

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT AERONAUTIQUE

Projet De Fin D'Etude En Vue De L'Obtention Du Diplôme
Des Etudes Universitaires Appliquées En Aéronautique
Option: Propulsion

THEME

**conception et réalisation d'un avion Ultra Léger
Motorisé**

Fait par :

Melle : MAYOUF Asma

Melle : SAID KOUADRI Imene

Encadré par :

Mr : BENTRAD houcine

Mr : BERGUEL Said

Promotion : 2008

REMERCIEMENT SPECIAL

Je remercie en premier lieu le bon DIEU de nous avoir donné le courage, la patience et la capacité de mener ce travail à terme et surtout de mettre des gens simples modestes et merveilleux pour nous aider ; ces gens méritent tous l'amour de DIEU et sa foie et aussi notre respect et amour fi ALLAH ; ces gens qu'on considère comme les soldats de DIEU dans cette terre, messieurs on vous remercie beaucoup et on vous aime très fort , vous les employés de la société Algérienne ALGAL du simple ouvrier au directeur sans oublier personne vous étiez la lumière qui éclairée notre voix .

<i>Mr. Soumeur</i>	<i>Sadji</i>
<i>Mr. Ourezki</i>	<i>Hakim</i>
<i>Mr. Saka</i>	<i>Mohamed</i>
<i>Mr. Gaoua</i>	<i>Nacerddine</i>
<i>Mr. Boughrara</i>	<i>Khaled</i>
<i>Mr. Bounouche</i>	<i>Ahmed</i>
<i>Mr. Amrawi</i>	<i>Amine</i>
<i>Mr. Bouferouera</i>	<i>Kamel</i>
<i>Mr. Bouamama</i>	<i>Hossam</i>
<i>Mr. Daghfali</i>	<i>Mohamed</i>
<i>Mr. Fodil</i>	<i>Mohamed</i>
<i>Mr. Benkermiche</i>	<i>Khaled</i>
<i>Mr. Boufis</i>	<i>Saleh</i>
<i>Mr. Rouane</i>	<i>Ahmed</i>
<i>Mr. Zerai</i>	<i>Ahmed</i>
<i>Mr. Limani</i>	<i>Benyoucef</i>
<i>Mr. Kaaelkaf</i>	<i>Azzedine</i>
<i>Mr. Boutahloula</i>	<i>Zine</i>



TABLE DES MATIERES

RESUME	I
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX.....	VI
NOMENCLATURE	X
INTRODUCTION	1

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES ULTRA LEGERS MOTORISES

1/ DEFINITION D'U.L.M.....	2
2/ CLASSE D'U.L.M.....	2
2.1/ les paramoteurs.....	3
2.2/ les pendulaires	3
2.3/ Les multi axes.....	4
2.4/ Les autogires	5
2.5/ Les aérostats ultra légers.....	6
3/ LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES U.L.M.....	7
❖ Risque et accident	7
4/ LES PRINCIPALES REGLES DE LA SUSTENTATION.....	8
❖ Le centrage.....	10
5/ L'AILE.....	11
a) description d'une aile.....	11
b) Type de profil.....	12
c) Configuration d'aile.....	12
d) Les différentes formes des ailes.....	13
6/ FUSELAGE.....	14
7/ EMPENNAGES.....	15
8/ LES GOUVERNES.....	16
9/ LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS.....	16
9.1/ les volets.....	17
9.2/ Les becs.....	17

❖ Les Winglets.....	18
10/ LES COMMANDES.....	18
a)Les axes du mouvement.....	18
b)Le manche à balai.....	19
c)Le palonnier	19
11/ LE TRAIN D'ATTERRISSAGE.....	20
❖ Le train d'atterrissage classique.....	20
❖ Le train d'atterrissage tricycle	20
12/ LES PROPULSEURS.....	21
13/ LE MOTEUR A PISTON:.....	22
13.1/ Le fonctionnement du moteur à piston	23
13.2 / Alimentation en carburant	23
14/ L'HELICE.....	24
❖ Hélice à calage variable (ou pas variable).....	24
❖ Hélice à calage fixe.....	25
❖ Fonctionnement.....	25

CHAPITRE II : CONSTRUCTION AERONAUTIQUE AMATEUR

1/ CONTRAINTES ET CHARGES APPLIQUEES SUR UN AVION.....	26.
2/ MATERIAUX DE CONSTRUCTION.....	27
3/ ELEMENTS DE STRUCTURE PRINCIPAUX.....	29
4/ LA STRUCTURE DU FUSELAGE.....	29
4.1/ La structure en treillis	29
4.2/ La structure semi-monocoque	30
4.3/ La structure monocoque	30
5/ LA STRUCTURE DE L'AILE.....	31
6/ TECHNIQUES ET OUTILS DE CONSTRUCTION.....	32
6.1/ Traçage des pièces de l'avion.....	32
6.2/ Le découpage	33
6.3/ Limage - Lissage des chants.....	35
6.4/ Le pliage des tôles	36
6.5/ Formage des tôle	38

6.6/ Le Cintrage des tubes.....	39
6.7/ Les moyens d'assemblage.....	41
6.8 / Le rivetage.....	43
6.9/ Boulonnerie	46
6.10/ Le soudage.....	49

CHAPITRE III : LA CONCEPTION DE NOTRE ULM

1/ INTRODUCTION.....	50
2/ PRESENTATION DE L'OUTIL CAO SOLIDWORKS.....	50
3/ LA CONCEPTION DE L'U.L.M. SUR SOLIDWORKS	51
3.1/ Les étapes de la conception du châssis	51
3.1.1/ les tubes.....	51
3.1.2/ Les goussets.....	53
3.1.3/ L'assemblage.....	55
3.2/ Les étapes de la conception des empennages.....	56
3.2.1/ L'empennage vertical.....	56
3.2.2/ L'empennage horizontal.....	58
3.2.3/ L'assemblage.....	59
3.3/ La conception du Train d'atterrissage.....	60
3.3.1/ Train principal.....	60
3.3.2/ Le train arrière	62
3.4/ La conception de la cabine.....	63
3.5/ La conception du siège.....	64
3.6/ Les étapes de la conception des ailes.....	64
3.7/ Les étapes de la conception des ailerons.....	67
3.8/ La fixation des ailes et des ailerons.....	68
4/ LES COMMANDES DE VOL	70
5/ POIDS ET CENTRAGE.....	71
5.1/ Le poids.....	71
5.2/ Le centrage.....	72
6/ CALCUL DES PERFORMANCES DE NOTRE ULM	74

CHAPITRE III : LA REALISATON

1/ INTROUCTION.....	76
2/ LE CHASSIS.....	76
3/ LE TRAIN D'ATTERRISSAGE.....	79
3.1/ Le train principal.....	79
3.2/ Train arrière	80
4/ LES EMPENNAGES.....	80
4.1/ L'empennage vertical	81
4.2/ L'empennage horizontal	83
5/ LES AILES.....	83
6/ LES AILERONS	86
7/ LA FIXATION DES AILES.....	88
8/ LE REVETEMENT.....	89
9/ LA PEINTURE	91
10/ LES COMMANDES DE VOL	91
11/ LA CABINE	92
12/ LE SIEGE	93
CONCLUSION	94

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Liste des figures

Fig. N°	Nom de la figure	page
I-1.a	Un paramoteur en vol	2
I-1.b	Description d'un parapente	2
I-2.a	Un pendulaire en vol	3
I-2.b	Un pendulaire au sol	3
I-3.a	Un multi-axes à structure tubulaire entoilé	4
I-3.b	Un multi-axes en matériaux composite	4
I-4.a	Un autogire monoplace tubulaire en plein décollage	5
I-4.b	Un autogire biplace en matériaux composite	5
I-5.a	Un Montgolfière ultra léger	6
I-5.b	Un dirigeable ultra léger	6
I-6.a	Accident mortel sur un multi- axes tubulaire	7
I-6.a	Déformation des pales d'un autogire monoplaces	7
I-7	La résultante aérodynamique	8
I-8	La polaire d'un profil	9
I-9	Les limites du centrage	10
I-10	Les caractéristiques du profil d'aile	11
I-11	Les différentes dispositions d'une aile	12
I-12	Les différentes formes d'ailes	13
I-13.a	Structure en bois	14
I-13.b	Structure métallique	14
I-14	Description des empennages	15
I-15	Les différents types des empennages	15
I-16.a	Disposition de la gouverne de profondeur et de direction	16
I-16.b	Disposition des ailerons	16
I-17	Les dispositifs hypersustentateurs	16
I-18	Les types des dispositifs bord de fuite	17
I-19	Les types des dispositifs bord d'attaque	17
I-20	Les axes du mouvement	18
I-21	Description d'un manche à balai	19
I-22	Un palonnier en fonctionnement	19
I-23.a	Disposition des roues du train classique	20
I-23.b	Présentation de l'angle de garde	20
I-24.a	Disposition des roues du train tricycle	20
I-24.b	Caractéristiques du train tricycle	20
I-25	Les différents types de propulseurs	21
I-26	Description du moteur à piston	22
I-27	Description de la carburation	23
I-28	Caractéristiques de l'hélice	24
I-29	Les forces que subie une pale d'hélice	2
II-1.a	Le fléchissement du fuselage	57
II-1.b	Le fléchissement des ailes	58
II-2.a	Les charges subites par l'avion lors que les propulseurs sont placés sous l'aile	58

Liste des figures et des tableaux

II-2.b	Les charges subites par l'avion lors que les propulseurs sont placés dans l'arrière du fuselage	
II-3	Matériaux sandwich	
II-4	La structure treillis	60
II-5	La structure semi- monocoque	
II-6	La structure monocoque	
II-7	La structure mono longeron	
II-8	La structure multi longerons	
II-9	La structure caisson	
II-10	Exécution du traçage	
II-11	La cisaille à main	
II-12	Cisaille grignoteuse	
II-13	Cisaille à levier	
II-14	Scie à ruban construite par un amateur	
II-15	Direction de limage et de lissage	
II-16	Lapidaire	
II-17	La plieuse	
II-18	La formation d'une crique sur tôle pliée	
II-19	Opération du pliage sur une plaque d'aluminium	
II-20	Opération du formatage	
II-21	Une cintreuse à rayon fixe	
II-22.a	Cintreuse à galets	
II-22.b	Cintreuse à butées à gorge	
II-23	Représentation de l'épaisseur et le diamètre du tube ainsi que son rayon intérieur de cintrage	
II-24.a	L'exécution d'un pointage	
II-24.b	La perceuse à colonne	
II-25	Une fraise à lamer	
II-26	Le trépan	
II-27.a	Rivets 2117 à tête fraisée et à tête plate	
II-27.b	Rivets aveugles	
II-28	Le placement du rivet	
II-29	Les différents positionnements d'un rivet	
II-30	Les opérations de pose d'un rivet aveugle	
II-31	Description d'un boulonnage	
II-32	La longueur d'une vis	
II-33	Les différents types de rondels	
II-34	Représentation de l'effort sur la clé dynamométrique	
II-35	Application de la soudure	
III-1.a	L'ULM conçu en 1998	
III-2	Les étapes de la conception d'un tube	
III-3	Les différentes étapes suivit pour faire un angle de découpe sur un tubes	
III-4	Étapes de conception d'un gousset	
III-5	Application du perçage sur un gousset	
III-6	Les étapes de la conception d'un tube rond	

Liste des figures et des tableaux

III-7	La conception des attaches	
III-8	Les étapes d'assemblage	
III-9	Le châssis obtenus après assemblage et un zoom sur la partie queue	
III-10	La conception des goussets, leurs fixations et l'arc d'assemblage	
III-11	La conception de la dérive verticale	
III-12	La conception de la gouverne verticale	
III-13	La conception de la dérive horizontale	
III-14	La conception de la gouverne horizontale	
III-15	La conception des charnières	
III-16	Les éléments d'assemblage des empennages	
III-17	L'assemblage des empennages	
III-18	les différents éléments du train principal	
III-19	la conception de la gente et le pneu du train	
III-20	le train principal	
III-21	La conception du train arrière	
III-22	Le train d'atterrissage de notre <i>U.L.M</i>	
III-23	Les étapes de la conception de la cabine	
III-24	La conception du siège	
III-25	La conception des éléments d'assemblage et la structure finale	
III-26	La conception des nervures	
III-27	la conception des longerons	
III-28	la structure finale de l'aile	
III-29	l'aile revêtue avec de la tôle d'aluminium	
III-30	la conception des ailerons	
III-31	les éléments de fixation	
III-32	la description du dièdre	
III-33	La fixation des ailes des ailerons et du mât	
III-34	Notre <i>ULM</i>	
III-35	le revêtement des empennages	
III-36	les différents angles du mouvement des gouvernes	
III-37	les commandes de vols	
III-38	Représentation de l'axe e référence	
III-39	La vitesse horizontale de l'avion en fonction de son taux chute	
III-40	Les différentes performances d'un <i>ULM</i>	
IV-1	La machine de découpage	
IV-2	La disposition des tubes découpés	
IV-3	Les étapes de la réalisation des goussets	
IV-4	L'assemblage du châssis	
IV-5	La réalisation des renforts de la queue du châssis	
IV-6	les différentes étapes de la réalisation u train avant	
IV-7	Le train arrière réalisé	
IV-8	Les différentes étapes de la réalisation de la cintreuse	
IV-9	Les étapes de la réalisation des goussets	

Liste des figures et des tableaux

IV-10	Les étapes de la réalisation de la dérive	
IV-11	L'endroit et les systèmes de bridage de la dérive horizontale	
IV-12	Les éléments d'assemblage de l'empennage vertical	
IV-13	Les étapes de la réalisation de l'empennage horizontal	
IV-14	La réalisation de la structure tubulaire de l'aile	
IV-15	Les étapes de la réalisation des nervures	
IV-16	La préparation des nervures	
IV-17	L'emplacement des nervures et des longerons	
IV-18	Les étapes de la réalisation des ailerons	
IV-19	Le système de fixation des ailerons	

Introduction

Les premières machines volantes furent toutes l'œuvre de constructeurs amateurs, dès les premiers ballons à air chaud. *Ader, Lilienthal, les frères Wright* étaient les premiers pionniers de l'aviation à mettre les principes de l'aérodynamique appliquée.

De nos jours l'aviation a connue des développements technologiques considérables et atteint un niveau de performances et de sécurité. Cependant, le constructeur amateur très doué et passionné par le vol. Arrive à concevoir et à réaliser des avions Ultra légers motorisés leur permettant de réaliser son rêve.

En effet toute une industrie fructueuse est née de cette idée de mettre à la disposition du constructeur amateur des kits prêt à être monter, certifié et sécurisé pour le loisir et le plaisir de vol.

En réalité la conception et la réalisation d'un avion ultra léger est une tâche complexe qui ne peut être abordée qu'avec de bonnes connaissances de base en aérodynamique, mécanique, résistance des matériaux, électricité, et autres applications

Dans ce projet nous nous sommes intéressés de reprendre la conception d'un avion Ultra Léger en partant déjà de croquis et d'exemple d'*ULM* dans la même catégorie. Puis d'entamer la réalisation de l'avion.

Pour mener a bien notre travail on a devisé l'étude en quatre chapitres, le premier est consacré aux avions ultra légers motorisés. Les structures d'avions et la construction aéronautique amateurs vont faire l'objet de deuxième chapitre par contre le troisième et le quatrième représentent le vif de notre travail consacrés respectivement à la conception de l'*ULM* sur l'outil *CAO solidworks*, et a sa réalisation.

CHAPITRE I

HISTORIQUE DES AVIONS LEGERS

1 / DEFINITION D'U.L.M

Quelque part entre la fabrication très chère des gros avions et très faible des deltaplanes se trouve une catégorie d'aéronef intermédiaire satisfaisant nos besoins émotionnels de sensation de vol à un investissement relativement modéré cette catégorie désigne les avions ultra léger motorisés.

Un *U.L.M* est un aéronef ultra léger motorisé dont son poids ne dépasse les 500Kg, il est monoplace ou biplace, il rentre dans la catégorie d'avion civil léger destiné aux loisirs, sport et tourisme aérien. Ce type d'appareil est rencontré généralement dans les aéroclubs et les constructeurs amateurs désirant un apprentissage au pilotage et au plaisir du vol. On distingue cinq classes d'*U.L.M*.

2/ CLASSE D'U.L.M

2.1 / Les paramoteurs

Se sont des parapentes motorisés, c'est-à-dire une voile parapente dont le passager se place dans un siège motorisé, ces *U.L.M* rentrent dans la catégorie des aérodynes. Le parapente est équipé d'un moteur à combustion interne léger est intégré à une cage de protection portée sur le dos du pilote et d'une hélice propulsive qui offre la poussée nécessaire pour le déplacement horizontal.



Figure (I-1.a) : Un paramoteur en vol

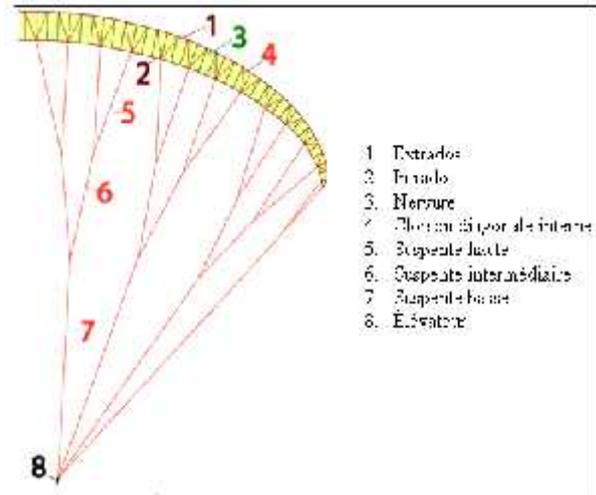


Figure (I-1.b) : Description d'un parapente

La figure ci-dessus montre un parapente en vol et la description des éléments de la voile composant le parachute.

Chaque parapente répond aux conditions techniques suivantes :

🚩 La puissance maximale continue est inférieure ou égale à **45 kW** pour les monoplaces et à **60 kW** pour les biplaces.

🚩 La masse maximale est inférieure ou égale à **300 kg** pour les monoplaces et à **450 kg** pour les biplaces.

Il existe des paramoteurs à une ou à deux places. Il est généralement pratiqué au sein des clubs aéronautiques à caractères collectif ou individuel pour des activités de loisir ou de sport.

Comme tout aéronef volant dans des conditions météorologiques adéquates le parapente exige une bonne maîtrise de trois points pour être piloter à savoir :

- ✚ la direction (droite ou gauche).
- ✚ l'équilibrage (interaction avec l'aile).
- ✚ la propulsion (accélérer ou freiner).

2.2/ Les pendulaires

Le pendulaire est une machine simple et économique, facilement repliable et transportable qui bénéficie généralement de très bonnes qualités tout-terrain et de performances ascensionnelles étonnantes. Il est équipé d'un chariot, d'une aile delta d'un moteur à combustion interne et d'une hélice propulsive. Cet appareil est appelé pendulaire tout simplement parce qu'il se pilote par déplacement du centre de gravité qui se trouve au dessous de l'aile delta, comme un pendule



Figure (I-2.a) Un pendulaire en vol



Figure (I-2.b) Un pendulaire au sol

Généralement le pendulaire répond aux conditions techniques suivantes :

- ✚ La puissance maximale continue est inférieure ou égale à **45 kW** pour les monoplaces et à **60 kW** pour les biplaces.
 - ✚ La masse maximale est inférieure ou égale à **300 kg** pour les monoplaces et à **450 kg** pour les biplaces. Ces masses peuvent être augmentées de **5%** dans le cas où l'**U.L.M** est équipé d'un parachute de secours ou de **10 %** dans le cas d'un **U.L.M** à flotteurs.
 - ✚ La vitesse de décrochage est inférieure ou égale à **65 km/h** ou la charge alaire à la masse maximale est inférieure à **30kg/m²**.

Le pilotage du pendulaire est relativement simple car il se base sur les principes physiques, par le déplacement du centre de gravité contrôlé par le corps du pilote sur le

trapèze ou l'aile.

En effet, en tenant le trapèze le pilote réalise un déplacement latéral du pendule et incline l'aile. D'autre part, le contrôle au sol de l'appareil se fait avec les pieds ; la roue avant est directrice, le pied droit contrôle la puissance moteur, le pied gauche les freins, alors qu'en vol la puissance du moteur est contrôlée par un levier placé à la droite du siège du pilote.

2.3/ Les multi-axes

Un multi-axes est un aéronef sustenté par une voilure fixe dirigés par des gouvernes aérodynamiques identique aux avions. Ils sont contrôlables sur deux axes à savoir lacet et tangage, ou plus couramment sur les trois lacets, roulis et tangage selon les appareils.

Dans cette catégorie, il existe de grandes diversités entre les appareils des plus simples aux plus sophistiqués. On rencontre alors les multi-axes à structure tubulaire entoilé, et à l'opposé des structures entièrement en matériaux composites où en tôle d'aluminium. Ceci va bien sur imposé des différences de performances ce qui explique pourquoi le premier type vole à une vitesse avoisinante de **90 km/h** alors que les derniers peuvent atteindre **300km/h**.



Figure (I-3.a) Un multi-axes à structure tubulaire entoilé



Figure (I-3.b) Un multi- axes en matériaux composite

Comme tout avions, les *U.L.M* multi-axes répondent aux conditions techniques édictées par le règlement de l'aviation civil à savoir :

- 🚩 La puissance maximale continue est inférieure ou égale à **45 kW** pour les monoplaces et à **60 kW** pour les biplaces
- 🚩 La masse maximale est inférieure ou égale à **300 kg** pour les monoplaces et à **450 kg** pour les biplaces. Ces masses peuvent être augmentées de **5%** dans le cas où l'*U.L.M.* est équipé d'un parachute de secours ou de **10 %** dans le cas d'un *U.L.M* à flotteurs.
- 🚩 La vitesse de décrochage est inférieure ou égale à **65 km/h** ou la charge alaire à la masse maximale est inférieure à **30kg/m²**

2.4/ Les autogires

L'autogire, est un appareil volant voisin de l'hélicoptère dans sa forme général, il comprend à la fois un rotor sur l'axe horizontal permettant de réaliser la sustentation et une hélice propulsive placée à l'arrière assurant le déplacement suivant l'axe horizontal. Toute fois pour assurer le changement de direction l'autogire est équipé d'une dérive située à l'arrière de l'appareil



Figure (I-4.a) Un autogire monoplace tubulaire en plein décollage



Figure (I-4.b) Un autogire biplace en matériaux composite

La figure (I-4.a), montre un autogire monoplace à la phase de décollage où il a besoin de réaliser un roulage au sol sur une courte distance pour s'élever.

Dans la figure (I-4.b), l'image nous présente une conception en composite d'un autogire biplace

Similairement aux cas déjà vu précédemment l'autogire répond aux conditions techniques réglementées par l'*OACI* et qui se regroupent dans les points suivants :

- 🚦 La puissance maximale continue est inférieure ou égale à **60kW** pour les monoplaces et à **80 kW** pour les biplaces.
- 🚦 La masse maximale est inférieure ou égale à **300 kg** pour les monoplaces et à **450 kg** pour les biplaces.
- 🚦 La charge rotorique à la masse maximale est comprise entre **4,5** et **12kg**.

L'autogire, présente une différence par rapport à l'avion du point de vue commande et vole. En effet, pour décoller le rotor est pré lancé à partir du moteur entraînant l'hélice, par l'intermédiaire d'un dispositif d'embrayage jusqu'à une vitesse suffisante où il pourra se mettre en auto rotation sous l'effet d'avance de l'autogire.

De nombreuses conceptions sont mises aux points allant du monoplace où biplace jusqu'au prototype militaire. Cependant l'autogire demeure un appareil utilisé pour

l'observation et le loisir.

2.5/ les aérostats ultra légers

L'aérostat comme son nom l'indique est un appareil volant utilisant un gaz plus léger que l'ambiance pour assurer la sustentation, il constitue la famille des Montgolfières et les dirigeables.



Figure (I-5.a) Un Montgolfière
Ultra léger



Figure (I-5.b) Un dirigeable
Ultra léger

De même pour les aérostats ultra-légers, ils doivent répondre aux conditions techniques qui sont :

- ✚ La puissance maximale continue est inférieure ou égale à **60 kW** pour les monoplaces et à **80 kW** pour les biplaces ;
- ✚ Le volume de l'enveloppe d'hélium est inférieur ou égal à **900 m³** ;
- ✚ Le volume de l'enveloppe d'air chaud est inférieur ou égal à **2000 m³**.

Le déplacement vertical de l'aérostat est assuré par la variation de la densité de gaz emprisonnée dans l'enveloppe. Dans le cas de l'air, il sera donc chauffé par un ensemble de brûleur embarqué à bord utilisant du combustible gazeux, le propane dans des bouteilles pressurisées. Quant au déplacement latéral, il est exploité avec la direction du vent et des courants existant dans le milieu extérieur.

Vue sa vitesse de déplacement et sa position statique l'aérostat est le seul à avoir une vue très étendue du moment qu'il monte très haut. Certain model on été même utilisés pour des testes en haute atmosphère.

Le dirigeable est identique au Montgolfière à la différence de la présence d'un moteur assurant le déplacement horizontal.

3/ LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES U.L.M.

Comme chaque chose construite par la main des êtres humains ou la perfection n'est toujours pas à cent pour cent les *U.L.M* apparaissent comme un model vif qui ne manque d'avantages et d'inconvénient.

✚ La sécurité de l'aviation *U.L.M* repose d'une part sur la responsabilité des pilotes comme pour toutes les actés de circulation aérienne et sur la responsabilité du fabricant qui est seul garant du dossier technique déclaratif déposé auprès de l'administration, ce qui engendre une liberté de la pratique des *U.L.M*.

✚ L'*U.L.M* est très léger ce qui donne plus de sensation de vol, mais donne aussi une sensibilité accrue aux conditions météorologiques.

✚ L'*U.L.M* vole à de très petite altitude et vitesse ce qui handicape l'aviation mais il est très adapté pour les promenades et la photographie aérienne.

✚ Coût d'acquisition, d'entretien et d'usage d'un *U.L.M* est plus faible que pour l'avion classique.

✚ Brevet de pilote *U.L.M* obtenu à vie, sans obligation d'heures minimales de vol régulières ou de contrôle médical ce qui permet l'accessibilité d'avoir un *U.L.M*.

❖ **Risques et accidents :**

Toute forme de vol comporte une part de risque, quelle que soit l'aéronef sur lequel on vole. L'*U.L.M* souffre d'une image négative et des approximations qui avaient cours au début des années 1980.



Figure (I-6.a) Accident mortel sur un multi- axes tubulaire



figure (I-6.b) Déformation des pales d'un autogire monoplaces

Les principales causes d'un accident sont souvent dues aux : mauvais comportement du pilote, vols rasants, acrobaties, conditions météorologiques insuffisantes et fatigue de l'aéronef. C'est pour quoi qu'un vol doit être pratiquée avec beaucoup de rigueur, en respectant scrupuleusement les règles en vigueur et en étant extrêmement attentif aux conditions météorologiques.

4/ LES PRINCIPALES REGLES DE LA SUSTENTATION

L'aile au cours de son déplacement présente au vent son profil sous une certaine incidence. En combinant les trois facteurs suivants : la forme du profil, la vitesse relative de l'aile par rapport à l'air et l'angle d'incidence, on fait apparaître alors une résultante aérodynamique F_a agissant sur l'ail et légèrement inclinée vers l'arrière par rapport à la normale et à la vitesse relative. Voir figure (I-7) Ref [1]

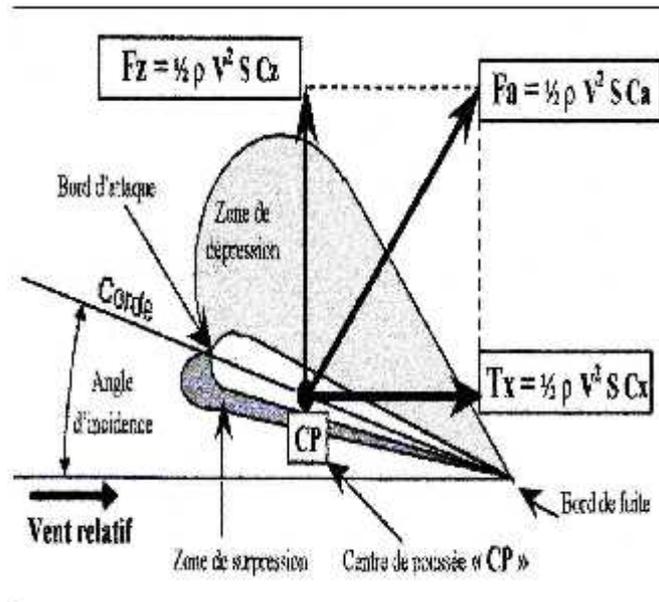


Figure (I-7) La résultante aérodynamique

Cette résultante aérodynamique F_a varie en grandeur et en direction avec l'angle d'incidence. En effet elle est appliquée au point CP qui représente le centre de poussée. Ce dernier se déplace lorsque l'angle d'incidence varie. La résultante des forces aérodynamique F_a se décompose selon les deux axes passant par le CP , en une composante vertical appelée F_z et une composante horizontale appelée T_x .

$$F_z = \frac{1}{2} C_z S \rho V^2 \quad \dots \dots \dots (1.1)$$

$$T_x = \frac{1}{2} C_x S \rho V^2 \quad \dots \dots \dots (1.2)$$

avec les coefficients C_z et C_x sont respectivement les coefficients de portance et de traînée, ils varient en fonction de l'angle d'incidence.

: c'est la masse volumique de l'air à une température et pression normale, elle est égale à 1.293 kg/m^3

S : c'est surface de la vue en plan de l'aile en m^2

V : c'est la vitesse relative en m/s

Dans le domaine aéronautique, on définit le paramètre regroupant le coefficient de la portance et celui de la trainée par la finesse f qui est donnée par les rapports suivant :

$$f = \frac{F_z}{T_x} = \frac{C_z}{C_x} = \operatorname{tg} \theta \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

L'avion qui présente la finesse la plus grande a le meilleur comportement aérodynamique

Pour une étude parfaite du comportement d'une aile à toutes les incidences, on note les différents C_z et C_x à ces différents angles et on établit une courbe appelée *polaire* autrement dit *la polaire* est la courbe représentant les variations du coefficient unitaire de portance en fonction de la trainée. Figure (I-8) Ref [2]

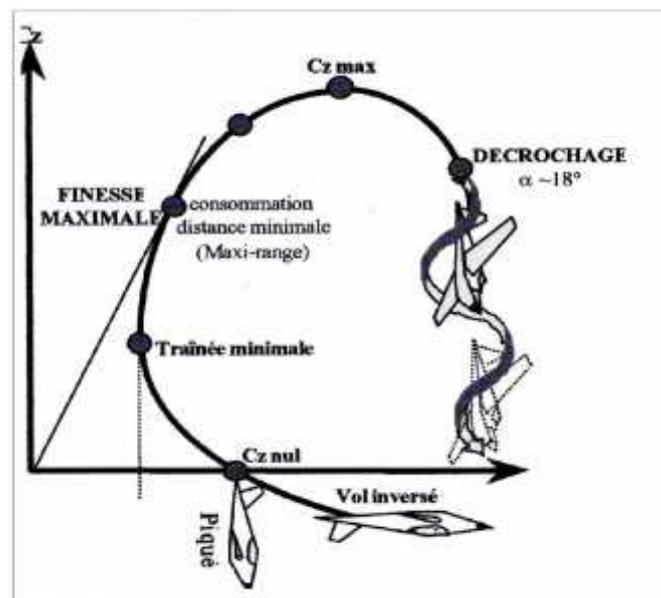


Figure (I-8) La polaire d'un profil

En variant l'incidence, la portance et la trainée ainsi que la finesse varient. Donc à partir de la polaire des points remarquable qui sont nécessaire dans toute conception préliminaire d'un avion, ces points se résument en :

- ✚ Le premier point représente un coefficient de portance nul pour une incidence de -4°
- ✚ Le deuxième point représente une trainée minimale pour une incidence de 5°
- ✚ Le troisième point représente une finesse maximale pour une incidence de 10°
- ✚ Le dernier point représente un coefficient de portance maximal pour une incidence de 15°

❖ Le centrage

On entend par centrage la position du centre de gravité par rapport à un point de référence de l'avion. Il se mesure généralement en % de la profondeur du profil d'aile.

Le centrage est l'opération qui consiste à disposer les différentes parties qui constituent un avion, ainsi que les charges qu'il doit transporter de façon à ce qu'il soit en équilibre de vole stable et qu'il soit maniable aux différents incidences. Et comme la maniabilité varie en sens inverse de la stabilité donc il faut réaliser un compromis entre ces deux qualités. La réalisation d'un centrage correct consiste à répartir les charges mobiles de l'appareil de façon à ce que les positions respectives du centre de gravité et du foyer restent dans les limites imposées. Ref [1]

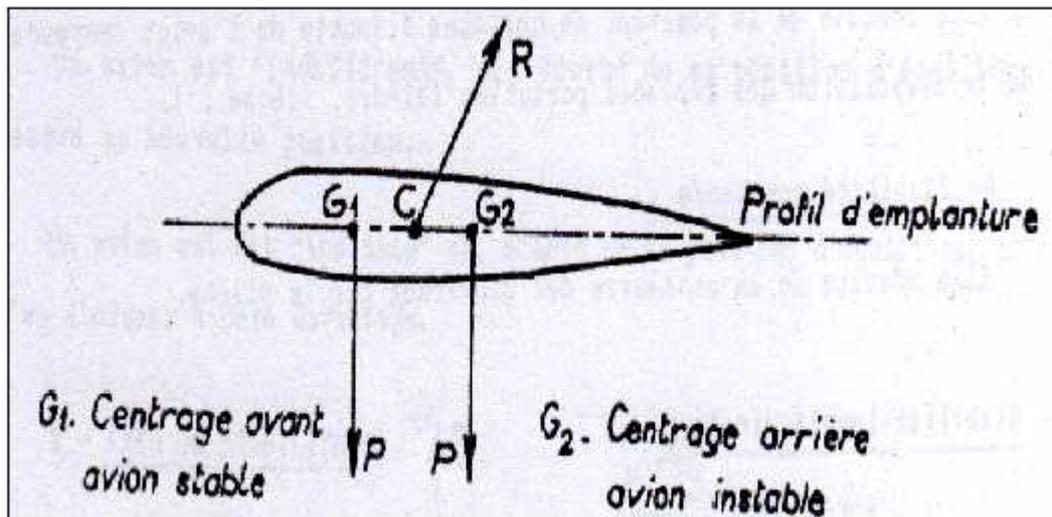


Figure (I-9) Les limites du centrage

On distingue deux types de centrage

Centrage arrière :

Il est dû à une charge anormale à l'arrière ou à un délestage excessif à l'avant. L'avion a tendance à cabrer, la stabilité est bonne aux grandes incidences donc l'avion décolle et atterrit facilement, par contre, l'avion est instable aux incidences

Centrage avant :

Il est dû à une surcharge anormale à l'avant, ou à un délestage excessif à l'arrière. L'avion a tendance à piquer et pour le maintenir sur sa trajectoire, la stabilité est bonne aux faibles incidences, il lui faut donc une vitesse élevée pour décoller et sa vitesse d'atterrissage est grande.

