

MAT REACTEUR POUR AVIONS DE TYPE AIRBUS

1. MISE EN SITUATION

Le mât réacteur est le composant qui relie le réacteur à la voilure dans le cas d'installation motrice sous une voilure. Un avion civil comporte 2 ou 4 mâts (un par moteur) pour ce type d'installation.

Le mât assure deux principales fonctions :

- passage des efforts y compris en cas de situation accidentelle (rupture d'une pièce de structure, feu, rupture de pale de fan réacteur, etc.)

- liaison des systèmes (hydraulique, électrique, air et fuel)

Sa conception doit tenir compte des contraintes principales suivantes :

- niveaux de chargement très élevés (jusqu'à 175000 daN sur certains axes)

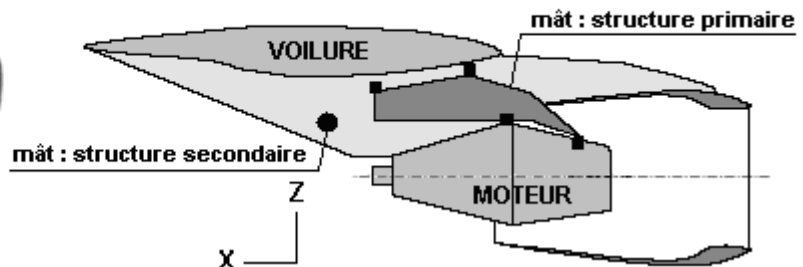
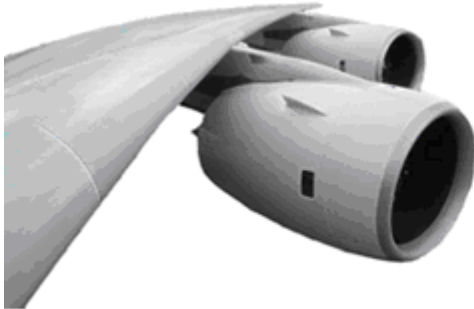
- températures élevées (100°C à 450°C)

- milieu vibratoire

- zones feu (flammes standards et flammes torches)

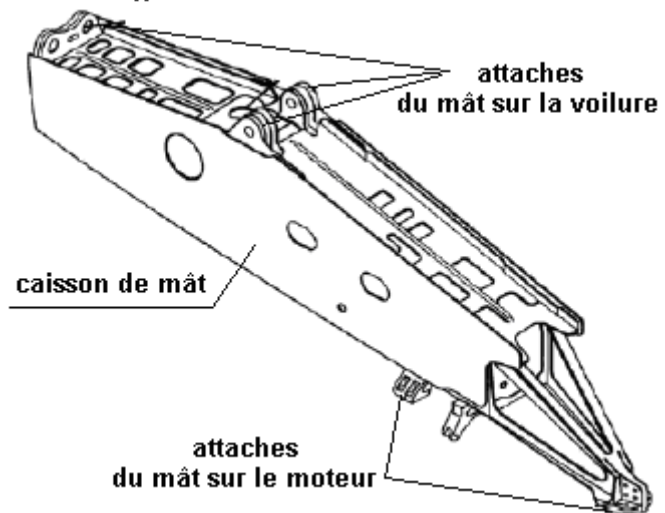
- interchangeabilité du mât complet (interfaces communes d'un mât à l'autre)

- normes aéronautiques européennes (JAR) et américaines (FAR)



Le mât est constitué d'une structure primaire et d'une structure secondaire.

La structure primaire ci-contre est considérée vitale pour l'avion, c'est-à-dire que sa perte peut entraîner la perte de l'avion. La structure primaire est liée à la voilure par des attaches mât sur la voilure et au moteur par des attaches mât sur le moteur.



2. PRINCIPE DES ATTACHES DU MAT SUR LA VOILURE ET SUR LE REACTEUR

2.1 Mises en position isostatiques du mât sous la voilure et du mât sur le réacteur

Les attaches du mât sur la voilure et du mât sur le moteur des avions de type Airbus ont la particularité d'assurer une mise en position isostatique (6 degrés de liberté supprimés) entre ces ensembles. Ceci permet de :

- connaître précisément les niveaux d'efforts que transmet chaque pièce du système d'attache

- ne pas créer de contrainte en cas de déformations relatives entre le moteur et le mât (variations de températures importantes, matériaux différents et rigidités différentes)

- faciliter le montage et le démontage du mât ou du moteur.

