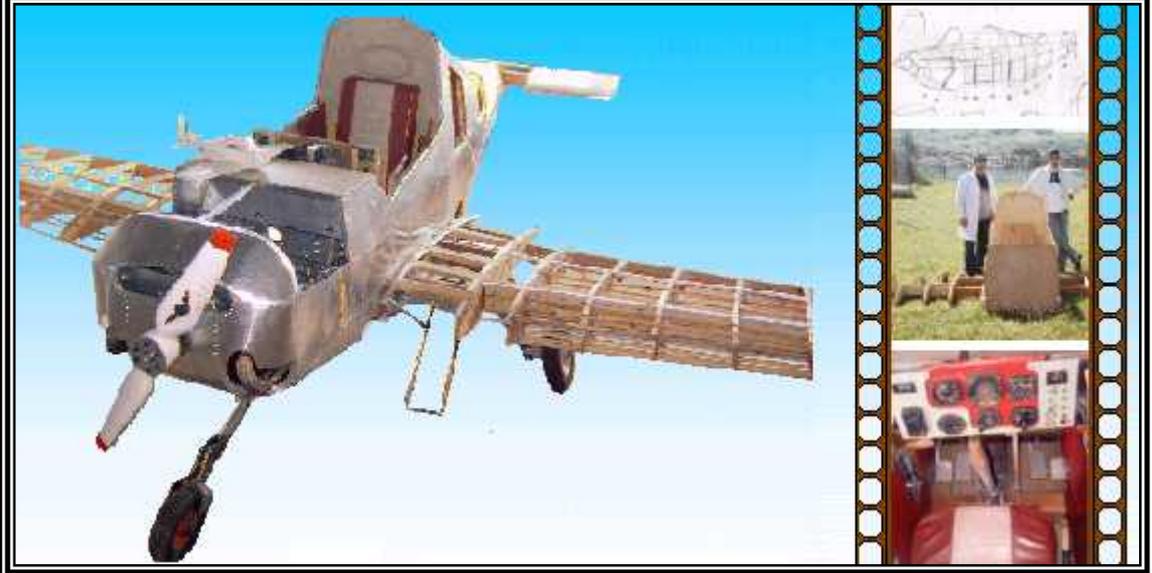


Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique  
Université de SAAD DAHLAB de BLIDA  
Faculté des sciences de l'ingénieur  
Département d'Aéronautique  
Mémoire De Fin D'études Pour L'obtention Du  
Diplôme Des Etudes Universitaires Appliquées  
En Aéronautique  
Option : structure

**Conception d'un avion léger en bois CHIRAD-1A  
et réalisation des parties:  
Fuselage, trains d'atterrissage et commandes de vol.**



Réalisée par : **M. MOHAMMED BELARBI Adel**  
**M. BENKEBAILI Hamoud**

Encadrée par : **M. Settouf Mohammed**

Soutenue le : **14/12/2006**

Devant le jury :

**M. BEURGUEL Saïd**  
**M. SETTOUF Mohammed**  
**M. BENTRAD Hocine**  
**M. KBAB Hakim**  
**M. OULED BESSI Hamid**  
**M. TAHI Ali**

**Président**  
**Promoteur**  
**Promoteur partie propulsion**  
**Examineur**  
**Examineur**  
**Examineur**

Promotion: 2006



لقد درسنا في عملنا هذا العديد من هياكل الطائرات، قصد الاستفادة من تقنياتها في تصميم طائرتنا الخاصة شيراد 1- أ ثم إنجازها. و هذا لكي نوفر الأداة العملية على مستوى ورشات معهدنا.

### Résumée

*Nous avons étudié dans notre travail plusieurs structures d'avions, afin d'utiliser leurs techniques dans la conception de notre avion léger CHIRAD 1-A et puis sa réalisation. Pour offrir le support pratique au niveau des ateliers de notre institut*

### Summary

*We have study in our work many plane structures, in order to use their techniques in the design of our light aircraft CHIRAD 1-A, and then its building. To offer the practice tool of our institute workshops.*



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلْ أَعْمَلُوا بِسِيَرِ اللَّهِ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّوكَ  
إِلَىٰ عِلْمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنبِّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ تَعْمَلُونَ ﴿١٠٥﴾

سورة التوبة



# REMERCIEMENTS

الحمد لله الذي وفقنا لهذا النجاح عز وجل

- Nos remerciements vont directement à tous ceux qui nous ont aidé dans ce projet :
- **Dr Saïd BERGUEL.**
- **Ammi Rabah BOUALEM.**
- **Ammi Rabah BOUZID.**
- Nos promoteurs **M. SETTOUF** et **M. BENTRAD.**
- Et Nos membres de jury **M. KBEB** et **M. OULED BESSI** et **M. TAHI.**
- **M. DAOUADJI, M. Djamel, M. ZENNIL, M. Mohammed, M.Djalel, M. Hakim** (atelier mécanique) **M. Taher, M. Amer.**
- **Le prof. BOUKRAA, DR BOUNATERO, M. TOUATI, M. DRIOUECHE**
- **M. NAHHAL Omar , M. SIAFA.**
- **Ammi Allel, Ammi Abdelkader** et tous les agents de sécurité de l'université.
- **Abdelkader KERRAT.**
- **Chirine.**
- **Le groupe de scout ESSADA** de Hammem Bou Hdjar.
- **Le groupe NASSAMETTE EL HOUDA** de Hammem Bou Hdjar.
- **L'association EL'IRCHAD WA EL'ISLAH** de Hammem Bou Hdjar
- **M.BOUHADJAR, M.SAID BELARBI, M.RAHILA, M.BEN TOUILA**
- **AbdelghaniELBLIDI , Mourad CHERGUI**
- **Hadjira, Asmaâ, Hamza, Chérif, Salim, Hamid, Leila, Roza, Linda, Ahmed BOUDEY, Abderrahmane** et **Omar.**
- Avec une spéciale remerciement à : **Amine ARKAM , Amer, Saâd, Houari, Farida, Leila, Farouk, Abdelatif, Sid Ahmed, Adel, Sofiane, DOUMI, Hassen, Mohammed KOUAKA, Jugurtha,...** et tous ceux qui ont travaillé jour et nuit avec nous.
- Et tous ceux qui ont assister au portes ouvertes

Grâce à vous ...

Un jour...



... إن شاء الله

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## عقد

... وأخيرا كتب لنا المولى تبارك و تعالیٰ، وبعد عناء سنين من الدراسة، إتمامها بهذا الإنجاز الذي - ورغم ما أخذ منا من وقت وجهد و مال بل و أعصاب - أردناه عربون إخلاص لهذا الوطن.

أهدي ثمار عملنا هذا ويكل اعتزاز

إلى الحبيبة أمي و الغالي أبي إكراما لهما ﴿كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا﴾ وتحقيقا لجزء يسير من آمالهما في.

إلى إخوتي الألى أتعب القلب حُبهم.. ماما ريحانة، الصديق و عبد الرزاق.

إلى جدتي التي ما كنت لأصل لولا صالح دعائها .

إلى من دعواتهم .. بعد أن سكنوا الدمن ٠.. تير مسالكي .. جدي عمر ، دادة ماما، أبا بوعلام، عمي ميلود ﴿رحمهم الله﴾.

إلى عماتي و أعمامي و كل أفراد عائلة محمد بلعربي وعائلات بوسعيد، بوزيدي، بكرالد

وأخص عمتي فييحة وأخت التي لم تلدها أمي نصيرة وعائليهما.

إلى خالتي و أخوالي و كل أفراد عائلة مهداوي وعائلات بلمهيدي، بوهدة، معروف و العدواني.

إلى خالي محمد الذي رفع به الله عني الكثير من أعباء سنوات الجامعة.

إلى شقيق الروح زكرياء الذي قاسمني حلو الحياة ومرها.

إلى أخي العزيز أمين وعائلي شردودي و موفق.

إلى شيرين15.

إلى كل من ساهم في تعليم منذ أن وطلت رجلاي المدرسة. خصوصا المرحوم -ياذن الله- المعلم قويدر ، المعلمة زهور ،

السيدة عقيلي ، الأستاذة ستره ، الأستاذ و الأستاذة عبيد، الأستاذ قارة.

إلى الدكتور برغل و الدكتور بونايطرو .

إلى أستاذي المشرف سطوف محمد.

إلى كشافي وقادة فوج السعادة. وأخص العيد، بوحجر، بوسبحة .

إلى منتسبي جمعية الإرشاد و الإصلاح لحمام بوحجر.

إلى طلبة مدرسة السي بومدين.

إلى منشدي فرقة نسيمات الهدى.

إلى محمود، ربيع، سفيان، عبد الكريم، خير الدين، عباس، أمين، أمين أرقم، ليلي، فايزة، غنية، إيمان، خديجة، نور الدين،

حسني، حسان، محمد و احمد، أحمد، نسيم، اممر، سعد، الهواري، خدير، عمراوي، بن مية.

إلى رفاقي في المشروع حمود، هشام، الوناس و عبد الله.

إلى رفاقي في الغرفة E-206

إلى عائلة بوزيد وبولمعالي بالبرواقية، الدومي بالبيرين، مجراب و بن قبالي و أرقم و بن بيطاط بالبلدية.

إلى عمي بودية الذي أعانني كثيرا على هذا العمل، عمي مراد، عمي عز الدين، وعمي بن عيسى.

و ختاماً إلى كل أساتذة و طلاب معهد الطيران بالبلدية.

عائل الذي يحك جميعا



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## DEDICACES

*J'offre ce modeste travail avec une grande  
Fierté à :*

*À Mes chers et aimables parents qui m'ont soutenu  
tout le long de mes études.*

*À Mes chères soeurs, mes frères .*

*À Mes tantes et toute la famille Benkebaili .*

*À La famille Bouzid et la famille M<sup>ed</sup> Belarbi.*

*À Khadidja.*

*À Tous les enseignants au niveau de l'IAB.*

*À Mes amis dans le groupe : Adel, Hichem, Lounes et  
Abdellah.*

*À Mes amis: Sid Ahmed, Mourad, Amar, Saâd,  
Nassim, Amine, Ahmed, Rosa, Hadjira, Leila, Zoulikha,  
Chérifa, Ihsène, Hanene, Sabrina, Ghania, Faïza et  
touts mes amis de département d'aéronautique.*



Hamoud

*[Signature]*

# *Introduction*

Le but de notre travail est de réaliser un avion léger en bois à revêtement métallique, monoplace et monomoteur destiné pour l'agriculture, la photo aérienne et comme outil pédagogique à l'atelier de structure.

La conception et la réalisation de cet engin, nous ramènent à élaborer des plans détaillés de la voilure, fuselage, des trains d'atterrissages, des stabilisateurs et du moteur suivant un cahier de charge bien défini. Pour atteindre cet objectif, on doit tout d'abord passer par un modèle réduit (échelle 1/10) pour effectuer quelques essais aérodynamiques et envisager les défauts structuraux.

Pour mener bien ce travail, on a divisé cette réalisation en trois parties principales après une étude structurale et propulsive :

- Partie I : réalisation de la voilure et des empennages
- Partie II : réalisation du fuselage, train d'atterrissage et commandes de vol
- Partie III : la motorisation

Après cette introduction, on entre dans le cœur du sujet et pour cela on a bien voulu diviser notre travail de la partie II en cinq capitansats.

Nous présenterons dans le premier chapitre la généralité sur les avions légers à savoir l'étude descriptive des avions, matériaux composites et construction aéronautique.

En second lieu, on traite le fuselage du point de vue résistance des matériaux et technologie.

Dans le troisième chapitre, on décrit les différents types de trains d'atterrissage et les charges appliquées.

Dans le chapitre quatre, on s'est intéressé aux commandes de vol et des méthodes de transmission de mouvement utilisées dans les avions légers.

Dans le dernier chapitre, on procède à la description et à la réalisation des différents modules ainsi qu'à leurs assemblages.

Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale.

# Sommaire

## CHAPITRE I GENERALITE

I-1 Historique .....	3
I-2 Etude descriptive sur les avions légers. ....	9
I-2-1 Le Fuselage .....	9
I-2-2 Les Ailes .....	10
I-2-3 Les empennages.....	11
I-2-4 Les gouvernes .....	12
I-2-5 Le train d'atterrissage .....	12
I-2-6 L'habitacle.....	13
a) Les commandes de vol .....	13
b) Le tableau de bord .....	14
I-3 Rappelle sur la résistance des matériaux.....	17
I-3-1 Les sollicitations de la cellule.....	17
I-3-2 Limite d'élasticité et résistance statique des matériaux.....	17
I-3-3 différents types de sollicitations simples :.....	18
a/ la traction : .....	18
b/ la compression "flambage" .....	20
c/ le cisaillement : .....	21
I-3-5 Différents type de sollicitations différentielles :.....	21
a/ la flexion : .....	21
B/la torsion : .....	22
I-3-6 Relations entre les différentes sollicitations : .....	22
a/ effort tranchant:.....	22
c/ Moment de flexion : .....	22
I-4 La construction aéronautique.....	23
I-5 Les matériaux aéronautiques .....	25
I-5-1 Alliage métallique en feuille : .....	25
I-5-2 Alliage métallique forgé, matricés, files : .....	25
I-5-3 Les nids d'abeilles métalliques : .....	25
I-5-4 Matériaux composites : .....	26
I-5-5 Le bois en aéronautique : .....	26
I-6 Généralité sur l'avion CHIRAD-1A.....	27
I-6-1 Historique.....	27
I-6-2 Destinations.....	29
a/ CHIRAD 1-B : .....	30
b/ CHIRAD 1-C : .....	31
I-6-4 Les Vues de l'avion.....	32
I-6-3 Données techniques .....	32

## CHAPITRE II GENERALITE SUR LES FUSELAGES

II Généralité sur les fuselages .....	33
II-1 Généralité .....	33
II-2 Différents types de fuselage : .....	33
II-2-1 Selon la configuration : .....	33
II-2-2 Selon la section .....	35
II-2-3 Selon l'aménagement.....	36
II-2-4 Selon la construction.....	38

II-3 Efforts Appliqués Sur Le Fuselage .....	40
II-3-2 Efforts dus au poids d'appareil .....	40
II-3-2 Efforts dus à la pressurisation : .....	41
II-3-3 Efforts dus au braquage de la gouverne : .....	42
II-3-4 Efforts localisés : .....	42
II-4) Analyse d'un fuselage semi-mono-coque : .....	42
II-4-1 les longerons .....	43
II-4-2 Les couples ou cadres : .....	43
II-4-3 Les lisses : .....	44
II-4-4 Le revêtement : .....	45
II-4-5 plancher cabine : .....	45
II-4-6 Les Portes : .....	46
II-4-7 La verrière .....	47
II-4-8 Glaces pare-brise : .....	48
II-4-9 Les Hublots : .....	48
II-5) Technologie d'un fuselage d'un avion léger en bois .....	49
II-5-1 Principes généraux .....	49
II-5-2 les moyens de tenir les efforts .....	49
A- Efforts verticaux ou horizontaux Provoquant un cisaillement : .....	49
B- Flexion : .....	49
C- Torsion : .....	50
II-5-3 Longerons : .....	50
A- Longeron encaissant Uniquement la flexion : .....	50
B- Longeron encaissant Flexion et Torsion : .....	50
II-5-4 Liaison Voilure - Fuselage : .....	50
A- Aile d'une seule pièce .....	50
B- Demi voilure : .....	51
II-5-5 Fuselage : .....	52
II-5-6 bati-moteur : .....	52
II-5-7 Attaches moteur sur bâti et bâti sur cloison : .....	53
II-5-8 Fixation train d'atterrissage sur longeron : .....	53
A- Nervures enfilées : .....	53
B- Demi- nervures : .....	54

### **CHAPITRE III GENERALITE SUR LES ATERRISSEURS**

III-Généralités sur les trains d'atterrissage .....	55
III-1 Généralités .....	55
III-2 Différents systèmes d'atterrissage .....	56
III-2-1 Système d'atterrissage .....	56
III-2-2 Système d'amerrissage .....	56
III-2-3 Système amphibie .....	56
III-2-4 Atterrissage et décollage vertical .....	57
III-3 Différents types des trains : .....	57
III-3-1 Selon Le nombre de roues .....	57
A- Mono roue .....	58
B- 2 roues .....	58
C- 3 roues .....	58
D- 4 roues .....	59
E- 6 roues .....	59
F- 8 roues .....	59
III-3-2 Selon la manœuvre .....	60

A-Trains fixes .....	60
B-Trains semi escamotables.....	61
D-Trains escamotables .....	62
III-3-3 Selon la configuration .....	63
A-Train classique.....	63
B-Train tricycles.....	64
C-Train bicycle.....	64
D-Train monotrace .....	65
E-Train d'atterrissage Quadricycle.....	66
F-Train Multi- boggie.....	66
III-4 Les charge appliquées sur un train d'atterrissage .....	68
III-4-1 Avion stationné.....	68
III-4-2 Lors de l'atterrissage .....	68
III-4-3 Lors de roulage.....	68
III-4-4 Lors de l'atterrissage avec dérapage .....	68
III-5 Description d'un atterrisseur :.....	69
III-5-1 L'amortisseur :.....	69
III-5-2 Différents types d'amortisseurs : .....	70
a- Amortisseur en caoutchouc en extension :.....	70
b- Amortisseur en caoutchouc en compression : .....	70
c- Amortisseur à ressort ou lames :.....	70
d- Amortisseur pneumatique :.....	70
e- Amortisseur oléopneumatique :.....	70
f- Amortisseur à compression de liquide :.....	70
III-5-3 les freins.....	71

## **CHAPITRE IV GENERALITE SUR LES COMMANDES DE VOL**

IV-1 Les axes de l'aéronef.....	74
IV-2 Les Commandes de vol .....	75
IV-2 -1-le gauchissement .....	76
IV-2 -2-La profondeur.....	77
IV-2 -3-La direction .....	78
IV-2 -3 Tableau récapitulatif des commandes de vol.....	79
IV-3 Commande auxiliaire.....	80
IV-3 -1 Dispositifs hypersustentateurs .....	80
IV-4 La transmission des mouvements.....	80
IV-4 -1 Les câbles.....	81
IV-4 -2 La tringlerie mécanique rigide .....	83
IV-4 -3 Les barres de torsion rigides .....	84
IV-4 -4 L'entraînement par moteur électrique .....	84

## **CHAPITRE V CONCEPTION ET REALISATION**

V-I Généralité sur la conception de l'avion.....	85
V-2 Le fuselage.....	86
V-2-1 La Conception.....	86
V-2-2 La description du fuselage .....	86
V-2-3 La réalisation du fuselage.....	88
A- Les cadres.....	88
B- Les longerons.....	91
C- Les lisses.....	94

V-2-4 Le cockpit.....	95
V-3 Les trains d'atterrissages.....	96
V-3-1 Conception.....	96
V-3-2 Description.....	96
V-3-3 La réalisation.....	97
A- Le train avant.....	97
B- Le train principal.....	97
V-4 Les commandes de vol.....	99
V-4-1 La conception.....	99

## **CHAPITRE LES ANNEX**

Annexe 1 La liste des modules de Young de matériaux .....	106
Annexe 2 Tableau des correspondances des matériaux .....	109
Annexe 3 Tableaux de comparaison des performances .....	110

## Liste des figures

Fig. (I.1) : 1480 un des travaux de Léonard da Vinci .....	4
Fig. (I.2) : 1783 montgolfière.....	4
Fig. (I.3) : 1890 l'appareil de Clément Ader .....	4
Fig. (I.4) : 1986 le vol de Otto Lilienthal .....	4
Fig. (I.5) : 1903 flyer wrigth des Frères Wright.....	4
Fig. (I.6) : 1909 l'appareil de Louis Blériot .....	4
Fig. (I.7) : 1911 Curtiss D.....	5
Fig. (I.8) : 1927 spirit of saint luis de Charles Lindbergh.....	5
Fig. (I.9) : 1944 Le messerschmitt-262 .....	6
Fig. (I.10) : 1947 Hugues H-4. ....	6
Fig. (I.11) : 1944 Messerschmitt me-109-k .....	6
Fig. (I.12) : 1968 le tupolev Tu-144.....	7
Fig. (I.13) : 1988 Antonov An-225.....	7
Fig. (I.14) : 2005 Airbus A-380.....	7
Fig. (I.15) : 1969 Concorde.....	8
Fig. (I-16) : un fuselage d'un avion léger Cessna 182 .....	9
Fig. (I-17) : les types d'ailes.....	10
Fig. (I-18) : empennage en V .....	11
Fig. (I-19) : empennage en T .....	11
Fig. (I-20) : le train classique .....	12
Fig. (I-21) : le train tricycle .....	12
Fig. (I-22) : le tableau de bord .....	16
Fig. (I-23) : diagramme contrainte - déformation .....	17
Fig. (I.24) : la traction.....	18
Fig. (I.25) : la compression .....	20
Fig. (I.26) : le cisaillement.....	21
Fig. (I.27) : la flexion .....	22
Fig. (I.28) : la torsion.....	22
Fig. (I-29) : la charge répartie .....	23
Fig. (I-30) : la prevision de l'avion le 26-11-2005.....	28
Fig. (I-31) : les modifications dans le plan de l'avion .....	29
Fig. (I-32) : description de l'avion ChirAd-1.....	29
Fig. (I-33) : configuration de ChirAd-1a.....	30
Fig. (I-34) : configuration de ChirAd-1b.....	30
Fig. (I-35) : configuration de ChirAd-1c.....	31
Fig. (I-36) : Les vues de l'avion.....	32
Fig. (II-1) : l'aménagement d'un avion de ligne B-737 800 .....	36
Fig. (II-2) : l'aménagement d'un avion cargo An-225.....	37
Fig. (II-3) : l'aménagement d'un avion léger Farnas-142 .....	37
Fig. (II-4) : l'aménagement d'un avions de chasse MiG-21 Bis.....	38
Fig. (II-5) : Fuselage semi-monocoque en bois Dieselis .....	39
Fig. (II-6) : fuselage en station Su-17 .....	39
Fig. (II-7) : fuselage mono-coque A-300 600 .....	39
Fig. (II-8) : fuselage en tube soudés (Warren) Yak-18.....	40
Fig. (II-9) : Efforts dus au poids de l'appareil .....	40
Fig. (II-10) : zone pressurisée.....	41

Fig. (II-11) : Efforts dus à la pressurisation .....	41
Fig. (II-12) : Efforts dus au braquage gouverne.....	42
Fig. (II-13) : Efforts de fixation des empennages .....	42
Fig. (II-14) : différents types des longerons .....	43
Fig. (II-15-a) : les couples .....	43
Fig. (II-15-b) : les couples de fuselage de MiG-21Bis.....	44
Fig. (II-16) : Formes des lisses employées en A-300 .....	45
Fig. (II-17) : plancher cabine A-310 .....	45
Fig. (II-18) : Les portes .....	46
Fig. (II-19) : les verrières.....	47
Fig. (II-20) : Les glaces A-310 .....	48
Fig. (II-21) : Les moyens de tenir les efforts .....	49
Fig. (II-22) : longerons .....	50
Fig. (II-23) : Liaisons.....	50
Fig. (II-24) : les ferrures d'attaches.....	51
Fig. (II-25) : La conception d'un fuselage.....	52
Fig. (II-26) : Décalage axe moteur .....	52
Fig. (II-27) : Attaches moteur .....	53
Fig. (II-24) : Fixation du train.....	53
Fig. (III-1) : caractéristiques de train d'atterrissage Su-34 .....	55
Fig. (III-2) : trains fixes Cap-231 .....	60
Fig. (III-3) : le carénage aérodynamique Cap-232 .....	60
Fig. (III-4) : trains semi escamotables Yak-18 A .....	61
Fig. (III-5) : le verrouillage des trains .....	61
Fig. (III-6) : trains escamotables L-39 .....	62
Fig. (III-7) : le système de relevage. ....	62
Fig. (III-8) : Train classique Yak 20 .....	63
Fig. (III-9) : Train tricycle MiG-21 .....	64
Fig. (III-10) : trains bicycles HARRIER .....	65
Fig. (III-11) : train monotrace U-2 .....	65
Fig. (III-12) : train quadricycles B-52.....	66
Fig. (III-13) : trains multi boggie AN-225.....	67
Fig. (III-14) : Les charge appliquées sur un train d'atterrissage.....	68
Fig. (III-15) : Description d'un atterrisseur.....	69
Fig. (III-16) : Amortisseur en caoutchouc en extension .....	70
Fig. (III-17) : Amortisseur caoutchouc en compression.....	70
Fig. (III-18) : Amortisseur à lames .....	71
Fig.(IV-1) : Les axes de l'aéronef.....	74
Fig.(IV-2) : Les mouvements suivant les axes .....	74
Fig.(IV-3) : Commande hydraulique A : position vers le bas B: position vers le haut.....	76
Fig.(IV-4) : Les commandes des ailerons .....	77
Fig.(IV-5) : Les commandes de la gouverne de profondeur.....	78
Fig.(IV-6) : Les commandes de la gouverne de direction .....	78
Fig.(IV-7) : Les crans d'un volet.....	80
Fig.(IV-8) : Une extrémité d'un câble .....	81
Fig.(IV-9) : Un guide .....	81
Fig.(IV-10) : La transmission des mouvements .....	82
Fig.(IV-11) : Un tendeur .....	82

