

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Blida
<<SAAD Dahleb>>

Institut d'Aéronautique



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

Pour l'obtention du diplôme des études universitaires
appliquées

Option : STRUCTURE

THÈME :

ETUDE DE L'AERONEUF (KING AIR B200) ET GAMME DE
FABRICATION DE QUELQUES ELEMENTS DE L'AVION

Promoteur : Mr ALLALI ABDERRAZAK

Présenté par : Mr KESSANTI RAOUF.

Mr BELDJILALI M'AHMED M.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :
Ma très chère mère,
Mon père,
Mon frère (Madi),
Mon binôme,
Et tous mes amis (es),
Et toute la promotion.

Raouf. K

À mes chères parents,
Mes frères et sœurs
(Amine, Abd eslem, Karim)
Ma cher fiancer (R),
Mon binôme,
Mes amis (es).

Mohamed. B

SOMMAIRE

INTRODUCTION

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DE L'AERONEF (KING AIR B200)

1- Structure.....	1
1-1- Généralité.....	1
1-2- Structure primaire.....	1
1-3- Structure secondaire.....	3
1-4- Diagramme des stations beech.....	4
1-2-Train d'atterrissage.....	5
1-2-1- Description.....	5
1-2-2- Hauteur des amortisseurs.....	6
1-3- Fuselage.....	7
1-3-1- Assemblage :voilure/fuselage.....	7
1-3-2- Effort dus au poids de l'appareil.....	7
1-3-3- Fuselage semi monocoque.....	8
1-3-4- Fuselage coque.....	9
1-3-5- analyse d'un fuselage.....	9
1-3-6- les couples ou cadres.....	10
1-3-7- les lisses.....	11
1-3-8- le revêtement.....	11
1-3-9- plancher cabine.....	12
1-3-10- empennages et gouvernes.....	12
1-4- l'hélice.....	15
1-4- définitions géométrique.....	15
1-4-2- centre de l'hélice.....	15
1-4-3- section droite de référence.....	16
1-4-4- différences entre calage et pas.....	16
1-4-4-1- angle de calage.....	16
1-4-4-2- pas.....	17
1-5- ailes.....	19
1-5-1- différents types d'ailes.....	19
1-5-2- différents positions d'ailes.....	19
1-5-a- aile basse.....	20
1-5-b- aile médiane.....	20
1-5-c- aile haute.....	20
1-6- les éléments constituant les différents circuits.....	21
1-6-1- le but.....	21
1-6-2- présentation.....	21
1-6-3- principe de génération.....	22
1-6-4- la bâche.....	22
1-6-4-1- but de pressurisation bâche.....	23
1-6-4-2- la pressurisation bâche.....	24
1-6-5- les tuyauteries.....	24

1-6-6- entraînement des pompes.....	24
1-6-6-1- par moteur avion.....	24
1-6-6-2- par moteur électrique.....	25
1-6-6-3- par air dynamique.....	25
1-6-6-4- par moteur hydraulique.....	25
1-6-6-5- manuellement.....	25
1-7- les pompes	
1-7-1- les pompes <à débit constant>.....	25
1-7-2- les pompes autorégulées.....	26
1-8- les filtres.....	26
1-9- les accus.....	26
1-9-1- présentation.....	26
1-9-2- but.....	27
1-9-3- accu de génération.....	27
1-9-4- accu amortisseur.....	27
1-10- comparaison des types de pompes.....	28
1-11- le collecteur de pression.....	28
1-12- les clapets.....	29
1-12-1- anti-retour.....	29
1-12-2- de surpression.....	29
1-13- navette ou sélecteur automatique.....	29
1-13-1- deux circuits- une servitude.....	29
1-13-2- deux circuit-deux servitudes.....	30
1-14- de décharge.....	31
1-15- les servocommandes.....	31
1-15-1- principe.....	31
1-15-2- redondance.....	32
1-16- circuit carburant.....	33
1-16-1- description et fonctionnement.....	33
1-16-2- fonctionnement.....	35

CAPITRE 2 : GAMME DE FABRICATION DE QUELQUES ELEMENT DE L'AVION.

2-1- la voilure.....	38
2-1-1- réalisation d'une voilure.....	38
2-1-1-1- les longeron.....	38
2-1-1-2- les nervures.....	39
2-1-1-3- le revêtement.....	40
2-1-1-4- voilure type "multi longeron".....	41
2-2- réalisation des empennages et des gouvernes.....	42
2-2-1- la structure des gouvernes.....	43
2-3- les machines utilisés.....	44

2-3-1- laminage.....	44
2-3-1-1- généralité.....	44
2-3-1-2- principes de travail.....	44
2-4- étude fonctionnelle des laminoirs.....	45
2-5- classification des laminoirs.....	45
2-6- trains de laminoirs.....	46
2-7- métaux laminables.....	47
2-7-1- laminage.....	47
2-7-2- laminoir.....	47
2-7-3- différents schémas de marche.....	47
2-3-2- étirage et tréfilage.....	48
2-3-2-1- généralité.....	48
2-3-2- principe de travail.....	48
2-3-3- étirage.....	48
2-3-3-1- gamme opératoire.....	49
2-3-3-2- machine d'étirage.....	49
2-3-3-3- produit étirés.....	49
2-3-4- tréfilage.....	49
2-3-4-1- gamme opératoire.....	49
2-3-4-2- produit tréfilé.....	50

CHAPITRE 3 : DIFFERENTS TYPES D'ASSEMBLAGES.

3-1- rivetage.....	57
3-1-1- définition.....	57
3-1-2- variantes de rivets.....	57
3-2- choix des rivets.....	60
3-3- résistance des assemblages des rivets.....	60
3-4- technique du rivetage.....	61
3-5- point de vue économique.....	66
3-2- réparation des pièces par soudage.....	66
3-2-1- le soudage par fusion.....	67
3-2-2- soudage a l'arc électrique.....	67
3-3- soudabilité des aciers au carbone.....	68
3-3-1- la teneur en carbone.....	68
3-3-2- le soudage des aciers alliés.....	68
3-4- soudage de la fonte.....	69
3-5- rechargement des pièces usées par soudage.....	70

conclusion.

annexe.

bibliographie.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Le king Air 200 De Raytheon Beechcraft
Pays d'origine
Les Etats-Unis d'Amérique

-EXECUTION :

200 - Vitesse maximum 536km/h (289kt), vitesse de croisière maximum 515km/h (278kt). Taux initial de l'élever 2450ft/min. Etendez-vous avec des réservations à la vitesse de croisière maximum 3254km (1757nm), à la vitesse de croisière économique 3495km (1887nm). B200 - vitesse maximum 536km/h (289kt), vitesse de croisière économique 523km/h (282kt). Taux initial de l'élever 2450ft/min. S'étendent avec le carburant maximum et les réservations 3658km (1974nm au) 31,000ft et vitesse de croisière économique.

-POIDS :

200 - 3318kg vide (7315lb), décollage maximum 5670kg (12,500lb). B200 - 3675kg vide (8102lb), décollage maximum 5670kg (12,500lb).

-DIMENSIONS :

l'envergure 16.61m (54ft 6in), la longueur 13.34m (43ft 9in), la taille 4.57m (15ft 0in). Envolez-vous le secteur 28.2m² (303.0sq pi).

-CAPACITE :

Flightcrew de un ou deux. Logement pour un maximum de 13 passagers dans la carlingue principale, plus un autre passager près du pilote sur le flightdeck. Disposition de corporation typique d'allocation des places pour six dans la carlingue principale.

-PRODUCTION :

Plus de 1700 de Roi Air 200 sont été livrés aux clients civils et commerciaux, tandis que plus de 400 ont été livrés aux forces militaires.

-TYPE :

Turbopropulseur jumeau de corporation, passager et transport de service

-HISTORIQUE :

Le King Air 200 est une suite de la compagnie aérienne du Kingi, avec de nouveaux dispositifs comprenant le tail distinctif, les moteurs plus puissants, le secteur plus grand et l'envergure d'aile, la pressurisation de la carlingue accrue, la capacité plus grande de carburant et les poids opérants plus élevés comparés au Roi Air 100.

Le hêtre a commencé le travail de conception sur le Roi superbe Air 200 en octobre 1970, ayant pour résultat le premier vol du type octobre 27 1972. Diplômée en mi décembre 1973. le Roi Air 200 a continué pour être l'avion le plus réussi dans sa classe, éclipsant des rivaux tels que la conquête Cessna et Piper Cheyenne. Aujourd'hui le Roi Air 200 est le seul un des trois dans la production.

Le B200 amélioré a écrit la production en mai 1980, ce des moteurs plus efficaces de dispositifs de version PT742, poids maximum accru de carburant nul et pressurisation de la carlingue accrue. Les variantes secondaires incluent le B200C avec une porte cargo de 1.32m x de 1.32m (in de in X avec 4ft de 4ft), le B200T avec les réservoirs de bout d'aile démontables, et le B200CT les réservoirs de bout d'aile et la porte cargo. L'édition spéciale B200SE a été délivrée un certificat en octobre 1995 et comporte une suite de l'avionique de EFIS en tant que norme.

Le divers Roi spécial Air 200s et B200s de mission a été construit, incluant pour le calibrage de navaid, maritime patrouille et exploration de ressource. En outre plusieurs centaines le Roi superbe Airs ont été construits pour les militaires des USA sous la désignation C12. C12s exécutent une gamme des missions de la surveillance électronique au transport de VIP.

Le 1500th Roi commercial Air 200 a été construit en 1995. A Raytheon 1996 laissé tomber préfixe superbe de * le pour chacun des 200, 300 et 350 Roi modèle Airs.

Chapitre 1 Description de l'aéronautique

1- STRUCTURE :**1-1- Généralité :****Description :**

-Construction semi monocoque, le fuselage est pressurisé entre la cloison étanche de la station 84.000 et la cloison étanche de la station 347.750 tous les revêtements, les cadres et assemblages de structure, les raccordements électriques ou par tuyauteries au travers des cloisons, les portes d'accès, les hublots, les câbles et autres éléments de commande a leur passage dans les cloisons etc.... sont autant que faire se peut rendus étanches pour minimiser la fuite de l'air cabine.

-La section centrale d'aile fait partie intégrante du fuselage, les ailes proprement dites (ailes "externe") sont démontables à hauteur des nacelles moteurs.

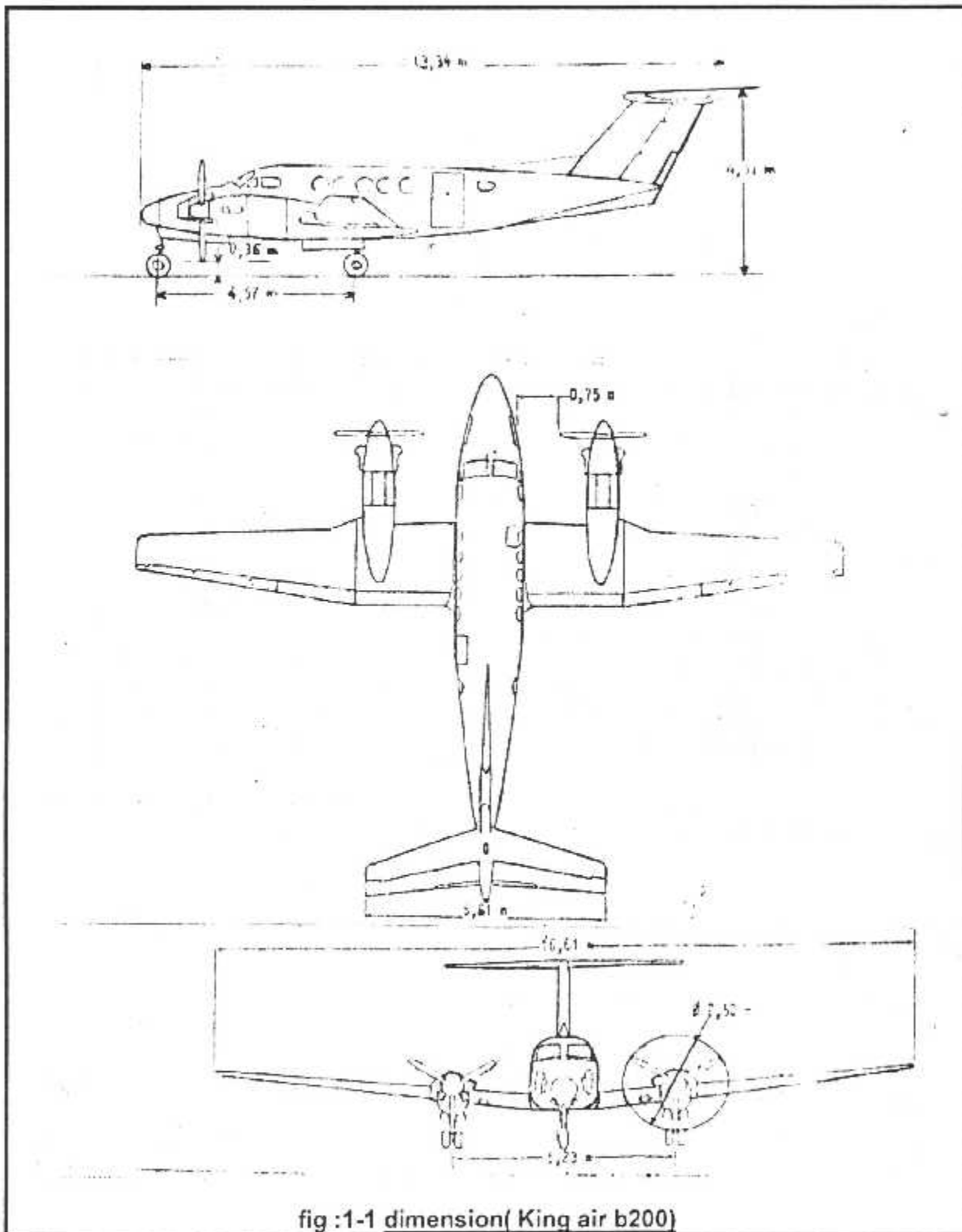
-Une porte d'accès à la cabine est placée sur le coté gauche de l'appareil, tandis qu'une issue de secours se trouve, elle, sur le coté droit, en arrière du siège

1-2- STRUCTURE PRIMAIRE :

-Les composants primaires suivants, sont essentiels au fonctionnement correct de l'avion, la défaillance de l'un deux mettrait en péril l'avion et/ou ses occupants : (fig : 1-1)

- 1- Supports de moteur (bâti).
- 2- Ferrures d'attache.
- 3- Revêtement du fuselage, des ailes, de l'empennage et des gouvernes.
- 4- Longerons des ailes, de l'empennage et des gouvernes.
- 5- Train d'atterrissage et leurs supports.
- 6- Composants auxiliaires utilisés pour renforcer ou supporter d'autres composants qui subissent directement des charges.
- 7- Sièges des occupants et leur structure.

1-1- DIMENSION ET STATION BEECH: fig :1-1



1-4- DIAGRAMME DES STATIONS BEECH 200 : fig :1-3

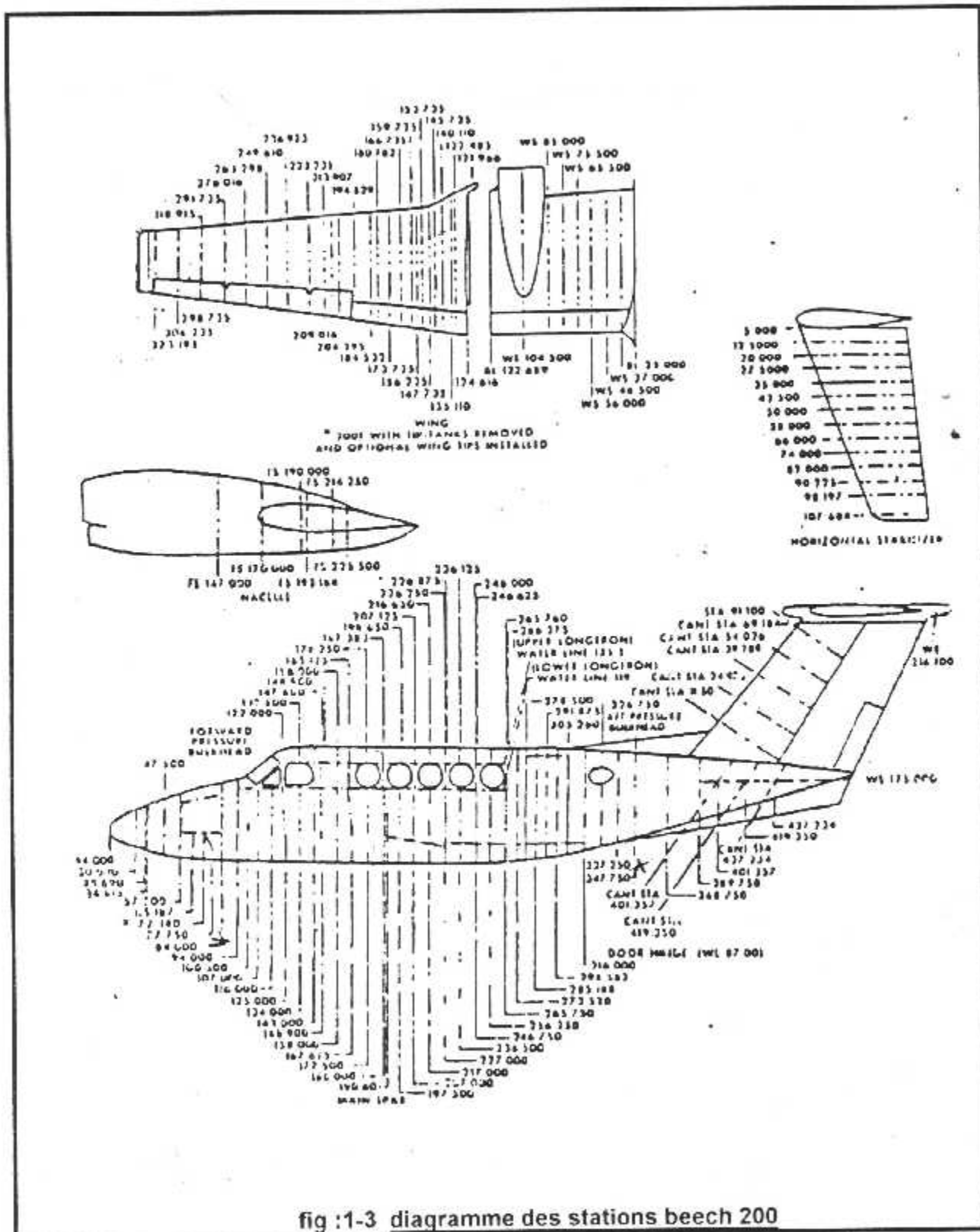


fig :1-3 diagramme des stations beech 200

1-2- TRAIN D'ATTERRISSAGE : (fig : 1-4)

1-2-1- DESCRIPTION :

- Le train d'atterrissage du KING AIR 200 est de type tricycle, manœuvré par un moteur électrique (détail B) à enroulements auxiliaires qui se trouve en-avant du longeron principal, dans l'axe du fuselage.

-Un des deux enroulement entraîne le moteur dans la direction de la descente du train, l'autre enroulement l'entraîne dans la direction opposée, afin d'éviter le dépassement des courses, le moteur un système (relais) de freinage dynamique, qui simultanément ouvre le circuit du moteur et ferme le circuit passant par l'induit et l'enroulement inutilisés. le moteur agit alors comme une génératrice et la charge électrique qu'il fournit sur l'induit arrête le train d'atterrissage presque instantanément.

- Le moteur est commandé par un interrupteur situé devant le pilote, cet interrupteur doit être tiré hors de son écran avant de lancer la sortie ou la rentrée.

- Le mouvement fourni par la boîte de transmission/moteur est transmis sur les vérins à vis des atterrisseurs principaux par des tubes de torsion, tandis qu'il est transmis par chaîne sur le vérin à vis de l'atterrisseur avant. Un embrayage à friction, à ressort, entre la boîte de transmission et les tubes de torsion évite la détérioration du système, en cas d'une anomalie de fonctionnement mécanique. Un disjoncteur "commandé à distance" de 200 ampères situé en-avant du longerons avant, dans le fuselage, protège le système contre une éventuelle surcharge électrique.

-Un crochet sur chaque contre fiche des atterrisseur avant assurent un verrouillage bas mécanique. Le verrouillage haut est réalisé par vérins à vis eux-mêmes.

-Un contacteur de sécurité situé sur le fut de l'atterrisseur droit, ouvre le circuit de relevage lorsque l'amortisseur est comprimé, interdisant tout manœuvre accidentelle de relevage. Ce contacteur de sécurité actionne également un solénoïde de verrouillage position basse de l'interrupteur de commande du train d'atterrissage sur le tableau de bord ; lorsque l'avion quitte le sol le déverrouillage de la commande est automatique, mais peut aussi être surpassé dans l'éventualité d'un mauvais fonctionnement en abaissant le bouton rouge "DN LOCK REL".

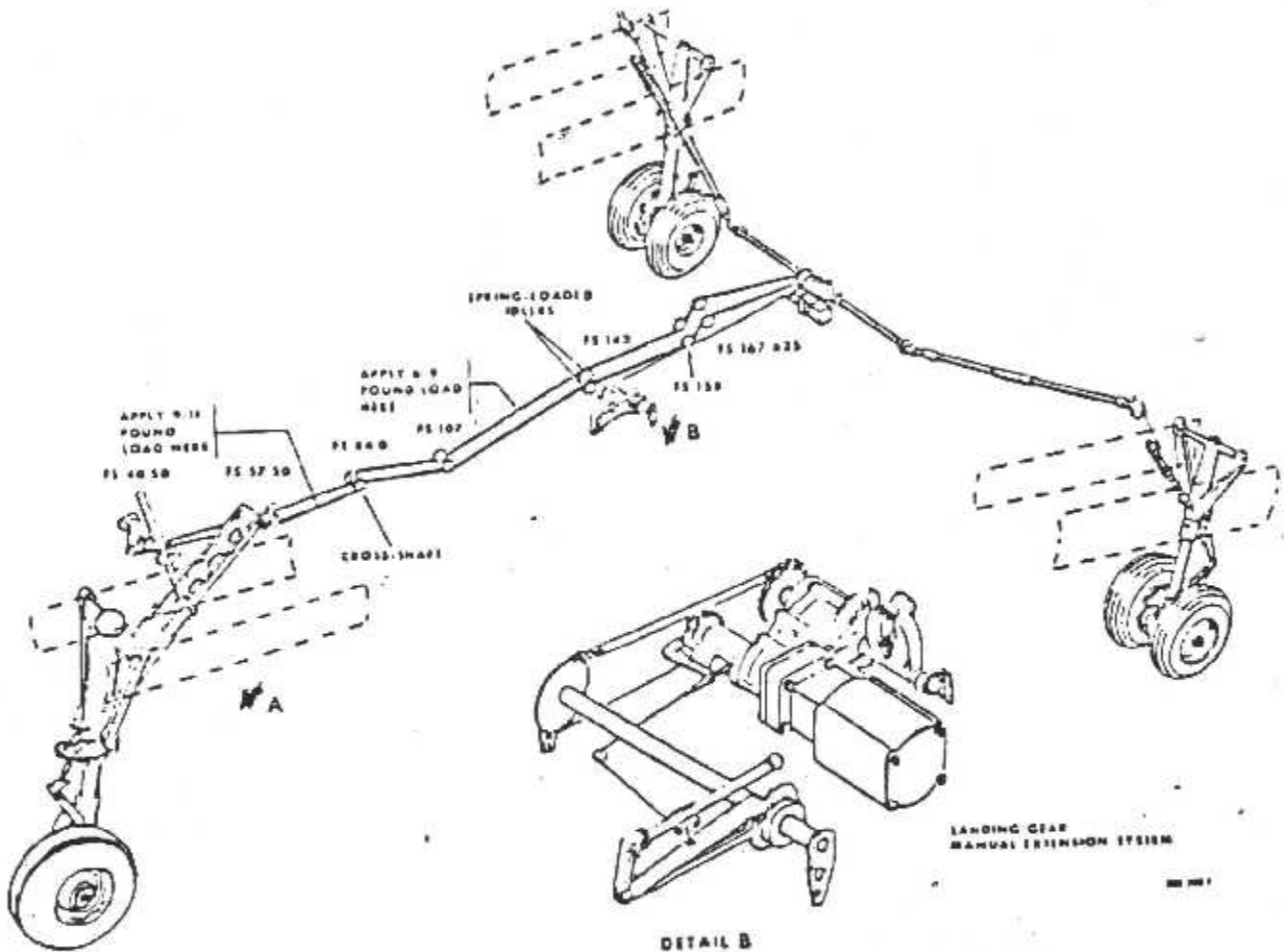


fig :1-4 train d'atterrissage(King air b200)

1-2-2- HAUTEUR DES AMORTISSEURS

-Ces cotes se comprennent avion vide (passagers/bagages) exceptés le carburant et l'huile :

- Amortisseurs principaux (petites roues) : 108 à 114 mm
- Amortisseurs principaux (grandes roues) : 114 à 120 mm
- Amortisseurs avant : 76 à 89 mm.

1-3- FUSELAGE :

1-3-1- ASSEMBLAGE- VOILURE /FUSELAGE :

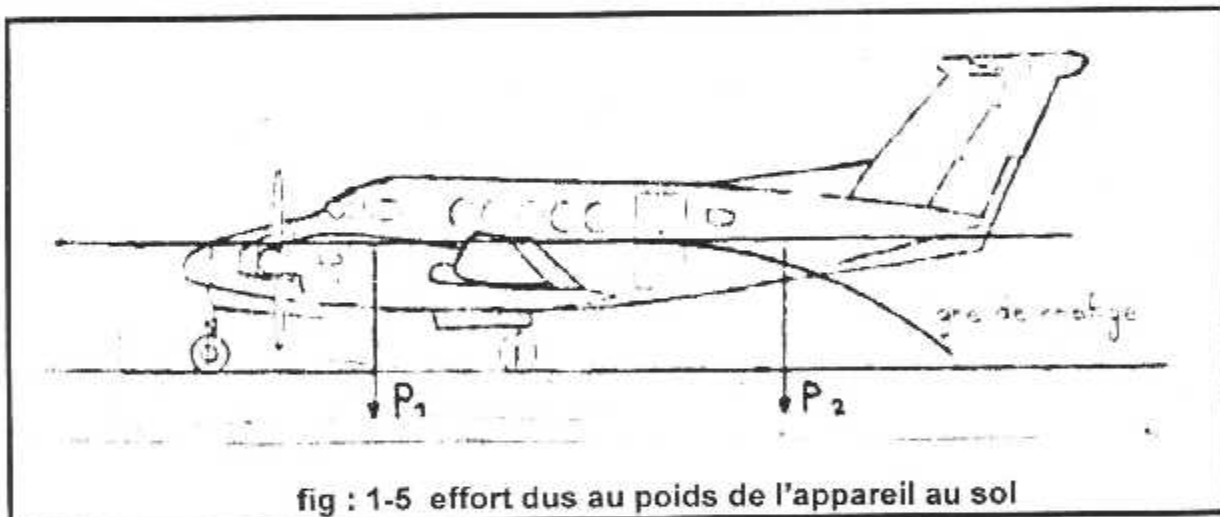
- Le fuselage constitue le principal "volume utile" de l'avion. Il doit :
- Assurer un écoulement correct de l'air, pour préserver l'efficacité des empennages.
- Présenter une traînée minimale à incidence normale d'utilisation.
- Avoir un volume assez grand pour loger les passagers et le fret.

1-3-2- EFFORT APPLIQUES SUR LE FUSELAGE :

-EFFORTS DUS AU POIDS DE L'APPAREIL :

-AU SOL :(fig : 1-5)

-Le fuselage se comporte comme une poutre en équilibre sur deux appuis (ATTERRISSEURS).