2.2 Attaches du mât sur la voilure (seules étudiées ici)

Les attaches du mât sur la voilure ont pour fonction de transmettre les efforts du mât (issus du moteur) vers la voilure. Leur conception doit tenir compte des contraintes principales suivantes :

- température maximum de 100°C

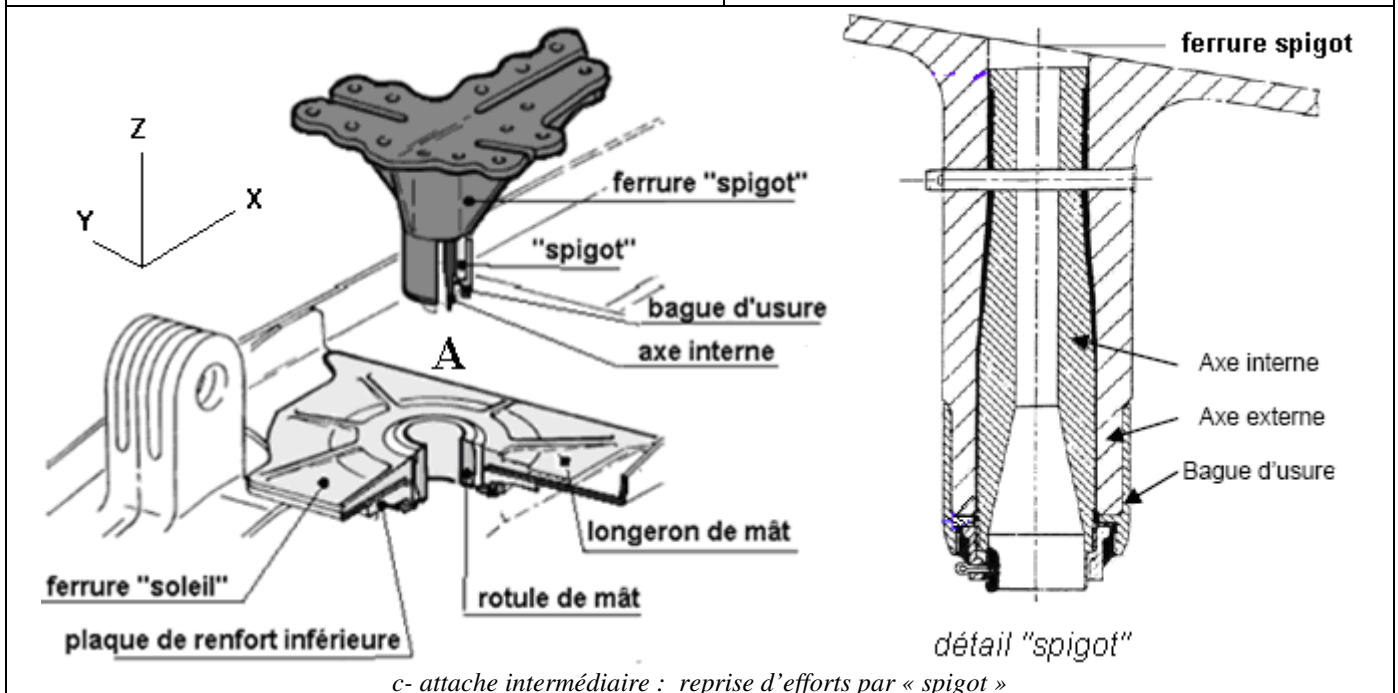
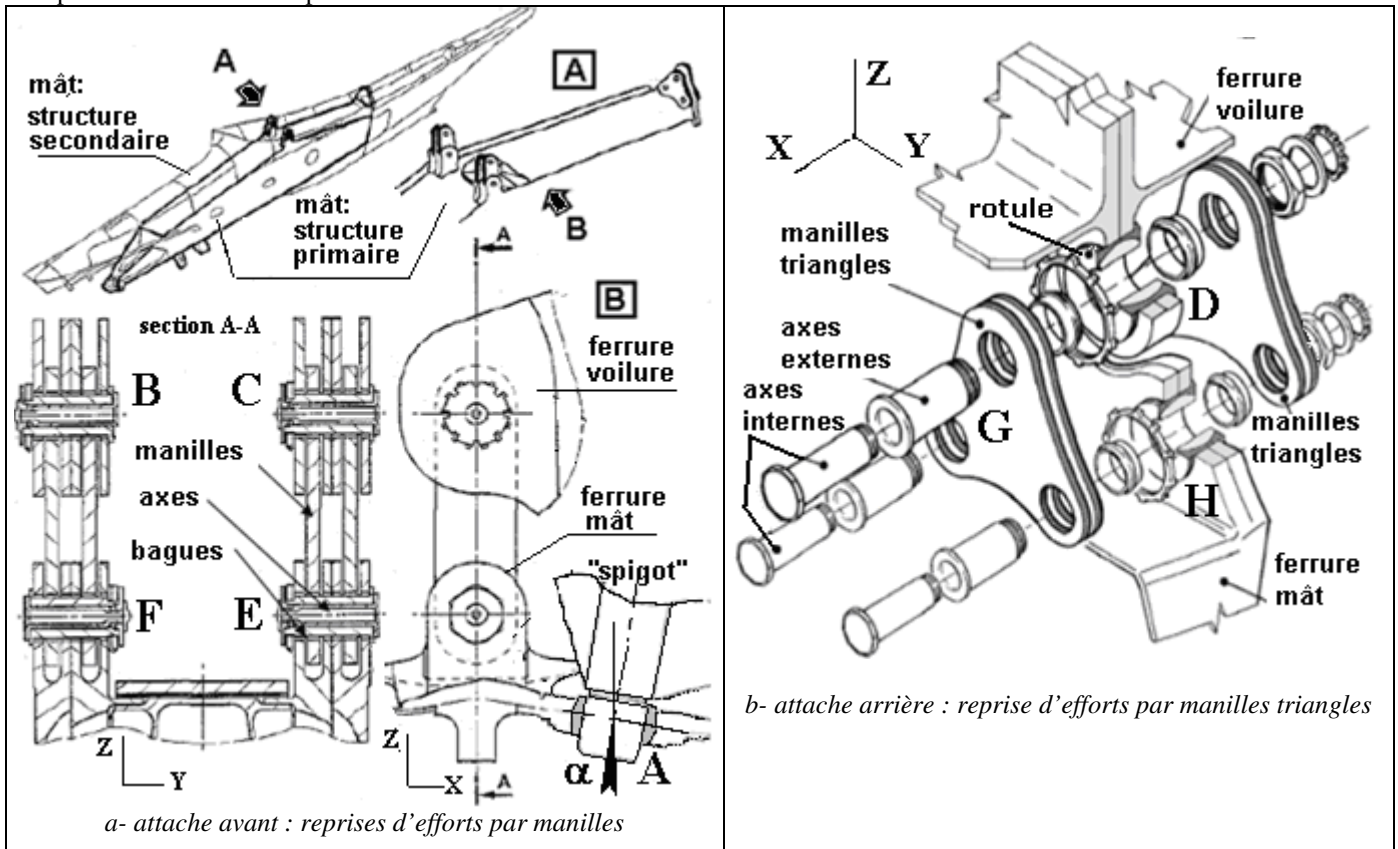
- interchangeabilité du mât complet (interfaces communes d'un mât à l'autre)