Fig.(IV-12) : la tensiomètre .....	82
Fig.(IV-13) : Une extrémité d'une tringle .....	83
Fig.(IV-14) : les déferant types des guignols.....	84
Fig. (V-1) : les inspections faites sur les avions HS .....	85
Fig. (V-2) : La position prévue de l'avion dans l'atelier structure a l'IAB .....	85
Fig. (V-3) : des documents au cours de la conception.....	86
Fig. (V-4) : Les dimensions de fuselage .....	87
Fig. (V-5) : Les cadres du fuselage.....	88
Fig. (V-6) : le carde B et ses supports .....	89
Fig. (V-7) : Les cadres du cockpit C,D,E.....	89
Fig. (V-8) : Le cadre F.....	89
Fig. (V-9) : la soute de bagages et le queue et leurs cardes G,H,I,J,K.....	90
Fig. (V-10) : les trois étapes de la réalisation des supports .....	90
Fig. (V-11) : Les longerons du fuselage.....	91
Fig. (V-12) : Les longerons LF1 et Lf2 et leurs fixations. ....	92
Fig. (V-13) : un vue de dessus de cockpit représente le Lf3.....	93
Fig. (V-14) : les longerons Lf4 Lf5 .....	93
Fig. (V-15) : I Les lisses du fuselage.....	94
Fig. (V-16) : exemple des lisses .....	94
Fig. (V-17) : Le cockpit .....	95
Fig. (V-18) : la Conception des trains .....	96
Fig. (V-19) : Le câble de tension.....	96
Fig. (V-20) : Le train avant.....	96
Fig. (V-21) : les étapes de la réalisation de la fourche.....	97
Fig. (V-22) : Le train principal .....	98
Fig. (V-23) : Les commande de vol.....	99

## *Liste des tableaux*

Tab. (I-1) : <b>les types de construction aéronautiques</b> .....	25
Tab. (II-1) : <b>Différents types de fuselage Selon la configuration</b> .....	34
Tab. (II-2) : Différents types de fuselage Selon la section .....	36
Tab. (III-1) : <b>Les systèmes d'atterrissage</b> .....	57
Tab. (III-2) : <b>Différents types des trains selon le nombre des roues</b> .....	59
Tab. (III-3) : <b>Les déferant types d'escamotages des trains</b> .....	63
Tab. (VI-1) : <b>Tableau récapitulatif des commandes de vol</b> .....	79

## *Index des avions*

avion	page	avion	page
A-6	47	Ghazel	55
Airbus-300-600ST Belouga	35	Harrier	63
Airbus-380	55	Helio courtier	12
Allouette III	61	Hugues H-4	6
Antonov 225 Miria	7/35/37/65	Ilyushin 76 Md Candid	35/57
Beechcraft	11	Jodel D-140	46
beriev A-40	54	KR-2	49
Beriev Be-200	54	L 39 Albatros	40/42/60
Blériot -11	4	Messerschmitt Me-109-k	6
Boeing B-52	64	Messerschmitt Me-262	6
Boeing V-22	36	MiG-21 Bis FISHBED	38/44/62/66
Boeing-707 AWAX	57	MiG-21F	47
Boeing-737 800	36	MiG-27 FLOGGER	34
Bv-141	34	MiG-29 FULCRUM	76
C-130 Hercul	56	Rafale	47
C-17 GlobMaster	46	Short 360	35
Cap -231	58	Spirit of saint luis	5
Cap -232	58	Spitfire	47
CASA C-295	35	SR-71 black bird	36/56
Cessna C-182	9	Stol CH-701	54
Cessna C-800	54	Stol CH-801	12
Concorde	8	Sukhoï Su -17	39
CR-42	34	Sukhoï Su -27 Flanker	56
Curtiss D	5	Sukhoï Su-34 Strickflanker	53
D.H.112 venom	33	Tupolev Tu-144	7/57
D.H.82	34	Tupolev Tu-154	57
F-117	36	U-2	63
F-16	47	Yakovlev Yak-15	42
F-82	34	Yakovlev Yak-18 A	40/59
Fliyer wright	4	Yakovlev Yak-20	61
Fokker F-27	56	Zlin Z-142 (Firas-142)	37/46/54

# CHAPITRE I

# **GENERALITE**

*our dream*

✈ *Historique*

✈ *Etude descriptive sur les avions légers.*

✈ *Rappel sur la résistance des matériaux.*

✈ *La construction aéronautique.*

✈ *Les matériaux aéronautiques.*

✈ *Généralité sur l'avion CHIRAD-1A.*



## CHAPITRE II

# LE FUSELAGE

- ✈ *Généralité sur les fuselages.*
- ✈ *Les efforts appliqués sur le fuselage.*
- ✈ *Analyse d'un fuselage semi-mono coque.*
- ✈ *Technologie d'un fuselage d'un avion léger en bois*



# CHAPITRE III

# LES TRAINS D'ATTERRISSAGE

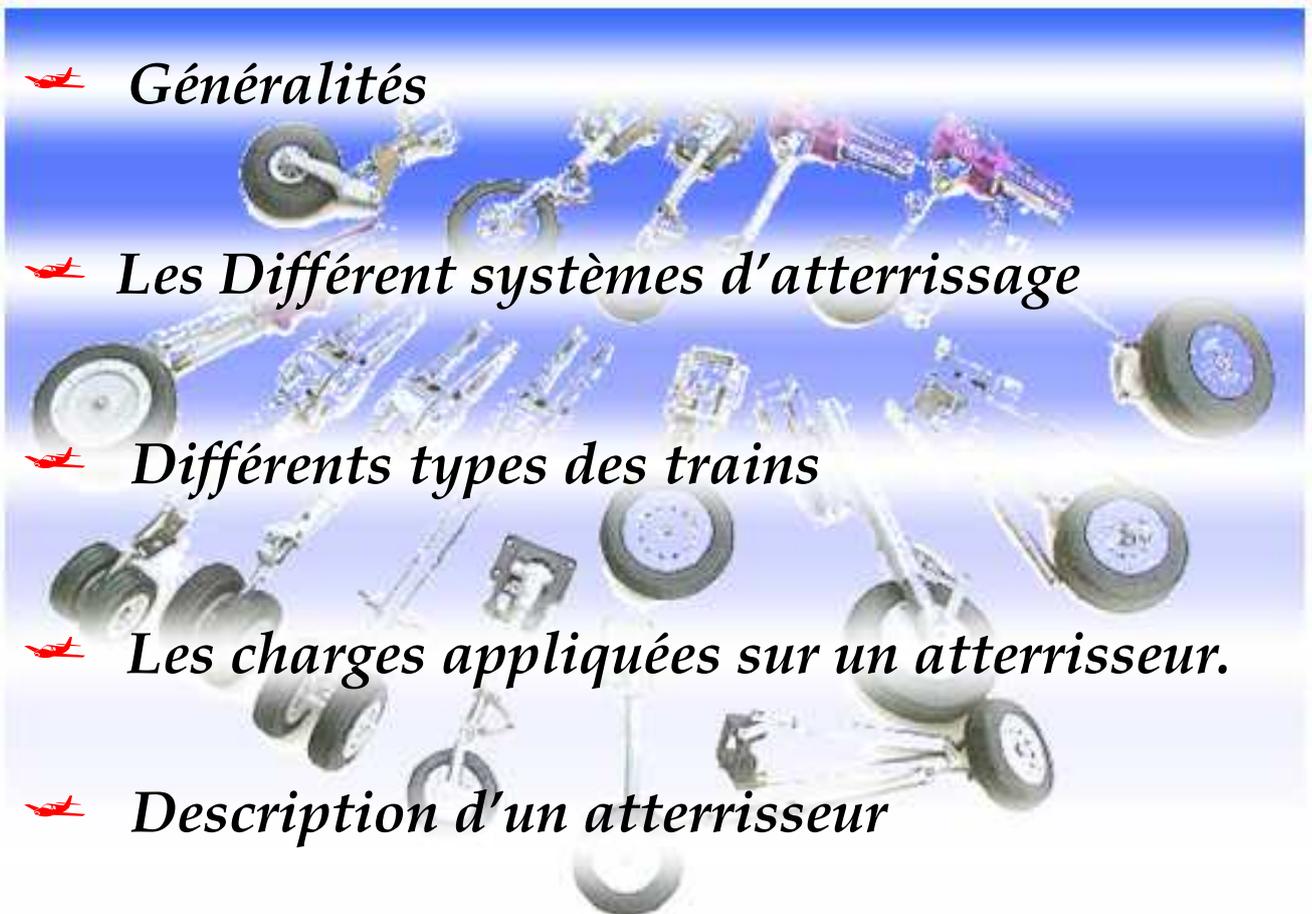
 *Généralités*

 *Les Différent systèmes d'atterrissage*

 *Différents types des trains*

 *Les charges appliquées sur un atterrisseur.*

 *Description d'un atterrisseur*



# CHAPITRE IV

# LES COMMANDES DE VOL

 *Les axes de l'aéronef*

 *Les Commandes de vol*

 *Les commandes auxiliaires*

 *La transmission des mouvements*



# CHAPITRE V

# CONCEPTION ET REALISATION



✈ *La conception de l'avion CHIRAD-1A.*

✈ *Description et réalisation du fuselage*

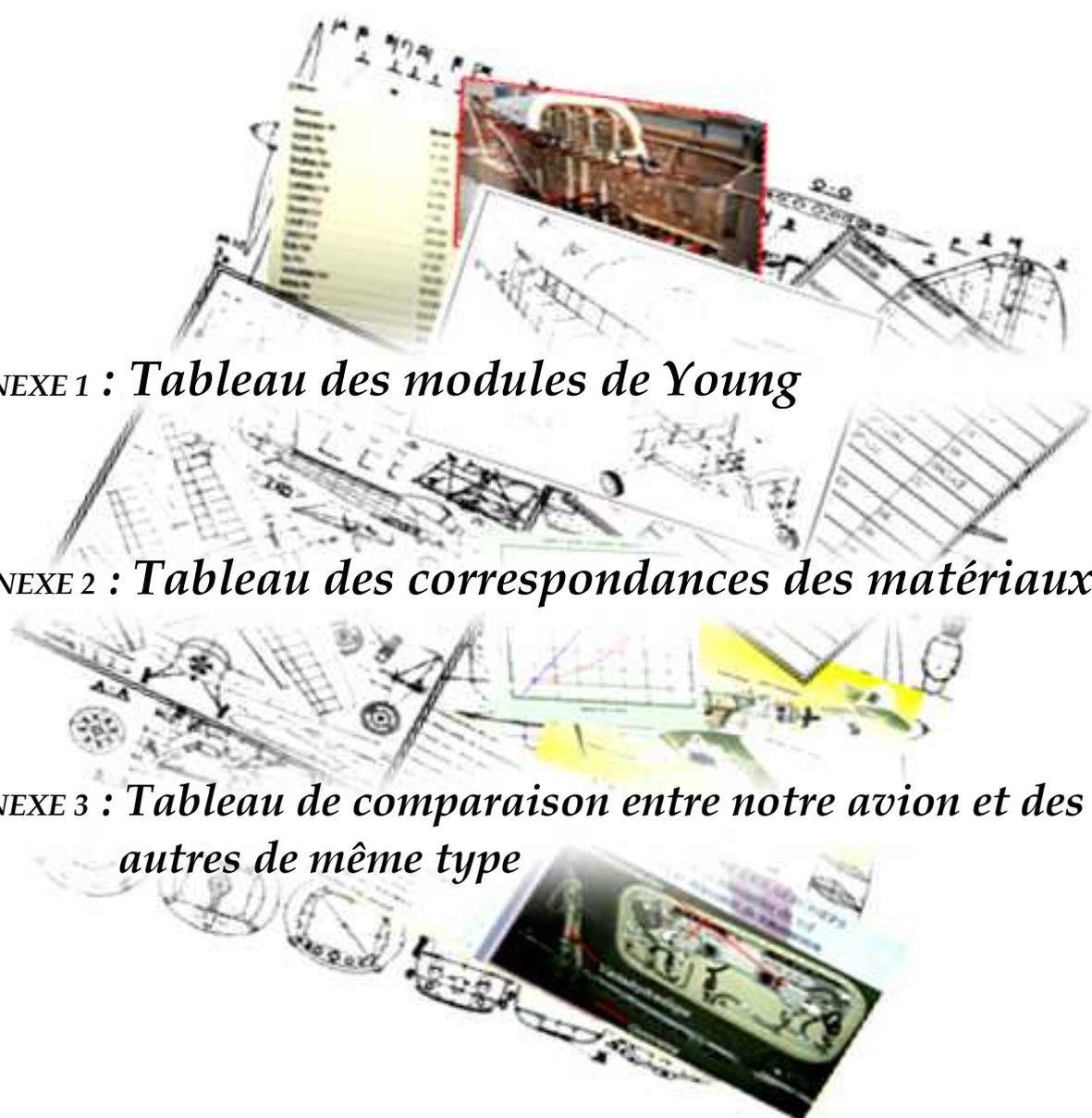
✈ *Description et réalisation des atterrisseurs*

✈ *Description et réalisation des Commandes de vol*



R.E. CHIRAD

# LES ANNEXES

- 
-  ANNEXE 1 : *Tableau des modules de Young*
  -  ANNEXE 2 : *Tableau des correspondances des matériaux*
  -  ANNEXE 3 : *Tableau de comparaison entre notre avion et des autres de même type*

# *I -Généralité*

## *I-1 Historique*

D'Icare à Léonard de Vinci, du rudimentaire planeur à l'avion supersonique, l'homme a toujours eu l'envie de voler, d'aller plus haut et toujours plus vite.

En effet, qui n'a jamais eu une fois le rêve de monter dans les airs et de pouvoir oublier la gravité

C'est ce qu'ont voulu essayer à maintes reprises des militaires, des scientifiques ou les grands rêveurs ambitieux des époques précédents tels les frères Wright, Léonard De Vinci, Lilienthal.

Ce sera grâce à la persévérance, au talent et à l'ingéniosité de ces chercheurs que l'aviation prendra son envol.

L'aviation ce n'était que des légendes qui veulent réaliser le rêve humain « voler comme un oiseau » dans la période Grèce on trouve beaucoup des légendes comme Pegassus qui parle d'un grand cheval avec de très longues ailes et une corne d'ivoire et qui survole les villes et les champs. Et une autre légende qui récite l'histoire d'un père Daedalus qui était un architecte prisonnier par le roi Minos avec son fils Icarus. Ils ont réalisé une aile en plumes collées par la cire mais Icarus a volé sous un soleil brûlant qui engendra sa chute dans la mer.

La première invention d'un avion en papier cerf-volant c'était par les Chinois en 400 avant j c.

Pendant les siècles suivants beaucoup de savants -comme le philosophe arabe Abbas ibn Firnas- ont essayé de voler à l'aide des ailes fixées sur les bras mais les résultats sont généralement dramatiques.

L'architecte grec Héron a posé leur conception Aeolipile contient deux récipients d'eaux sur le feu avec une sphère, la vapeur est leur principe de fonctionnement.

➤ **En 1500 environ** : Léonard de Vinci 1452-1519 Fig.( I -1) présente l'hélicoptère et le parachute. Il écrit des pages de textes et fait plus de 400 dessins à propos d'engins volants. On dit également qu'il aurait essayé un planeur grandeur nature.



Fig.( I -1) 1480 un des travaux de Léonard da Vinci

➤ **Le 21 novembre 1783** : premier voyage d'un homme en montgolfière (France) Fig.( I - 2).



Fig.( I -2) 1783 montgolfière

[18]

➤ **Le 24 septembre 1852** : premier vol en ballon dirigeable effectué par Henri Giffard.

➤ **En 1853** : Sir George Cayley effectue le premier vol habité en planeur.

➤ **Le 9 octobre 1890** : premier vol motorisé non dirigé. Clément Ader réussit à soulever Eole au dessus du sol Fig.( I – 3 ).

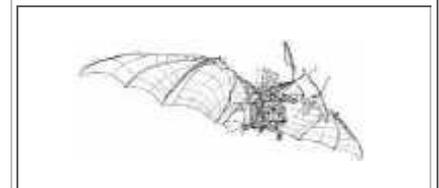


Fig.( I -3) 1890 l'appareil de Clément Ader

[18]

➤ Le 10 août 1896 : l'Allemand Otto Lilienthal meurt au cours d'un essai de vol de son planeur Fig.( I – 4).



Fig.( I -4) 1896 le vol de Otto Lilienthal

[18]

➤ Le 2 juillet 1900 : Premier vol du Zeppelin LZ.

➤ **Le 17 décembre 1903** : premier vol motorisé et dirigé réalisé par les Frères Wright Fig.( I – 5).



Fig.( I -5) 1903 fliyer wright des Frères Wright

[14]

➤ **Le 13 septembre 1906** : premier vol motorisé en Europe avec Alberto Santos-Dumont. Il remporte ainsi les 3 premiers records officiels de l'histoire : distance de 220m, durée de 21 s 1/5, vitesse de 41.292 km/h.

➤ **Le 25 juillet 1909** : première traversée de la Manche, effectuée par Louis Blériot Fig.( I – 6).



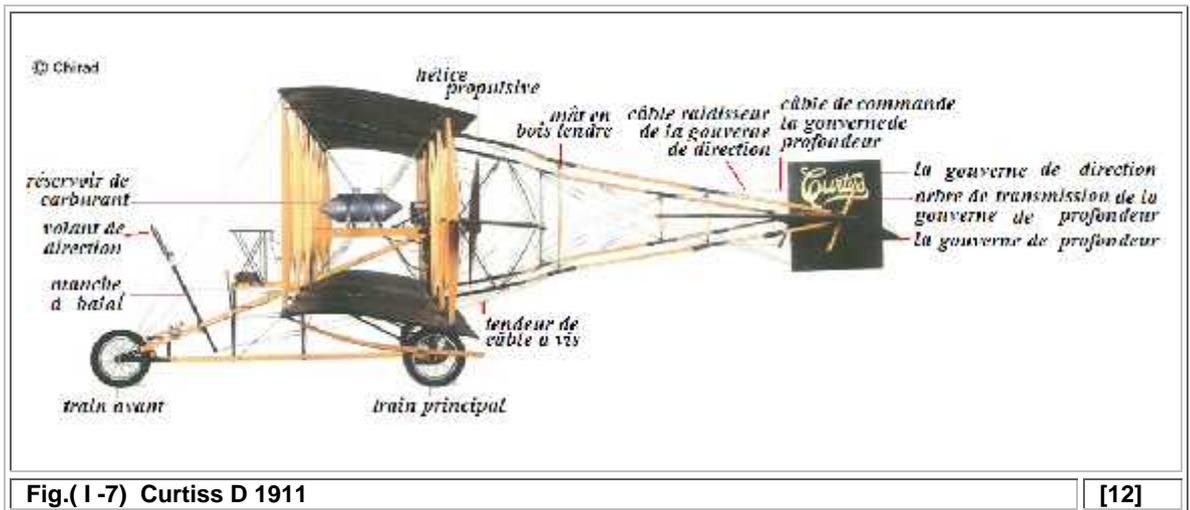
Fig.( I -6) 1909 l'appareil de Louis Blériot

[18]

➤ **Le 18 février 1911** : premier vol aérospatial officiel avec Henri Pequet.

- **Le 23 septembre 1913** : première traversée de la Méditerranée par Roland Garros à bord d'un monoplan Morane-Saulnier.
- **Le 10-11 juillet 1914** : Exploit de l'allemand Reinhold Böhm sur un biplan Albatros, en vol pendant plus de 24 heures avec plus 600 litres d'essence.
- **Le 15-16 juin 1919** : première traversée de l'Atlantique sans escale par Alcock et Brown.
- **Le 28 septembre 1924** : premier tour du monde aérien par deux Douglas World.

**STRUCTURALEMENT** Les avions de cette époque comme le Curtiss D Fig (I-7) ont présenté des cellules en bois renforcées par des câbles, et ils sont motorisés par des moteurs à pistons de faible puissance.



- **Le 21 mai 1927** : premier vol transatlantique (d'ouest en est) sans escale par Charles Lindbergh, à bord du *Spirit of Saint Louis*, monoplan moteur Wright de 220 ch Fig.(I – 8).



- **La deuxième guerre mondiale :**

un développement successif de l'aviation militaire et civile par suite, au début de la guerre le concepteur MESSERSCHMITT a apporté plusieurs innovations sur les structures des avions comme l'utilisation des ailes en flèche, empennages canard, aile volante (pas d'empennages), siège éjectable et le plus important dans ses travaux

c'est la motorisation des avions avec des turbo réacteurs . Le premier avion a réaction est le me-262 Fig( I-9)

➤ En 1947 le lancement du le Hugues H-4 Fig( I-10), à taille gigantesque (97 m d'envergure plus de 9 m de hauteur) se doublait d'une construction en bois (s'agissant d'une commande militaire de 1942, sa capacité devait être de... 750 hommes de troupe équipés. Le développement dura jusqu'en 1947, date à laquelle Howard Hugues prit lui-même les commandes du prototype et démontra qu'il pouvait voler ; mais l'appareil ne décolla que d'une vingtaine de mètres et sur à peine un mile de distance; Le congrès finit par couper tout crédit au projet. Bien d'autres avions ont fasciné par leurs formes ou leurs caractéristiques techniques,

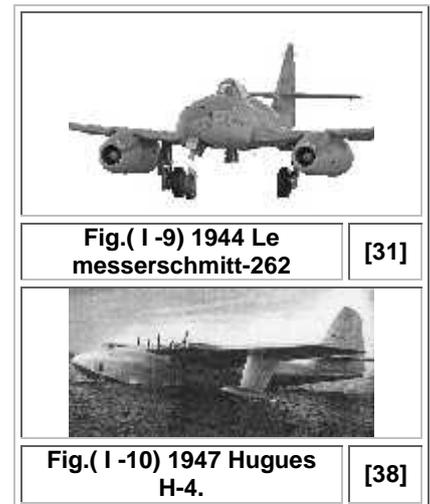


Fig.( I -9) 1944 Le messerschmitt-262 [31]



Fig.( I -10) 1947 Hugues H-4. [38]

**STRUCTURALEMENT** Les avions de cette époque comme le Me-109 Fig (I-11), sont réalisés avec des fuselages mono coques, semi monocoques ou en tubes soudés, ils ont utilisé les métaux , les alliages bien choisis et les bois traités.

Les concepteurs ont choisi pour leurs avions des moteurs à pistons très puissants, avec un grand nombre de cylindres (jusqu'au 24) qui ont donné une vitesse jusqu' à 700 Km/h qui est très grande pour un avion avec un moteur à pistons, et en fin il ont utilisé les réacteurs.