Pour toutes ces causes, il est toujours préférable de choisir le centrage avant vu sa stabilité et maniabilité

5/ L'AILE

Les ailes sont des surfaces qui permettent à l'avion de prendre appui sur l'air, donc elles assurent la sustentation aérodynamique de ce dernier. Une aile est constituée communément des éléments suivant :

- ✚ **L'emplanture** : partie qui assure la jonction avec le fuselage
- ✚ **Le saumon** : partie la plus extérieure de l'aile
- ✚ **L'extrados** : partie supérieure de l'aile
- ✚ **L'intrados** : partie inférieure de l'aile
- ✚ **Le bord d'attaque** : partie avant de l'aile
- ✚ **Le bord de fuite** : partie arrière de l'aile

Une aile est définie par son profil, c'est-à-dire le dessin du contour de l'aile coupé parallèlement à l'axe du fuselage ou plus précisément, parallèlement au plan de symétrie, qui est un plan imaginaire qui partage l'avion en deux parties égales ; il sert souvent de plan de référence.

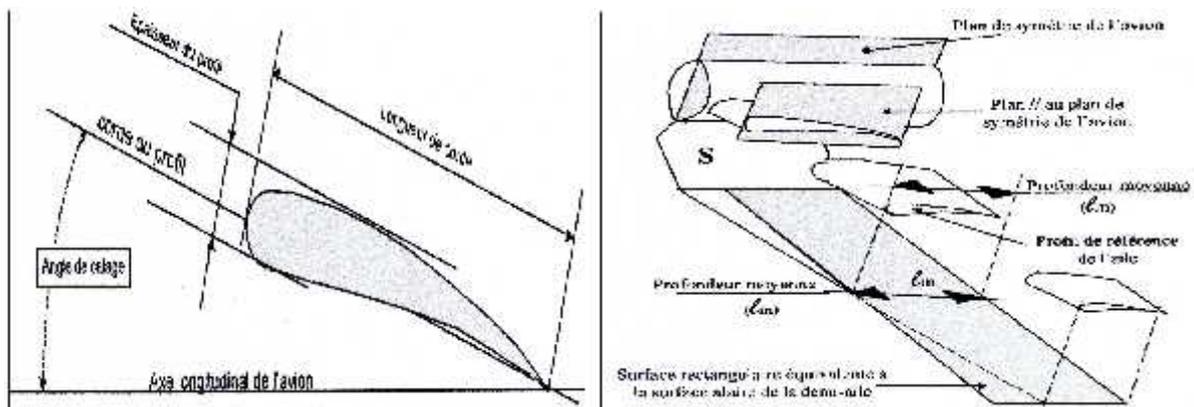


Figure (I-10) Les caractéristiques du profil d'aile

Un profil d'aile est caractérisé par les grandeurs suivantes

Corde de profile : ligne de référence liée au profil joignant le bord d'attaque au bord de fuite.

Epaisseur du profil e : c'est la distance maximum entre deux tangentes parallèles à la corde du profil

Angle d'incidence i : angle de la corde du profil avec la direction de la vitesse relative.

Angle d'attaque : angle de la droite de portance nulle avec la direction de la vitesse relative, ($i+5^\circ$).

Angle de calage : angle de la corde de profil avec une droite de référence du fuselage.

Allongement : Rapport du carré de l'envergure à la surface d'aile.

a) Type de profil

Il existe plusieurs catégories de profils aérodynamiques utilisés dans le domaine aéronautique pour réaliser des surfaces sustentatrices. Un profil idéal doit posséder un coefficient de portance élevé, un coefficient de traînée faible donc une bonne finesse et en outre, un faible déplacement du centre de poussée pour être stable. Les profils les plus utilisés sont :

- ✚ Le profil plan-convexe
- ✚ Le profil symétrique bi-convexe
- ✚ Le profil creux
- ✚ Le profil à double courbure auto stable
- ✚ Le profil supercritique

Les constructeurs amateurs choisissent la plupart du temps le profil *Clark Y* et le *NAKA 23.012*

Pour plus de détail sur les profils et leurs caractéristiques (*voir annexe I*).

B) configuration d'aile

Au début de l'aviation, les constructeurs utilisent fréquemment des ailes biplans en raison de la nécessité d'avoir une grande surface eu égard aux faibles puissances dont ils disposaient, aujourd'hui, on ne construit pratiquement que des monoplans dont on distingue

Le monoplan à aile haute : dont l'aile est ancrée sur le sommet du fuselage par deux ou quatre mâts.

Le monoplan à aile médiane : dont l'aile est ancrée sur la partie médiane du fuselage.

Le monoplan à aile basse : dont l'aile est ancrée sur la partie basse du fuselage cette disposition débarrasse l'avion du mâts

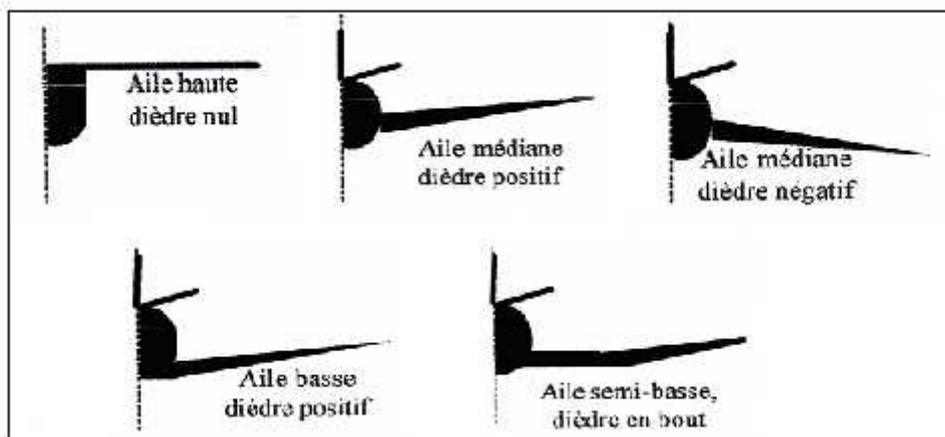


Figure (I-11) Les différentes dispositions d'une aile

On parle du dièdre lorsque les deux ailes ne sont pas dans le même prolongement, il

sert à augmenter la stabilité latérale ce qui permet à l'avion de bien se poser sur l'air, le dièdre peut être négative ou positive :

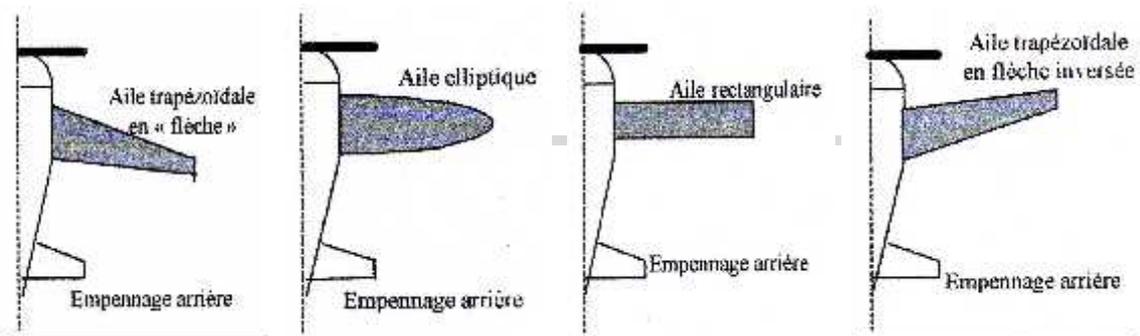
Dièdre positif : si le saumon est plus haut que l'emplanture.

Dièdre négatif : dans le cas contraire, donc le saumon est plus bas que l'emplanture

c) Les différentes formes des ailes

Les ailes des avions peuvent prendre des formes très différentes en fonction des performances demandées à l'aéronef : vitesse de croisière, altitude de croisière, masse de l'appareil, comme l'aile rectangulaire, l'aile trapézoïdale, l'aile elliptique et l'aile gothique

LONGITUDINAUX: FORMULE CLASSIQUE



PLANS LONGITUDINAUX: FORMULE « CANARD »

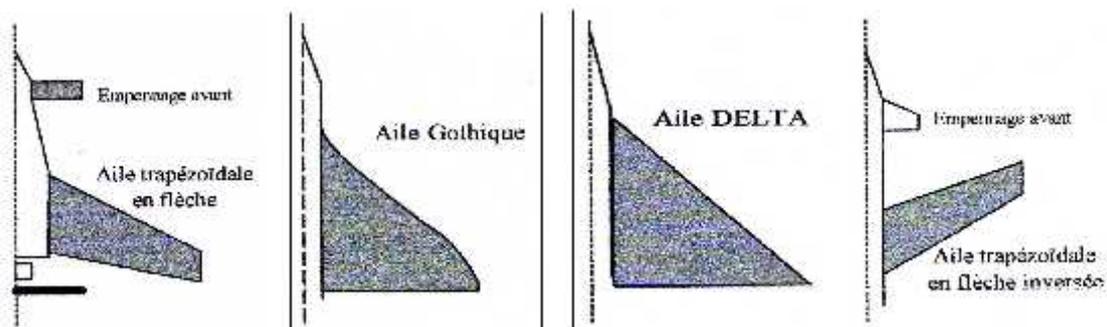


Figure (I-12) Les différentes formes d'ailes

6 / FUSELAGE

Fuselage est à la fois un organe de liaison entre les ailes et les empennages, et un organe de transport qui contient le poste de pilotage et la cabine aménagée pour les passagers ou le fret. En vu de face, le fuselage peut être de section ronde, ovale, carrée, etc....

Qu'il soit en bois ou en métal, il toujours constitué de longerons, poutres maître assurant la rigidité de l'assemblage, de lisses, poutrelles ou baguettes plus fines, et de cadres ou couples donnant la forme de la section.

Le plus grand couple formant la plus grande section ; la partie la plus large ; est dit maître couple. Le dessus est le dos, et le dessous est le ventre du fuselage



Figure (I-13.a) Structure en bois



Figure (I-13.b) Structure métallique

La figure **(I-13.a)** montre un fuselage construit en bois où ses différents composants sont assemblés par collage, généralement dans ce type d'avion le revêtement est assuré par un entoilage, ce dernier est un tissu utilisé comme couverture.

La figure **(I-13.b)** montre un fuselage métallique dont ses composants sont assemblés par vis et écrou et le revêtement est généralement fait en tôle d'aluminium, cette structure est plus solide, résistante et aussi lourde que la première.

Tout les avions modernes, y compris les avions légers, sont à conduite intérieure, l'accès au cockpit ayant lieu par une ou plusieurs portes latérales ou par une verrière dôme plexi-glass constituant en même temps le toit de l'habitacle, dont le système est multiple :

- ▣ Verrière coulissante
- ▣ Verrière à deux portières souvent latéralement

7/ EMPENNAGES

L'empennage désigne la queue de l'avion, sa fonction principale est de supporter deux des trois ensembles de gouvernes de l'avion ainsi qu'il sert à stabiliser la trajectoire de l'aéronef. Voir figure ci-dessous .

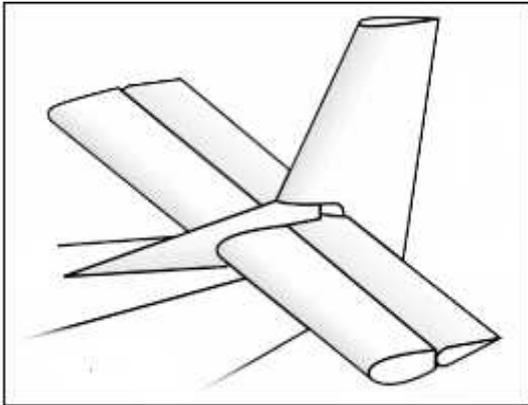


Figure (I-14) Description des empennages

Empennage vertical : qui est Toujours ancré sur l'arrière du fuselage et se compose d'un plan fixe (dérive) et de la gouverne de "symétrie/direction".

Empennage horizontal : Souvent ancré sur l'arrière du fuselage, il l'est quelquefois sur l'empennage vertical et dans ce cas on parlera d'empennage (au singulier).

Il existe différentes géométries possibles similaires à leurs analogue les ailes, et celons leurs implantation l'empennage est également différencier en plusieurs catégories dont voici les principales :

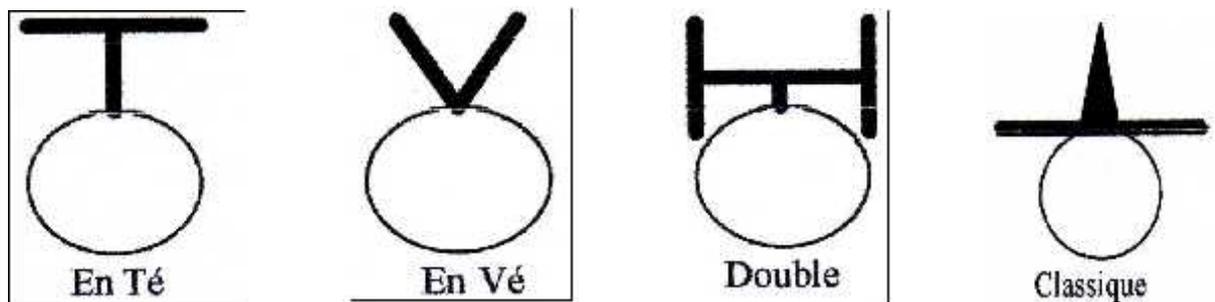


Figure (I-15) Les différentes types des empennages

L'empennage le plus utilisé et le plus fréquents dans n'importe qu'elle conceptions est l'empennage classique et en Té.

8/ LES GOUVERNES

Une gouverne est une surface mobile, située à l'extérieur sur certains éléments de Structure (Voilure, Empennages), et permettant d'en modifier la forme dans le but de créer les forces nécessaires pour modifier l'attitude de l'avion. Les gouvernes sont :

La gouverne de profondeur : Elle est située sur l'empennage horizontal et elle permet le contrôle en tangage (modification de l'assiette)

Les ailerons : Ils sont situés à l'extrémité de chaque aile. Ils permettent le contrôle en roulis (modification de l'inclinaison)

La gouverne de symétrie/direction : Elle est située sur l'empennage vertical et elle permet le contrôle en lacet.

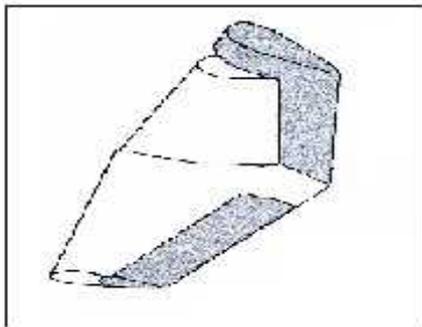


Figure (I-16.a) Disposition de la gouverne de profondeur et de direction

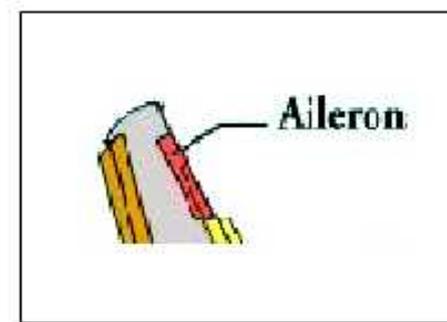


figure (I-16.b) Disposition des ailerons

9/ LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS

Lors des phases d'approche et de décollage un avion doit disposer d'une portance optimale. Car au décollage l'avion doit pouvoir quitter le sol et s'élever le plus rapidement possible donc il lui faut une bonne portance et une faible traînée. Alors qu'à l'atterrissage, il s'agit de se poser avec la vitesse la plus faible possible ce qui impose la portance la plus grande possible. Les dispositifs hypersustentateurs sont deux sortes :

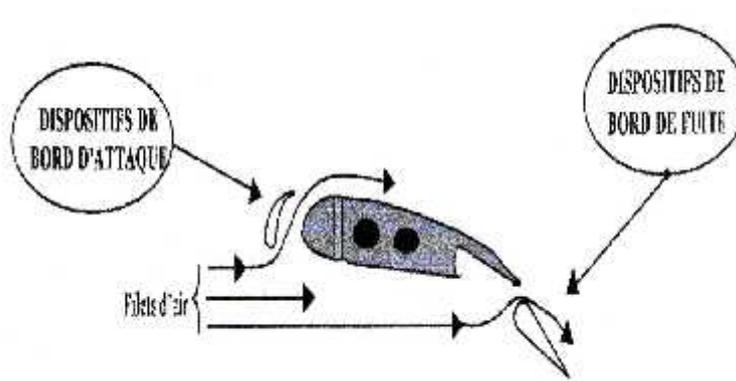


Figure (I-17) Les dispositifs hypersustentateurs

9.1/ les volets :

Se sont des gouvernes aérodynamiques qui utilisent les réactions de l'air, constituées comme les autres gouvernes, de volets mobiles articulés sur des charnières. Leurs braquages ne modifie pas l'assiette de l'avion autant qu'un aileron ou un gouvernail de profondeur donc il engendre toutefois un couple piqueur, mais change le caractère aérodynamique habituel de l'aile en créant une portance supplémentaire.

Les volets permettant ainsi de voler à un angle d'attaque plus grand, donc à vitesse plus faible ce qui facilite l'atterrissage et braqués à un moindre degré, facilite le décollage pour les mêmes raisons. Les principaux systèmes sont :

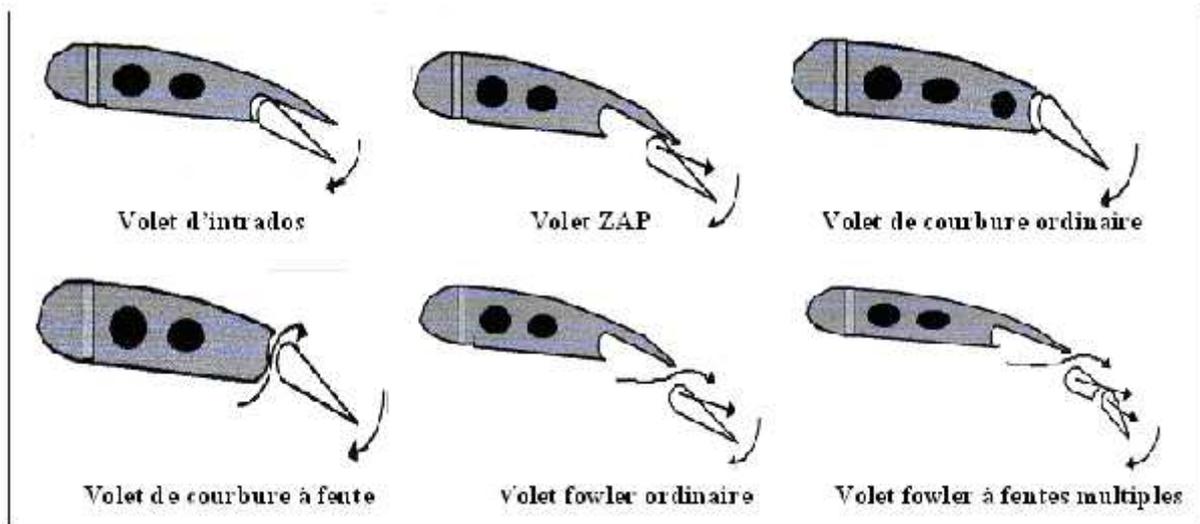


Figure (I-18) Les types des dispositifs bord de fuite

9.2/ Les becs :

Se sont des dispositifs amovibles sur le bord de fuite, les becs jouent le même rôle que les volets mais ils n'interviennent qu'au vol au deuxième régime pour retarder le décrochage, donc les becs représentent un remède au décrochage. Ces systèmes sont :

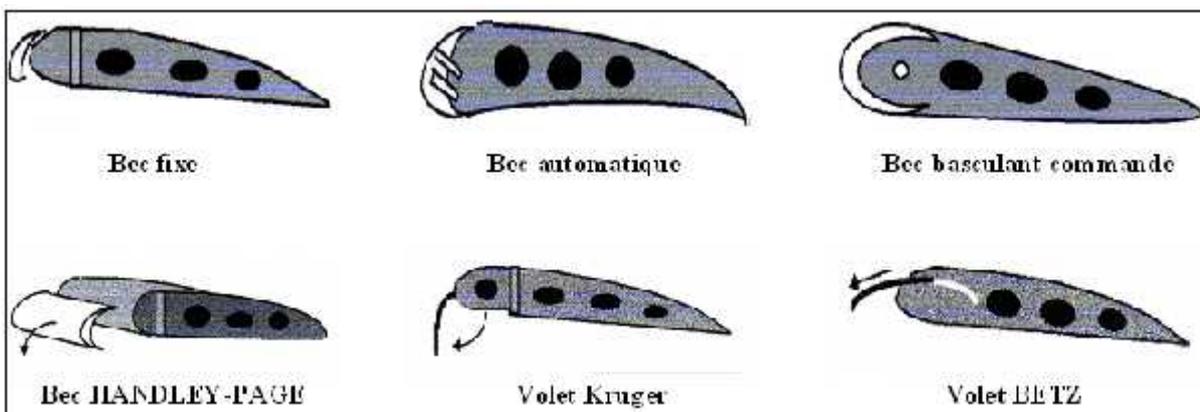


Figure (I-19) Les types des dispositifs bord d'attaque

Les Winglets :

Ce sont de petites extensions verticales fixées à l'extrémité de l'aile dans le but d'apporter une réduction de trainée en essayant de limiter les tourbillons d'extrémité de voilure, qui sont dus à la rencontre entre les 2 flux d'air d'extrados et intrados, dont les pressions sont différentes (tourbillons marginaux).

10/ LES COMMANDES

a) Les axes du mouvement

Un avion pouvant se déplacer dans l'espace, son mouvement autour de son centre de gravité peut se décrire selon 3 axes :

- ✚ **l'axe de tangage** : axe passant par le bout des ailes
- ✚ **l'axe de roulis** : axe longitudinal de l'avion
- ✚ **l'axe de lacet** : axe perpendiculaire au plan des ailes

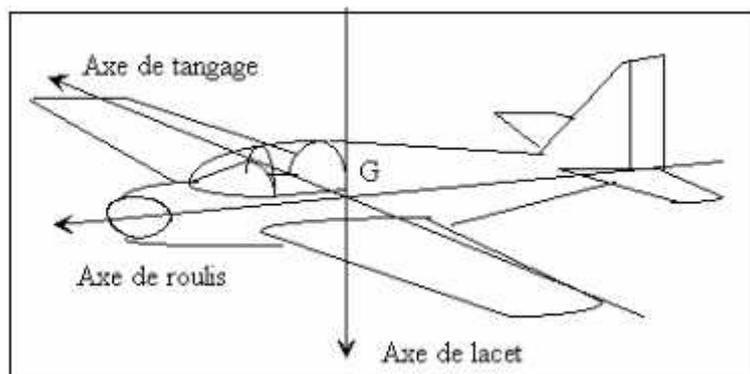


Figure (I-20) Les axes du mouvement

La stabilité propre est assurée par les plans fixes de la voilure et des empennages

* **La stabilité longitudinale** : assure la stabilité de l'avion suivant l'axe de tangage, elle est assurée par le plan fixe horizontal dit stabilisateur, cette stabilité est améliorée par certain profil d'aile.

* **La stabilité transversale** : assure stabilité de l'avion suivant l'axe de roulis, elle est assurée par les ailes et elle améliorée par le dièdre.

* **La stabilité de route** : c'est la stabilité de l'avion sur l'axe de lacet, elle est assurée par le dièdre et elle est améliorée par la flèche de route et par la dérive en flèche

Les commandes sont des leviers destinés à actionner les gouvernes situés au poste de pilotage. Elles sont en nombre de trois réunies en deux :

✚ Le manche à balai

✚ Le palonnier

a) Le manche à balai:

C'est un levier qui comprend deux commandes en une seule : la première est actionnée longitudinalement d'avant en arrière, et commande le gouvernail de profondeur tandis que la deuxième est actionnée latéralement de gauche à droite, et commande les ailerons.

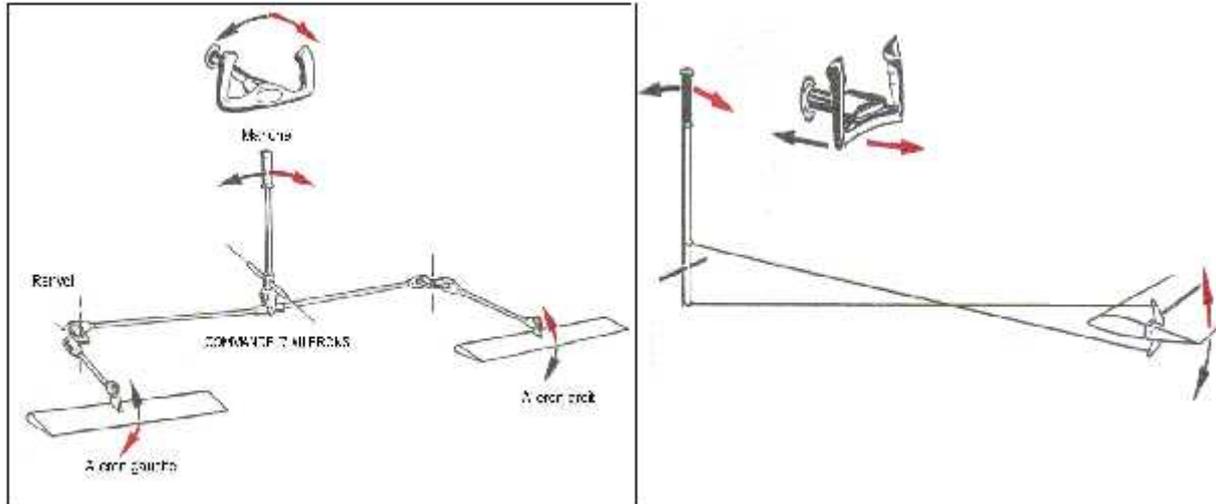


Figure (I-21) Description d'un manche à balai

Le manche est remplacé par un volant sur tous les gros avions, et de plus en plus, sur les avions légers. Le volant peut se tirer et se pousser, mais au lieu de se mouvoir de droite à gauche comme le manche, il se tourne comme un volant d'automobile, mais seulement d'un quart de tour. C'est la raison pour laquelle ; c'est la raison pour laquelle il affecte des formes diverses allant de la demi-circonférence au rectangle.

b) Le palonnier :

Le palonnier est constitué d'une pièce de bois axée en son milieu, il est fixé devant les pieds du pilote, et peut être poussé à gauche ou à droite.

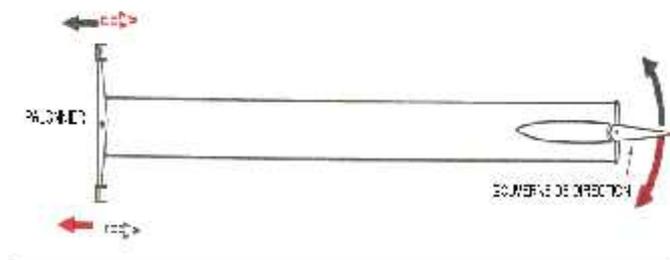


Figure (I-22) Un palonnier en fonctionnement

Actuellement, le palonnier est remplacé par un système de pédales, mais a conservé son nom d'origine. Le palonnier, poussé à droite ou à gauche par les pieds du pilote, commande le gouvernail de direction.

11/ LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

Le train d'atterrissage est destiné à permettre les manœuvres au sol roulage et à assurer le décollage et l'atterrissage. En vol, il présente une traînée importante qui peut être limitée par des carénages de roues sur atterrisseurs fixes, ou supprimée par un système d'escamotage ou train rentrant. Lors de la rentrée du train le centre de gravité se déplace.

❖ Le train d'atterrissage classique

Il se compose d'un train principal et d'une roulette de queue. Simple et robuste, lorsqu'il est au sol l'avion est incliné en arrière. Les avions possédant ce type d'atterrisseurs sont plus difficiles à poser. Il présente un angle de garde d'environ 20° ce qui évite la mise en "pylône".

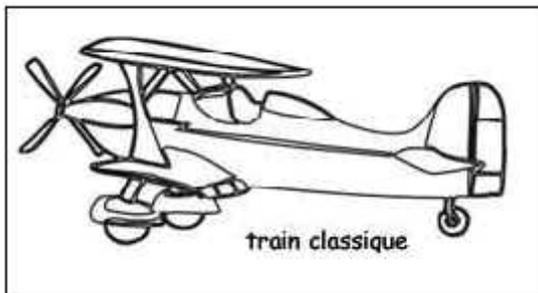


Figure (I-23.a) Disposition des roues du train classique

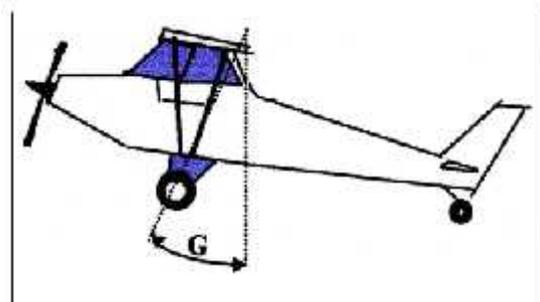


Figure (I-23.b) Présentation de l'angle de garde

❖ Le train d'atterrissage tricycle

Il est constitué de deux jambes de train principal et d'une roulette de nez. Ce type de train est très courant, aussi bien pour les petits que les gros avions. L'avion au sol est toujours horizontal ce qui facilite nettement les manœuvres car la visibilité vers l'avant est dégagée. L'angle de garde d'environ 15° évite le basculement sur la queue. L'angle de déport évite la casse de la roulette de nez lors d'une rencontre avec un obstacle au roulage.

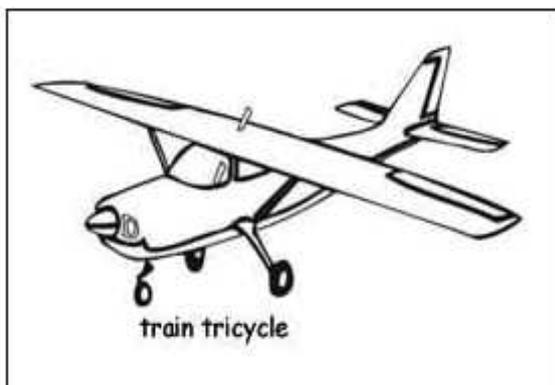


Figure (I-24.a) Disposition des roues du train tricycle

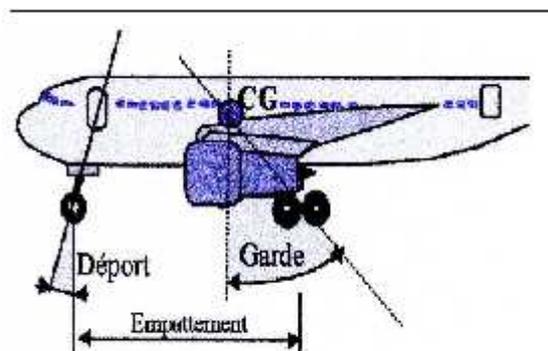


Figure (I-24 .b) Caractéristique du train tricycle

12/ LES PROPULSEURS

Les propulseurs sont des machines composées d'un moteur thermique ayant pour fonction de fournir l'énergie nécessaire à la propulsion de l'aéronef et à l'entraînement des équipements et servitudes de bord.

On distingue plusieurs types de propulseurs qui sont classés selon leur mode de fonctionnement et la disponibilité de l'hélice ou pas.

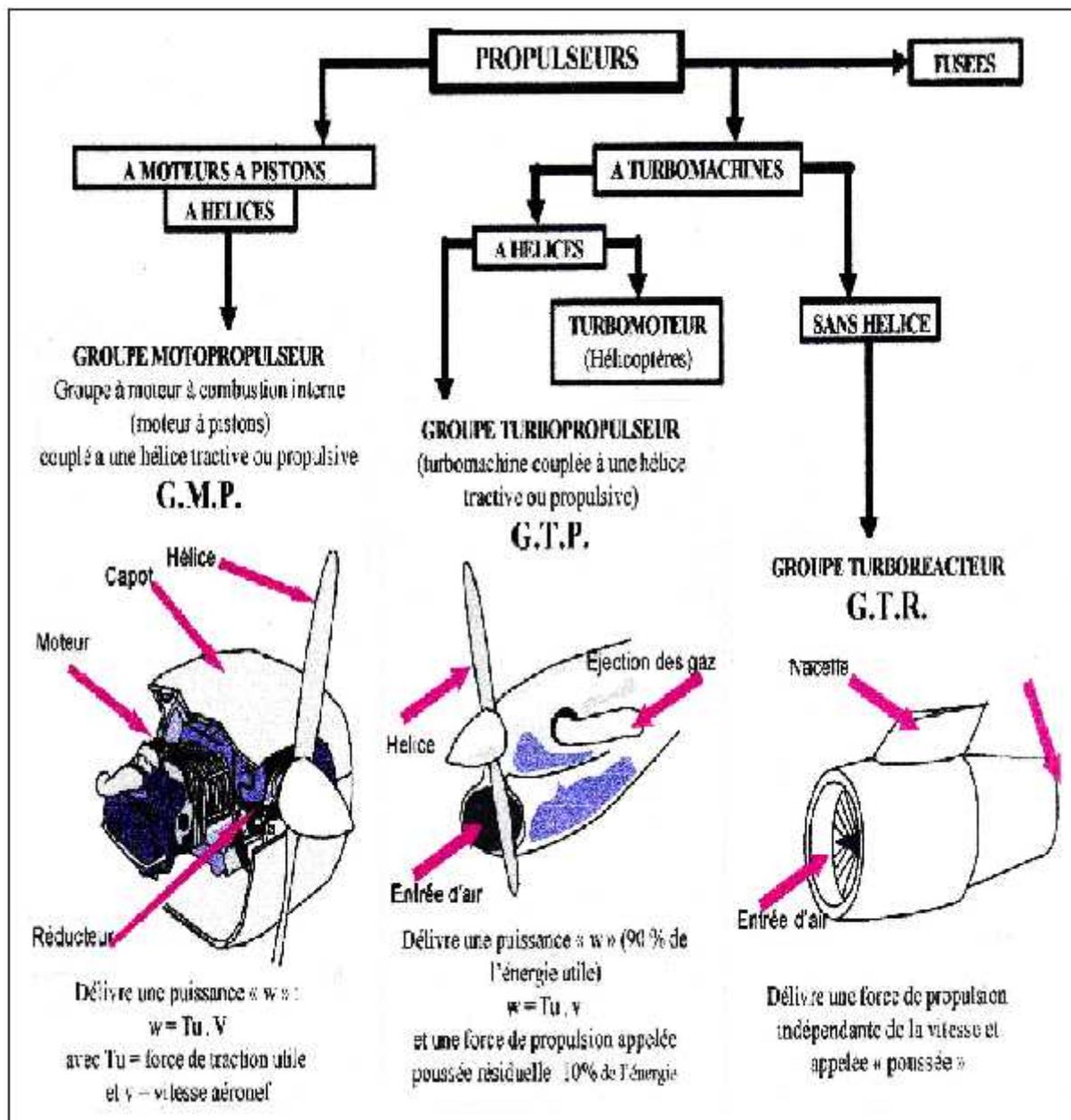


Figure (I-25) Les différents types de propulseurs

Les constructeurs amateurs adoptent les groupes motopropulseurs pour leurs configurations et conceptions des avions légers. Du fait que ces moteurs sont disponibles au marché avec des prix raisonnables et une maintenance facile à bas prix ainsi qu'une consommation modérée est disponible « essence »

Pour les *U.L.M.*, ils utilisent souvent des moteurs thermiques à deux temps très léger à fin de diminuer le poids, le bloc est réalisé par des alliages à base d'aluminium.