- tolérance au dommage

Le principe de mise en position isostatique par des attaches est réalisé par :

- l'attache avant située en avant du longeron de voilure réalisée par deux jeux de deux manilles simples (concept fail safe)
- l'attache intermédiaire située juste derrière les manilles réalisée par un axe coulissant et rotulé appelé « spigot »
- l'attache arrière située à l'arrière de la structure primaire de mât réalisée par un jeu de quatre manilles triangles rotulés (concept fail safe), les axes des manilles triangles sont doublés (concept fail safe)

◆ analyser les dispositions constructives utilisées pour ces attaches du mât sur la voilure (cf. figures ci-dessous) et tout particulièrement les dispositions constructives fail safe



2.3 Etudes statiques

Objectif : vérifier que les dispositions constructives retenues pour les attaches entre le mât et la voilure assurent bien une mise position isostatique

2.3.1 Etudes statiques préliminaires

2.3.1.1 Manilles triangulaires

- isoler l'ensemble {jeu de quatre manilles triangulaires avec leurs axes *rotulés*}
- faire le bilan des actions mécaniques transmissibles et écrire au centre géométrique de chaque liaison de l'ensemble manilles triangulaires le torseur des actions transmissibles de la voilure (ou du mât) sur cet ensemble

liaison D :	liaison H :
$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F} \\ \text{voilure} \\ \text{manil tri} \\ \text{ensemble} \end{array} \right\}_D = \left\{ \begin{array}{l} \vec{D} = \\ \mathcal{M}_D = \end{array} \right\}_{D, R}$	$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F} \\ \text{mât} \\ \text{manil tri} \\ \text{ensemble} \end{array} \right\}_H = \left\{ \begin{array}{l} \vec{H} = \\ \mathcal{M}_H = \end{array} \right\}_{H, R}$
liaison D :	
$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F} \\ \text{mât} \\ \text{manil tri} \\ \text{ensemble} \end{array} \right\}_G = \left\{ \begin{array}{l} \vec{G} = \\ \mathcal{M}_G = \end{array} \right\}_{G, R}$	

◆ étudier partiellement l'équilibre de l'ensemble isolé

◆ conclure sur les supports des forces $\vec{D}, \vec{G}, \vec{H}$:

2.3.1.2 Manilles simples

- ◆ isoler l'ensemble {un jeu de deux manilles simples avec leurs axes}
- ◆ faire le bilan des actions mécaniques transmissibles et écrire au centre géométrique de chaque liaison d'un jeu de manilles simples le torseur des actions transmissibles de la voilure (ou du mât) sur cet ensemble

modèle de liaison B (compte tenu de la fonction de service de la manille):	modèle de liaison F (compte tenu de la fonction de service de la manille):
$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F} \\ \text{voilure} \\ \text{manille} \\ \text{ensemble} \end{array} \right\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \vec{B} = \\ \mathcal{M}_B = \end{array} \right\}_{B, R}$	$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F} \\ \text{mât} \\ \text{manille} \\ \text{ensemble} \end{array} \right\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \vec{F} = \\ \mathcal{M}_F = \end{array} \right\}_{F, R}$

◆ étudier partiellement l'équilibre de l'ensemble isolé

◆ conclure sur les supports des forces \vec{B}, \vec{F} :

◆ par symétrie conclure sur les supports des forces \vec{C}, \vec{E} de l'autre jeu de manilles simples :

2.3.2 Etude statique de l'ensemble {mât + réacteur}

Après avoir isolé l'ensemble {mât avec ses attaches et réacteur}, et pris en considération :

- la condition géométrique angulaire (inclinaison α de l'axe du spigot par rapport à l'axe Z dans le plan XZ, cf. figure a- reprises d'efforts par manilles)
- le centre de gravité G du réacteur situé dans le plan de symétrie longitudinal du mât

- la donnée de l'expression générale *qualitative* au centre de gravité G du réacteur du torseur des actions transmissibles dues aux effets moteurs du réacteur sur l'ensemble isolé :

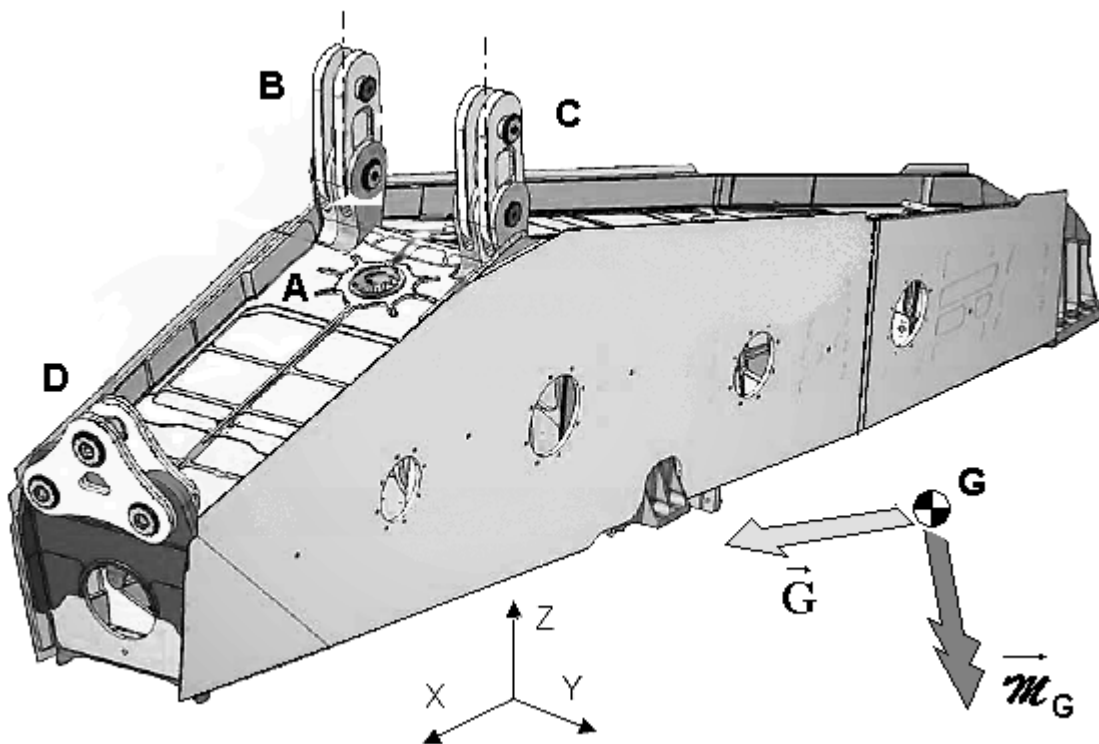
$$\left\{ \mathcal{F}_{\text{effets moteur/ensemble}} \right\}_G = \left\{ \begin{array}{l} \vec{G} = X_G \vec{X} + Y_G \vec{Y} + Z_G \vec{Z} \\ \mathcal{M}_G = L_G \vec{X} + M_G \vec{Y} + N_G \vec{Z} \end{array} \right\}_{G, R}$$