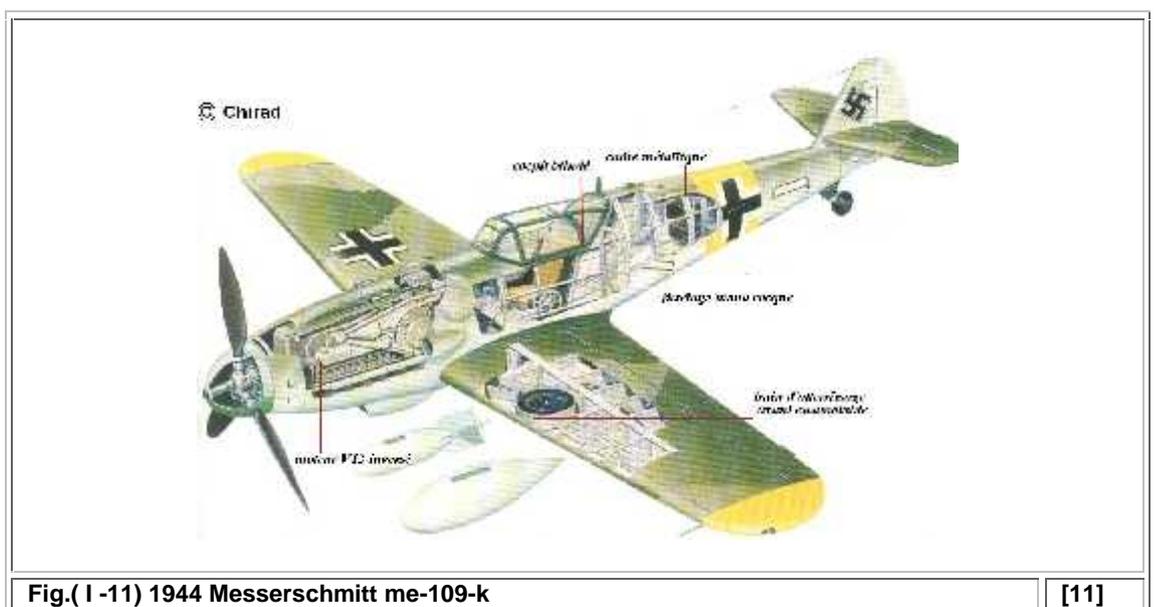


Fig.( I -11) 1944 Messerschmitt me-109-k [11]

- **Décembre 1968** Le Tupolev Tu-144 Fig( I-12), effectua son premier vol Il atteignait Mach 2,35 ou 2800 km/h. Le premier vol du Concorde suivit de quelques mois. Les deux appareils différaient visuellement et techniquement, notamment par les plans canards escamotables du Tupolev, destinés à améliorer la stabilité en vol subsonique (tandis que le profil de l'aile du Concorde assurait une stabilité en régime subsonique et supersonique). Ils étaient également différents par la nécessité d'une post-combustion en vol supersonique sur l'avion soviétique.



Fig.( I -12) 1968 le tupolev Tu-144

[38]

- **Le 21 décembre 1988** le lancement du plus grand avion cargo soviétique hexa moteurs AN-225 Fig( I-13), (88 m d'envergure, 84.4 de longueur et 18.2 m de hauteur) qui peut porter jusqu'à 450 000 kg de charge, dont 250 000 Kg représente la navette spatiale Buran fixée sur le dos de l'avion .



Fig.( I -13) 1988 Antonov An-225

[29]

- **Le 27 Avril 2005** le premier vol de l'Airbus A-380 Fig( I-14), le plus grand avion de transport au monde (79.8 m d'envergure, 72.75 de longueur et 27.08 m de hauteur) qui peut porter jusqu'à 840 passagers avec une vitesse de 900 Km/h



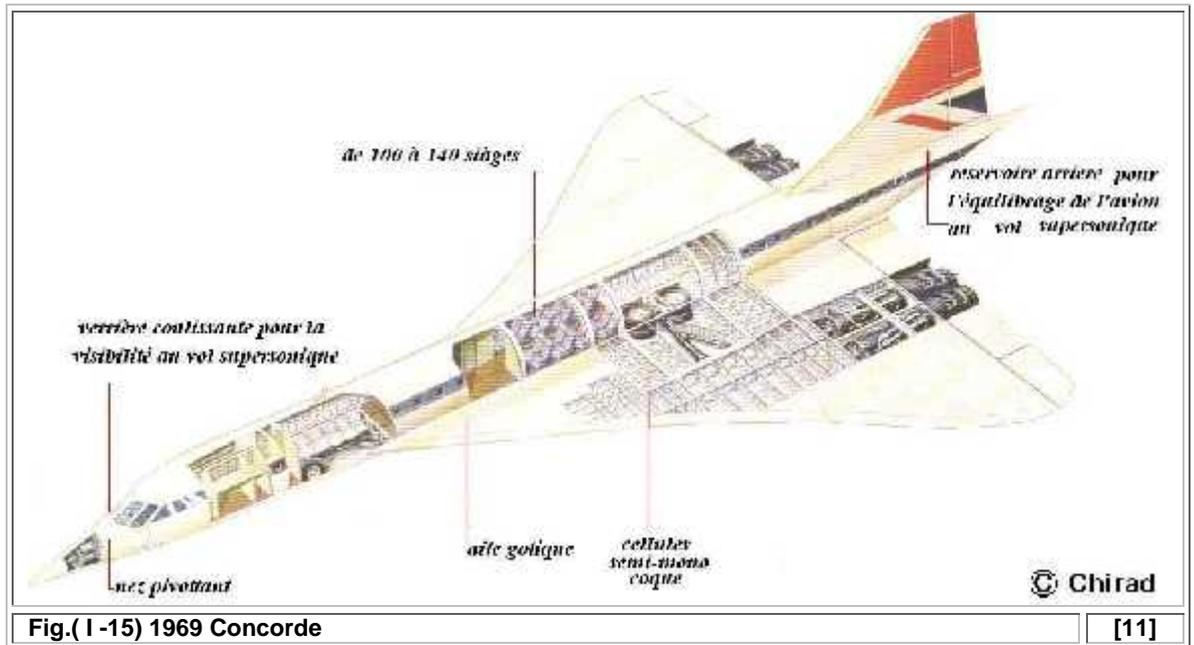
Fig.(I -14) 2005 Airbus-380

[21]

## STRUCTURALEMENT

Le concorde Fig( I-15) présente les avions de nos jours qui ont des cellules très bien adaptées avec leurs missions, très rigides et qui présentent un grand gain de poids, de traînée et même de coût.

Tous les avions de long courrier et les avions de chasse ont des réacteurs, les avions de transport régional et les avions d'affaire sont généralement motorisés avec des turbopropulseurs. Et les moteurs à piston motorisent toujours les avions légers.



De l'époque de Léonard De Vinci et de Georges De Flamel, on peut dire que les essais sur les théories de ces pionniers pourront faire un grand pas à l'approche de l'aviation moderne même si leurs tentatives ont été parfois désastreuses.

Du planeur qui atteignait une vitesse de 20 km/h à l'avion supersonique qui va dès à présent beaucoup plus vite que le son, l'aviation est toujours en progression et ne cessera d'évoluer pour aller jusqu'aux destinations les plus lointaines.

Aux ingénieurs et aux scientifiques de voir maintenant où pourra s'arrêter l'évolution des techniques relatives à l'aviation.

## *I-2 Etude descriptive sur les avions légers.*

L'Aviation, ensemble des techniques et des activités relatives à la navigation aérienne ou ensemble des engins assurant cette navigation (avions, planeurs, hélicoptères, etc....)

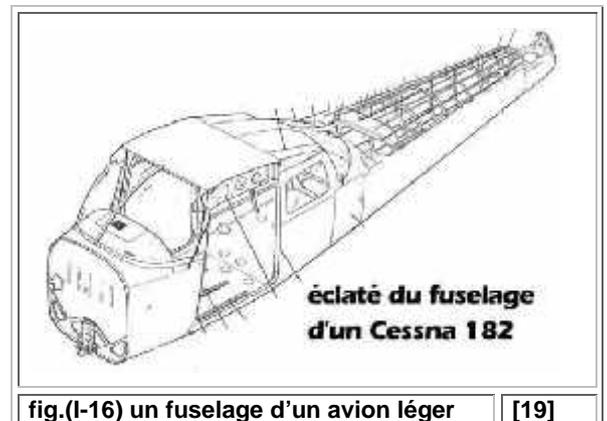
L'aviation se divise en trois grandes catégories : l'aviation militaire, l'aviation commerciale et l'aviation générale. L'aviation militaire comprend toutes les formes d'engins utilisés par les forces armées. L'aviation commerciale recouvre principalement l'exploitation des lignes aériennes régulières et des vols charters. L'aviation générale désigne toutes les autres formes de vol : vols d'instruction, vols scientifiques, aviation sportive, aviation privée, aviation d'affaires et aviation agricole (épandage aérien d'insecticides sur les récoltes), observation aérienne.

Dans notre étude nous nous intéressons structurellement à l'aviation légère (sportive, agricole...)

### *I-2-1 Le Fuselage*

Le Fuselage Fig( I-16), est un caisson rigide dont la structure, en bois ou en métal, est composée de longerons, cadres (ou couples) et raidisseurs.

Le revêtement peut être en toile, en métal (alliage d'aluminium) ou en matériaux composites.



Le fuselage, qui intègre l'habitacle (ou cockpit), porte l'empennage, le train d'atterrissage, le moteur et les ailes.

Une cloison "pare-feu" sépare le fuselage du moteur.

## I-2-2 Les Ailes

Les ailes constituent la voilure de l'avion, on les appelle aussi plans ou profils. Ce sont les ailes qui assurent la sustentation en vol d'un avion, grâce à des réactions aérodynamiques que l'air exerce sur elles.

La voilure peut être constituée d'un seul plan (monoplan) Fig( I-17-1), ou de deux plans (biplans) Fig( I-17-2), pour les avions de conception plus ancienne dans les monoplans, on distingue :

- L'avion à aile basse Fig( I-17-1), , dont l'aile est située au niveau du plancher du fuselage.

- L'avion à aile haute Fig( I-17-3), , dont l'aile est située au-dessus de l'habitacle.

La structure de l'aile est généralement composée d'un longeron et de nervures en bois ou en métal. Son revêtement, comme celui du fuselage, peut être en métal, en toile ou en matériaux composites.

Les réservoirs d'essence sont logés dans les ailes.

Selon son mode de fixation au fuselage, la voilure peut être constituée d'une seule aile ou de deux demi-ailes. Bien que le monoplan, par définition, ne comporte qu'une seule aile ou deux demi-ailes, les expressions « aile gauche » et « aile droite » font partie du langage courant.

La jonction de l'aile avec le fuselage s'appelle l'emplanture. Les "bouts d'ailes" sont munis d'une partie profilée, appelée saumon, qui porte un feu de navigation.

Une aile est définie notamment par son profil ; dont la partie avant est le bord d'attaque, la partie arrière est le bord de fuite, la surface supérieure (l'extrados) et la surface inférieure (l'intrados).

Sur le bord de fuite sont articulées des surfaces mobiles orientables qui sont comme le suivant :

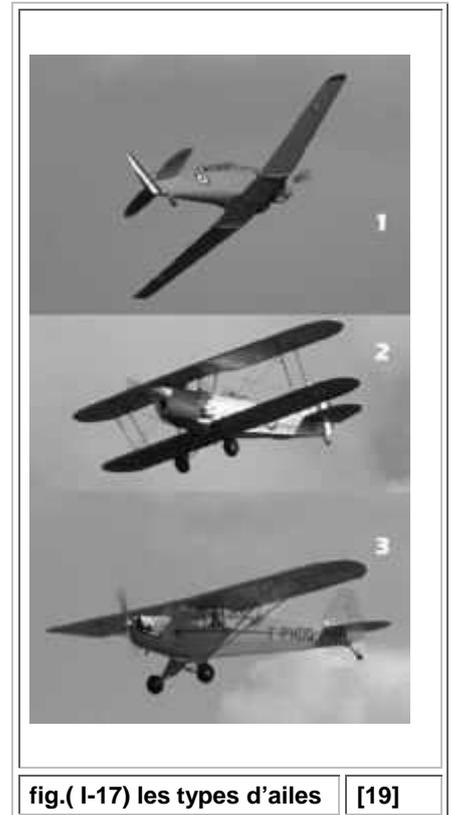


fig.( I-17) les types d'ailes

[19]

- Les ailerons, aux extrémités des ailes .
- Les volets hypersustentateurs (flaps) près de l'emplanture.

Certains avions légers n'ont pas de volets. D'autres sont munis d'un dispositif hypersustentateur de bord d'attaque (slat).

### I-2-3 Les empennages

Il comporte un ensemble de plans fixes et mobiles servant à stabiliser la trajectoire de l'avion.

La partie verticale d'un empennage classique (ou empennage vertical) comporte :

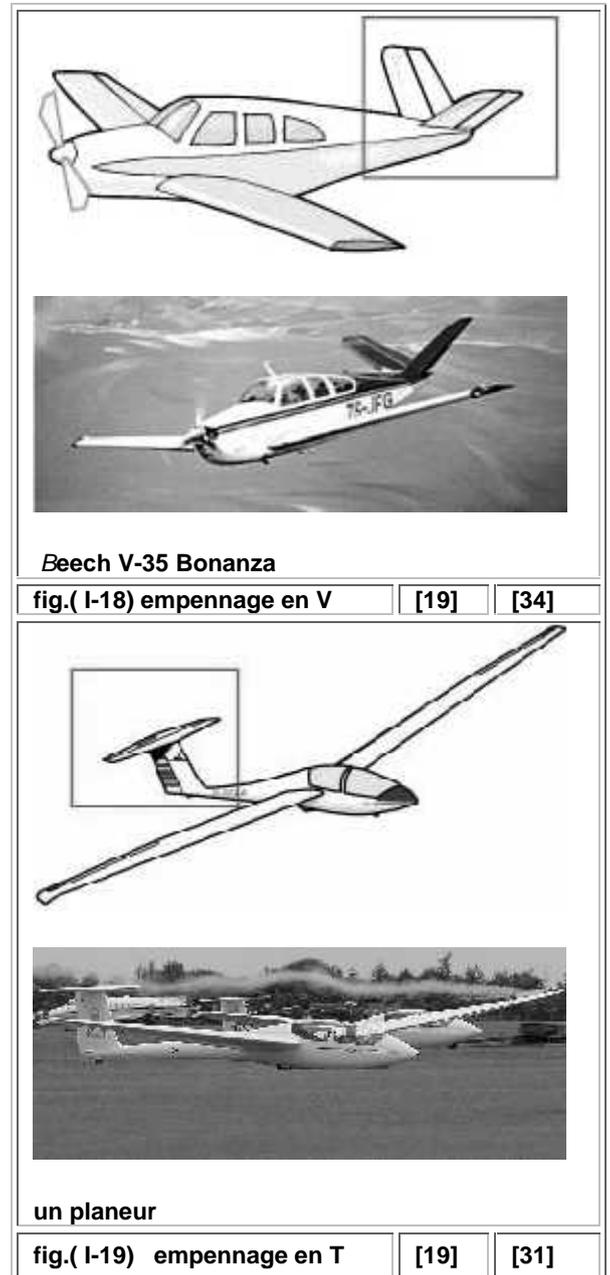
- Un plan fixe appelé dérive.
- Un plan mobile, articulé à l'arrière de la dérive, appelé gouvernail de direction ou de symétrie

La partie horizontale (ou empennage horizontal) comporte :

- Un plan fixe, le stabilisateur.
- Un plan mobile articulé à l'arrière du stabilisateur, le gouverne de profondeur ou élévateur.

Certains avions ne possèdent pas de stabilisateur fixe, l'empennage horizontal, dit monobloc, alors il est constitué uniquement d'un plan mobile faisant également office de stabilisateur.

On rencontre également des types d'empennage en V Fig( I-18), ou en T Fig( I-19), Dans les empennages en V les plans sont inclinés assurent ensemble des fonctions de gouvernes de profondeur et de direction.



### I-2-4 Les gouvernes

Ce sont les surfaces mobiles qui servent à gouverner l'avion, à savoir : les ailerons et les gouvernails de profondeur et de direction.

La gouverne de profondeur est toujours munie sur son bord de fuite d'un plan mobile auxiliaire appelé compensateur (trim.). Sur certains avions des compensateurs existent également sur le gouvernail de direction et sur les ailerons. Ces compensateurs permettent d'annuler la pression exercée par le pilote sur les commandes. Des surfaces auxiliaires (tab ou flettner), réglables au sol, permettent un réglage correct des gouvernes.

### I-2-5 Le train d'atterrissage (Landing gear ou Undercarriage)

Le train est constitué de l'ensemble des roues et de leurs supports ; il permet à l'avion non seulement d'atterrir, comme son nom l'indique, mais également de décoller et de se déplacer au sol.

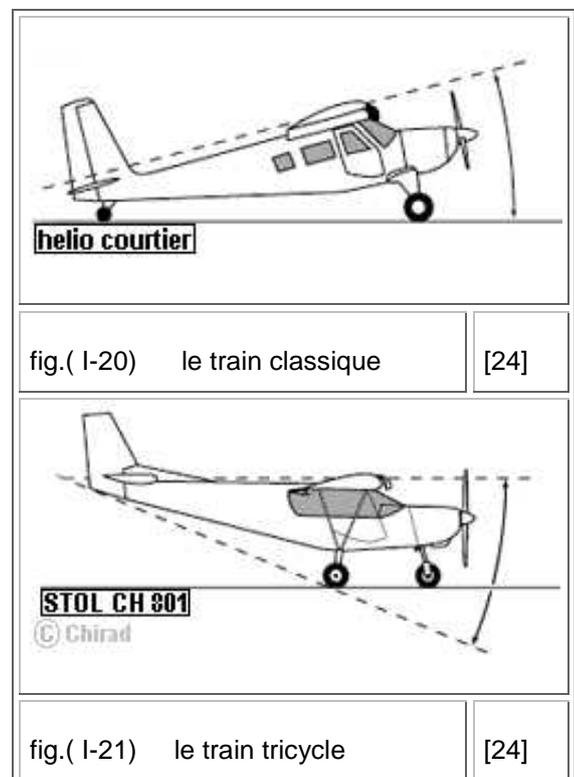
On distingue deux types principaux de trains d'atterrissage : le train classique ou conventionnel Fig( I-20), et le train tricycle Fig( I-21),

Dans les deux cas, le train peut être fixé ou rétractable (rentrant).

Le train classique ou conventionnel comporte un atterrisseur principal (deux roues principales) disposé sous le fuselage ou sous les ailes, de part et d'autre de l'habitacle et en avant du centre de gravité de l'avion ; une roulette de queue (tailwheel) qui peut, éventuellement, être orientée à l'aide des palonniers.

Le train tricycle, le plus courant comporte :

- Un atterrisseur principal, comme le précédent, mais situé en arrière du centre de gravité.



- Une roulette de nez (nosewheel), le plus souvent orientable au moyen des palonniers auxquels elle est reliée par des câbles ou des tringles de commande.

### ***I-2-6 L'habitacle*** (ou cockpit) Comporte :

- les sièges : le pilote à gauche (ou à l'avant dans la disposition biplace en tandem), l'instructeur ou le copilote à droite (ou à l'arrière) et les passagers.

- les commandes de vol : manche ou volant (ou stick), palonnier, volets, compensateur (trim) et les commandes du moteur.

- Le tableau de bord groupant tous les instruments de contrôle (pilotage, moteur, navigation).

#### **a) Les commandes de vol**

Les commandes de vol sont des leviers destinés à manoeuvrer les gouvernes :

- **Le manche** ( stick ) comporte deux commandes ou une seule :

Actionné d'avant en arrière, il commande la gouverne de profondeur ; le mouvement du stick en arrière fait pivoter le plan de profondeur vers le haut.

Actionné latéralement, de gauche à droite, il commande les ailerons ; stick à gauche, l'aileron gauche se lève tandis que l'aileron droit s'abaisse.

- **Le palonnier** commande le gouvernail de direction, en poussant sur la pédale gauche, le gouvernail de direction pivote vers la gauche. Il peut être couplé avec la roulette de nez ou la roulette de queue, ce qui facilite le contrôle de l'avion au sol. Les pédales du palonnier actionnent également les freins des roues du train principal. Sur certains avions les pédales de freins sont indépendantes du palonnier et doivent être actionnées par les talons.

- **La commande de volets** (flaps) permet d'abaisser ou de relever simultanément (sortir ou rentrer) les volets pour modifier la portance et la traînée, les volets sont actionnés mécaniquement soit par un simple levier, soit par un moteur électrique commandé par un interrupteur.

- **Le(s) trim(s)** ou commande du compensateur de profondeur et de direction, s'il existe, constitué d'une roulette ou d'une manivelle, permet de modifier la position du tab mobile de la gouverne de profondeur ou de direction.

**- Les commandes du moteur :**

Les commandes du moteur comportent :

La manette des gaz (throttle) qui commande la puissance du moteur ;

La commande de richesse du mélange ou correcteur d'altimétrie (mixture) ;

La commande de réchauffage du carburateur (carburettor heater) ;

La commande du pas de l'hélice (propeller pitch ), pour les avions munis d'une hélice à pas variable.

### **b) Le tableau de bord**

Comporte les instruments de vol ou de contrôle du pilotage, les instruments de contrôle du moteur, les instruments de navigation, les équipements de radio et de radionavigation.

Tous les avions ne présentent pas un tableau de bord type, mais ils possèdent tout un certain nombre d'instruments de contrôles essentiels. Nous ne donnons ici qu'un exemple de présentation d'un tableau de bord d'avion d'entraînement biplace Fig( I-22),

#### **1- les instruments de vol (contrôle du pilotage) :**

l'anémomètre ou indicateur de vitesse (Airspeed Indicator) indique la vitesse relative de l'avion par rapport à la masse d'air dans laquelle il se déplace. Il est gradué en Noeuds (kt, 1 kt = 1,852 km/h), en Miles par heure (MPH, 1 MPH = 1,609 km/h) ou en Km/h .

l'altimètre est un instrument de mesure de la pression atmosphérique (baromètre), gradué en pieds ou en mètres, indiquant l'altitude de l'avion.

l'indicateur de virage et d'inclinaison latérale (Turn and bank) :

L'aiguille ou la maquette indique le sens et la vitesse angulaire du virage (taux de virage) .

La bille indique la verticale apparente et sert essentiellement de référence de coordination des commandes (qualité d'exécution du virage).

L'horizon artificiel (ou indicateur d'assiette) permet de déterminer, par référence instrumentale, l'assiette de l'avion, c'est-à-dire sa position par rapport à l'horizon.

Le variomètre indique la vitesse de montée ou de descente de l'avion (vertical speed) ; il est gradué en pieds par minute ou en mètres par seconde.

## **2. les instruments d'orientation :**

Le compas magnétique (ou boussole) donne le cap suivi, c'est-à-dire l'angle compris entre le Nord magnétique et l'axe longitudinal de l'avion.

Le conservateur de cap (ou gyrocompas ou directionnel), instrument complémentaire du compas magnétique, permet de prendre le cap et de le conserver plus aisément qu'avec la boussole.

## **3. les instruments de contrôle du moteur**

Le tachymètre, communément appelé "compte-tours" indique la vitesse de rotation du moteur, et donc de l'hélice (RPM = révolutions par minute).

Le manomètre d'huile indique la pression d'huile de lubrification du moteur.

Le thermomètre d'huile indique la température d'huile.