-EN VOL : (fig : 1-6)

-Le fuselage se comporte une poutre suspendue à la voilure, (l'empennage est supposé non porteur)

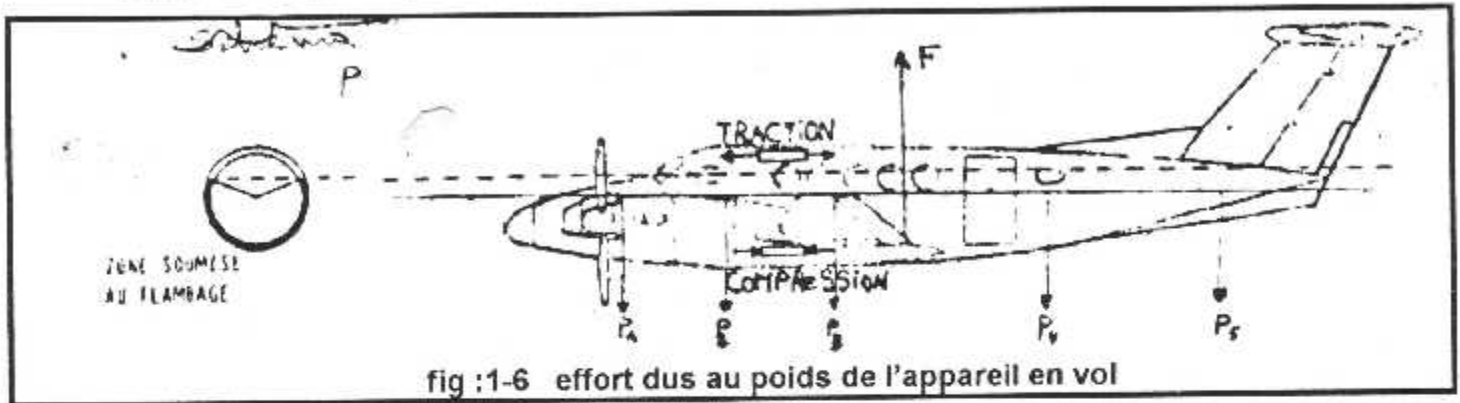


fig :1-6 effort dus au poids de l'appareil en vol

1-3-3- FUSELAGE SEMI MONOCOQUE :

- Les longerons encaissent les efforts de flexion en totalité.
- Les couples encaissent les efforts de torsion en totalité.
- Le revêtement travaillant transmet ces divers efforts entre tous les éléments.
- La structure semi monocoque se caractérise donc essentiellement par des longerons + couples + revêtement travaillant.

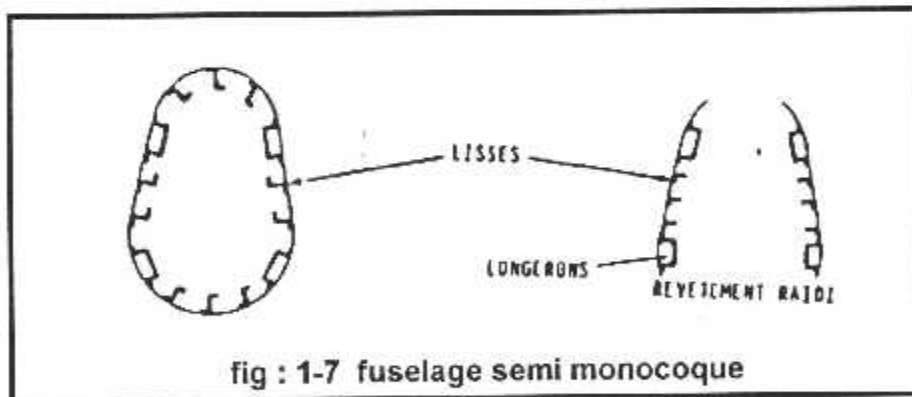


fig : 1-7 fuselage semi monocoque

-Est appelée également semi monocoque une structure coque réalisée en plusieurs tronçons et assemblée en fin de fabrication.

-Dans ce cas, des couples forts sont positionnés à chaque extrémité de tronçon pour permettre une transmission continue d'efforts.

1-3-4- FUSELAGE COQUE :

- Le fuselage coque est assimilable à la construction caisson à âmes multiple.
 - Les longerons n'existent plus en tant que tels.
 - Les couples fixés au revêtement travaillant, fortement raidis, encaissent la totalité des efforts répartis de flexion et de torsion.
 - Des couples forts sont placés aux endroits où se situent des efforts localisés
- La section 14 de l'A 300 nous présente un exemple de construction coque.

1-3-5- ANALYSE D'UN FUSELAGE : (fig : 1-8)

- Les éléments constitutifs du fuselage sont :
 - Les couples ou cadres, placés dans des sections droites du fuselage.
 - Les lisses, situées dans le sens longitudinal.
 - Le revêtement.

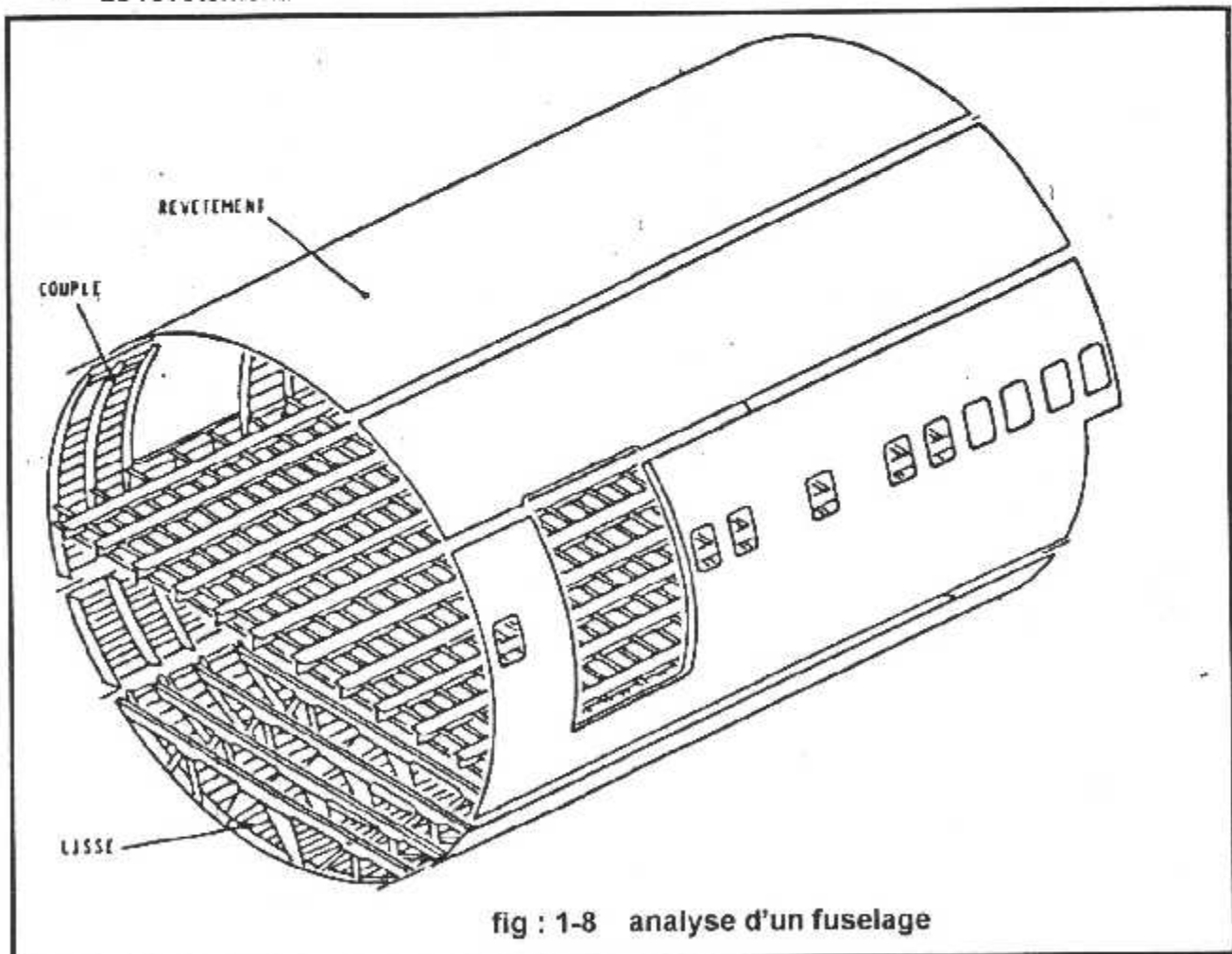


fig : 1-8 analyse d'un fuselage

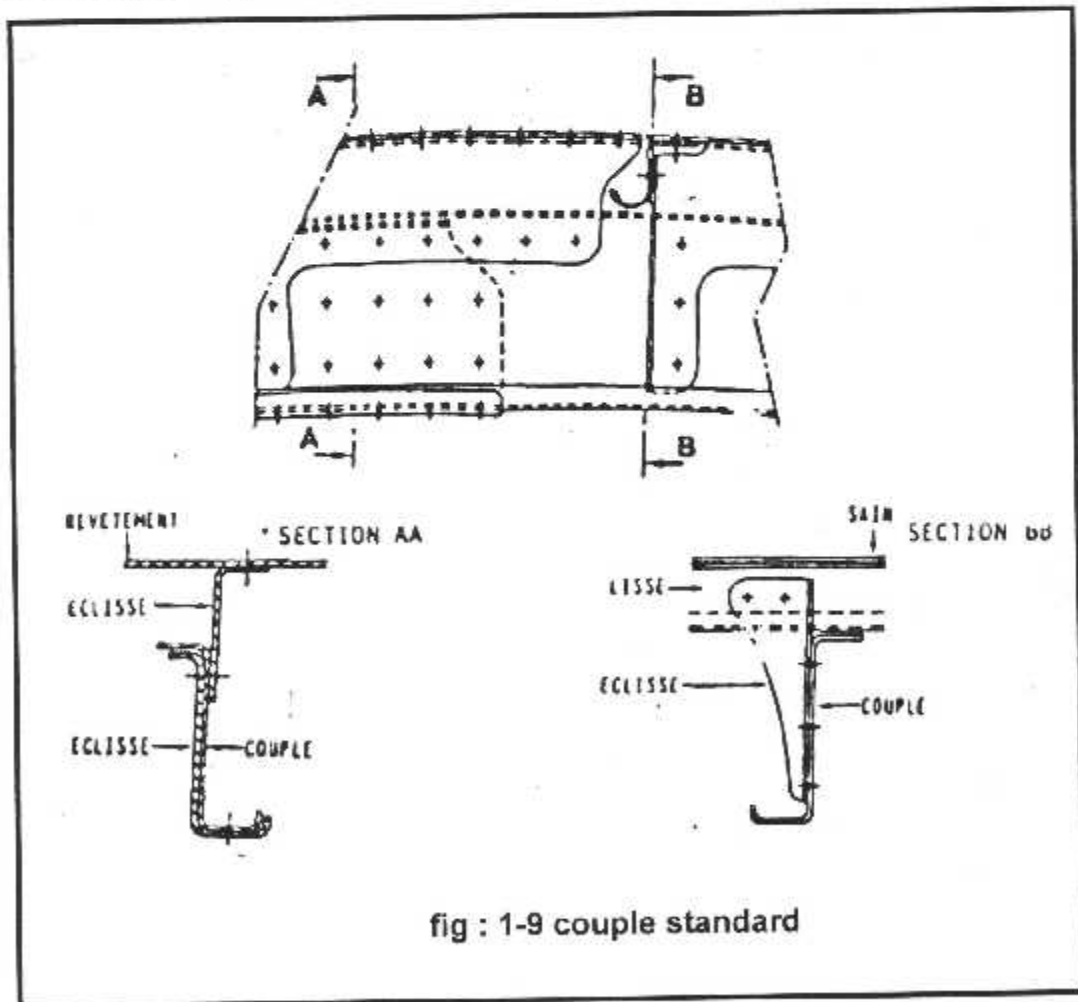
1-3-6- LES COUPLES OU CADRES (fig :1-9)

-Les couples sont les éléments transversaux qui donnent sa forme au fuselage. Ils assurent la rigidité transversale et sont aussi rapprochés que possible. Ils sont numérotés par ordre croissant de l'avant vers l'arrière.

-Les couples "forts" ou couples "principaux" encaissent les efforts concentrés dus par exemple :

- aux limites des zones pressurisées.
- aux encadrements de portes.
- aux attaches des ailes.
- aux attaches des empennages.
- aux fixations des réacteurs et de l'apu.
- aux logements de trains.
- aux liaisons entre les tronçons de fuselage (section), etc....

-Les couples standard sont généralement réalisés par pliage, et les couples forts par usinage.



1-3-7- LES LISSES :

-les lisses sont les éléments longitudinaux raidisseurs du revêtement. Leur nombre est variable d'un avion à un autre.

- Elles sont fixées au revêtement :

- Par collage dans les zones de faibles contraintes.
- Par rivetage dans les zones de fortes contraintes ou dans les zones soumises à la corrosion (partie inférieure du fuselage).
- Elles sont fixées aux couples par des éclisses rivées(King, A 300 ,A 310) ou traversent les couples pour éviter au maximum les discontinuités(B 727, B 737,B 747).

-MATERIAUX EMPLOYEES :

- Duralumin AU4GI dans la partie supérieure (traction)
- Zircal AZ5GU dans la partie inférieure (compression)

1-3-8- LE REVETEMENT :

- le revêtement est un revêtement travaillant, constitué en général de panneaux préconstitués assemblés par rivetage, collage ou soudage sur les couples.

MATERIAUX EMPLOYEES :

- Duralumin AU4GI (partie supérieure)
- Zircal AZ5GU (partie inférieure)

-FORME DU FUSELAGE :

- Le fuselage est circulaire : A 300, A 310.....
- ou bilobé : B 727, B 737,.....

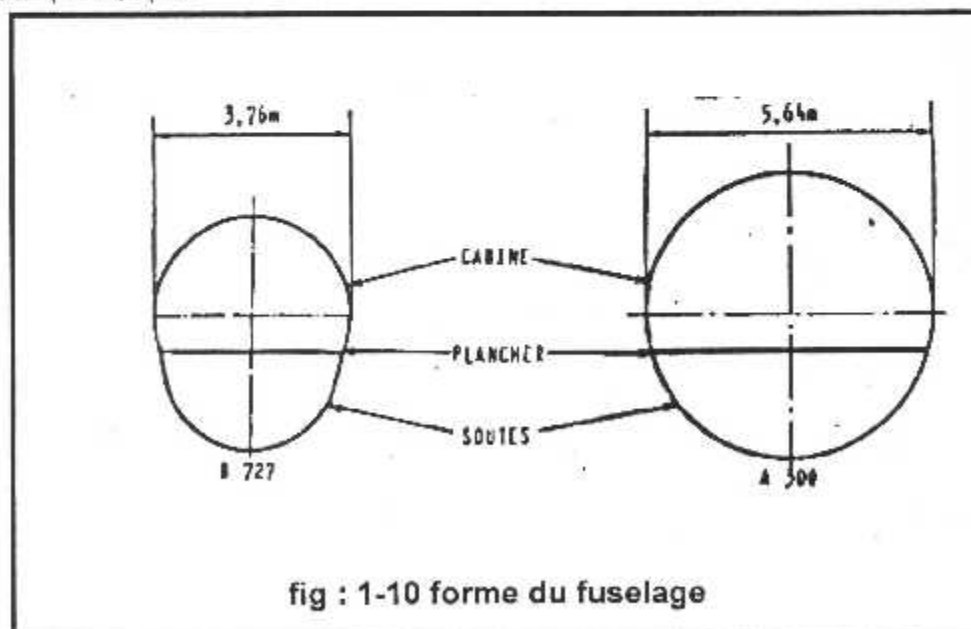


fig : 1-10 forme du fuselage

1-3-9- PLANCHER CABINE :

- Le plancher cabine est réalisé par des poutres transversales rivetés aux couples et raidies par des bielles de plancher (A 300, A 310)
 - Les rails de plancher sont fixés aux poutres transversales.
- Le plancher supporte ainsi les charges de la cabine et équilibre les efforts de traction dus à la pressurisation.

1-3-10- EMPENNAGES ET GOUVERNES : (fig :1-11)**- GENERALITES :**

Situés à la partie arrière du fuselage, les empennages comprennent :

-l'empennage horizontal qui se compose :

- D'une partie qui assure la stabilité en tangage.
Cette partie peut être fixe, mais sur les avions modernes, elle est généralement mobile : c'est le stabilisateur ou plan horizontal réglable (P.H.R.).

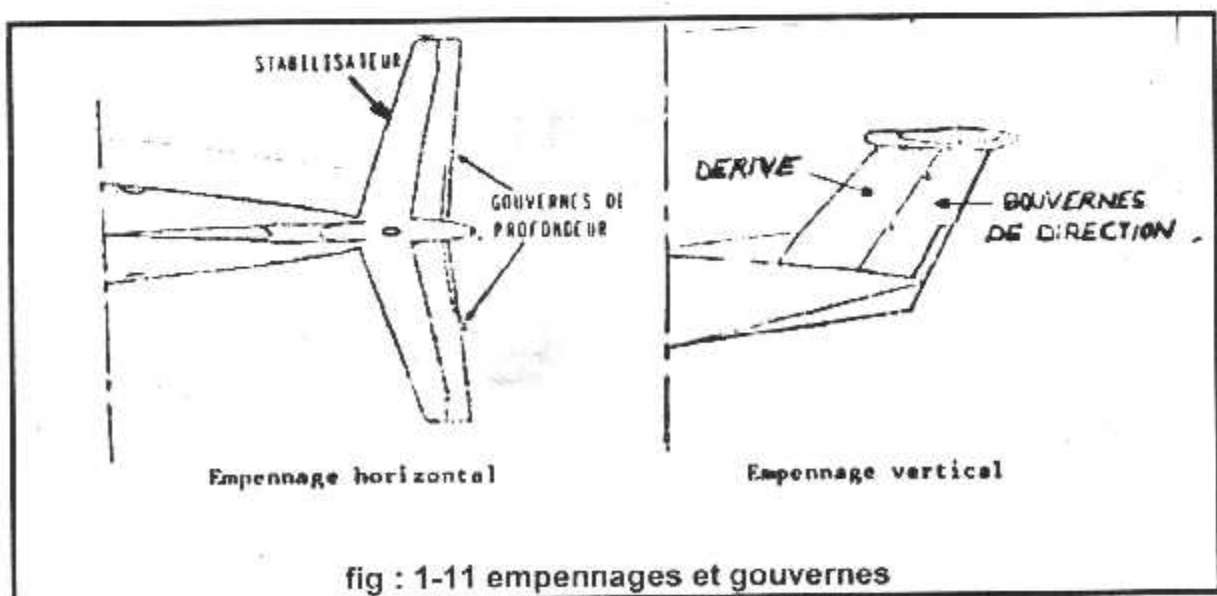
-D'une partie mobile qui assure la maniabilité autour de l'axe de tangage : ce sont les gouvernes de profondeur.

-l'empennage vertical qui se compose :

- D'une partie fixe qui assure la stabilité de route : c'est la dérive.
- D'une partie mobile qui assure la maniabilité autour de l'axe de lacet : la gouverne de direction.

Remarque : si l'empennage horizontal est constitué d'une seule partie

assurant les deux fonctions, on dit qu'il est "monobloc".



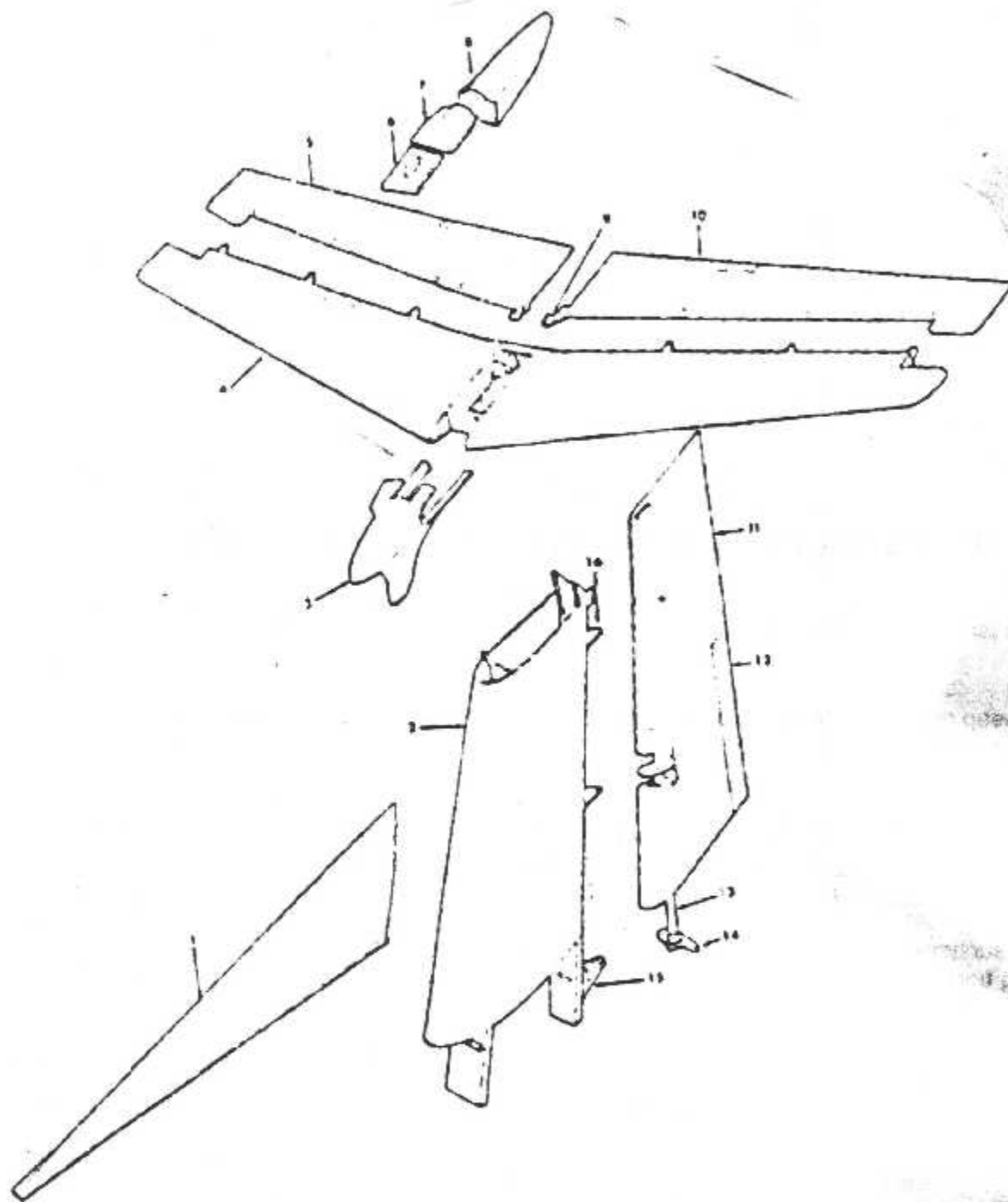


fig :1-12 élément constituant l'empennage

-DESIGNATION D'EMPENNAGE (fig13)

- | | |
|-----|-----------------------------------|
| 1- | Arrête dorsale. |
| 2- | Stabilisateur vertical. |
| 3- | Carénage. |
| 4- | Stabilisateur horizontal. |
| 5- | Gouverne de profondeur. |
| 6- | Feu anti-collision. |
| 7- | Carénage. |
| 8- | Carénage et feu arrière. |
| 9- | Guignol. |
| 10- | Trim de profondeur. |
| 11- | Gouverne de direction. |
| 12- | Tab de direction. |
| 13- | Tube de torsion. |
| 14- | Guignol. |
| 15- | Support d'articulation du renvoi. |
| 16- | Support d'articulation. |

1-4- L'HELICE :(1-13)**1-4-1- DEFINITIONS GEOMETRIQUE :**

On appelle :

- AXE DE L'HELICE :(1)

-l'axe de rotation du moteur.

- AXE DE PALE (2)

-Une droite de référence invariablement liée à la pale . sur les l'hélices à pales orientables, on adopte comme axe de pale l'axe autour duquel la pale peut s'orienter.

- PLAN DE ROTATION :(3)

-Plan engendré par la rotation de l'axe de la pale.

1-4-2- CENTRE DE L'HELICE :(4)

-Point d'intersection de l'axe de l'hélice et de l'axe de pale.

-ELEMENT DE PALE :

-Section de pale obtenue par un plan perpendiculaire à l'axe de pale et coupant la pale à une distance (d) de l'axe de l'hélice.

- ANGLE DE CALAGE :(5)

-Angle formé entre la corde d'un profil et le plan de rotation de l'hélice.

- HELICE A PAS CONSTANT :

-Le pas géométrique (h) est constant tout le long de la pale.

- HELICE A PAS VARIABLE :

-Si (h) géométrique varie tout le long de la pale (variation possible au moment de la construction).

- HELICE A CALAGE FIXE :

-Si le calage (α) peut être modifié par rapport au moyeu.

- HELICE A CALAGE REGLABLE :

-Si le calage (α) peut être modifié au sol.

- HELICE A CALAGE VARIABLE :

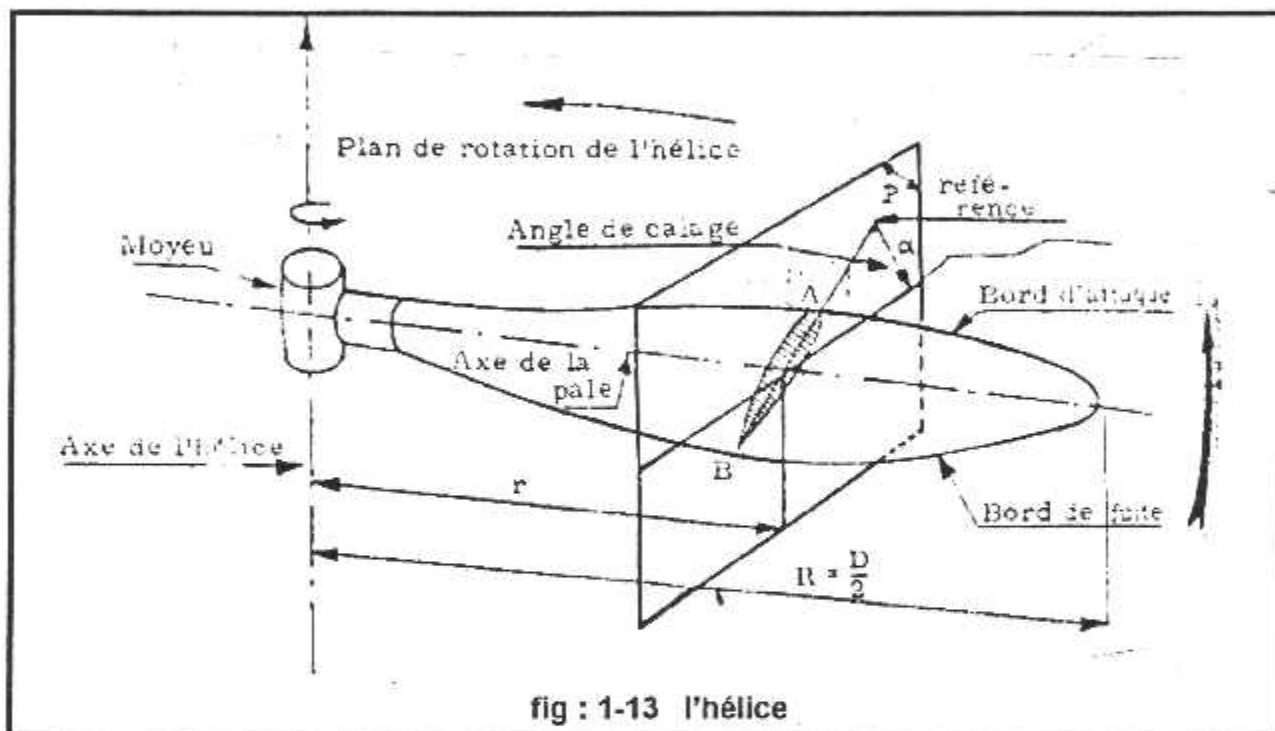
-Si le calage (α) peut être modifié en vol.

- **NOTE 1 :** Modifier (α) revient à modifier le pas H (puisque $H = 2 \cdot R \cdot \tan \alpha$)
Il en résulte qu'une hélice à calage variable est souvent appelée hélice à pas variable.

