



Figure I.4 : Photographie de la RAT
Hamilton Sundstrand pour A330 et A340

Dossier ressource de la RAT (Ram Air Turbine)

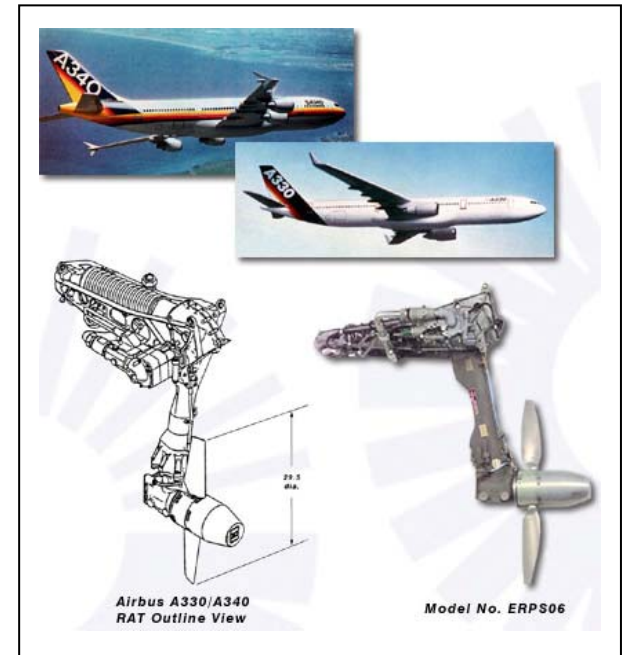
Turbine à air dynamique

Sommaire de ce dossier

1. Besoins énergétiques d'un avion
2. Localisation de la RAT sur avion
3. Présentation du système

- Cas de pannes à couvrir par la RAT
 - Le système anti-ice
 - Le governor assembly
 - La pompe hydraulique
 - Plan d'ensemble de la RAT de l'A320
 - Plan d'ensemble de la RAT de l'A380
 - Caractéristiques techniques de la RAT

4. Comparaison et évolution de la génération électrique vers l'A380
5. Et l'avenir...



1. Besoins énergétiques d'un avion

En aéronautique, le besoin énergétique est important outre la propulsion, les énergies dites de servitudes sont indispensables car elles permettent d'assurer les performances, la sécurité et le confort.

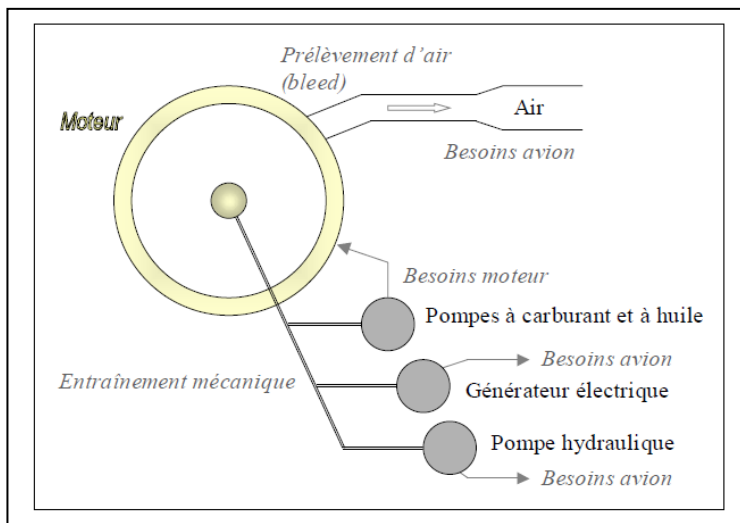
Tout d'abord, il faut actionner les commandes de vol pour diriger l'avion (gouvernes de profondeur, de direction...) ainsi que le train d'atterrissage escamotable.

Pour les avions de taille importante, la seule force de l'homme ne suffit pas pour réaliser ces actions, une autre source d'énergie est donc indispensable.

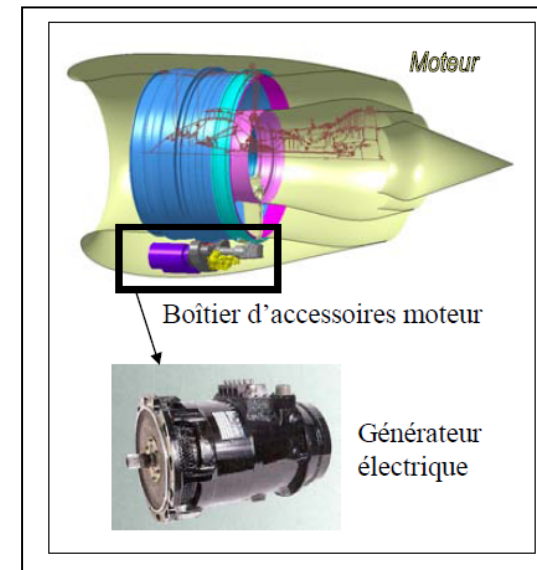
Ensuite, il y a l'alimentation de tous les équipements électroniques nécessaires à la navigation, et les instruments de contrôle. Enfin, les charges commerciales telles que l'éclairage et les appareils de cuisson requièrent une énergie conséquente. Tous ces systèmes embarqués imposent le recours à différents types de sources d'énergie.

L'énergie utilisée se présente sous forme hydraulique, électrique et pneumatique.

Les moteurs de l'avion alimentent divers équipements permettant de générer ces différentes sources d'énergie.



Différentes sources d'énergie mises en œuvre



Vue physique d'un moteur et emplacement du boîtier d'accessoires

L'énergie hydraulique est obtenue par une pompe entraînée mécaniquement par le moteur. Généralement, elle est utilisée pour actionner les commandes de vol (via les servocommandes) ; elle délivre la puissance nécessaire pour diriger l'avion. Elle permet également la sortie et la rentrée du train d'atterrissage, ainsi que le freinage.

La génération électrique est également obtenue par entraînement mécanique. Un générateur produit l'électricité alimentant de nombreux équipements : calculateurs, instruments de navigation, commandes d'actionneurs, ainsi que les appareils d'éclairage, de cuisson, audiovisuels, etc. L'électricité est utilisée, non-seulement pour les fonctions

« essentielles » de l'avion, mais aussi pour le divertissement et le confort des passagers.

Pour finir, dans le cas de moteurs à réaction (turbofans sur les Airbus), l'air est en partie prélevée sur le compresseur basse pression (et haute pression dans une moindre mesure) des moteurs. Il permet la pressurisation et la climatisation du cockpit et de la cabine.

Les prélèvements d'énergie sur les moteurs sont donc importants. La part utilisée pour produire de l'électricité était jusqu'à lors faible devant la somme des prélèvements.

Aujourd'hui, les avions utilisent de plus en plus l'énergie électrique, comme l'exprime le terme d'avion « plus électrique », venu du fait de l'augmentation du nombre de systèmes électriques...