1. Indicateur de vitesse  
 2. Altimètre  
 3. Variomètre  
 4. Horizon artificiel  
 5. Indicateur de virage

6. Conservateur de cap  
 7. Tachymètre (RPM)  
 8. Manomètre d'huile  
 9. Thermomètre d'huile  
 10. Jauges de réservoir d'essence

11. Manomètre de la pompe à vide  
 12. Ampèremètre  
 13. Emetteur - récepteur radio  
 14. Récepteur VOR  
 15. Cadran du récepteur VOR

fig.( I-22) le tableau de bord

[19]

## I-3 Rappel sur la résistance des matériaux.

### I-3-1 Les sollicitations de la cellule

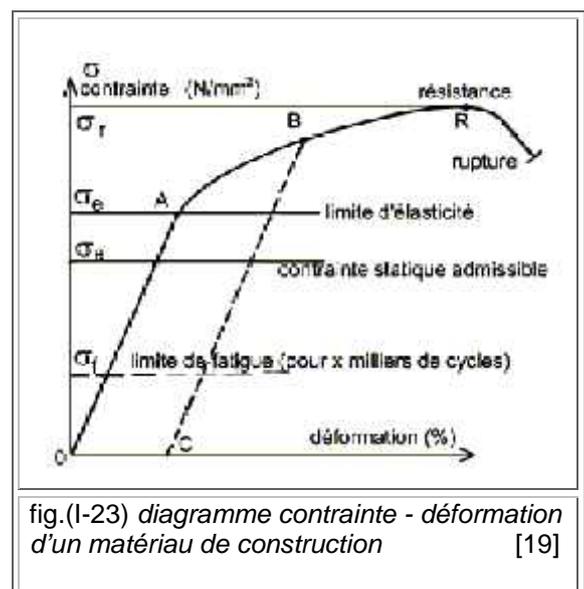
Les différents éléments de la cellule d'un avion, spécialement les ailes, sont soumis à des sollicitations de flexion, torsion, traction, compression et cisaillement. Ces sollicitations induisent dans les différentes sections de ces éléments des contraintes de trois types, à savoir des contraintes de traction, de compression ou de cisaillement, dont la valeur ne peut dépasser certaines limites admises par le constructeur. Les contraintes admissibles sont déterminées, avec un coefficient de sécurité convenable, à partir de la résistance des matériaux utilisés et plus précisément de leur limite d'élasticité et de leur résistance à la fatigue. Tous les éléments sont dimensionnés de telle manière qu'ils se comportent élastiquement, c'est-à-dire qu'ils se déforment sous l'effet d'une sollicitation mais reprennent leur forme initiale lorsque cesse la sollicitation.

### I-3-2 Limite d'élasticité et résistance statique des matériaux

Si l'on soumet, par exemple, un barreau métallique de section ( $s$ ) à un effort de traction ( $T$ ), on peut tracer un diagramme de la déformation du barreau, exprimée en % de sa longueur initiale, en fonction de la contrainte appliquée ( $\sigma = T / s$ ), exprimée en Newton / mm<sup>2</sup>.

La Fig (I-23), schématise un tel diagramme. Dans la phase OA du chargement, le diagramme est une droite (la déformation est proportionnelle à la contrainte appliquée). La contrainte  $\sigma_e$  correspondant au point A est appelée "limite d'élasticité ou de proportionnalité".

Tant que le matériau n'est pas sollicité au-delà de cette limite, il reprend sa longueur initiale lorsqu'il est déchargé ; le matériau se comporte élastiquement.



Si la contrainte dépasse cette limite, la déformation n'est plus proportionnelle à la contrainte ; le matériau s'allonge considérablement (phase des grands allongements). Si le barreau est déchargé après avoir atteint un point B du diagramme, on constate que le diagramme de déchargement (BC) est une droite parallèle à la droite OA mais qu'il ne reprend plus sa longueur initiale. Il conserve, après déchargement, une déformation permanente (OC). Le métal a été plastifié ou écroui.

La rupture du barreau se produit lorsqu'on atteint une contrainte  $\sigma_r$ , appelée contrainte de rupture ou résistance du matériau.

Il faut donc que le constructeur limite la contrainte dans tous les éléments de la structure à une valeur maximale admissible ( $\sigma_a$ ) inférieure à la limite d'élasticité, fixée en divisant celle-ci par un coefficient de sécurité, par exemple 1,5. ( $\sigma_a = \sigma_e / 1,5$ ).

### I-3-3 différents types de sollicitations simples :

#### a/ la traction :

Faisons appliquer sur une éprouvette de section  $S$  et de longueur  $L$  un effort  $F$  entre le point d'introduction A et le point de reprise B, on constate un allongement de  $\Delta L$  de celle-ci. Fig( I-24),

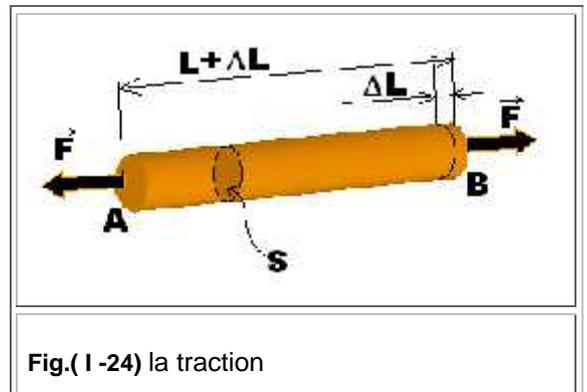


Fig.( I -24) la traction

Affranchissons-nous des dimensions de l'éprouvette pour ne garder que des caractéristiques propres au matériau constitutif :

$F/S =$  effort unitaire,  $\Delta L/L =$  allongement unitaire.

$F/S =$  =contrainte = dimension d'une pression.

$\Delta L/L =$  = allongement relatif sans dimension.

La réponse est d'abord linéaire :  $\sigma = E \epsilon$  = loi de HOOKE dans laquelle  $E$  est une caractéristique du matériau ; c'est le module d'élasticité ou module de young (voire annexe 01).

La validité de la formule s'étend de  $\epsilon = 0$  à  $\epsilon = \epsilon =$  limite élastique. Au-delà les déformations sont permanentes et en  $R$  apparaît la rupture :  $\sigma$  s'annule,  $L$  devient infini puisqu'il y a décohérence. (voire fig-23)

### 1/généralisation:

Si un effort au sens  $x$  provoque une contrainte  $\sigma_x$ , l'allongement relatif est

$\epsilon_x = \sigma_x / E$ . Pourtant, le solide étant incompressible, la matière apparaissant dans le sens  $x$  crée un raccourcissement dans les sens  $y$  et  $z$  :

$$\epsilon_y = \epsilon_z = -\nu \cdot \epsilon_x / E. \text{ ou } \nu \text{ est le coefficient de POISSON qui vaut } 0,3 \text{ (sans unité)}$$

Les formules générales s'écrivent alors algébriquement :

$$\epsilon_x = 1/E [ \sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z) ]$$

Deux autres formules par permutation circulaire de  $x$   $y$   $z$ .

### 2/unités – ordre de grandeur :

Afin de travailler sur des nombres "parlants" (compris entre zéro et quelques centaines), on prend des unités MKSA ;

$F$  est compté en déca newton : DAN.

$S$  en  $\text{mm}^2$ .

Donc,  $S = \text{DAN}/\text{mm}^2 =$  accessoirement hectobar : Hb

En toute rigueur il est interdit d'employer l'Hb à l'examen puisque le bar ( $1\text{DAN}/1\text{cm}^2$ ) n'est pas une unité de pression légale. Il est par contre parfaitement licite de parler de  $\text{DAN}/\text{mm}^2$  puisque les préfixes désignant les puissances de dix relèvent du français et non d'un système de mesure.

-  $E$  a les dimensions de  $\text{DAN}/\text{mm}^2$  puisque  $\epsilon$  est sans dimension dans  $\epsilon = E \cdot \sigma$ .

A  $E$  donné un matériau s'allonge d'autant plus qu'il est plus mou. Par suite,  $E$  caractérise la rigidité. Ci-après, quelques valeurs suivies de la densité : (voire annexe 01)

<b>Aciers :</b>	$E = 20\ 000$ (7.8)
<b>Alliages de titane :</b>	$E = 10\ 000$ (4.5)
<b>Alliages d'aluminium:</b>	$E = 7\ 500$ (2.8)
<b>Alliage de magnésium:</b>	$E = 4\ 500$ (1.8)

3/contrainte d'utilisation :

$\epsilon$  étant déterminé en laboratoire, la pièce sera dimensionnée pour travailler à une contrainte inférieure :  $\sigma_u =$  contrainte d'utilisation.

$\sigma_u = k \cdot \sigma_E$  ou  $k < 1$  est un coefficient de sécurité.

**b/ la compression "flambage"**

Le rapprochement des points d'appuis tend à déformer la pièce perpendiculairement à la ligne d'action. Fig( I-25 A) . Pour les pièces élancées il y aura déformation en sinusoïde : 1/4 d'onde ; 1/2 onde ; 3/4 d'onde ; onde ; selon les types d'introduction et de reprise. C'est le flambage. Fig( I-25 B),

L'effort critique de flambage est donné par la formule d'EULER :  $F_C = \frac{\pi^2 EI}{\lambda^2}$  ou  $\lambda$  est la longueur de 1/2 onde. La poutre ayant une longueur  $l$ , posons  $\lambda = n \cdot \lambda_0$  ou  $n$ =coefficient d'encastrement dépend des reprises.  $I$  est le moment quadratique vu plus loin à la flexion.

$I = \int y^2 ds$ . Posons  $I = R^2 \cdot S$  ou  $R$  est appelé rayon de giration. La formule devient :

$$F_C = \frac{\pi^2 EI}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 E}{[\lambda_0 / (I/S)]^2} = \frac{\pi^2 E}{(\lambda_0 / R)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Où  $\lambda$  est l'élancement.

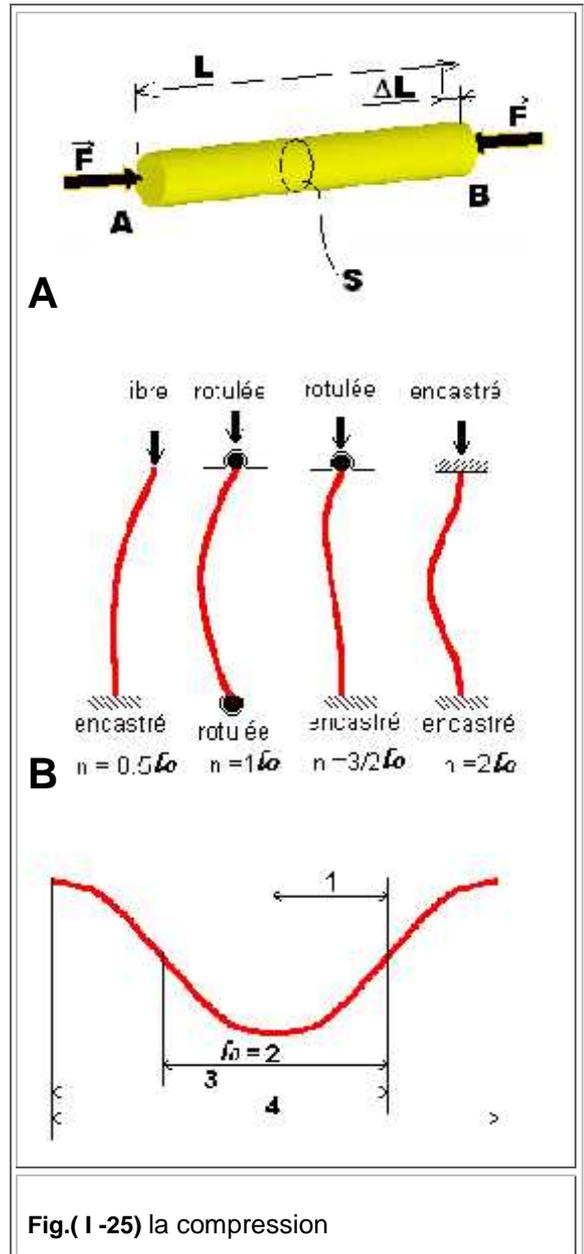


Fig.( I-25) la compression

**c/ le cisaillement :**

L'effort tend à décohesionner par glissement de deux surfaces l'une sur l'autre. C'est le travail d'une cisaille Fig( I-26 A), Cette fois l'effort n'est plus perpendiculaire à la surface mais parallèle. La contrainte de cisaillement se désigne par la lettre  $\tau = T/S$  (Hb)

Une pièce résiste moins au cisaillement qu'à la traction. On prend habituellement  $T_u = 3/5 \sigma_u$

Fig( I-26 B), la tige du rivet est cisailée. Il n'y a pas de déversement.

Fig( I-26 C), Dans ce cas, une composante de l'effort seulement donne du cisaillement. Le rivet travaille en traction : composante F. il suffit, pour être en cisaillement pur, de rendre le montage symétrique : Fig( I-26 D) c'est la chape classique

ou cette fois deux sections de l'axe sont cisailées. C'est le double cisaillement.  $\tau$  est diminué de moitié.

Sous l'action de T Fig( I-26 E), appliquée sur la face B, la contrainte  $\tau = T/S_B$  va faire glisser B par rapport à la face de reprise A. l'angle de glissement en radian est donné par une formule analogue à celle rencontrée en traction  $\gamma = \tau/E$ . ici c'est  $\gamma = \tau/G$  ou G est le module de COULPMB compté en Hb.

On prend  $G = 0.4 E = 2/5 E$ .

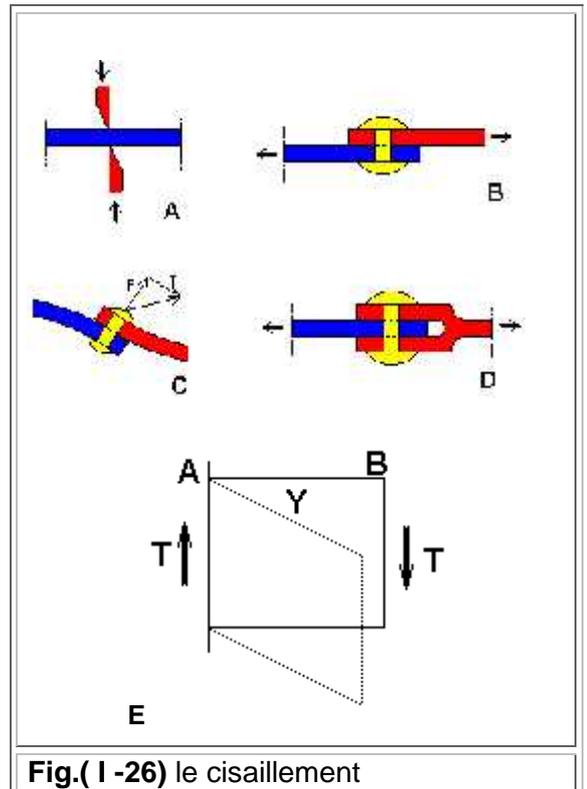


Fig.( I -26) le cisaillement

**I-3-5 Différents types de sollicitations différentielles :**

**a/ la flexion :**

Appliquons un moment M à une poutre. Dans le cas de la Fig.(I -27A) les fibres supérieures vont s'allonger, les fibres inférieures se comprimer.

Une fibre intermédiaire appelée fibre neutre gardera sa longueur.

-la flexion se traduit donc par une traction compression différentielle.

-on démontre que la répartition des contraintes est linéaire,  $\sigma = K.Y$  ou  $\sigma = E.Y$  et comptée à partir de la fibre neutre Fig.(I -27B) : K dépend du moment et de la forme de la surface.  $\sigma = M.Y/I_{xx'}$  formule dans laquelle  $I_{xx'}$  est le moment quadratique par rapport à  $I_{xx'}$   $I_{xx} = \int Y^2 ds$

**B/la torsion :**

- appliquons un moment de torsion à une poutre : les génératrices vont se déformer en hélice d'axe  $oo'$ .

Soit deux sections 1,2 Fig.( I -28 A ), distants de  $\Delta x$ , la torsion aura fait tourner le diamètre A'B' de la seconde par rapport au diamètre AB de la première Fig.( I -28 B) il y a un glissement par rapport a un point fixe , qui est le centre .le cisaillement est maximal sur la périphérie et nul sur l'axe neutre  $oo'$  (passant par le CDG)

- la torsion est un cisaillement différentiel,

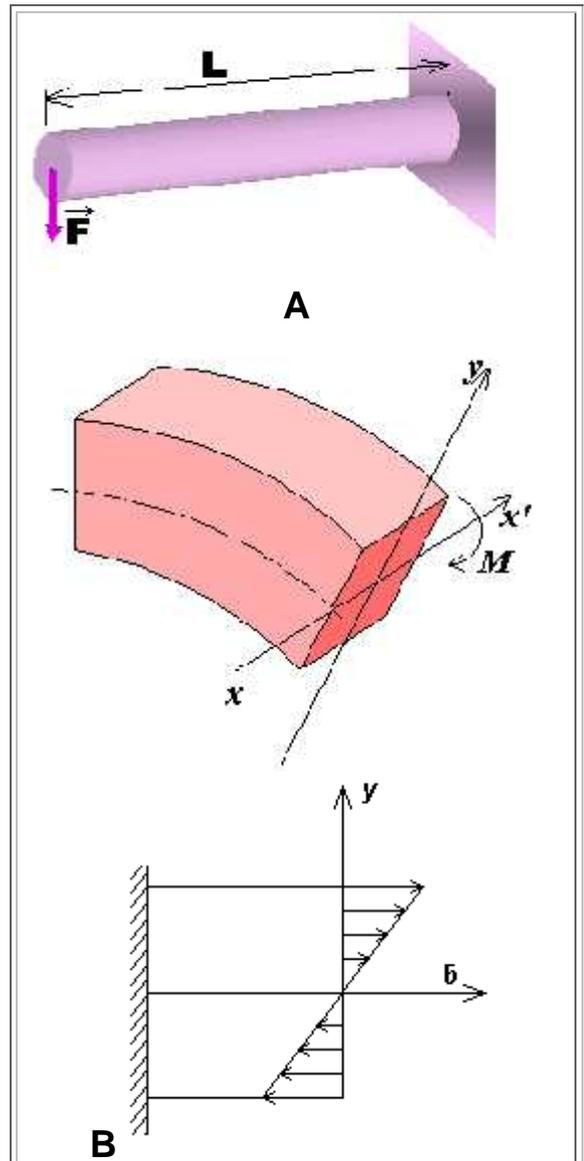


Fig.( I -27) la flexion

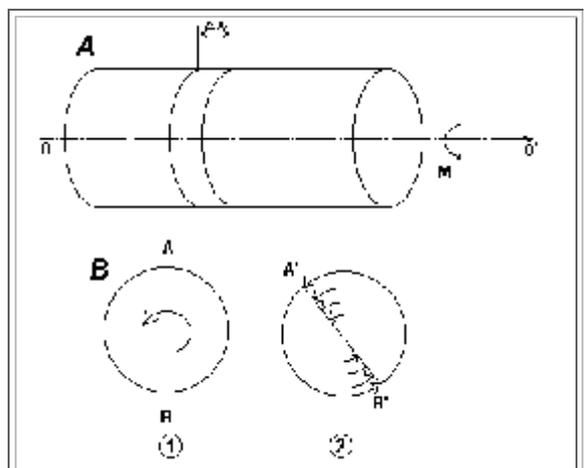


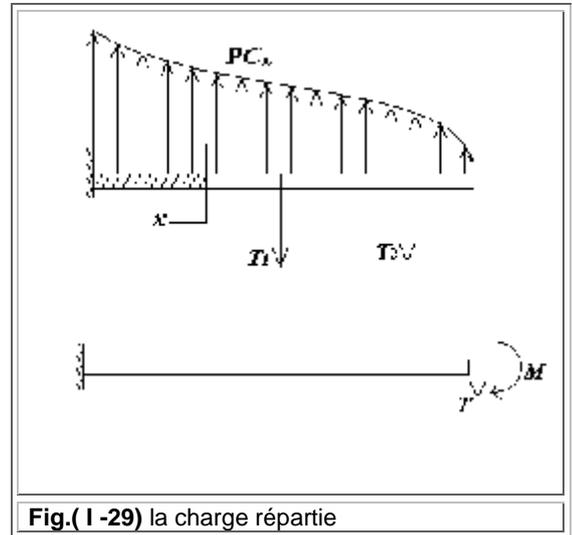
Fig.( I -28) la torsion

par analogie avec la flexion on a :

$$= M.r/I_{oo}' \text{ avec } I_{oo}' = r^2 . ds$$

**I-3-6 Relations entre les différentes sollicitations :**

P(x) désignant une charge répartie (charge par unité de longueur éventuellement variable en fonction de l'abscisse, poids linéaire de la poutre par exemple) : Coupons en cette section d'abscisse x et plaçons en cette section des sollicitations équivalant à celles que véhicule la partie droite supprimée. Fig.( I -29)



**a/ effort tranchant:**

c 'est un ramassage de tous efforts recentrent de  $x=0$  à  $x=X$

$$T = \int_0^X P . dx + T_1 + T_2 \text{ ou les efforts concentrés } T_1 \text{ et } T_2 \text{ sont des constantes d'intégration.}$$

**c/ Moment de flexion :**

Un effort tranchant T produit à une distance x un moment  $M = T . x$ , d'ou :  $M = \int_0^x T . dx$  . Nous trouverons donc sur S du cisaillement dû à T et de la traction-compression différence due à M.

## I-4 La construction aéronautique.

Dans la construction aéronautique et selon les caractéristiques des matériaux, il existe toute une gamme d'alliage d'aluminium ainsi que des matériaux composites. Le bois est aussi utilisable.

Et tous ces types de construction présentent des avantages et des inconvénients :

type	avantages	Inconvénient s
Construction Métallique	<p><b>Les métaux utilisés:</b></p> <p><i>On utilise essentiellement des alliages pour obtenir à la fois légèreté, bonne résistance mécanique et résistance à la corrosion. Ils sont à base de:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>aluminium (léger et résistant à l'oxydation)</i></li> <li>• <i>cuivre (résistant)</i></li> <li>• <i>Titane (résiste aux hautes températures et fortes contraintes)</i></li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Le métal est plus rigide et plus résistant.</li> <li>➤ Peut former des alliages selon les propriétés voulues.</li> <li>➤ S'assemble par boulonnage, rivetage ou collage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Plus ou moins sensible à la corrosion.</li> <li>➤ Se déforme irréversiblement sous forte contrainte.</li> <li>➤ Relativement lourd.</li> </ul>
Construction en bois	<p><b>Les bois utilisés:</b> <i>Epicéa, Acajou, Frêne, Sapin ...</i></p> <p><b>Le revêtement utilisé:</b> <i>Lin, coton, dacron... et Pour les avions rapides on remplace le revêtement en toile par du contre-plaqué ou un revêtement métallique léger afin d'augmenter la rigidité de l'ensemble de la structure et de limiter les déformations aux grandes vitesses.</i></p>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Le bois est à la fois souple et résistant.</li> <li>➤ Il est relativement facile à travailler.</li> <li>➤ Il s'assemble par collage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sensible à l'humidité.</li> <li>➤ Evolue dans le temps.</li> <li>➤ Le revêtement doit être régulièrement refait.</li> </ul>
<b>Construction en composite</b>	<p><b>Les matériaux utilisés:</b></p> <p><i>On utilise essentiellement des polymères (longues chaînes de molécules identiques) ou des résines. Les composants peuvent être divers: polyéthylène, résines époxy, fibres de verre,....etc.</i></p> <p><i>Les composants de ces matériaux sont en général très toxique et leur manipulation n'est pas sans risques pour les opérateurs et pour l'environnement.</i></p>	
<b>La construction mixte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Encaissent de fortes contraintes sans rupture ni déformations résiduelles.</li> <li>➤ Permettent de réaliser n'importe quelle forme.</li> <li>➤ Insensibles à la corrosion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Plus ou moins difficiles à polymériser.</li> <li>➤ Leur assemblage (collage, rivetage, boulonnage) peut être problématique.</li> </ul>
Tab.(I-1) les types de construction aéronautiques		[05]

## *I-5 Les matériaux aéronautiques*

Parmi ces différentes espèces, on cite les suivantes :

### *I-5-1 Alliage métallique en feuille :*

*Alliage d'aluminium* : les plus utilisés sont le 2024 (dural : aluminium- cuivre) et le 7075 (Zicral : aluminium – Zinc).