- NOTE 2 :** Le pas d'une hélice tout le long de la pale pouvant être variable. Il est nécessaire de définir une section de référence. Par convention cette section est fixée à $0.70 R$ (R étant le rayon de l'hélice)

1-4-3- SECTION DROITE DE REFERENCE :

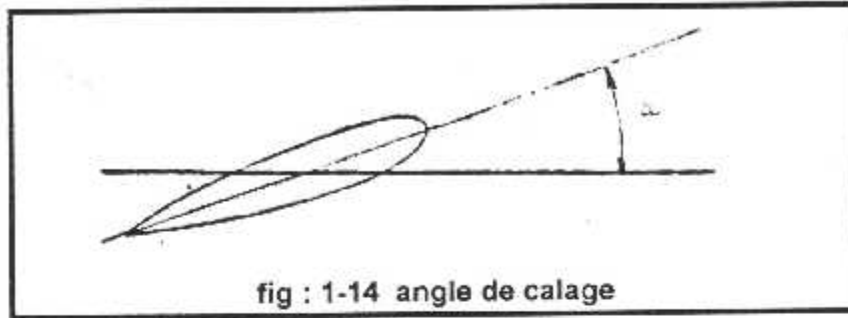
- Situé à une distance $r = 0.7 d/2$ de l'axe de l'hélice, c'est l'intersection de la pale et d'un plan P normal à l'axe de la pale.
- Cette section est définie par le profil de la section, par la corde de référence AB et par l'angle de calage que fait cette corde avec le plan de rotation.



1-4-4 DIFFERENCES ENTRE CALAGE ET PAS :

1-4-4-1- ANGLE DE CALAGE :(fig : 1-14)

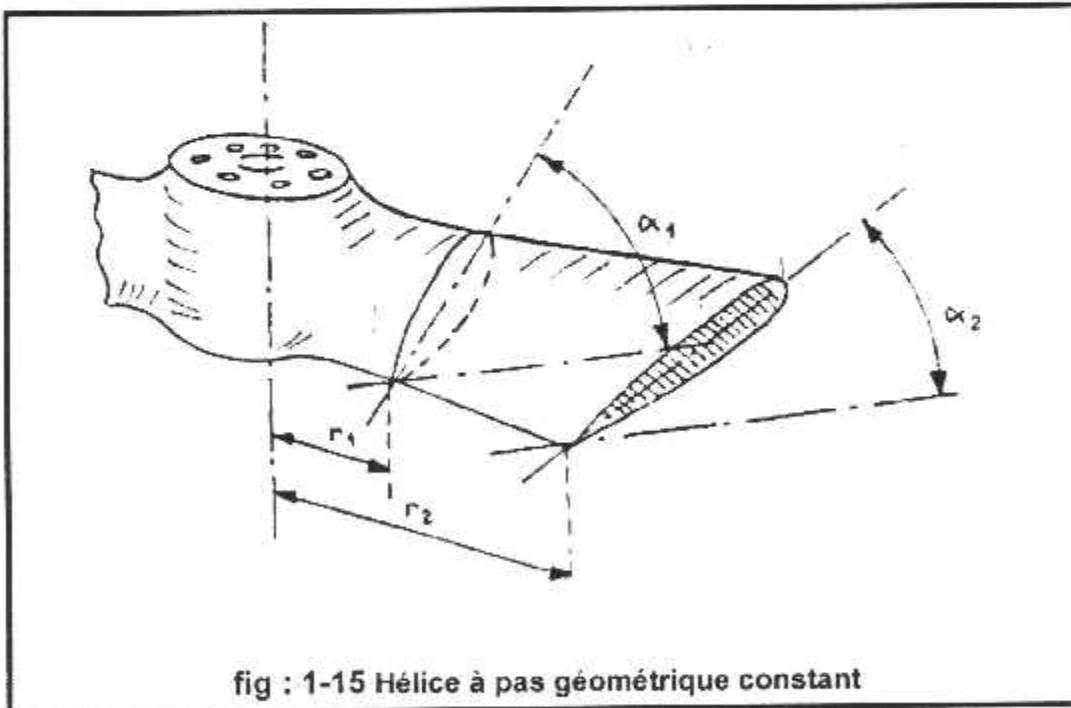
- C'est l'angle formé par la corde d'un profil et de rotation.



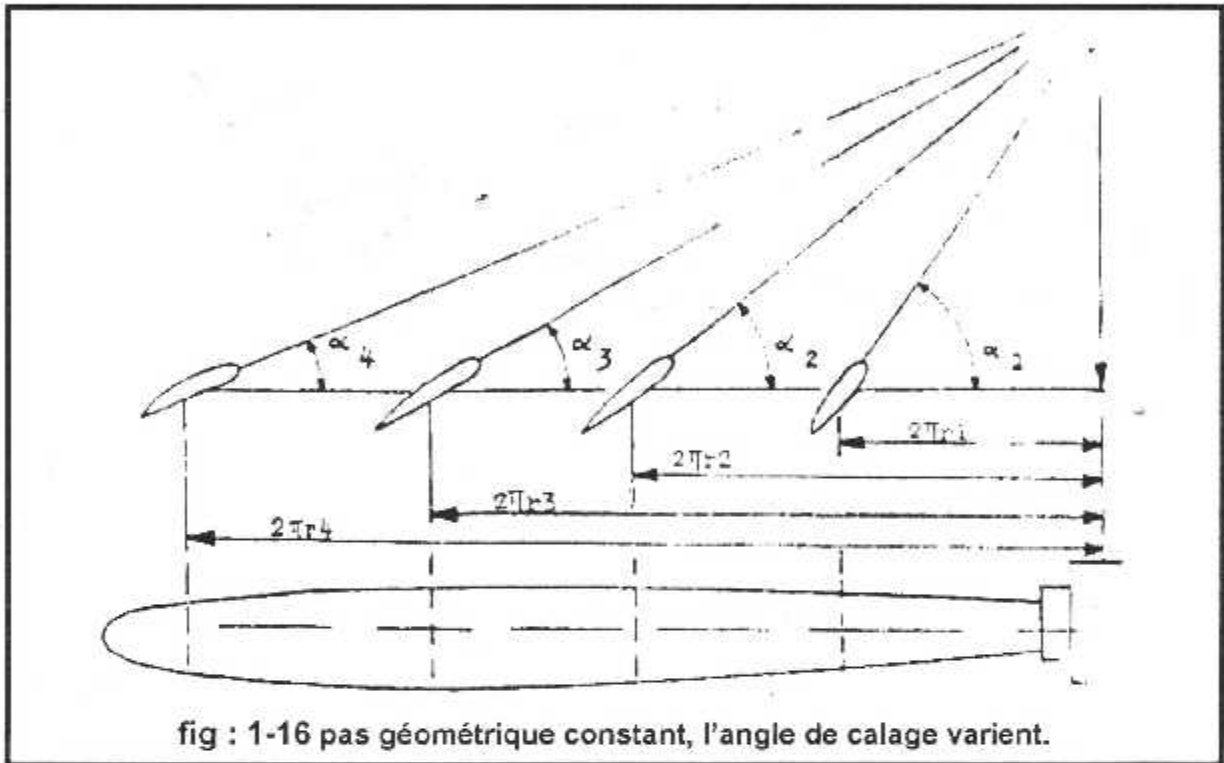
1-4-4-2- PAS :

- C'est la distance parcourue pour un tour en considérant que les pales "se vissent" dans l'air (pas de recul).

-EXEMPLE : Hélice à pas géométrique constant.



- l'angle de calage varie le long du profil, le pas est constant.



-le pas géométrique est constant, l'angle de calage varie.

1-5- AILES :**1-5-1- DIFFERENTS TYPES D'AILES :**

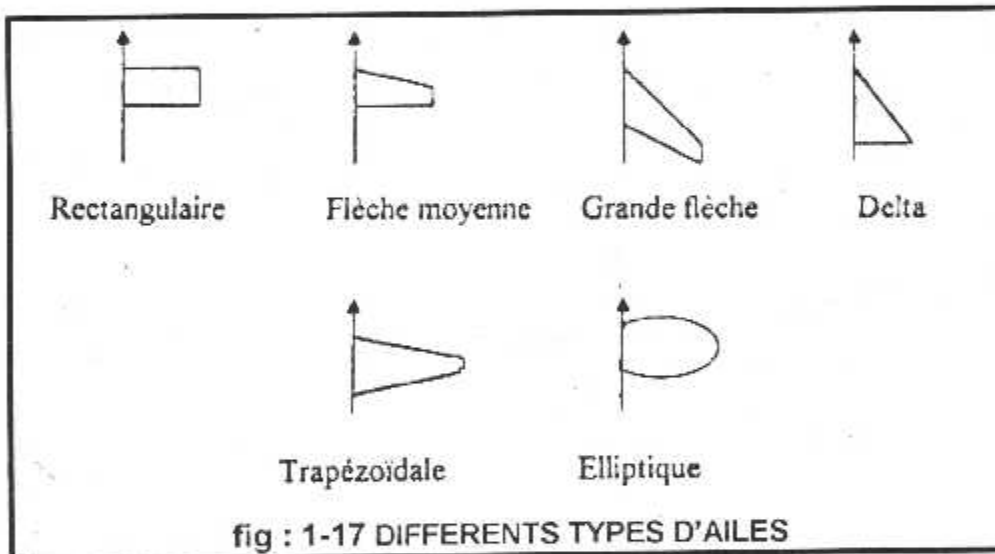
-Dans la construction aéronautique, il existe différents types d'ailes, généralement, elles se différencient par leur forme en plan (figure 1-17) et par rapport au fuselage (figure 1-18). on peut les classer en trois groupes :

- Ailes de grand allongement et de faible flèche.
- Aile d'allongement et de flèche moyens.
- Aile de faible allongement et de grande flèche.

Celles-ci correspondent aux trois catégories d'avions :

- Subsonique, faible vitesse ($M < 0.6$)
- Subsonique, grande vitesse ($0.6 < M < 0.9$)
- Transsonique, ($0.9 < M < 1.1$)
- Supersonique, ($M > 1.2$)

D'où M est le nombre de MACH

**1-5-2- DIFFERENTS POSITIONS D'AILES :**

-La position de l'aile dépend des considérations aérodynamique et structurales suivantes :

- Performances aérodynamique.
- Simplicité de construction.
- Exploitation.

Il existe trois principales positions : (fig 1-18)

1-5-a- AILE BASSE :

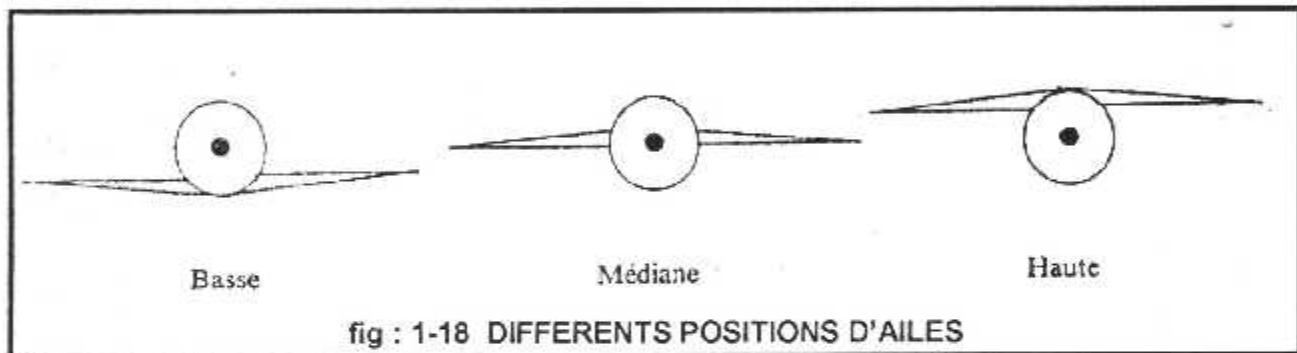
-Le plancher principal est situé à la hauteur assez importante (environ 2 m du sol) ce qui rend son exploitation difficile (dans le cas du cargo). ce type d'aile est utilisé surtout pour les avions de transport de passagers.

1-5-b- Aile médiane :

-Cette position permet à l'aile un bon rendement aérodynamique, mais elle pose un sérieux problème qui est l'attache aile/fuselage.

1-5-c- Aile haute :

-Le plancher principal est près du sol. Cette position est dégagée surtout pour l'atterrissage sur des pistes sommairement aménagées.



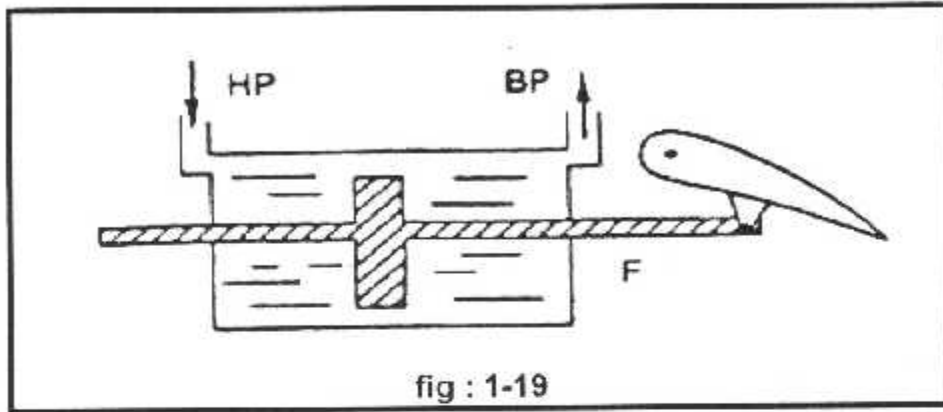
-Dans le cas de notre étude préliminaire (avions de transport de passagers) Nous avons opté pour le choix de l'aile basse.

-En ce qui concerne la forme en plan de notre aile, nous choisissons l'aile en flèche (flèche moyenne) car :

- Elle est adaptée à l'écoulement subsonique, à grande vitesse.
- Elle permet une bonne stabilité en vol.
- Elle diminue la traînée d'onde.

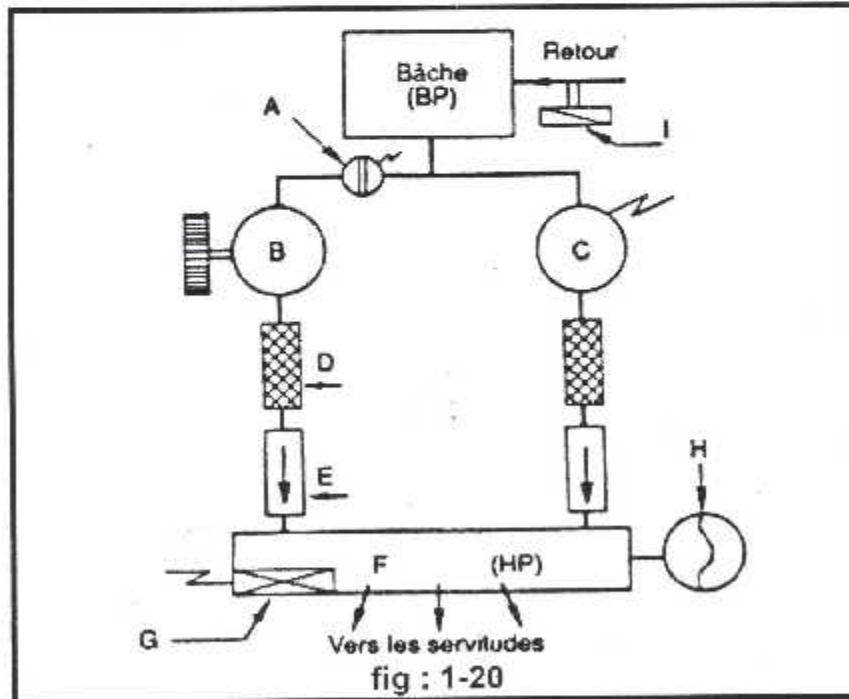
1-6- LES ELEMENTS CONSTITUANTS LES DIFFERENTS CIRCUITS :

1-6-1- LE BUT



-Si l'on dispose d'une haute pression HP et d'une basse pression BP, envoyées de part et d'autre de la section S d'un piston elles pourront générer une force $F=S.(HP-BP)$ soit encore $F=S.DP$ qui pourra agir sur une servitude.

1-6-2- PRÉSENTATION :



- A=Robinet électrique coupe-feu.
- B=Pompe hydraulique entraînée par un moteur avion.

C=Pompe hydraulique entraînée par un moteur électrique.
 D=Filtre.
 E=Clapet anti-retour (sens unique).
 F=Collecteur de haute pression.
 G=Transmetteur électrique de HP.
 H=Accu.
 I=sonde de température.

1-6-3 -PRINCIPE DE LA GÉNÉRATION:(fig : 1-20)

-Dans le réservoir appelé bache est stocké le fluide hydraulique à la basse pression BP. Des pompes hydrauliques y puisent pour générer la haute pression HP qui se déverse dans le collecteur appelé manifold. De là, partent les alimentations vers les différentes servitudes.

-Chaque pompe est suivie d'un filtre et d'un clapet anti-retour. En cas de panne de la pompe, ce dernier la protégera d'une éventuelle remontée de haute pression depuis le manifold.

-L'accu constitue une réserve d'énergie en cas de demande importante. Il intègre par ailleurs les pulsations des pompes, jouant par là le rôle du volant d'inertie des moteurs thermique.

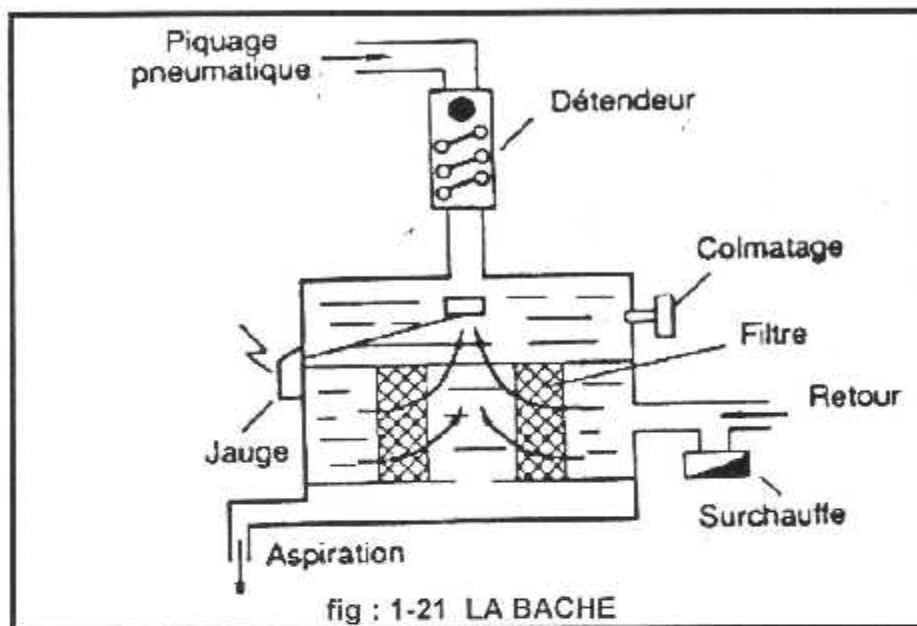
-Enfin le transmetteur de pression renseigne en poste. Notons que la HP est de 2 000 à 3 000 PSI, soit de 150 à 200 bar.

(PSI= pound per square inch=pound/pouce .Conversion: 1 PSI=69 millibars).

1-6-4- LA BACHE :(fig1-21)

-C'est un réservoir de fluide hydraulique (FH), le fluide de retour arrivant à la périphérie d'un filtre annulaire le traverse pour ressortir au centre. On trouve parfois l'indicateur de colmatage dont la couleur vire en fonction de l'encrassement du FH. Des indicateurs de surchauffe et de pression (BP) complétant l'équipement.

-A partir d'un piquage d'air comprimé du réseau pneumatique, un détendeur permet en effet dans certains modèles élaborés de pressuriser la bache, soit : d'y faire régner une BP supérieure à la pression extérieure.



1-6-4-1- BUT DE LA PRESSURISATION BACHE :

-Les liquides ayant qualitativement le même comportement, attardons-nous sur le modèle de l'eau.

	pression	température d'ébullition
Niveau mer	1 bar	100°C
Mont-blanc (4 807m)	0.55 bar	86°C
((cocotte-minute))	1.5 bar	114°C

-Dans l'autoclave au clapet taré beaucoup plus haut que la ((cocotte minute)), les microbes ne résistent pas à la température atteinte à l'ébullition.

-Il apparaît que cette dernière croît quand augmente la pression.

-Considérons le fonctionnement d'un circuit de refroidissement air eau (refroidissement par eau des automobiles – chauffage des appartements) : il comporte un circuit fermé d'eau, une pompe pour la circulation, une source de chaleur (moteur – chauffe-eau), des échangeurs. Si l'ébullition apparaît, la pompe brassant alors de la vapeur risque de désamorcer. L'eau ne circulant plus, des surchauffes locales auront vite raison de l'intégrité du circuit.

-L'ébullition peut intervenir suite à une surchauffe résultant d'un usage trop intensif ou d'une mauvaise évacuation des calories, consécutive à une circulation trop lente résultant d'un colmatage par exemple, voire à une circulation nulle en cas d'une panne de la pompe ; mais suite aussi à une diminution de pression extérieure (utilisation de l'automobile en montagne). Le remède consiste alors à augmenter volontairement la pression de l'eau dans le circuit pour repousser l'ébullition. D'où la présence du clapet taré sur le vase d'expansion de l'auto.

1-6-4-2- LA PRESSURISATION BACHE :

-Le fluide hydraulique du circuit avion a une température d'utilisation normale de 80°C, Mais à l'altitude de croisière la pression extérieure peut être très faibles : 200 mb à 12 000 mètre. Par exemple. Elle baissera par ailleurs encore dans la bache à cause de l'aspiration des pompes, d'autant plus que celles-ci auront un grand débit.

-C'est pourquoi existe la pressurisation préventive qui croit comme les performances des pompes, les plus grandes valeurs atteignant 3.5 bars pour les gros transporteurs modernes.

NOTE : l'ébullition d'un liquide obtenue par baisse de pression apparaît de façon explosive. Le phénomène porte le nom de cavitation.
La pressurisation bache est un remède à la cavitation.
Le <<claquement>>des articulations des doigts est une cavitation synoviale.

1-6-5- LES TUYAUTERIES :

Lorsqu'une de leurs extrémités doit se déplacer elles sont semi-rigides, avec armature treillis. Fixes elles sont rigides et constituées d'alliage d'aluminium pour la bp, d'alliage de titane pour la HP. Dans les zones à risque de feu ou de choc, le titane est remplacé par de l'acier inoxydable.

1-6-6- ENTRAINEMENT DES POMPES :

1-6-6-1- Par moteur avion :

-La pompe est mue, entre autres servitudes, par un relaie d'accessoires entraîné directement par le moteur. La liaison mécanique nécessairement courte implique que la pompe soit à proximité immédiate du moteur. En cas de feu de ce dernier l'alimentation hydraulique de la pompe doit être impérativement coupée, d'où la présence du robinet coupe-feu commandé manuellement en poste par la poignée d'extinction incendie, automatiquement par des sondes de températures moteur excessives.

1-6-6-2- par moteur électrique :

- Servent lors des essais au sol, pour les contrôles avant la mise en route des moteurs. En croisière, elles tournent en attente pour prévenir une éventuelle panne des pompes principales.

1-6-6-3- par air dynamique :

- La RAT = Ram Air Turbine est une éolienne à sortie commandée qui, entraînée par le vent relatif, peut mener une pompe de secours.

1-6-6-4- par moteur hydraulique :

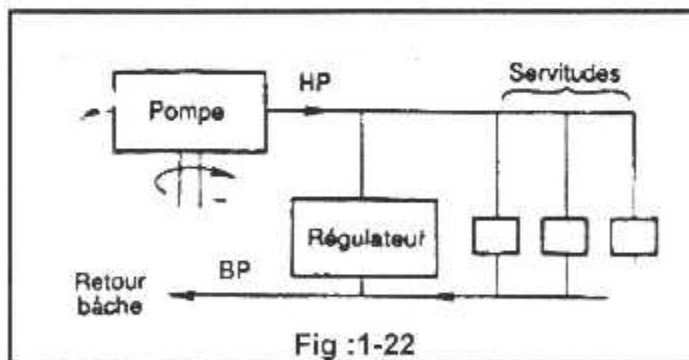
- PTU = Power Transfert Unit, encore appelée motopompe. Un moteur hydraulique, servitude d'un circuit, entraîne une pompe d'un autre circuit.

1-6-6-5- manuellement :

- En voie de disparition.

1-7- LES POMPES :**1-7-1- LES POMPES <<à débit constant>> :**

- Le débit est fonction de leur régime N (tour/minute). En croisière à entrainement donné elles débitent donc un débit constant. C'est là leur point faible.



- En effet, dans les phases de non demande de la part des servitudes la tuyauterie HP exploserait. Leur usage nécessite donc l'adjonction d'un régulateur qui dans cette éventualité réalisera un retour direct vers la bache.

- Ce type de pompes progressivement abandonné comporte les pompes à engrenages- à barillet- à palettes.

1-7-2- LES POMPES AUTORÉGULÉES :

-C'est pompes modernes ont une régulation incorporée. Généralement des pompes à barillet qui, travaillant à HP constante, délivrent le débit à la demande.

1-8-- LES FILTRES :(fig :1-23)

-Ils épurent le FH de la limaille due à l'usure des parties mobiles, et autres impuretés. Leur encrassement progressif crée une perte de charge qui va croissant, aussi sont -ils périodiquement entretenus (préventif) et parfois doublés d'un clapet surpression (curatif).

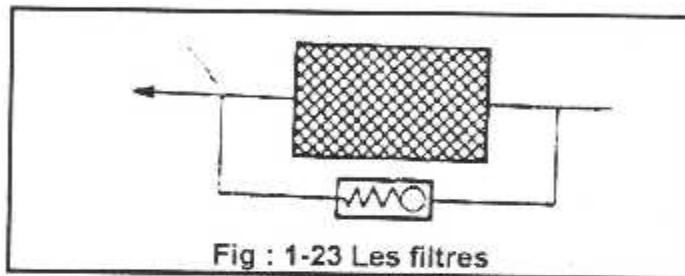


Fig : 1-23 Les filtres

1-9- LES ACCUS :

1-9-1- PRESENTATION :fig: 1-24)

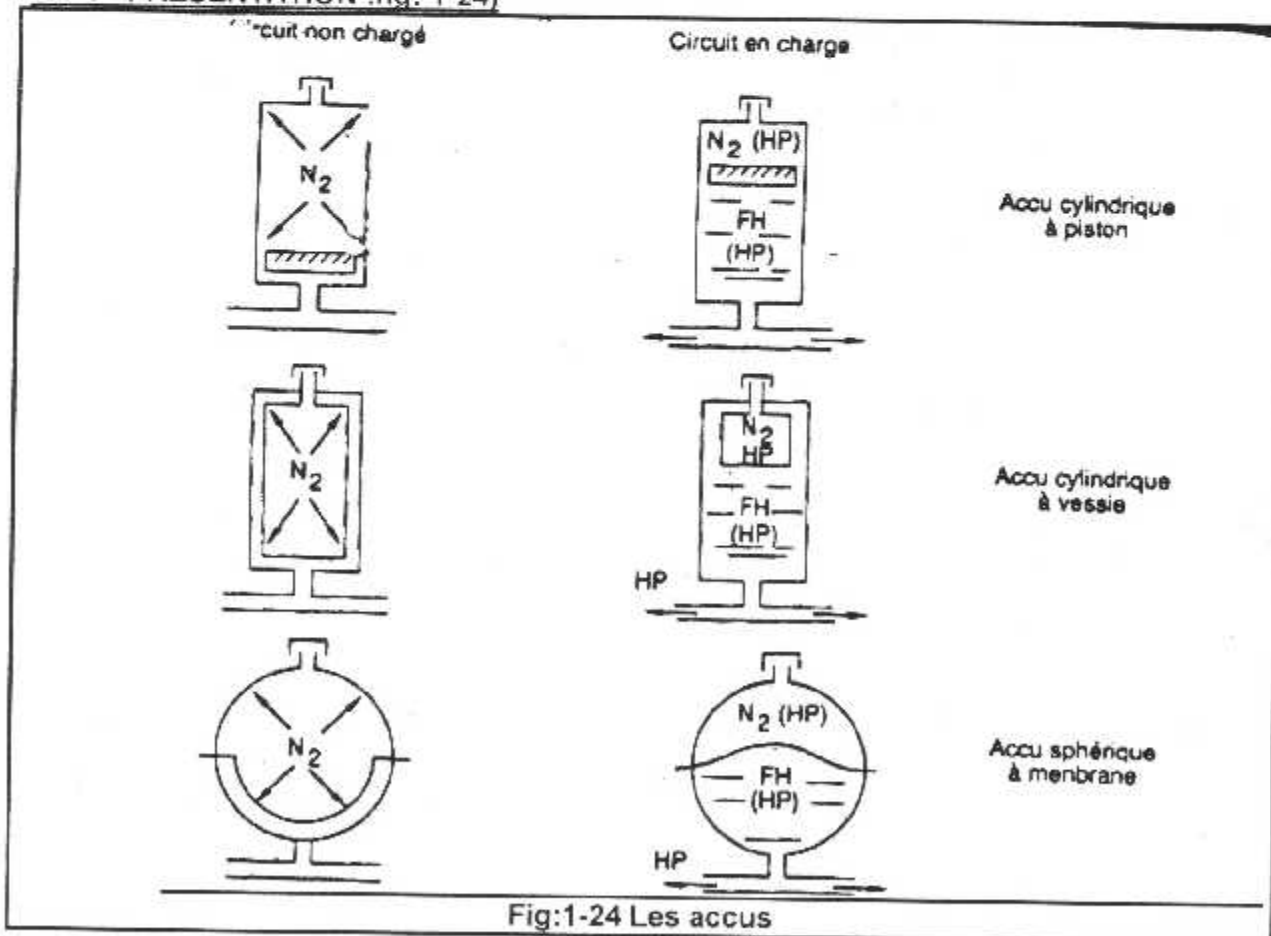


Fig:1-24 Les accus

-L'accu est constitué d'un cylindre ou d'une sphère, initialement gonflé à l'azote, gaz neutre, à une pression initiale $P_0 < HP$.