2. Localisation sur avion Airbus

Sur A330

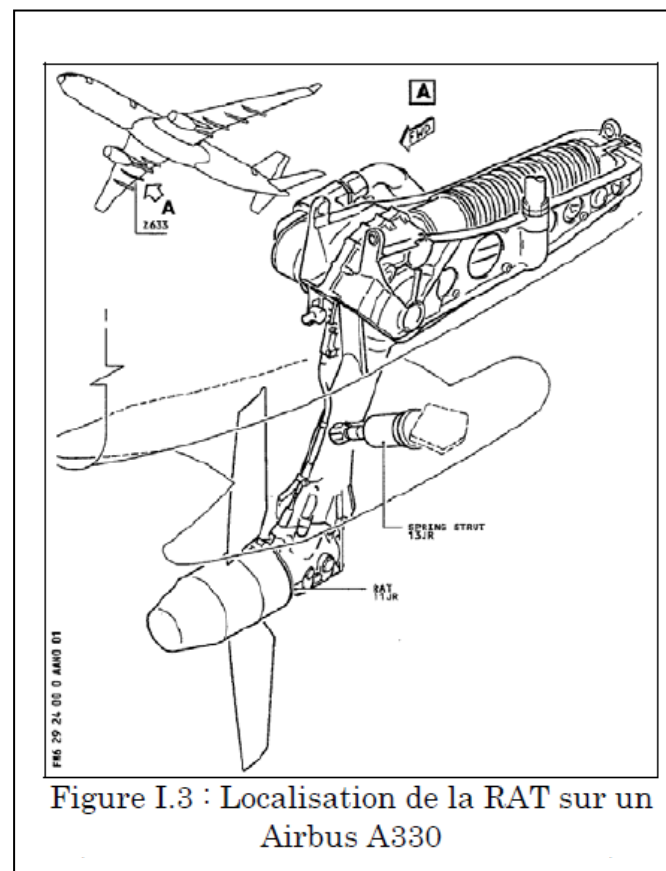
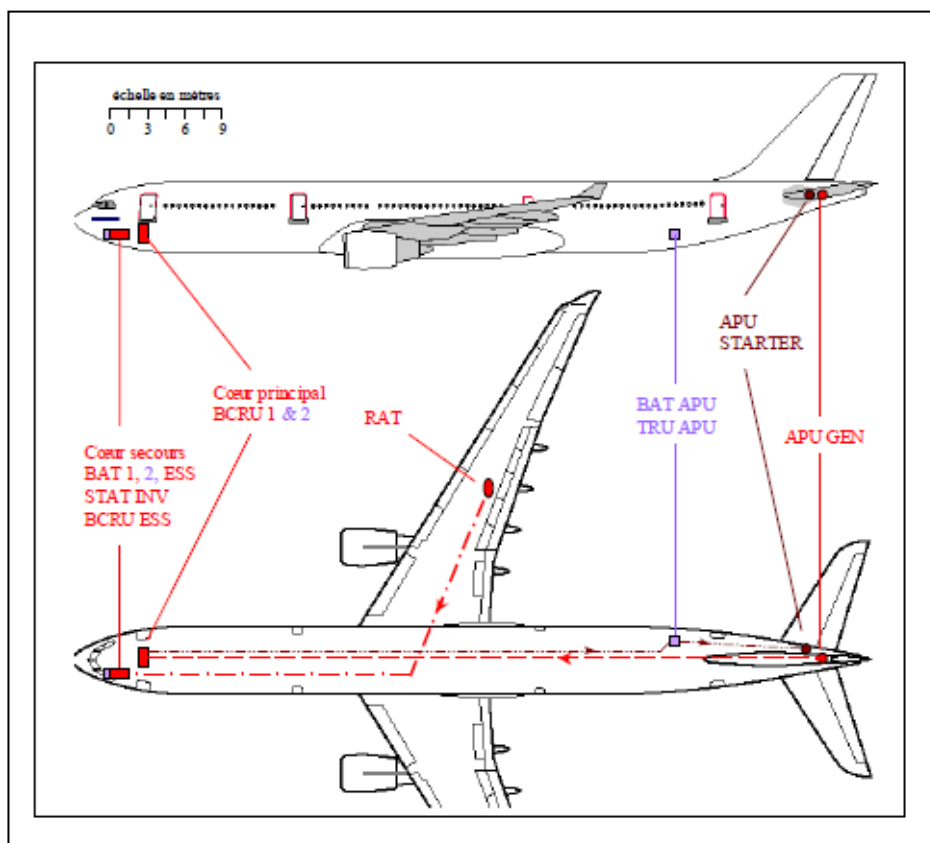
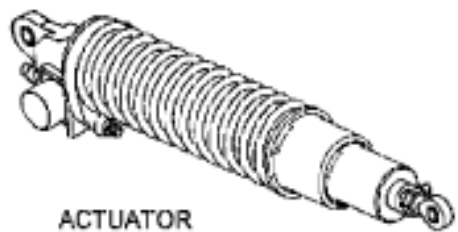
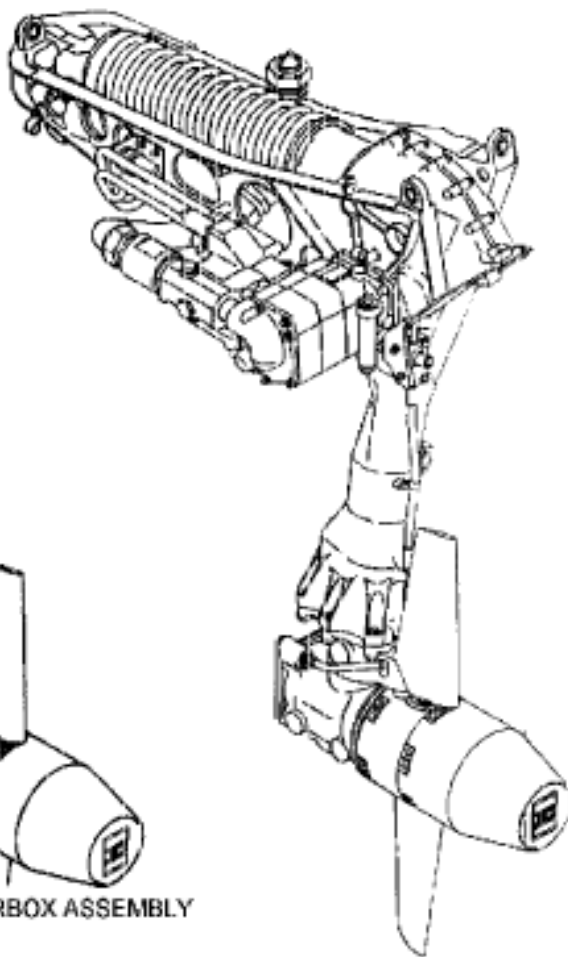


Figure I.3 : Localisation de la RAT sur un Airbus A330

MODEL ERPS06M



ACTUATOR



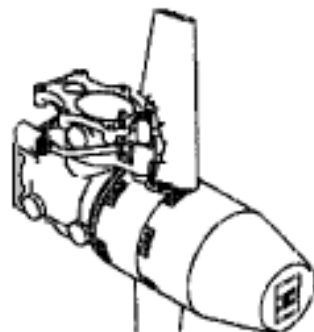
RAM AIR TURBINE MODULE ASSEMBLY



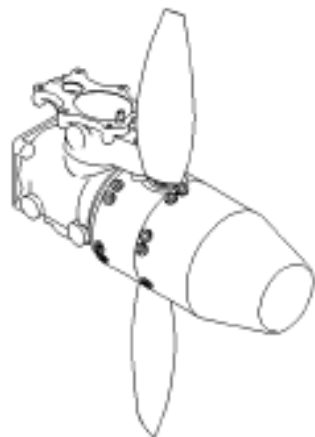
MANIFOLD



HYDRAULIC PUMP



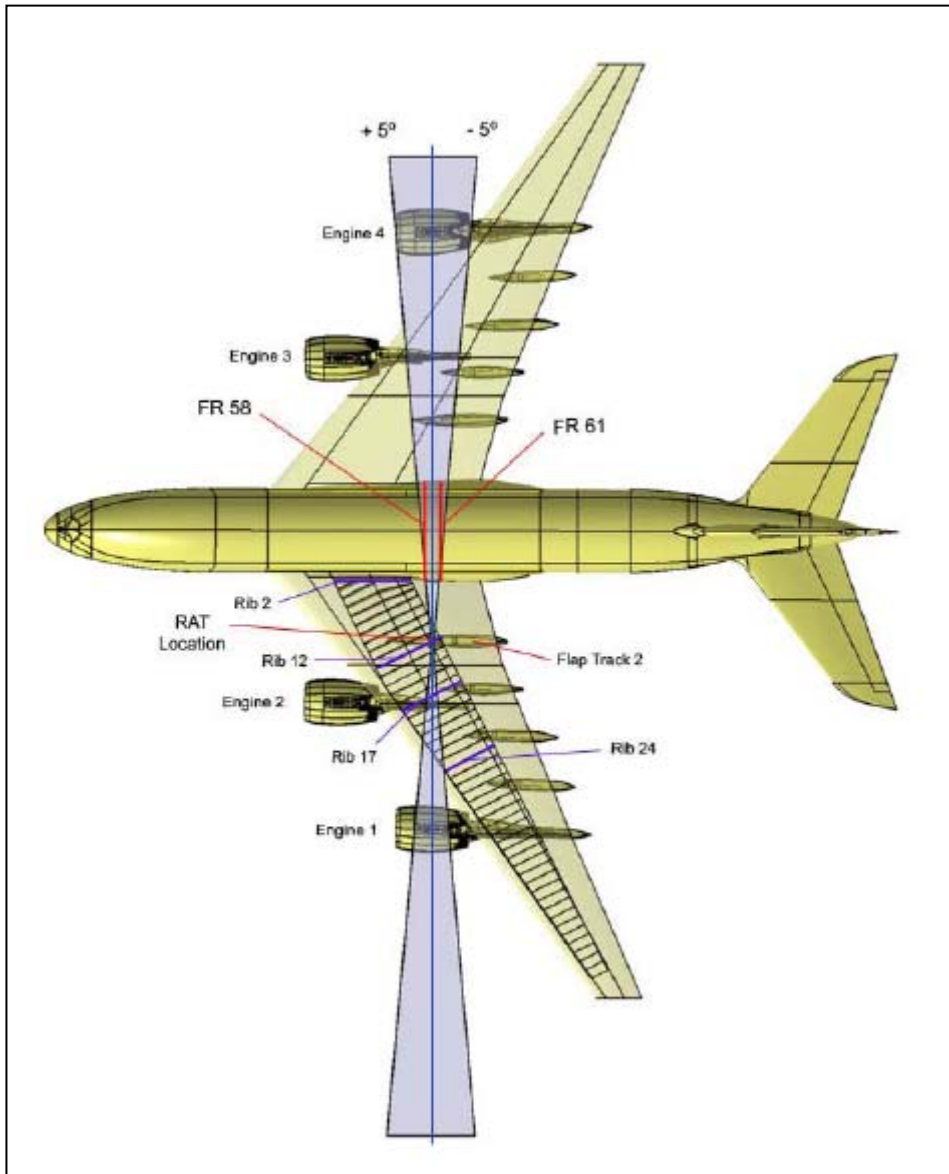
TURBINE LOWER GEARBOX ASSEMBLY
762917 SERIES

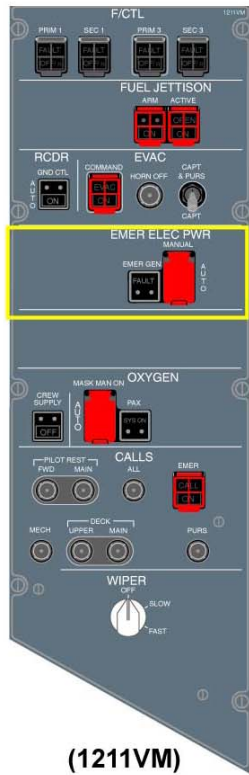


TURBINE LOWER GEARBOX ASSEMBLY
766542 SERIES

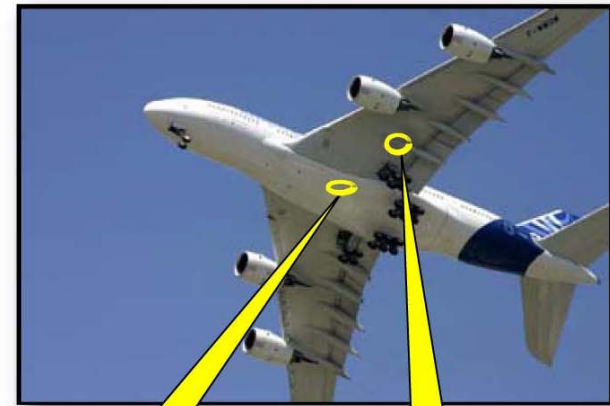
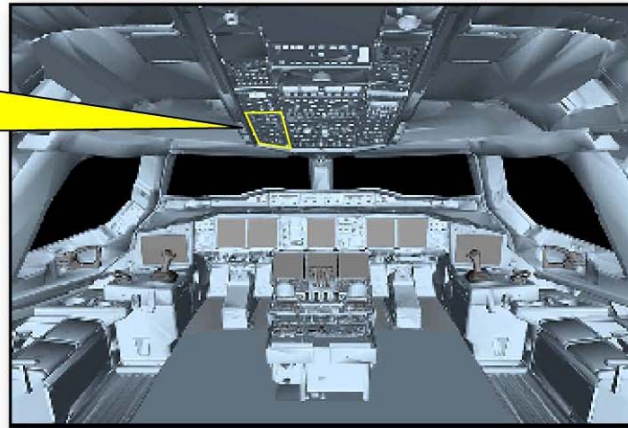