*Le Titane allié* : le plus utilisé est le 6AL 4V choisi pour ses bonnes caractéristiques mécaniques comparables à celles de l'acier inoxydable, sa bonne résistance à la corrosion et son poids qui est d'environ 56% de celui de l'acier.

*Acier inoxydable* : ils sont utilisés dans les zones de la structure nécessitant une haute résistance et une bonne tenue à la corrosion.

Les plus courants sont le A1S1 :301, 304,321 et 347.

*L'inconel* : l'inconel 625 et l'inconel 718 sont utilisés pour leur bonne résistance à la corrosion et à la conservation de leurs caractéristiques mécaniques à des températures élevées.

### *I-5-2 Alliage métallique forgé, matricé, filé :*

Les alliages d'aluminium sont les plus utilisés, en particulier les 2024, 7075 et 7079 (couples forts, longerons, poutres semelles de nervures, ferrures de liaison, ferrures de commande et d'articulation des surfaces mobiles des commandes de vol ...).

Les aciers inoxydables, le titane et les aciers au carbone sont également utilisés.

### *I-5-3 Les nids d'abeilles métalliques :*

D'un rapport rigidité/poids très supérieur à celui d'une structure classique, la structure en nids d'abeilles est, par contre, très sensible à l'impact. Sa réparation nécessite des moyens importants et spécifiques (moyens d'usinage, de réparation des surfaces et de collage).

Les nids d'abeilles existent en différents alliages ou en fibres de verre.

- Alliage d'aluminium (AG3, AG5, AU4G1).
- Aciers inoxydables.
- Titane.
- Inconel.

#### ***I-5-4 Matériaux composites :***

Un matériel composite est la réunion à l'échelle macroscopique de deux ou plusieurs éléments différents par la forme ou par la composition, On peut citer quelques constitutions :

La matrice : elle lie les fibres et distribue les charges entre elles tout en les protégeant (c'est le cas du mortier dans le béton armé). De plus, elle donne la forme à la pièce.

#### ***I-5-5 Le bois en aéronautique :***

Le bois massif, le contre plaqué et le bois laminé sont les trois sortes de bois communément utilisés dans la construction aéronautique. Employés pour la construction des avions légers et faibles dimensions, car, il est difficile à approvisionner en grandes longueurs.

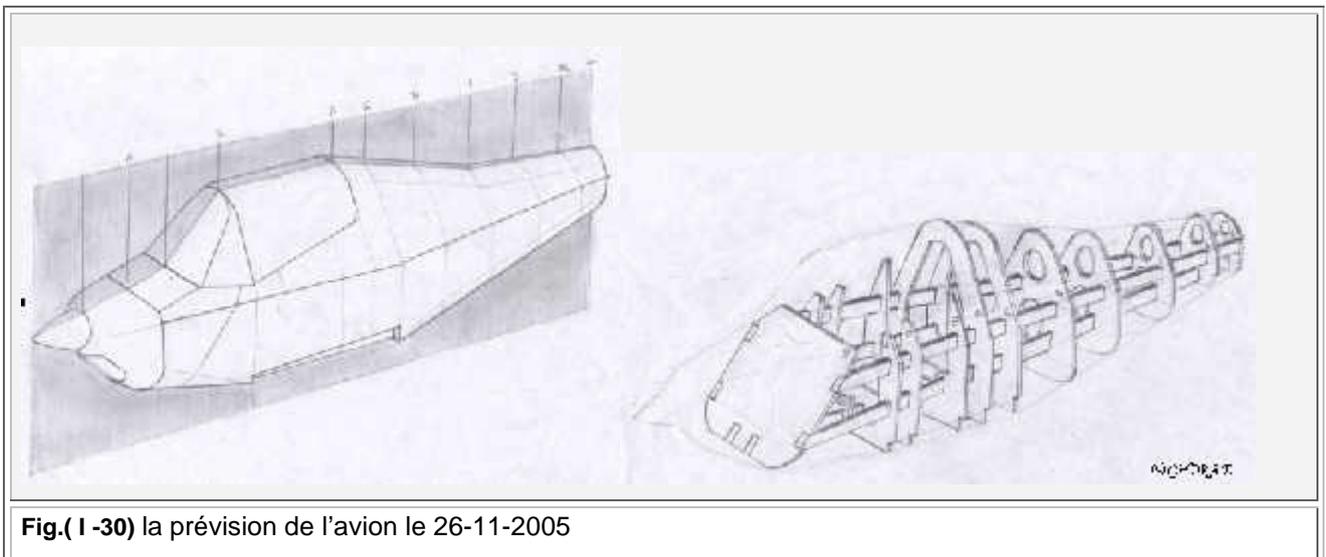
Les bois ont l'inconvénient de vieillir, comme beaucoup de matériaux organiques, et de travailler à la chaleur et à l'humidité, sauf s'ils sont parfaitement protégés. Ils sont fragiles, sous un choc violent, ils éclatent en menus morceaux, ce qui rend plus graves les accidents au sol. Par contre, le bois est plus facile à travailler que le métal n'exige qu'un faible outillage et parfois artisanal.

## *I-6 Généralités sur l'avion CHIRAD-1A.*

### *I-6-1 Historique*

Après faire des inspections et des études structurales théoriques sur plusieurs avions hors service et en exploitation, nous avons cru que la réalisation d'un avion n'est jamais impossible si nous pouvons faire les bons calculs (aérodynamiques, structuraux..).

Le plan est posé par notre collègue Adel MOHAMMED BELARBI avec l'aide de tout le groupe HAMOUD, LOUNES, ABDELLAH, HICHEM ; Le début de conception était le 03 octobre 2005 et dans la période de 55 jours le plan était presque fini fig.(1-30), et nous avons commencé le travail.



Mais après la réalisation de la maquette nous avons trouvé un défaut aérodynamique dans la forme de la verrière (1) qui nous a obligé de faire une modification dans le plan basique, et même le choix du moteur qui n'était pas le moteur prévu nous a obligé de changer la forme de capotage moteur (2). Même pour le système d'atterrissage qui était prévu escamotable dans les premiers plans mais à cause de manque des moyens et de temps nous l'avons laissé fixe (3), et nous avons trouvé q'une grande partie de la dérive entre dans la zone de sillage du fuselage. alors nous avons essayé de l'élever plus (4) fig(1-31)

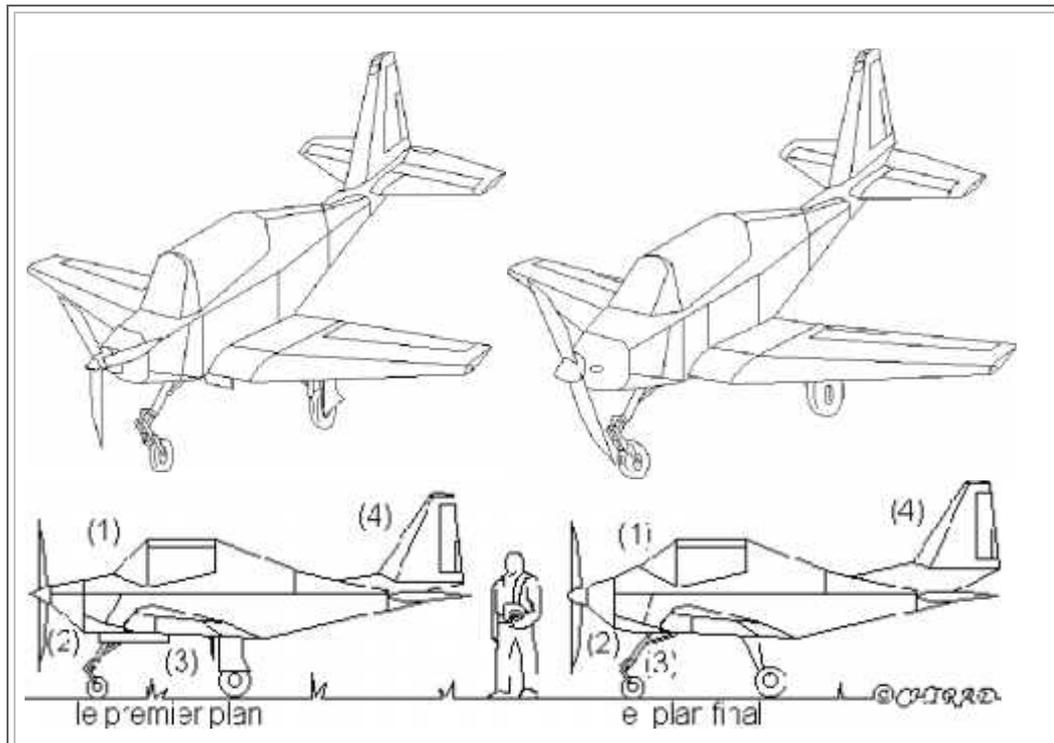
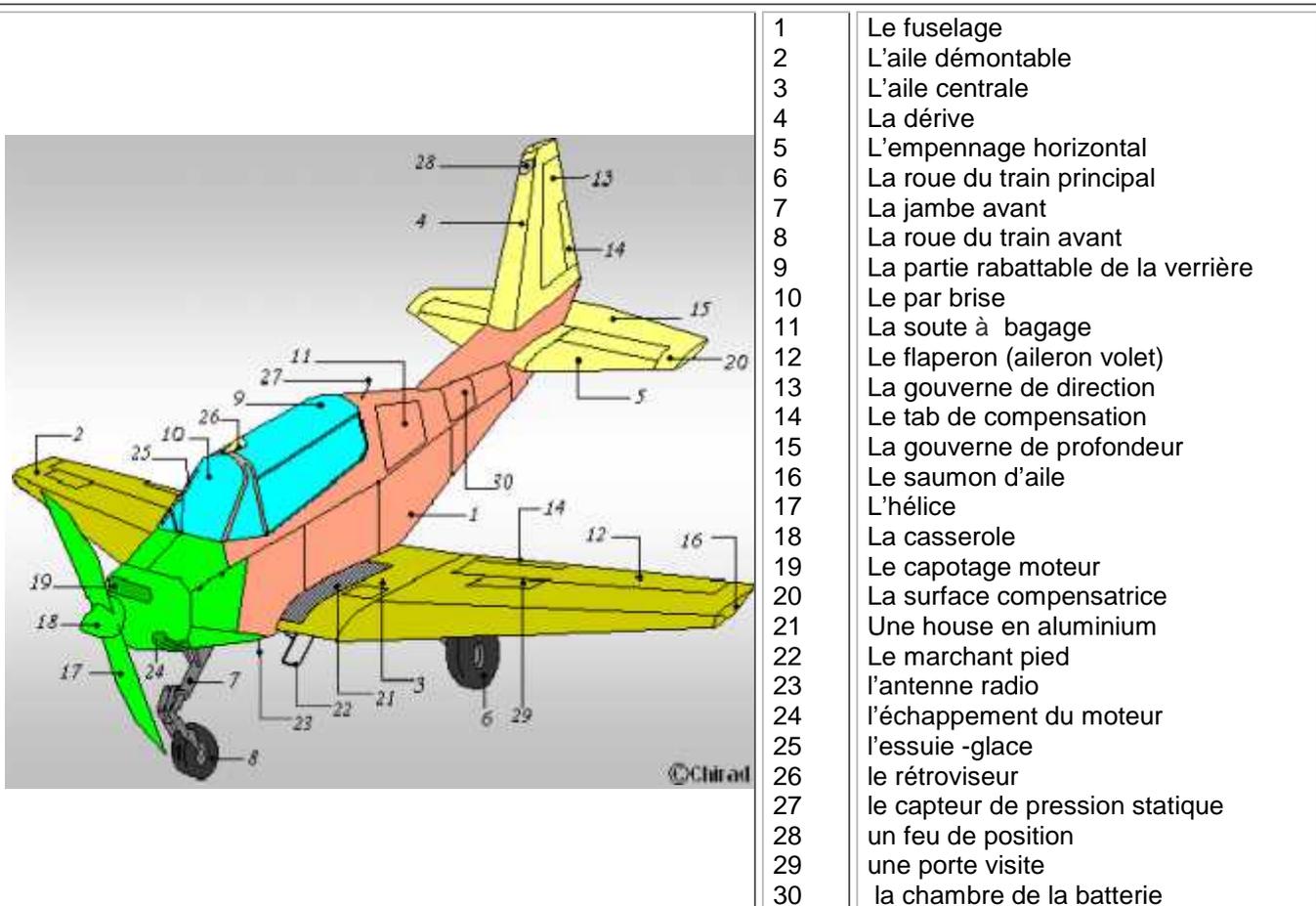


Fig.( I -31) Les modifications dans le plan de l'avion



- 1 Le fuselage
- 2 L'aile démontable
- 3 L'aile centrale
- 4 La dérive
- 5 L'empennage horizontal
- 6 La roue du train principal
- 7 La jambe avant
- 8 La roue du train avant
- 9 La partie rabattable de la verrière
- 10 Le par brise
- 11 La soute à bagage
- 12 Le flaperon (aileron volet)
- 13 La gouverne de direction
- 14 Le tab de compensation
- 15 La gouverne de profondeur
- 16 Le saumon d'aile
- 17 L'hélice
- 18 La casserole
- 19 Le capotage moteur
- 20 La surface compensatrice
- 21 Une house en aluminium
- 22 Le marchant pied
- 23 l'antenne radio
- 24 l'échappement du moteur
- 25 l'essuie -glace
- 26 le rétroviseur
- 27 le capteur de pression statique
- 28 un feu de position
- 29 une porte visite
- 30 la chambre de la batterie

Fig.( I -32) description de l'avion

## I-6-2 Destinations

L'avion CHIRAD 1 est destiné vers trois principaux rôles :

CHIRAD 1-A : avion expérimental pour l'étude pratique dans l'institut d'IAB (fig1-33)

CHIRAD 1-B : destiné vers les travaux agricoles (fig1-34)

CHIRAD 1-C : pour la photo aérienne (fig1-35)

Et les derniers types vont présenter des configurations spéciales :

### a/ CHIRAD 1-B :

- La soute à bagage (2) devient un récipient pour le liquide à éjecter (4)
- Montage des injecteurs dans l'intrados du bord de fuite de l'aile centrale avec leur tuyauterie. (5)
- L'aile présente un angle de calage plus grand.

*Afin de :*

L'adapter aux travaux agricoles.

Améliorer les performances aérodynamiques de l'aile.

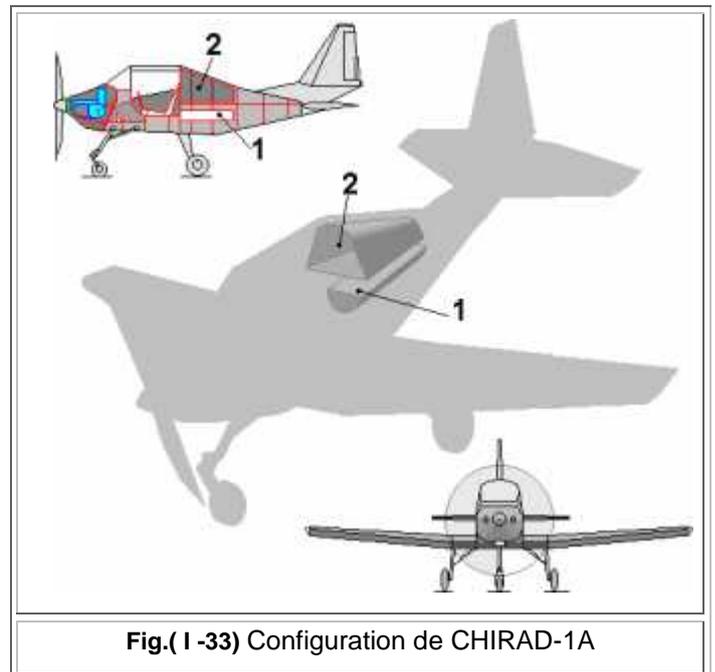


Fig.( I -33) Configuration de CHIRAD-1A

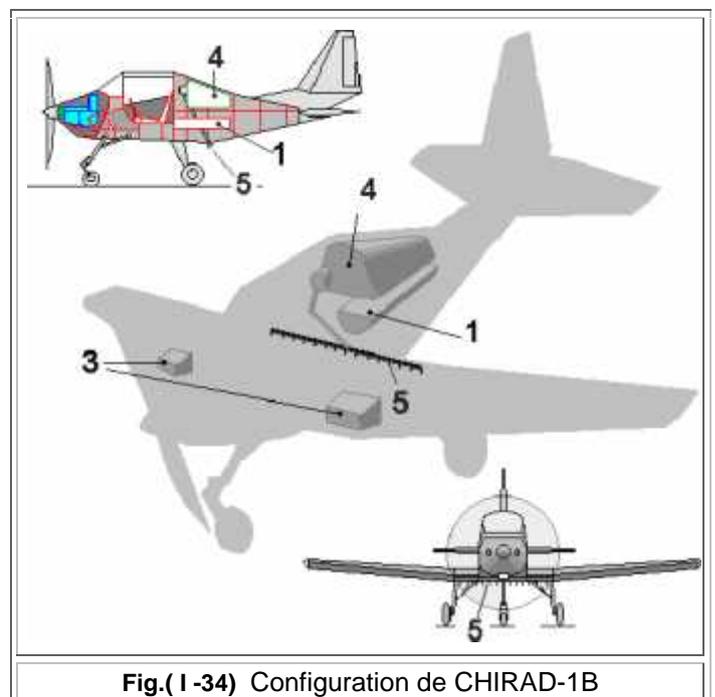
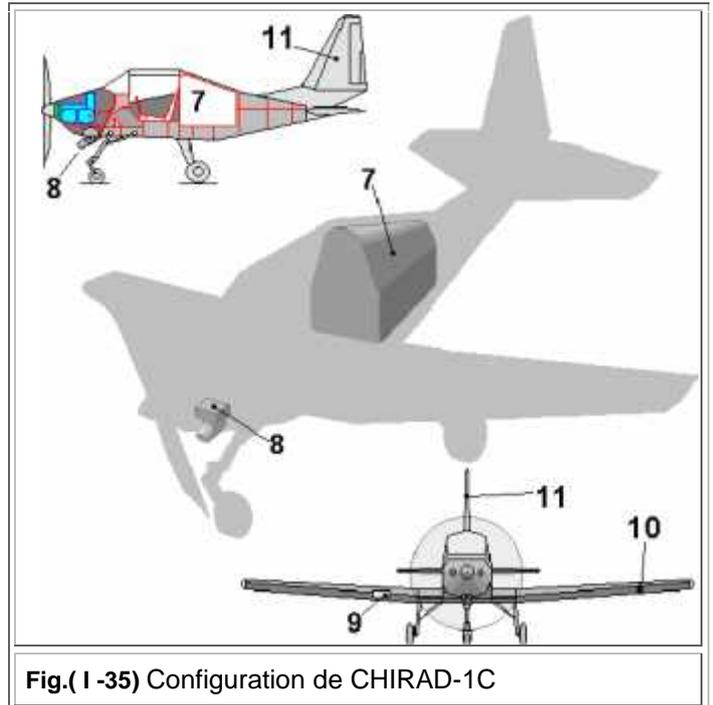


Fig.( I -34) Configuration de CHIRAD-1B

## .CHIRAD 1-C:

- possède un grand réservoir de carburant ; alors que la soute à bagage (2) Avec le réservoir principal (1), (dans le type A) devient un grand réservoir (7), suppression des réservoirs auxiliaires.
- fixation d'un camera (8), sous le fuselage à la place far avec leur câblages et avec montage de l'écran sur le tableau de bord.
- le far va prendre lieu au bord d'attaque de l'aile droite (9).



- les ailes démontables présentent une grande envergure (10).
- La dérive plus grande que celle de (A) afin de l'éloigner de la zone de sillage de fuselage (11) .

*Afin de :* L'adapter aux travaux des photos aériennes.

Améliorer les performances aérodynamiques de l'aile.

De lui donner des altitudes de vol plus grandes et plus de maniabilité.

**I-6-3 Données techniques**

		séries		
		CHIRAD 1-A	CHIRAD 1-B	CHIRAD 1-C
Dimensions	Destination	expérimental	agriculture	Photo aérienne
	Envergure	6440 mm		8540 mm
	Longueur	5000 mm		6000 mm
	Hauteur	2650mm		3940mm
	Surface de l'aile	9.00m <sup>2</sup>		12.08 m <sup>2</sup>
	Masse à vide	450 Kg (estimée)		500 Kg (estimée)
	Masse maximale	600 Kg (estimée)		700 Kg (estimée)
	Carburant interne	80 l		150 l
Equipe-ments	Moteur	VW 1500 a 4 cylindres plats		Non choisi
	Hélice	Bipale Type D14M400 Ø1960 mm		Non choisie
Performances	Distance franchissable	800 Km (estimée)		Plus de 1500 Km
	Vitesse de décollage	110 Km/h		100 Km/h (estimée)
	Vitesse de croisière	220 Km/h (estimée)		300 Km/h (estimée)
	Vitesse maximale	250 Km/h (estimée)		320 Km/h (estimée)
	Plafond pratique	1500 m (estimée)		Plus de 3000 m

Tab.(I-2) Fiche technique

**I-6-4 Les Vues de l'avion**

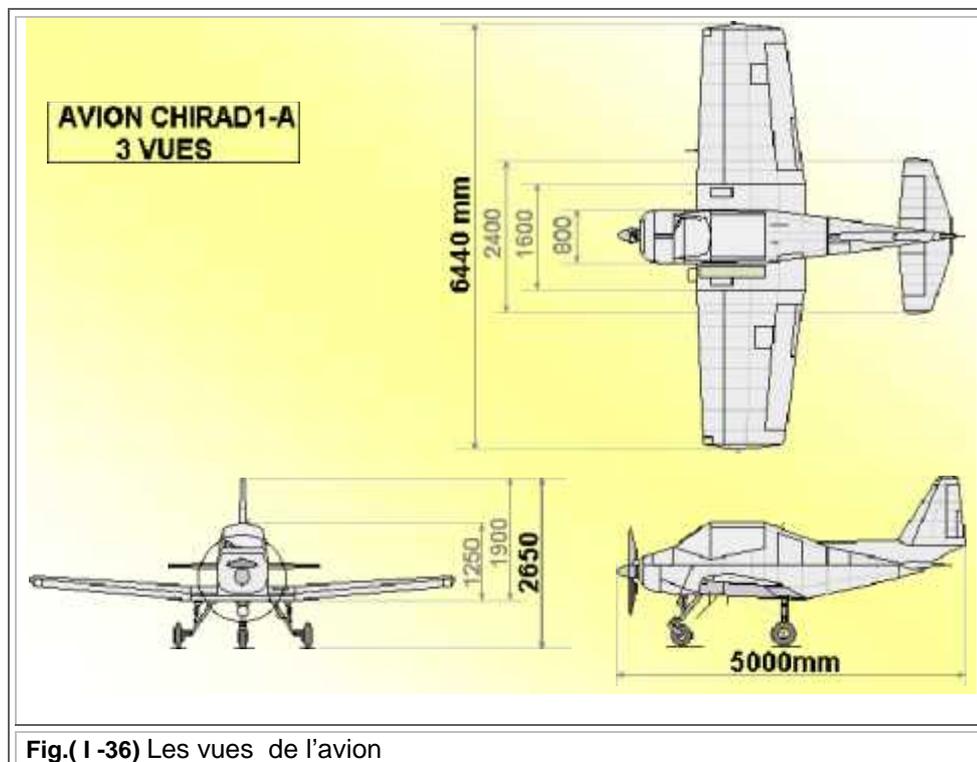


Fig.(I-36) Les vues de l'avion

## II Généralités sur les fuselages

### II-1 Généralités

Le fuselage constitue l'habitacle de l'avion. Il subit de très fortes interactions avec les ailes : au sol, c'est lui qui supporte tout le poids de la voilure au niveau de l'emplanture, tandis qu'en vol, il est au contraire porté par celle-ci. Il a en général la forme d'un fuseau monocoque, nécessaire dans le cas des avions à cabine pressurisée pour les vols à haute altitude. On peut aussi adopter un fuselage composé de cadres en forme d'anneaux, fixé aux panneaux de revêtement.