-Quand les pompes débitent, du FH prend la place d'une certaine quantité d'azote qui se comprime jusqu'à HP.

1-9-2- BUT :

1-9-3- ACCU DE GÉNÉRATION :

-Le FH en réserve pourra être restitué en cas de baisse de la HP et générer, pendant un temps limité, le déplacement d'une servitude. Il servira ainsi soit en cas de demande importante supérieure aux possibilités des pompes, soit en cas de panne des pompes : c'est le cas de l'accu de freinage.

1-9-4- ACCU AMORTISSEUR :

-De même que le volant d'inertie intègre les à-coups de chaque piston et donne une rotation filtrée du vilebrequin, l'accu amortira les pulsations des pompes dues aux mouvements alternatifs des pistons, afin d'obtenir une HP vraiment constante.

-Le FH étant incompressible, à l'ouverture d'une alimentation de servitude la HP chuterait abruptement ; à la fermeture elle croîtrait tout aussi soudainement, ces coups de bélier répétés affecteraient toute l'installation. L'accu épongera ces variations dans les phases transitoires de mise et d'arrêt de débit.

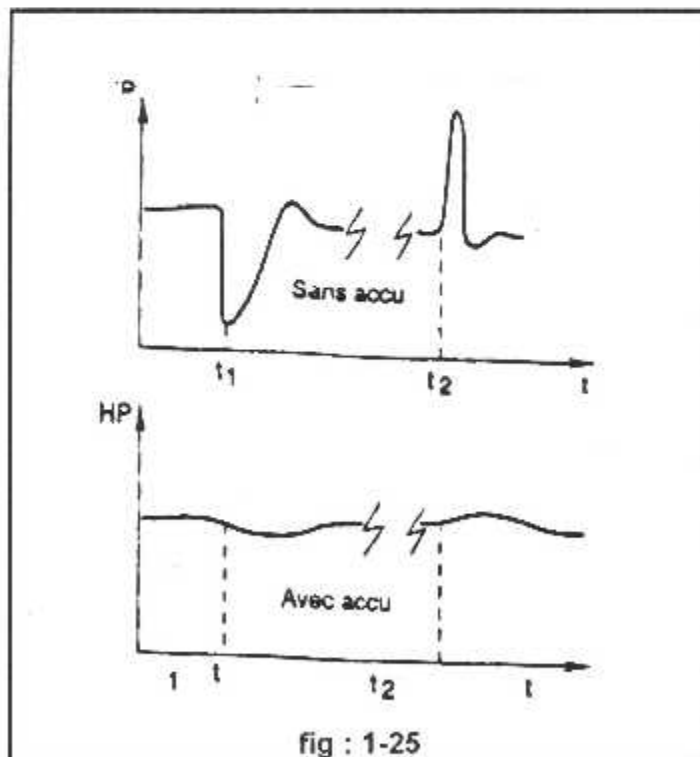


fig : 1-25

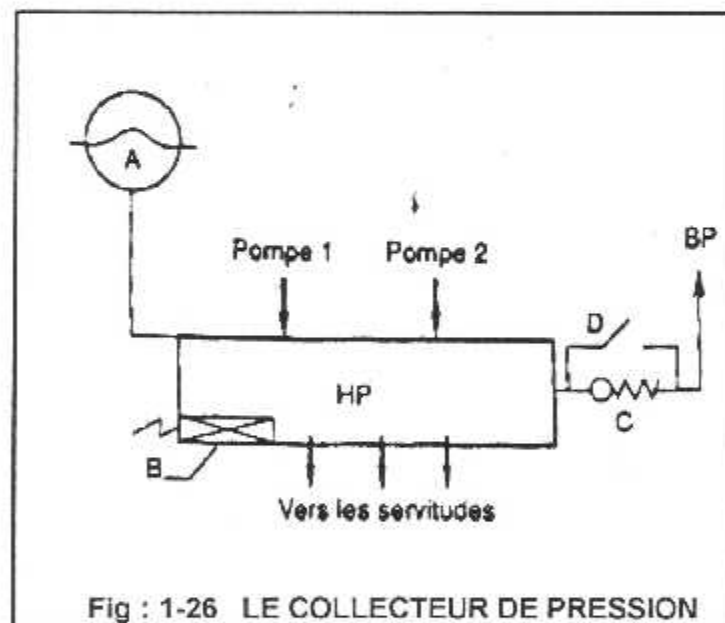
-Sur les courbes ci-contre t_1 désigne l'ouverture d'un distributeur, t_2 l'instant de la fermeture.

1-10- COMPARAISON DES TYPES DE POMPES :

-Les << débit constant >> brassant en performance leur débit maxi, s'ensuit un fort échauffement par viscosité dans les tuyauteries, d'où : nécessité de bache volumineuses, donc lourdes. Alors, en cas de demande importante, les insuffisances des pompes devront être composées par de gros accus de génération, deuxième pénalisation en poids.



-Avec les pompes autorégulées ne débitant qu'à la demande, ces inconvénients disparaissent : possibilité de gros débits instantanés supprimant les gros accus de génération, diminution importante du volume des bâches.

1-11- LE COLLECTEUR DE PRESSION :





-Appelé aussi manifold. Toutes les pompes d'un même circuit s'y déversent, les servitudes viennent y puiser. Il est généralement équipé d'un accu amortisseur (A), d'un transmetteur électrique de pression (B), d'un clapet de surpression protecteur (C), d'un by-pass (D) pour vider l'accu et faire chuter la pression avant une intervention au sol.

1-12- LES CLAPETS :**1-12-1- ANTI-RETOUR :**

-  ou . Symbolisme désignant un sens unique, ici de gauche à droite dans les deux cas.

1-12-2- DE SURPRESSION :

-Anti-retour taré par un ressort (par son propre poids pur la <<cocotte minute>>).

-  ou . Symbolisme désignant un sens unique de gauche à droite au delà d'un certain DP parfois mentionné (ici 3 200 psi).

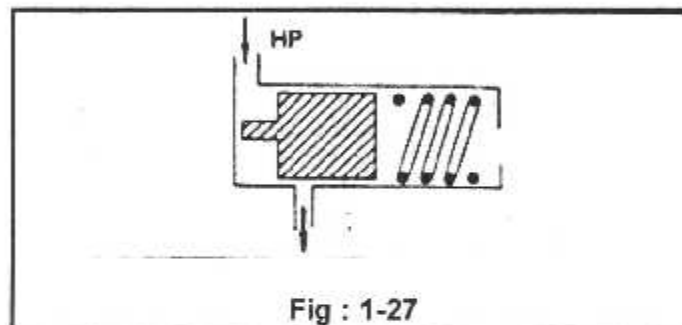
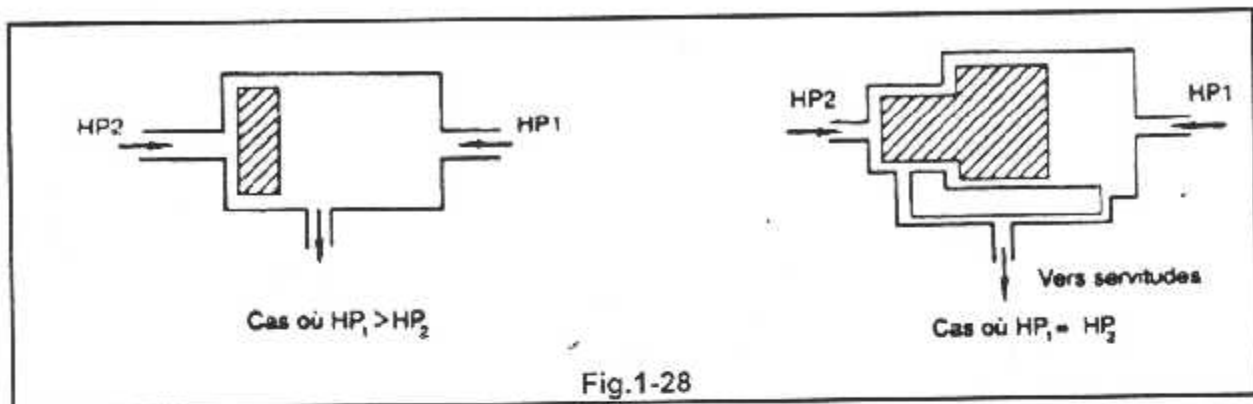
1-12-3- PRIORITAIRE :

Fig : 1-27

-Si la HP chute en dessous du tarage du ressort, il se ferme et la partie aval qui n'est plus alimentée se trouve ainsi sacrifiée. En cas de panne partielle il condamne les servitudes secondaires en aval pour ne garder le fluide plus rare qu'au profit des servitudes nobles placées en amont. Ces dernières deviennent ainsi prioritaires.

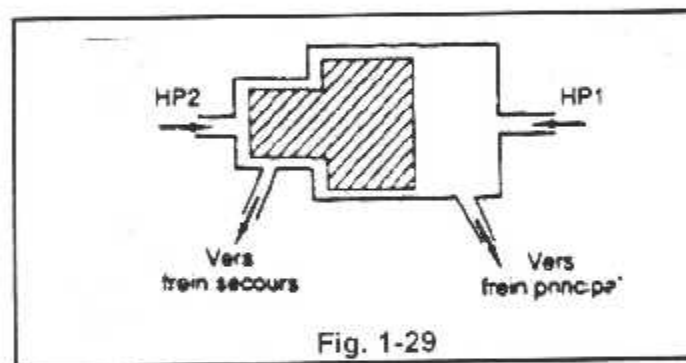
1- 13- NAVETTE OU SÉLECTEUR AUTOMATIQUE :**1- 13- 1- DEUX CIRCUITS- UNE SERVITUDE (FIG 1-28) :**

-HP1 étant générée par le circuit principal et HP2 par le circuit secondaire, un piston fou donne priorité au circuit principal pour attaquer une servitude. En cas de panne le déplacement du piston permet à HP2 de prendre le relais.



-LA pression HP2, gardée ici en attente, est, sur certains types d'appareils, inférieure à la HP principale ; elle est parfois de même valeur sur d'autres modèles ; c'est la tendance actuelle. La figure 10 montre la réalisation du clapet navette dans chacun des deux cas.

1-13-2 DEUX CIRCUIT- DEUX SERVITUDES :



-Exemple des freins déjà vu avec deux jeux de plaquettes imbriquées. C'est le système précédent muni cette fois de deux sorties.

1-14- DE DÉCHARGE :

-Robinet de dépressurisation :(fig : 1-30):

- Permet à l'arrêt de faire chuter la HP : les accus se vident du FH qu'il avaient stocké.

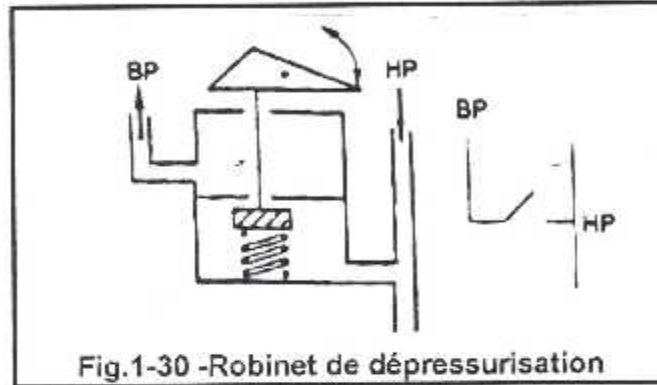


Fig.1-30 -Robinet de dépressurisation

1-15 LES SERVOCOMMANDES :(fig : 1-31)

1- 15-1- PRINCIPE :

-Une servo commande (SC) est composée d'un robinet double, appelé distributeur, qui permettra à la HP et à la BP de communiquer respectivement avec les deux chambres d'un vérin de part et d'autre d'un piston de section S.

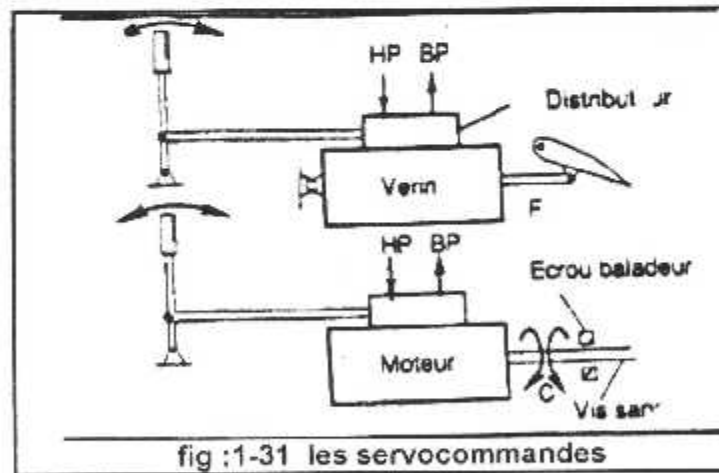


fig :1-31 les servocommandes

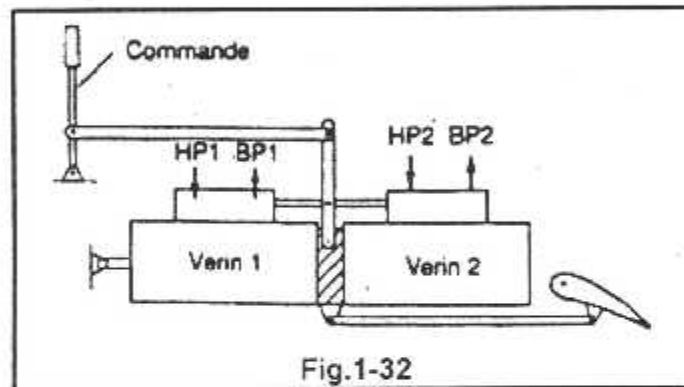
-L'effort $F=S.(HP-BP)=S.DP$ permet alors d'activer la servitude.

-Si la sortie désirée est une rotation, l'élément de puissance s'appelle un moteur hydraulique. Il sort un couple (C) qui entraîne une vis sans fin sur laquelle coulisse généralement un écrou baladeur. Les déplacements linéaires de ce dernier peuvent être dosés de façon plus fine que dans le cas précédent. On en trouve par exemple dans la cinématique de sortie des volets de certains types d'avions.

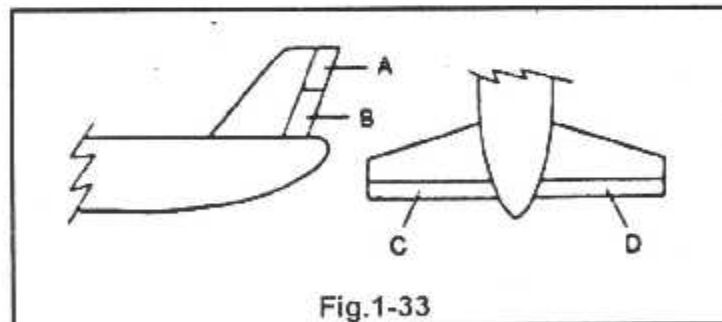
11-15-2- REDONDANCE :

-L'avion comporte deux, voire trois circuits indépendants, alimentés chacun par plusieurs pompes, dans un souci de fail-safe.

-la servitude peut parfois, à travers un sélecteur automatique ou manuel, être attaqué par l'un ou l'autre de deux circuits (système dit «<multiplié>>), par l'un et l'autre (système dit «<multiplex>>»).



-Dans ce dernier cas, deux servocommandes (schématique ci-contre) sont attaquées simultanément en push-pull, l'ensemble portant le nom de servocommande double corps.



- A= gouverne de direction haute.
- B= gouverne de direction basse.
- C= gouverne de profondeur gauche.
- D= gouverne de profondeur droite.
- E= aileron gauche.
- F= aileron droit.

1-16- CIRCUIT CARBURANT :(fig : 1-34)

1-16-1- DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT :

-Le circuit carburant se compose de deux circuits, séparés reliés par une tuyauterie d'intercommunication incorporant une vanne d'intercommunication. Chaque circuit séparé, alimente son propre moteur et est lui-même divisé en un circuit principal et un circuit auxiliaire. Le circuit principal se compose d'un réservoir de nacelle, de deux réservoirs de bord d'attaque de voilure, de deux réservoirs souples dans la section en caisson, et d'un réservoir structural, tous reliés à la rampe d'alimentation par gravité de la nacelle. Ce système de réservoirs est rempli par l'orifice situé près du saumon d'aile.

-Le circuit carburant auxiliaire se compose ; d'un réservoir de section centrale, avec son propre orifice de remplissage, et un système de transfert automatique pour transférer le carburant dans le circuit principal.

-Quand les réservoirs auxiliaires sont remplis, ils doivent être utilisés en premier. Pendant le transfert du carburant auxiliaire, qui est automatiquement contrôlé, Les réservoirs de nacelles sont maintenus pleins. Un clapet anti-retour dans la rampe d'alimentation par gravité venant du bout d'aile évite l'écoulement inverse du carburant. Une fois le carburant auxiliaire épuisé, le transfert normal par gravité du carburant d'aile dans les réservoirs de nacelle commencera.

-Un clapet anti-siphonnage est installé dans chaque orifice de remplissage, qui évite la perte de carburant ou l'écrasement d'un réservoir souple si la fixation de celui-ci est défaillante, ou bien encore la perte de bouchon de remplissage.

-Les deux systèmes sont mis à l'air libre par un orifice noyé, couplé avec un orifice en saillie sous l'intrados contre la nacelle. L'un des orifices est noyé dans le profil de l'aile pour éviter le givrage, l'autre constitue le système de sécurité et il est réchauffé contre le givrage également.

-Tout le carburant est filtré par un élément de 20 microns monté sur la cloison pare-feu. Ces filtres possèdent une dérivation interne qui s'ouvre pour permettre une alimentation ininterrompue au moteur dans l'éventualité d'un blocage ou d'un givrage du filtre. De plus, des crépines filtrent le carburant avant que celui-ci atteigne la pompe de gavage (boost pump), la pompe auxiliaire (standby fuel pump) et la pompe à jet de transfert. La pompe moteur possède une crépine interne.

-Le système de carburant du B 200 super King air consiste en une série de réservoirs souples en caoutchouc et d'un réservoir structural dans chaque aile. La communication entre les ailes s'effectue par l'intermédiaire d'une conduite d'intercommunication contrôlée par une vanne. Le circuit particulier de chaque moteur est subdivisé en un circuit principal et un circuit auxiliaire. La quantité totale de carburant utilisable est de 2060 L.

-Le circuit principal de chaque aile comprend un réservoir de fuseau moteur, deux réservoirs souples de bord d'attaque, deux réservoirs de caisson d'aile et un réservoir structural, tous reliés les uns aux autres et qui se déversent par gravité dans le réservoir du fuseau moteur. La quantité totale de carburant utilisable dans les deux circuits principaux est de 1460 L, le bouchon de remplissage de chaque circuit principal se situe dans le bord d'attaque, près du bout d'aile.

-Le circuit auxiliaire comprend un réservoir installé entre le fuselage et le fuseau moteur. Chaque réservoir auxiliaire possède un bouchon de remplissage individuel. La quantité de carburant utilisable d'un de ces réservoirs est de 300 L, lorsqu'on utilise le circuit principal par une pompe de transfert à effet de trompe située au voisinage du filtre et du robinet de purge du réservoir auxiliaire.

-Les circuits principaux et auxiliaires de chaque aile sont équipés de cinq purges de puisard, d'une tubulure de purge et d'une purge de filtre de cloison pare-feu, sur demande, le constructeur peut installer des réservoirs de bout d'aile pour augmenter la capacité totale jusqu'à 2460 L.

- Les circuits auxiliaires et principaux sont mis à l'air libre au moyen de deux événements communicants situés dans l'intrados de l'aile, proche du moteur. l'un d'eux est encavé pour réduire le risque de givrage. L'autre est muni d'un élément chauffant et sert de secours en cas de givrage du premier. Un circuit complexe de mise à l'air libre assure un débit non restreint du carburant, tout en évitant l'écrasement éventuel des réservoirs souples grâce aux clapets de décharge de suction.

-les réservoirs d'aile se déversent dans le réservoir de fuseau moteur par l'intermédiaire d'une conduite reliant le réservoir intérieur arrière au flanc extérieur du réservoir de fuseau moteur. Un clapet anti-retour à battant placé à l'extrémité de la conduite d'alimentation par gravité empêche tout retour du carburant vers les réservoirs d'aile.

-Une pompe principale entraînée par le moteur, montée sur la boîte de relais des accessoires avec le régulateur de carburant, fournit la pression nécessaire au fonctionnement du moteur. Une pompe d'alimentation, montée à l'arrière de la boîte des accessoires, achemine le carburant à la pompe principale.

-Tant que le générateur de gaz (N 1) tourne, cette pompe d'alimentation fonctionne et fournit suffisamment de carburant dans toutes les conditions, sauf en cas d'intercommunication des circuits ou d'utilisation d'essence d'aviation à des altitudes supérieures à 20000 pieds.

-Un robinet d'arrêt du carburant, situé juste en arrière de la cloison pare-feu, contrôle le passage du carburant entre le réservoir du fuseau moteur et la pompe d'alimentation. Chacun de ces robinets est commandé électriquement par un interrupteur situé sur le panneau de contrôle de carburant. A partir du robinet d'arrêt, le carburant est conduit vers la pompe d'alimentation, puis vers le filtre principal fixé sur la partie centrale inférieure de la cloison pare-feu. Le filtre calibré à 20 μm est muni d'une soupape de dérivation pour laisser libre passage au carburant en cas d'obstruction de la crépine. Un robinet de purge permet de purger le filtre avant chaque vol. un manocontact sensible à la pression fournie par la pompe d'alimentation est installé juste au-dessus du filtre. Le contact ferme à une pression d'environ 70 kpa pour allumer le voyant rouge *fuel pressure* sur le panneau d'alarme, signifiant au pilote qu'il faut allumer la pompe d'appoint électrique. Le temps d'utilisation maximal du moteur lorsque ce voyant est allumé ne doit pas être supérieur à 10 heures entre deux révisions moteur, à cause de l'effet de la cavitation du carburant sur les composantes de la pompe.

1-16-2- FONCTIONNEMENT :fig : 1-35)

- Le carburant est aspiré des réservoirs, il atteint l'étage de la pompe basse pression puis traverse le réchauffeur carburant, il revient en passant par le filtre vers la pompe haute pression avant d'atteindre le fuel central unit pour être régler ensuite, il passe par le débitmètre puis par l'échangeur (fuel oil cools) avant d'atteindre le purgeur distributeur ou il divise en deux écoulements (primaire et secondaires) puis refoulé vers les injecteurs.

CHAPITRE 2: GAMME DE FABRICATION DE
QUELQUES ELEMENTS DE L'AVION

2-1- LA VOILURE:

2-1-1- REALISATION D'UNE VOILURE:

- les éléments constitutifs de la voilure sont:
 - les longerons
 - les nervures
 - le revêtement

2-1-1-1- LES LONGERONS :(fig: 2-1)

- Ils constituent les éléments longitudinaux de la voilure (dans le sens de l'envergure) et ils encaissent les efforts de flexion.
Un longeron comporte des semelles et une ou deux âmes en acier ou en alliage léger. la tendance actuelle de construction est à la réalisation d'un longeron monobloc forgé et usiné.
- Les semelles travaillent surtout en traction et en compression.
- Les âmes travaillent surtout au cisaillement.

Les longerons ont une section décroissante de l'emplanture à l'extrémité de l'aile en raison de la variation des effets supportés.

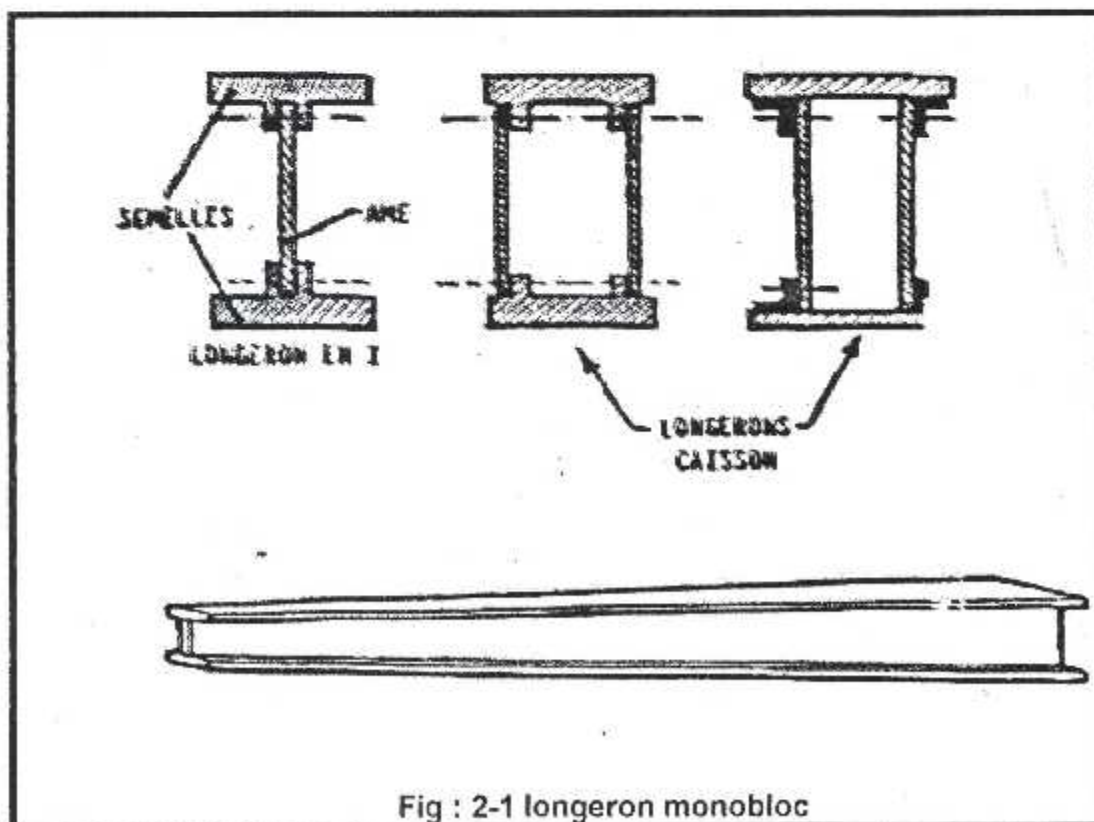


Fig : 2-1 longeron monobloc

2-1-1-2- LES NERVURES:(fig: 2-2)

- Elles constituent les éléments transversaux de la voilure, leur rôle est :
 - De donner la forme au profil de l'aile.
 - De transmettre aux longerons les efforts encaissés par le revêtement.
- Elles sont donc fixées aux longerons et au revêtement.