◆ utiliser les conclusions des études statiques préliminaires et écrire au centre géométrique de chaque liaison d'attache le torseur des actions transmissibles de la voilure sur l'attache analysée

liaison A :	liaison D :
hypothèses :	
$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F}_{\text{spigot}} \\ \mathcal{M}_{\text{ensemble}} \end{array} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \vec{A} = \\ \vec{\mathcal{M}}_A = \end{array} \right\}_{A,R}$	$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F}_{\text{voilure}} \\ \mathcal{M}_{\text{manil tri}} \\ \mathcal{M}_{\text{ensemble}} \end{array} \right\}_D = \left\{ \begin{array}{l} \vec{D} = \\ \vec{\mathcal{M}}_D = \end{array} \right\}_{D,R}$
liaison B :	liaison C :
$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F}_{\text{voilure}} \\ \mathcal{M}_{\text{manille}} \\ \mathcal{M}_{\text{ensemble}} \end{array} \right\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \vec{B} = \\ \vec{\mathcal{M}}_B = \end{array} \right\}_{B,R}$	$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F}_{\text{voilure}} \\ \mathcal{M}_{\text{manille}} \\ \mathcal{M}_{\text{ensemble}} \end{array} \right\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \vec{C} = \\ \vec{\mathcal{M}}_C = \end{array} \right\}_{C,R}$

◆ étudier l'équilibre de l'ensemble isolé (écrire le principe fondamental de la statique au point G et les équations d'équilibre en projection dans le repère avion XYZ, sans résoudre ; utiliser ce type de notation pour les vecteurs position $\vec{GA} = x_A \vec{X} + y_A \vec{Y} + z_A \vec{Z}$, etc.....)

- ◆ vérifier que la mise en position du mât par rapport à la voilure est isostatique
- ◆ tracer une représentation vectorielle des efforts transmissibles sur la figure ci-dessous