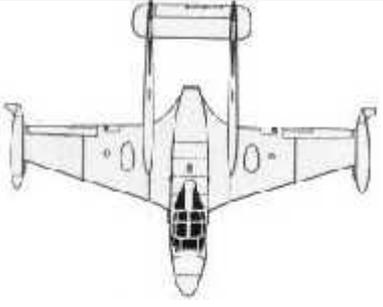
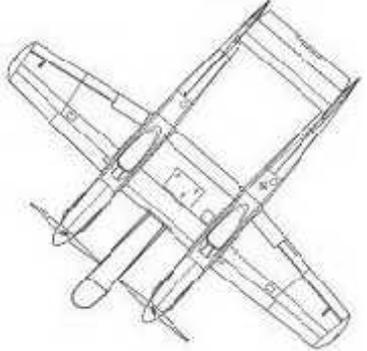
Le fuselage constitue le principal "volume utile". Il doit :

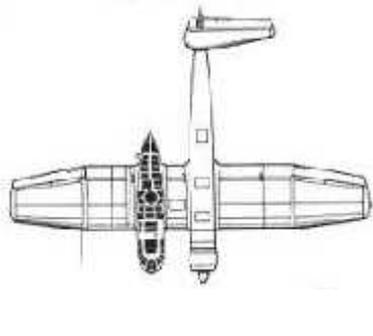
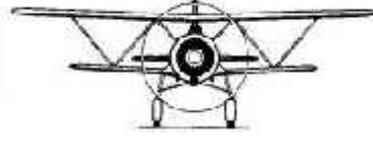
- Assurer un écoulement correct de l'air, pour préserver l'efficacité des empennages.
- Présenter une traînée minimale à incidence normale d'utilisation.
- Avoir un volume assez grand pour loger les passagers et le fret.

### II-2 Différents types de fuselage :

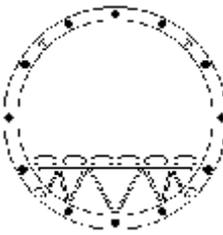
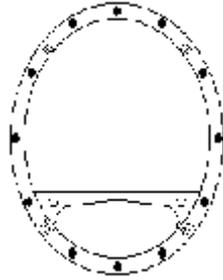
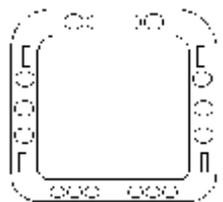
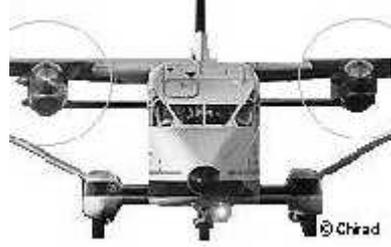
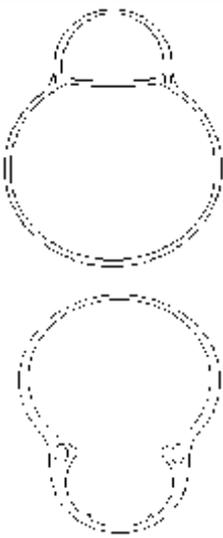
Les fuselages présentent plusieurs types selon leurs formes (configuration) ou leurs constructions :

#### II-2-1 Selon la configuration :

<p>a)</p> <p><b>Le bipoutre</b></p> <p>Par rapport aux avions normaux, tous les bipoutres se ressemblent, même si les raisons de cette configuration sont différentes : choix d'une propulsion bimotrice, choix d'un armement lourd placé dans le nez, profil aérodynamique plus performant, choix de postes d'observation dégagés, etc...</p>	 <p>D.H.112 venom</p>
<p>b)</p> <p><b>Le fuselage jumelé</b></p> <p>Cette configuration consiste à assembler deux appareils monoplans avec leurs deux fuselages distincts mais gardant tout ou partie de leurs fonctionnalités. Cette "soudure" permet d'obtenir un avion deux fois plus puissant qu'un modèle existant.</p>	 <p>F-82</p>

<p>c)</p> <hr/> <p><b>L'asymetrique</b></p> <p>L'avion asymétrique ne repose donc pas sur une forme traditionnelle et élégante du profil. Dans cette configuration un ou plusieurs éléments (groupe moteur, poste de pilotage, empennage, ...) ne sont centré sur l'appareil. Cette forme complexe permet d'offrir notamment une visibilité accrue, mais demande une mise au point plus délicate.</p>	 <p>Bv-141</p>
<p><b>Le symétrique</b></p> <p>L'avion symétrique présent le cas général des avions modernes, et il peut présenter tout les caracteristiques précédentes. Et on le trouve sous plusieurs formes :</p>	
<p><b>Le monoplan</b></p> <p>Forme la plus classique et la plus répandue des avions à partir de la fin des année 30. L'avion a une aile unique, reliée au fuselage. Cette configuration commence à supplanter les biplans. Elle est plus aérodynamique et permet d'accroître les performances, même si elle s'accompagne d'une diminution de la surface alaire et d'une certaine perte de maniabilité.</p>	 <p>MiG-27</p>
<p><b>Le biplan</b></p> <p>Forme principalement utilisé durant la Première Guerre Mondiale et jusqu'aux années 30. Deux ailes parallèles permettent à l'avion de doubler la surface alaire sans augmenter l'encombrement général de l'avion et sans avoir besoin de trop longues ailes, dont la solidité aurait été problématique à l'époque. Les deux "plans" sont généralement reliés par des poutres, qui améliorent la robustesse de l'avion mais engendrent une forte traînée. Les monoplans les supplantent quelques années avant la Seconde Guerre Mondiale.</p>	 <p>D.H.82</p>
<p><b>Le sesquiplan</b></p> <p>Transition finale entre le biplan et le monoplan avec une aile inférieure sensiblement plus petite comparée à l'aile supérieure. Plusieurs modèles d'avions utilisèrent cette configuration pendant les années vingt et trente</p>	 <p>CR-42</p>
<p>Tab.(II -1) Différents types de fuselage Selon la configuration [17]</p>	

II-2-2 Selon la section

<p>a) Section rond C'est le cas général dans les avions de transport</p>			<p>CASA C-295 [35]</p>
<p>b) Section elliptique Généralement pour les avions de transport qui possèdent une grande soute</p>			<p>Il 76 Md [35]</p>
<p>c) Section carrée Rarement trouvée</p>			<p>Short 360 [31]</p>
<p>d) Section en 8 on trouve cette forme en quelque avion de cargo</p>			<p>Antonov 225 [29]</p>
			<p>A 300-600ST Belouga [31]</p>

<p>e) Section On la trouve seulement sur des bombardiers de grande technologie.</p>			[31]
		<p>F-117</p>	
<p>f) Section quelconque On la trouve généralement sur les anciens avions, les avions légers ou sur des avions qui présentent une haute technologie. .</p>	<p>/</p>		[31]
		<p>SR-71 black bird</p>	
			[31]
		<p>V 22</p>	
<p>Tab.( II -2) Différents types de fuselage Selon la section.</p>			

**II-2-3 Selon l'aménagement**

**a) Les avions de ligne Fig. (II-1)**

Les avions de ligne se composent généralement de :

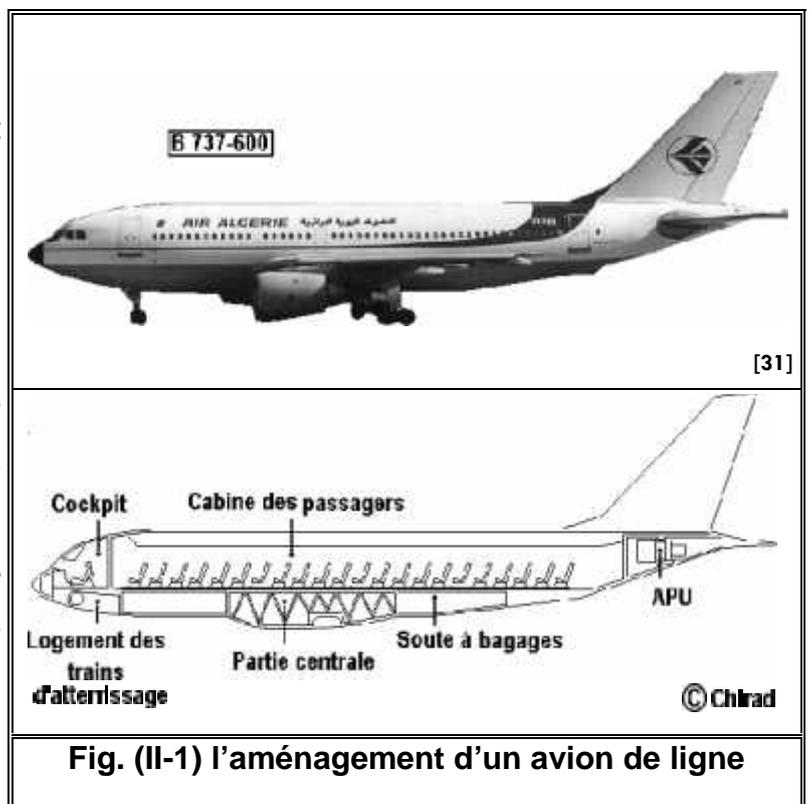
Le cockpit ou la cabine de pilotage.

La cabine des passagers.

La soute à bagage, leur volume varie suivant le trajet et la destination de l'avion.

Une partie centrale très renforcée pour la fixation des ailes et du train principal.

Le logement de train avant.



**Fig. (II-1) l'aménagement d'un avion de ligne**

**b) les avions cargo** Fig. (II-2)

Ils présentent des fuselages très volumineux.

Qui ne contiennent que :

L'espace cargo.

La cabine de pilotage et d'équipage de charge / décharge. Cette cabine se trouve soit sur la soute (An-225) ou sous la soute (a-300-600 St Bélouga).

Une partie centrale.

Les logements des trains

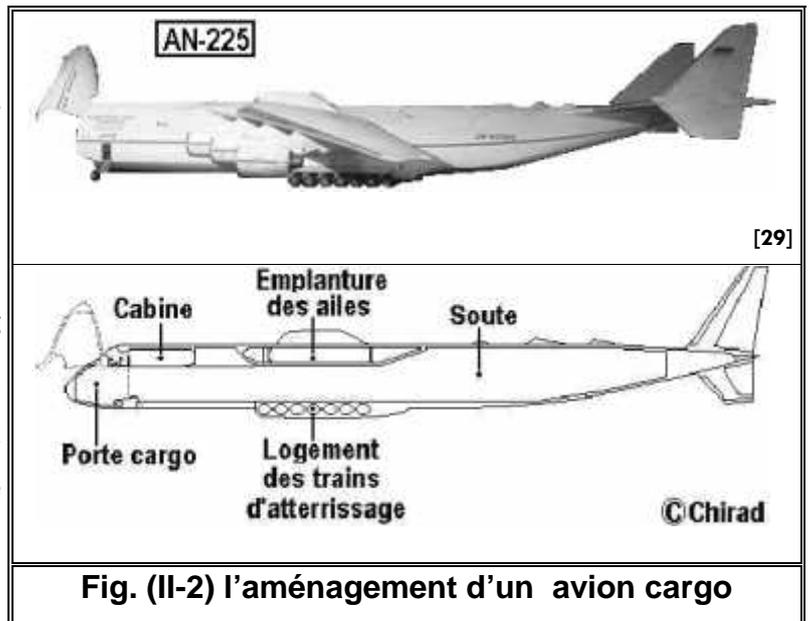


Fig. (II-2) l'aménagement d'un avion cargo

**c) Les avions légers** Fig. (II-3)

On les trouve avec des fuselages très simples qui contiennent seulement :

Le cockpit avec une petite soute à bagage derrière la cabine.

Une queue qui supporte les empennages et rarement le réservoir de carburant.

Une chambre pour le moteur avec un pare feu de séparation.

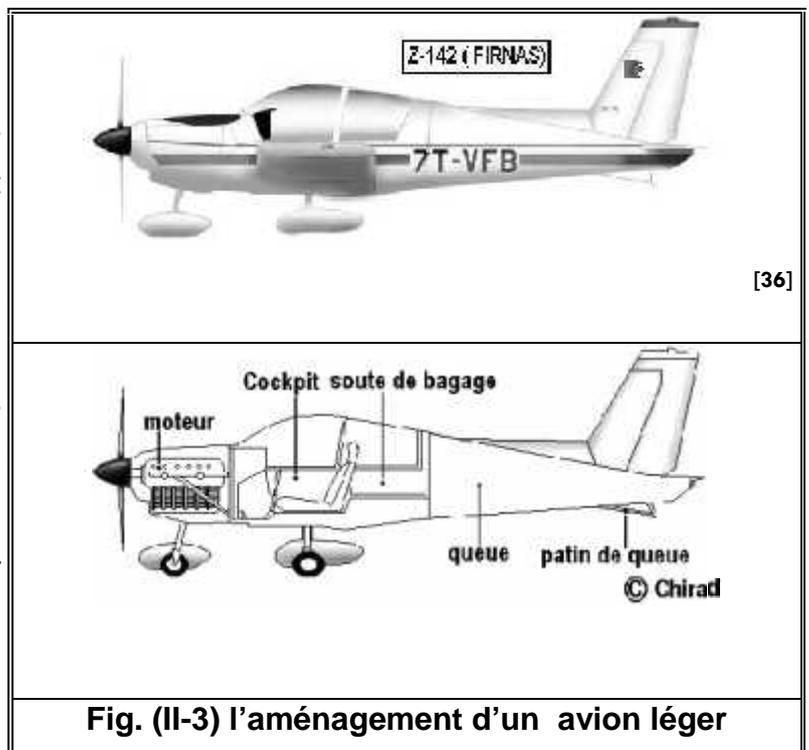


Fig. (II-3) l'aménagement d'un avion léger

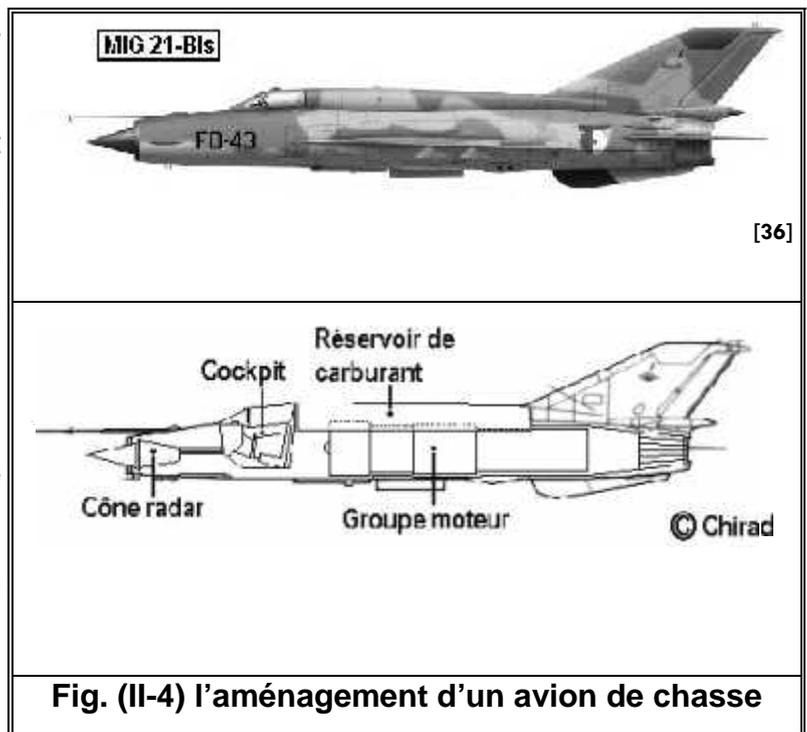
**d) Les avions de chasse** Fig. (II-4)

Leurs fuselages ont généralement une forme creuse pour fixer le turboréacteur à l'intérieur de fuselage. Le fuselage est constitué de :

Le cockpit.

La partie radar ( le cône d'avant ).

Les réservoirs principaux de carburant sur le moteur.



**Fig. (II-4) l'aménagement d'un avion de chasse**

### II-2-4 Selon la construction

#### A) Fuselage semi monocoque :

La structure semi-monocoque Fig (II-5) se caractérise donc essentiellement par des longerons + couples (cadre) + lisses + revêtement travaillant

- Les longerons encaissent les efforts de flexion en totalité.
- Les couples encaissent les efforts de torsion en totalité.
- Le revêtement travaillant transmet ces divers efforts entre tous les éléments.
- Les lisses sont des tiges longitudinales reliant deux ou plusieurs cadres. Elles assistent -- les longerons pour assurer la rigidité du fuselage mais elles sont bien plus petites.

Elle est appelée également semi-monocoque une structure coque réalisée en plusieurs tronçons et assemblée en fin de fabrication. Fig (II-6) .

Dans ce cas, des couples forts sont positionnés à cette coque extrémité de tronçon Pour permettre une transmission continue d'efforts.

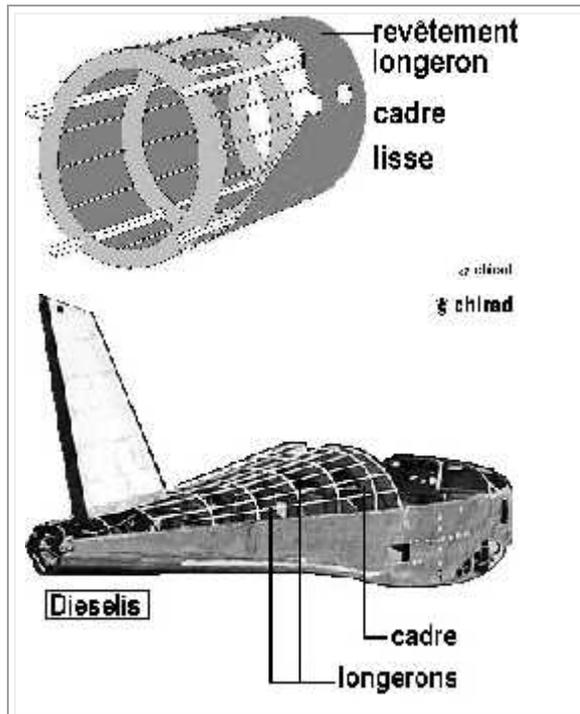


Fig.(II-5) : Fuselage semi-monocoque en bois

[39]

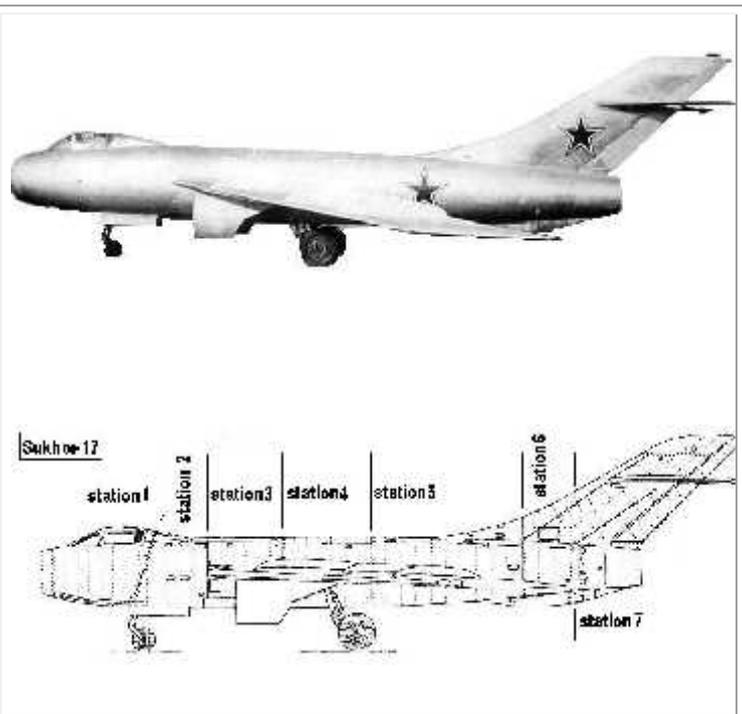


Fig.(II-6) : fuselage en station su-17

[25]

**B) Fuselage coque :**

- Le fuselage coque est assimilable à la construction de caisson à âmes multiples Fig (II-7).
- Les longerons n'existent plus en tant que tels.
- Les couples fixés au revêtement travaillant, fortement raidis, encaissent la totalité des efforts répartis de flexion et de torsion.

Des couples forts sont placés aux endroits où se situent des efforts localisés.

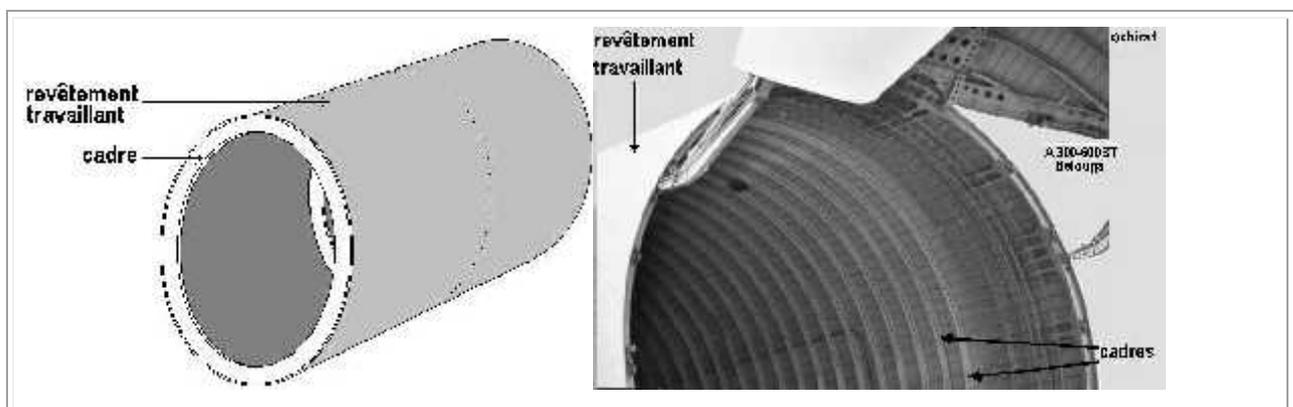


Fig.( II-7 ) : fuselage mono-coque

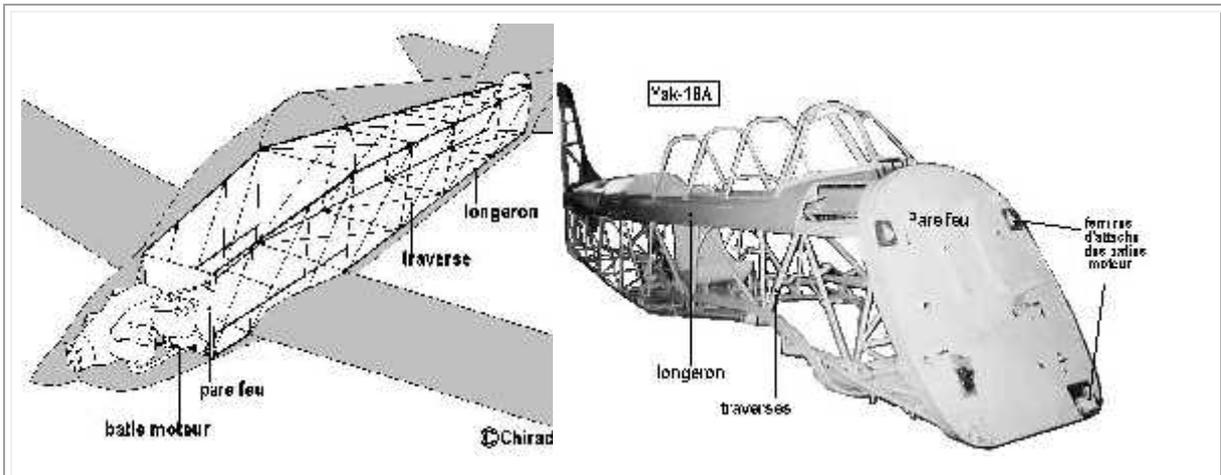
[05]

La section1 de l'A300 et la queue de Zlin (firmas) 142 nous présentent des exemples de construction coque.