Les nervures sont généralement constituées par deux semelles ou "chapeaux" réunies par une âme qui doit résister aux efforts tranchants.

On trouve des réalisations assez diverses, elles peuvent être constituées par :

- Une poutre en treillis comprenant un grand nombre de pièces élémentaires.
- Une simple tôle par "gaufrage" et ajourée.
- Une pièce monobloc usinée dans une ébauche forgée.

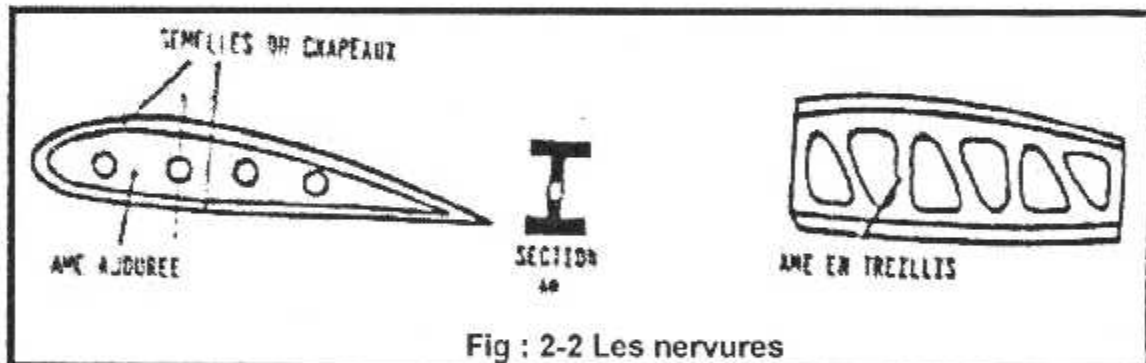


Fig : 2-2 Les nervures

Il existe trois sortes de nervures:

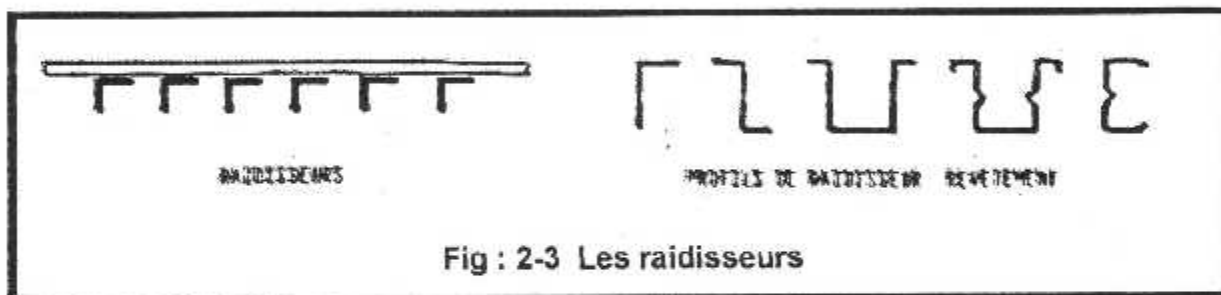
- Les nervures courantes assurant le maintien du profil et la rigidité générale.
- Les nervures fortes supportant les efforts localisés (fin de caisson, attache de gouverne ou de volet, etc....).
- Les nervures étanches limitant les réservoirs structuraux de la voilure.

2-1-1-3- LE REVETEMENT: fig 2-4

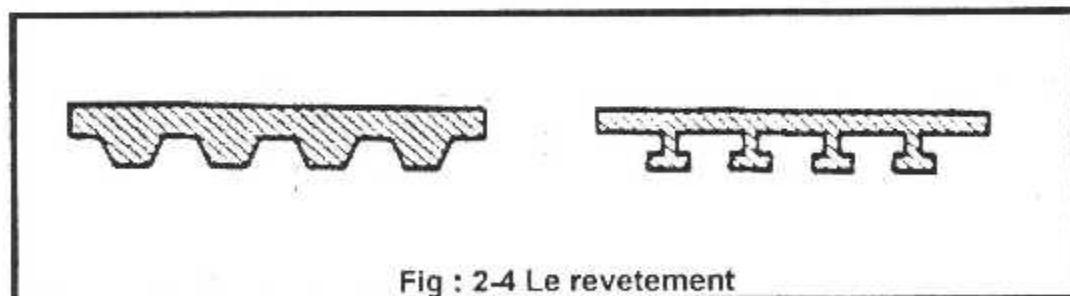
- Dans tous les types de structure moderne, le revêtement travaille et encaisse les efforts de torsion et de flexion.

- Les revêtements travaillent en compression ou en traction suivant qu'il sont installés à l'extrados ou à l'intrados de la voilure et que l'avion est au sol ou en vol ; un raidissage longitudinal est donc nécessaire.

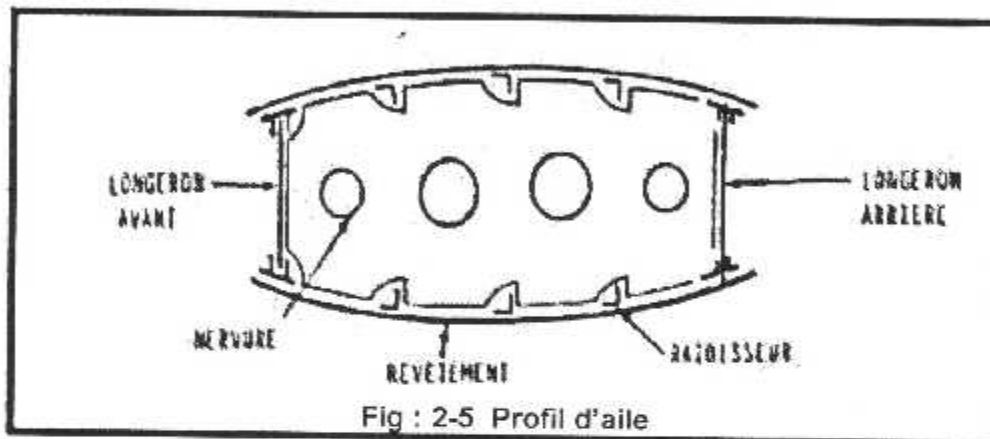
-Le raidissage longitudinal des tôles est obtenu par fixation sur elles à intervalles réguliers de cornières ou le plus souvent de profilés appelés "raidisseurs". Ces raidisseurs sont fixés par le rivetage, le soudage ou le collage sur les tôles.



On peut également fraiser ou raboter des tôles de revêtement dans des plaques épaisses. Ce procédé, appelé "raidissage intégral", est de plus en plus employé.



Le raidissage transversal des tôles de revêtement est assuré par les nervures ; celles-ci sont parfois échancrées au passage des raidisseurs afin d'assurer la continuité de ceux-ci le long de l'envergure.

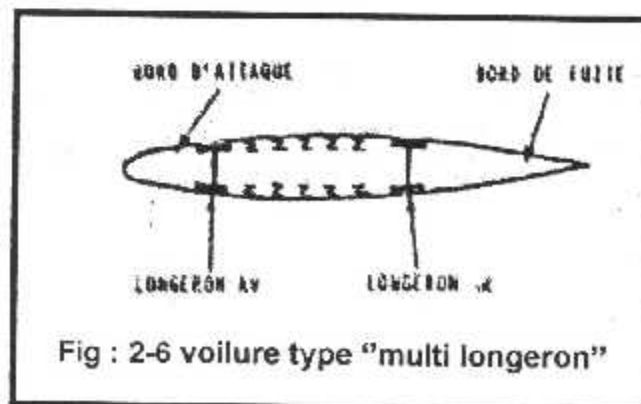


Le revêtement est généralement constitué d'un matériau :

- à épaisseur variable décroissant de l'emplanture vers le saumon.
- De nature différente à l'intrados (traction → dural) et à l'extrados (compression → zical).

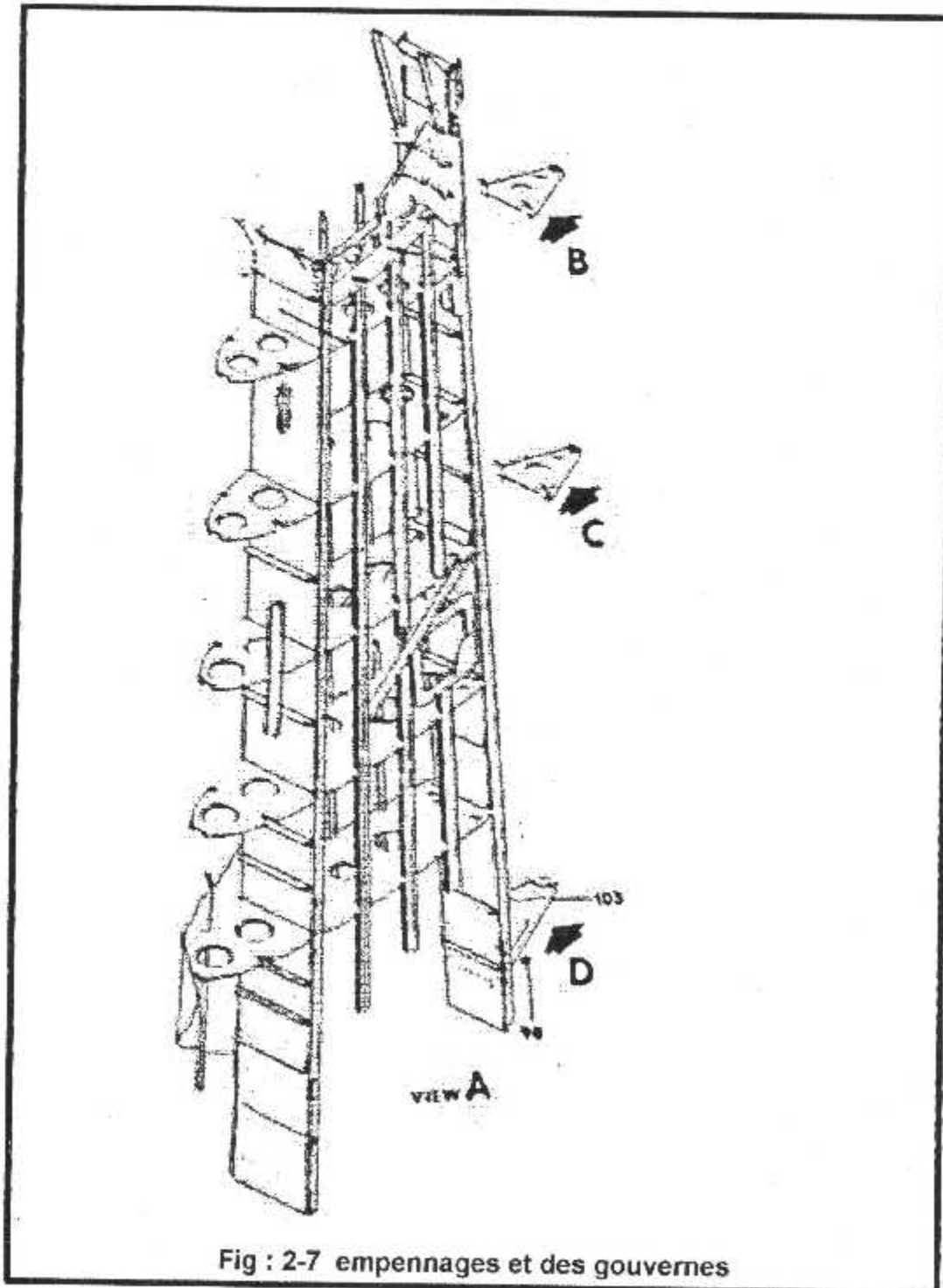
2-1-1-4- VOILURE TYPE "MULTI LONGERON" :

- C'est le mode de construction le plus employé pour les voilures. les deux longerons (ou les 3 longerons) constituent, les nervures, les raidisseurs et le revêtement, un caisson auquel on ajoute un ensemble bord d'attaque supportant les dispositifs hypersustentateurs de bord d'attaque et un ensemble de bord de fuite et les ailerons.



2-2- REALISATION DES EMPENNAGES ET DES GOUVERNES :(fig :2-7)

- la structure du stabilisateur et de la dérive est identique à la structure de la voilure ;
On retrouvera donc généralement une structure "Multi longerons". Les longerons des caissons seront reliés grâce à des ferrures des couples principaux du fuselage.



2-2-1- LA STRUCTURE DES GOUVERNES :

- Est constituée par d'une structure "mono longeron" avec caisson de torsion

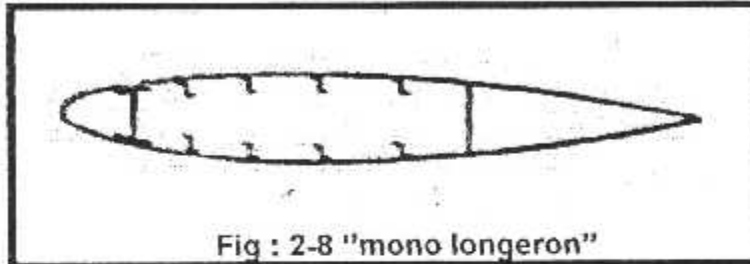


Fig : 2-8 "mono longeron"

- une structure "multi longeron" :

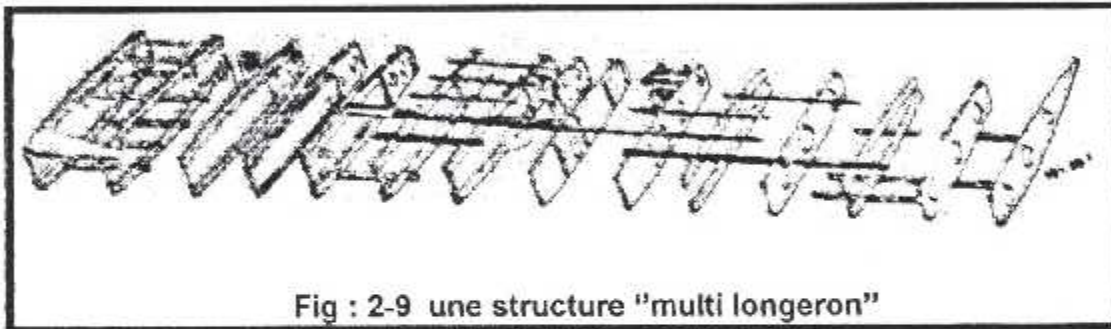


Fig : 2-9 une structure "multi longeron"

- structure "sandwich" :

-la réunion de deux revêtement, intrados et extrados, est effectuées par un matériau de remplissage (nid d'abeilles) sur le quel ils sont collés, rejetant ainsi à l'extérieur les parties "travaillantes", on a ainsi un gain de poids très appréciable pour une résistance structurale identique à celle obtenue avec des raidisseurs.

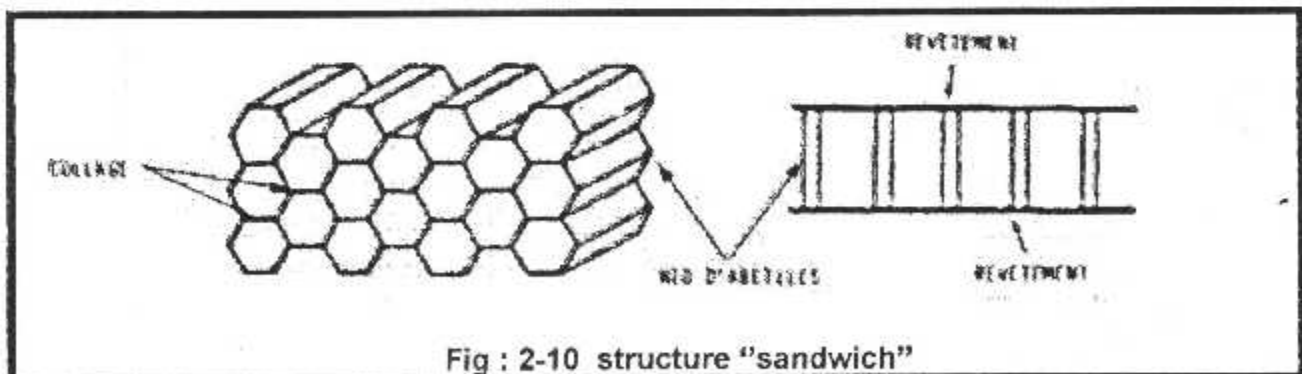


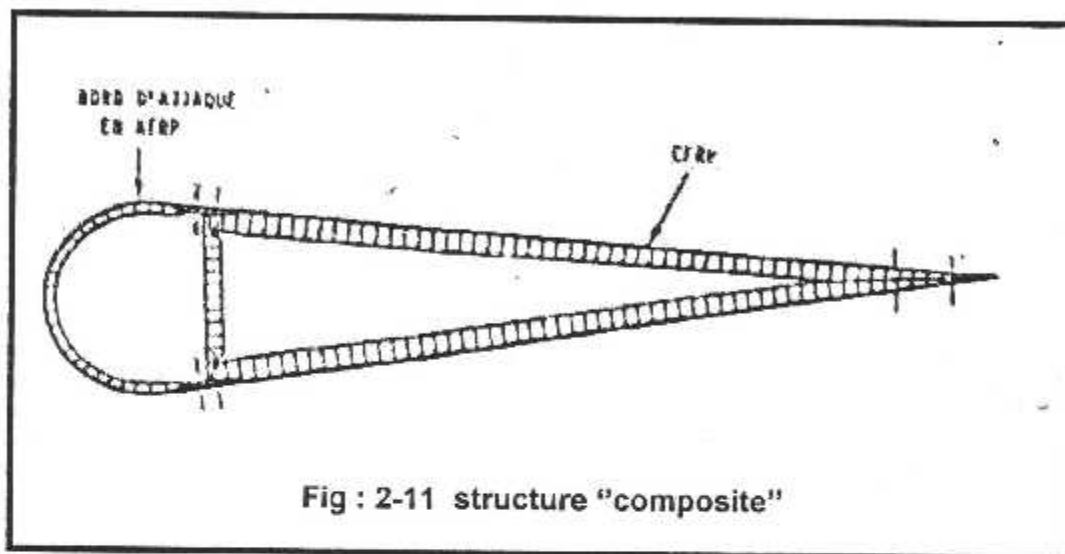
Fig : 2-10 structure "sandwich"

- structure "composite" :

Exemple : gouverne de direction.

Le bord d'attaque est fabriqué en plastique renforcé de fibres aramides.

L'extrados et l'intrados sont fabriqués en plastique renforcé de fibres de carbone.



2-3- LES MACHINES UTILISEES :

2-3-1- LAMINAGE :

2-3-1-1- GENERALITES :

-Le métal destiné aux industries de transformation autres que la fonderie se présente, à l'origine, sous la forme d'un lingot obtenu par coulée. Celui-ci n'est utilisable directement que pour façonner, par forgeage, de grosses pièces, les besoins les plus courants de la construction mécanique et de la construction métallique, nécessitent diverses transformations intermédiaires.

-Le laminage, opération à la base de ces transformations, est éventuellement suivi : de l'étirage, ou du filage.

2-3-1-2- PRINCIPES DE TRAVAIL :

-Le métal, porté à une température convenable, passe entre deux cylindres parallèles qui tournent en sens inverse. Après passage, son épaisseur est égale à l'intervalle des deux cylindres.

-En général, on effectue plusieurs passes (en modifiant l'intervalle) pour obtenir la section finale recherchée. Ce principe de travail présente une certaine analogie avec celui du forgeage. Mais le laminage s'effectue sans choc, de manière continue. C'est un procédé rapide, de grande production, donc économique.

-Le laminage se fait le plus souvent à chaud, à une température qui varie selon le métal laminé, il peut s'effectuer à froid lorsque la réduction de section n'est pas importante, et avec intervention éventuelle de recuits périodiques. L'élaboration des tôles minces, par exemple, fait appel :

- Au laminage à chaud, jusqu'à un certain stade de transformation.
- Au laminage à froid, après décalaminage, jusqu'à l'épaisseur désirée.

-Le laminage à froid permet d'obtenir dans le cas particulier évoqué : surface propre et lisse. Grain fin et structure homogène. Cette opération s'effectue à grande vitesse. Sur les laminoirs les plus modernes les vitesses s'étagent, pour les tôles <<carrosserie>> entre 400 et 1 000 m /mn et pour les tôles très minces destinées à l'étamage entre 600 et 2 000 m/mn.

2-4- ETUDE FONCTIONNELLE DES LAMINOIRS :

-Tout laminoir comprend :

- Une cage (ou bâti).
- Des cylindres.
- Des organes de commande et contrôle.

-La cage est constituée par : une semelle et deux montants verticaux portant les paliers (ou empoises) qui reçoivent les tourillons des cylindres.

-Les cylindres sont caractérisés :

-Par leur type :

- Cylindres lisses pour les feuillets et les tôles.
- Cylindres cannelés, pour les profilés et les poutrelles.

-Par leur dimensions :

- Diamètre et longueur de la table.
- Diamètre et longueur des tourillons.

-Par le métal qui les constitue :

- Fonte douce, fonte demi dure, fonte trempé.
- Acier coulé, acier forgé.

Ces trois caractéristiques sont sous la dépendance :

- Du genre de production du laminoir : gros lingots, profilés, tôles.
- De l'opération réalisés : ébauche ou finition.
- DU mode de déformation : à chaud ou à froid.

2-5- CLASSIFICATION DES LAMINOIRS :

-D'après les produits à obtenir :

- Laminoirs pour tôle et lingots : cylindres lisses.
- Laminoirs pour profilés : cylindres à cannelures.
- Laminoirs universels : permettent d'obtenir plusieurs profils.

- La tracé des cannelures des cylindres est décroissant pour répartir la déformation sur le nombre de passes prévues.

-D'après la marche du cylindres :

-Laminoirs continus. Les cylindres pris séparément, tournent toujours dans le même sens (fig. 2-14.a).

-Avantage : simplicité des commandes.

-Inconvénient : le produit laminé doit, après son passage entre les cylindres, revenir à l'unique entrée du laminoir.

-Laminoirs réversibles (fig. 2-14-b). On peut modifier, à volonté, le sens de marche des cylindres.

-Avantage : manutentions réduites.

- Inconvénient : Commandes mécaniques complexes.

-D'après le nombre des cylindres (fig.2-14b.c.d).

-2 cylindres : Duo (réversible ou continu).

-3 cylindres : Trio.

-Considérés deux à deux les cylindres tournent en sens inverse. On peut faire un passage entre 1 et 2 sur une face du laminoir, puis, prendre le produit à sa sortie du laminoir et faire un passage entre 2 et 3 sur l'autre face du laminoir ; le cylindre 2 travaille deux fois plus que 1 et 3. Il s'use, par conséquent deux fois plus.

-4 cylindres : Double duo ou quatre.

-Cage avec deux paires de cylindres s'étageant dans le plan vertical. La marche est identique à celle du trio mais ici tous les cylindres travaillent et s'usent également.

2-6-TRAINS DE LAMINOIRS ; dit<<train continu>>.

-C'est un dispositif de laminage constitué par plusieurs cage alignées en vue d'assurer une marche continue et rectiligne du profil jusqu'à ses dimensions de livraison. Dans cette classe de laminoirs on distingue, principalement :

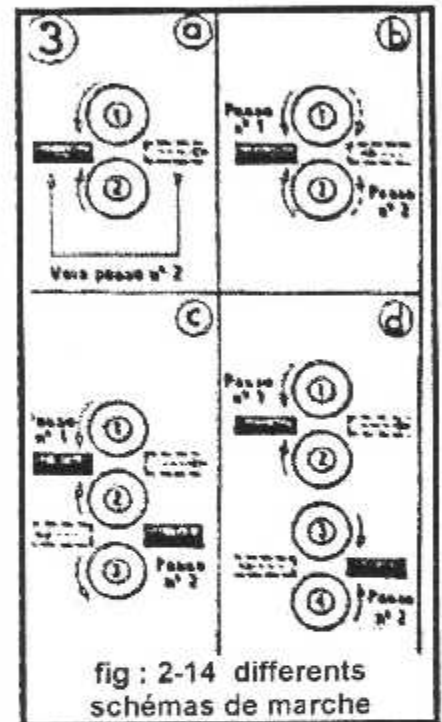
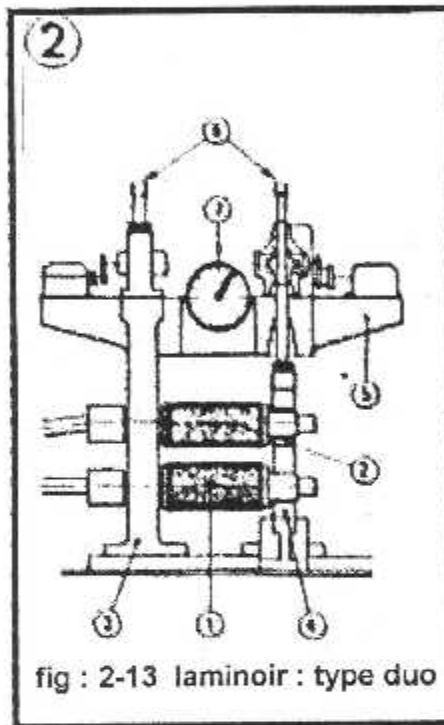
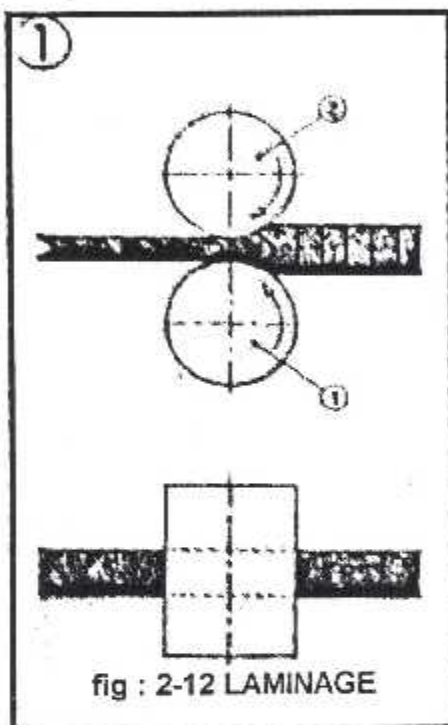
-Le train à fers marchands. Il est constitué de 4 à 6 cages trio ; diamètre des cylindres 500 à 700 mm. Capable de transformer un bloom en produits fini, par exemple : ronds (\varnothing 40 à 200 mm), profils spéciaux.

-Le train continu à barres et à fils. Il effectue d'abord la transformation d'une billette en carré de 70 à 5 mm de coté.

-Le train continu à bandes à froid. Pour continuer la réduction d'épaisseur à la sortie du train à chaud, on a recours au laminage à froid qui s'effectue le plus souvent sur une série de cage quatre.

2-7- METAUX LAMINABLES :

- Aciers de construction ordinaires ou spéciaux.
- Cuivre, Laitons, cupro-aluminium, cupro-nickel, etc.
- Aluminium et certains de ses alliages.
- Magnésium et certains de ses alliages.



2-7-1- LAMINAGE : (fig : 2-12)

-Principe. La barre est laminée entre le cylindre inférieur (1) et le cylindre supérieur (2). Les fibres du métal s'allongent dans le sens du laminage notamment celles de la partie externe en contact avec les cylindres.

2-7-2- LAMINOIR : type duo : (fig : 2-13)

-Schéma fonctionnel d'une cage à deux cylindres. (1) cylindre inférieur fixe en hauteur et moteur. (2) cylindres supérieurs réglables et moteurs. (3,4) Montants, (5) Traverse, (6) Vis de réglage actionnées par deux moteurs, (7) Indicateur de (passes).

2-7-3- DIFFERENTS SCHÉMAS DE MARCHE (fig : 2-14)

- a) Type duo continu
- b) Type duo réversible.
- c) Type trio.
- d) Type quatre double duo. La barre à laminier est entraînée dans le sens de la flèche, à chaque passe, par les cylindres en rotation.