Sur A 380



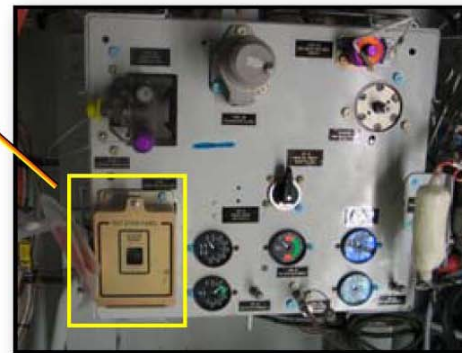


(1211VM)



RAT DEPLOYED

RAT STOW PANEL



GROUND SERVICE PANEL (GSP)



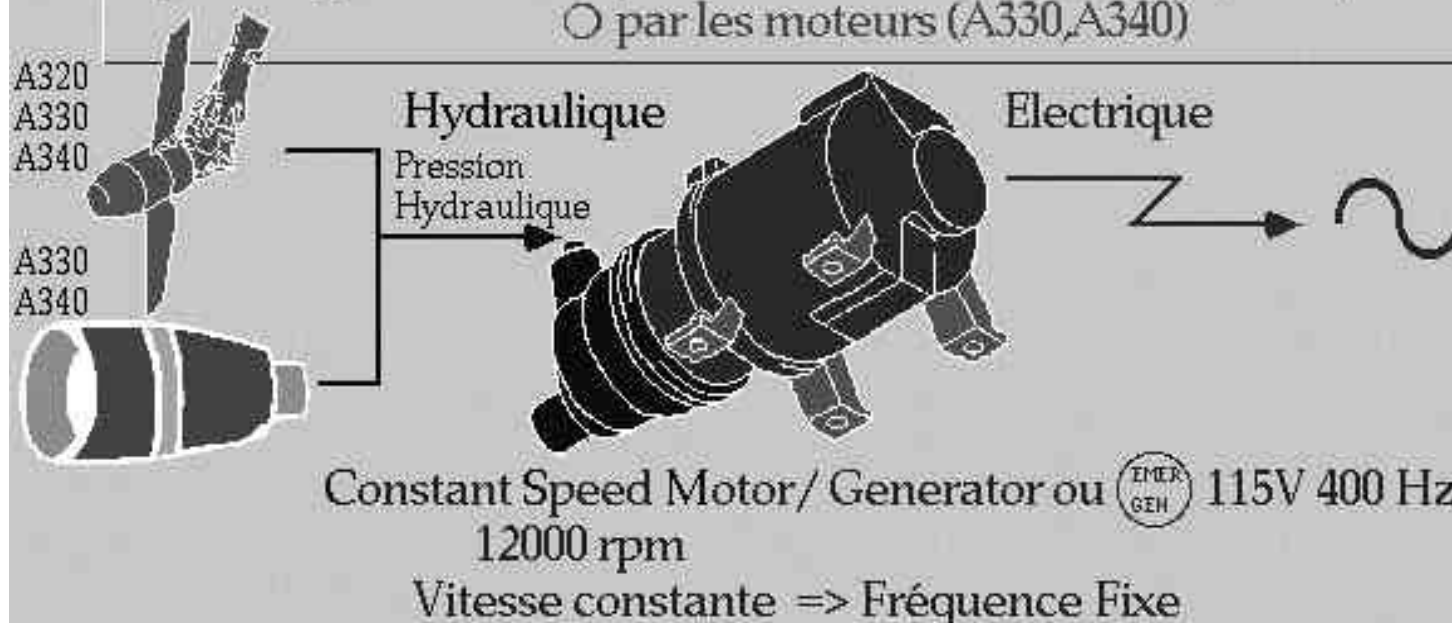
Présentation du système

- Pourquoi un alternateur secours CSM/G sur Airbus ? -

ou 

Sur perte de toutes les sources d'alimentation alternatives et pour éviter d'épuiser trop vite les réserves des batteries.

On met en ligne un alternateur secours entraîné par la pression Hydraulique fournie ○ par la Ram Air Turbine (A320, A330, A340)
○ par les moteurs (A330, A340)



La RAT est un équipement de secours qui fournit à l'avion la puissance hydraulique nécessaire pour diriger l'avion via les surfaces mobiles lorsque les moteurs ou les circuits hydrauliques principaux sont en panne.

L'utilisation d'un ressort pour éjecter la RAT rend l'utilisation de la puissance hydraulique inutile pour sortir la RAT.

La RAT de l'A320 est composée de plusieurs éléments majeurs : une turbine avec un système de régulation du pas pour éviter les survitesses, un système de transmission de puissance, une pompe hydraulique avec une valve « anti-stall » pour permettre à la pompe de fonctionner même à faible vitesse, un système « anti-ice » et une jambe.

- **Cas de pannes à couvrir par la RAT**

Diverses pannes peuvent se produire sur un avion. Il convient de les envisager de manière à maîtriser leurs conséquences. Les deux principaux cas de panne à couvrir sont :

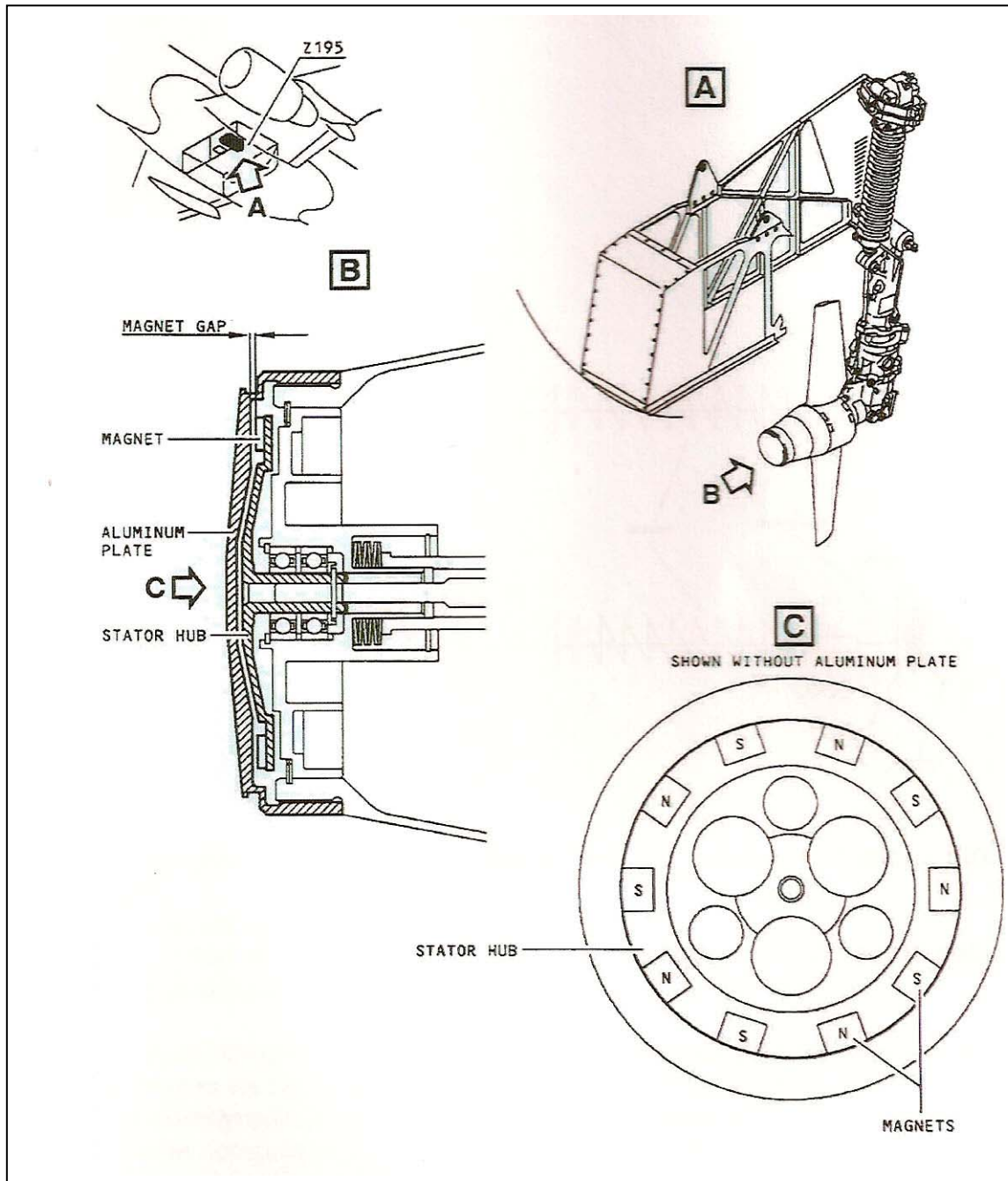
- La perte totale des moteurs (TEFO : Total Engine Flame Out) ;
- La perte de la génération électrique normale (TLMES : Total Loss of Main Electrical System).