13/LE MOTEUR A PISTON:

Un moteur à explosion comprend de 1 à plusieurs cylindres, à l'intérieur un piston mobile se déplace sous l'effet de l'explosion des gaz, il est relié au vilebrequin par une bielle. Le vilebrequin permet de transmettre le mouvement du piston à l'arbre moteur mais aussi de faire remonter le piston dans le cylindre pour comprimer les gaz avant la combustion. Le carter en bas du moteur contient l'huile qui assure la lubrification des parties mobiles. La tête du cylindre comprend deux soupapes reliées aux pipes d'admission pour faire entrer le mélange air-carburant et aux pipes d'échappement pour évacuer les gaz brûlés.

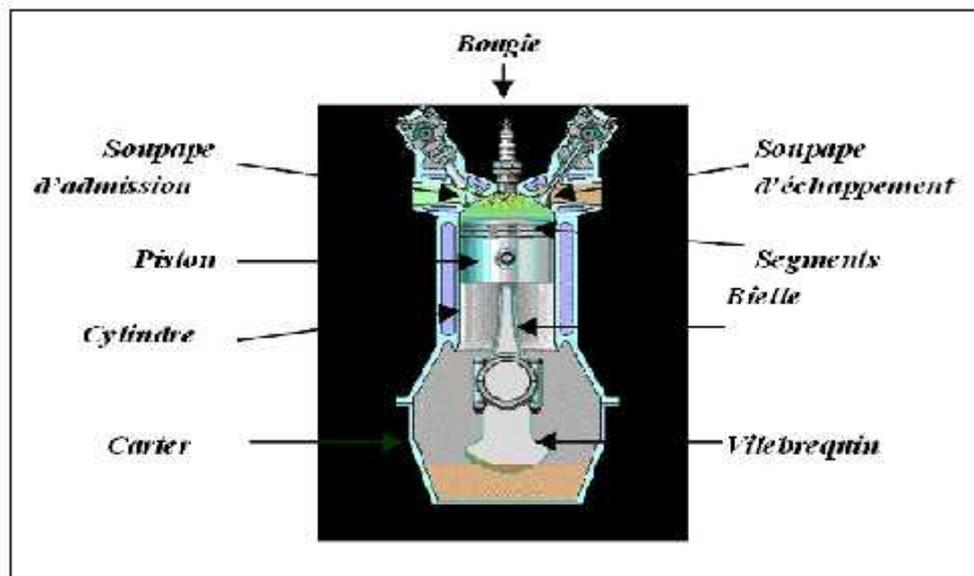


Figure (I-26) description du moteur à piston

Les cylindres peuvent être disposés de façons différentes. Les configurations les plus courantes sont les suivantes : *en ligne, en V, à plat ou en étoile.*

Le moteur à piston sert à :

- ✚ Entraîner les dispositifs de production des énergies et éléments de confort nécessaires.
- ✚ Energie électrique Alternateurs divers.
- ✚ Energie hydraulique Pompes haute pression diverses.
- ✚ Energie pneumatique Pompes à vide.
- ✚ Climatisation et pressurisation

Les premiers moteurs à piston utilisés dans l'aviation sont :

Moteur "Antoinette", Moteur "Anzani", Le Rhône, Le Liberty, Le Rolls-Royce R, Le Rolls-Royce Merlin, Le Wright Cyclone, Le Daimler-Benz DB 600-605 .

13.1/ Le fonctionnement du moteur à piston :

Le fonctionnement d'un moteur à piston se décompose en *4 temps ou phases* qui sont *l'admission, la compression, la combustion* et en fin *l'échappement*.

	<i>admission</i>	<i>compression</i>	<i>combustion</i>	<i>échappement</i>
<i>Les différentes phases de fonctionnement d'un moteur à piston</i>				
<i>Fonctionnement</i>	La soupape d'admission s'ouvre et le piston descend, aspirant le mélange air-essence	Les soupapes d'admission et d'échappement se ferment. Le piston remonte comprimant le mélange air-essence	Les deux soupapes fermées, la bougie émet une étincelle provoquant l'explosion du mélange air-essence. La pression fournit permet de faire redescendre le piston (temps moteur)	La soupape d'échappement s'ouvre et le piston remonte permettant l'évacuation des gaz brûlés que l'on retrouvera à la sortie du pot d'échappement

Tableau (I.1) : les différentes phases de du fonctionnement d'un moteur à piston

13.2 / Alimentation en carburant :

La carburation est l'élaboration du mélange air – essence avant son entrée dans les cylindres réalisée par le carburateur qui est constitué d'un réservoir de carburant muni d'un flotteur

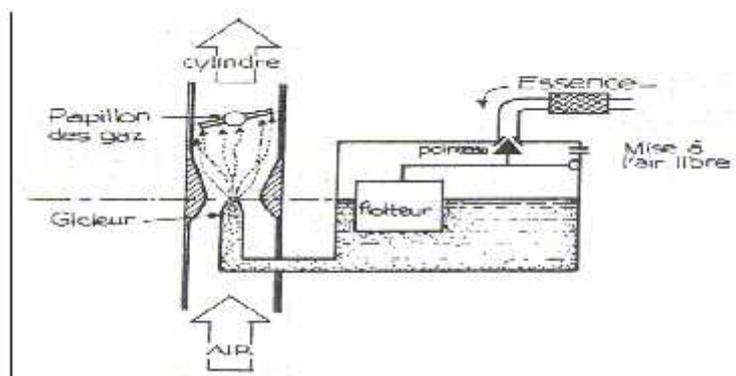


Figure (I-27) description de la carburation

Ce réservoir alimente en carburant un gicleur qui pulvérise des gouttelettes d'essence

dans l'air d'admission. La manette des gaz, reliée au papillon des gaz, permet de faire varier la pression du mélange air – essence entrant dans les cylindres.

14/ L'HELICE :

L'hélice est une pièce de bois ou de métal, destinée à transformer la rotation de l'arbre moteur en translation, autrement dit elle permet de transformer l'énergie mécanique fournie par le moteur en une force tractive ou propulsive directement utilisable par l'avion pour se déplacer.

Elle comporte essentiellement un moyeu de fixation assurant la liaison avec le vilebrequin du moteur et de deux ou plusieurs pales disposés à sa périphérie. L'hélice à un profil d'aile, avec bord d'attaque et bord de fuite Et dont les caractéristiques de son profil évoluent à partir du moyeu jusqu'à l'extrémité de la pale.

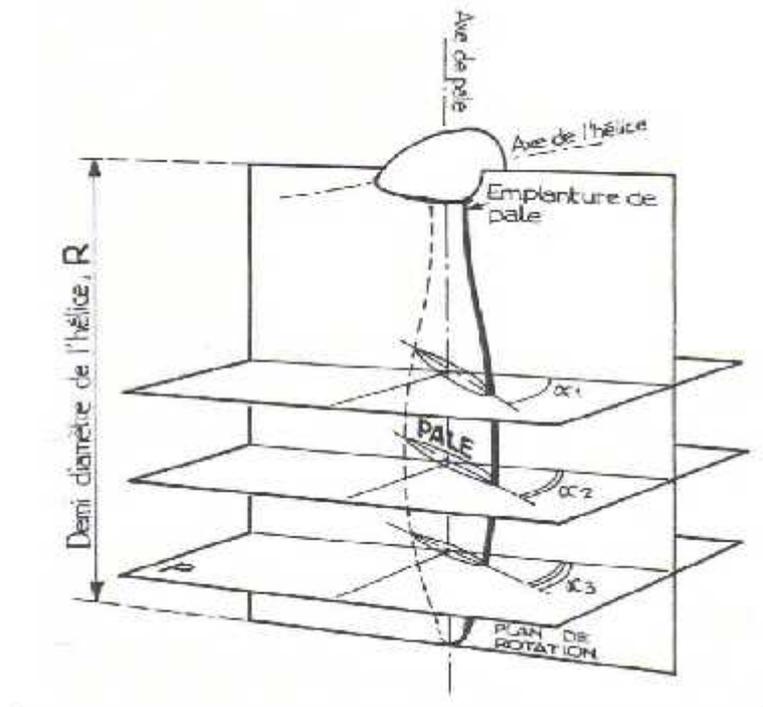


Figure (I-28) caractéristiques de l'hélice

Le pas : est la distance parcourue par l'hélice le long de son axe de rotation en un tour.

Le calage : c'est l'angle formé par la corde de l'un des profils et le plan de rotation de l'hélice. Il varie en fonction du rayon de rotation. Par convention on dira que le calage est celui du profil se situant à 70% du rayon maximum. On dit que la pale est vrillée

❖ Hélice à calage variable (ou pas variable) :

Un avion devant pouvoir évoluer sur une plage de vitesses assez étendue, il est nécessaire de faire varier l'angle de calage des pales de l'hélice afin de maintenir le régime moteur optimal.

A chaque régime de vol correspondra donc un pas approprié.

- ✚ Décollage : petit pas.
- ✚ Croisière : pas plus grand et adapté au régime de vol.
- ✚ Incident ou vol à voile : drapeau.
- ✚ A l'atterrissage, après le poser des roues : revers.

❖ Hélice à calage fixe :

Sur ce type d'hélice, le calage est effectué au sol et ne varie plus en vol. Cette solution simple a mit en œuvre présente deux inconvénients à savoir :

- ✚ Le rendement n'est correct qu'à une vitesse donnée
- ✚ Le moteur subit des sous régimes et des sur régimes

En effet au cours du vol, la plage de vitesses de l'avion est grande alors que la plage des vitesses de rotation de l'hélice est faible, le vent relatif avion varie en intensité entraînant une variation importante du VR dans son attaque angulaire d'hélice et de l'angle d'incidence des pales et donc un rapport traction / traînée inadapté dans beaucoup de plages du vol. La solution généralement adoptée consiste à caler l'hélice en utilisation intermédiaire.

❖ Fonctionnement :

Le fonctionnement de l'hélice est tout à fait analogue à celui d'une aile d'avion. Le vent relatif **VR** issu du déplacement de l'avion donc *la vitesse avion* et de la rotation de l'hélice qui représente *la vitesse de rotation* ; crée sur chaque pôle une force aérodynamique **F** qui se décompose en :

- ✚ En traction **FT**
- ✚ En traînée **FR**

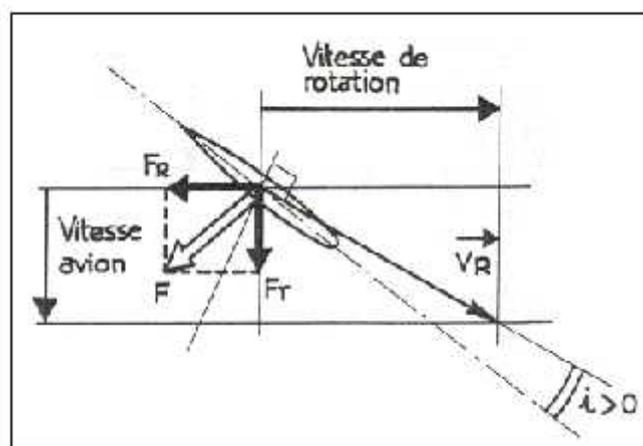


Figure (I-29) les forces que subie une pale d'hélice

De même que pour une aile d'avion, la valeur et l'orientation de la résultante aérodynamique dépendent de l'angle d'incidence.

CHAPITRE II

LA CONSTRUCTION AERONAUTIQUE

AMATEURS

1/ CONTRAINTES ET CHARGES APPLIQUEES SUR UN AVION

Aux cours des évolutions de l'avion au sol ou dans l'air, il subit des forces d'origine aérodynamique, vibration et poids et supporte les effets des accélérations engendrées par les changements de trajectoire. Les différentes parties de la structure et notamment les ailes et le fuselage sont soumis à des contraintes de nature variées :

- ▣ La traction
- ▣ La compression
- ▣ La flexion
- ▣ Le cisaillement

En vol, la portance apparaît au niveau de la voilure qui subit un effort de flexion la liaison fuselage/voilure, correspond à l'équilibre poids-portance. Voir figure (II.1.a) et figure (II.1.b).

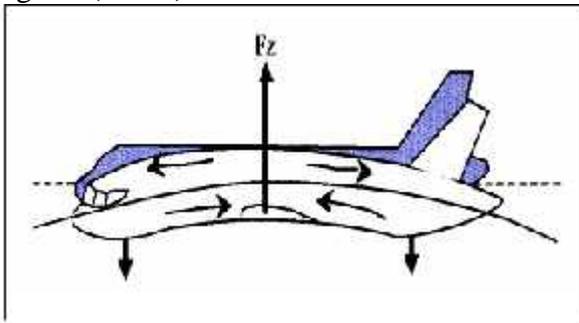
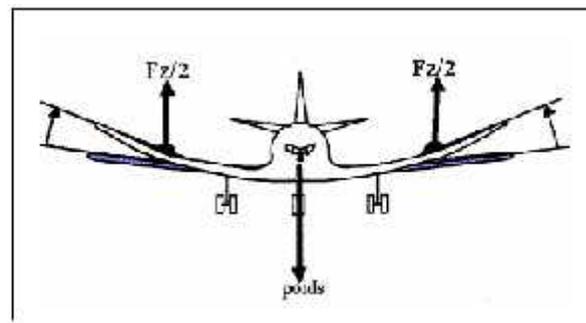


Figure (II-1.b) Le fléchissement du fuselage



Figure(II-1.a) Le fléchissement des ailes

La traction liée au moteur est transmise au fuselage par le bâti moteur ou les mats réacteur. Cette liaison correspond à l'équilibre traction-trainée, l'aile subit une flexion, mais les parties du fuselage en compression et en traction sont fonction de la position des propulseurs. Voir figure (II-2.a) et figure (II-2.b).

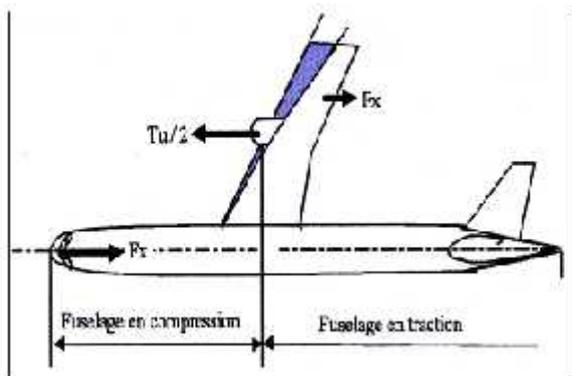


Figure (II-2.a) Les charges subies par l'avion lors que les propulseurs sont placés sous l'aile

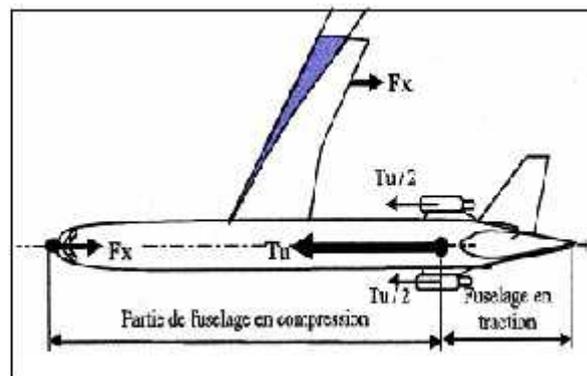


Figure (II-2.b) Les charges subies par l'avion lors que les propulseurs sont placés dans l'arrière du fuselage

Le train d'atterrissage doit supporter l'impact sur le sol et les différents rivets subissent des contraintes en cisaillement.

2/ MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Chaque matériaux à un comportement spécifique vis-à-vis des contraintes c'est pour quoi que la résistance des matériaux joue un rôle primordiale dans la construction aéronautique du fait qu'elle permet un dimensionnement optimal de chaque élément de l'avion en fonction de la où des contraintes qu'il aura à supporter.

Aujourd'hui, grâce aux progrès dans la connaissance des matériaux et les moyens de calcul et de modélisation des structures, les pièces mécaniques sont de plus en plus fiables.

Historiquement le premier matériau de construction utilisé en aéronautique fut le bois, il est encore utilisé dans l'aviation légère. Ce bois doit être sans défauts : nœuds, vermoulures, fibres torsées gerçures, et bien secs.

La réglementation impose que ces bois soit visés et contrôlés par les autorités en vigueur. Il est cependant possible d'utiliser des bois de **2me** choix pour les pièces n'ayant pas une fonction maîtresse.

Les essences sont choisies en fonction de leurs caractéristiques :

- 🚩 Pièces maîtresses : Spruce et Epicéa.
- 🚩 Pièces secondaires : Sapin et Pin d'Orégon.
- 🚩 Patins, fixation de trains : Frêne et Hêtre.

Le bois est utilisé sous forme de bois plein ou de contre-plaqué. Les pièces sont assemblées par collage.

La structure du fuselage et de la voilure est recouverte par un revêtement en toile, en bois ou en tôle.

Au début de l'aviation la toile utilisé été de lin ou de coton, aujourd'hui on utilise le dacron, après mise en place, la toile est recouverte **d'un enduit de tension** destiné à la tendre. Ce type de revêtement est très sensible aux conditions météorologiques, et doit être régulièrement refait.

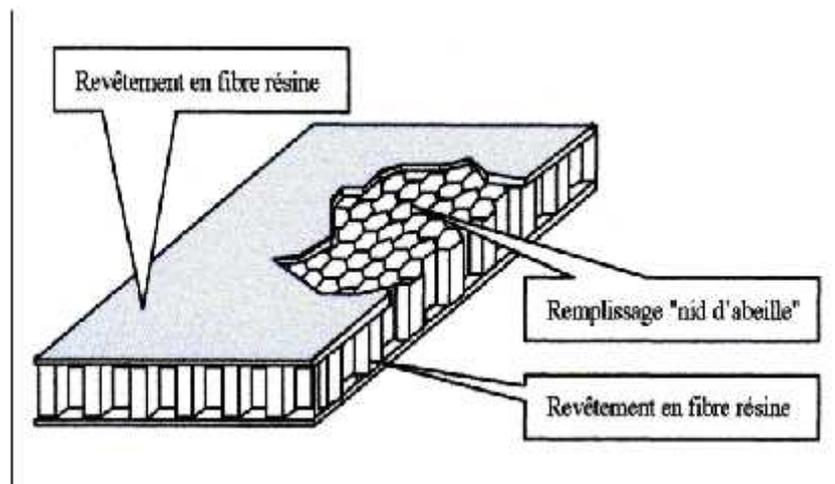
Le revêtement en bois est constitué de feuilles de contreplaqué, il est dit revêtement travaillant, parce qu'en plus de son rôle de couverture il participe à la solidité et la rigidité de l'ensemble. Ce revêtements est aussi sensibles aux conditions météorologique c'est pour quoi qu'il nécessite un entretien régulier.

L'aviation moderne utilise des revêtements en tôle mince provient d'un alliage léger, en général le **DURALUMIN**, il est aussi dit revêtement travaillant et il se compose de :

🚩 Aluminium	93%
🚩 Cuivre	5%
🚩 Magnésium	1%
🚩 Manganèse	1%

Les avions métalliques font beaucoup appel aux alliages légers pour gagner le poids, ils utilisent aussi les aciers spéciaux les plus durs pour les pièces maîtresses soumises à de grands efforts, de grandes température et à la corrosion, les principaux matériaux et alliages utilisés sont : le Zircal, le Dural-inox, les Alliages de Magnésium, Duralumin, les Alliages de Titane, le Monel et l'Alpac.

Ces quinze dernières années, les aéronautes ont basé leurs recherches sur les matériaux composites qui sont des matériaux constitués par l'assemblage de matériaux de base qui se différencient par leurs propriétés. On obtient ainsi des propriétés mécaniques et physiques de hautes performances. On distingue deux grandes catégories de ces matériaux qui sont les matériaux agglomère et les matériaux sandwich.



Figure(II-3) Matériaux sandwich

❖ Matériaux agglomères

Ils sont constitués de fibres de verre, de carbone ou de bore, liées par une "matrice" de résine organique ou d'alliage métallique, ces matériaux sont utilisés en particulier dans :

- ✚ Les revêtements de voilure
- ✚ Le revêtement pales d'hélicoptère
- ✚ Le renforcement de bord d'attaque
- ✚ Les trappes de visite

❖ Matériaux sandwich

Matériaux légers et de grandes résistances. Ils sont constitués de nid d'abeille pris entre deux feuilles fibre, résine ou métal voir figure(II-3). Ils sont notamment utilisés sans nécessité de raidisseurs, pour la réalisation d'organes à fonctions aérodynamiques comme :

- ✚ Les gouvernes
- ✚ Les pales d'hélicoptères
- ✚ Les Spoilers

3/ ELEMENTS DE STRUCTURE PRINCIPAUX

La structure de l'avion doit être capable de supporter de grandes efforts pour cela les constructeurs d'avions renforcent leurs conceptions par des éléments comme :

Les longerons ou poutres : C'est des pièces de grande longueur et de faible section. Il peut s'agir de structures homogènes ou d'assemblages complexes. Ils peuvent être en bois, en métal ou en matériaux composites. Utilisés dans la construction des fuselages et des ailes.

Les couples ou cadres : C'est des pièces de grande surface et de faible épaisseur. Elles permettent de donner leur forme aux fuselages.

Les traverses : Se sont des pièces de faible longueur et de faible section. Elles permettent de maintenir deux longerons à la distance choisie.

Les lisses : Se sont des pièces de grande longueur et de faible section. Elles permettent de fixer un revêtement.

Les nervures : Pièces de grande surface et de faible épaisseur. Comme les couples pour les fuselages, les nervures permettent de donner leur profil aux ailes.

Les entretoises et goussets : Ces pièces sont utilisées dans la construction de nervures

4/ LA STRUCTURE DU FUSELAGE

Comme la structure de l'avion doit supporter de gros efforts les constructeurs ont conçu trois types de structure à savoir :

4.1/ La structure en treillis :

Il s'agit de longerons assemblés entre eux par des traverses pour donner la forme souhaitée. Ces poutres, longerons, traverses et entretoises peuvent être en bois et dans ce cas ils seront collés, ou métalliques et là ils seront soudés, l'ensemble est revêtu en toile ou tôle très mince, donc c'est un revêtement non travaillant



Figure (II-4) La structure treillis

4.2/ La structure semi-monocoque :

Il s'agit de cadres assemblés entre eux par des longerons et agrémentés de lisses pour donner la forme souhaitée. Les cadres absorbent les efforts de torsion, les longerons ceux de flexion.



Figure (II-5) La structure semi- monocoque

Le revêtement préalablement mis en forme, est vissé ou riveté sur cette coque et participe à la transmission des efforts, donc c'est un revêtement travaillant.

4.3/ La structure monocoque :

Cette structure ne contient ni de longerons ni de lisses, cette conception consiste à fabriquer des cadres dont le revêtement est directement vissé ou riveté sur ces derniers et participe à la transmission et à l'absorption des efforts, donc il est travaillant

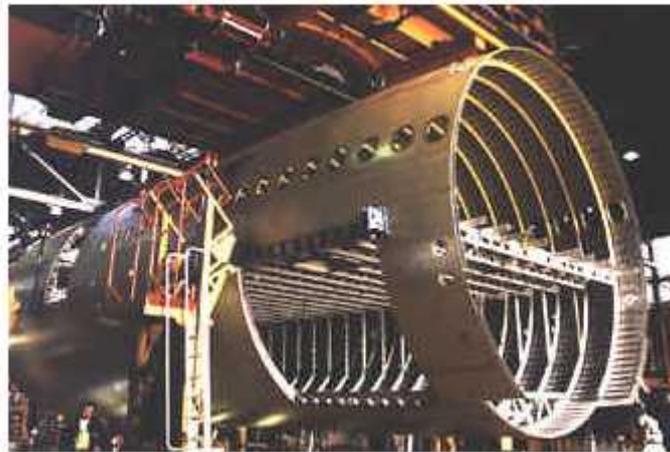


Figure (II-6) La structure monocoque

Au cours de l'évolution de la conception des fuselages, il y a eu une technique utilisée pour les constructions en bois et en toile, qui consistait à assembler des lattes de bois posées en couches diagonales croisées, ce qui permettait de créer des fuselages légers et solides c'est **la structure géodésique**. La complexité de sa réalisation, et par conséquent le coût, fait qu'elle n'est plus utilisée aujourd'hui.

La plupart des fuselages sont construits en plusieurs tronçons dont la structure est différente. Cela permet d'optimiser le poids de l'appareil en choisissant la structure en fonction des contraintes appliquées sur telle ou telle partie de fuselage.

5/ LA STRUCTURE DE L'AILE

Pour les ailes on distingue également trois structures classiques :

- La première est dite *mono longeron*, elle est surtout employée dans la construction en bois et toile ou bois et contre-plaqué. Un longeron traverse toute l'envergure de l'aile sur la partie avant et permet de la fixer au fuselage. Un faux longeron traverse l'aile dans sa partie arrière sans être fixé au fuselage. Des éléments transversaux relient les deux, qui sont des traverses ou des nervures.

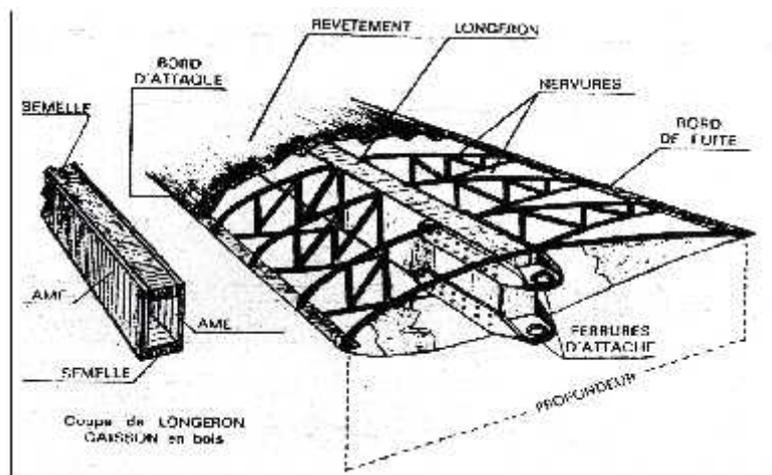


Figure (II-7) La structure mono longeron

- La deuxième est dite *multi longerons*, comme son nom l'indique l'aile présente au moins deux longerons et un certain nombre de faux longerons qui augmentent la rigidité.

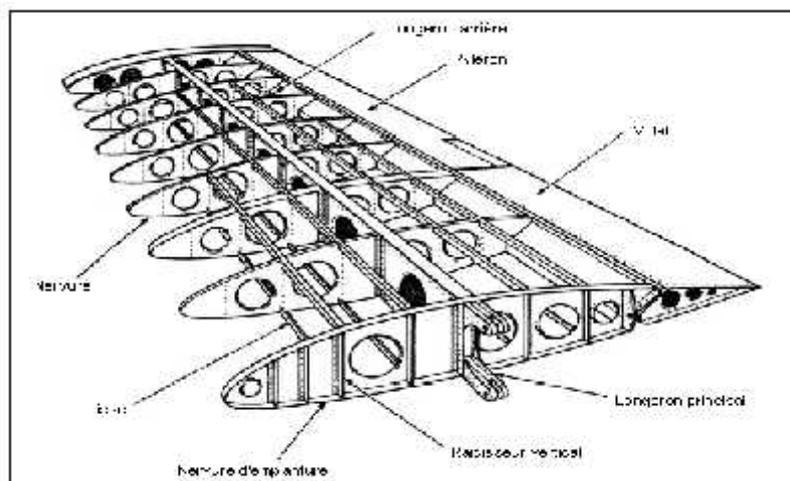


Figure (II-8) La structure multi longerons

Sur les éléments longitudinaux s'appuient de nombreuses nervures. Cela permet

d'obtenir des structures assez rigides pour construire des ailes de très grande envergure ou des ailes supportant les grandes contraintes des très grandes vitesses.

➤ La troisième structure est connue sous le nom caissons, l'aile comporte alors deux longerons, un en avant et un en arrière de la structure. Les deux longerons sont reliés par des nervures et la rigidité de l'ensemble est assurée en partie par le revêtement de l'aile.

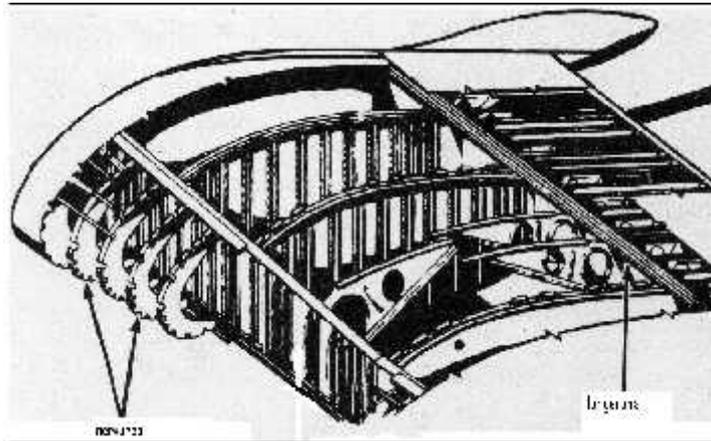


Figure (II-9) La structure caisson

Les empennages présentent exactement les mêmes structures que les ailes. Toutefois leur petite taille, comparée à celle des ailes, autorise une large utilisation de la structure mono longeron ou en caisson.

6/ TECHNIQUES ET OUTILS DE CONSTRUCTION

L'amateur au cours de sa réalisation de son avion ultra léger utilise des techniques de constructions tel que le traçage, le découpage, le perçage, le rivetage, le soudage, etc..... Ainsi qu'il aura besoin des outils pour accomplir sa mission.

6.1/ Traçage des pièces de l'avion :

Le traçage des pièces destinées à voler s'effectue à l'aide d'une pointe à tracer bien affûtée elle n'est jamais utilisée pour tracer directement sur la tôle et encore moins sur les longerons, sauf s'il s'agit d'un trait destiné au découpage.

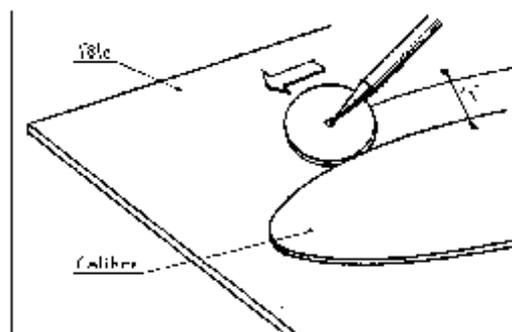


Figure (II-10) Exécution du traçage. Ref [7]

En aucun cas, la pointe à tracer n'est utilisée pour tracer les axes d'un trou de rivet

ou de boulon par exemple. Une marque de pointe à tracer issue du bord d'un trou, constitue un risque d'amorce de crique et donc, de rupture à la longue, donc le traçage de ces pièces s'effectuent à l'aide d'un crayon.

6.2/ Le découpage :

Suivant les dimensions ou l'épaisseur des tôles métalliques ou suivant la forme du découpage, différents moyens sont utilisés par l'Amateur à savoir :

❖ *Cisaille à main*

Qu'elle soit à becs droits, ou à chantourner, elle est peu apte à couper la tôle proprement. Sa coupe allonge, donc ondule légèrement le bord coupé.



Figure (II-11) La cisaille à main

On peut atténuer cet inconvénient en coupant en deux temps : une première coupe à 2 ou 3 mm du trait ; une deuxième juste au trait pour faire sauter la largeur restante.

❖ *Cisaille grignoteuse :*

Outil à main également, muni d'une lame courte et étroite entourée de 2 lames d'appui fixes. Ce type de cisaille enlève par double cisaillement une bande de 2 à 3 mm de largeur. Il donne la possibilité de découper des tôles minces avec une bonne précision et suivant des tracés curvilignes modérés

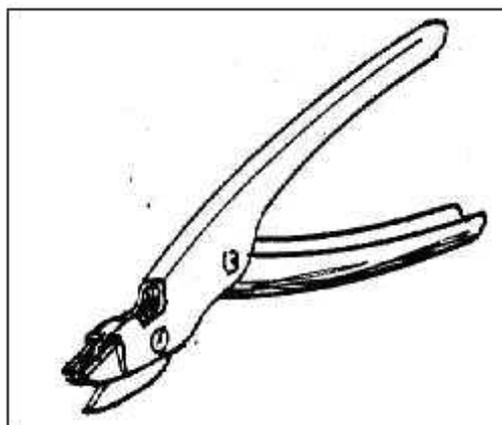


Figure (II-12) Cisaille grignoteuse. Ref [7]

On peut aussi amorcer une découpe en plein milieu d'une tôle après perçage d'un petit trou de départ et également découper des surfaces non planes comme les tubes.

❖ *Cisaille à levier*

C'est une machine mécanique à découper par cisaillement, basée sur le principe de la guillotine, elle est composée d'une lame montée sur l'axe en bordure et d'une table de l'ordre du mètre carré.