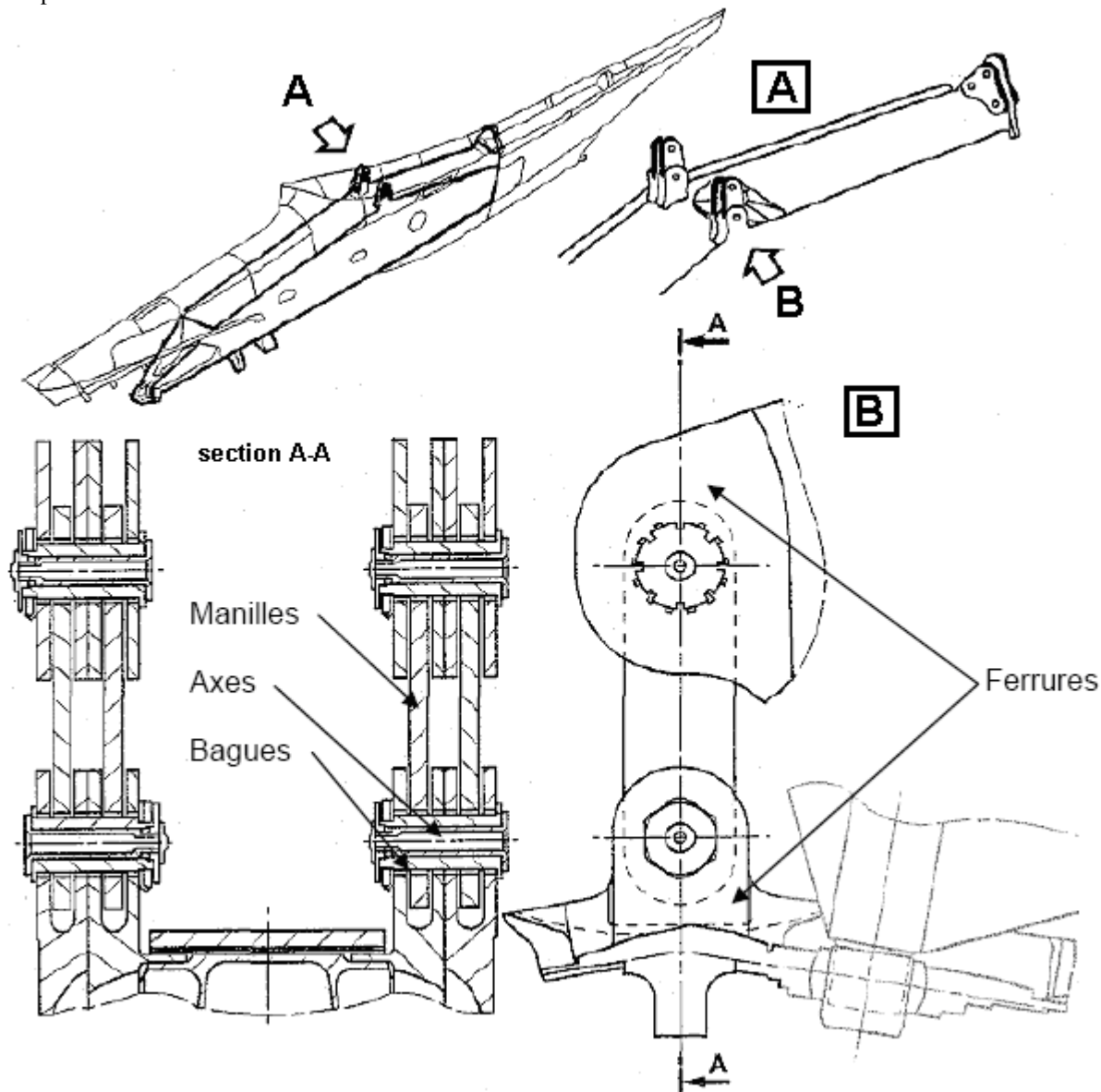


- ◆ traduire par des appuis ponctuels de normales judicieusement orientées aux points A, B, C, D (correspondant aux ddl supprimés) cette mise en position isostatique sur un schéma en perspective
- ◆ préciser quelle est l'attache qui reprend la poussée du réacteur et celles qui reprennent le poids du réacteur

ANNEXES

Attache avant

L'attache avant est constituée des ferrures mâts (8 voiles de chape), des ferrures voilures (8 voiles de chape), de 4 manilles, de 8 axes et écrous internes, de 8 axes et écrous externes et de 24 bagues. (cf. figure 4). Un jeu de manilles est composé de deux manilles très proches, c'est un concept fail safe. Les chapes femelles des ferrures mâts et voilure sont aussi doublées et respectent ce même concept fail safe. Les chapes des manilles ne sont pas rotulées mais la faible largeur des manilles permet de supposer un léger rotulage. Ce rotulage est fonction d'un déplacement Ty du mât par rapport à la voilure, or ce déplacement est très faible car il est fortement limité par le spigot situé très près des manilles. Les axes des manilles sont également doublés (deux axes emmanchés capables de reprendre seuls les C.L.) et respectent le concept fail safe.



Les technologies et matériaux employés pour l'attache avant mâts/voilure de type Airbus sont les suivants :

- Axes :
 - o Technologie : barres roulées
 - o Matériaux : NC19FeNb (Inconel 718) ou Titane Ti555
- Manilles :
 - o Technologie : ébauche laminée
 - o Matériaux : Titane Ti6Al4V (TA6V), Acier E40CDV12, Acier EZ1CNDAT12-9 (Marval X12) ou Acier EZ3CNDA13-8 (13.8 Mo)
- Ferrures mâts et voilure :
 - o Technologie : ébauche matriciée
 - o Matériau : Titane TA6V
- Bagues :
 - o Matériau : CuBe1.9

Les matériaux utilisés pour les axes sont choisis pour leur limite à la rupture très haute ($\sigma_r=1275\text{Mpa}$ pour l'Inconel 718) afin de diminuer leur diamètre et donc réduire sensiblement la taille des chapes de ferrures mâts et voilure. Le choix du matériau est donc un compromis masse/encombrement.

Les ferrures mât et voilure sont en Titane TA6V car ce sont des pièces massives qui nécessitent un matériau performant d'un point de vue masse volumique / résistance à la rupture ($\rho/\sigma_r=4,93 \times 10^{-9}$ pour le Titane TA6V ; $\rho/\sigma_r=6,35 \times 10^{-9}$ pour l'Acier 40CDV12). La masse est donc optimisée.

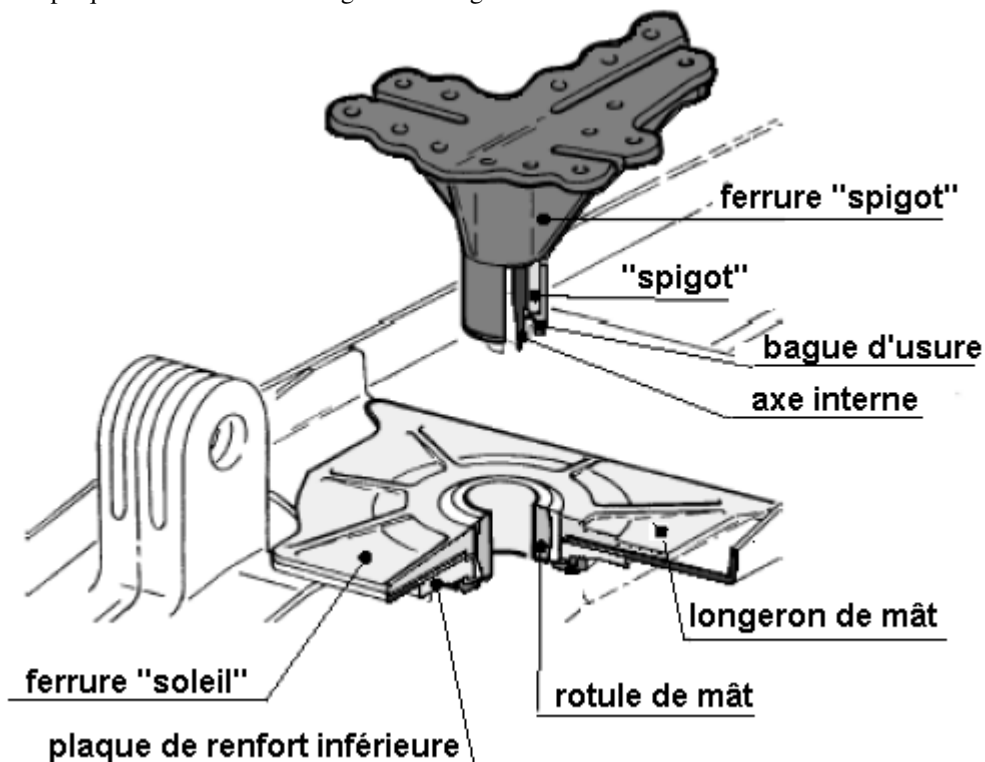
Les manilles sont en acier afin pour les mêmes raisons que les axes sauf pour l'A380 où la configuration permet d'utiliser du TA6V sans impacter la taille des chapes de ferrures mât et voilure, ce qui permet de bénéficier d'un matériau plus performant d'un point de vue masse volumique / résistance à la rupture et donc d'optimiser la masse. Les bagues entre les axes et les chapes sont en CuBe 1.9 et les axes sont chromés afin d'éviter des phénomènes de grippage.