Bien évidemment, le premier cas implique systématiquement le deuxième, puisque les moteurs entraînent tout le système de génération. Cependant, une contrainte supplémentaire apparaît dans le cas de la perte de la génération seule ; il s'agit du temps de fonctionnement. En effet, dans ce cas, l'avion est capable de voler pendant une longue durée car la propulsion est maintenue. La génération électrique de secours doit alors être disponible pendant plusieurs heures. Ce n'est pas le cas lors d'une perte totale des moteurs, où l'avion gagne le sol assez rapidement.

Les avions de la gamme Airbus depuis l'A320 sont dits « à commande électrique », c'est à dire qu'il n'y a plus de liaisons mécaniques entre les leviers de commande du pilote et les servocommandes. Les actionneurs des commandes de vol sont à puissance hydraulique, mais commandés électriquement.

Afin de couvrir les cas de panne (TEFO ou TLMES) des avions servocommandés, on a généralement recours à une éolienne se déployant sous l'avion. Celle-ci alimente les systèmes hydrauliques et électriques nécessaires pour ramener d'une façon sûre l'avion au sol.

- Le système anti-ice



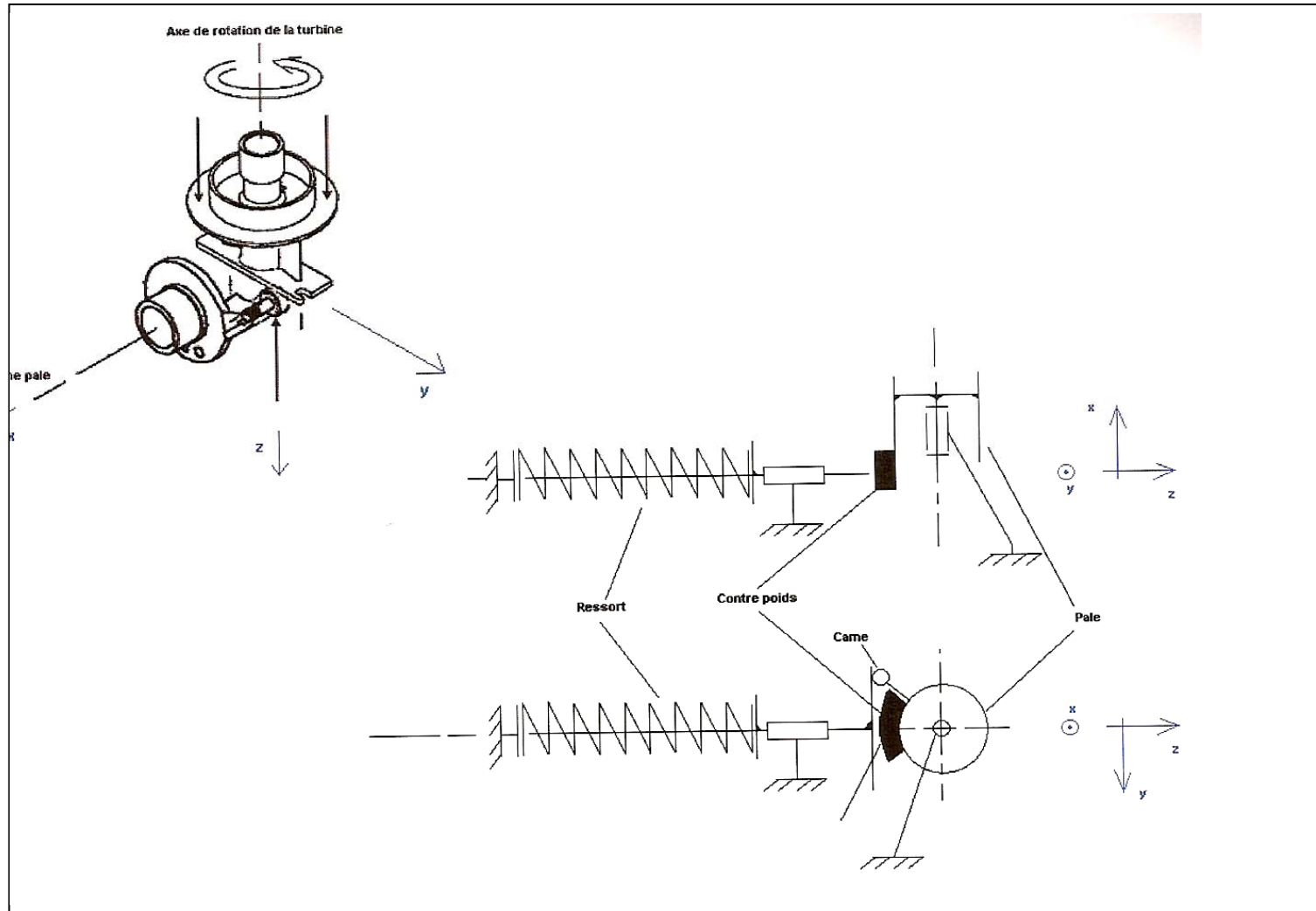
Il permet d'éviter l'accumulation de glace sur la RAT en conditions givrantes quand celle-ci est en opération en assurant une température de trois degrés minimum au niveau du moyeu de celle-ci. Il utilise les courants de Foucault pour produire la chaleur. Aucune source de puissance externe n'est nécessaire.

Il est composé de deux éléments basiques :

- Une plaque d'aluminium conductrice.
- Un nombre pair d'aimants

Les aimants sont disposés sur une plaque ronde statique et quand la plaque d'aluminium tourne (en même temps que la RAT), les aimants génèrent un champ magnétique qui produit un courant électrique. La résistance électrique crée alors une dissipation de puissance sous forme de chaleur à l'origine du chauffage du moyeu.

- Le governor assembly



Le governor assembly est un système qui permet d'éviter les survitesses et de fournir la puissance demandée par l'utilisateur par le réglage du pas des pales.

Ce système équilibre les forces du contre poids des pales, des ressorts et les forces aérodynamiques pour maintenir la vitesse de rotation de la turbine entre 4750 et 6250 tr/min.

Cette vitesse est maintenue malgré les vibrations de la vitesse du vent et la charge de la pompe.

Le régulateur ajuste le pas des pales pour maintenir la vitesse de rotation dans cette plage pour des vitesses de vent comprises entre 82 et 130 nœuds.

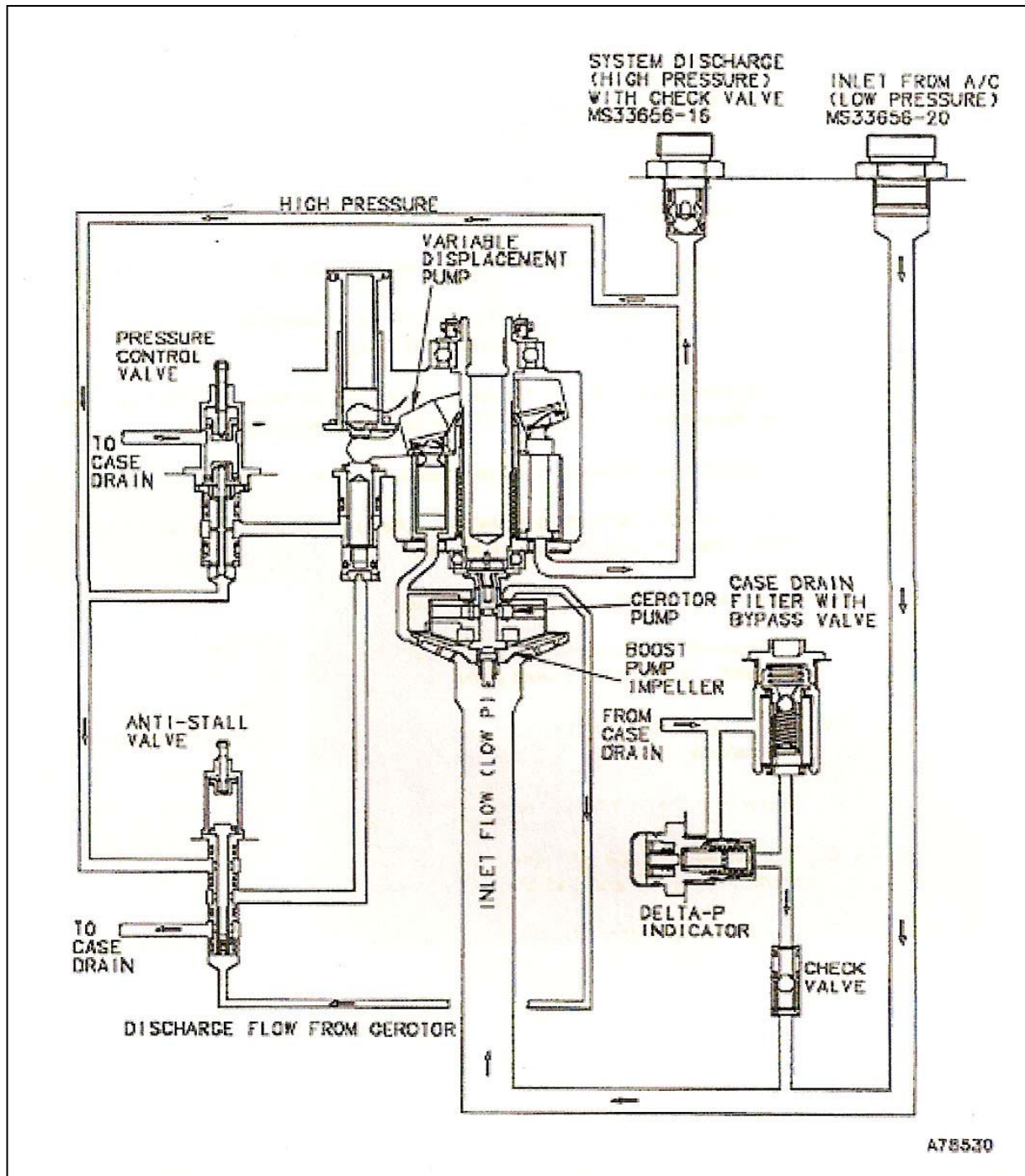
La pièce sur laquelle le ressort appui, est soumise aux forces ci-dessous :

- ★ L'action du ressort suivant \bar{z} .