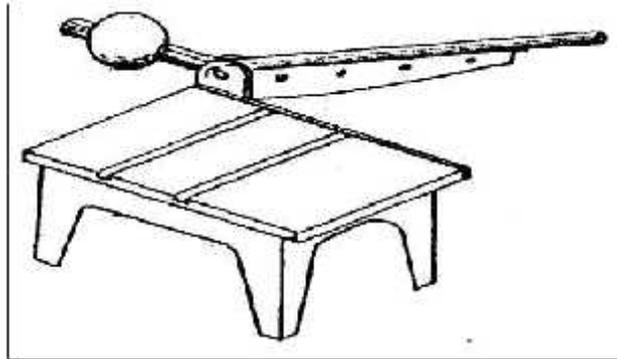


Figure (II-13) Cisaille à levier. Ref [7]

Actionnée à la main, les coupes sont donc rectilignes ce qui fait d'elle très pratique pour la coupe de tôles dont les longueurs n'excèdent pas $0,8\text{ m}$ et les épaisseurs 1 à 2 mm . La coupe est droite et propre. Elle peut être précise à condition d'empêcher le glissement de la tôle sur la table au moment de la coupe.

❖ *Scie à ruban*

Utilisée de façon extrêmement fréquente, elle est à classer parmi les outils indispensables. Cette scie est munie d'une lame pour métaux légers elle peut, en effet, si elle est bien réglée, couper les alliages d'aluminium, le bois, le bois imprégné durci, et bien d'autres matériaux. Etant donné la relative simplicité de cette machine, chaque amateur peut la construire

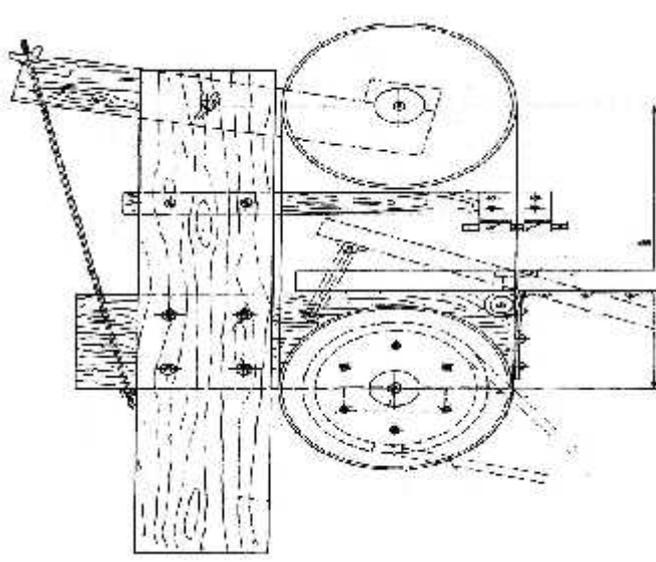


Figure (II-14) Scie à ruban construite par un amateur. Ref [7]

6.3/ Limage - Lissage des chants

Le limage est une opération de finition qui, en général, succède au découpage. Sauf cas particuliers d'amincissements locaux indiqués sur les plans, cette opération n'est jamais effectuée sur les faces d'une tôle mais seulement sur les chants. Plusieurs moyens sont possibles :

❖ *La lime*

Elle est évitée au maximum car, sur les métaux légers, elle s'encrasse très vite et provoque des rayures. On remédie à ce défaut en brossant fréquemment la lime avec une cardé et en garnissant la denture de craie. Les limes de formes rondes, demi-rondes, plates, carrées, tiers points, feuilles de sauge...etc. elles sont surtout utilisées pour les détourages relativement tourmentés.

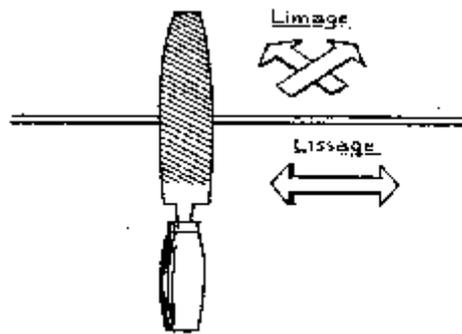


Figure (II-15) Direction de limage et de lissage. Ref [7]

Ce travail s'effectue en poussant la lime en biais et la finition toujours en "tirant de long" dans le sens longitudinal du chant à l'aide d'une lime à taille plus fine demi-douce ou douce.

❖ *Lapidaire*

C'est une machine à plateau rotatif garnie d'un disque abrasif qui fonctionne à la manière d'une meule émeri. Elle est d'un usage très pratique et lorsque l'éclairage est bien orienté, la précision d'approche du trait peut être excellente.

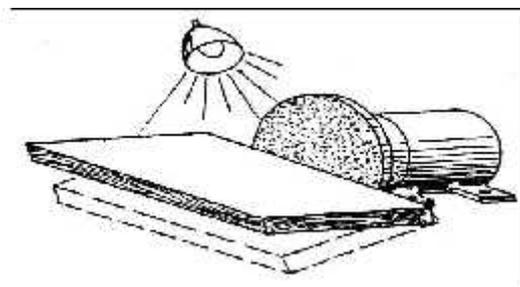


Figure (II-16) Lapidaire. Ref [7]

Etant donné que la face des disques peut être très légèrement bombée, les parties légèrement concaves, tels que les chants des semelles de longerons, se travaillent facilement.

❖ *Lissage final*

Un lissage final des chants et des arêtes est toujours effectué, soit au papier abrasif assez fin n° 360, soit à la toile émeri équivalente. Aucun chant de pièce ne reste brut de découpe ou même de limage.

Dans tous les cas, et plus particulièrement encore pour les semelles des longerons, les moindres traces, rayures, marques, sont totalement éliminées par un ponçage correct dans le sens de la longueur.

6.4/ Le pliage des tôles :

C'est de plier une feuille de métal à un angle donné et suivant une ligne droite. Il peut être effectué de diverses façons suivant la forme, la taille ou l'épaisseur de la pièce. La machine adéquate est la plieuse

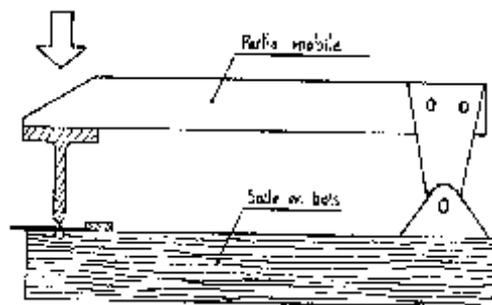


Figure (II-17) La plieuse. Ref [7]

L'Amateur possède des plieuses qui font des pliages qui n'excèdent pas 1 mètre de longueur.

❖ *Rayons de pliage minimum*

Lorsqu'une tôle est pliée sans précaution, et particulièrement sur un rayon trop faible, la partie externe du pliage se casse. Il y a formation d'une crique.

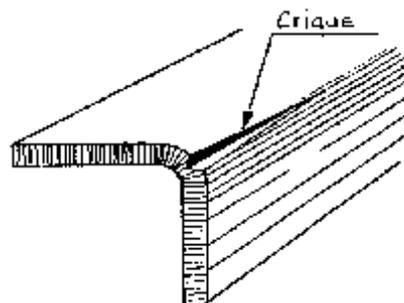


Figure (II-18) La formation d'une crique sur tôle pliée. Ref [7]

Suivant l'épaisseur de la tôle, la nature du métal ou le sens du laminage, les rayons

"R" de pliage ne sont pas inférieurs aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après, en fonction de l'épaisseur "e".

Epaisseur "e" (mm)	0,5	0,8	1	1,2	1,6	2	3	4	5
5056 ou 2017 sur trempe fraîche :	0	0	0,5e	0,5e	1e	1e	1e	1e	1e
2017 état T3 ou T4 plié parallèlement au sens du laminage	1e	2e	2,5e	3e	3,5e	4e	5e	6e	7e
2017 état T3 ou T4 plié perpendiculairement au sens du laminage :	1e	1,3e	1,5e	1,7e	2e	2,4e	3e	4e	5e
2024 état T3 ou T4	Les valeurs ci-dessus sont multipliées par 1,3								

Tableau (II-1) Rayons de pliage. Ref [7]

Ces rayons "R", valables pour un pliage à angle droit, sont diminués d'autant plus que l'angle de pliage est plus ouvert et inversement.

❖ *Exemple de pliages des pièces en aluminium 2024 T3 de 0,5 mm d'épaisseur*

La solidité de ces pièces repose en grande partie sur la rectitude du bord plié. Ce pliage s'exécute de la façon suivante :

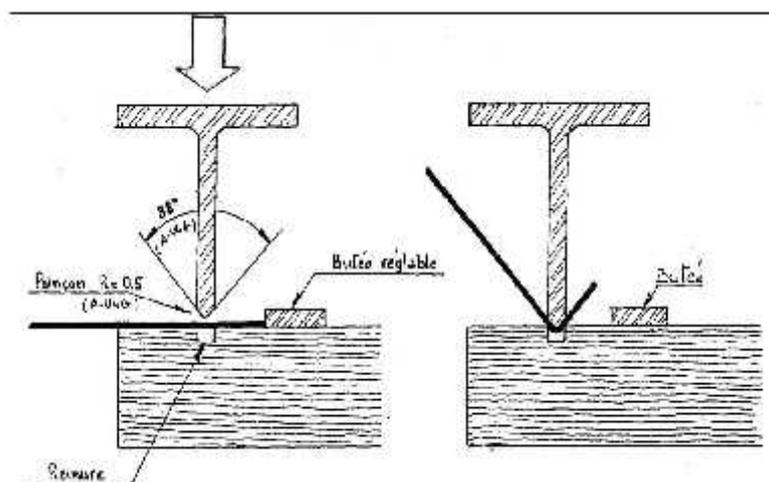


Figure (II-19) Opération du pliage sur un plaque d'aluminium. Ref [7]

6.5/ Formage des tôles :

Le formage est utilisé lorsqu'il est exigé du métal des déformations relativement importantes. C'est le cas, par exemple, des pliages curvilignes tels que les "bords tombés" de nervures nécessitent un travail de rétreint ou d'allongement.

Il existe de très nombreuses machines destinées à l'opération du formage telle que la presse à emboutir, la presse caoutchouc pour tomber les bords, martinet et mollette pour allonger le métal, machine à rétreindre, machine à border, à repousser...etc. L'amateur peut se passer de ces machines, s'il possède *un maillet*.

❖ *Rayons de pliage et précautions*

Ce sont les mêmes que ceux indiqués au "pliage". A noter cependant que tous ces travaux de formage, sont exécutés sur trempe fraîche lorsqu'il s'agit de **2017** ou **2024**. Les pièces en métal plus tendre tels que le **5056**, **5083**, **5086** ou **5754** par exemple, ne subissent pas de trempe.

❖ **Exemple de formage d'un profilé tel que celui de la bordure de cabine**

L'exécution d'une telle pièce commence par le pliage à **90°** d'une bande de **5056**. Ensuite, le bord n'est pas à rétreindre mais, au contraire, à allonger pour amener le profilé à sa courbure correcte qui est celle du fuselage vu en plan. Pour être allongé le bord horizontal est posé sur un tas plat et poli puis martelé de façon homogène à l'aide du postillon.

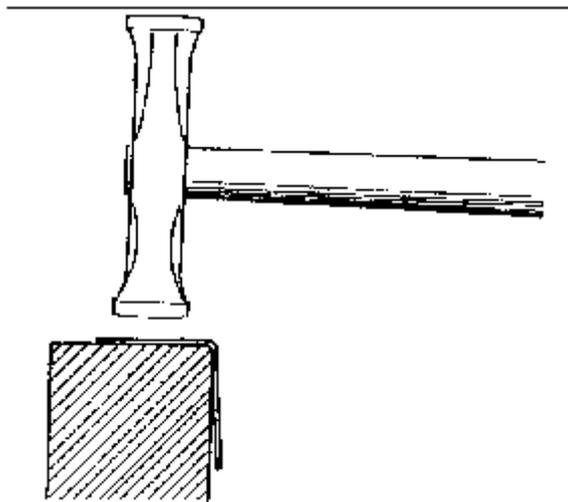


Figure (II-20) Opération du formatage. Ref [7]

Ce martelage est effectué avec prudence afin de ne pas dépasser la courbure correcte qui est contrôlée fréquemment à l'aide d'un calibre. Sinon la pince à rétreindre doit être utilisée ensuite, et non pas la pince à gauffer

6.6/ Le Cintrage des tubes :

La première réaction d'un tube qu'on essaie de cintrer est de s'aplatir à l'endroit du cintrage. Pour empêcher ce phénomène, les tubes sont maintenus soit par l'extérieur soit par l'intérieur durant l'opération de cintrage.

❖ *Cintrage à rayon constant*

Dans ce cas, une cintrreuse à galets est utilisée. Sur cette machine manuelle une extrémité du tube est solidaire du galet de forme par l'intermédiaire d'un étrier. L'enroulement de l'extrémité libre du tube sur le galet de forme est provoqué.

- Soit à l'aide d'un galet cintrreur à gorge entraîné par un levier,
- Soit par interposition d'une glissière à gorge sous le galet.

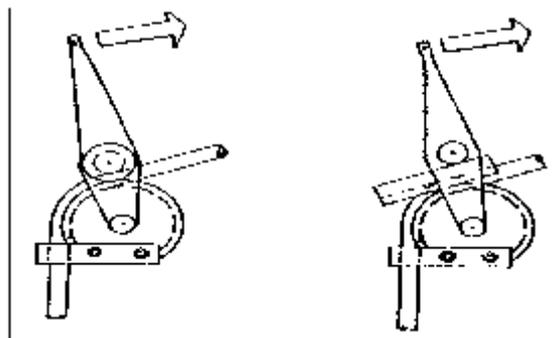


Figure (II-21) Une cintrreuse à rayon fixe. Ref [7]

Ce dernier système convient mieux au cintrage des tubes minces. Bien entendu, le diamètre des gorges est égal à celui du tube à cintrer.

❖ *Cintrage à rayon variable*

Une cintrreuse à 3 galets est utilisée dans ce cas. L'Amateur peut fabriquer un petit outillage basé sur le même principe en remplaçant les galets par des butées à gorge. Les deux butées externes sont montées sur pivots pour leur permettre de suivre le mouvement du tube. La butée centrale, coulissante, est entraînée soit par un système de vis solidaire du montage soit au moyen d'une presse.

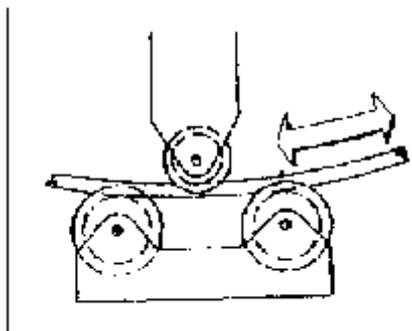


Figure (II-22.a) Cintrreuse à galets.
Ref [7]

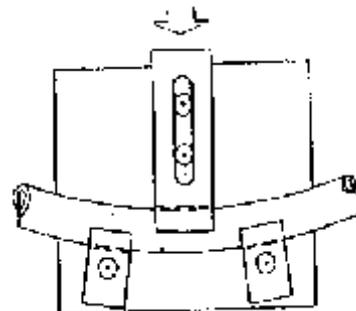


Figure (II-22.b) Cintrreuse à butées à gorge.
Ref [7]

En opérant de proche en proche, à intervalles réguliers, cet outil permet de cintrer suivant une courbure quelconque. La progression du cintrage est contrôlée à l'aide d'un tracé sur panneau ou à l'aide d'un calibre.

❖ Cintrage avec remplissage du tube

Ce procédé permet des cintrages plus accentués que ceux mentionnés plus haut. Le remplissage du tube, dont le but est de maintenir la forme par l'intérieur, est réalisé :

- 🌈 Soit par du sable fin, sec et bien tassé. Chaque extrémité du tube est obturée à l'aide d'un bouchon de bois.
- 🌈 Soit par de la résine (d'arbre) coulée à l'intérieur du tube. L'eau bouillante est utilisée comme moyen de vidange.
- 🌈 Soit par un ressort de cintrage, à spires carrées, abondamment graissé. Sa mise en place et son extraction sont assurées en faisant tourner le ressort dans le sens qui tend à diminuer son diamètre. Cette méthode permet d'obtenir des cintres fort réguliers.

❖ Rayon minimum de cintrage des tubes en 2024

Lorsqu'un tube est cintré la ligne extérieure au cintrage s'allonge, s'amincit puis finit par périr par rupture en traction. La ligne intérieure, au contraire se raccourcit, se tasse sur elle même puis finit par périr en flambage. On conçoit, dès lors, l'existence d'un rayon minimum de cintrage.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs minimales des rayons de cintrage, "à creux" c'est à dire des tubes non maintenus par l'intérieur

Rapport $\frac{D}{E} = \frac{\text{Diamètre}}{\text{Épaisseur}}$	5	10	15	20	25	30
Rayon interne de pliage R	2,5 D	4 D	5 D	7 D	10 D	15 D

Tableau (II-2) Les valeurs minimales des rayons de cintrage d'un tube en 2024. Ref [7]

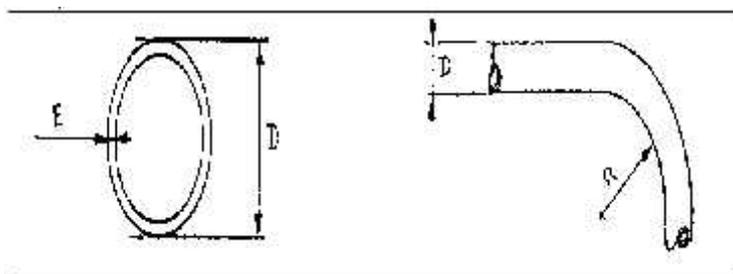


Figure (II-23) Représentation de l'épaisseur et le diamètre du tube ainsi que son rayon intérieur de cintrage. Ref [7]

6.7/ Les moyens d'assemblage :

Les moyens d'assemblage les plus utilisés jusqu'à nos jours, en construction métallique, sont probablement le rivetage et le boulonnage. Bien que structurellement pénalisants, puisqu'ils nécessitent le perçage de trous qui affaiblissent localement les éléments travaillants, ces moyens restent, malgré tout, les plus pratiques et les plus fiables surtout pour la construction Amateur.

La plupart des trous, dans la construction de notre avion, sont de diamètre inférieur ou égale à 8 mm, ce qui autorise le perçage à l'aide d'un foret. Quelques trous de diamètre **12mm** et **14 mm** nécessitent, après perçage, une finition à l'alésoir. Enfin, quelques autres, de diamètre nettement supérieur, font appel au trépan.

❖ *Trous de diamètre inférieur à 8 mm*

L'exécution d'un trou débute obligatoirement par le traçage de son emplacement à l'aide de deux traits d'axes perpendiculaires à l'aide d'un crayon fin, l'intersection des deux traits d'axes est matérialisée par un coup de pointeau bien affûté à environ 90°. Ce coup peut être rectifié, au besoin, en inclinant le pointeau dans le sens convenable lors d'une seconde frappe. Le coup de pointeau final est donné bien perpendiculairement à la surface.

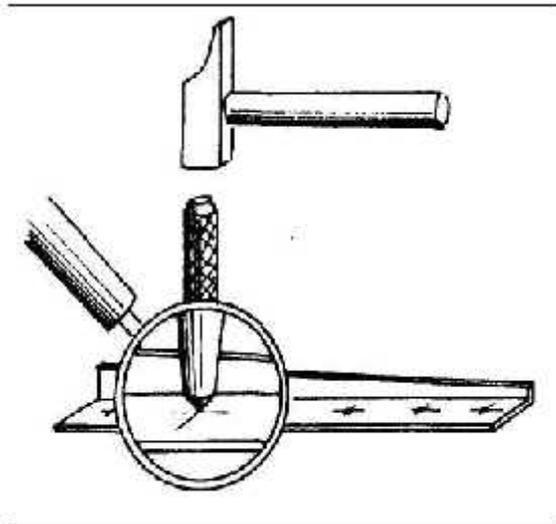


Figure (II-24.a) L'exécution d'un pointage.
Ref [7]

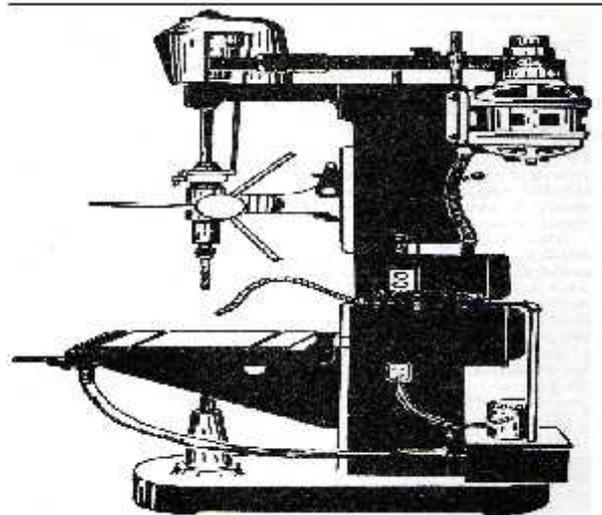


Figure (II-24.b) La perceuse à colonne.
Ref [7]

Ensuite le perçage proprement dit est effectué. Pour obtenir une bonne précision sur le diamètre et sur la position du trou, un "avant trou" de diamètre **2mm** ou **3 mm** est d'abord percé. Un tel diamètre, en effet, permet au foret de se centrer correctement à partir d'un coup de pointeau normalement marqué.

Si le trou est exécuté à l'aide d'une perceuse à colonne, la pièce est posée sur une cale de bois plane exempte de copeaux et maintenue fermement appuyée. La pression est adaptée au diamètre du foret. Elle est diminuée lorsqu'il va déboucher

❖ *Perçage des trous de diamètre 12 et 14*

Ces trous sont en général destinés à recevoir des rotules d'articulation de 3 et 4 mm d'épaisseur qui doivent s'emmancher légèrement dur. On doit donc prévoir leur finition à l'alésoir expansible à partir de trous approchés à 11,8 et 13,8 de diamètre. Le centrage doit rester correct.

Le meilleur moyen pour y parvenir est l'utilisation d'une fraise à lamer est c'est un outil qui vu de profil, peut rappeler le foret mais son extrémité est terminée par plusieurs lames radiales perpendiculaires à l'axe de l'outil et, surtout, par un téton de centrage appelé "pilote". Ce pilote est de petit diamètre (*4mm à 6 mm*).

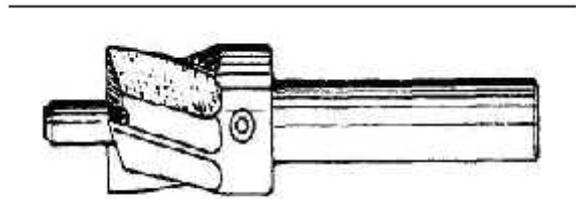


Figure (II-25) Une fraise à lamer. Ref [7]

❖ *Perçage au trépan*

Les trous de diamètre important, tels que les trous d'allégement ou les trous de logement des appareils de bord, ne sont pas réalisables au foret. Le trépan est alors utilisé. C'est un outil porte-lame à rayon variable muni d'un foret de centrage de petit diamètre de 4 à 6 mm environ.

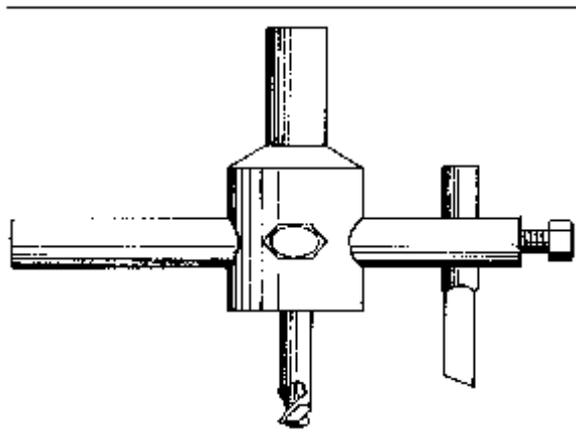


Figure (II-26) Le trépan. Ref [7]

Cet outil se monte impérativement sur une machine solide capable de lui assurer une bonne perpendicularité avec la pièce à percer et ceci malgré les vibrations quelques fois intenses occasionnées par l'outil. Une machine à percer ou au minimum une perceuse sur colonne est utilisée.

6.8/ Le rivetage :

C'est une des opérations d'assemblage les plus utilisées dans la construction aéronautique, car il présente l'avantage d'être moins encombrants et moins désaffleurant.

Il y a quelques années l'industrie aéronautique utilisait presque exclusivement des rivets en **2017** posés sur trempe fraîche. Mais aujourd'hui ils sont remplacés par des rivets en **2117**, du fait qu'il nécessite aucun traitement thermique préalable pour être écrasés à fin d'assurer leur fonction d'élément d'assemblage. Ces rivets existent en "tête plate" et en "tête fraisée".

Aussi les constructeurs utilisent fréquemment des rivets aveugles qui peuvent être mis en place sans qu'il soit nécessaire d'accéder à la face arrière. Ces rivets ne nécessitent ni marteau ni tas. De plus, ils possèdent l'avantage de pouvoir être posés par un opérateur seul à l'aide d'un outil appelé "pince à riveter", il est en général en alliage malléable **5056**

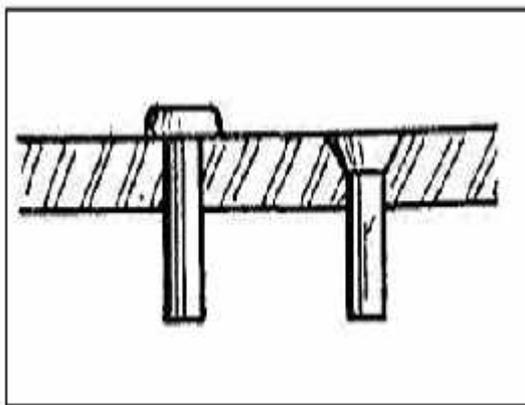


Figure (II-27.a) Rivets **2117** à tête fraisée et à tête plate. Ref [7]

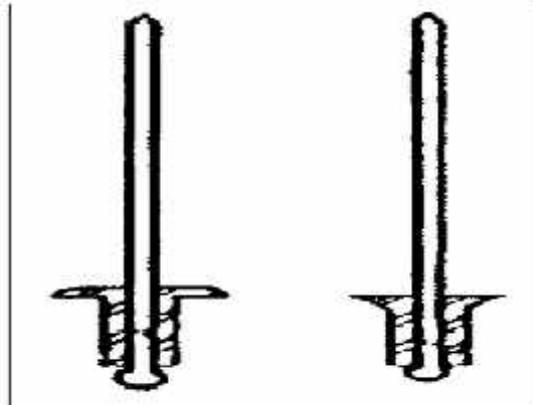


Figure (II-27.b) Rivets aveugles. Ref [7]

❖ le placement d'un rivet **2117**

Le rivet est introduit à sa place, si sa longueur est correcte, il dépasse de 1,3 fois son diamètre sur la face opposée; un peu plus même, si le trou est long car le rivet se tasse de dans avant que la tête ne commence à s'écraser.

La pièce est retournée et la tête du rivet appuyée sur tas puis à l'aide du tire rivet rond en **2017** ou en **5056**, de diamètre **8 mm** environ, percé en bout d'un trou de diamètre **3,5 mm**, un ou deux coups de marteau sont donnés pour tirer le rivet c'est-à-dire pour amener la tête parfaitement au contact de la surface inférieure

A l'aide du "jet" rond d'acier de diamètre **8mm** à **10 mm** comportant une extrémité plane et d'équerre le rivet est légèrement écrasé d'un ou deux coups de marteau, juste pour le faire gonfler un peu dans son trou.

Le rivet est tiré à nouveau pour amener, cette fois, les pièces bien au contact l'une de l'autre. L'écrasement est achevé à l'aide du jet en un minimum de coups de marteau, portés franchement.

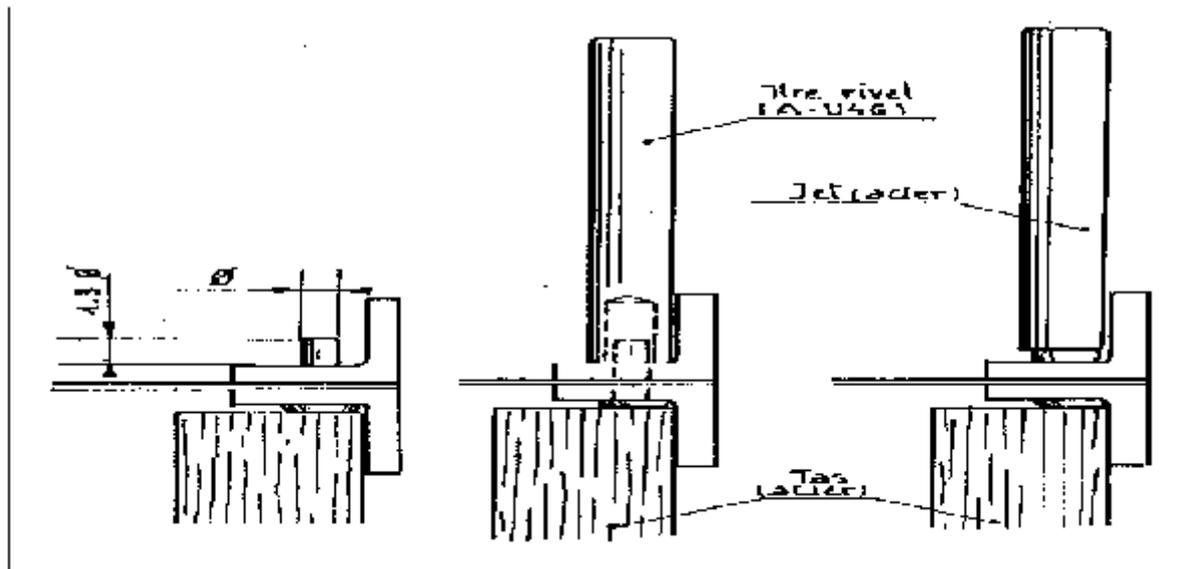


Figure (II-28) Le placement du rivet. Ref [7]

Au cours de l'écrasement, la position de la tige du rivet est surveillée. Lorsqu'elle tend à fuir d'un côté, l'attention est portée sur la position du jet, sur la façon dont est porté le coup de marteau, sur la façon dont la tête du rivet appuie sur le tas, une tête voisine peut quelquefois gêner et aussi sur la longueur de la tige qui peut être excessive.

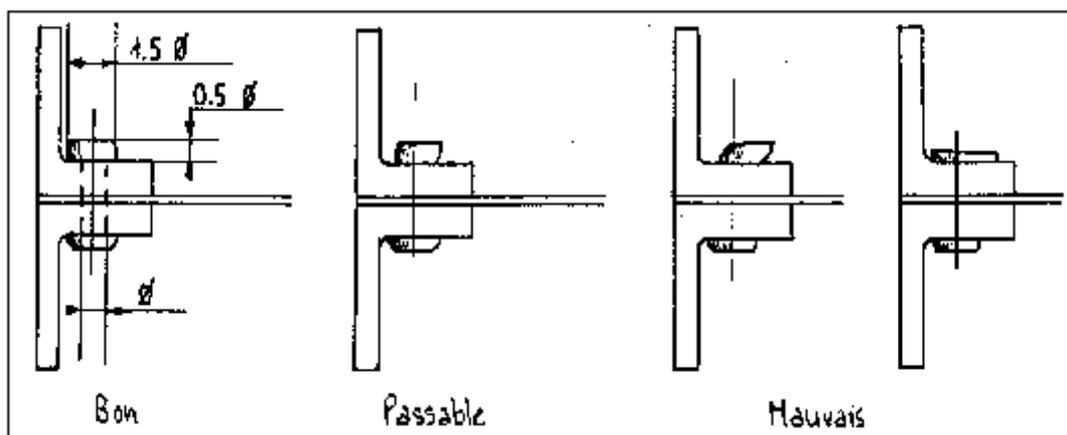


Figure (II-29) Les différents positionnements d'un rivet. Ref [7]

Une tige de rivet qui commence à "fuir" est rattrapée en inclinant le jet dans le sens convenable. Mais lorsque les conditions ci-dessus sont respectées, que tout est normalement positionné et la trajectoire du marteau correcte, le rivet n'a aucune raison de se coucher. Dans tous les cas un entrainement préalable sur des chutes est bénéfique.

❖ Remplacement d'un rivet en 2117

Lorsqu'un rivet est "loupé" il est remplacé. Pour l'enlever, un coup de pointe est donné au centre de la tête. Un trou de diamètre **3mm** ou **3,1 mm** est percé, et quand le foret atteint l'autre face de la pièce, le perçage est arrêté. Un coup de chasse pointe est donné dans le fond du trou. La partie écrasée saute et la tête est alors facilement

❖ Le placement d'un rivet aveugle

la pose de ce rivet est sensiblement plus simple que celle du précédent, bien qu'elle nécessite, malgré tout, quelques précautions.

Les rivets aveugles du type *avex* sont composés de deux parties :

🌈 Le "corps", en alliage d'aluminium dans le cas présent.

🌈 La "tige" ou "mandrin", ici en acier, qui traverse le corps du rivet. Cette tige est déterminée à une extrémité par une partie renflée et une partie étranglée fusible. L'autre extrémité, terminée en pointe est destinée à être logée dans la pince à riveter.

Le principe du rivetage est simple. Le schéma ci-dessous représente la suite des opérations de pose.