**c) Structure en treillis :**

Dans cette structure on constitue un squelette du fuselage à l'aide généralement de tubes métalliques ou de poutres en bois.

Les poutres traversant l'avion de la queue jusqu'au nez sont appelées longerons.



**Fig.(II-8) : fuselage en tube soudés (Warren)**

[14]

Les autres sont appelées traverses.

L'ensemble est recouvert d'un revêtement non travaillant. Fig.(II-8)

## II-3 Efforts Appliqués Sur Le Fuselage

### II-3-1 Efforts dus au poids de l'appareil :

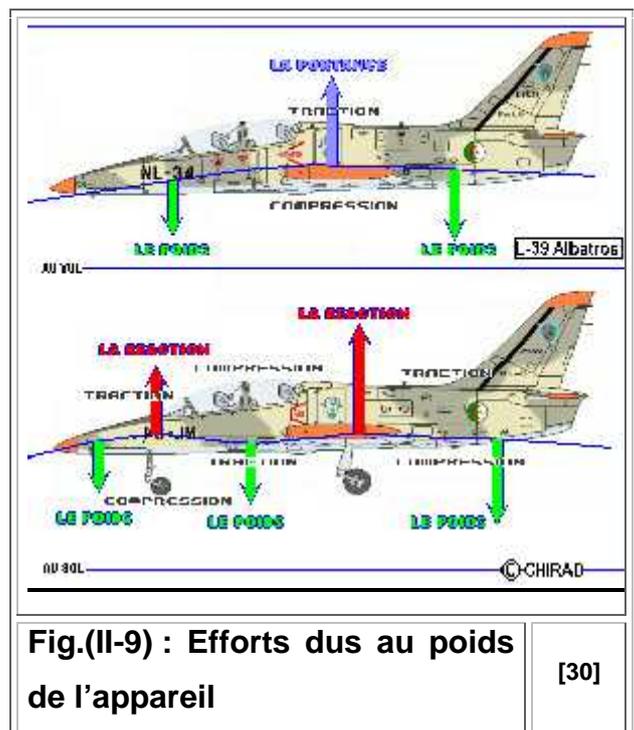
**Au sol :** le fuselage se comporte comme une poutre en équilibre sur deux appuis (atterrisseurs) . Fig.(II-9 A)

**En vol :** le fuselage se comporte comme une poutre suspendue à la voilure (l'empennage est supposé non porteur) Fig.(II-9 B)

Le fuselage est donc soumis à :

- Un effort tranchant qui donne une contrainte de cisaillement en général assez faible.

- Un moment fléchissant qui provoque des contraintes longitudinales.



**Fig.(II-9) : Efforts dus au poids de l'appareil**

[30]

- La traction de la partie supérieure.
- La Compression à la partie inférieure (d'où risque de flambage du revêtement)

**II-3-2 Efforts dus à la pressurisation :**

En raison de la pressurisation du fuselage, celui-ci se trouve en vol à une "altitude cabine" inférieure à l'altitude réelle de l'avion. Fig.(II- 10)

S'ajoutent, dans la partie supérieure, à la contrainte de traction due au poids.

Se retranchent, dans la partie inférieure, à la contrainte de compression qui est diminuée et peut même être inversée.

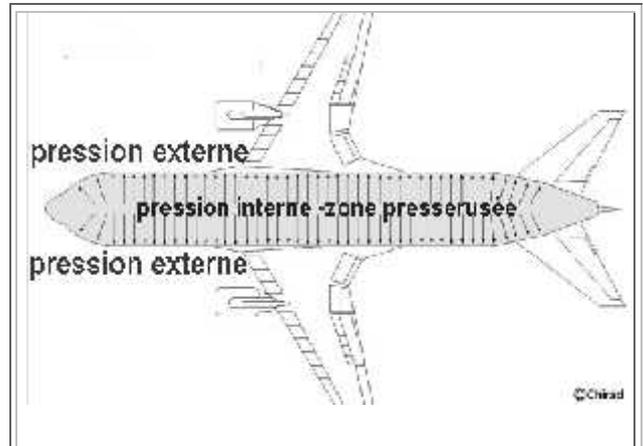


Fig.(II-10) : zone pressurisée

[01]

Cela entraîne une diminution de la "zone instable", c'est-à-dire de la zone où il y a des risques de flambage, le matériau étant soumis à la compression. Fig.(II-11)

Nous vous signalons que si nous augmentons le rayon du fuselage, la contrainte critique de flambage que le matériau peut supporter diminue ; Il faudra alors "raidir" la coque , ( lisses, couple)

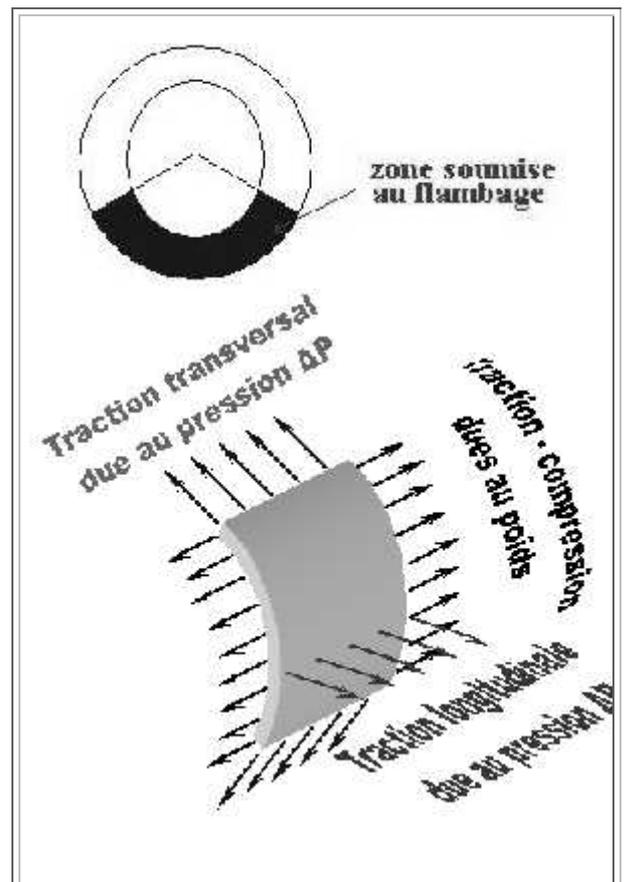


Fig.(II-11) : Efforts dus à la pressurisation

[01]



## II-4) Analyse d'un fuselage semi-monocoque :

Nous allons étudier les fuselages de type semi-monocoque que nous avons trouvé sur la majorité des avions actuels ; Les éléments constitutifs du fuselage semi mono-coque sont :

### II-4-1) les longerons

Les longerons sont les éléments longitudinaux qui supportent la majorité des charges appliquées sur le fuselage, ils assurent aussi la jonction entre les cadres, leurs nombres varient d'un avion à un autre, et ils présentent plusieurs formes fig.(II-14)

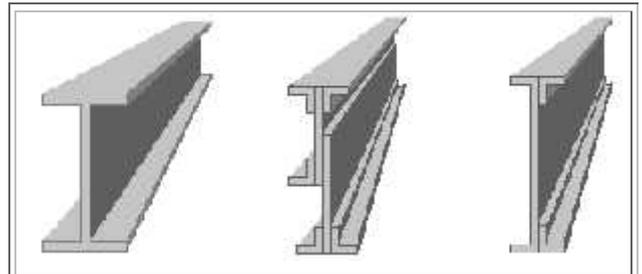


Fig.(II-14) : différents types des longerons

[06]

### II-4-2) Les couples ou cadres :

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

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

- aux limites des zones pressurisées. Fig.(II-15-b)
- aux encadrements de portes.
- aux attaches des ailes.
- aux attaches des empennages.
- aux fixations des réacteurs et de l'APU.
- aux logements de trains.

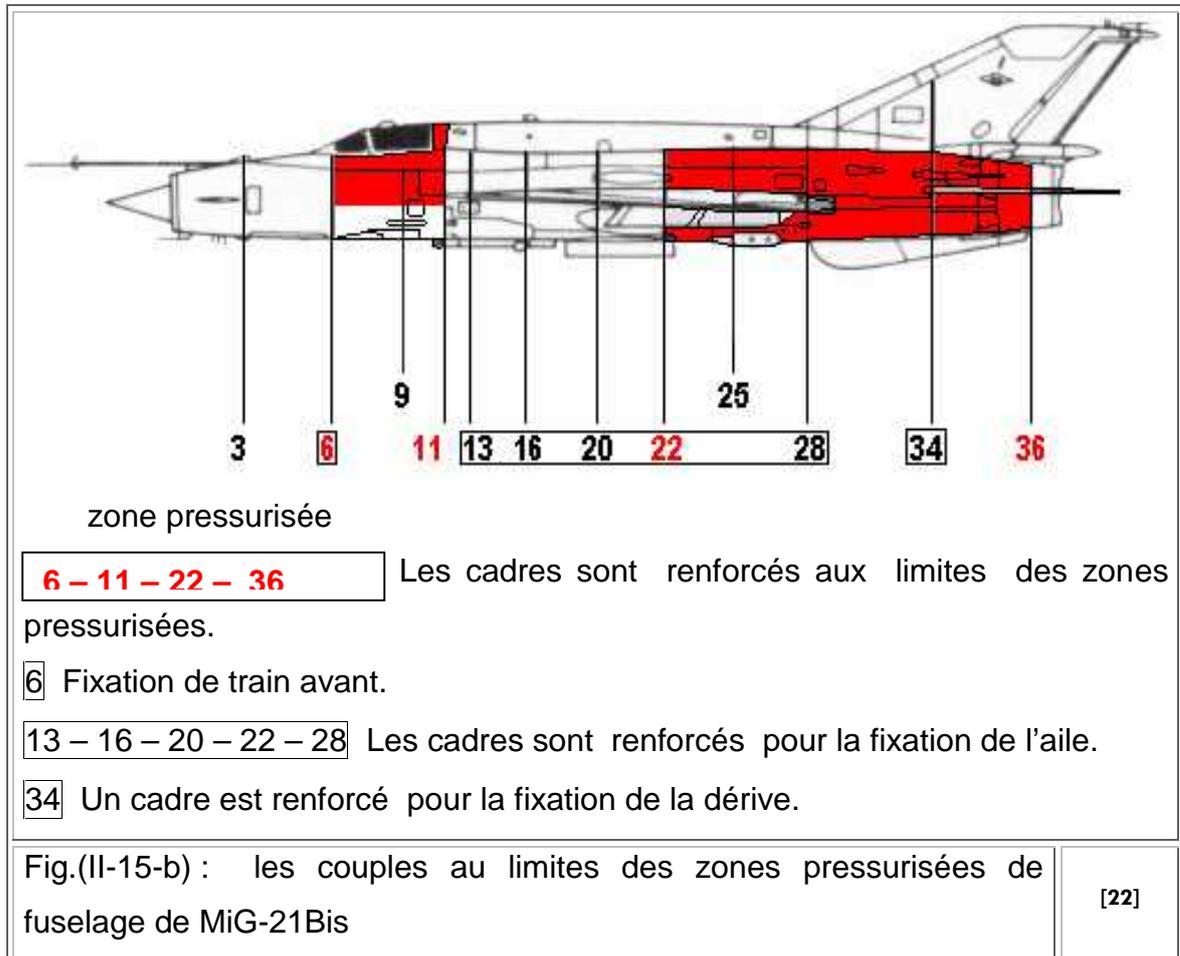


Fig.(II-15-a) : les couples de liaison d'un avion de chasse

[05]

- aux liaisons entre les tronçons de fuselage (section), etc.... fig.(II-15-a)

Les couples standard sont généralement réalisés par pliage, et les couples forts par usinage (AU4G1)



### II-4-3) Les lisses :

Les lisses sont les éléments longitudinaux raidisseurs du revêtement.

Leur nombre est variable d'un avion à un autre.

Elles sont fixées au revêtement :

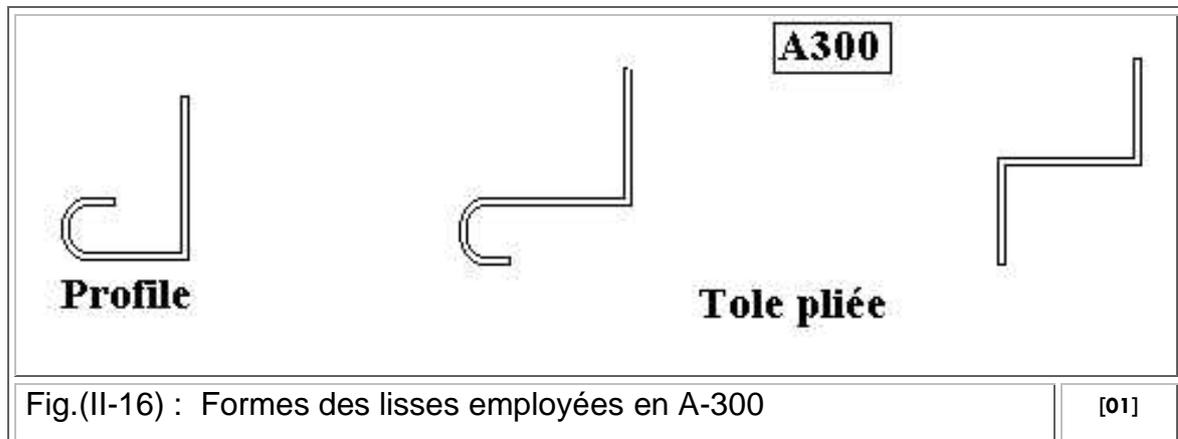
- par collage dans les zones de faibles contraintes.
- par rivetage dans les zones de fortes contraintes ou dans les zones soumises à la corrosion (partie inférieure du fuselage).

Elles sont fixées aux couples par des éclisses rivées (A300, A310) ou traversent les couples pour éviter au maximum les discontinuités (B727, B737, B747) et ils se trouvent selon plusieurs formes fig.(II - 16)

**Matériaux employés :**

Duralumin AU4G1 dans la partie supérieure (traction)

Zicral AZ5GU dans la partie supérieure (compression)

**II-4-4 Le revêtement :**

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

Sur A310 des plaques de titane renforcent la jonction des plaques de revêtement et évitent la propagation des criques.

**Les matériaux employés sont :**

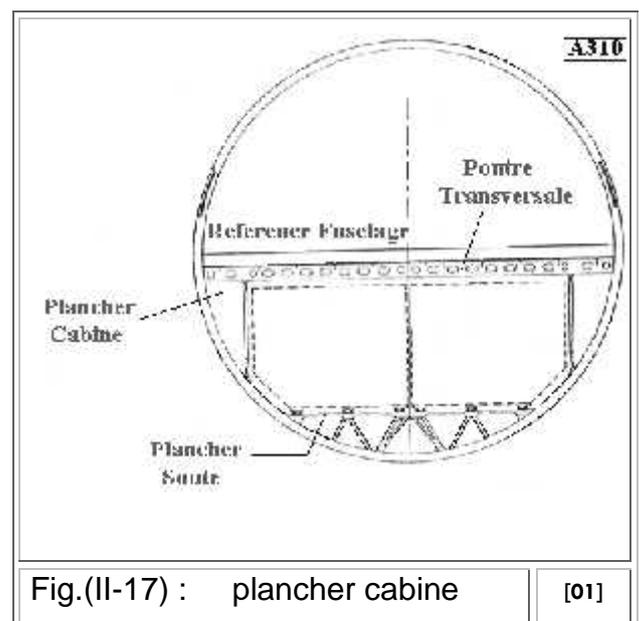
- Duralumin AU4G1 (partie supérieure)
- Zicral AZ5GU (partie inférieure)

**II-4-5 plancher cabine:**

Le plancher cabine est réalisé par des poutres transversales rivetées aux couples et raidies par des bielles de plancher (A300, A310). Fig.(II-13)

Les rails de plancher sont fixés aux poutres transversales.

Le plancher supporte ainsi les charges de la cabine et équilibre les efforts de traction dus à la pressurisation.



**II-4-6 Les Portes :**

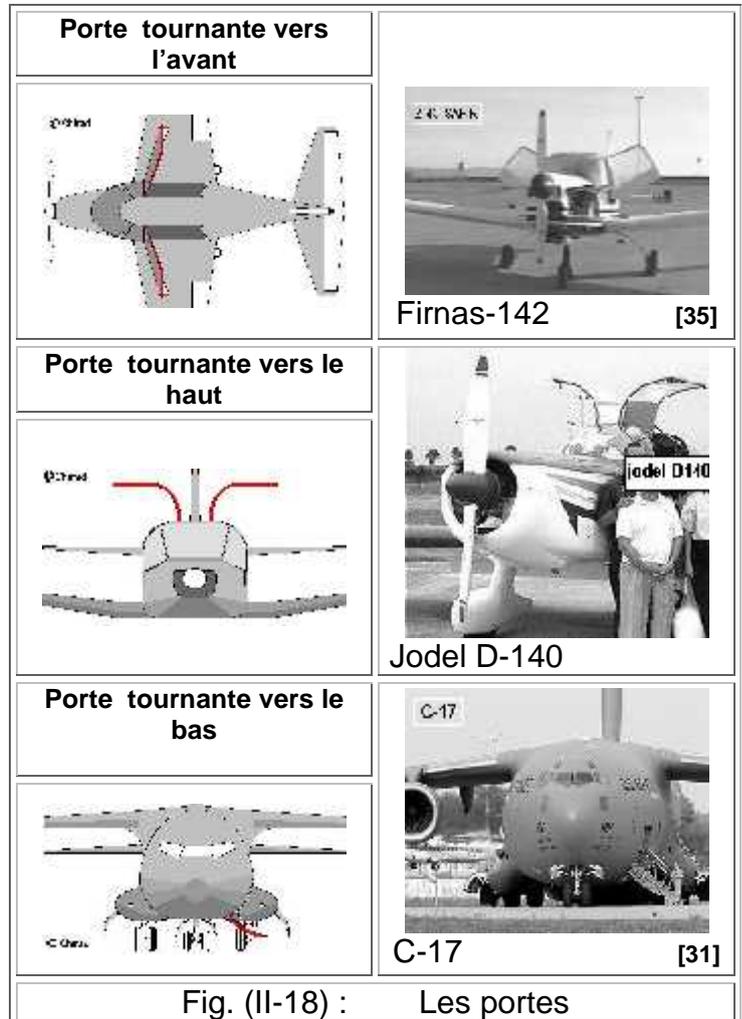
Les portes sont généralement de type bouchon, qui s'ouvrent de l'intérieur vers l'extérieur ,vers l'avant de l'avions ,vers l'arrière ou vers le bas. Fig. (II-18)

La portes et équipé d'une poignée interne et une poignée externe permettent sa manœuvre de la porte.

La porte est soutenue sur son arête avant par deux charnières.

La porte est équipée d'un joint en caoutchouc afin d'éviter les pertes de pressurisation. Pour éviter un écrasement du joint, des butées réglables fixées sur la porte entrent en contact, lors du verrouillage, avec des butées fixées sur l'encadrement.

Les charges de pressurisation sur la porte sont transmises au fuselage par l'intermédiaire de ces butées.



**II-4-7 La verrière**

La verrière est une superstructure fuselée transparente au-dessus de la cabine.

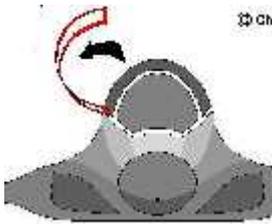
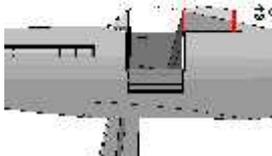
Assurant la vue normale en vol et pendant l'atterrissage, la verrière recouvre la cabine étanche et protège le pilote contre les effets du vent relatif.

La verrière se compose d'une partie avant fixe (pare-brise) et d'une partie rabattable

Les verrières sont généralement équipées de systèmes suivants :

- ✈️ Commandes des verrous principaux.
- ✈️ Système de pressurisation. ( Pour les avions des hautes altitudes..)
- ✈️ Système de déblocage de secours des verrous et de largage de la verrière.
- ✈️ Système de dégivrage et d'essuie glace.

En position fermée, la verrière est bloquée sur le fuselage. Elle est étanchéifiée à l'aide des joints.

<p>Verrière Coulissante</p> 	 <p>A-6 [17]</p>
<p>Verrière Rabattable vers l'avant</p> 	 <p>MiG-21F [35]</p>
<p>Verrière Rabattable vers la droite</p> 	 <p>Rafale [31]</p>
<p>Verrière Rabattable vers l'arrière</p> 	 <p>F-15 [31]</p>
<p>Porte + verrière coulissante</p> 	 <p>Spitfire [31]</p>
<p><b>Fig.(II-19) : les verrières</b></p>	

La partie mobile de la verrière s'ouvre vers un de ses cotés et est articulée par deux ferrures fixées sur le cadre.

### II-4-8 Glaces pare-brise :

Leur but est d'assurer une bonne visibilité de l'équipage vers l'avant leur nombre et leur forme sont variables suivant le type d'avion. Par fois il existe deux glaces latérales avant sont coulissantes et peuvent servir d'issues de secours. ex :A310 Fig. (II-20)

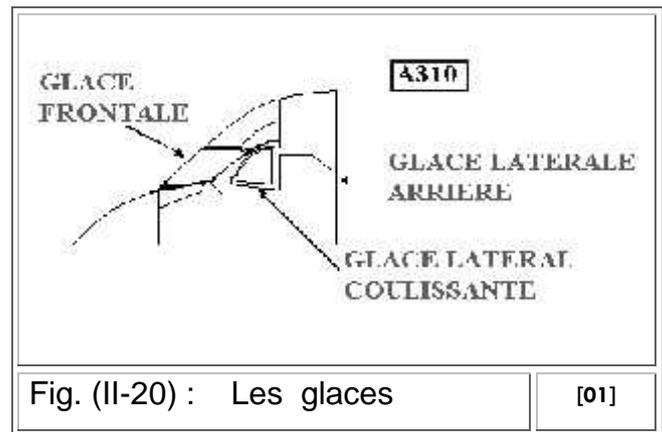


Fig. (II-20) : Les glaces

[01]

### II-4-9 Les Hublots :

Leur nombre et leur forme sont variables d'un appareil à l'autre. Le hublot doit résister à la pression différentielle et étanchéité.

Comme les glaces de pare-brise, celles des hublots sont souvent en plusieurs éléments désembués par circulation d'air chaud, chacune des glaces étant capable de supporter la pression différentielle, ce qui constitue une sécurité importante. Une troisième glace intérieure de faible épaisseur peut être prévue dans le but d'éviter les rayures sur la glace intermédiaire.

Ex : Description d'un hublot cabine A300 :

Chaque hublot rectangulaire est constitué par :

- Un panneau extérieur de 7 mm d'épaisseur en acrylonitrile de plexi dur, bleuté coulé.
- Un panneau intérieur de 4 mm d'épaisseur en méthacrylate étiré M249.
- Un joint monté au périphérique qui assure l'étanchéité. Il a pour fonction d'entretoise entre les deux panneaux. Le panneau intérieur comporte un orifice à sa partie inférieure afin de permettre à l'air de pressurisation de pénétrer entre les deux panneaux.
- Un seul panneau (extérieur ou intérieur) est capable de supporter la pression différentielle maximale.
- Un panneau de protection en méthacrylate de 3 mm d'épaisseur est installé sur le panneau de revêtement intérieur cabine.