- ★ L'effort de came, lui-même

induit par l'action de l'air sur la pale et amplifié par le contre poids. Ainsi lorsque la vitesse de la turbine augmente l'effort suivant l'axe \bar{z} (projection de l'effort aérodynamique global sur \bar{z}) augmente et la transmission de cette force à la came comprime le ressort ce qui entraîne un changement de l'angle d'attaque des pales permettant un ralentissement de la vitesse de rotation.

o La pompe hydraulique



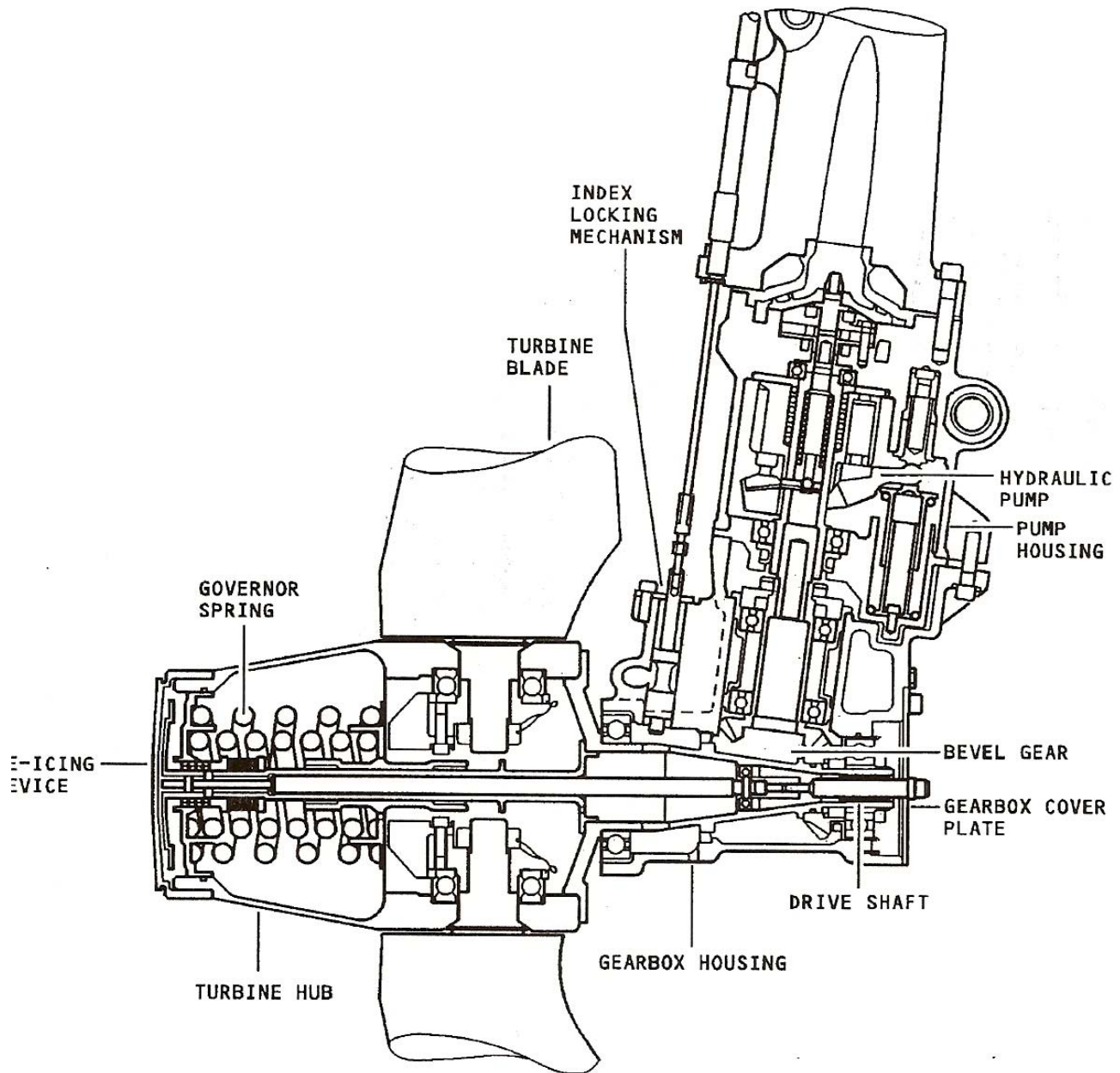
C'est une pompe hydraulique classique avec un plateau variable permettant de changer la cylindrée de la pompe.

En entrée, une pompe à barillet pressurise le fluide grâce à la force centrifuge. Ce fluide (skydrol) entre alors dans le cylindre qui en tournant comprime le fluide à la pression voulue. Ce fluide est envoyé vers les équipements qui en ont besoin.

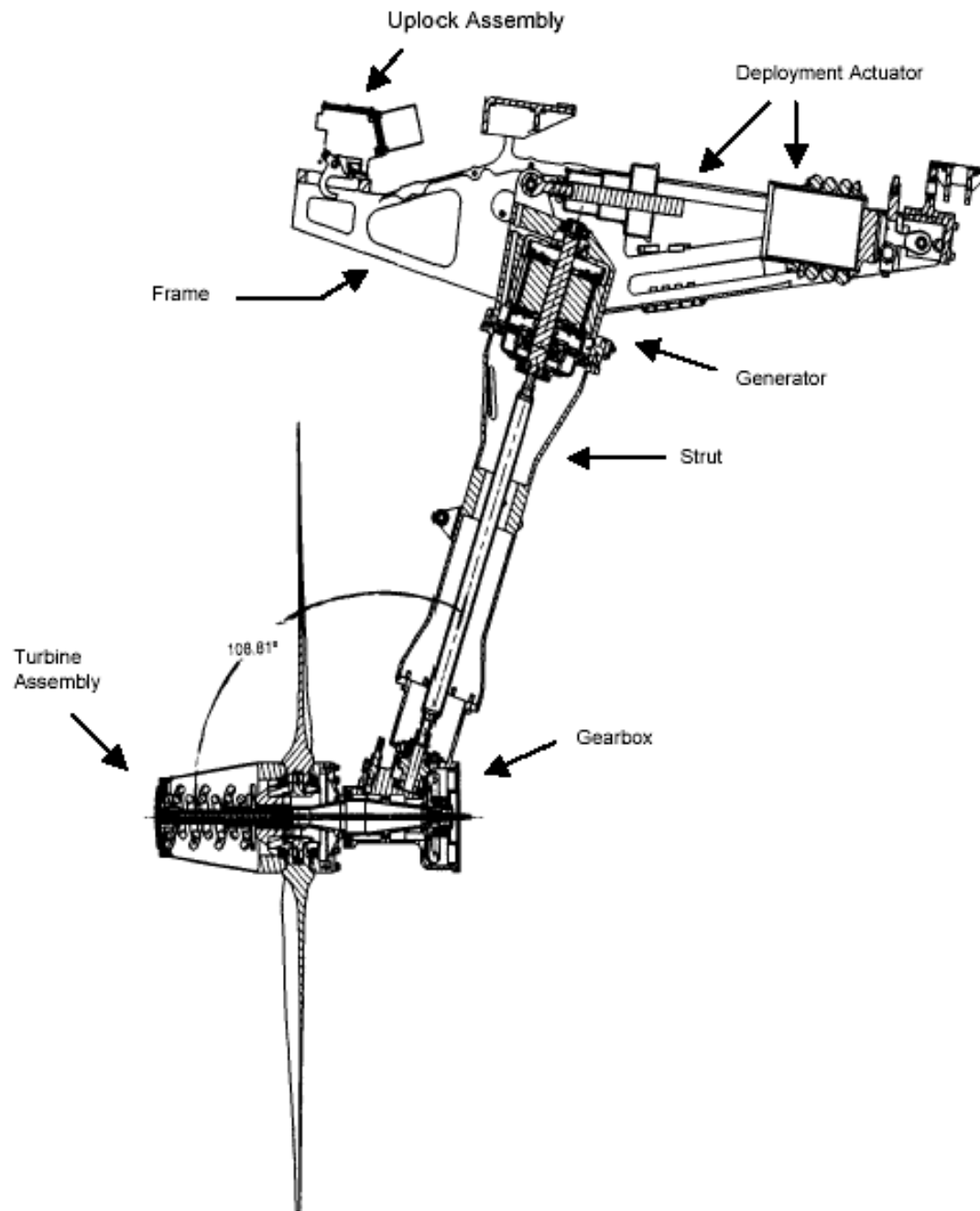
Une partie de ce fluide sous pression est aussi envoyé vers la « pressure control valve » qui contrôle la pression demandée et bouge en translation un piston qui permet de diminuer ou d'augmenter la cylindrée pour modifier la pression.

Une autre partie de la pression est envoyée vers « l'anti-stall valve » qui empêche le décrochage de la turbine en mettant le plateau mobile au neutre, c'est-à-dire à plat, ce qui permet de diminuer la charge sur la pompe et donc de diminuer le vent nécessaire pour la faire tourner.