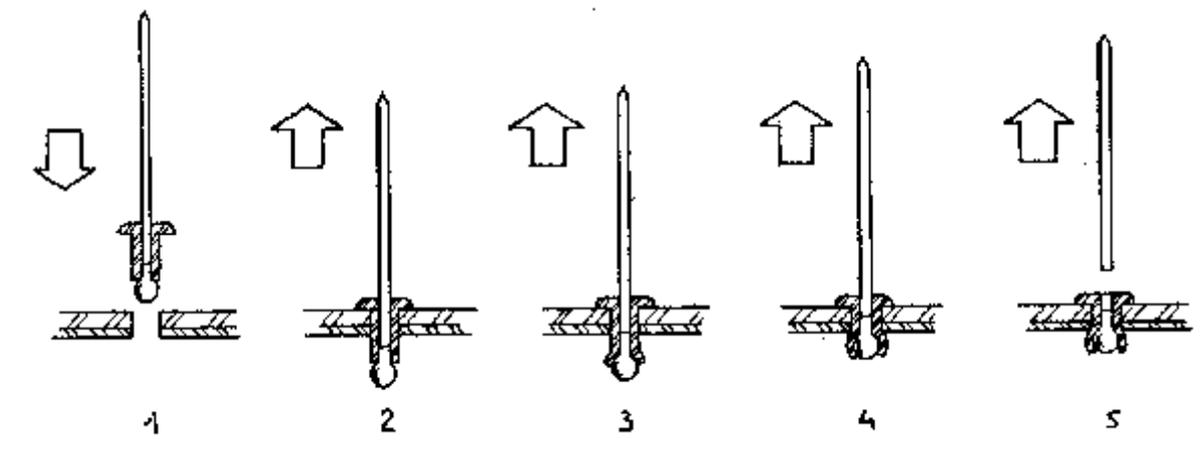


Figure (II-30) Les opérations de pose d'un rivet aveugle. Ref [7]

Le rivet est mis dans son trou, la tige est tirée vers le haut. L'extrémité renflée de la tige rentre alors dans le corps du rivet et le fait gonfler. Arrivée en butée, la tige se casse au niveau du fusible. Le serrage des tôles est alors assuré de même que le gonflement du rivet. La traction sur la tige se fait, évidemment, à l'aide d'une pince à riveter spéciale qui prend appui sur la tête du rivet afin d'exercer l'effort de traction sur la tige.

❖ Les riveteuses

Il existe de nombreux modèles de riveteuses à des prix très variables. Même les moins chères semblent capables de riveter un avion complet et même plus, comme la riveteuse à main, la riveteuse pneumatique, la riveteuse hydraulique ...etc.

6.9/ Boulonnerie :

Un boulon est un ensemble composé d'une vis filetée et d'un écrou. Les pièces à réunir sont simplement percées de trous lisses, et on obtient ainsi un assemblage économique de plusieurs pièces par pression des unes sur les autres. Pour obtenir un serrage efficace, les vis doivent être immobilisées en rotation.

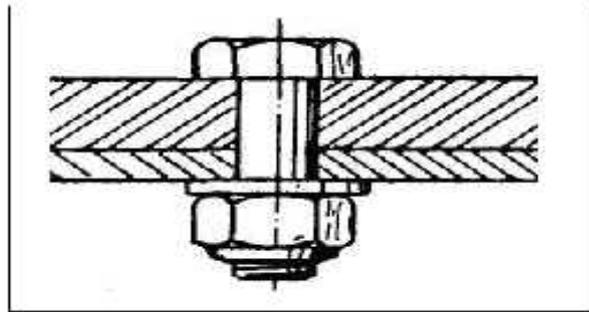


Figure (II-31) Description d'un boulonnage. Ref [7]

❖ *Visserie aéronautique*

Les vis utilisées sont de dimensions métriques et *ISO*, généralement à tête hexagonale, en acier *35 NC6* ou *35 NCD16*, ces vis sont rectifiées, donc d'un diamètre très précis pour la partie lisse. Elles sont protégées contre la corrosion et à filets roulés. Elles offrent probablement un maximum de sécurité.

Les constructeurs utilisent aussi des visseries à tête creuse de forme hexagonale qui permet de la maintenir à l'aide d'une clé appelée "Alêne", c'est têtes peuvent être de forme cylindrique vis *CHC*, forme fraisée la vis *FHC*, forme ronde la vis *ULS*...etc.

❖ *Longueur des vis*

Pour les vis à tête ronde, hexagonale ou cylindrique, la longueur est comptée à partir du dessous de la tête, et pour les vis à tête fraisée, la longueur est comptée à partir du dessus de tête.

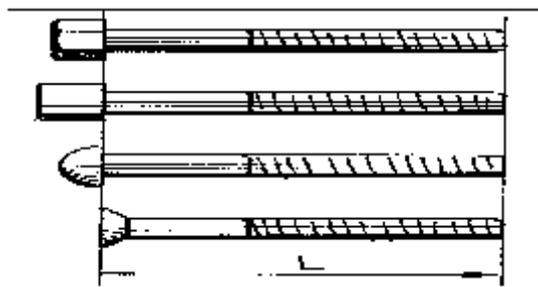


Figure (II-32) La longueur d'une vis. Ref [7]

Lorsque la vis travaille en cisaillement, la longueur de sa partie lisse doit être égale à l'épaisseur des pièces à serrer, de telle sorte que la partie filetée ne pénètre pas dans l'épaisseur de ces pièces.

❖ *Taraudage :*

Le taraudage est une opération qui consiste à exécuter un filetage à l'intérieur d'un trou. Cette opération est effectuée à l'aide d'un *taraud*. Il existe des tarauds pour acier comportant un filetage identique à celui d'une vis : autrement dit, une dent par filet. Il existe aussi des tarauds pour métaux légers, ceux-ci ne comportent qu'une dent sur deux.

Les tarauds sont vissés à l'intérieur du trou à tarauder à l'aide d'une tourne à gauche, qui est un outil muni de 2 poignées et d'une fixation centrale destinée à serrer le taraud par son extrémité. Le trou est taraudé de la même manière que pour un filetage : un demi-tour en avant, un quart de tour en arrière pour dégager les copeaux, dans la mesure du possible le taraudage est effectué en position verticale pour une meilleure évacuation des copeaux.

Le taraud est huilé durant cette opération, ainsi qu'il faut contrôler, au "feeling", le couple de vissage pour savoir jusqu'où on peut forcer sans casser le taraud dans le trou.

❖ *Écrous*

Les écrous utilisés au cours de la construction aéronautique sont des écrous freinés. On distingue plusieurs types de freinage à savoir :

➤ *Écrou auto-freiné*

Il peut être de type *Nylstop*, comportant une bague de nylon à la sortie du filetage de l'écrou, ce type d'écrou ne peut être utilisé qu'une seule fois, un dévissage étant sensé dégrader la qualité de son-freinage. Ces écrous ne sont jamais utilisés dans le compartiment moteur ou toute autre partie chaude car le nylon peut fondre et le freinage disparaît.

Il peut être, aussi, du type écrou *ovalisé*, son utilisation dans les parties chaudes est autorisée. Parmi les écrous de ce type, on peut citer le *Simloc réduit*, plus léger que les standard. Un écrou auto-freiné ne doit jamais être retaraudé, car son freinage serait définitivement détruit

➤ *Frein filet*

Il s'agit d'un collage de l'écrou, à l'aide d'un liquide anaérobique. Une goutte de ce produit est déposée sur le filetage avant pose de l'écrou, généralement on utilise le *Loctite* car il possède un éventail de résistance allant de 1 à 5 environ. Il convient donc de choisir la résistance la mieux adaptée à la fréquence de démontage de l'écrou ou la référence correspondante à la plage de température d'utilisation. Ce type de freinage n'est jamais utilisé dans les parties chaudes.

➤ *Freinage mécanique*

Il en existe de nombreux types : rondelle éventail, Grower, goupilles, rondelles rabattables, fil à freiner...etc. Ce type de freinage peut être utilisé dans les parties chaudes.

❖ *Rondelle :*

En général, une rondelle est interposée entre l'écrou et la pièce serrée, afin de ne pas blesser cette dernière. On distingue plusieurs types de rondelles mais les plus utilisées en aéronautique sont les rondelles Grower, rondelles à denture extérieure et les rondelles à denture intérieure.

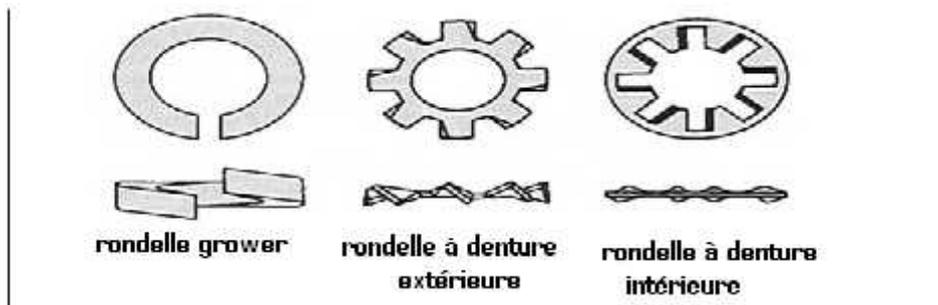


Figure (II-33) Les différents types de rondels

❖ *Serrage des vis ou des écrous*

Pour le serrage des écrous, l'utilisation des clés plates qui abîment les 6 pans est évitée lorsque cela est possible. Les clés fermées comme clés à pipe, à œil, à tube, à douille...etc. leur sont préférées.

Pour les boulons à **85 kg/mm²** avec écrous auto-freinés vissés sans graissage, les valeurs maximales ci-dessous des couples de serrage sont appliquées :

Diamètre (mm)	3	4	5	6	8
Couple de serrage	0.12	0.30	0.50	0.90	2.30

Tableau(II-3) Les valeurs des couples de serrages en fonction des diamètres des vis. Ref [7]

A défaut de clé dynamométrique, un effort **F** est appliqué à l'extrémité de la clé à l'aide d'un peson ou d'un ressort taré, tel que :

$$F (kg) = \frac{\text{couple (n.kg)}}{\text{longueur (m)}} \dots\dots\dots (II.1)$$

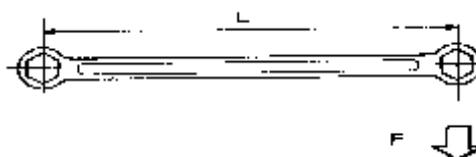


Figure (II-34) Représentation de l'effort sur la clé dynamométrique. Ref [7]

6.10/ Le soudage :

La soudure est largement utilisée dans la réparation et la fabrication d'aéronefs. Ces parties, en tant que moteur et le train d'atterrissage sont souvent fabriquées de cette manière, et de nombreux fuselage, surfaces de contrôle, des raccords, des réservoirs, etc. sont également de construction soudée.

La soudure est le processus d'adhésion à la fusion des métaux par les matières qu'il soit en plastique ou un état fondu. Il existe trois types généraux à savoir :

- 🔥 Soudage au gaz
- 🔥 Soudage à l'arc
- 🔥 Soudage électrique par résistance



Figure (II-35) Application de la soudure

Chacun de ces types de soudage a de nombreuses variantes qui sont utilisés dans la construction aéronautique.

❖ *Métallurgie du soudage :*

L'opération de soudage induit de par son apport énergétique et parfois par l'apport de métal des modifications métallurgiques au niveau du joint soudé. Ces modifications vont affecter les microstructures de la zone fondue et des zones affectées thermiquement.

De fait, le joint soudé est soumis à diverses problématiques résultant de ces modifications :

Fragilisation par l'hydrogène ; phénomène de fissuration à froid apparition de fissuration à chaud en cours de solidification ; retassures, fissuration intergranulaire tenue à la corrosion différente du métal de base ; essentiellement due aux phénomènes de ségrégation

CHAPITRE III

LA CONCEPTION DE L'ULM

1/ INTRODUCTION

Chaque réalisation est précédée par une conception assistée par ordinateur *C.A.O* à l'aide des logiciels dans le but modéliser, de concevoir et de tester virtuellement la réalisation et les outils de construction on distingue plusieurs logiciels destinés à la construction mécanique et aéronautique tel que le *solidworks*, *TopSolid*, *Pro/Engineer (PTC)*, *AutoCAD/MDT*, *Solid Edge d'UGS*, *Inventor 2D and 3D d'Autodesk.* , *CATIA* et *SpaceClaim*

Notre travail consiste a reprendre des plans d'un avion ultra léger motorisé que nous avons récupéré sur internet en faisant des rectifications et des modifications sur sa structure en utilisant l'outil *C.A.O solidworks*

Cet *U.L.M* est un multi axes doté d'une structure en treillis pour le fuselage, multi longerons pour les ailes et mono longeron pour les empennages ainsi que des trains d'atterrissages classiques. C'est un avion à faible coût de construction, et conçu pour la première fois en décembre *1998*, il a une envergure de *8,382m*, une surface alaire de *12,680491m²*, une longueur de *5.2578m*, et une hauteur de *1.93m*



Figure (III-1.a) L' *ULM* conçu en *1998*

2/ Présentation de l'outil CAO solidworks

C'est un logiciel de conception assisté par ordinateur *C.A.O*, créé en *1993* par un américain et acheté en *1997* par la société *Dassault Systemes*, et depuis ce jour le *solidworks* est toujours leader de la technologie *3D* du fait qu'il offre aux concepteurs un logiciel intuitif, performant et facile à utiliser en plus il a démontré sa fiabilité en production dans un large éventail de secteurs, en permettant aux concepteurs et aux fabricants de commercialiser plus rapidement des produits de qualité à moindre coût

Autrement dit le *solidworks* est un modéleur *3D* utilisant la conception paramétrique, il génère *3* types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plans. Ces fichiers sont en relation, c'est pour quoi que toute modification à quelque niveau que se soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

L'éditeur *SolidWorks* est complété par de nombreux types de logiciels, ainsi que des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois,...), mais aussi des applications de simulation

mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle réaliser.

3/ LA CONCEPTION DE L'U.L.M. SUR SOLIDWORKS

Les étapes de conception comportent la conception du châssis et ces éléments d'assemblages, la voilure, les gouvernes, le train d'atterrissage

3.1/ Les étapes de la conception du châssis

Le châssis est un assemblage mécanique à partir des tubes d'aluminium de section ($60\text{mm} \times 60\text{mm}$) et d'une épaisseur garantissant une marge de résistance aux efforts $e = 2\text{ mm}$, de différents goussets d'assemblage en aluminium d'une épaisseur de 4mm ainsi que les vis mécanique à écrou frein.

La reprise du plan pour notre conception sur solidworks à débutée par le dessin d'esquisse du châssis où on a reporté toutes les dimensions et corrigé les erreurs sur plan (longueurs et angles) selon la conception du châssis.

3.1.1/ les tubes

Après avoir lancé le logiciel SolidWorks. On crée un nouveau document pièce en cliquant sur les icônes nouveaux et pièces , on sélectionne le Plan de face , et on ouvre une esquisse , on obtient un plan pareil a celui du dessin (1) de la figure (III-3).

Maintenant on commence notre dessin par deux rectangles concentriques dont la distance entre eux est de 2mm en cliquant sur l'icône  et le coter selon les dimensions données ($60\text{mm} \times 60\text{mm}$) en utilisant l'icône  on obtient le dessin (2) de la figure (III-3) On génère le volume en extrudant l'esquisse avec ajout de matière  sur les longueurs correspondantes à chaque élément du chassiss, et on obtient le tube du dessin (3) de la figure (III-2), et à la fin on choisit le matériau aluminium de référence **T 6061** dans l'onglette matériaux

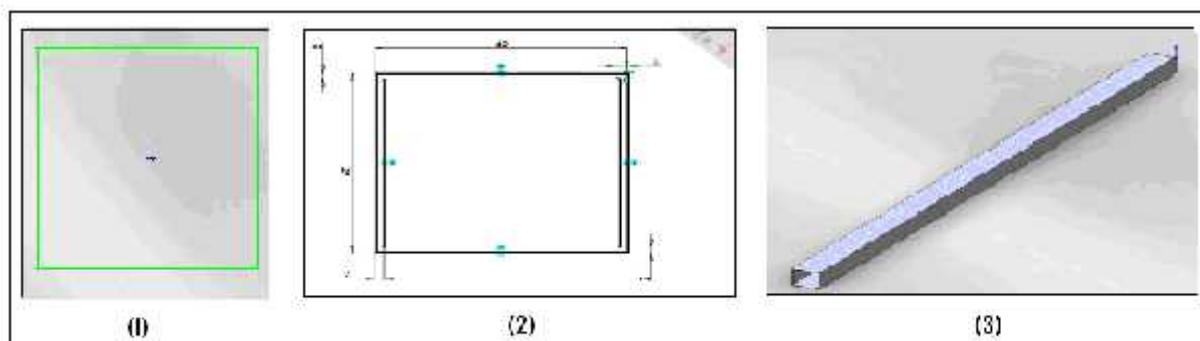


Figure (III-2) Les étapes de la conception d'un tube carré

Pour les tubes qui ont des coupes à leurs extrémités on obtient leur conception en suivant les étapes suivantes :

1. On sélectionne la face avant de la pièce en cliquant dessus, puis on ouvre une esquisse . Il est conseillé de faire un affichage de la pièce « Normal à » par l'icône  et on obtient le dessin (1) de la figure (III-2).

2. On trace une ligne et on la cote selon les dimensions données dans la démarche pour créer l'angle nécessaire  comme l'indique le dessin (2) de la figure (III-2).

3. en fin on génère le volume en extrudant avec enlèvement de matière  coté extrémité perdu, on obtient le dessin (3) de la figure (III-3).

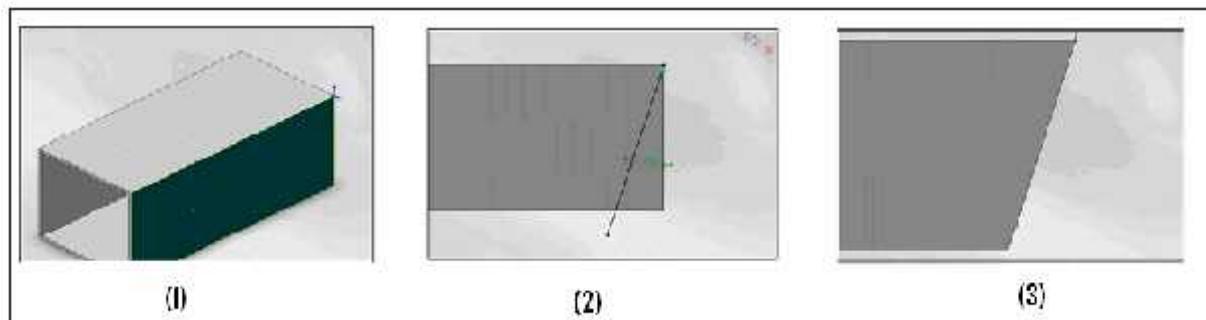


Figure (III-3) Les différentes étapes suivit pour faire un angle de découpe sur un tube

Les dimensions des différents tubes constituant le châssis et leurs angles de découpe aux extrémités sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

N° TUBE	LONGUEUR EN mm	ANGLE DE COUPE COTE 1	ANGLE DE COUPE COTE 2
1	1448	0	0
2	937	45°	45°
3	432	0	0
4	357	0	0
5	431	34°	56°
6	1473	15°	0
7	1184	15°	15°
8	2617.37	17.5°	0
9	2800.15	23.10°	6.5°
10	196.58	0.4°	6°

Tableau (III.1) Les différentes dimensions et angle de découpes aux extrémités des tubes constituant le châssis.

Les tubes correspondant à ces numéros sont représentés dans la figure (III-9).

3.1.2/ Les goussets

On lance le logiciel, on ouvre une nouvelle page, on choisit le plan, on ouvre une esquisse et on dessine la forme voulu de notre gusset avec les dimensions correspondantes . on utilise la fonction extrusion avec ajout de matière pour obtenir le volume sans oublier de choisir le matériau qui est l'aluminium *T 6061*, les étapes de cette conception sont illustrées dans la figure (III-4) ci –dessous.

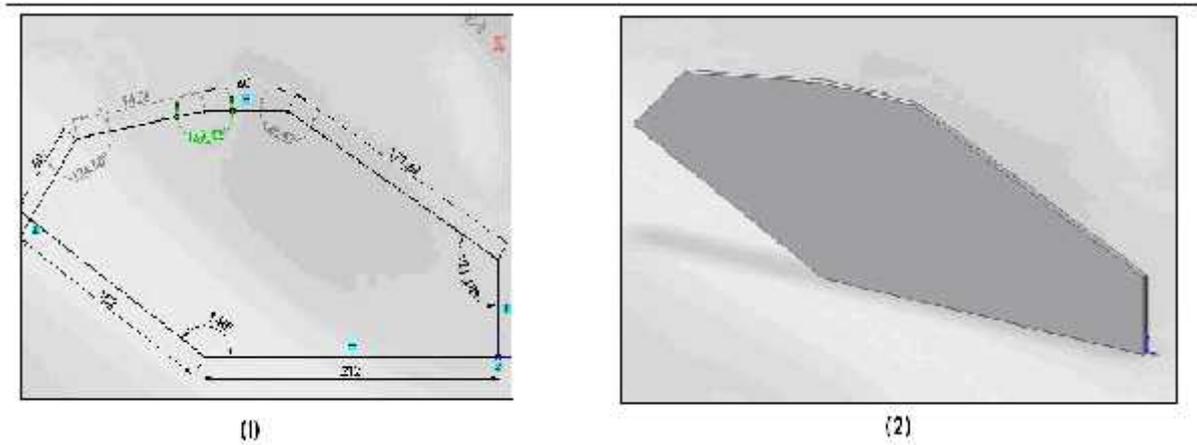
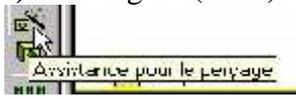


Figure (III-4) Les étapes de conception d'un gusset

Pour le perçage des goussets on suit les principales étapes suivantes :

On sélectionne la face de la pièce en cliquant dessus. On ouvre une esquisse, et on affiche la pièce « Normal à » comme sur le dessin (1) de la figure (III-2) et après on utilise la

fonction du perçage qui est représentée par l'icône  ainsi qu'on utilise

l'icône cotation intelligente  pour déterminer la distance entre chaque perçage. dessin (2) figure (III-5)

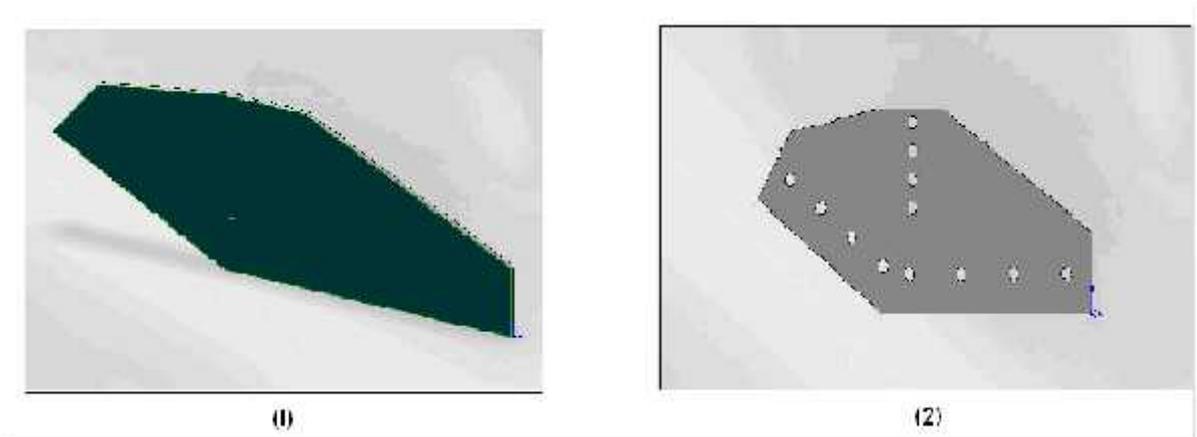


Figure (III-5) Application du perçage sur un gusset

Pour renforcer la structure du châssis au niveau de la queue on utilise des tubes ronds en aluminium de diamètre **28mm** et d'une épaisseur de **2mm**, pour cette conception on utilise les mêmes étapes que celle d'un tube carré mais à la place de construire deux carrés concentriques on construit deux cercles concentriques dont la distance entre les deux périphéries est égale à **2mm** et le diamètre du cercle extérieur est égale à **28mm**. Le matériau choisit est le **T 6061**.

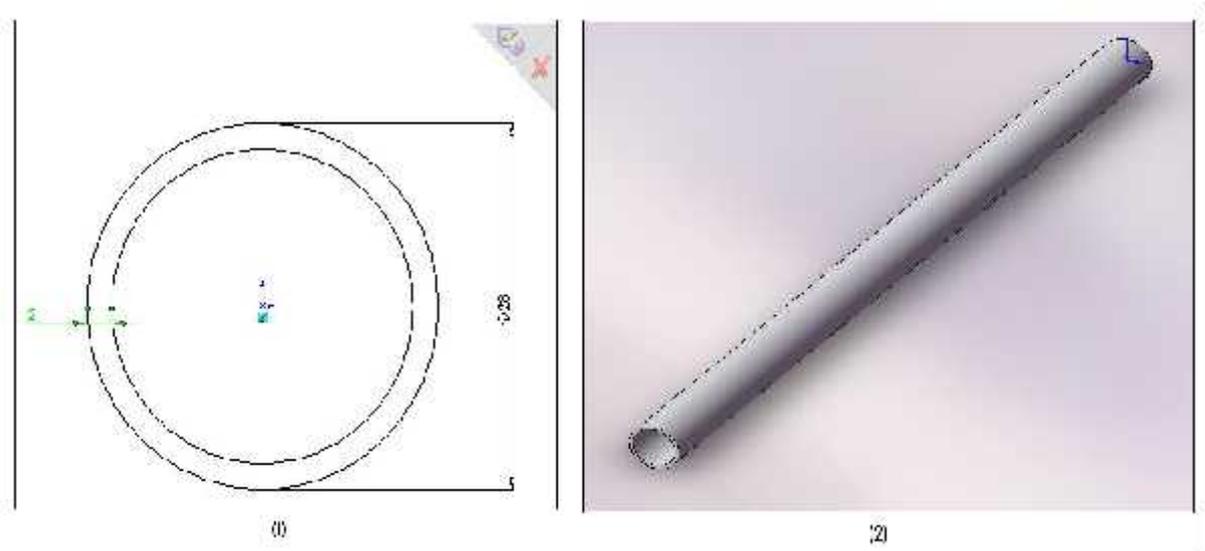


Figure (III-6) Les étapes de la conception d'un tube rond

Les deux dessins (1) et (2) de la figure (III-6), illustrent les différentes étapes suivit pour concevoir le tube rond de **28mm** de diamètre et **2mm** d'épaisseur.

Les différentes longueurs des tubes ronds qu'on a conçus sont motionnées dans le tableau ci- dessous

N° TUBE	LONGUEUR EN mm
11	693
12	622
13	533
14	501
15	591

Tableau (III.2) Les différentes longueurs des tubes de renforts utilisés dans la queue de **L'U.L.M**

Les tubes correspondant à ces numéros sont représentés dans la figure (III-9)

Tandis que pour leur fixation sur le châssis on a conçu des éléments d'assemblage en aluminium qui sont profilés en U dont les dimensions sont ($60\text{mm} \times 60\text{mm}$), d'une épaisseur de 2mm et d'une longueur de 30mm . Voir dessin (1) et (2) de la figure (III-7)

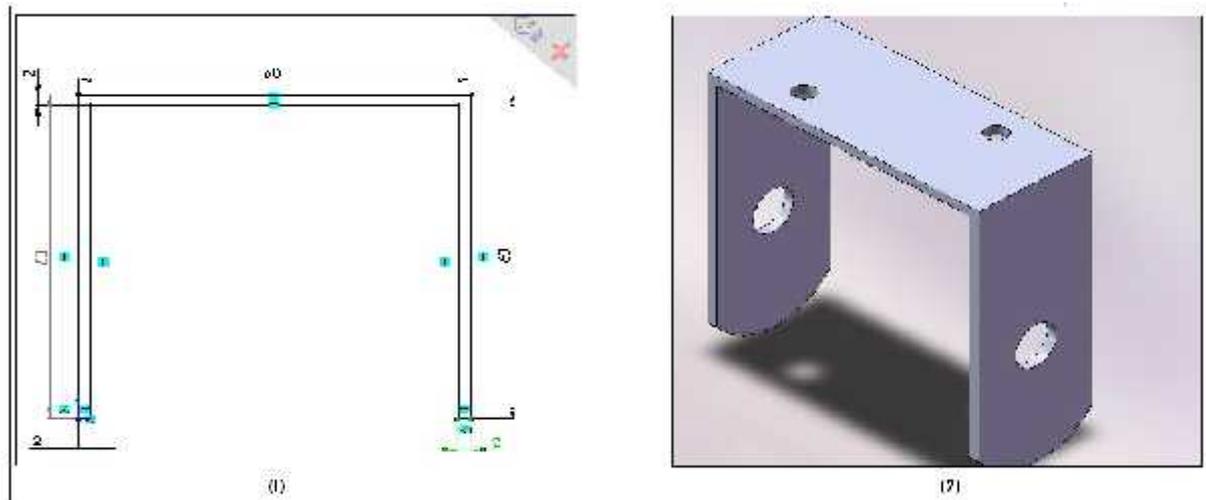


Figure (III-7) La conception des attaches

Le perçage de ces éléments est de 4mm et de 6mm est effectué respectivement sur la surface supérieure et latérale

3.1.3/ L'assemblage

La procédure d'assemblage sur *solidworks* débute par le choix de l'icône , et après le choix des pièces pour l'assemblage se fait à partir de l'icône « insérer un composant » ou on peut parcourir dans cette fenêtre les différents sous assemblage ou élément du châssis. L'opération d'assemblage sur *solidworks* nécessite l'utilisation des contraintes

d'assemblage ; l'icône  du fait qu'elles permettent d'assembler les éléments sous contraintes géométriques. Voir dessin (1) et (2) de la figure (III-8)

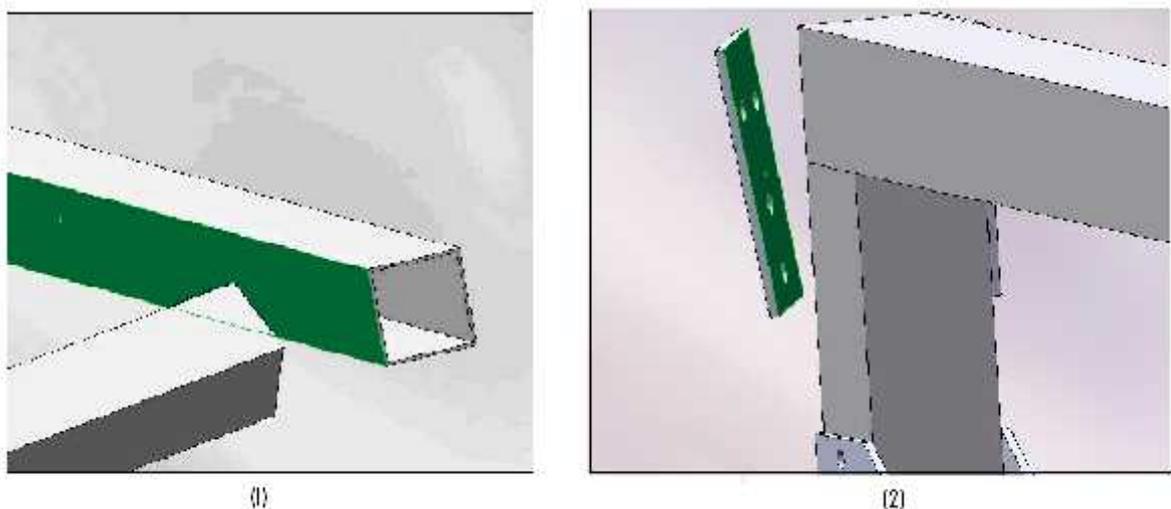


Figure (III-8) Les étapes d'assemblage

Après avoir réalisé le perçage des tubes du châssis, la fonction *toolbox* nous permet de choisir la boulonnerie correspondante pour l'assemblage mécanique désiré.

La figure ci-dessous montre l'assemblage des éléments du châssis.

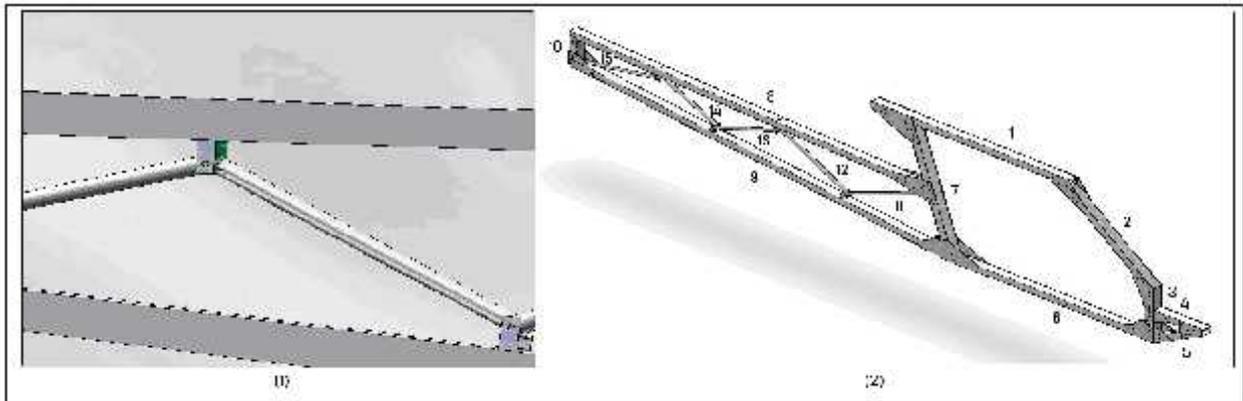


Figure (III-9) Le châssis obtenu après assemblage et un zoom sur la partie queue

3.2/ Les étapes de la conception des empennages

Les empennages sont faits essentiellement de tubes d'aluminium ronds de diamètre **25mm** et d'une épaisseur de **1,5mm**, ils se constituent d'empennage horizontal et vertical, leur conception est très compliquée du fait que leur forme géométrique comporte des arcs qui sont difficile à réaliser ainsi que d'assemblage l'assemblage des éléments.

3.2.1/ L'empennage vertical

Il se constitue de la dérive verticale qui est l'élément fixe et l'empennage verticale qui représente l'élément mobile

a) *La dérive verticale*

On a commencé par la conception des tubes ronds de **25mm** de diamètre qui constituent le squelette de la dérive puis des tubes de **12 mm** de diamètre qui sont apportés pour renforcer la structure, et des goussets d'assemblage en tôle d'aluminium d'épaisseur **0.6mm** sont découpés et percés à un diamètre de **4mm** pour le rivetage. L'assemblage est réalisé sous contraintes géométriques.