Attache intermédiaire

L'attache intermédiaire est constituée d'une ferrure « spigot » et d'un axe interne en attente côté voilure, d'une bague d'usure et d'une rotule côté mât bordée de deux plaques de renfort (cf. figure 5 et 6)

Le spigot assure notamment la transmission de la poussée moteur, il est doublé par un axe interne en appui sur seulement 2 zones en fonctionnement normal et ne transmettant donc aucun effort (cf. figure 6). En cas de rupture de l'axe externe « spigot » cet axe interne vient alors en appui sur 3 zones et assure le passage des efforts. Le principe de conception waiting fail safe est alors respecté. La translation du « spigot » suivant son axe par rapport à la rotule est possible grâce à la bague d'usure.

Les plaques de renfort permettent de lier la rotule au longeron. La rotule transmet un effort très concentré et nécessite une forte épaisseur locale, les plaques de renfort permettent de diffuser les efforts. La plaque de renfort supérieure possède des raidisseurs radiaux qui participent à la diffusion des efforts c'est pourquoi elle est appelée ferrure « soleil » (cf. figure 5). Les plaques de renfort sont intégrées au longeron sur les mats de l'A380 et de l'A340WBI.



Les technologies et matériaux employés pour l'attache intermédiaire mât/voilure de type Airbus sont les suivants :

- Ferrure « spigot » :
 - o Technologie : ébauche matricée
 - o Matériau : Titane TA6V
- Plaques supérieure et inférieure :
 - o Technologie : ébauche laminée
 - o Matériaux : Titane TA6V, Acier E40CDV12, Acier Marval X12 ou Acier E35NCD16
- Rotule :
 - o Matériaux bague interne: CuBe1.9 ou CuAl11Ni
 - o Matériaux bague externe: Acier EZ6CNU15-5 (15.5 PH) ou Titane TA6V

La ferrure « spigot » est en Titane TA6V car c'est une pièce massive qui nécessite un matériau performant d'un point de vue masse volumique / résistance à la rupture. La masse est ainsi optimisée.

Les matériaux utilisés pour les plaques supérieures et inférieures sont choisis notamment pour leur résistance au matage élevé car l'intégration de la rotule implique un effort très concentré et donc de fortes contraintes de matage.

La rotule est composée d'une bague externe dans un matériau relativement dur et une bague interne dans un matériau relativement mou afin de limiter l'usure.