2-3-2- ETIRAGE ET TREFILAGE :

2-3-2-1- GENERALITES :

-DEFINITION :

-L'étirage, au sens général du mot, est une méthode de transformation d'un produit en un autre de section plus réduite, de même forme, ou de forme différente, avec allongement.

-Cette méthode emprunte différents moyens :

- L'étirage par percussion (marteau, presses).
- L'étirage par traction simple : pratiquement plus utilisé.
- L'étirage par laminage.
- L'étirage par filage à la presse.
- à travers une filière.

-Notons, enfin que le tréfilage est une branche de l'étirage car il fait appel au même de déformation plastique des métaux, La seule différence porte sur les dimensions : étirage de produits rectilignes (barres) de longueur 4 à 6 mm ; tréfilage de produit longs (fils) généralement bobinés.

2-3-2-PRINCIPE DE TRAVAIL :

-L'étirage, ou le tréfilage, consiste à exercer une contrainte de traction sur une barre ou fil machine, pour l'obliger à traverser une filière lubrifiée, fixe. A la sortie de la filière, le produit présente une section conforme à l'orifice de celle-ci.

-La déformation provoquée met en jeu des efforts de L'étirage traction axiale, que le profil très étudié de la filière (fig.2-15) transforme partiellement en effort de compression radiale.

-FILIERE :

-C'est évidemment l'outil essentiel du banc à étirer ou tréfiler. Valeur des angles $\alpha=6$ à 14° et $\beta=18$ à 20° . L'angle utile (α) doit être d'autant plus grand que la passe est plus forte et que le métal est plus mou ; tenir compte aussi du lubrifiant employé.

-La section de la filière doit être déterminée pour que l'effort de traction exercé, pour forcer le produit à la traverser, ne dépasse pas la charge de rupture admissible par le produit étiré.

-Lorsque le trou s'est agrandi par usure il est possible, pour certaines filières en acier, dites <rabattables>, de battre le pourtour afin de ramener l'orifice à ces dimensions d'origine.

- APPLICATIONS :

-L'étirage et le tréfilage, constituant par leur nature des épreuves de résistance à la traction, ne conviennent pas à tout les métaux. Ceux-ci doivent en effet présenter :

- Une résistance suffisante à la traction (mais dans le cas contraire le façonnage peut se faire par filage à la presse).

- Une bonne qualité, notamment homogénéité de composition et de structure car le moindre défaut interne provoque la rupture de la barre)

-L'étirage et le tréfilage s'exécutent à froid ; ils s'appliquent en fait à tous les métaux laminables répondant aux conditions ci-dessus et notamment aux suivants : aciers alliés ou non, cuivre, cupro-nickel, aluminium, duralumin, magnésium.

2-3-3- ETIRAGE :

2-3-3-1- GAMME OPERATOIRE :

- Préparation de la barre initiale (redressage).
- Confection de la pointe afin de permettre l'engagement de la barre dans la filière (opération supprimée sur certains bancs à étirer modernes).
- Décapage de la barre : celle-ci provient du laminage et doit être débarrassée de sa couche d'oxyde pour réduire l'usure de la filière.
- Etirage sous lubrification (vitesse moyenne : 5 à 15 m/mn).

2-3-3-2- MACHINE D'ETIRAGE (fig.2-16):

- Les bancs d'étirage comprennent principalement :
 - Le banc portant la tête porte filière.
 - Le chariot de traction muni d'un organe de serrage de la barre (chien, pince) animé par un dispositif assurant la traction de la barre à travers la filière (crémaillère, chaîne sans fin, cylindre et piston).

2-3-3-3- PRODUIT ETIRES (fig.2-17 et 2-18) :

- Les produits étirés livrés sans recuit présentent souvent un certain écrouissage qui donne en surface un supplément de dureté sans modifier sensiblement les caractéristiques de la partie interne.
- Qualités : aspect de surface, précision des formes et dimensions (tolérances $\pm 0,1$ mm).
- Dimensions : sauf exception, le côté ou le diamètre, des produits étirés, reste compris entre 5 et 80 mm, longueur 4 à 6 m.
- Les sections obtenues par étirage sont très diverses et précises. Grâce à cela on peut, à partir d'une barre étirée au profil désiré, obtenir des pièces, économiquement, par simple tronçonnage de la barre ou par un usinage simple (perçage, décolletage, etc.).

2-3-4- TREFILAGE :

2-3-4-1- GAMME OPERATOIRE :

- Produit de départ : fil machine (ex 7-8 mm) brut de laminage. Produit final : fil de section plus réduite (ex : 1,5 mm) en couronne de grande longueur.

-Les phases du tréfilage sont identiques à celles de l'étirage, la filière est du même type. Le fil machine (produit de départ) se présente sur un dévidoir ; le trajet du fil est le suivant : dévidoir → filière → bobine d'enroulement (fig.2-19).

L'entraînement du fil à travers la filière est obtenu par la rotation de la bobine d'enroulement.

-Les machines actuelles permettent d'effectuer des tréfilages successifs (ou passes) sur la même machine. Toutefois il est impossible de tirer un même fil à travers plusieurs filières successives sans interposer entre chacune d'elles un organe de traction, car, pour un seul passage l'effort de traction atteint 60 à 80% de la charge de rupture du fil. La conception d'une machine multiple combine donc un enchaînement approprié de filières et de bobines qui jouent le rôle indispensable de moteur et d'accessoirement d'enrouleur. Le fil s'allongeant après chaque filière. La vitesse circonférentielle des bobines croît proportionnellement.

2-3-4-2- PRODUITS TREFILES :

-Leur diamètre, ou leur côté, est compris entre 5 mm et 0,1 mm. La vitesse moyenne est de 500 m/mn (maximale : 1 500 m/mn).

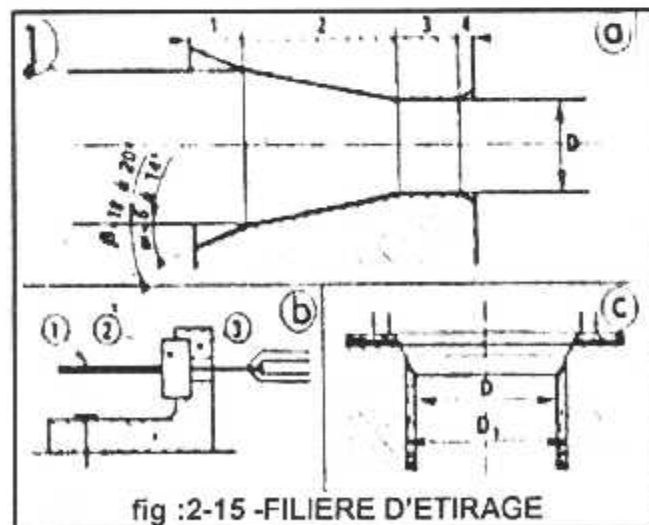
-Le tréfilage s'adresse aux aciers alliés ou non (grillages, toiles métalliques, câbles d'acier, pointes, clous, vis, rivets, fil d'apport, ressort, etc) à certains métaux rares (tungstène : filaments de lampe) au cuivre, au laiton, à l'aluminium, dont l'industrie électrique est grande consommatrice.

-FILIERE D'ETIRAGE :(fig :2-15)

-a) Passage en filière. (1) cône d'entrée ;(2) Cône de travail ;(3) Portée de calibrage ; (4) Cône de sortie.

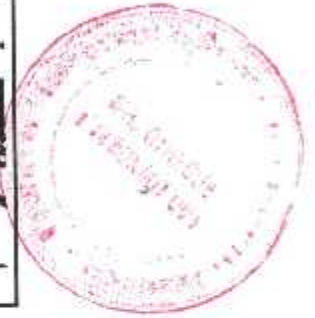
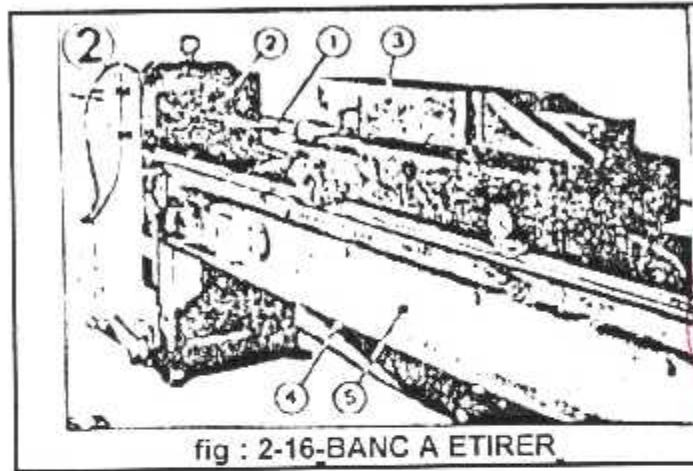
-b) Montage de la filière. (1) Fil ;(2) Filière ; (3) Porte-filière.

-c) Récupération d'une filière par battage.



-BANC A ETIRER :(2-16)

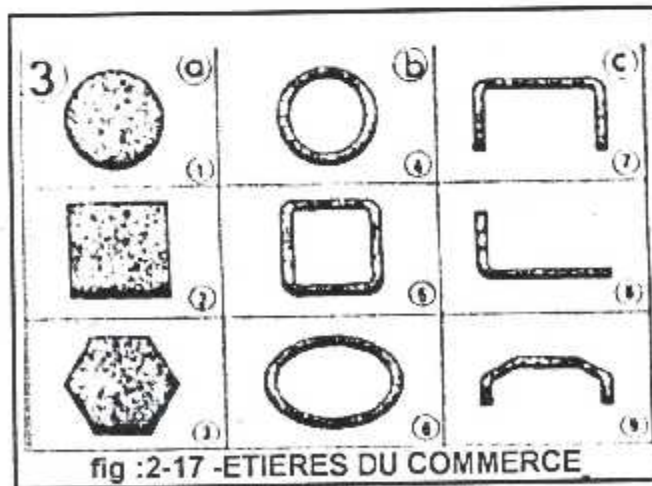
-Cliché Office Technique des profilés ; machine double étirant deux barres simultanément
 (1) Barres étirées ;(2) Tête porteuse des deux filières ;(3) Chariot de tirage ;(4) Chaîne de traction ;(5) Banc.



-ETIERES DU COMMERCE :(2-17)

-Quelque type de profilés.

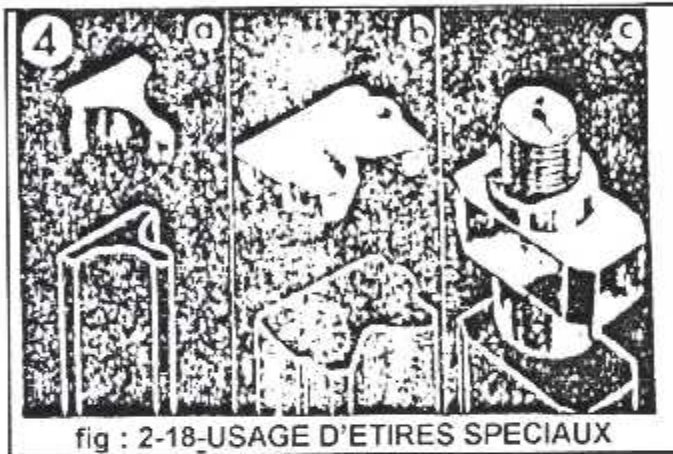
- a) Profils pleins. (1) Rond ;(2) Carré ;(3) Hexagone.
- b) Profils tubulaires. (4) Rond ;(5) Carré ;(6) Ovale.
- c) Profils ouverts. (7) En U ;(8) En équerre ;(9) Quelconque.



-USAGE D'ETIRES SPECIAUX :(fig :2-18)

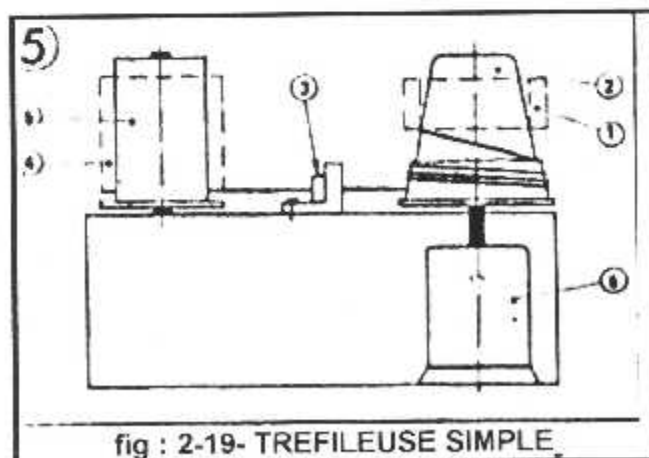
-Profils spéciaux en acier doux et alliages légers. Pièces finies obtenues par :

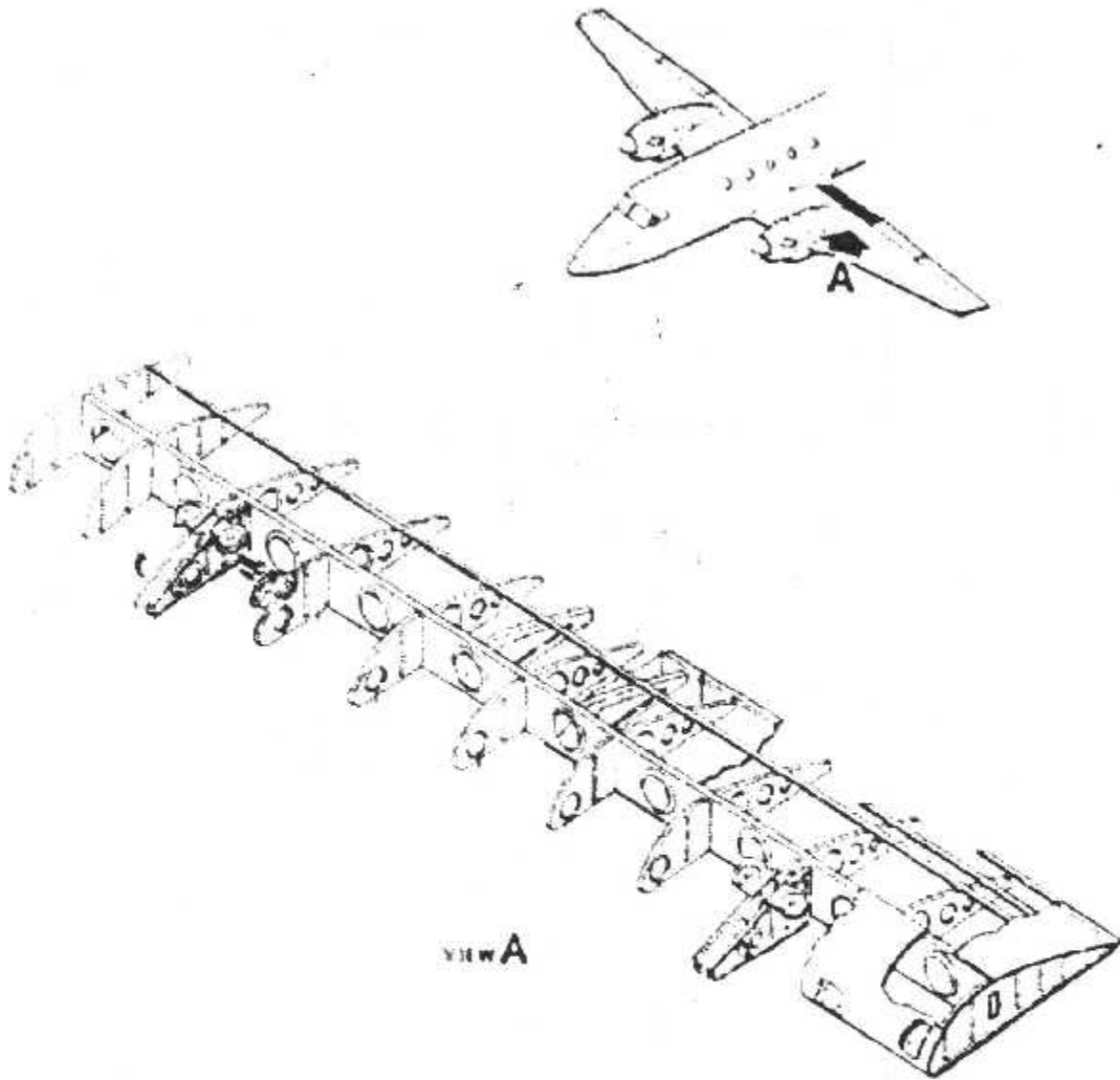
- a) Tronçonnage.
- b) Tronçonnage+perçage.
- c) Tronçonnage+décolletage.

**- TREFILEUSE SIMPLE :(fig : 2-19)**

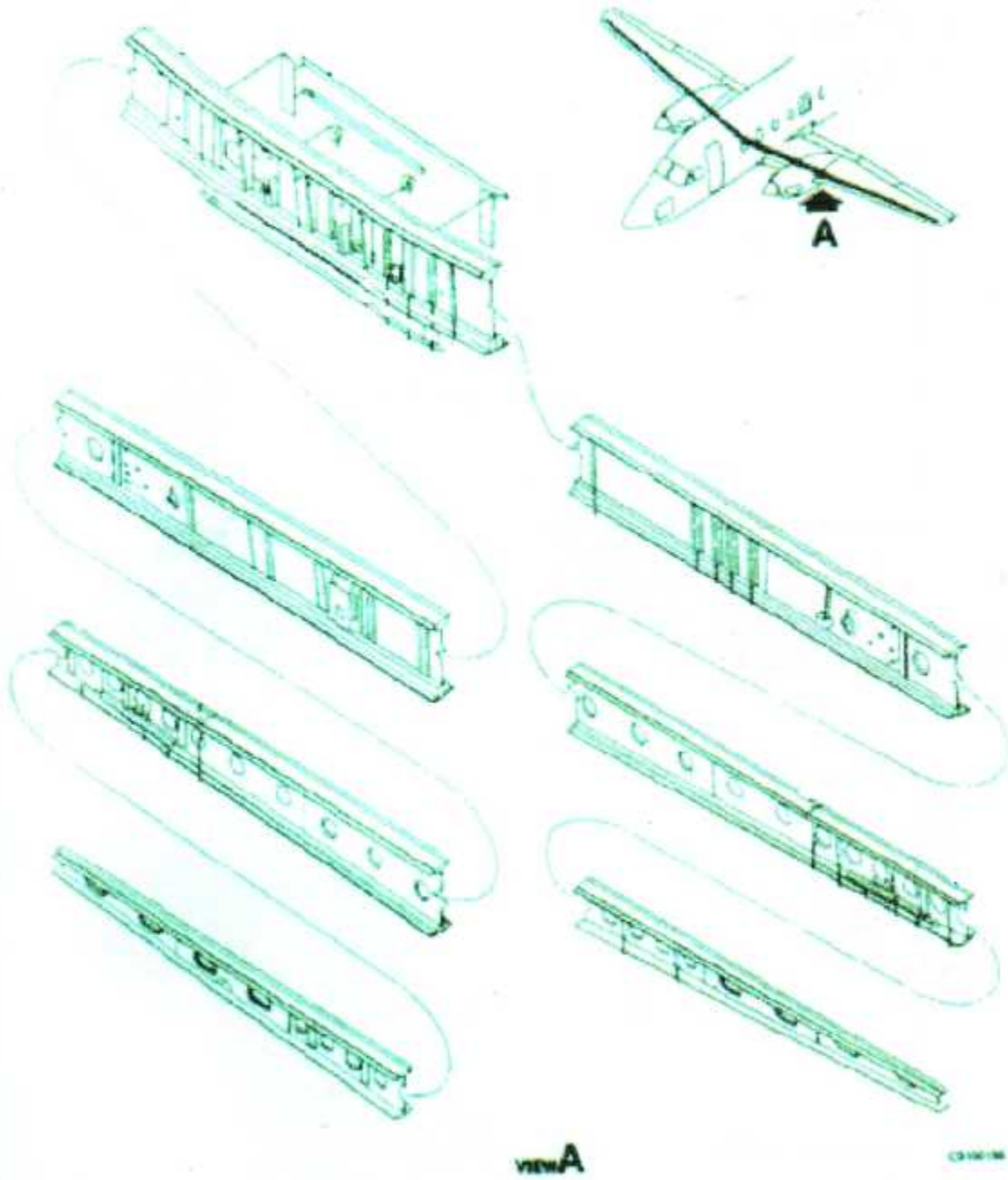
-Schéma Tréfilage rapide (1 000 m/mn) de fil fin de 0,2 à 0,5 mm en acier.

- (1) fil tréfilé ;(2) Bobine de traction ; (3) filière ;(4) Fil à étirer (en en botte) ;
 (5)Bobine folle(ou dévidoir) ;(6) Moteur électrique.

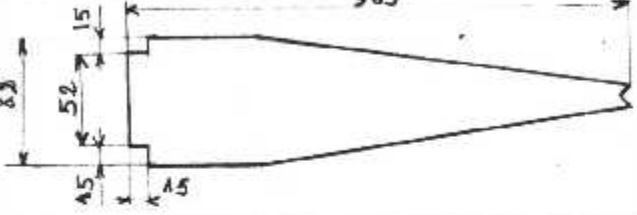
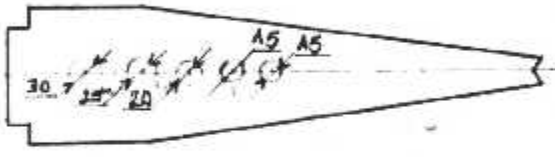
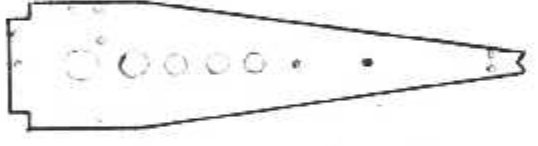
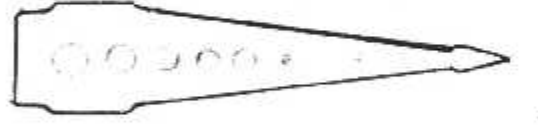
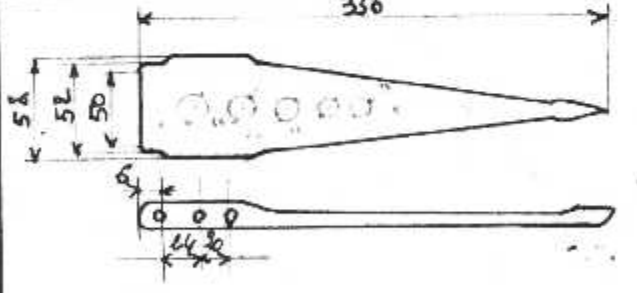


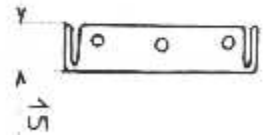
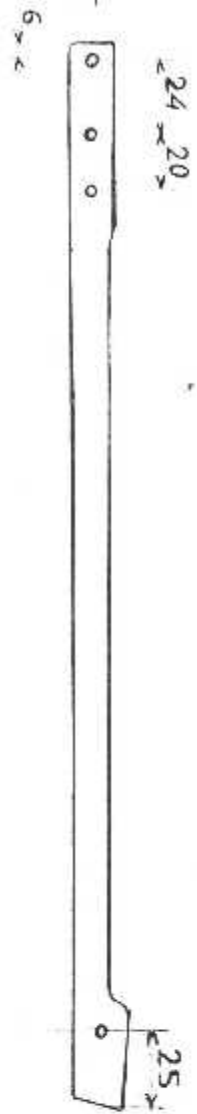
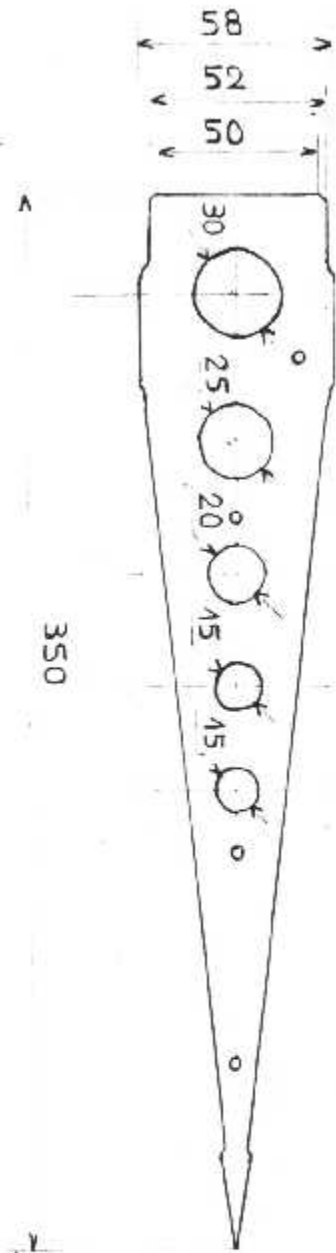


Inboard Wing Flap (All Serials)
(Sheet 3 of 6)
Figure 1



GAMME DE FABRICATION DE LA NERVURE

100	Découpe de la tôle, selon les mesures (7075PL-T6-QQA250/113)	- Règle - Rapporteur - Eclaire - Traceur	- Cisaille	
200	- Réalisation d'une âme	- Traceur	- Presse	
300	- Perçage de la tôle, avec une maiche de Ø 2 mm.	- Maiche Ø 2 mm 14 trous	Perceuse - Pointeur	
400	- Pliage de notre pièce selon les mesures.	- Traceur.	- Plieuse	
500	- Control final de la nervure.	- Règle. - Pied coulisse.		



Chapitre 3 :

Différents types d'assemblages

3-1- RIVETAGE

3-1-1- DEFINITION :

Le rivetage est un mode d'assemblage mécanique, apparenté au sertissage (puisqu'il déformation permanente) mais dans lequel un élément intermédiaire, écrasé convenablement par matage, le rivet, maintient entre elles les pièces à assembler de façon permanente.

La figure 3-1 nous donne quelques formes principales de rivets.

Le rivet monobloc possède, à une extrémité, une tête qui sert d'appui sur l'une des faces de l'assemblage, prolongée par une tige cylindrique (pleine ou tubulaire) dont l'autre extrémité sera rabattue sur l'autre membre à assembler.

Il existe aussi des rivets en deux parties : le rivet tubulaire à tige conique et le contre rivet.

Ce procédé s'applique surtout aux tôles (structures d'avion).

Il nécessite généralement une préparation simple des pièces (perçage ou poinçonnage) avant la mise en place du rivet. Cependant, dans certains cas, le rivet lui-même perce les membres à assembler : rivets entaillés, parfois appelés bifurqués (traduction littérale de l'anglais *bifurcated*) ou à jupe découpée.

Pour la réparation, on peut placer un nouveau rivet à la place de celui qui est abîmé, à condition que les surfaces à assembler restent correctes, sans amorce de déchirure.

3-1-2- VARIANTES DE RIVETS :

Les rivets sont habituellement caractérisés par la forme de leur tête. Les normes définissent les *dimensions* des rivets.

Il est conseillé de consulter les normes (cités dans la partie documentation) dans leur texte intégral et leur dernière édition.

On désigne généralement les rivets normalisés par l'énoncé successif :

- du symbole du type de tête.
- Du diamètre nominal de la tige.
- De la longueur sous tête.
- Du numéro de référence de la norme.

Exemple :

Rivet Ra 8-25, NF E 27-153.

Avec Ra : symbole pour rivet à tête ronde (sans bavure).