La figure ci-dessous montre les différents éléments de l'assemblage de la dérive verticale avec le gousset d'assemblage et l'arc réalisant l'assemblage de deux tubes

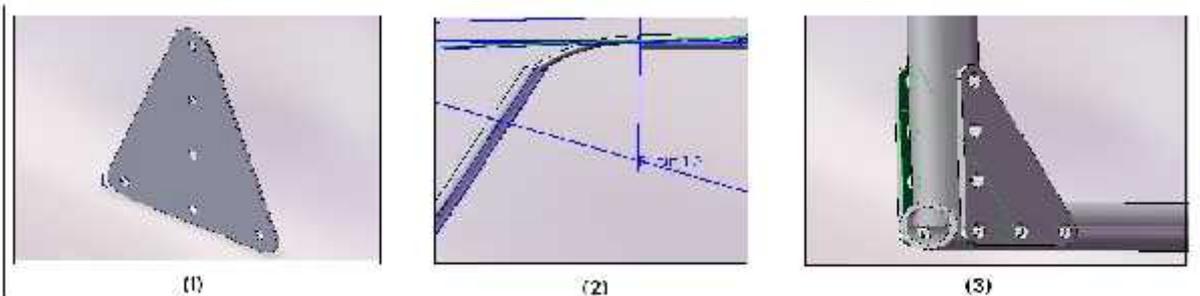


Figure (III-10) La conception des goussets, leurs fixations et l'arc d'assemblage

La figure ci-dessus montre la dérive dans sa totalité assemblée

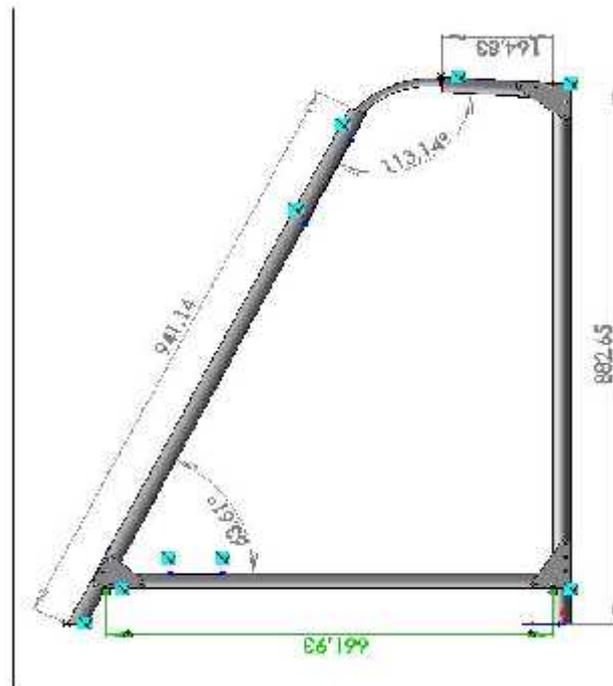


Figure (III-11) La conception de la dérive verticale

b) La gouverne verticale

Elle est conçue de la même façon que la dérive verticale, en entreprenant la conception du squelette avec le tube de **25mm** puis les arcs avec le tube **12mm** de diamètre et les goussets d'assemblages. Voir figure (III-12)

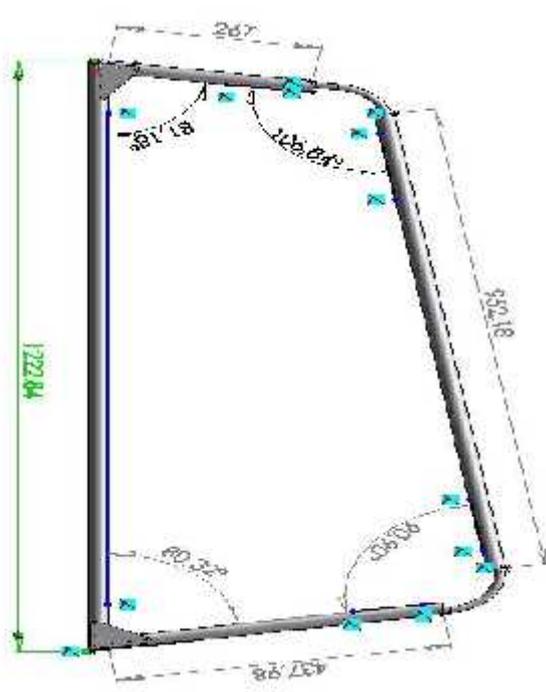


Figure (III-12) La conception de la gouverne verticale

3.2.2/ L'empennage horizontal

Il se compose de la dérive horizontale et la gouverne horizontale

a) *La dérive horizontale*

Le squelette de la dérive horizontale se constitue uniquement des tubes de **25mm** qu'on a conçu les longueurs nécessaires et on a fait l'assemblage par des goussets d'assemblage. Voir figure (III-13)

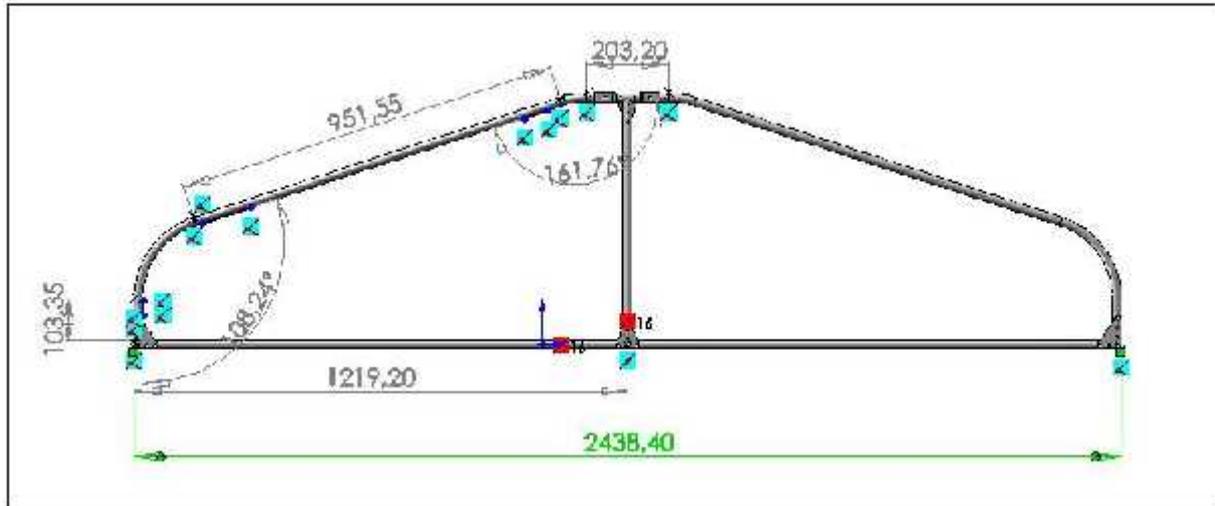


Figure (III-13) La conception de la dérive horizontale

b) *La gouverne verticale*

Elle est conçue de la même façon que la dérive verticale, en entreprenant la conception du squelette avec le tube de **25mm** puis les goussets d'assemblages. Voir figure (III-14)

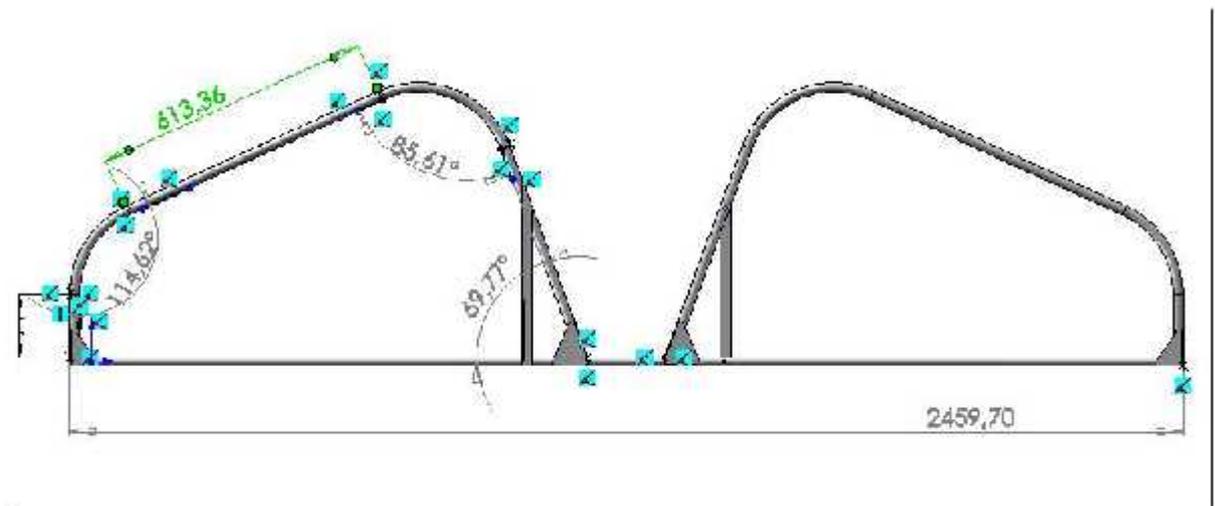


Figure (III-14) La conception de la gouverne horizontale

3.2.3/ L'assemblage

Les empennages sont prêts, on fait leur assemblage final sur le châssis, mais avant on a besoin de concevoir quelques pièces tel que les charnières et les attaches.

a) Les charnières

Se sont des pièces en aluminium qu'on a conçu pour assembler les parties fixes représentées par les dérives avec les parties mobiles qui sont les gouvernes. Voir figure (III-15)

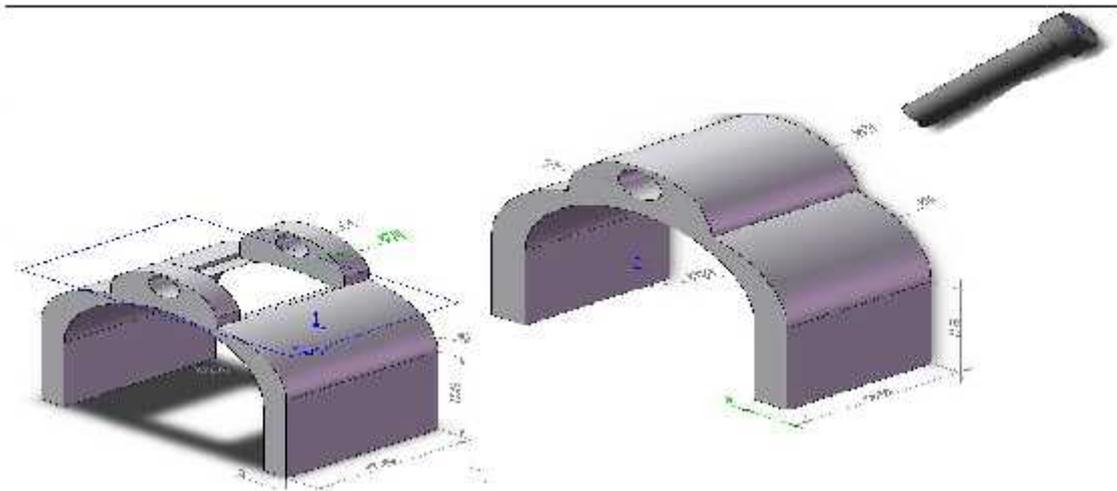


Figure (III-15) La conception des charnières

b) Les attaches

Se sont des pièces en aluminium faites pour assurer l'assemblage des empennages avec le châssis, elles sont de forme cylindrique, en L et en U. Voir figure (III-16)

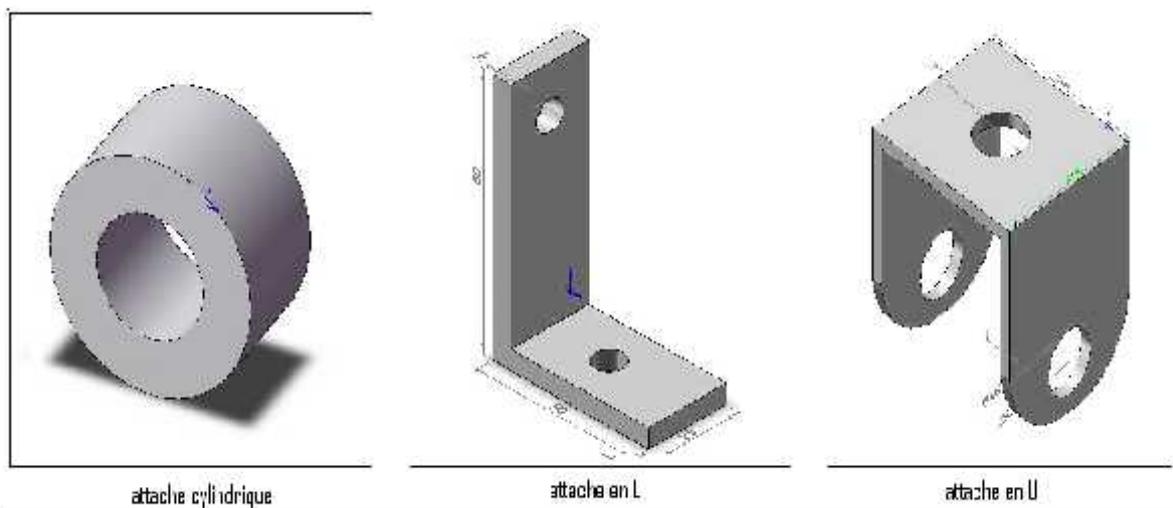


Figure (III-16) Les éléments d'assemblage des empennages

Maintenant, les pièces d'assemblage sont prêtes. On commence notre assemblage par la mise des charnières à leurs place, après on passe à l'installation des attaches sur le châssis et à la fin on fait l'assemblage générale des empennages. Voir figure (III-17)

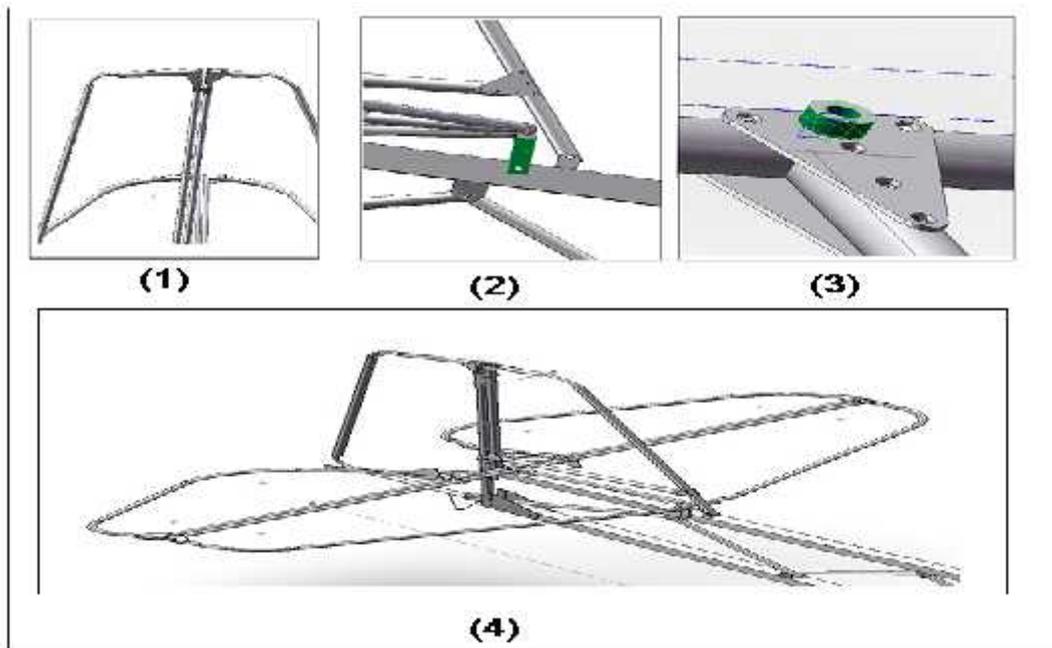


Figure (III-17) L'assemblage des empennages

3.3/ la conception du Train d'atterrissage

C'est un train classique, qui se constitue d'un train principal posé à l'avant et d'une petite roulette posé à la queue de l'avion.

3.3.1/ Train principal

Il se constitue de barre de tubes carré en inox de (25mm*25mm) et d'une épaisseur de 2mm de fer plat d'épaisseur de 3mm,

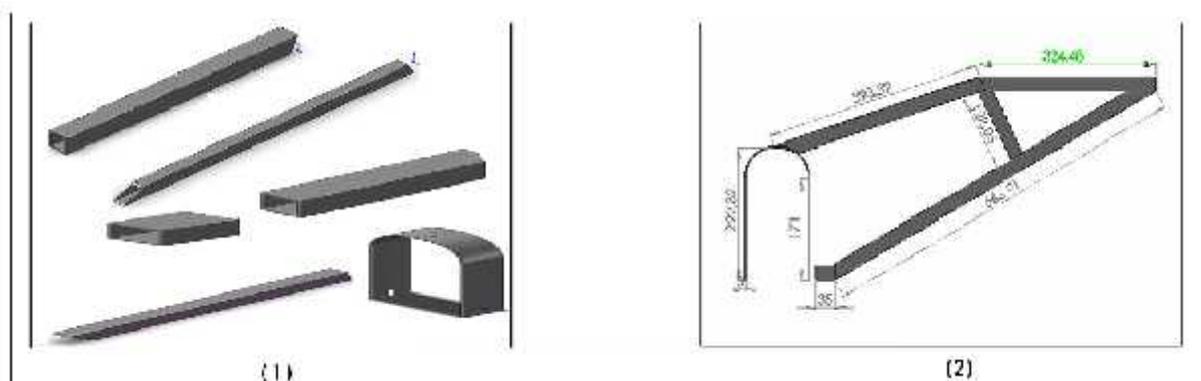


Figure (III-18) Les différents éléments du train principal

Le dessin 1 de la figure (III-18) montre les différents éléments du train et le dessin 2 représente l'assemblage de ces éléments.

Le train principal contient aussi la roue et ses accessoires, ainsi que les pièces nécessaires pour son assemblage avec le châssis.

❖ *La conception de roue :*

On commence par le dessin d'esquisse de la gante en choisissant les dimensions correspondantes et on fait une évolution de matière pour avoir le volume voulu, ensuite on conçoit le pneu et à la fin on fait l'assemblage à l'aide des contraintes. Voir figure (III-19)

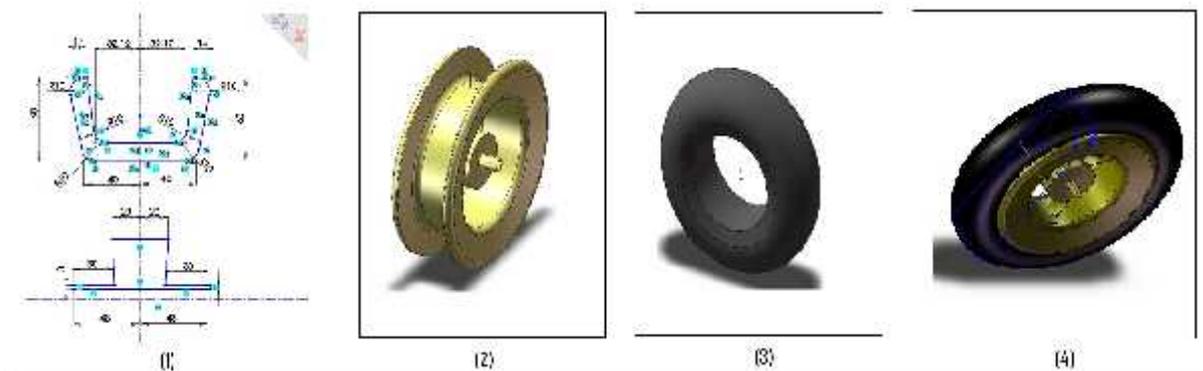


Figure (III-19) La conception de la gante et le pneu du train

Les éléments d'assemblage du train avec le châssis et ceux de l'assemblage de la roue avec la fourche sont des pièces construites en acier inoxydable. Pour l'assemblage avec le châssis on a besoin de concevoir un tube en aluminium de dimension ($60\text{mm} \times 60\text{mm}$), d'une épaisseur de 2mm et d'une longueur de 700mm et qu'on doit renforcer par un tube en inox de dimension ($25\text{mm} \times 25\text{mm}$) d'une épaisseur de 2mm et d'une longueur de 920mm , on a aussi besoin des bloc cylindre pour amortir le choc et absorber les vibrations ainsi que des gousset d'assemblage; tandis que pour l'assemblage de la roue avec le train on a besoin d'un axe, des rondelles, des écrous, d'un cylindre et d'un porte axe pour assurer le parallélisme et le freinage de la roue.

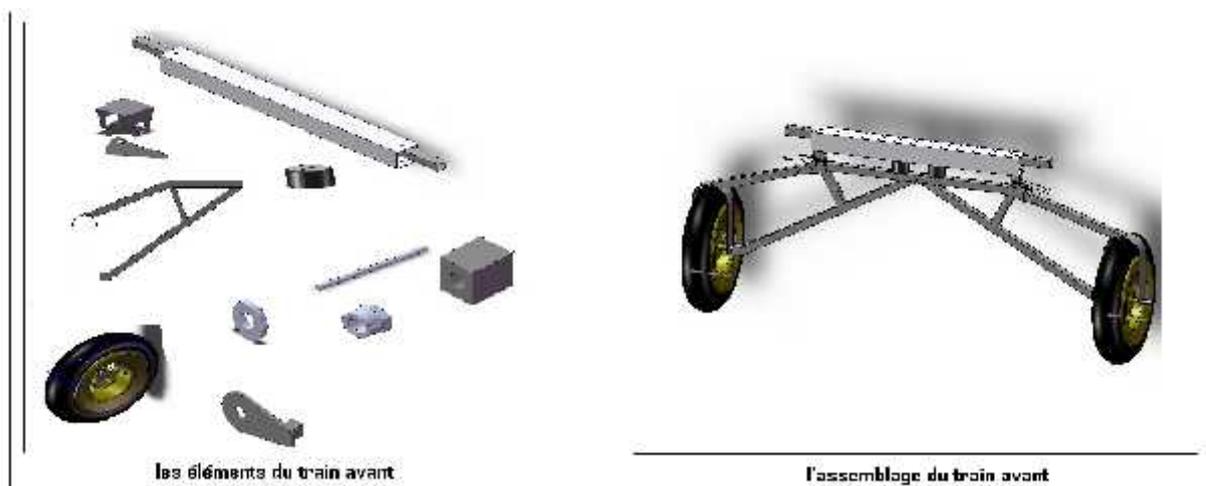


Figure (III-20) Le train principal

La figure ci-dessous illustre ces différents éléments et l'assemblage final.

3.3.2/ Le train arrière

Elle se constitue d'une roulette, d'un fer plat, d'une pièce d'assemblage en acier d'un axe ainsi que la boulonnerie correspondante.

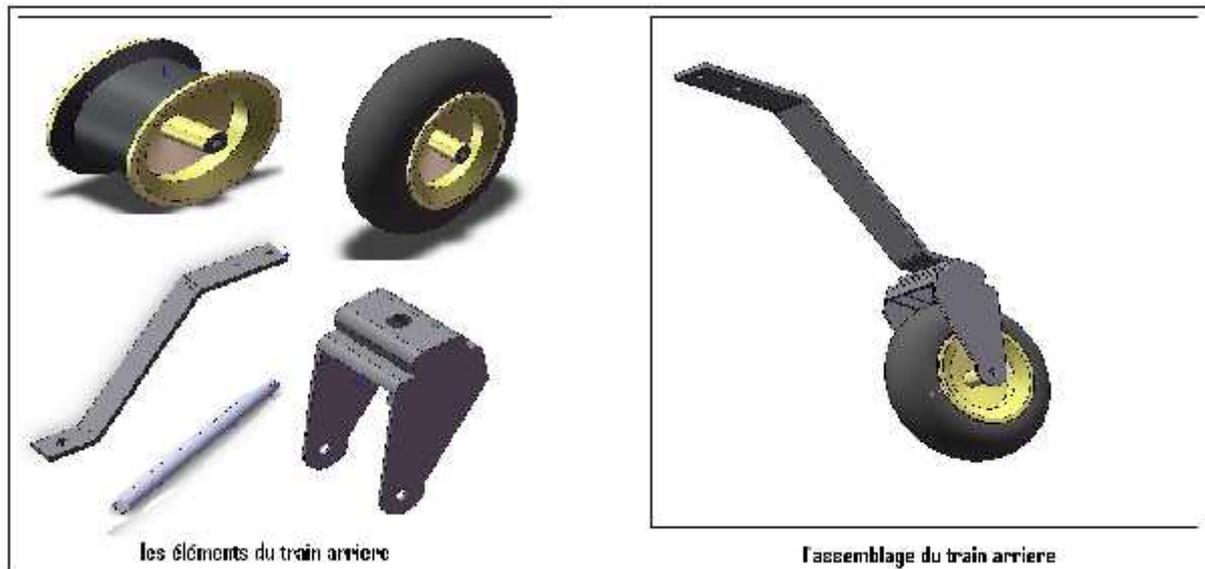


Figure (III-21) La conception du train arrière

Et en dernier on fait le montage du train conçu avec le châssis et sans oublier les deux tubes qui vont tenir le train dans sa bonne position. Voir figure (III-22)

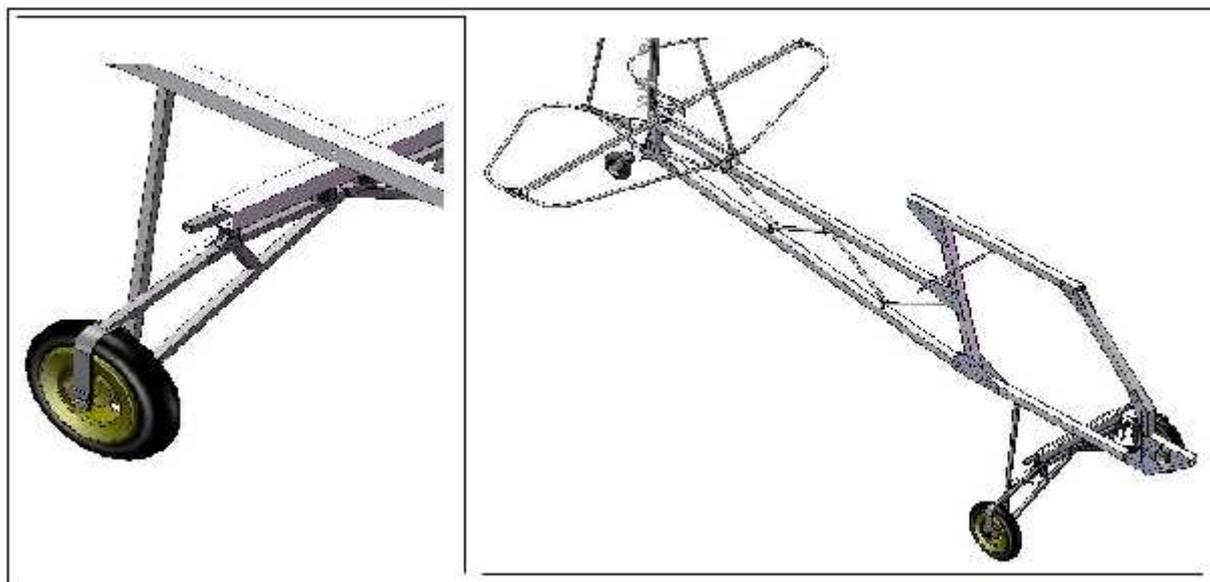


Figure (III-22) Le train d'atterrissage de notre *U.L.M*

Le train avant est bridé à une distance de **685,8mm** par rapport au tube **N° 4** et au dessous du tube **N°6** tandis que le train arrière est fixé dans l'extrémité de la queue de l'avion.

3.4/ La conception de la cabine

La structure de la cabine est faite en cornière d'aluminium de forme **L** et de dimension (**25mm*25mm**), elle a une épaisseur de **2mm** et elle recouverte en tôle d'aluminium d'une épaisseur de **0,6mm** et du pré glace, mais avant de construire ces cornières on conçoit deux tubes en aluminium de section (**60mm*60mm**) et d'une épaisseur de **2mm** qui ont une longueur de **700mm** dont on place dans les deux extrémités, ces deux tubes serrent de renforts.

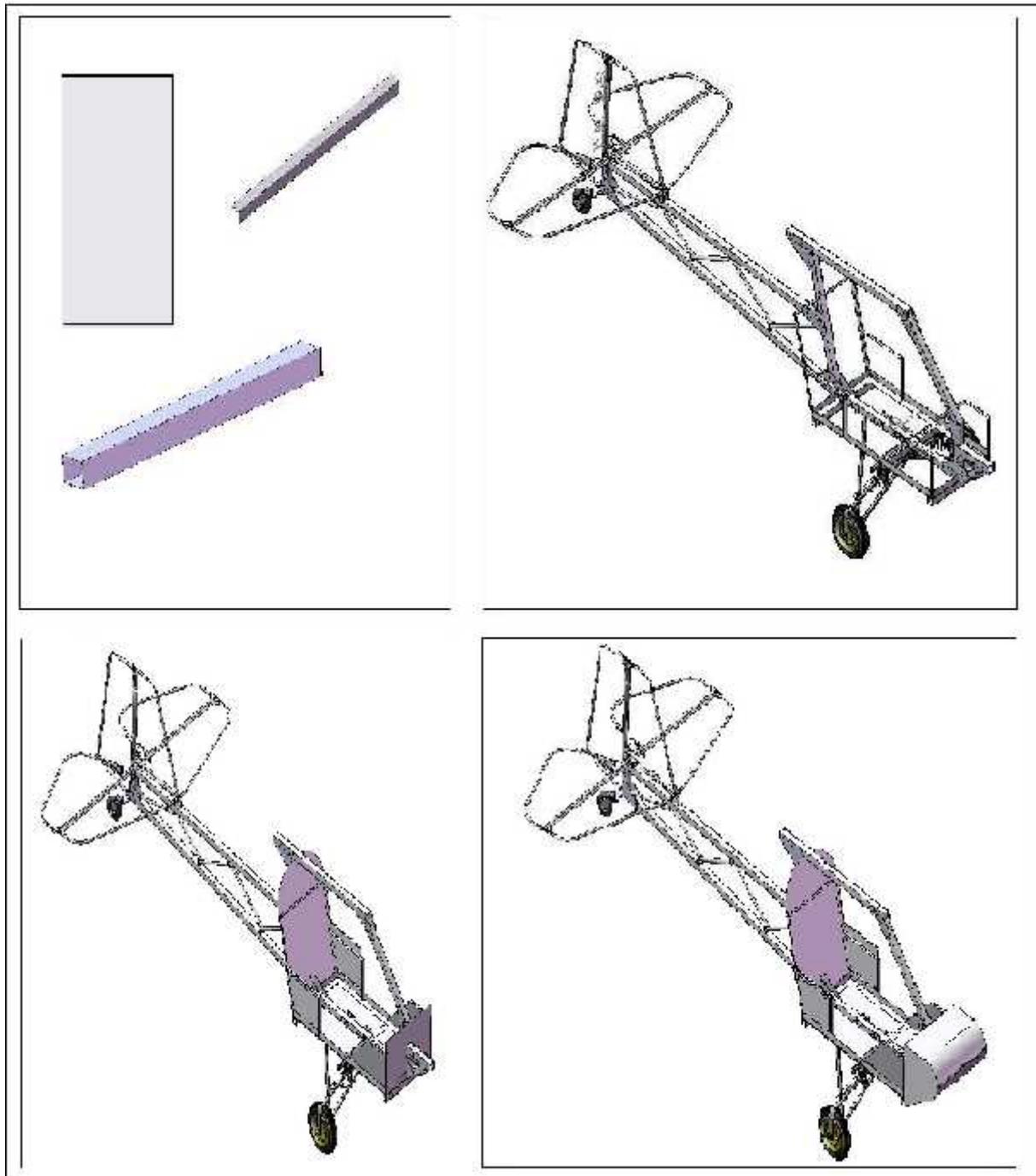


Figure (III-23) Les étapes de la conception de la cabine

3.5/ La conception du siège

Il est fait en tôles et tubes d'aluminium sa conception est un peu compliquée du fait de sa forme complexe. Il est monté dans la cabine et fixé à l'aide de vis

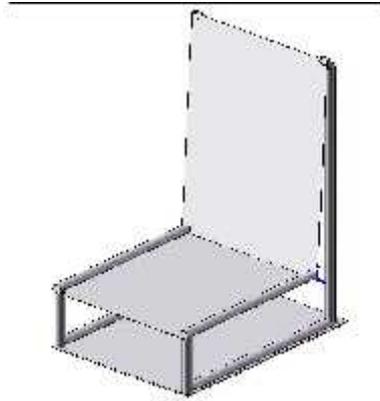
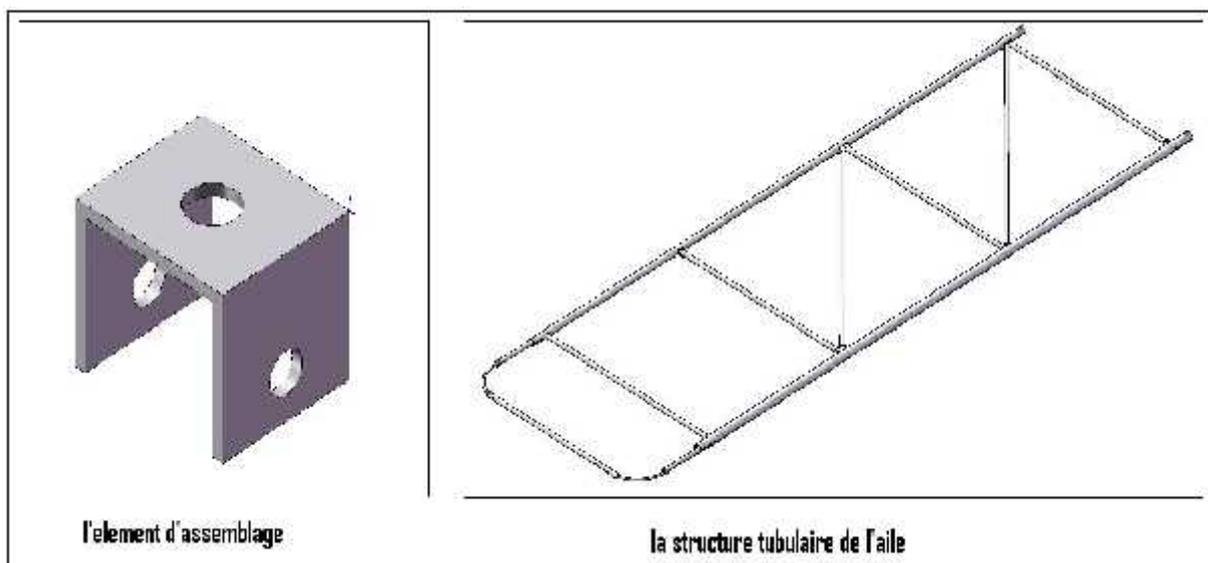


Figure (III-24) La conception du siège

3.6/ Les étapes de la conception des ailes

Elles représentent la partie la plus difficile à concevoir vu qu'elles ont une géométrie très complexe et chargée qui demande beaucoup de travail et de patience, c'est une structure multi longeron tubulaire dont les deux longerons principaux sont en aluminium et représente le bord d'attaque qui a un diamètre de **50mm** et une épaisseur de **2mm** et le bord de fuite qui a un diamètre de **38mm** et une épaisseur de **3.5mm** ces deux tubes ont une longueur de **3657mm** à leurs extrémités on place un tube de **25mm** de diamètre et une épaisseur de **1,5mm** d'une longueur de **360mm** et on positionne un autre à une distance de **500mm** et qui a une longueur de **1200mm** et qui doit être perpendiculaire aux tubes précédents et à la fin on raccorde entre eux par le tube de **12mm** de diamètre en faisant un arc **90°**. On place chaque tube à sa place par des contraintes et aussi des éléments d'assemblage de forme en U de différentes sections et on aura à la fin la structure représentée dans la figure ci-dessous.



l'élément d'assemblage

la structure tubulaire de l'aile

Figure (III-25) La conception des éléments d'assemblage et la structure finale

On passe maintenant à la conception des nervures qui sont des profils de types Clark Y, on a choisit ce profil, vue sa simplicité, sa portance importante et sa stabilité. L'aile a une corde de **1419mm** et une épaisseur maximale **166,023 mm**.