- Plan d'ensemble de la RAT de l'A320



- Plan d'ensemble de la RAT de l'A380



- **Caractéristiques techniques de la RAT**

- Pour un A320

HAMILTON SUNDSTRAND
COMPONENT MAINTENANCE MANUAL
MODEL ERPS06M

RAM AIR TURBINE MODULE	
Speed and Direction of Rotation	
Direction of Rotation (looking aft).....	Clockwise
Minimum Airspeed at the Turbine for Rated Output	135.5 KEAS
Governed Turbine Speed (minimum/maximum)	4,800/6,600 rpm
Turbine/Hydraulic Pump Speed Ratio.....	1:1.09
Environmental Conditions	
Maximum Operational Altitude.....	41,000 ft (12.5 km)
Ambient Temperature Range.....	-85°F to 194°F (-65°C to 90°C)
Weight and Overall Dimensions	
Weight (Including 6.1 lb (2.77 kg) for Stow Panel).....	180.0 lb (81.65 kg)
Height	48 inch (1,220 mm)
Length.....	26 inch (660 mm)
Width.....	7 inch (178 mm)
Turbine Diameter	29.5 inch (749.3 mm)
HYDRAULIC PUMP	
Hydraulic Fluid	per NSA 307.110
Hydraulic Pump Output	
Rated Flow Capacity.....	21.6 gpm (81.8 lpm)
Discharge Pressure	2,640 psi (18,202 kPa)
Operational Speed	4,500 to 6,950 rpm
Displacement (nominal).....	0.9 cigr (94.75 ccpr)
Weight and Overall Dimensions	
Weight.....	14.0 lbs (6.4 kg)
Height	5.6 inch (142.24 mm)
Length.....	8.15 inch (207.01 mm)
Width.....	6.4 inch (162.56 mm Mounting Flange AND10261)
ACTUATOR	
Operating Pressure	2,610 to 3,000 psi (17,995 - 20,684 kPa)
Stroke	6.85 inch (173.99 mm)
Weight and Overall Dimensions	
Weight (dry).....	32.0 lbs (14.51 kg)
Length.....	31 inch (787 mm)
Diameter	4.9 inch (124.46 mm)

- Pour un A380

The overall dimensions are:

Airfoil Length (L)	701,2 mm
Maximum Chord (C_M)	145 mm
Mean Chord (C_m)	100 mm
Maximum Thickness (t_M)	25 mm
Mean Thickness (t_m)	13 mm
Turbine Diameter (Dt)	1625,6 mm
Blade centroid (Z_{CG})	316 mm

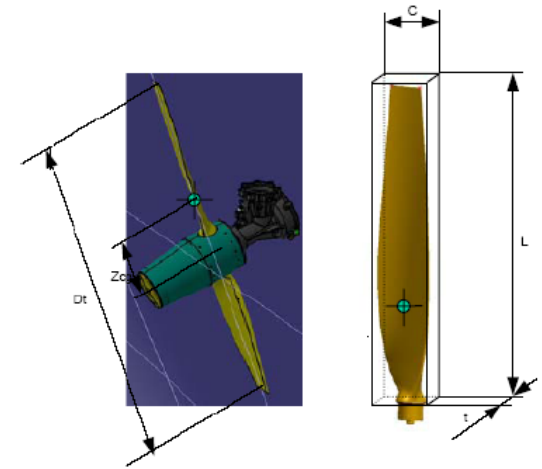


Figure 3: RAT Blade Dimensions

► Comparaison avec les Avions des programmes précédents

A320 & A340

► AC GENERATORS - IDG

- Frequence fixe 400 Hz
- IDG system

► RAT

- Hydraulic system

► Cœurs Electriques

- Composants Electromecaniques et câblage
- Controles par des calculateurs externes (ELMU, CBMU)

► Câble cuivre

A380

► AC GENERATORS - VFG

- Frequence variable de 370Hz à 800Hz pour VFG seulement
- Pas d'IDG systeme

► RAT

► RAT

- Systeme électrique (3~115 VAC) de 600Hz to 800Hz.

► Cœurs Electriques

- Modules and software incorporés
- Assure la gestion du réseau (PEPDC)
- Saut vers technologie SSPC (SEPDC & SPDB)

► CPIOM

- ELMU electrical load management unit

► Réseau AFDX

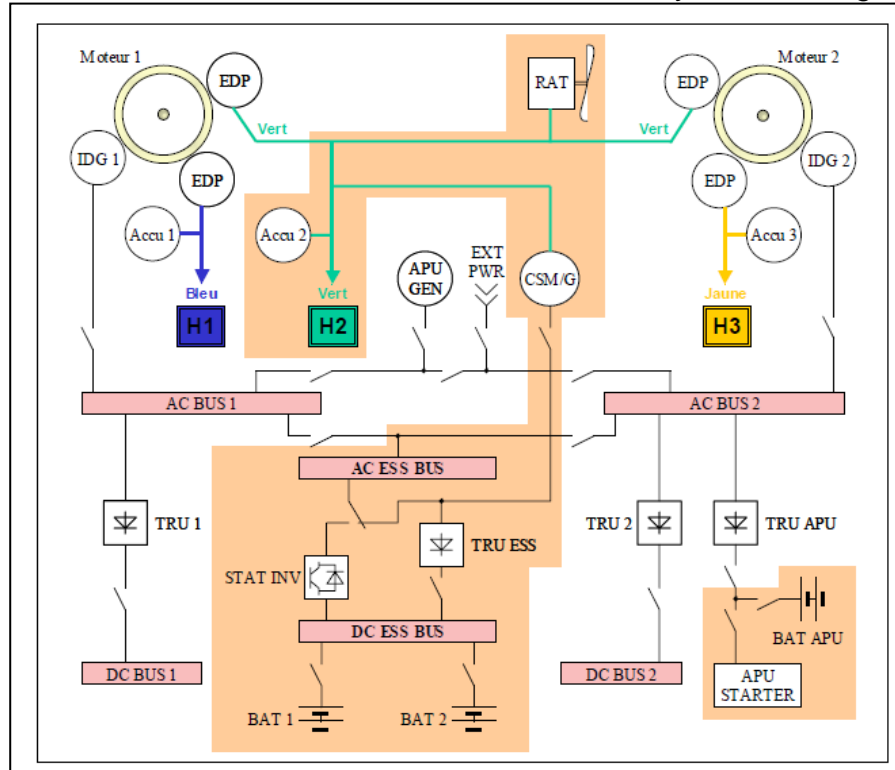
(présentation de L'ATA 42 à venir)

► Câble Aluminium (Cours EAO)

- Circuits électriques et hydrauliques

Ci-dessous le réseau électro-hydraulique d'un Airbus bimoteur. Il se base sur un Airbus A330, mais reste proche des autres avions de la gamme.

La partie du réseau électro-hydraulique utilisée en secours est surlignée. Il est important de préciser que cette partie du réseau est également utilisée en fonctionnement normal. Seuls les systèmes de génération sont spécifiques au fonctionnement secours.



- Circuits hydrauliques

Chaque réacteur entraîne une pompe hydraulique alimentant deux des trois circuits (bleu et jaune). Le troisième circuit hydraulique (vert) est alimenté par deux pompes entraînées chacune par un des deux réacteurs. La RAT est connectée sur ce circuit (vert), qui est donc utilisé en cas de secours.

Energie hydraulique

La famille Airbus depuis l'A320 utilise des servocommandes. Chaque avion dispose de trois circuits de puissance hydrauliques (3H) pour actionner les commandes de vol (gouvernes, volets et becs), les systèmes de freinage et les trains d'atterrissage. De cette manière, l'alimentation des actionneurs se répartit sur les trois circuits hydrauliques, permettant de conserver partiellement les commandes de vol suite à une défaillance sur un ou deux circuits. Chaque circuit est complètement indépendant ; il n'y a jamais de transferts de fluide d'un circuit à un autre.