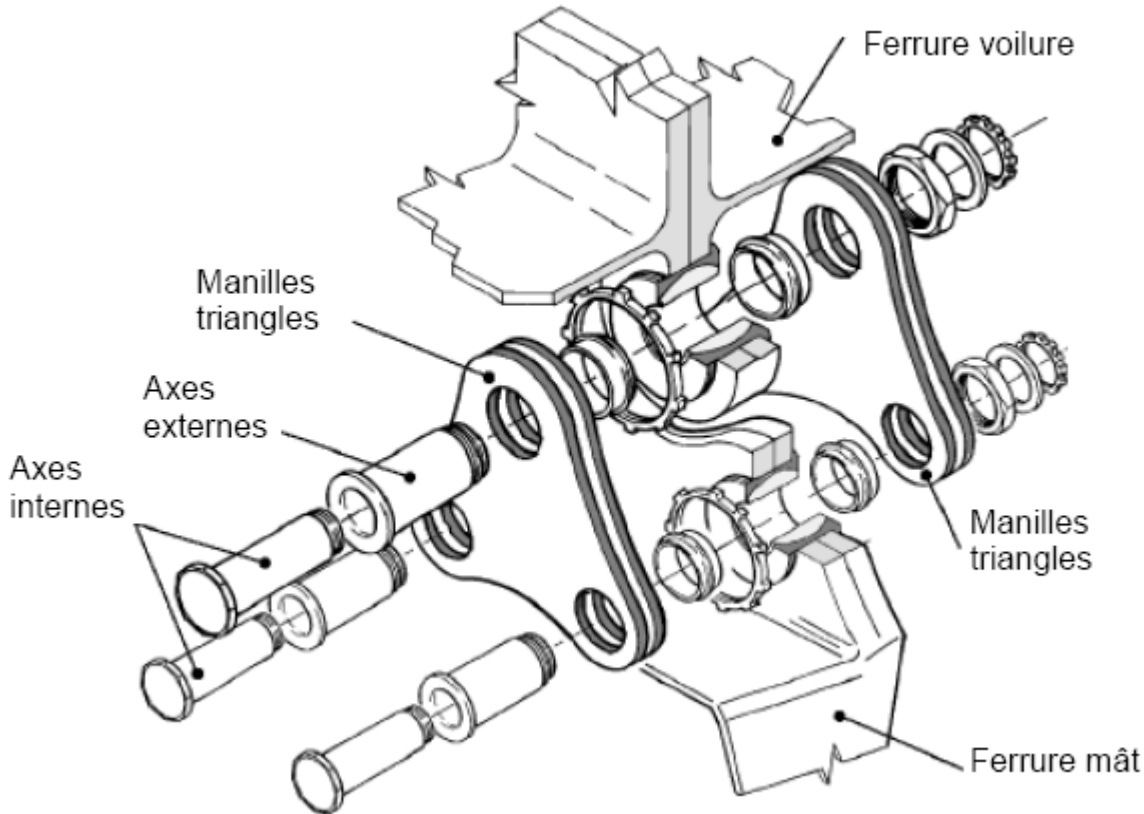
Attache arrière

L'attache arrière est composée d'une ferrure voilure (doublée), d'une ferrure mât (doublée), de 4 manilles triangles, de 3 axes et écrous externes, de 3 axes et écrous internes et de trois rotules (cf. figure 5).

Le système de triangles rotulés permet une translation suivant l'axe x de la ferrure mât par rapport à la ferrure voilure relativement importante. Ce degré de liberté est nécessaire lors du montage pour rattraper les défauts de positionnement entre les différentes attaches, de plus cela permet d'éviter d'introduire des contraintes supplémentaires dans la voilure dues aux déformations relatives entre le mât et la voilure en vol. Il est ainsi prévu un débattement minimum de 6 degrés entre les manilles triangles et les ferrures mât et voilure.

Chaque chape est doublée (chapes des manilles triangles et chapes des ferrures) afin de respecter le concept fail safe. Ce même principe est appliqué aux axes.

L'attache est compactée au maximum suivant l'axe z afin de laisser un volume maximum au caisson de mât. (i.e. plus d'inertie pour le caisson)



Les technologies et matériaux employés pour l'attache arrière mât/voilure de type Airbus sont les suivants :

- Ferrure mât et voilure:
 - o Technologie : ébauche matricée
 - o Matériaux : Titane TA6V ou Acier E40CDV12
- Manilles triangles :
 - o Technologie : ébauche laminée
 - o Matériau : Titane TA6V
- Rotule :
 - o Matériaux bague interne: CuAl10N ou CuAl11Ni
 - o Matériaux bague externe: Acier Z100CD17 ou Titane TA6V
- Axes :
 - o Technologie : barres roulées
 - o Matériaux : Inconel 718 ou Titane Ti555

Les ferrures mât et voilure sont généralement en Titane TA6V car ce sont des pièces massives qui nécessitent un matériau performant d'un point de vue masse volumique / résistance à la rupture. Ces pièces sont en Acier E40CDV12 sur l'A300, l'A310 et A340WBI car les contraintes étaient très élevées et l'encombrement très restreint.

Axes internes

Axes externes

Manilles triangles

Manilles triangles

Ferrure mât

Ferrure voilure

Les matériaux utilisés pour les axes sont choisis pour leur limite à la rupture très haute afin de diminuer leur diamètre et donc réduire sensiblement la taille des chapes de ferrures mât et voilure. La masse est donc optimisée.

Les manilles triangles sont en Titane TA6V car c'est un matériau performant d'un point de vue masse volumique / résistance à la rupture. De plus il n'y a pas de forte contrainte de compacité sur les chapes des manilles car ce sont les chapes des ferrures recevant les rotules qui imposent la hauteur de l'attache.

La rotule est composée d'une bague externe dans un matériau relativement dur et une bague interne dans un matériau relativement mou afin de limiter l'usure.