Le tableau ci- dessous contient le calcul des points nécessaire pour le dessin du profil.

X	Y
1419	1.7028
1348.05	21.1431
1277.1	39.732
1135.2	74.0718
993.3	104.2965
851.4	129.8385
709.5	149.2788
567.6	161.766
425.7	166.023
283.8	161.1984
212.85	151.5492
141.9	136.224
106.425	125.5815
70.95	112.101
35.475	92.235
17.7375	77.3355
0	49.665
17.7375	27.3867
35.475	20.8593
70.95	13.1967
106.425	8.9397
141.9	5.9598
212.85	2.1285
283.8	0.4257
425.7	0
567.6	0
709.5	0
851.4	0
993.3	0
1135.2	0
1277.1	0
1348.05	0
1419	0

Tableau (III-3) les coordonnées du traçage du profile

Pour plus de détaille sur le profil Clark Y voir annexe 1 page

On dessine les point mentionnés dans le tableau ci-dessus sur *solidworks* et on utilise l'esquisse spline pour leurs donner une forme et base bossage extrudé pour donner à cette esquisse le volume nécessaire dont l'épaisseur est 10mm sans oublier de choisir le bois léger comme matière première. La nervure obtenue est celle de la figure ci-dessous.

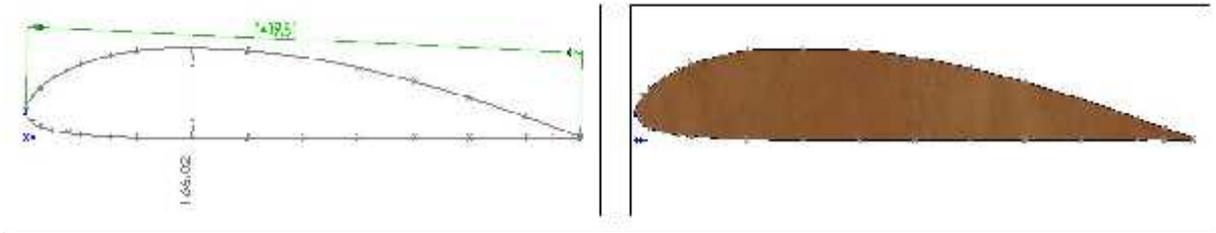


Figure (III-26) La conception des nervures

On passe maintenant à la conception des longerons secondaires qui sont de forme rectangulaire et se termine avec une forme trapézoïdale et de même longueur $L= 4116 \text{ mm}$ mais de différentes sections, vue que l'un se place près du bord d'attaque et l'autre près du bord de fuite. Les longerons obtenus sont motionnés dans la figure(III-27).

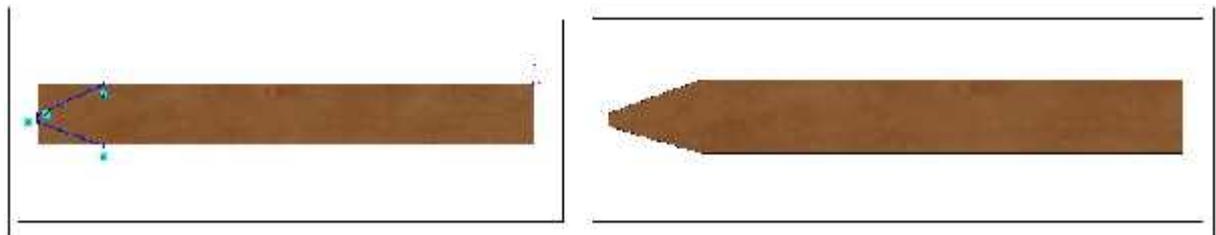


Figure (III-27) La conception des longerons

Vu que les nervures et les longerons sont prêts on passe à leurs emplacements dans la structure en commençant par les nervures et après les longerons sans oublier de faire les évidements nécessaire pour qu'ils se stabilisent.

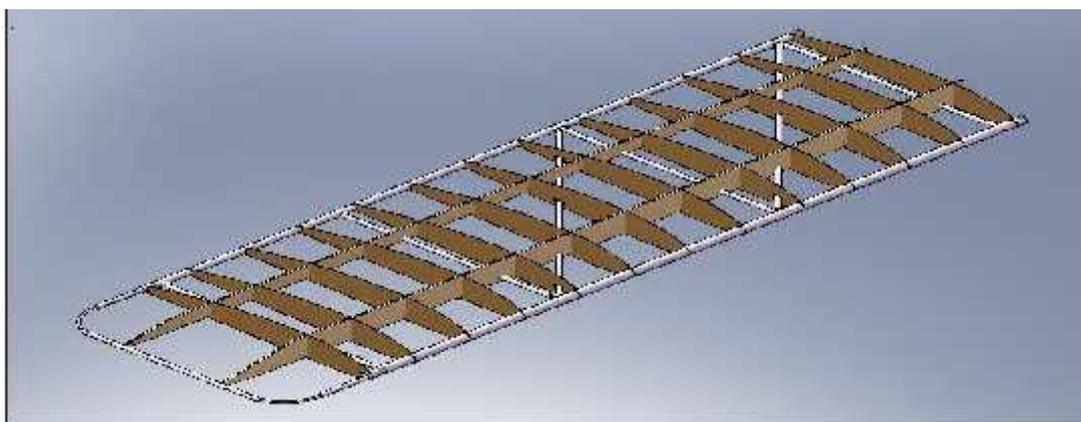


Figure (III-28) La structure finale de l'aile

La figure ci-dessus montre l'emplacement des nervures et des longerons dans la structure tubulaire

Et à la fin de se travail on fait son revêtement avec de la tôle d'aluminium d'épaisseur **0.6mm** et on aura la figure (III-5)

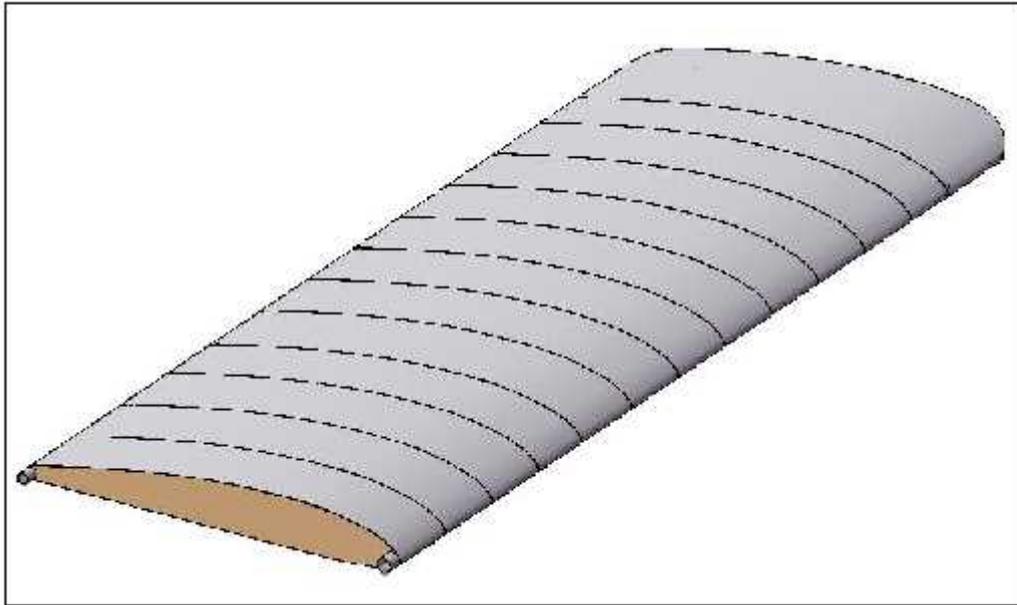


Figure (III-29) L'aile revêtue avec de la tôle d'aluminium

3.7/ Les étapes de la conception des ailerons

Ils sont d'une structure très simple, faits en tube d'aluminium de **28mm** de diamètre et d'une épaisseur de **1.5mm** et du tube de **12mm** avec une épaisseur de **1.5mm** et qu'on a revêtue avec de la tôle d'aluminium de **0.6mm** Voir figure (III-29).

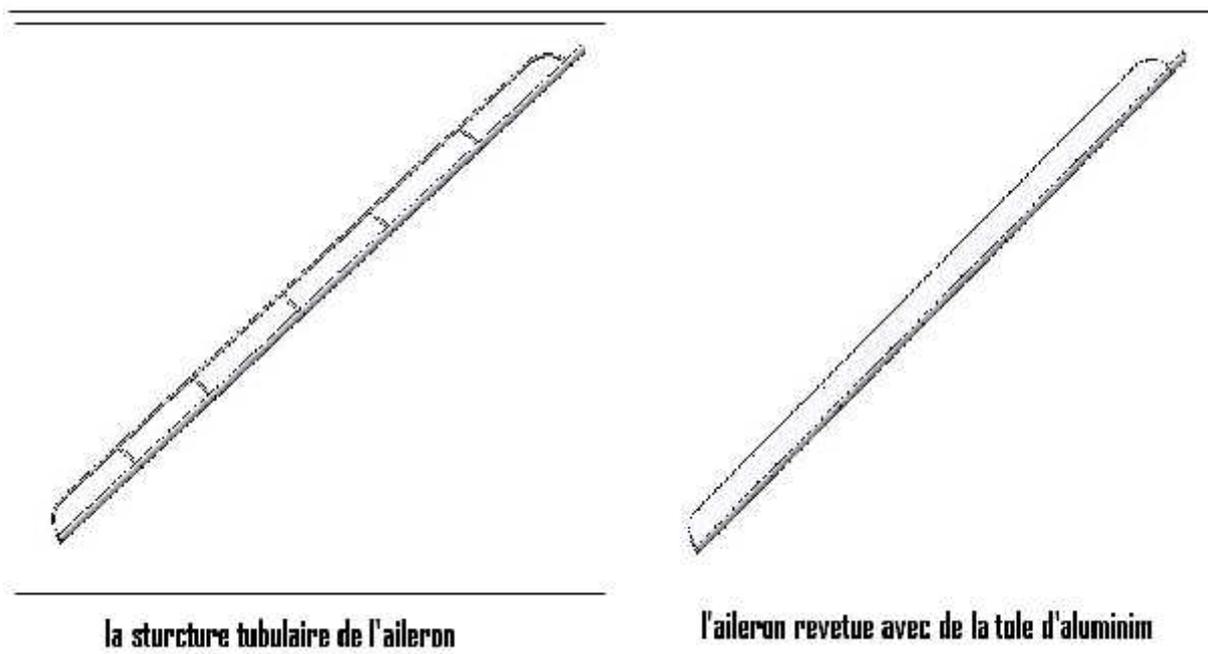


Figure (III-30) La conception des ailerons

3.8/ La fixation des ailes et des ailerons

La fixation est faite à l'aide des éléments qu'on a conçu, dont on a utilisé de différents types tel que les mats et leurs éléments de fixation, des attaches et des charnières au niveau des ailerons

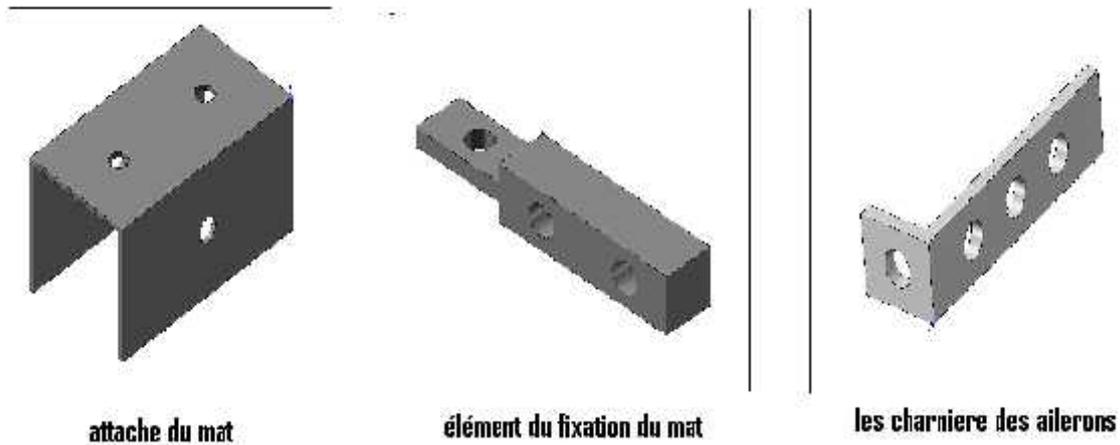


Figure (III-31) Les éléments de fixation

❖ *Le calcul du mât*

Avant de calculer la longueur du mât et sa position de fixation on doit calculer le dièdre de l'aile, et on fixe l'aile sous des contraintes et à la fin on passe au calcul du mât. Pour un *ULM* multi axes équipé d'une aile haute, son dièdre varie entre 0 et 2°

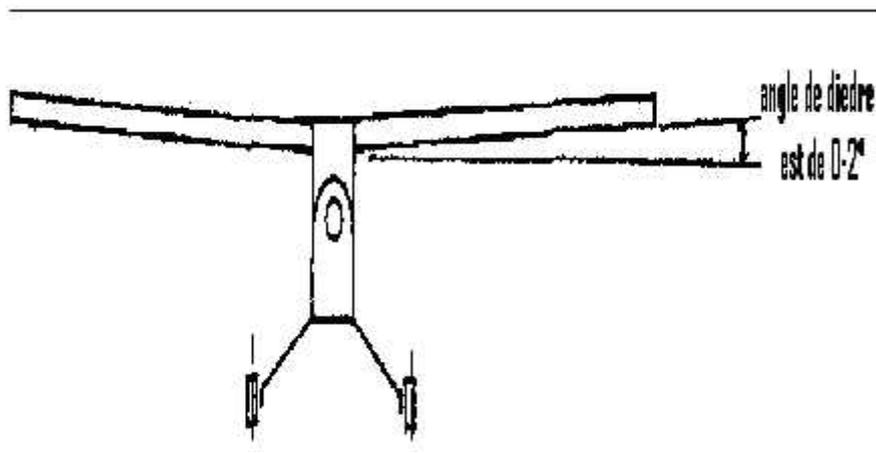


Figure (III-32) La description du dièdre Ref [2]

Pour notre conception ; on a choisit un dièdre de 1.5° pour cela la hauteur ajouté est environ de $109.707mm$

Et pour une structure multi-longerons dont les deux longerons principaux sont des tubes en aluminium qui représentent le bord d'attaque et le bord de fuite le mât est positionné généralement à 66.66% de la longueur de l'aile donc à $2793.72mm$ de l'aile, la longueur du

mât sera donc **2593mm** pour le mât qui tient le bord d'attaque et **3006mm** pour le mât qui tient le bord de fuite, on a utilisé des renforts au milieu pour renforcer les mât et bien tenir les ailes ; conçus en tubes rond d'aluminium de **28mm** de diamètre et de **2.5 mm** d'épaisseur , les longueurs sont

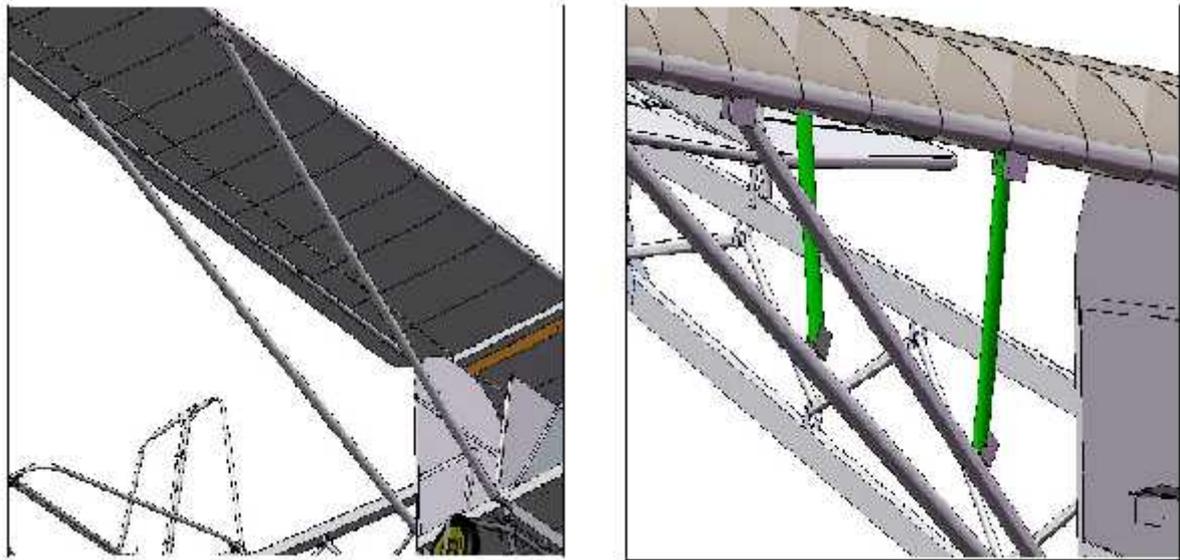


Figure (III-33) La fixation des ailes des ailerons et du mât

❖ ***Le revêtement des empennages :***

Il est fait par la tôle d'aluminium d'épaisseur de **0.6mm**, on l'a réalisé de la même façon que pour les ailes et les ailerons

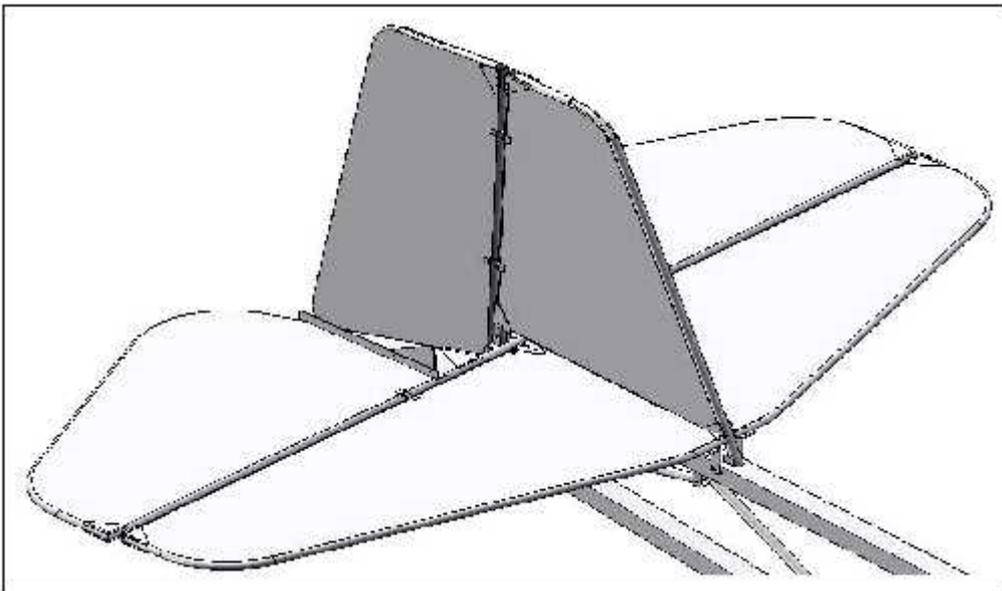


Figure (III-34) Le revêtement des empennages

Après avoir conçu toutes les pièces ci-dessus et faire l'assemblage totale on a obtenue notre bel avion qui représenté dans la figure (III-35)



Figure (III-35) Notre *ULM*

4/ LES COMMANDES DE VOL :

Elles transmettent aux gouvernes les ordres commandés par le pilote au moyen :

✚ **Le manche :**

1. Le mouvement à droite ou à gauche : les ailerons
2. Le mouvement avant ou arrière : la gouverne de profondeur

✚ **Le palonnier :**

Pour commander la gouverne de direction

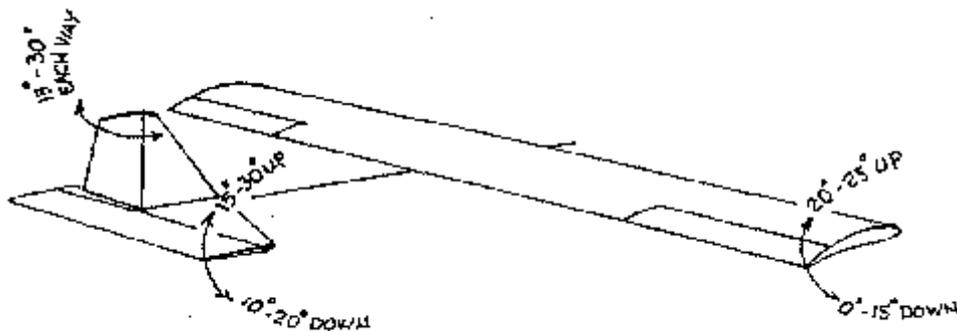


Figure (III-36) Les différents angles du mouvement des gouvernes Ref[2]

Pour notre conception on a utilisé des commandes mécaniques souples faciles à concevoir et à réaliser

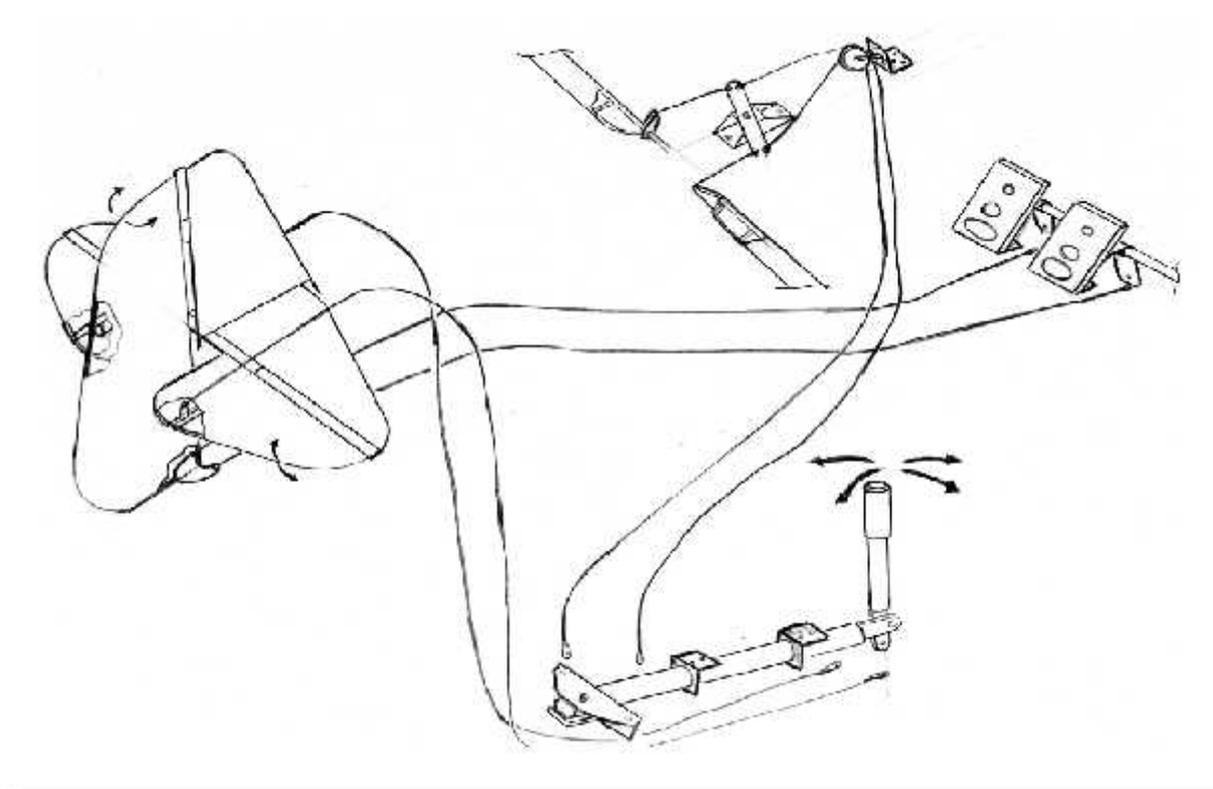


Figure (III-37) Les commandes de vols

5/ POIDS ET CENTRAGE

Construire un avion pose une question très délicate et importante à la fois : le centrage et le poids :

5.1/ Le poids

La quête du poids minimum entraine :

- L'utilisation maximale des propriétés des matériaux utilisés
- Contraintes élevées
- Fatigue
- Structure très flexible
- Une augmentation du coût

Et de même un grands poids entraine plusieurs problèmes tel que :

- La puissance du moteur doit être élevée
- Consommation très grande
- La traînée augmente
- Une augmentation du coût

Comme notre avion est un *ULM* multi axe et monoplace dont son poids ne doit pas dépasser les **300kg** édicté par l'*OACI*

Par analogue à un *ULM* proche à notre model nous allons adopter un poids total maximum équivalent à **450lbs** soit **245lbs**, l'avion doit avoir un poids à vide et une charge utiles très précise qui peut être estimé par un calcul approximatif utilisé pour la conception des *ULM* multi-axes par le constructeur amateur.

On a :

Poids total de l'avion = poids de l'avion à vide + poids de la charge utile

$$W = W_e + W_u$$

Le tableau ci-dessous englobe les différents rapports W_e / W_u pour les différents pour différents classes d'avions Ultra Légers pour la même catégorie et de construction variée. Ref[2].

Les classes	1	2	3	4
W_e/W_u	0.8	1.0	1.2	1.4

Tableau (III-3) Le rapport charge à vide sur la charge utile pour les différentes classes Ref[9]

Classe 1 : elle est destinée au avion très équipé avec un désigne parfait

Classe 2 et 3 : elle est destinée au avion simple avec un bon désigne

Classe 4 : elle destinée au avion classique facile à construire avec une structure rigide

D'après ce tableau notre *ULM* se trouve dans la **4eme** classe ce qui nous donne un rapport $W_e / W_u = 1.4$.

Donc : $W = W_e + W_u$ si on fait sortir W_u en facteur on aura $W = W_u (1 + W_e / W_u)$

Pour $W = 540lbs$ et $W_e / W_u = 1.4$ on aura $W_u = 540 / (1 + 1.4)$ donc $W_u = 225lbs$

Sachant que : W_u = poids du pilote + poids du carburant donc c'est deux poids ne doivent pas dépasser les **225 lbs**

De $W = W_e + W_u$ on a $W_e = W - W_u$ on aura $W_e = 315lbs$

5.2/ Le centrage :

Le centrage est la position du centre de gravité par rapport à un point de référence de l'avion. Il se mesure généralement en % de la profondeur du profil d'aile. Pour le calculé on doit mesurer quelques distances et savoir quelques paramètres comme : la ligne de référence, le bras de leviers et le moment poids.

Axe ou ligne de référence : pour notre conception cette ligne se situe à l'avant de la cabine comme c'est indiqué dans la figure ci-dessous

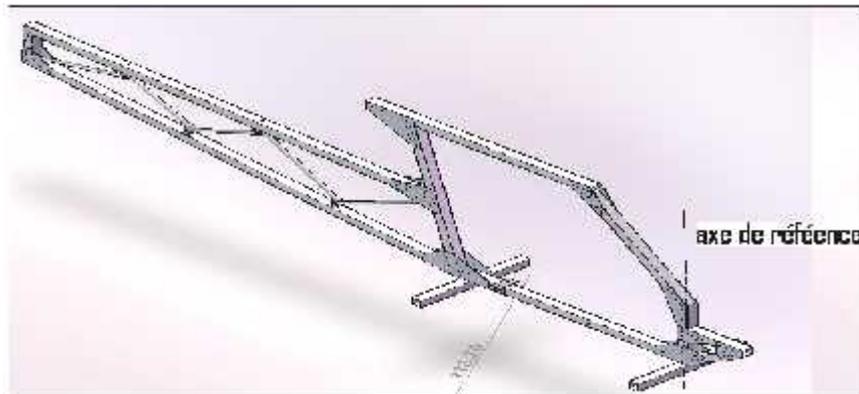


Figure (III-38) Représentation de l'axe e référence

Le bras de levier : c'est la distance horizontale en pouce mesurée entre la ligne de référence et le centre de gravité de l'élément

Le moment poids : c'est le rapport poids en livres multiplié par le bras de levier en pouce.

La corde aérodynamique moyenne MAC : elle est égale à **59.56** pouce inclus les ailerons.

Pour une construction d'un **ULM** multi-axes il est préférable de choisir un centrage avant vue sa stabilité et ses avantages, pour un profil Clark Y nous avons une limite avant positionné à **25%** de la **MAC** et une limite arrière à **28%** de **MAC** et son centre de gravité peut se déplacer de **4%** de ces limites. Ref [2].

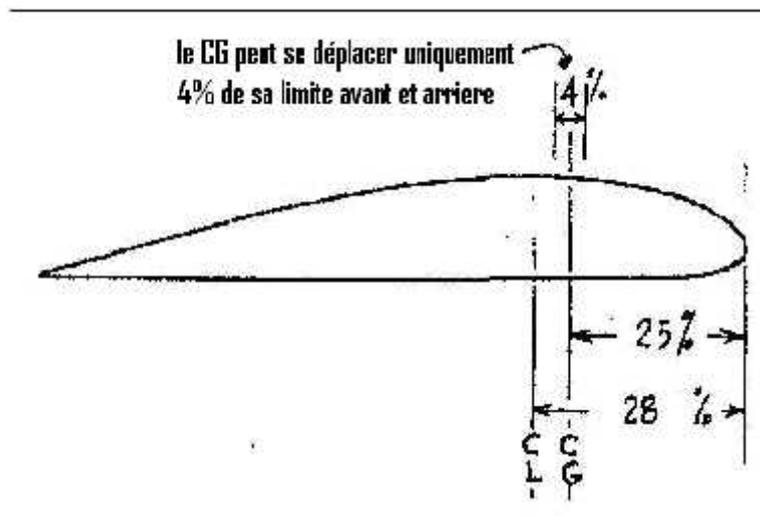


Figure (III-38) Les limites du centrage pour un profil Clark Y. Ref [2].

Afin de réaliser le calcul du centre de gravité on a adopté une méthode dite de pesées et qui consiste à porter l'appareil sur ces points d'appuis sur des balances permettant de lire poids sur chaque appui. Dans notre cas, la pesée est faite au niveau du train principal, le train arrière, la position du pilote et du réservoir carburant.

La détermination des moments correspondants sont soumis dans le tableau ci-dessous

L'élément	Le poids	Le bras de levier	Le moment poids
Train principal	270	27	7290
Le train arrière	45	170	7650
Le pilote	150	36	5400
Le carburant	30	60	1800
Le total	515	296	22140

Tableau (III-4) Les différents éléments nécessaires pour le calcul du centrage

De ce faite le centre de gravité est déterminé par : Ref [2]

$$\text{Le centre de gravité} = \frac{\Sigma \text{ des moments calculés}}{\Sigma \text{ des poids}} \dots\dots\dots (III.1)$$

$$= 42.99 \text{pousses}$$

La distance entre le bord d'attaque de l'aile et ligne de référence et **26pousses** donc les limites du centre de gravité :

- 25% de MAC + 26 pouesse = 40.89 pouesse
- 30% de MAC + 26 pouesse = 44.16 pouesse

6/ CALCUL DES PERFORMANCES DE NOTRE ULM :

Un *ULM* multi-axes présente une finesse comprise entre **8** et **12** et une vitesse horizontale ne dépassant pas les **70 mph**. Le graphe ci-dessous nous rapporte un classement des différentes constructions disponible pour l'aviation Ultra Légères et de loisir que le constructeur amateur peut adapter.

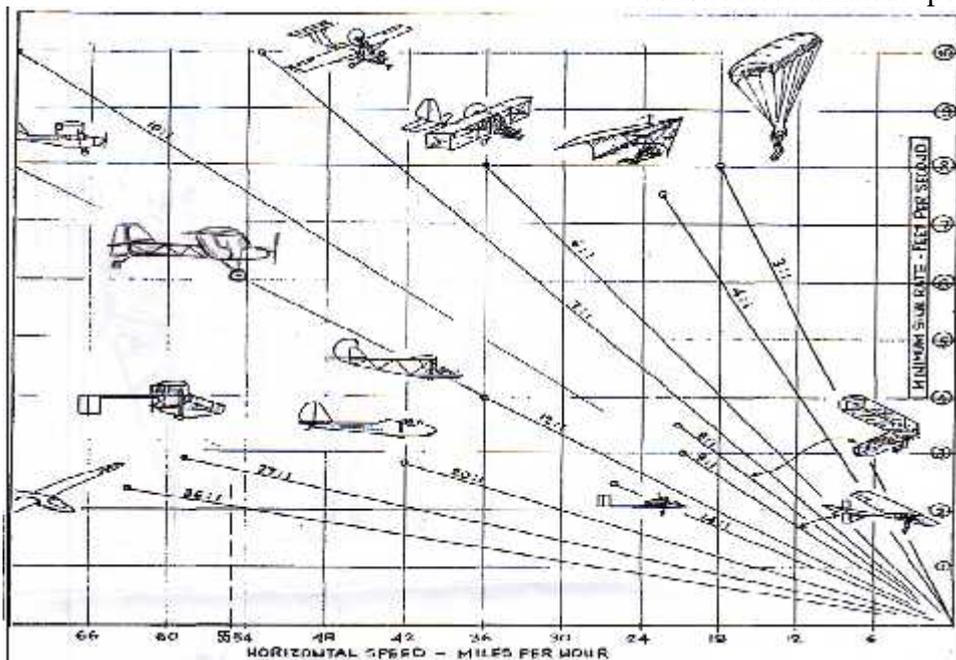


Figure (III-39) La vitesse horizontale de l'avion en fonction de son taux de chute. Ref [2]

Pour notre cas l'ULM choisis présente une finesse de **12** et une vitesse horizontale avoisinante de **55mph** ce point est rapporté sur le graphe et nous donne la position correspondante. Ainsi que le taux de chute équivalant à **6.2 f/h**.