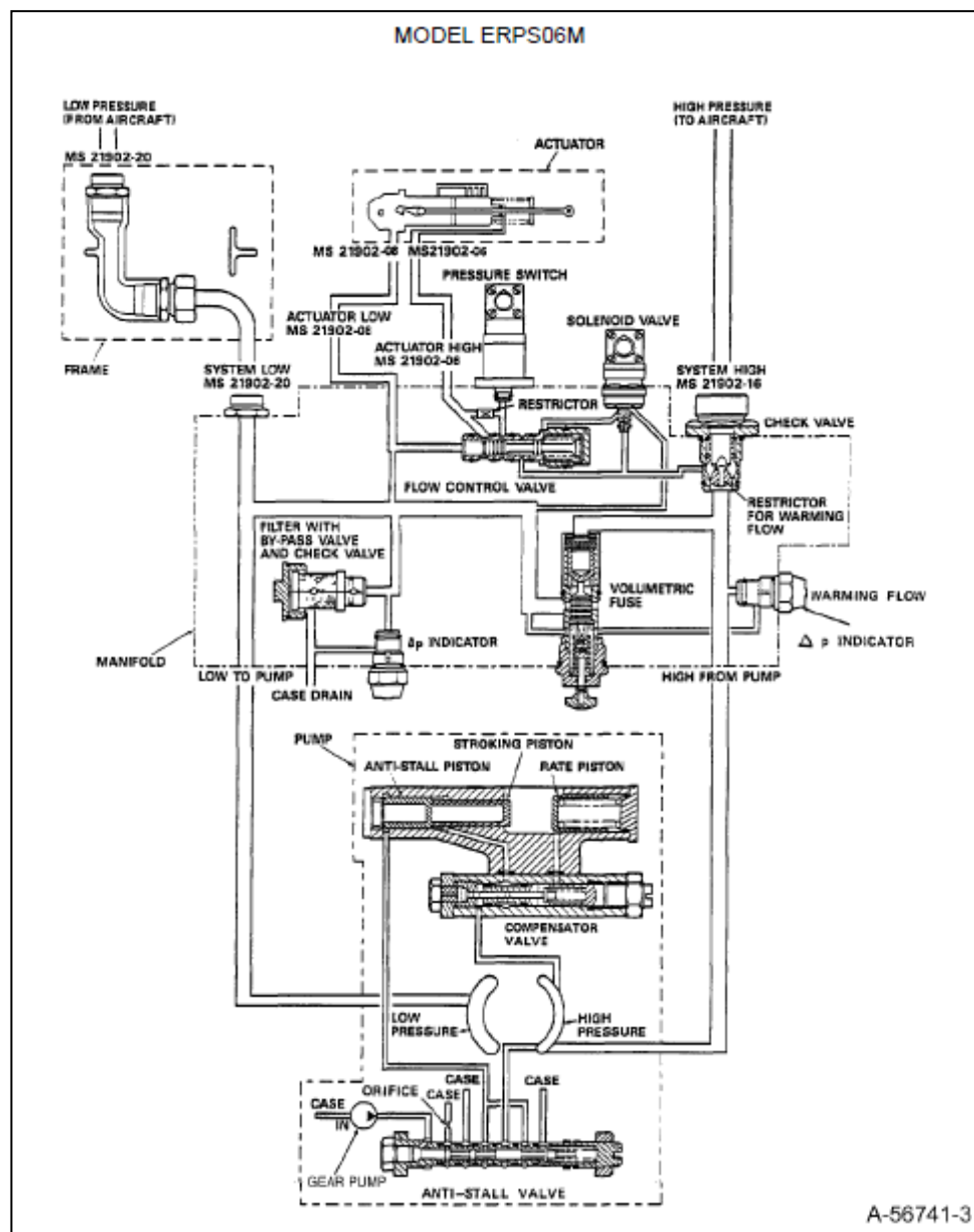
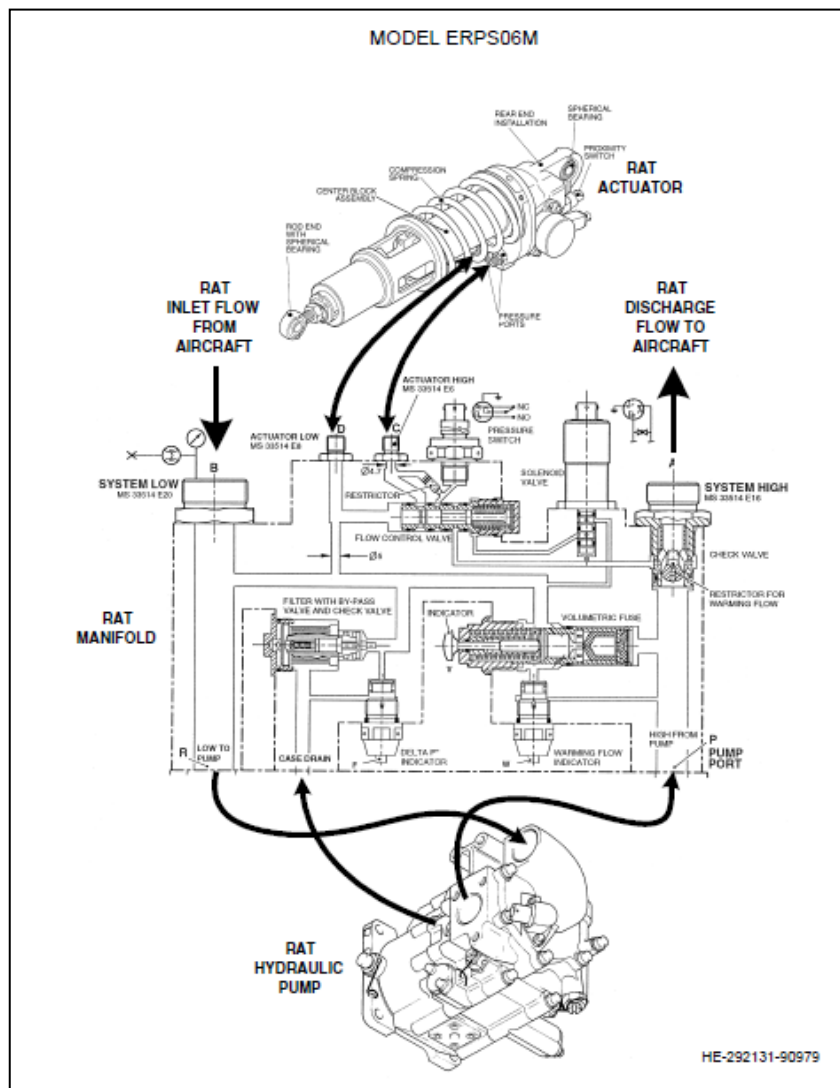
La génération hydraulique est obtenue grâce à des pompes entraînées par le compresseur haute pression des réacteurs

(EDP : Engine Driven Pump). En complément, on trouve des électro-pompes qui sont utilisées principalement pour les opérations de maintenance au sol, lorsque les moteurs sont éteints. Elles peuvent néanmoins être temporairement utilisées en vol dans certains cas de panne (rentrée des trains, des volets, etc.).

Un réservoir hydraulique est placé sur chacun des circuits afin de palier les variations de quantité de fluide dans les canalisations. Ces variations sont principalement dues au fonctionnement d'actionneurs et à la dilatation. Un accumulateur (Accu) est également disposé sur chaque circuit pour éviter les variations de pression lors du fonctionnement d'actionneurs puissants.

Différents types de valves prennent place dans le réseau hydraulique. Elles ont pour rôle de couper ou de limiter l'alimentation de certains consommateurs. Leur intérêt se situe en particulier pour les fonctionnements en secours, lorsque le débit disponible est plus faible qu'en fonctionnement normal.

Comme source de secours, on trouve une éolienne (RAT : Ram Air Turbine) se déployant en cas de besoin. Cette éolienne entraîne une pompe hydraulique permettant de pressuriser un des trois circuits. La puissance disponible est certes moindre qu'en fonctionnement normal, mais les fonctions « essentielles » sont assurées.



- Energie électrique

Le réseau électrique de ces avions est constitué d'une partie alternative (triphasee 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. Avantagement, 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 pas de mise en parallèle des générateurs, ce qui signifie que les bus principaux ne sont jamais interconnectés en fonctionnement normale. 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.

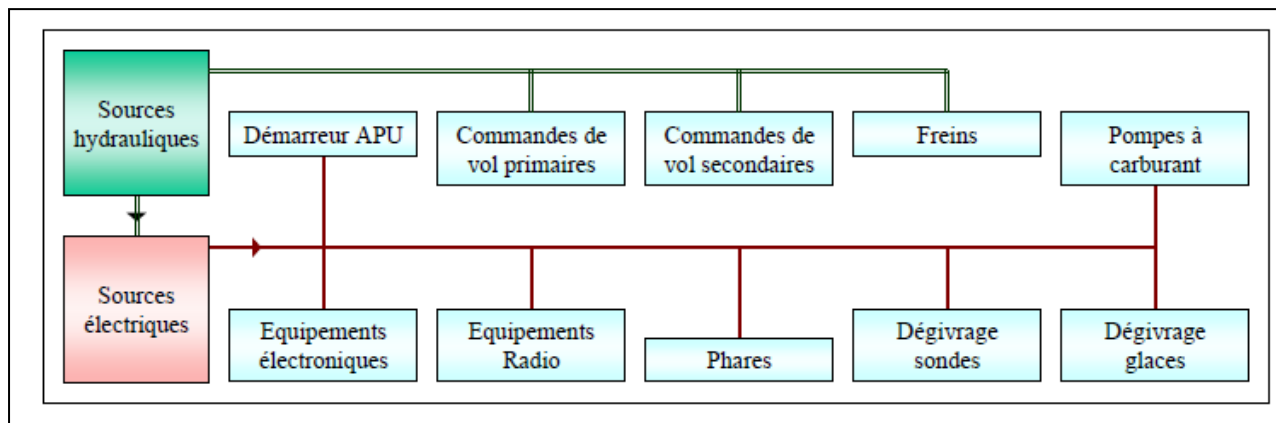
Le réseau continu (28 V DC) est obtenu à partir du réseau alternatif (115/200 V AC) à l'aide de plusieurs unités transformateurs-redresseurs (TRU : Transformer Rectifier Unit).

1. Comparaison et évolution de la génération électrique vers l'A380

- Avion conventionnel

Pour un avion « conventionnel » type A 340, les principales charges hydrauliques et électriques à alimenter en secours sont montrées ci-dessous.

Charges électriques et hydrauliques « secours » d'un avion « conventionnel ».



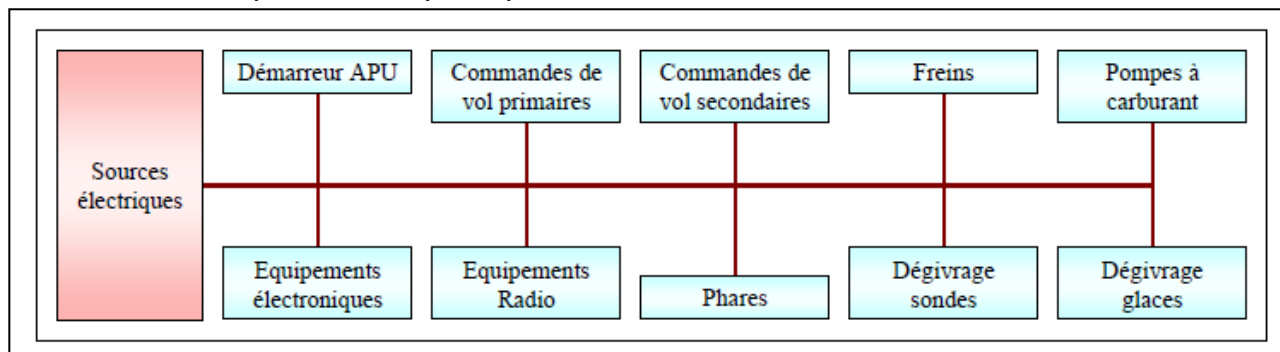
Les sources hydrauliques alimentent les plus gros consommateurs, à savoir les actionneurs de commande de vol et les freins des roues.

