes ou clapets entièrement pneumatiques à fonctionnement automatique, indépendamment si la vanne de régulation (out flow) est électrique ou, intégrés à la soupape si la vanne de régulation est électro-pneumatique.

Protection décompression :

Pour améliorer la résistance des planchers et éviter leur effondrement suite à une dépressurisation rapide, par ouverture de porte de soute, des dispositifs, imposés sont aménagés.

Ce sont des panneaux, des clapets, des trappes dits « soufflables » qui s'effacent sous la différence de pression et qui peuvent être remis en place qu'au sol.

Ils sont situés latéralement à la hauteur du plancher ou sur celui-ci et également sur les parois latérales des soutes.

Protection altitude cabine excessive :

En vol, si une fuite Q_f survient, le bilan de fuites sera $Q_s' = Q_s + Q_f$ et donc $Q_e < Q_s'$. L'altitude cabine Z_c va \nearrow .

Le régulateur va envoyer un signal de fermeture sur la vanne out flow. Q_s vers 0. Si la fuite est légère le problème est résolu.

Si la fuite est très grande et que $Q_e < Q_f$, l'altitude cabine va \nearrow sans être maîtrisée et des alarmes seront déclenchées.

Protection amerrissage :

Une commande poussoir ou interrupteur « ditching » permet en une seule action de fermer simultanément toutes les vannes du conditionnement d'air (enceinte hermétique).

Pressurisation type mercure :

La vanne de régulation qui règle le débit de sortie Q_s est actionné par :

- soit un moteur électrique alternatif
- soit un moteur électrique continu.

Le régulateur de pression entièrement électronique, envoie à la vanne de régulation des ordres de fermeture et d'ouverture.

La pressurisation est commandée à partir du panneau de contrôle. Selon le mode sélectionné, elle peut être :

- en mode auto
- en mode stand by (semi-automatique)
- en manuel AC
- en manuel DC

Au décollage l'avion est pressurisé. Deux causes peuvent perturber la pressurisation et donc perturber le confort passager :

- l'effet de sol sur la vanne de pressurisation
- la variation brusque d'incidence sur les prises statiques.

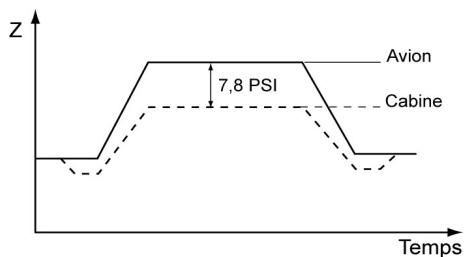
Le phénomène appelé « bump » est ainsi évité.

Fonctionnement :

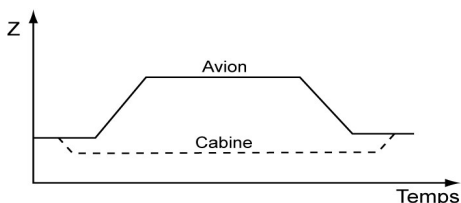
Mode auto :

Le régulateur choisit entre l'altitude de croisière affichée et l'altitude du terrain d'atterrissage.

Si $Z > 19\,500$ ft, c'est cet affichage qui sera pris en référence. Il en résultera une altitude cabine correspondant à la ΔP de 7,8 PSI.



Si $Z < 19\,500$, c'est l'altitude du terrain d'atterrissage à laquelle est ajoutée la valeur de 0,15 PSI qui sera prise en référence.



Mode Stand by :

La régulation dépend alors de l'altitude cabine affichée.

Les données à afficher par l'équipage sont :

- l'altitude cabine désirée
- le taux de variation d'altitude cabine désiré (cabin rate).

Les cas de transfert automatique du mode auto au mode stand by sont :

- perte d'alimentation électrique du mode auto
- altitude cabine $> 14\,250\text{ ft}$
- taux de variation altitude cabine 1800 ft/min pendant 3 min
- taux de variation altitude cabine 3000 ft/min instantanée.

Mode manuel AC et manuel DC :

Dans ces deux modes, la vanne de régulation est actionnée par un inverseur Open-Close.