A partir ces informations nous allons effectuer un calcul préliminaire des performances de l'avion qui nous permettra de connaître la puissance du moteur nécessaire pour garantir un vol horizontal de **55mph**.

L'abaque ci-dessous nous permettra de faire ce calcul approximatif

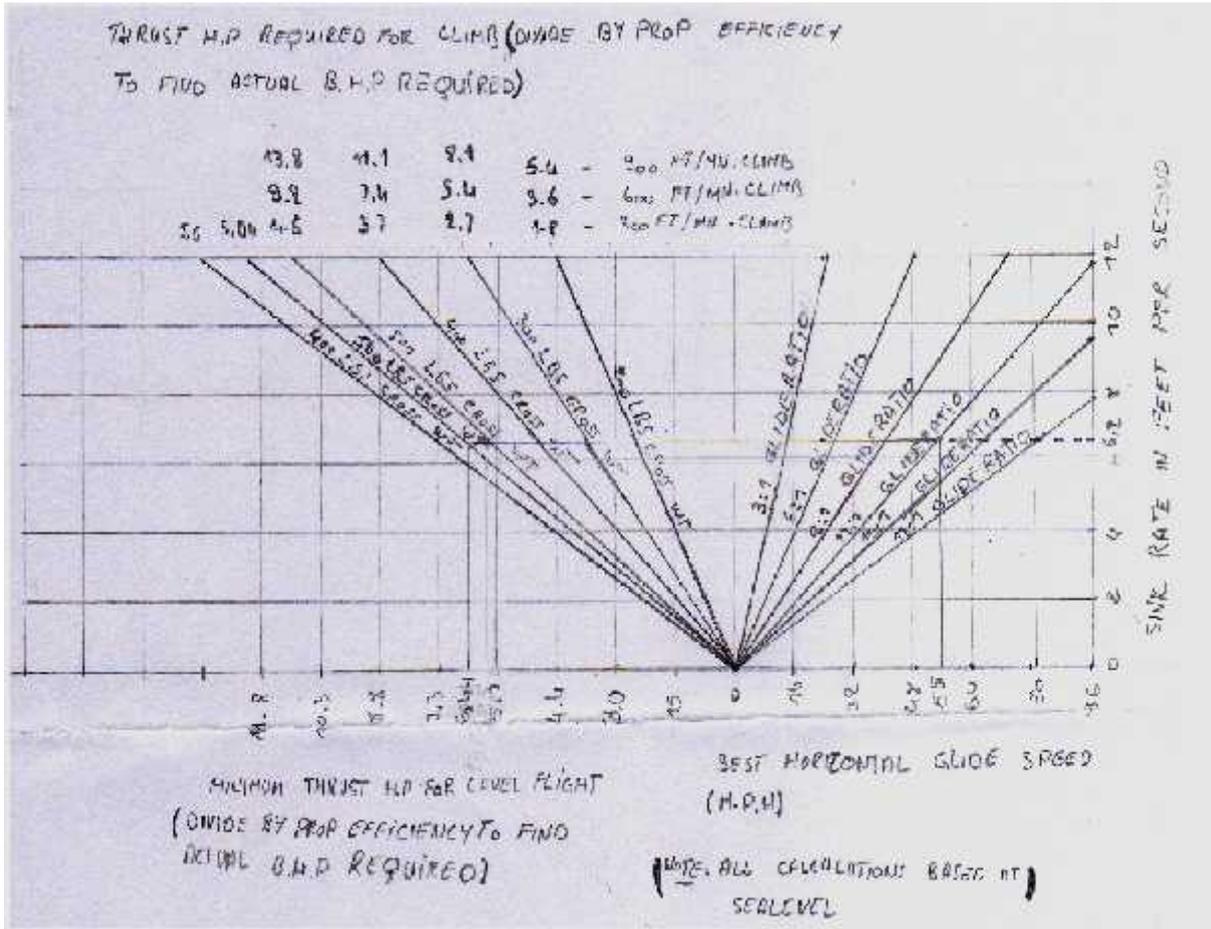


Figure (III-40) Les différentes performances d'un ULM. Ref [2]

En effet, cet abaque nous regroupe la puissance nécessaire pour réaliser la montée et le vol horizontal pour différents poids, finesse, poids total et de taux de montée et de chute.

En partant d'une vitesse horizontale de **55mph**, une droite verticale est tracé jusqu'à la droite **12 :1** de cette intersection une ligne droite est prolongée jusqu'à la droite du poids **540lbs**. La lecture sur l'axe en bas nous donne une puissance de traction pour un vol horizontal égale à **6.44THP**. Cependant pour un taux de montée de **300ft/min** la puissance de traction nécessaire la montée sera de **5.04 THP**.

En totalité, on assure une puissance globale d'avion : **5.04 + 6.44 = 11.40 THP**

Pour une construction amateur le rendement de l'hélice est compris entre **0.5 à 0.7** si on suppose une hélice de **1600mm** de diamètre et a un rendement de **0.68**
La puissance moteur sur l'arbre sera $(11.40 / 0.68) = 19\text{BHP}$

Pour garantir une sécurité de fonctionnement et une marge de puissance de réserve, le moteur doit fonctionner à **50%** de son régime maximal. C'est pour quoi pour cette **ULM** un moteur de puissance environ **35CV à 40CV** est souhaitable

La vitesse de décrochage de l'avion est d'environ **26mph**

La charge alaire = **19.33 kg /m²** ; pour une aile nous avons la demis charge donc **9.66 kg / m²**

Pour notre structure dont les deux longerons principaux sont les deux tubes en aluminium du bord d'attaque et du bord de fuite nous avons la distribution de charges ci-dessous :

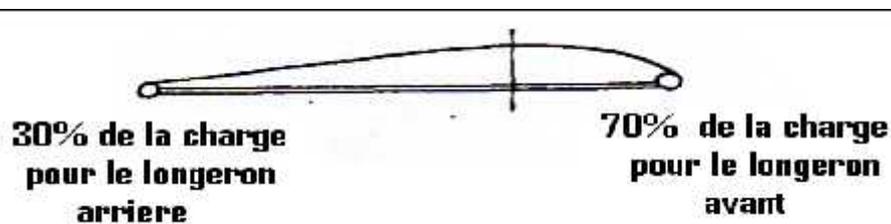


Figure (III-40) la répartition des charges sur l'aile Ref [2]

Le longeron avant du bord d'attaque supporte **70%** de la charge alaire donc **6.76kg/m²** tandis que le longeron arrière bord de fuite supporte **30%** de la charge alaire donc **2.898 kg/m²**

Dans les tableaux ci – dessous nous avons regroupé les différents caractéristiques et performances de l'**ULM** qu'on a conçu

LES PERFORMANCES DE L'ULM	Les valeurs
Charge totale	245 Kg
Charge à vide	143Kg
Charge utile	102Kg
Envergure de l'aile	8382mm
La corde de l'aile	1512mm
La surface alaire	12.68mm ²
La charge alaire	19.063kg / m ²
La hauteur de l'avion	1930m
La longueur de l'avion	5252.8m
Puissance moteur	35CV à 40CV
Puissance nécessaire pour une montée	5.04 THP
Puissance nécessaire pour vol horizontale	6.44THP
Vitesse de croisière	55mph
Vitesse de décrochage	26mph

Tableau (III-5) Les Différent caractéristiques et performances de l' **ULM**

CHAPITRE IV

LA REALISATION

1/ INTROUCTION

Dans ce chapitre, on va exposer notre travail et les différentes étapes qu'on a suivis durant la réalisation de notre *U.L.M*, en suivant la conception faite par le logiciel *C.A.O solidworks*. Mais avant de passer au travail on va vous présenté les principales difficultés qu'on a eu au cours de notre réalisation tel que la disposition du matériel au marché et son prix, le terrain pour travailler et le manque d'expérience, tous ces paramètres ont influe sur le temps et nous on obligé de terminer le travail en 4mois.

Comme la structure de l'*U.L.M* est tubulaire donc la première étape de notre réalisation été : l'achat des tubes en aluminium de référence *T6061* exigé par la construction aéronautique pour cella on a contacté la société Algérie Aluminium qui nous a fournis la quantité nécessaire.

2/ LE CHASSIS

Comme nous l'avons déjà motionné au chapitre précédent, les tubes d'aluminium nécessaires pour la construction du châssis est le tube carré de section (*60mm*60mm*) et d'épaisseur *2mm*. On a commencé par la découpe des tubes celons les longueurs et les angles exigés par la conception, on a utilisé comme outil de coupe une machine spéciales pour aluminium avec le technicien machiniste de la société *ALGAL* qualifié pour se travail. D'une part cette machine est très dangereuse et d'autre part demande une grande expérience. Voir Figure (IV-1)



Figure (IV-1) La machine de découpage

Chaque tube découpé est placé et numéroté dans son emplacement, de cette façon on sera sûr que notre châssis est bien formé voir figure (IV-2).



Figure (IV-2) La disposition des tubes découpés

Bien que les tubes sont prêts et qu'on a fait toutes les coupes nécessaires et voulues. On passe maintenant à la réalisation des goussets qui sont des pièces en aluminium de **5 mm** d'épaisseur.

On a ramené des tôles, on les à teinter avec le bleu de méthylène et après on a fait le traçage des goussets à l'aide d'un trusquin de traçage ; la découpe est exécutée par des technicien machiniste de la **SNVI** car la machine de découpe est très dangereuse. On passe maintenant au perçage et pour cela on a utilisé une fraiseuse semi-automatique pour que le perçage du premier gousset soit bien coaxiale avec le deuxième et obtenir un châssis bien équilibré et en fin on doit les nettoyé avec de l'alcool pour éliminer le bleu de méthylène et éliminer les bavures à l'aide d'une lime et du papier verre. Voir Figure (IV-3)



Figure (IV-3) Les étapes de la réalisation des goussets

L'assemblage du châssis est un assemblage mécanique réalisé par une vis hexagonale **M8** d'une longueur **$L = 80\text{mm}$** et un écrou frein **Nylstop**.

L'assemblage nécessite une grande surface pour le bien manipuler, on commence d'abord par la partie inférieure qu'on prendra comme référence et ainsi de suite jusqu'à où on termine, on met chaque gousset à sa place sur le tube et on perce radialement pour que les trous de perçage des deux goussets et de tube soit coaxiaux. Au cours de l'assemblage du châssis on a eu un peu de problèmes tel que : l'indisponibilité des grandes tables pour les faire comme gabarits donc pour cela on rectifie à chaque fois le parallélisme et la perpendicularité entre les tubes se qui nous à pris du temps aussi on n'a pas pu réaliser un gabarit pour la perceuse pour quelle soit bien perpendiculaire avec le tube.

Le serrage primaire des boulons est fait par une clé à œil et le serrage final avec une clé dynamométrique à valeur **2.875kg**

Les différentes étapes de la réalisation du châssis ainsi que le châssis final est montré dans la figure ci- dessous



Figure (IV-4) L'assemblage du châssis

On passe maintenant à la queue du châssis qui a besoin des renforts et qu'on a réalisé avec les tubes ronds de **28mm** de diamètre et **2mm** d'épaisseur et des cornières en U de dimension (**60mm*60mm**) et d'une épaisseur de **2mm** dont on a percé et riveter sur la queue a des endroits qu'on a déjà mentionner dans la conception et on les a percé aussi dans les cotés pour tenir les tubes de renfort, on a utilisé ici la solution vis et écrou et pour cela on a été obligé d'utiliser des tube de **12mm** de diamètre et une longueur de **28mm** dans les tubes rond pour que lors du serrage le tube ne s'écrase pas. Voir les différentes images de cette réalisation dans la figure (IV-1) ci- dessous.



Figure (IV-5) La réalisation des renforts de la queue du châssis

3/ LE TRAIN D'ATTERISSAGE

On a réalisé un train classique constitué des tubes en inox assemblés par soudage, il nécessite beaucoup de travail et de précision. Mais avant de commencer dans sa réalisation on doit réaliser la traverse tubulaire qui va le porter, elle se constitue d'un tube carré en aluminium de section ($60\text{mm} \times 60\text{mm}$), d'une épaisseur de 2mm et d'une longueur de 700mm , il est positionné à une distance de 685.8mm par rapport à la ligne de référence et qu'on doit introduire dans son milieu un tube en inox de section ($25\text{mm} \times 25\text{mm}$) qui a une épaisseur de 2mm il a une longueur de 920mm , ils sont assemblés au châssis à l'aide des vis mécanique et des écrous frein.

3.1/ Le train principal

Après avoir fait toutes les découpes nécessaires de tubes inox, nous avons construis les fourches en fer plat de 3mm d'épaisseur, les différent goussets d'assemblage en tôle d'acier de 2mm d'épaisseur on a acheté les cylindres blocs qui ont un rayon et une hauteur de 30mm ; et pour le soudage, il a été fait par le jeune soudeur très doué ABDELHADI. Voir figure (IV-6)



Figure (IV-6) Les différentes étapes de la réalisation du train avant

3.2/ Train arrière :

Il se constitue de deux tôles de fer plat de **3mm** d'épaisseur qu'on a plié à de différents niveaux pour avoir la forme voulue, dans le coté bas on a placé la roulette et dans le coté haut on a fait **3** trous de perçages pour sa fixation dans l'extrémité de la queue du châssis. Voir figure (IV-7)



Figure (IV-7) Le train arrière réalisé

4/ LES EMPENNAGES

Comme on déjà mentionné au chapitre précédent que les empennages se constituent principalement de tube de **25 mm** de diamètre et d'épaisseur **1,5 mm**, la réalisation de ces éléments nécessite la disposition d'une cintreuse. Pour cela on a été obligé de construire cet outil ; qui a été réalisé en bois. Les différentes étapes de la construction de notre cintreuse manuelle sont mentionnées dans la figure ci-dessous.



Figure (IV-8) Les différentes étapes de la réalisation de la cintreuse

On a commencé cette réalisation par la construction des goussets nécessaires pour l'empennage vertical et horizontal. On a réalisé en premiers temps ces goussets en bois pour obtenir le gabarit qu'on utilisera pour leurs réalisation en tôle d'aluminium d'épaisseur **0.6mm** et on les a percé, on a 10 formes différentes de goussets. Voir figure (IV-1)



Figure (IV-9) Les étapes de la réalisation des goussets

4.1/ L'empennage vertical :

On a commencé par la partie fixe de l'empennage qui est la dérive verticale, elle est faite en tube de **25mm** de diamètre et d'épaisseur **1.5mm** et du tube de **12mm** de diamètre et d'épaisseur **1.5mm** au niveau des raccords. On commence par les découpes nécessaires mentionnées dans la conception et on fait l'assemblage, pour cela il faut disposer une table de travail bien plane et blanche pour dessiner la dérive avant l'assembler pour s'assurer que l'angle et le rayon de cintrage ainsi que la disposition des tubes soient parfaits, l'assemblage est réalisé par rivetage, après la finition de l'assembler de tous les tubes, on passe aux renforts de la dérive qui sont réalisés en utilisant le tube de **12mm** de diamètre. Ces différentes étapes de réalisation sont bien organisées dans la figure (IV-10)



Figure (IV-10) Les étapes de la réalisation de la dérive

Pour la fixation de la dérive avec le châssis il fallait construire un système de bridage très fort et très résistant. Voir figure (IV-11)



Figure (IV-11) L'endroit et les systèmes de bridage de la dérive horizontale

De la même façon, on a réalisé la gouverne de direction et pour sa fixation avec la dérive, on n'a pas pu réaliser les chaînieres qu'on a fait à la conception vue le manque de matériel et du finance mais ces barrières ne nous ont pas arrêter et on a réfléchi d'autre solution c'est d'utiliser des petites cornières qu'on a riveté sur les deux cotés opposant de la dérive et de la gouverne et le point de contact on l'a percé et introduit une vis de **4mm** de diamètre et d'une longueur de **15mm** avec écrou, cette vis a un filetage partielle pour permettre la rotation de la gouverne, on a réalisé un autre système qu'on a utilisé dans les deux extrémité de la dérive et la gouverne dont on a utilisé un cylindre plein en aluminium fixé sur une tôle en aluminium, se système joue deux : le rôle d'une charnière et le rôle d'une bride de fixation, c'est très astucieux. Voir figure (IV-12)



Figure (IV-12) Les éléments d'assemblage de l'empennage vertical

4.2/ L'empennage horizontal :

Sa réalisation est un peu plus difficile que celle de l'empennage vertical, vu qu'il contient un cintrage très difficile car on va cintrer un tube en aluminium de **25mm** de diamètre et d'une épaisseur de **1.5mm**, c'est pas du tout facile avec une cintreuse manuelle et même si qu'on a remplis le tube en sable mais il s'est écrasé et on a perdu la matière, on a refait l'opération de ce cintrage **3** fois pour obtenir un résultat assez bien, sinon les autres étapes de la réalisation de l'empennage horizontal est la même que précédente, et elles sont bien détaillées dans la figure(IV-13).



Figure (IV-13) Les étapes de la réalisation de l'empennage horizontal

5/ LES AILES :

Elles représentent la partie la plus difficile, vu qu'elles demandent beaucoup de moyens, du temps, de l'espace pour bien travailler et une table spéciale pour ne pas perdre leurs parallélisme, on a réparé des tréteaux qu'on a trouvé dans la société **ALGAL**, qui était en mauvais état et après on a commencé notre réalisation par mettre les deux tubes qui représentent le bord d'attaque qui a un diamètre de **50mm** et le bord de fuite qui a un diamètre de **40 mm** et dont leur longueur est de **3600 mm** et on les a bridés sur la table en respectant la distance exigée par la conception qui est égale à **1278mm**, l'opération suivante est de tracer le centre de ses tubes à fin que le perçage qu'on réalisera dans les étapes suivantes soit bien aligné en utilisant un petit morceau du tube carré. Une fois que les axes

sont tracé on passe au traçage des point de perçage et qui doit être très bien fait, et on perce.

On aura besoin de construire des éléments d'assemblage des traverses qui sont des tubes de **25mm** de diamètre avec le bord d'attaque et le bord de fuite, ces éléments sont des morceaux de cornière et à la fin on dispose chaque tube dans son endroit aussi il ne faut pas oublier de renforcer les tubes percés en utilisant des tubes de **12mm** de diamètre pour éviter leur écrasement lors du serrage. Les différentes étapes de cette réalisation sont montrées dans la figure(IV-14)



Figure (IV-14) La réalisation de la structure tubulaire de l'aile

On passe maintenant à la réalisation des nervures ; ses éléments sont normalement réalisés par le polyester bleu mais vu que cette matière n'est pas disponible dans le marché algérien on a utilisé du contre plaqué de **10 mm** d'épaisseur car après la conception des profils dans le *solidworks* on l'a imprimé à échelle réelle à fin de l'utiliser comme un gabarit de traçage.

On a collé le dessin imprimé sur une feuille de contre plaqué d'une épaisseur de **10mm**, on a fait la découpe à l'aide d'une scie à ruban et le limage et la finition on la fait à l'aide d'une lapidaire, une fois que la première nervure est terminée on l'utilise comme gabarit de traçage pour les **25** nervures qui manquent on travaille toujours par paquet de **5**

nervures pour avoir des profils semblables et analogues.
Les différentes étapes de cette réalisation sont bien détaillées dans la figure ci-dessus



Figure (IV-15) Les étapes de la réalisation des nervures

On passe maintenant au perçage au niveaux du bord d'attaque et du bord de fuite en utilisant des outils spéciaux, et vue que ces nervures sont très lourdes on été obligé de leurs faire des évidements à différents niveaux pour alléger leurs poids mais surtout sans diminué leurs résistance à la torsion, on a utilisé pour cette opération une scie sauteuse et après on les a teinté avec du vernis, pour leurs donner une résistance à l'humidité et à la fragilité. On passe maintenant à leurs emplacements dans les ailes, on définit leurs positions et on faits les évidements nécessaires aux niveaux de leurs croisement avec les traverses et les deux longerons secondaires qu'on utilisera après. Voir figure (IV-16)



Figure (IV-16) La préparation des nervures

Les longerons secondaires sont faits en contre plaqué de **10mm** d'épaisseur, ils sont de différentes sections, l'un se place près du bord d'attaque à une distance de **332mm** et l'autre près du bord de fuite à une distance de **1017mm** par rapport au bord d'attaque. On les place dans leurs positions et on fait les évidements nécessaires ; une fois que les nervures et les longerons prennent leurs endroits ; on les bride par des cornières pour qu'ils ne bougent pas.



Figure (IV-17) L'emplacement des nervures et des longerons

6/ LES AILERONS :

Ils sont très simples à faire, ils se constituent de tube de **28mm** de diamètre et d'une épaisseur de **2mm** qui a une longueur de **3600mm** et du tube de **12mm** de diamètre et **1.5mm** d'épaisseur, on commence par le traçage du centre d'un tube de **28 mm** de diamètre, on trace les 7 centres de perçage et on perce à travers tous son diamètre avec un diamètre de **4mm** et on refait partiellement le perçage par un diamètre de **12mm**, on découpe les 6 morceaux du tube de **12 mm** de diamètre qui ont une longueur de **150mm** et on introduit dans l'une de leurs extrémités un bout de plastique, on les place dans les trous qu'on a réalisés avant et on doit les brider à l'aide d'une vis à bout pointu (vis à tôle autotaraudeuse) et on aura le serrage voulu.

On passe maintenant au tube de **12mm** diamètre qu'on a besoin d'une longueur de **3800mm**, on fait un petit cintrage à **150mm** de l'une de ces extrémités et on introduit un bout de plastique et on refait la même opération qu'avant, on découpe des petit morceaux de la tôle d'aluminium de **0.6mm** d'épaisseur et qu'on va utiliser pour brider la **2eme** extrémité des tubes avec le grand tube de **12mm** et on fait rivetage pour l'assemblage les différentes étapes de cette réalisation sont présentés dans la figure ci-dessous



Figure (IV-18) Les étapes de la réalisation des ailerons

Pour la fixation des ailerons avec les ailes on a utilisé le même système que des empennages. Voir figure ci-dessous :

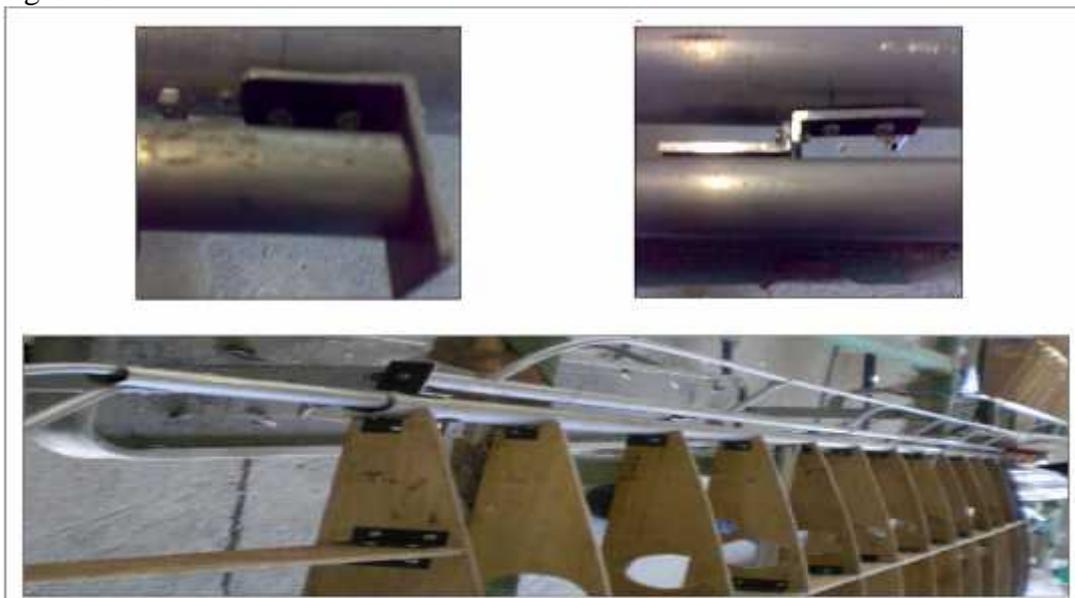


Figure (IV-19) Le système de fixation des ailerons

7/ LA FIXATION DES AILES :

On a utilisé pour la fixation des ailes au niveau du châssis des morceaux en U en acier qu'on a découpé, et on a introduit dans le tube d'aluminium qui va tenir ces brides de fixation une barre du hêtre. Voir figure si dessous.



Figure (IV-20) Les fixations des ailes au niveau du châssis

Pour les mâts on a utilisé le tube rond de **40mm** de diamètre et **2.5mm** d'épaisseur dont la longueur de celui qui tient le bord d'attaque est de **2593mm**, et **3006mm** pour celui qui tient le bord de fuite, aussi on a utilisé **3** renforts de mâts pour chaque ailes, ils sont en tubes d'aluminium rond de **28mm** de diamètre et **2.5 mm** d'épaisseur.

Pour la fixation des mâts, nous avons réalisé les attaches qu'on a fait à la conception, qui sont des éléments en acier.



Figure (IV-21) Les différentes fixations des mâts

8/ LE REVETEMENT :

Nous avons utilisé un revêtement non tavaillon fait par la toile polyester c'est du **100% Dacron**, ce procédé d'entoilage nécessite un certain soin pour obtenir un fini fonctionnel et donner une belle apparence à notre appareil construit. Ce tissu est connu sous le nom de "doublure de vêtement", on le trouve dans la plupart des magasins de tissu. Il est généralement utilisé comme doublure pour les vestes et les costumes habillés. Il a une largeur standard de **1500 mm**, et il rétrécit à la chaleur.

La technique est très simple, on l'a utilisée pour les empennages, les ailes et les ailerons avec de simples différences, mais elle demande une équipe de **4 à 6 personnes** surtout pour le revêtement de l'aile qui est très fatiguant.

On prendra comme exemple pour le revêtement des empennages la gouverne de l'empennage horizontal, on commence par la découpe du tissu selon les sections nécessaires de la dérive en prenant une marge pour faciliter le tondage de la toile, on applique la colle sur le pourtour de la gouverne, on la laisse un petit moment pour sécher un peut et on pose le bord du tissu et de l'autre coté on tire très fort pour bien tendre la toile, une fois que tout les cotés sont parfaitement collés tendus, on passe à la finition de la toile collée sur le pourtour de la pièce en la thermo rétractant au fer à repasser ; On n'oublie pas de faire des trous d'évacuations dont la toile sera percée d'un petit trou et renforcé d'un patch sur tous les points bas. Voir figure (IV-21)



Figure (IV-22) Les étapes de l'entoilage de la gouverne horizontale

Remarque

Il est très nécessaire d'utiliser un enduit de tension qui sert à tendre et stabiliser la tension, garnir, rigidifier et étanchéifier la toile, mais malheureusement, il n'est pas disponible

sur le marché ce qui a rendu notre travail très difficile car on a été obligé d'assurer ces fonctions sans ce mystérieux enduit.



Figure (IV-23) L'entoilage des empennages

Les ailes c'est un peu plus compliquée vus que c'est la partie la plus essentiel, leurs finition est très importante et aussi leurs volume, on a commencé par faire la coupe du tissu en 3 panneaux de **3m** de longueur et on les coud sur sa largeur à l'aide d'une machine à coudre

Avant de commencer l'entoilage il faut s'assurer que l'aile est bien finis y'a aucune bavure ou une vis longue qui peut déchirer la toile, on applique la colle sur le bord de fuite de sa partie supérieure d'une façon que le revêtement commence par l'intrados une fois qu'on a finit on laisse la colle bien sécher **12heures** et après on passe au revêtement de l'extrados, l'opération suivante est de thermo rétracter au fer à repasser, la toile collée sur le pourtour. Aussi on ne doit pas oublier de faire les trous d'évacuations

De même pour les ailerons, on a utilisé la même technique pour leur revêtement



Figure (IV-24) l'entoilage des ailerons

8/ LA PEINTURE :

Après l'entoilage et les différentes étapes effectuées sur la toile, il faut préparer les ailes et les empennages à la peinture, en s'assurant qu'il n'y a aucun trou et aucun petit fil dans les bordures du tissu, que la colle à bien sécher et que la finition soit parfaite, du fait que la peinture aéronautique n'est pas disponible au marché, après plusieurs essais nous avons choisis une peinture utilisé dans la tôlerie c'est la peinture cellulosique de **GLYCAR AIR**, elle sèche rapidement et elle a une bonne finition. L'application de la peinture est faite par un pistolet manuel à pression. Abdelhadi nous aidé dans la peinture



Figure (IV-25) Application de la peinture

9/ LES COMMANDES DE VOL :

Le système qu'on a conçu est présenté dans le chapitre conception, c'est des commandes souples, qui ne demandent pas de gros moyens, mais beaucoup de temps vus que tous ces éléments sont réalisés à main.

La commande de l'empennage vertical et la roue arrière ; se constituent des pédales, d'une plaque en aluminium de **3mm** d'épaisseur qui une forme spéciale aussi de deux biellettes qui transmettent le mouvement de la roue arrière vers la dérive, des câbles de transmissions, des roulettes des éléments de fixation et des sers et des guides câbles. Voir figure ci-dessous

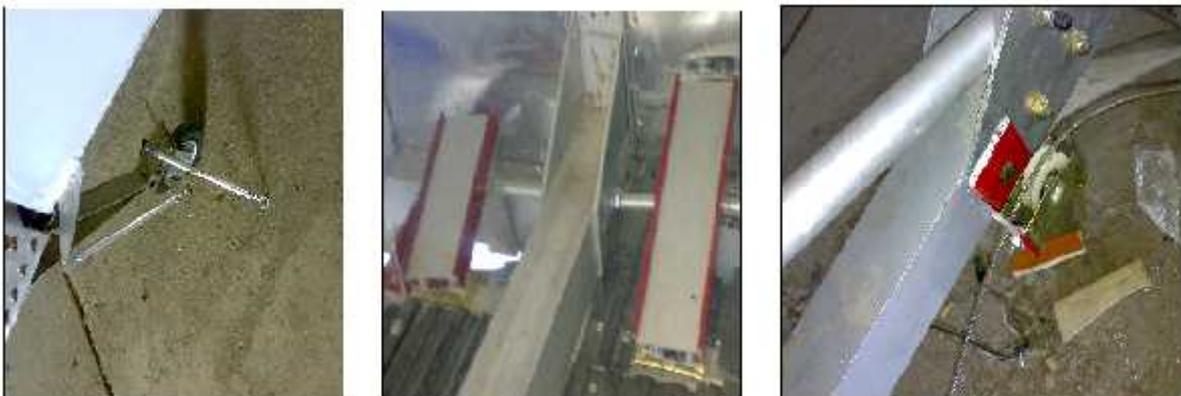


Figure (IV-26) La commande de la gouverne verticale

La commande des ailerons et de l'empennage horizontal : se constituent principalement du manche à balai, des tiges rigides,



Figure (IV-27) La commande des ailerons et de la gouverne horizontale

10/ LA CABINE

On a réalisé la cabine qu'on a conçue qui se constitue de cornières de dimension (25mm*25mm) mais on l'a pas revêtue avec de la tôle d'aluminium vue manque de finance dont on a utilisé un matériau composite à base de deux tôle d'aluminium assemblé par une résine spéciale, ce type de revêtement est utilisé dans l'habillage des façades



Figure (IV-28) La réalisation de la cabine

11/ LE SIEGE

On a utilisé le siège d'un hélicoptère, mais on l'a construit une plaque de fixation qui se constitue d'une plaque d'aluminium de **6mm** d'épaisseur et de section (**360mm*260mm**) et de quatre cornières de dimension (**60mm*60mm**).



Figure (IV-29) La fixation du siège

Conclusion

Ce travail nous a permis d'une part d'approfondir nos connaissances théoriques acquises durant notre formation au sein de l'institut d'aéronautique de Blida; et de les mettre en pratique. D'une autre part, la conception de l'*ULM* sur l'outil *CAO solidworks* nous a amené à touché ce logiciel qui été pour nous une chose nouvelle et difficile dans les premiers temps mais *hamdoulah*.

Et comme dit le proverbe: « **on n'arrive pas à un résultat sans peines ni sacrifices** » et nous ; nous avons sacrifié et souffert pour mener ce travail à terme. Ce que vous voyez devant vos yeux nous a couté du temps, de l'argent, et des larmes dont on ne peut pas démontré cette expression. Seul qui sont passés peuvent sentir ce sacrifice et les gens qui nous ont aidés.

Si la réalisation n'a pas pus être achevé à terme ce n'est pas par manque de volonté de notre part mais :

- L'indisponibilité de la matière première en *ALGERIE*,
- Manque d'expérience ;
- toutes documentations techniques concernant le calcul de performances des avions Ultra Légers,
- et le finance.

Enfin, nous espérons que ce travail apporte un plus pour les étudiants du département d'aéronautique et que ce modeste travail qui représente tant d'années de sacrifices et de patience, leur servira de base et de référence, inchalah.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages :

[1] – **COURS D'AERODYNAMIQUE**

- “ TOME I : aérodynamique avion “

[2] – Mr **HEBERT BEAUJON**

- “ disenyo y construccion de aviones ultra ligeros “

[3] – Mr **ANDRE CHEVALIER**

- “ chevalier: guide du dessinateur industriel “

[4] – **JACQUELINE AURIOL**

- “ PREMIERE PARTIE ; Le principe du pilotage ; technologie aérodynamique et mécanique du vol“

[5] – **J.C.RIPOLL “ aérodynamique mécanique du vol**

- “ école national d'aviation civile“
- Edition : 3 ème édition

[6] – **U.S.DÉPARTEMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION**

- “ Airframe and power plant mechanics airframe handbook“

[7] - Mr **MICHEL COLOMBON**

- “technologie de construction des avions MC 15 et MC 100“

Thèses :

[8] – **BELALTA MERIEM, AREZKI NACER**

- “ remise en état d'une soufflerie subsonique “
 - Département : aéronautique
 - Promotion : 2003
 - Promoteur : BENTRAD HOUCINE
-

Sites internet :

[9] – www.Zene thar.com/ kit_data/nt.html

Aircraft .design made Eassy

Chris Heintz desing College

[10] – www.aviation-fr.info

[11] – www.diatex.fr/produits/aero/methode.htm

[11] – www.aerodata.fr/entoilage_aeropicardie.html