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, 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.

Avion « plus électrique »

Pour un avion « plus électrique » possédant un réseau de secours entièrement électrique, le schéma à considérer est celui-ci :



Les charges « essentielles » à alimenter en dernier secours sont identiques à celles précitées. Seuls les actionneurs de commande de vol et de freinage changent d'énergie, en devenant électriques. Il n'y a désormais plus de charges hydrauliques.

L'Airbus A380 fait un premier pas vers l'avion dit « plus électrique ». Ce très gros porteur quadrimoteur marque de nombreuses avancées technologiques par rapports aux précédents avions. Dans une philosophie d'avion « plus électrique », il utilise davantage l'électricité que ses prédécesseurs, en particulier pour les commandes de vol, où des actionneurs à puissance électrique font leur apparition en complément des servocommandes hydrauliques. Les principales avancées technologiques du point de vu de la génération/distribution électrique sont les suivantes :

- Certaines commandes de vol actionnées par puissance électrique ;
- Secours totalement électrique ;
- Fréquence variable sur le réseau à courant alternatif ;
- Disjoncteurs électroniques pour les petits et moyens calibres.

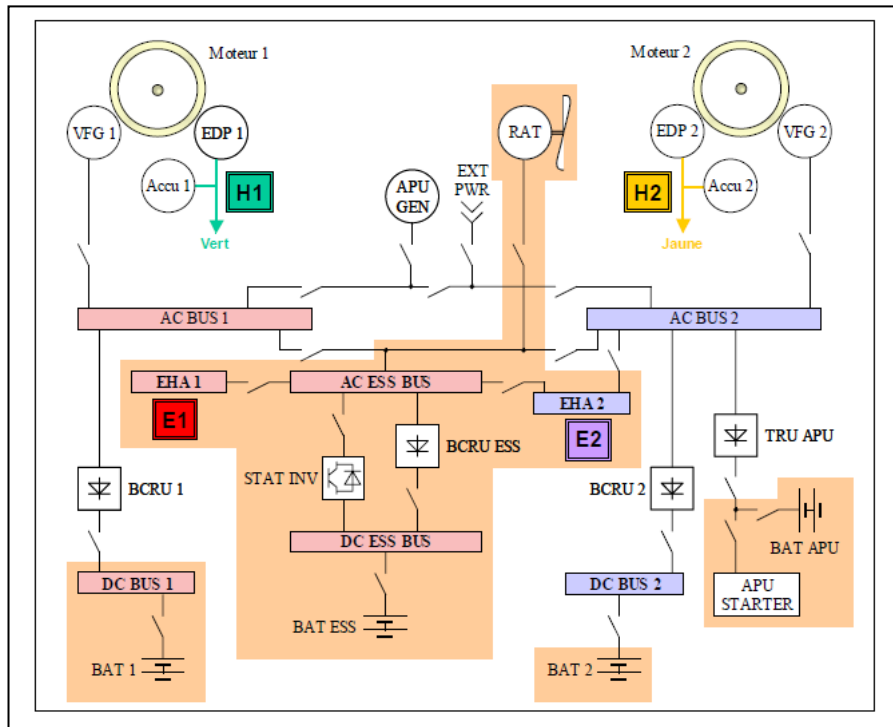
Architecture des réseaux hydrauliques et électriques

L'architecture électro-hydraulique d'un avion « plus électrique » est précisée sur le schéma ci-dessus.

Elle se base sur celle d'un bimoteur tel que l'A330, mais reprend les évolutions technologiques apportées par l'A380.

Là encore, la partie du réseau utilisée en fonctionnement secours est surlignée. Contrairement aux avions « conventionnels », seul le réseau électrique est utilisé en secours, car tous les systèmes « essentiels » sont désormais électriques. L'énergie hydraulique est absente, hormis pour quelques fonctions locales, comme le freinage des roues par exemple.

Les actionneurs de commande de vol utilisés en dernier secours sont uniquement les actionneurs électriques. A contrario, ces derniers sont très peu utilisés en fonctionnement normal, au profit des actionneurs hydrauliques.



Circuits hydrauliques

Sur l'A380, le troisième circuit de puissance hydraulique a été remplacé par deux circuits de puissance électriques. On ne trouve plus que deux circuits hydrauliques (vert et jaune). Ces deux circuits sont totalement ségrégués : vert à gauche et jaune à droite.

L'architecture est dite 2H+2E, par opposition aux 3H des avions « conventionnels ».

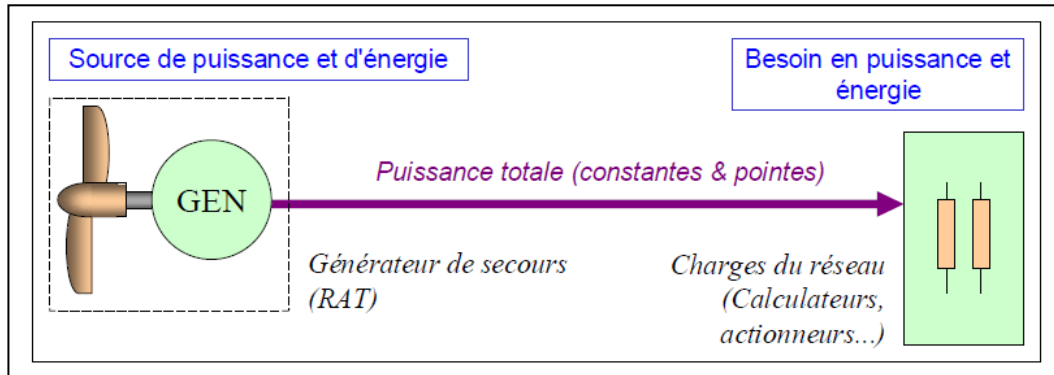
Circuits électriques

Une différence fondamentale intervient avec les avions précédents d'Airbus ; le réseau alternatif est maintenant à fréquence variable, comprise entre 360 et 800 Hz. La génération normale est assurée par quatre VFG (Variable Frequency Generator) et non plus par des IDG. La génératrice est directement accouplée à l'étage de turbine haute pression. Ceci a l'avantage de réduire les dimensions et la masse des générateurs, car le système de régulation mécanique de vitesse est supprimé. En contrepartie, les équipements doivent supporter des variations de fréquence importantes, ce qui est rendu possible grâce à l'évolution de l'électronique de puissance, en utilisant notamment des moteurs synchrones autopilotés.

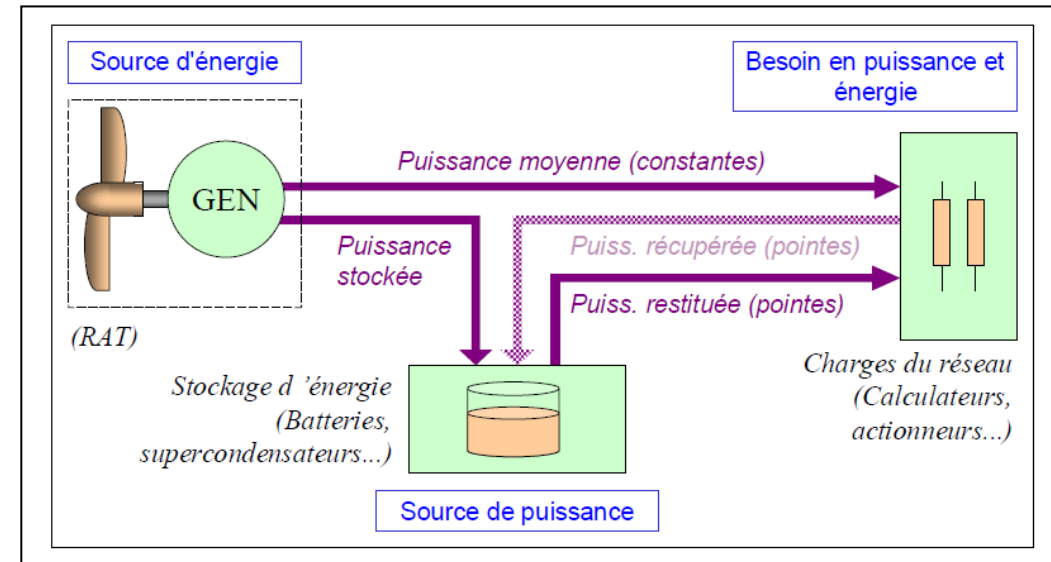
La source de secours est désormais électrique ; la RAT ne permet plus de fournir une puissance hydraulique. De cette manière, on ne trouve plus de dispositif de type CSM/G pour convertir l'énergie hydraulique en électricité. En secours, la RAT électrique vient alimenter la barre AC ESS BUS, mais aussi les barres bus EHA 1 et 2 de manière à fournir la puissance aux commandes de vol.

2. Et l'avenir..., les systèmes de secours hybrides

Nous ne développerons pas cette partie...



- Principe du réseau de secours actuel d'un avion « plus électrique ».



- Structure par hybridation source d'énergie - source de puissance

La source de puissance est réalisée par un élément de stockage, tel que batteries d'accumulateurs, supercapacités, volant d'inertie, ou par l'association de plusieurs éléments de stockage (exemple : batteries-supercapacités). Cette source est apte à fournir des puissances importantes pendant de courtes durées vis-à-vis de la mission de vol en mode secours. Dans la majorité des cas, un convertisseur statique est nécessaire pour associer un élément de stockage à la RAT.