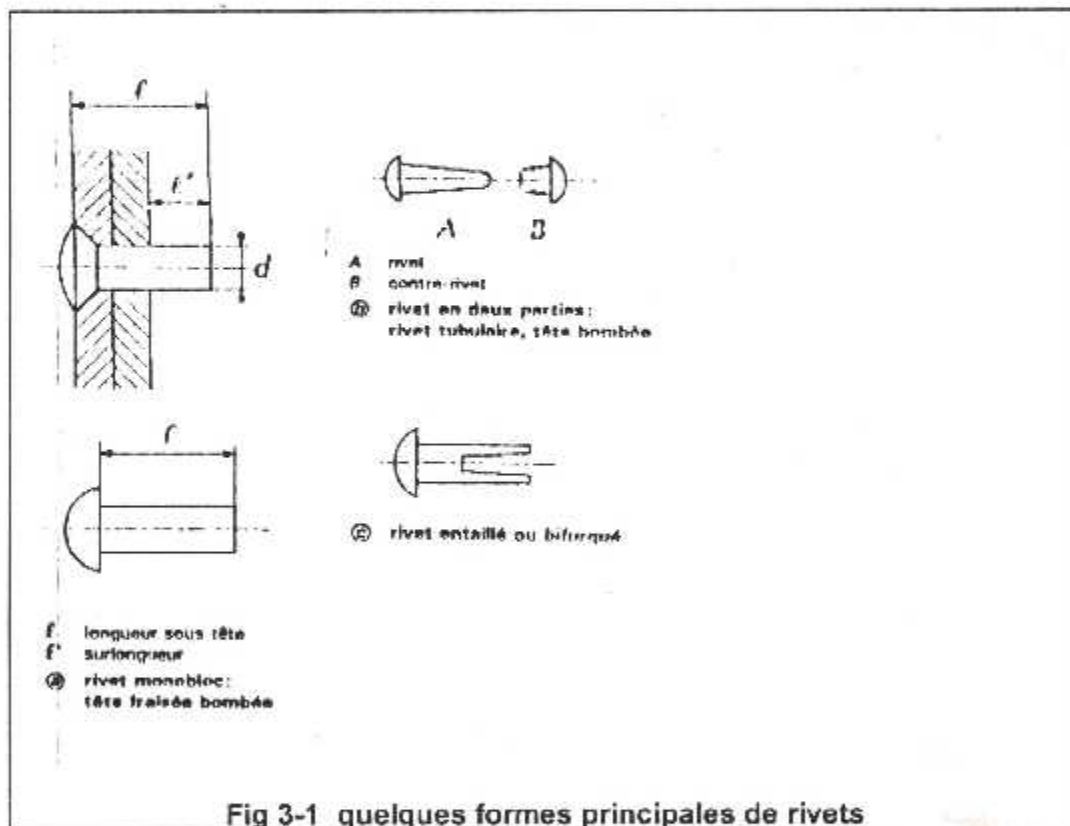
8 : diamètre nominal en millimètres.

25 : longueur en millimètres.

NF : Norme Française.

E : Classer sous le N° 27-153

C'est la longueur sous tête qu'il faut comparer à l'épaisseur de l'assemblage.



Les matériaux constitutifs : aciers doux, alliages inoxydables, réfractaires, alliages d'aluminium, de cuivre, de titane.

Les tolérances s'appliquent soit aux rivets eux-mêmes, soit au rivetage réalisé.

A titre d'exemple, la figure (3-2) nous donne les dimensions des rivets à tête fraisée d'après la norme NF E 27-154.

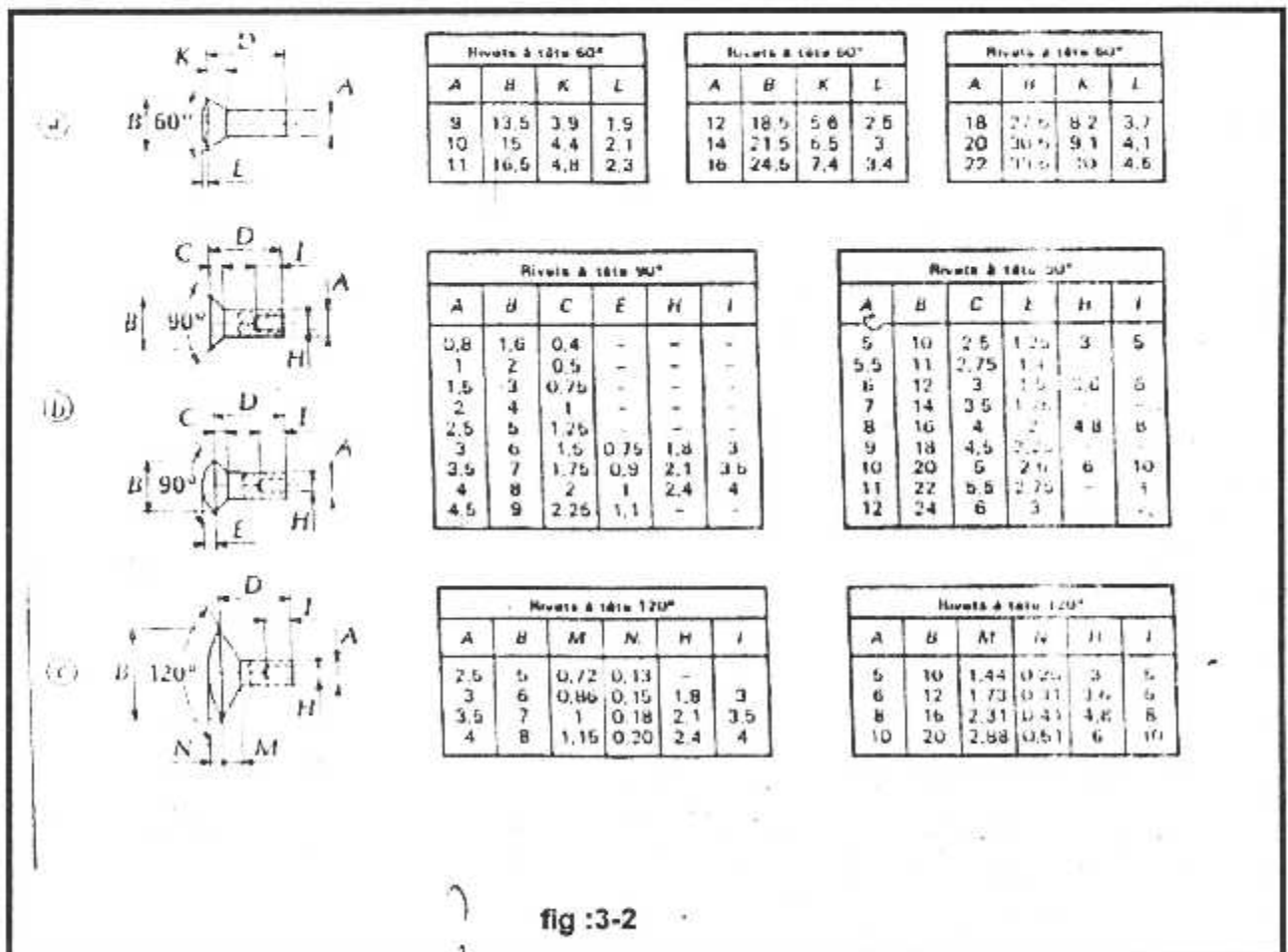
On peut réaliser des rivetages entre des pièces accessibles d'une seule face, surtout pour les ensembles encombrants. Cela nécessite l'emploi de rivets spéciaux dont la pose et le rivetage (au sens large du terme), c'est-à-dire explosion, mandrinage, etc..., se font par la même extrémité.

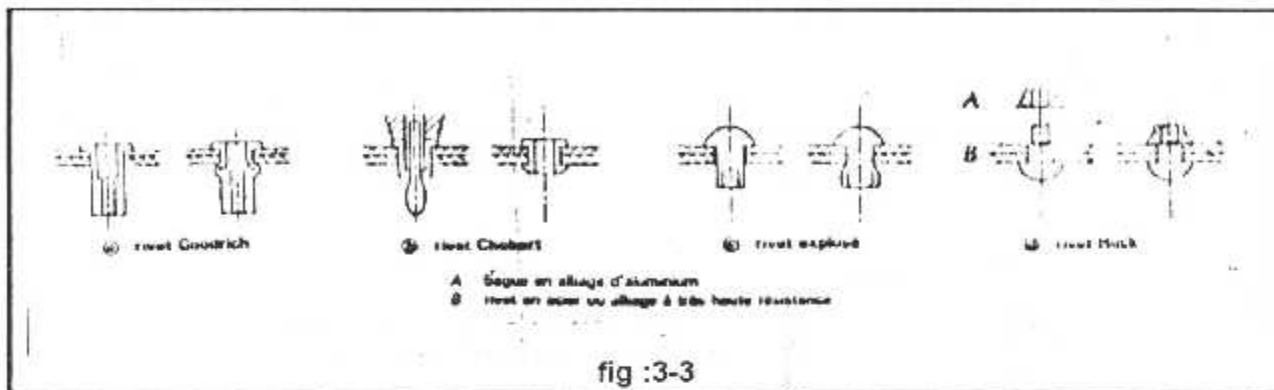
Un principe souvent utilisé est celui du flambement localisé d'un tube, soumis à une traction longitudinale par l'intermédiaire d'un axe (fileté, mandrin dépassant) : rivets Goodrich (Fig. 3-3a).

Un autre principe est celui d'un mandrin expansif, qui peut ressortir par tête creuse : rivet Chobert (fig. 3-3b).

Il existe aussi des rivets explosifs, que l'on chauffe suffisamment lors de la pose pour faire exploser une petite charge à l'extrémité opposée à la tête (fig. 3-3c).

Le rivet Huck (fig. 3-3d) est un rivet à haute résistance au cisaillement ; il en est de même du rivet bagué et des rivets tubulaires gamis d'une broche en acier.





3-2- CHOIX DES RIVETS

Suivant que l'on tolère ou non un affleurement du rivet, le choix de la forme de tête sera vite déterminé.

Du point de vue technique, il convient de respecter une certaine harmonie entre les proportions : diamètre d, épaisseur de la tôle la plus épaisse e, épaisseur totale de l'assemblage Σe .

On propose les règles simples d'usage suivantes :

$$1.5 e < d < 2.5 e$$

$$\Sigma e < 3.5 d$$

Le jeu j de montage ne doit pas être trop grand, car il est récupéré lors de la mise en tension des tôles assemblées.

Donc j voisin de $\frac{d}{30}$ à $\frac{d}{40}$

3-3- RESISTANCE DES ASSEMBLAGES RIVETS

En règle générale, on ne doit pas considérer que le rivet travaille à l'extension, mais plutôt au cisaillement. La tige est en contact avec les parois à assembler. On retrouve ici un principe exposé sertissage.

Tableau 3-1

- Rivets en alliages d'aluminium (1)				
Métal ou alliage (NF A 02 104)	Mode de pose	Limite de Rupture au cisaillement	Contrainte à L'ovalisation (4%) (2)	Contrainte à L'ovalisation (2%) (3)
Aluminium	à froid	70	210	150
3003	à froid	100	250	190
5754	à froid	130	450	250
5356	à froid	180	600	350
6181 trempé	à froid	140	450	260
2117 trempé	à froid	200	650	400
2017 A	sur trempé fraîche	260(4)	820(4)	450

2017 A	a chaud à 490 °c	240(4)	750(4)	400
(1) les valeurs ne sont données qu'à titre de repère. (2) Pour calculs fondés sur la charge de rupture. (3) Pour calculs fondés sur la limite élastique. (2) et (3) contraintes approximatives provoquant une diminution du diamètre du rivet, dans le sens de l'effort, de 2% ou 4% (déformation permanente) (4) Valeur acquise après 4 jours de maturation à 20 °c. On rappelle que 1 MPa = 1 N/mm ² .				

Ne pas faire supporter des efforts de travail en sens inverse de ceux du mode d'obtention.

Cependant, les rivets posés à chaud travaillent, dans un premier temps, en extension par serrage ; puis au cisaillement, normalement, lorsque le rivet et les tôles ont pris leur place en supprimant le jeu d'un côté. En effet, lors du refroidissement, ils raccourcissent et compriment les éléments à assembler. En toute rigueur, il faut en tenir compte dans le cas du rivetage à chaud.

Le calcul de résistance des rivets n'a de sens que si la rupture des pièces assemblées elles-mêmes n'est pas à craindre ; cela peut être particulièrement le cas pour les matériaux tendres ; matières plastiques, alliages d'aluminium dont les alésages s'ovalisent lorsque les efforts imposés f sont trop grands ou la surface d'application trop faible.

On se référera donc pour eux, et en premier lieu, aux valeurs F/d ($e_1 + e_1$), $F/d e_2$ et suivantes selon le nombre de tôles assemblées, qui devront être inférieures à un indice de résistance limite pour chaque matière (assez mal défini, appelé contrainte limite à l'ovalisation qui est en rapport avec la résistance au cisaillement), e_1, e_1 désignant les épaisseurs des tôles travaillant dans un même sens et e_2 l'épaisseur de la tôles travaillant en sens opposé.

Les tableaux 3-1 et 3-2 nous donnent les valeurs de la contrainte à l'ovalisation respectivement pour les rivets et pour les tôles en alliages d'aluminium.

La sur longueur l' se détermine en fonction de la forme et du volume que l'on veut donner à la tête formée lors du rivetage. En pratique, on applique la règle : $d < l' < 2d$, d étant le diamètre nominal de la tige. On prend une plus grande valeur de l' pour les rivetages à la machine que pour ceux réalisés au marteau.

Mais le choix doit être particulièrement éclairé pour ce qui concerne le matériau du rivet. En effet, le risque de corrosion électrochimique est à prendre en considération, suivant l'électropositivité relative des matériaux assemblés. On se reportera pour cela au tableau des couples électropositifs dans l'article condensateurs : emploi dans les centrales thermiques de ce traité. L'industrie aéronautique est particulièrement exigeante sur ce point. Il existe des rivets protégés (cadmiés, galvanisés) dont l'emploi écarte les risques de corrosion.

Le rivetage à chaud permet d'obtenir une déformation permanente plus rapide en diminuant la limite élastique pour une durée limitée. Mais la mise en œuvre est moins simple que celle du rivetage à froid qui est le plus pratiqué.

Remarquons que la proximité des bords a et l'espacement transversal des rivets p (pas de la rivure) jouent également un rôle dans la résistance des pièces assemblées. D'une façon pratique, on choisira $a \geq 1.5 d$.

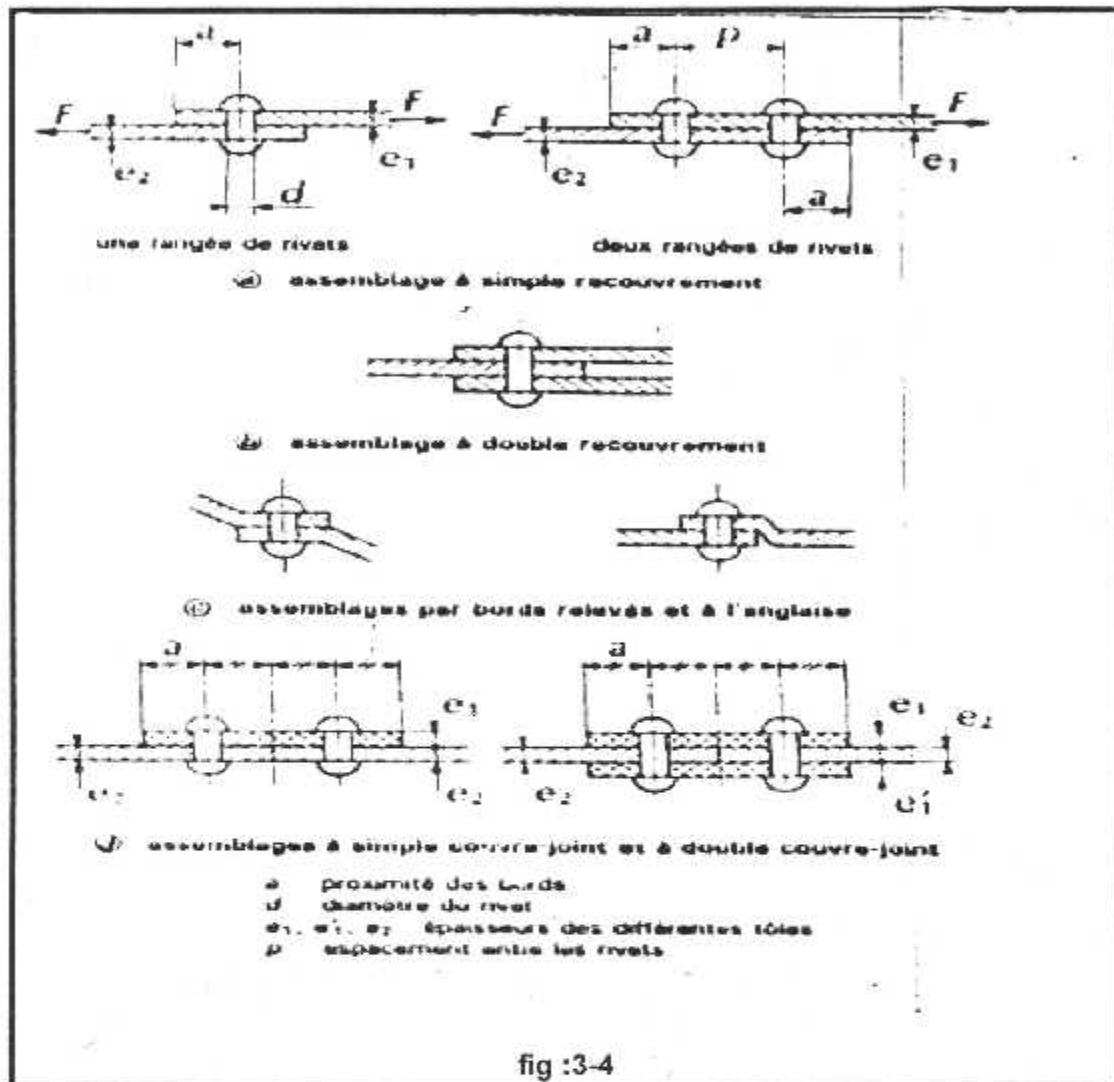
S'il y a plusieurs rangées de rivets, ces valeurs seront atténuées suivant que les rivets sont en face ou en quinconce.

Tableau 3-2

- Tôles en alliages d'aluminium.			
Métal ou alliage (NF A 02-104)	Etat	Contrainte à l'ovalisation de l'alliage (N/mm ² de section axiale de trou)	Contrainte à l'ovalisation 2%) (1) (N/mm ² de section axiale de trou)
aluminium	Recuit	160	80
	Demi-dur	210	150
	Ecroui	260	200
3003	Recuit	200	100
	Demi-dur	250	190
	Ecroui	320	260
5754	Recuit	400	220
	Ecroui	600	400
5056	Recuit	500	300
	Ecroui	750	550
6181	Trempé mûri	450	250
2017A	Trempé mûri	820	450
2024	Trempé mûri	860	480
7049A	Trempé mûri	1050	750
(1) la contrainte à l'ovalisation correspond à une charge par millimètre de section axiale du rivet provoquant une augmentation du diamètre du trou de 2 % dans le sens de l'effort (déformation permanente). On rappelle que 1 MPa = 1 N/mm ²			

Le pas, le nombre et l'espacement des rangées sont déterminés par la résistance des rivets. Il a une répercussion sur le coût de l'assemblage. La résistance à l'ovalisation est également à vérifier pour les rivets lorsqu'ils sont en matériaux tendres.

Dans le cas d'assemblage à simple recouvrement (fig. 3-4), si e_1 , e_2 et F sont trop grands, il y a un moment de flexion qui peut entraîner une déformation des tôles.



Les bureaux d'études spécialisés dans chaque branche industrielle emploient des formules particulières pour :

- Les assemblages de tôles en prolongement, perpendiculaires, parallèles (entretoisées, empilées).
- Les assemblages des cornières et profilés (T, I, U).
- Les rivetages des réservoirs et des chaudières à vapeur.

Nous ne avons reproduit quelques-unes pour l'assemblage des tôles :

- pas p : si l'on considère que la résistance à la rupture de la tôle sur un pas est égale à la résistance au cisaillement des m rivets, on obtient :

$$P = d \left(1 + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\sum d}{R} \cdot \frac{d}{e} \right)^m$$

Avec R (N/mm^2) contrainte à la traction des tôles et couvre-joints.
 Σ (N/mm^2) contrainte au cisaillement des tôles et couvre-joints.

- épaisseurs du (ou des) couvre-joints e_i : il y a conservation de la résistance au passage dans la zone du joint, donc

$$e_i = \frac{e(p-d)}{i(p-qd)}$$

Avec (i) nombre de sections utilisées dans le rivet (par exemple, $i=2$ pour un double couvre-joint).

Le principe d'un mode de calcul élémentaire et général est résumé ci-après. Il est applicable à tous les cas de figure moyennant des adaptations laissées à l'initiative des bureaux d'étude lorsque cela n'est pas précisé dans les règlements.

- on vérifie d'abord que les éléments à assembler peuvent transmettre l'effort appliqué F sans déchirure ni ovalisation. Pour cela, la contrainte par tôle $F/e [L - q(d+j)]$ doit être inférieure à la résistance limite de chaque élément à assembler d'épaisseur e , en appliquant un coefficient de sécurité : L représente la longueur de la rivet. La contrainte par rivet F/med doit être inférieure à l'indice de résistance limite des membres, m représentant le nombre total de rivets.
- On vérifie que les rivets ne s'ovalisent pas. La contrainte F/med doit également être inférieure à l'indice de résistance des rivets (cela oriente le choix du matériaux des rivets).

On vérifie également que les rivets peuvent transmettre tout l'effort de cisaillement donc.

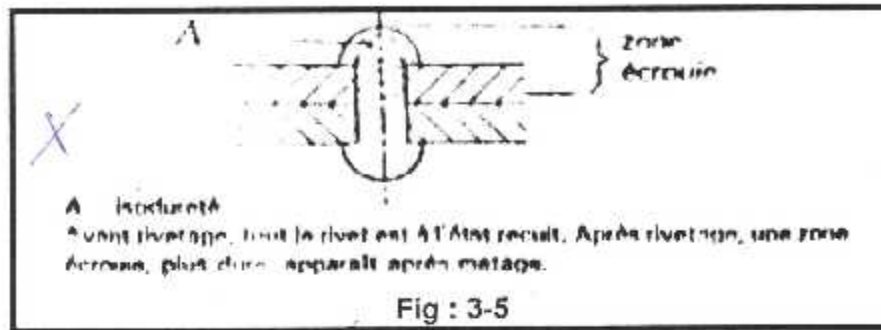
$$\frac{F/m}{\pi \cdot d^2/4} \leq \sigma_s$$

σ_s étant la contrainte maximale admissible au cisaillement pour les rivets. Cela suppose que la force f est répartie uniformément entre les m rivets.

Pour obtenir une meilleure harmonie donc un assemblage plus résistant, il faut réduire l'écart entre ces trois valeurs en augmentant, par exemple, le nombre de rivets ou leur diamètre, ou en faisant varier les deux simultanément, dans le cas présent, en augmentant le nombre de rivets et en diminuant leur diamètre.

Remarque sur σ_s : du fait de l'écroûissage lors de la formation de la tête au rivetage, la contrainte admissible à prendre en compte est supérieure à celle du métal de base constituant le rivet. On peut s'apercevoir de cela en coupant un rivet formé, suivant son diamètre, et en faisant des mesures de micro dureté. L'écroûissage s'étend plus ou moins loin dans la tige (fig. 3-5), et cela est particulièrement favorable aux assemblages minces.

Des essais destructifs, avec mesures d'effort, permettent de préciser une nouvelle valeur de σ_s et du coefficient de sécurité cas par cas (fabrication de série).



3-4- TECHNIQUES DU RIVETAGE

Après avoir exécuté le traçage (à l'aide d'un marqueur fin ou d'un crayon dur) et le perçage, avec un chanfreinage, on pratiquera la pose des rivets. Si la longueur totale rivetée est grande (plus de dix pas), il sera préférable de poser des agrafes provisoires, tous les huit pas environ pour éviter le décalage des trous.

L'écrasement et le formage de la tête se fera à l'aide d'une machine à riveter soit par compression, soit par choc.

Notons la particularité des rivets en alliage d'aluminium que l'on peut conserver un certain temps après trempé (maturation) avant qu'ils ne durcissent définitivement. On trouvera dans le

Tableau 3-3

Tableau 3-3

3-3 - Influence de la durée et de la température de stockage des rivets en 2017 A.		
Durée de stockage	Température de stockage °C	Période de pose possible après déstockage
4 j	+ 20	2 h
10 j	0	8 h
plusieurs jours	- 10	plusieurs jours

Des indications sur les durées en fonction de la température de stockage des rivets en 2017 A.

Les machines portatives ont fait d'énormes progrès en légèreté.

Les rivets tubulaires peuvent se poser à l'aide de sertisseuses (donc par compression).

Le rivetage orbital est réalisé à l'aide d'un marteau rotatif qui frappe la sur longueur du rivet un grand nombre de fois avec un effort faible. Le fibrage du métal est très régulier.

L'opération de rivetage se prête très bien à l'automatisation : l'alimentation des rivets se fait par bol vibrant, les rivets se présentent orientés, toutes les têtes d'un même côté. La pose peut se faire grâce à un tube souple et à une impulsion d'air comprimé.

Certains défauts de rivetage sont décrits dans les normes citées en référence dans la partie documentation ; on a caractérisé le désaffleurement des rivets à tête fraisée ; les replis, gerçures, criques, stries, manque de matière sur tige qui affectent les rivets eux-mêmes dans leur état de livraison.

La planéité des surfaces à assembler (tôles et profilés) est une condition de bonne adhérence des éléments.

3-5-- POINT DE VUE ECONOMIQUE

A l'inverse du taraudage, le rivetage n'exige qu'une préparation assez simple du trou. Le perçage, très rapide, concurrence le poinçonnage et est irremplaçable dans le cas de structures encombrantes ou de formes complexes (par exemple dans l'aviation). Nous avons vu que le perçage peut se faire en même temps que la pose du rivet (rivet entaillé).

L'automatisation rend le procédé très compétitif.

En construction mécanique, on peut observer l'évolution suivante :

- Les rivets en alliage d'aluminium ont permis l'assemblage des tôles de voiture et structure des avions classiques.
- Les œilletons (rivets tubulaires plats en deux parties : rondelle et petite tête) se développent lorsque les exigences de résistance ne sont pas trop grandes.

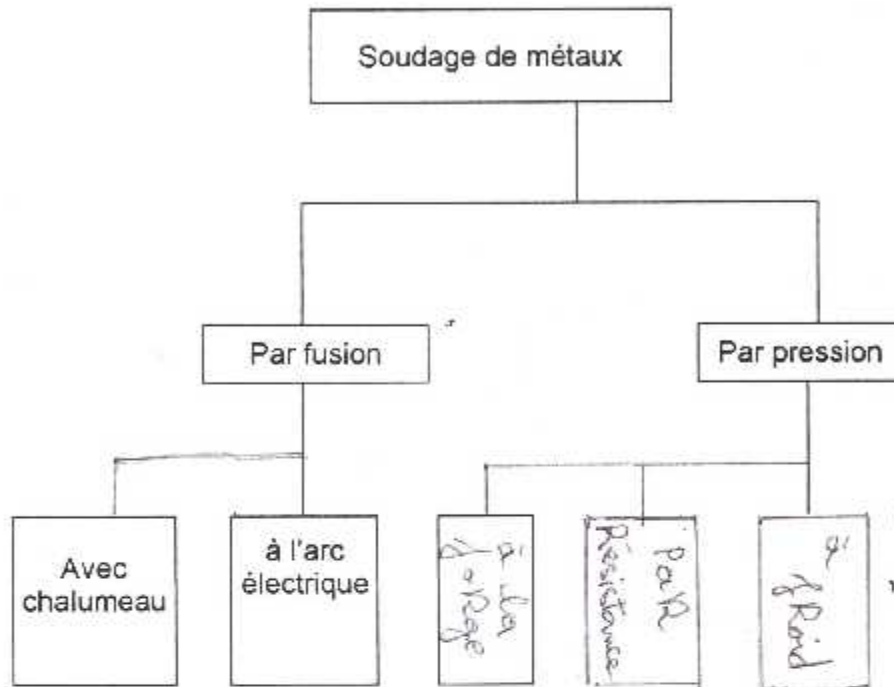
Portant le rivetage subit la concurrence des autres procédés d'assemblage qui progressent aussi :

- Le soudage automatique en continu pour les réservoirs étanches.
- Le soudage par points également automatisable.
- Le collage pour les structures aéronautiques.

3-2- REPARATION DES PIECES PAR SOUDAGE.

-Le soudage est très souvent employé dans la technique de réparation. A l'aide de soudage on peut joindre les pièces cassées, souder les fissures et les défauts des pièces, recharger la surface de la pièce usée etc. ...

-La classification des procédés de soudage essentiels est donnée sur le schéma.



3-2-1 -LE SOUDAGE PAR FUSION :

-Consiste à concentrer l'échauffement pour fondre à l'endroit du soudage une baguette de métal que l'on appelle le métal d'apport.

-Suivant le procédé utilisé pour amener le métal d'apport, on distingue le soudage manuel, semi-automatique et automatique.

-Le soudage par pression consiste à amener les métaux à assembler à l'état plastique par chauffage, puis à les réunir par pression ou par choc, sans métal d'apport.

-Les pièces cassées peuvent être soudées à bout, à recouvrement, en angle et à T.

-Les assemblages bout à bout sont formés par soudage des faces. Suivant l'épaisseur du métal à souder on procède ou non au chanfreinage.

-Généralement les pièces à réparer par soudage avant l'opération de soudage doivent être nettoyer et laver.

3-2-2- SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE :

-Le procédé le plus répandu d'assemblage des pièces métalliques est le soudage à l'arc qui, comme son nom l'indique, utilise l'arc électrique comme source d'énergie.

-De 60 à 70% de la chaleur de l'arc sont utilisés pour l'échauffement et la fusion du métal, les autres 40 à 30% se dispersent dans l'espace environnant.

-Il existe deux procédés, suivant la nature de l'électrode employée :

- 1) Le soudage à l'électrode réfractaire (charbon ou tungstène).
- 2) Le soudage à l'électrode métallique fusible.

-Le milieu ambiant exerce une influence nocive sur la qualité de la soudure en formation. On utilise largement procédé qui consiste à protéger le métal soudé à l'arc électrique par une couche de laitier ou une atmosphère de gaz neutre. Pour la formation de l'arc on utilise des électrodes revêtues d'un enrobage qui forme un laitier au cours de fusion. Il arrive que la zone de soudage est placée dans une atmosphère gaz neutre assurant l'isolation de l'arc du milieu ambiant.

-Le soudage à l'arc peut être effectué au courant continu ou alternatif.

-L'avantage du courant continu est la stabilité de l'arc et la possibilité d'utiliser les polarités directs et inverses pour le contrôle de la température d'échauffement.

-mais on utilise plus souvent le soudage au courant alternatif. L'appareillage du soudage au courant alternatif est beaucoup plus léger, moins encombrant et plus simple.

3-3- SOUDABILITE DES ACIERS AU CARBONE :

-Les facteurs décisifs qui influent sur la soudabilité des aciers sont la composition chimique, les propriétés physiques et le traitement thermique des pièces.

3-3-1- LA TENEUR EN CARBONE :

- Est un facteur qui exerce une grande influence sur les propriétés de la soudure. La modification de sa teneur influe sur la résistance, la dureté et la ductilité de la soudure.

- Les aciers au carbone de construction se soudent bien par tous les procédés si leur teneur en carbone est inférieure à 0,27%, et assez bien si elle ne dépasse pas 0,35.

- Les aciers de construction d'une teneur en carbone supérieure à 0,36% ont une tendance à la fissuration. L'emploi d'un métal d'apport à faible teneur en carbone permet d'éviter la trempe de la soudure.

3-3-2- LE SOUDAGE DES ACIERS ALLIES :

- Présente plusieurs difficultés : il est accompagné de brûlure des éléments d'alliage, de dégagement des carbures lors de l'échauffement.

-Pour prévenir ou éviter ces inconvénients, il est recommandé d'éviter la surchauffe du métal, d'observer rigoureusement les régimes prévus de soudage, d'employer des flux et des enrobages spéciaux et d'effectuer le préchauffage des pièces avant le soudage et leur traitement thermique après le soudage.

-La soudabilité d'un acier faiblement allié, dont la teneur globale en éléments d'alliage s'élève environs à 3 - 4% est déterminée surtout par sa teneur en carbone. Si celle-ci est inférieure à 0,2 %, l'acier se soude bien, à 0,35% assez bien à 0,4% - Sa soudabilité est limitée, et à plus de 0,4% - très mauvaise : l'acier doit subir obligatoirement un préchauffage et un recuit après l'opération.

-La soudabilité des aciers au chrome inoxydable à 12 – 14 % de Cr bonne si la teneur en carbone ne dépasse pas 0,2%. Pour rétablir la ductilité de la soudure on la subit au recuit à 760°.

-Le soudage des aciers au chrome de toutes les nuances est exécuté avec des électrodes d'une même composition chimique que le métal de base en portant sur leur

Surface un enrobage spécial. Ce dernier prévient la brûlure du chrome et en nature le bain de fusion.

3-4- SOUDAGE DE LA FONTE.

-Le soudage de la fonte présente des difficultés considérables par suite des particularités de ce métal (la présence du graphite libre) et de la teneur élevée en carbone. D'autre part l'échauffement peut provoquer la fissuration d'un métal à mauvaise plasticité.

-Le soudage de la fonte peut être réalisé à chaud et à froid.
Pour le soudage à chaud on procède au préchauffement des pièces jusqu'à 600 -650 °. Cette température est maintenue au cours de toute opération. A l'endroit du soudage on forme un bain volumineux du métal liquide qui a pour tâche de ralentir sa trempe. Le refroidissement ralenti assure une meilleure graphitisation de la fonte prévient sa fissuration et contribue à la formation d'une soudure étanche.

-La fonte peut être soudée à l'axe ou au gaz, avec préchauffage général ou local. Le préchauffage général est employé pour le soudage de petites pièces. Il est réalisé dans des caisses métalliques réchauffées par du charbon de bois.

-Une fois le soudage de la pièce terminé, on la couvre avec de l'amiante ou du charbon pour ralentir son refroidissement.

-Comme matériau d'apport on emploie des tiges de fonte d'une teneur de 3,6%
Comme flux on utilise du borax calciné ou un mélange de borax (50% de bicarbonate de sodium (47%) et de silice (3%).

-Le procédé de soudage à froid est plus répandu, on recourt à l'arc électrique sans employer le préchauffage. Les électrodes sont formées par des tiges de fonte ou d'acier à enrobage spécial, par des tiges formées d'alliage de cuivre et de nickel (monel) etc....

-Le monel (70% de nickel et 30% de cuivre) est employé pour la correction de divers défauts dans les pièces de fonte et pour la réparation des pièces.

-Lors du soudage à froid des pièces de fonte la température ne s'élève pas au-dessus de 30 à 40°, c'est pourquoi la soudure doit être courte.

-Pour que la dureté du métal ne s'élève pas à l'endroit du soudage, on utilise des électrodes combinées, formées par exemple d'une âme d'acier d'un diamètre de 3 à 5 mm recouverte d'un enrobage mince et placé dans un tube de cuivre.

-Le soudage de la fonte malléable est plus simple à réaliser car elle possède une certaine ductilité qui exclue la fissuration. Si après l'opération la pièce doit subir un récrit. On effectue le soudage à l'arc ou le soudage à gaz en utilisant des électrodes d'aciers. Si la pièce ne subit pas le recuit, on peut effectuer le soudage aux gaz avec un apport de l ou le soudage à l'arc, en employant une électrode de monel.

-Le soudage des fontes résistes est beaucoup plus compliqué, il est d'abord difficile d'assurer à la soudure des propriétés mécaniques élevées, et puis, ses fontes possèdent une forte tendance à la trempabilité.

-Les défauts de fonderie de fonte peuvent être corrigées par un soudage au gaz en employant les électrodes de fonte au magnésium. La correction de petits défauts, cassures et fissures des pièces de fonte sont assurés par le soudage à l'arc, en employant des électrodes de fer au nickel.

3-5- RECHARGEMENT DES PIÈCES USEES PAR SOUDAGE :

-Le soudage est très largement utilisé dans la réparation de l'équipement.

-Il permet de rétablir les dimensions des pièces après l'usure. Le rechargement par soudage permet de former des couches du métal de 1 à 40 mm d'épaisseur sur les pièces plates ou cylindriques.

-pourtant le rechargement altère la structure de la pièce même ce qui est dans certains cas indésirable.

-les caractéristiques de la couche rechargée dépendent essentiellement de la qualité de l'électrode.

-la dureté superficielle obtenue avec une électrode en acier doux ne dépasse pas 170 hb, mais peut être sensiblement élevée par cémentation et trempé.

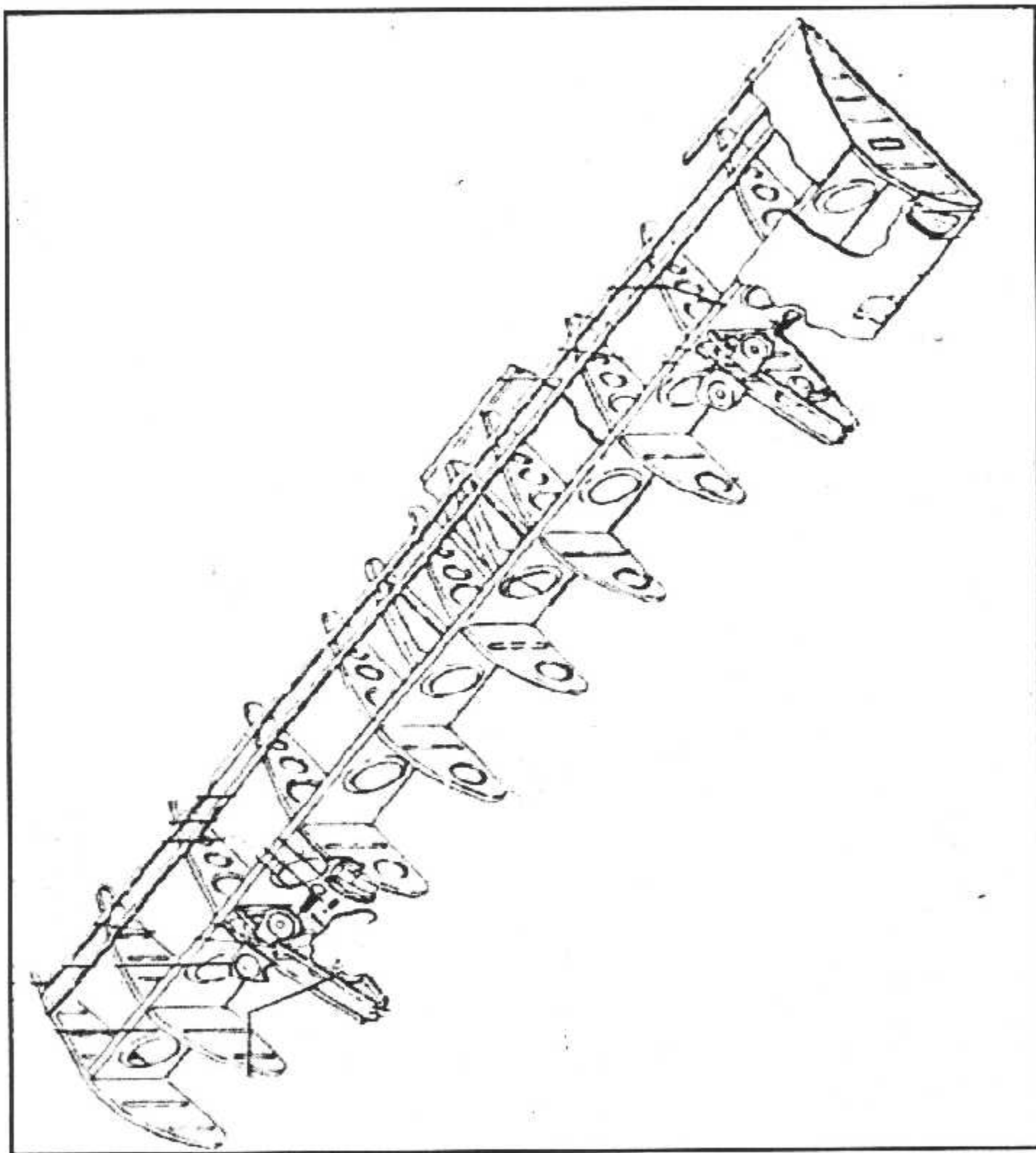
-l'utilisation d'électrodes en acier faiblement allié donne les meilleurs résultats : hb = 300 avant et 450 après le traitement thermique.

-La forme de l'électrode est un fil embobiné de 1,5 mm à 5 mm de diamètre est le courant est respectivement de 100 à 600 ampères continu. La vitesse de l'avancement de l'électrode est près de m/h.



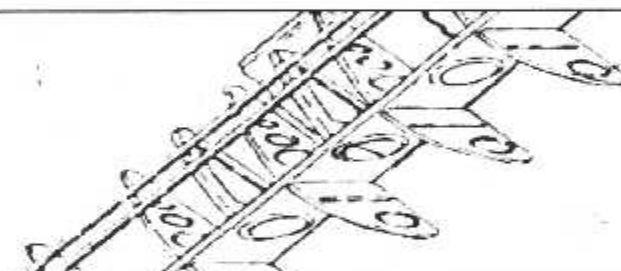
-le flux est normalement un mélange par fusion de silice SiO_2 d'alumine Al_2O_3 d'oxydes de calcium et de magnésium Ca et O et Mg etc...

-Le réchauffement des surfaces planes se fait à l'aide des chariots soudeurs, qui forment des cordons de soudure par passes parallèles successives.

Dessin de définition



GAMME DE FABRICATION

N° de phase	Désignation des phases	Outillages	Machines utilisés	Forme
100	- Contrôle de pièce (longeron-nervure)	- Règle.		 <p>Nervure Longeron</p>
200 210	- Ajustés Les axes des rivets. - Rivetage de longeron-nervure (Assemblage)	- Riveteuse pneumatique. - Une source d'air comprimé.		
300	- Contrôle finale de l'assemblage.			

CONCLUSION

CONCLUSION

Dans cette étude, nous nous sommes proposé de faire une description de l'aile d'avion (King air B 200). Vu la complexité de la construction aéronautique, de temps alloué à cette étude très réduit ainsi que l'étendu du domaine aéronautique (très vaste) qui nécessite l'intervention de diverses spécialités (aéronautique, performances, métallurgie, vibrations ...etc.), ce ci nous a mené à procéder à l'étude dans un cadres restreint.

Dans ce travail, nous avons établi un dessin de l'aéronef, et de l'aile ; ce ci en ce basant sur des donnés réels. Nous a conduit à étudier l'aile avec ses tout ces éléments.

Ensuite, nous avons fait une gamme de fabrication de la nervure. Avec toutes les étapes a suivre, pour obtenir une nervure, qui suit les confirmations dans les normes de l'aéronautique . puis en à faits des opérations pour assemblée notre nervure avec le longeron.

Pour terminer cette étude, nous avons proposé des dessins des éléments structuraux et de certains mécanismes.

Ainsi, nous espérons que cette étude servira comme base de calcul pour les études à venir.

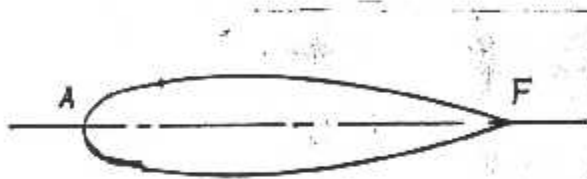
Notre sujet étant ouvert, nous espérons que les parties restantes. (Aérodynamique et performances) seront traitées, à ceux qui veulent continuer dans ce domaine en leur assurent notre entière disposition.

ANNEXE I

. DIFFERENTS TYPES DE PROFILS

a. PROFIL BICONVEXE SYMETRIQUE :

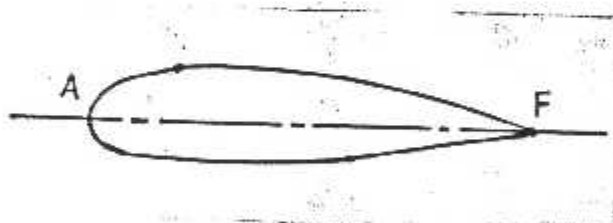
L'intrados et l'extrados sont symétriques par rapport à la corde de profil. Ces profils sont utilisés pour les empennages verticaux et horizontaux.



(Fig. 1)

b. PROFIL BICONVEXE DISSYMETRIQUE :

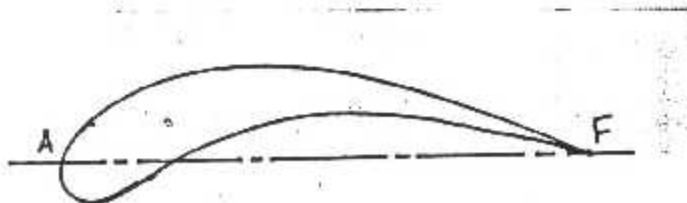
La courbure de l'extrados est plus accentuée que celle de l'intrados. Ces profils sont les plus employés pour les ailes d'avions.



(Fig. 2)

c. PROFIL CREUX :

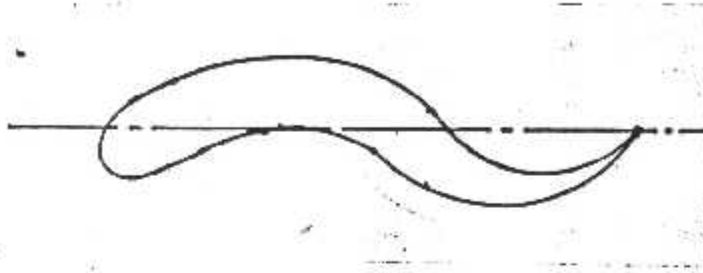
L'extrados est convexe et l'intrados concave. Généralement utilisé pour les planeurs.



(Fig. 3)

d. PROFIL A DOUBLE COURBURE :

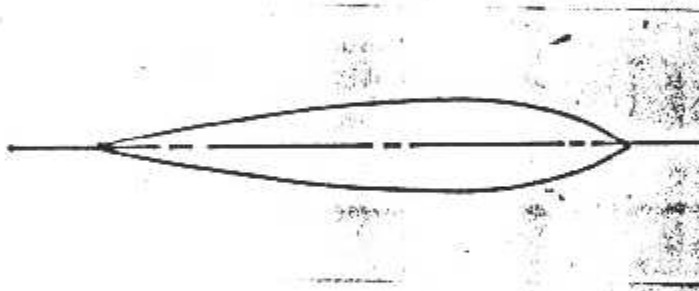
La ligne moyenne coupe la corde de profil, contrairement aux autres profils qui sont instables et nécessitent un empennage horizontal pour la stabilité longitudinale de l'avion. Ces profils sont autostables.



(Fig.4)

e. PROFIL LAMINAIRE :

Profil mince, biconvexe symétrique, bord d'attaque à lame de couteau. Profil utilisé en grande vitesse



(Fig.5)

ANNEXE II.

DESIGNATION D'UN PROFIL

les principaux pays constructeurs d'avion disposent de toute une gamme de profil, par exemple :

En Allemagne les profils **GOTTINGEN (GOT)**.
 En France les profils **EIFFEL**.
 En Grande Bretagne les profils **RAF**.
 Aux USA les profils **CLARK** et **NACA**.

Les profils les plus étudiés et les plus utilisés sont les profils **NACA** (National Advisory Comity for Aeronautic; organisme américain de recherche aéronautique).

Ces profils sont désignés par 4 ou 5 chiffres dont la composition permet de déduire les principales caractéristiques.

Exemple:

NACA 23012

1^{er} chiffre : courbure relative $c=2\%$

2^{ème} et 3^{ème} chiffre : double de l'abscisse de la flèche maxi $d/l = 15\%$

4^{ème} et 5^{ème} chiffre : épaisseur relative $E' = h/l = 12\%$

Remarque :

Le tracé exact d'un profil ne peut être effectué qu'à partir d'un tableau de cote.

Dist du BA en % de l	Extrados en % de l	Intrados en % de l
0	0	- 0
1.25	2.67	- 1.23
2.5	3.61	- 1.71
5	4.91	- 2.26
7.5	5.80	- 2.61
10	6.43	- 2.92
15	7.19	- 3.50
20	7.50	- 3.97
25	7.60	- 4.28
30	7.55	- 4.46
40	7.14	- 4.48
50	6.41	- 4.17
60	5.47	- 3.67
70	4.36	- 3.00
80	3.08	- 2.16
90	1.68	- 1.23
95	0.92	- 0.70
100	0	- 0

Angle d'Attaque (°)	C_x	C_z
-8	-0.60	0.020
-6	-0.43	0.014
-4	-0.25	0.011
-2	-0.08	0.010
0	+0.15	0.010
2	+0.36	0.010
4	+0.55	0.011
6	+0.75	0.013
8	+0.96	0.016
10	+1.14	0.023
12	+1.23	0.032
14	+0.82	0.045
16	+0.77	0.065



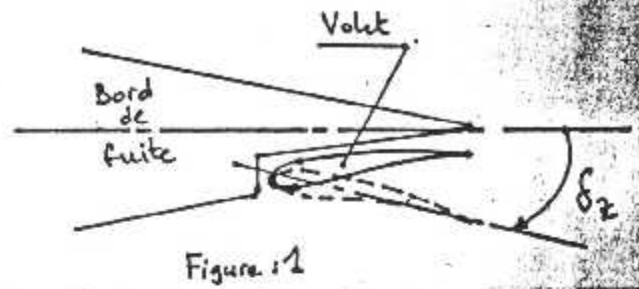
Profil NACA 23012 (station 3.6).

ANNEXE III

Différents volets de bord de fuite

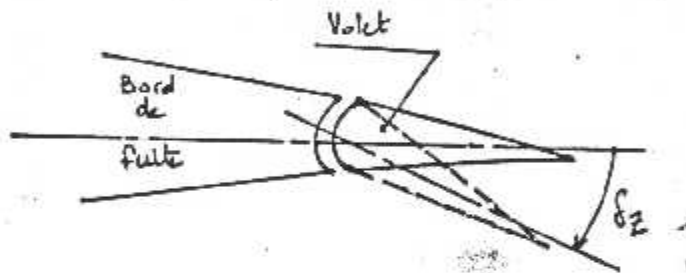
a. Volet d'intrados

Seul l'intrados du bord de fuite est mobile.



b. Volet de courbure

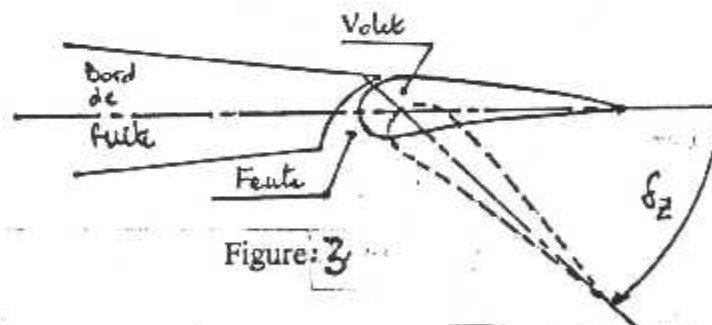
La partie arrière du profil pivote autour d'un axe situé sur la corde ou au voisinage de celle-ci.



Type ordinaire.

Figure: 2

c. Volet à fente;



Contrairement au volet de courbure, ce dispositif comporte une fente importante entre la partie principale du profil (partie fixe) et le volet qui est en fait un second profil.

ANNEXE IV

Différentes structures de voilure

La R.D.M a classé les structures de voilures en 3 catégories :

- Structure de voilure sans revêtement travaillant.
- Structure de voilure à longeron ou à âme mince.
- Structure de voilure monobloc ou à caisson.

1. Structure de voilure sans revêtement travaillant :

Dans ce type de structure, c'est l'ossature ou la carcasse qui transmet et supporte les efforts. Le revêtement est constitué de panneaux, minces non reliés rigidement à l'ossature et ne supportent que les efforts locaux.

2. Structure de voilure à âme mince (ou à longeron)

Dans ce type de structure, les efforts normaux de flexion sont transmis par des éléments longitudinaux, appelés semelle de longeron, la transmission des contraintes de cisaillement dues aux efforts tranchants et au moment de torsion est assurée par les âmes de longerons.

a. Structure de voilure monolongeron avec un ou deux caissons de torsion :

Elle est constituée d'un longeron unique et d'une paroi mince de revêtement qui peut être raidie longitudinalement, avec des lisses. Ce type de structure est utilisé pour les gouvernes, volets...etc. Dans le cas de deux caissons, la structure est plus rigide que la précédente et est utilisée pour les empennages (figure 1).



Figure 1

f. Volet à triple fente :

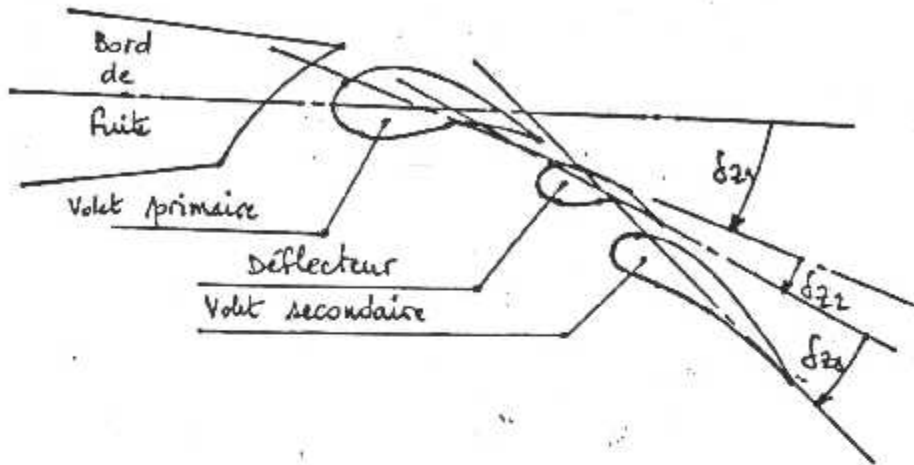
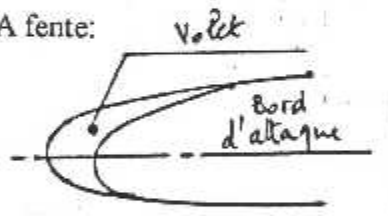


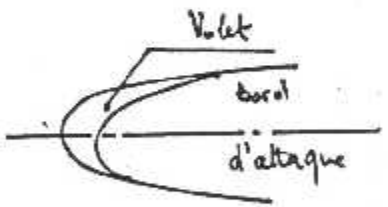
Figure 7

Différents types de volets de bord d'attaque:

* A fente:



translation.



translation.
+
rotation

Figure : 8

* Sans fente:

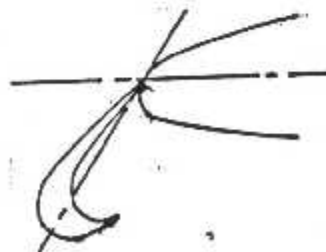
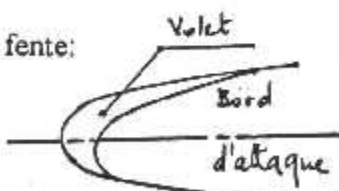


Figure : 9

* Bec pivotant

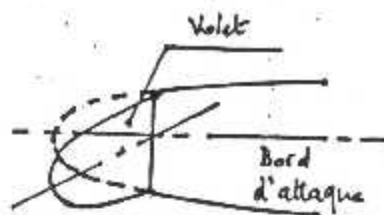


Figure : 10

* Voilet KRUEGER

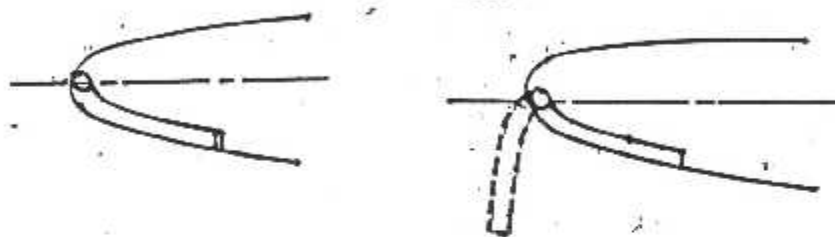


Figure : 11

* Voilet BETZ



Figure : 12.

* Bec fixe à fente

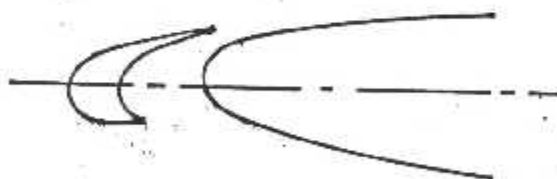


Figure : 13