## II-5) Technologie d'un fuselage d'un avion léger en bois

### II-5-1 principes généraux

Chaque dessin d'un élément est conditionné par son cahier de charges pour résister à :

Des efforts qui se traduisent par un cisaillement et par flexion dans son plan ou perpendiculaires à celui-ci.

Des efforts excentrés qui se traduisent par des torsions.

En fonction de ces critères, les pièces sont dimensionnées soit en résistance, soit en déformation.

### II-5-2 Les moyens de tenir les efforts :

#### A- Efforts verticaux ou horizontaux

##### Provocants un cisaillement :

Ces efforts passent par :

une âme ou revêtement travaillant (cas des longerons et fuselages coques):

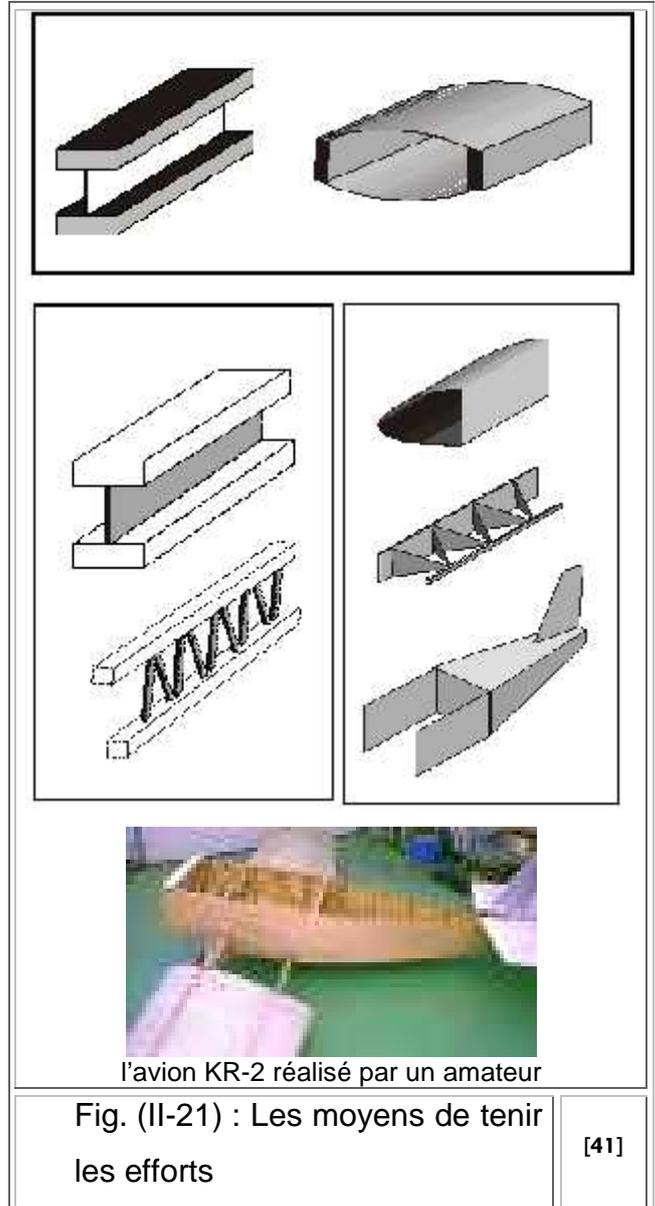
L'âme, pour travailler correctement sans plissement, est maillée par des raidisseurs placés souvent en face des nervures pour un longeron d'aile.

une structure triangulée (cas des fuselages dits *treillis*) :

Le principe est identique à celui des fuselages tubulaires métalliques.

#### B-Flexion :

Le moment de flexion est repris par un ensemble de deux éléments (semelles ou revêtement travaillant ) soumis l'un à une compression et l'autre à une traction. Dans le cas d'une peau mince de revêtement, celle-ci est raidie par des profilés ou plus généralement, en construction en bois ou plastique par une construction en sandwich.



l'avion KR-2 réalisé par un amateur

Fig. (II-21) : Les moyens de tenir les efforts

[41]

**C-Torsion :**

La torsion (aile, fuselage, gouverne, etc..) est reprise par :

- Un caisson fermé à revêtement travaillant, notamment caisson avant de voilure.
- Une structure triangulée, souvent utilisée pour les gouvernes.
- Eventuellement par une flexion différentielle de deux éléments, solution souvent rencontrée pour les flancs de fuselage au niveau de la cabine.

**II-5-3 Longerons:**

Deux principes sont couramment utilisés :

Longeron encaissant uniquement la flexion.

Longeron encaissant la flexion et la torsion

**A- Longeron encaissant Uniquement la flexion :**

La largeur est souvent conservée constante pour faciliter la fabrication et montage des nervures.

La semelle supérieure a une section plus importante que la semelle inférieure car le bois ne supporte pas la compression.

**B- Longeron encaissant Flexion et Torsion :**

L'épaisseur des semelles est constante. Les âmes et revêtement forment le caisson de torsion.

**II-5-4 Liaison Voilure -**

**Fuselage :**

Les principes sont totalement différents selon le type de voilure :

**A- Aile d'une seule pièce :**

- L'attache principale ne transmet que les efforts verticaux et la traînée. L'attache Arrière équilibre la torsion. Les flexions s'équilibrent directement dans le longeron.

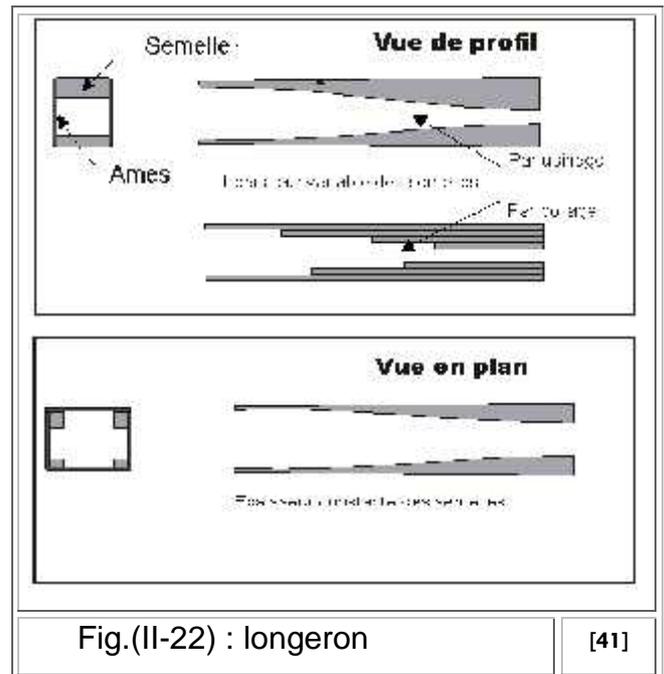


Fig.(II-22) : longeron

[41]

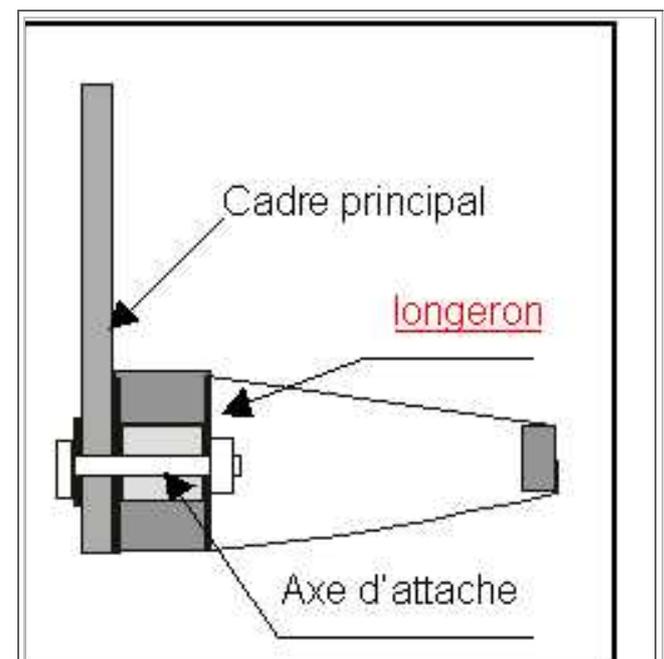


Fig.(II-23) : Liaison

[41]

- *Attache principale* : La solution la plus classique est celle du boulon traversant le longeron et un cadre du fuselage

- *Attache Arrière* : Elle dépend essentiellement de la technologie de l'aile et du fuselage. En général, elle n'introduit dans le fuselage qu'une charge verticale due à la torsion de la voilure, notamment à l'atterrissage pour les avions à train classique.

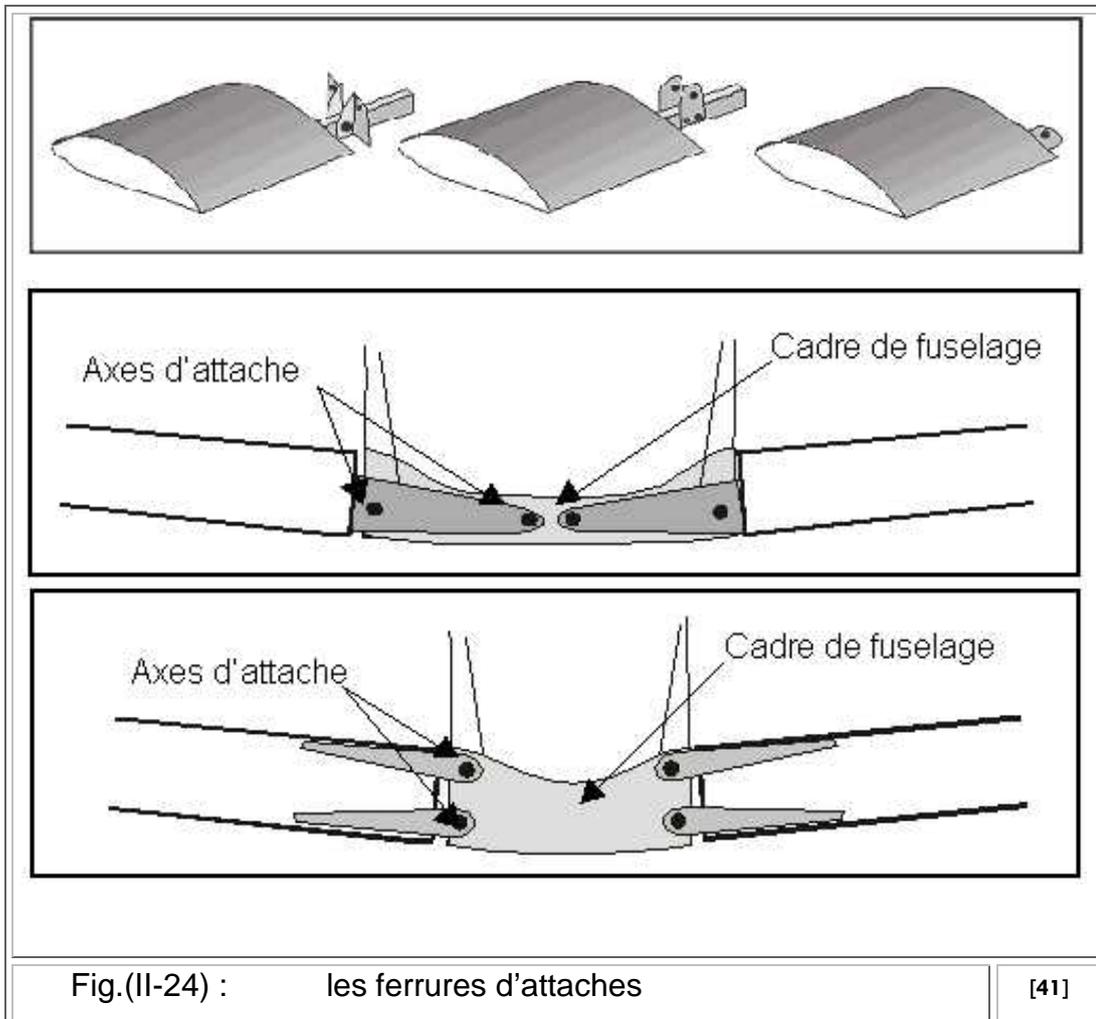


Fig.(II-24) : les ferrures d'attaches

[41]

**B- Demi voilure** : La flexion des ailes passe par des éléments du fuselage :

-*Solution classique* :

Rencontrée surtout sur des fuselages à caisson central ou fuselage métallique en treillis.

Les ferrures sont longues pour répartir les efforts dans les semelles. Elles sont souvent d'épaisseur décroissante.

- *Autre solution plus rare* :

Sur des fuselages métalliques ou plastiques, en général biplace côte à côte.

L'écartement entre les axes diminue les charges locales à introduire dans le fuselage. Les attaches arrières sont identiques à celle d'une aile en une seule partie, mais

transmettent un effort horizontal vers l'axe avant du fait de l'interruption du longeron arrière.

**II-5-5 Fuselage :**

Les fuselages de la plupart des avions légers en bois sont réalisés à partir de la même conception : des flancs construits à plat et assemblés sur des cadres qui leur donnent forme et rigidité.

Les structures inférieures et supérieures sont réalisées sur le fuselage assemblé.

Les cadres n'existent qu'à l'endroit d'introduction d'efforts : cloison pare-feu ; cadre principal d'attache voilure ; niveau de l'attache arrière ; support de roulette et étambot.

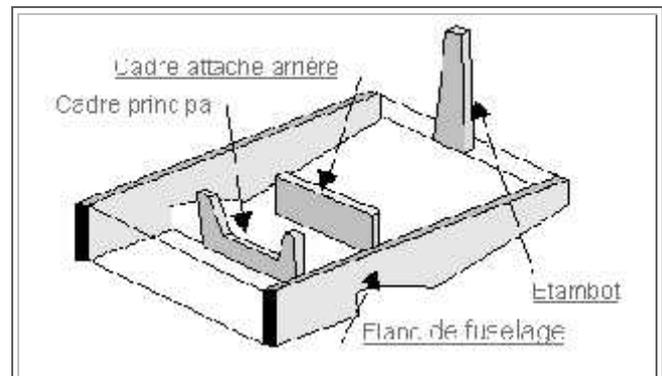


Fig.(II-25) : La conception d'un fuselage

[41]

La partie Avant du fuselage et notamment des flancs est toujours revêtue de contre-plaqué pour prendre les cisaillements importants dus aux efforts d'inertie du moteur dans les ressources ou atterrissages. Les flancs travaillent en flexion différentielle dans la zone habitacle.

La partie arrière est soit en treillis, soit traitée en coque. Dans les deux cas, elle supporte les efforts des empennages et torsion due aux charges de la direction et charges dissymétriques de l'empennage horizontal.

**II-5-6 Bâti-Moteur :**

Les points d'attache sur la cloison sont situés au droit des longerons de fuselage.

Les moteurs sont fixés par quatre points munis de « silentblocs » à axe parallèle ou convergent.

Le moteur déposé, chaque bâti possède au moins un point fixe dans l'espace ( c'est à dire parfaitement triangulé vis à vis de la cloison pare-feu).

Les autres points sont, soit rendus fixes par le bâti lui-même, soit par le carter moteur qui fait office de triangulation. Un anneau circulaire existe souvent pour solidariser les quatre points.

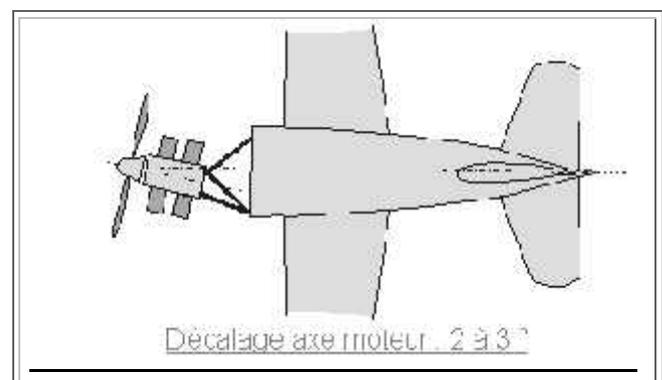


Fig.(II-26) : Décalage axe moteur

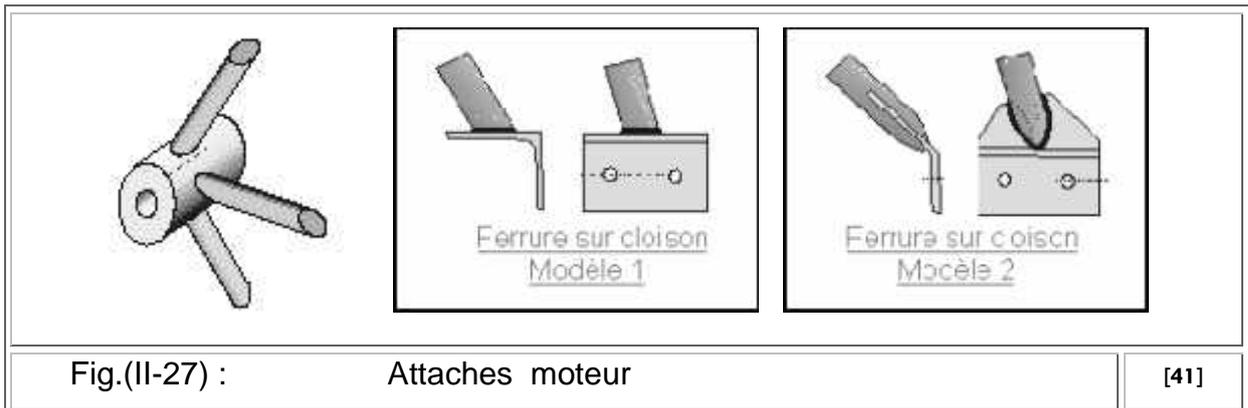
[41]

Pour un avion de voyage, un décalage de l'axe moteur de 3° environ par rapport à l'axe avion permet de contrer la dissymétrie du souffle hélicoïdal.

Des renforts de la cloison pare-feu servent parfois de triangulation du bati-moteur.

**II-5-7 Attaches moteur sur bâti et bâti sur cloison :**

Les solutions dépendent essentiellement du type de moteur et des silentblocs utilisés. Coté bâti, dans beaucoup de conceptions une grosse pièce tournée est utilisée et reçoit les différentes barres du bâti.



Coté cloison, la conception des attaches est liée à la réalisation du fuselage. L'axe des barres passe au plus près des boulons de fixation.

Ces deux solutions sont utilisées. Le modèle (1) est de moindre coût, tandis que le modèle (2) est plus élaboré pour la tenue en fatigue.

**II-5-8 Fixation train d'atterrissage sur longeron :**

Les semelles du longeron sont très rarement percées. Le principe de fixation du train principal est similaire aussi bien pour un train classique que tricycle.

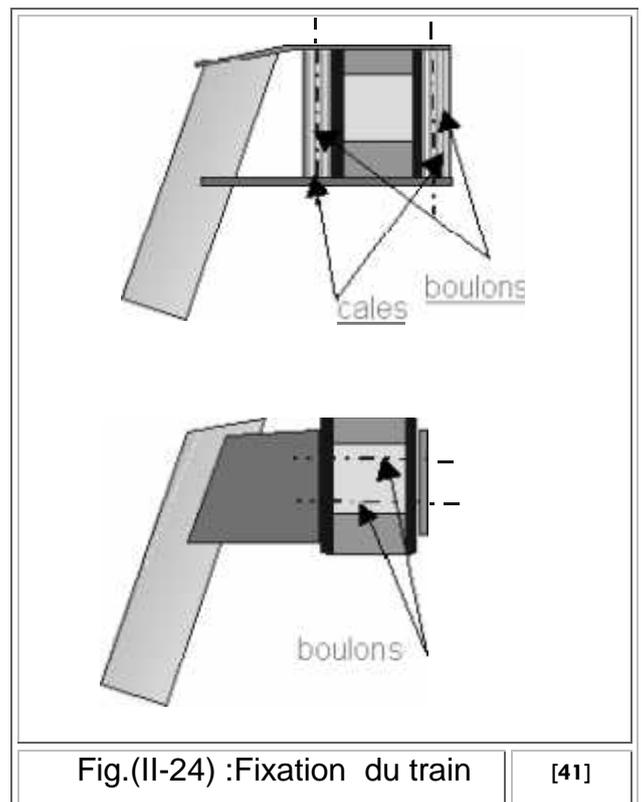
Deux solutions existent selon le montage voilure:

Nervures enfilées.

Demi-nervures de part et d'autre du longeron.

**A- Nervures enfilées :**

Des cales existent de part et d'autre du longeron et sont percées par les boulons de



fixation. Le train comporte deux platines qui enserrant le longeron. Les efforts verticaux passent directement en appui. Les cales assurent la transmission de la torsion. Cette solution est surtout rencontrée pour des longerons de faible profondeur.

**B-Demi-nervures :**

Le train prend appui sur la face avant du longeron et est lié à une contre-plaque arrière par l'intermédiaire de boulons passant entre les semelles du longeron. La plaque avant et arrière prennent appui sur les faces des semelles pour les efforts de torsion et traînée. Ce principe plaque et contre-plaque est également utilisé pour tenir l'axe de pivotement d'un train rentrant.

## III-Généralités sur les trains d'atterrissage

### III-1 Généralités

Ces dispositifs, fixes ou escamotables se composent :

- d'un train principal, proche du centre de gravité et supportant la majorité de la masse de l'avion.
- d'un train auxiliaire (roulette de nez ou de queue) doté d'un dispositif permettant, au sol, de diriger l'aéronef (roue directrice).

L'ensemble du train d'atterrissage est caractérisé par sa voie (distance séparant les axes du tain principal).et son empatement (distance entre les axes train auxiliaire et du tain principal). Fig.(III-1)

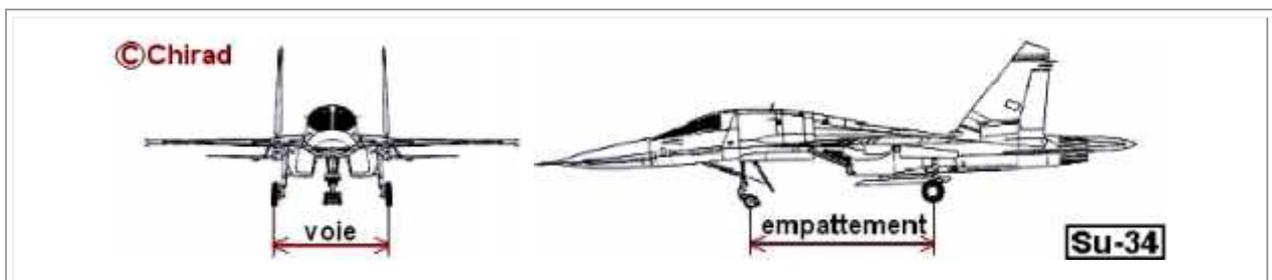


Fig.(III-1) caractéristiques de train d'atterrissage

[40]

Globalement, le train d'atterrissage doit pouvoir :

- supporter le poids maximal de l'aéronef.
- permettre le roulage, le guidage au sol, et la mise en vitesse de l'avion à la masse maximale au décollage.
- absorber l'énergie de l'avion lors de l'impact avec le sol à l'atterrissage.
- assurer son freinage, jusqu'à l'arrêt complet, à la masse maximale d'atterrissage.
- Absorber les efforts sous déformation de la structure ( protection de la cellule) pour obtenir un certain confort notamment pour les avions commerciaux.
- Créer une traînée proportionnelle au quart de la vitesse, et c'est pour cela, sur les avions rapides, il s'impose d'installer un train escamotable

## III-2 Différents systèmes d'atterrissage

Les systèmes d'atterrissage se réfèrent suivant le type de l'avion, et suivant leurs applications.

### III-2-1 Système d'atterrissage

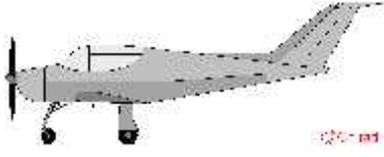
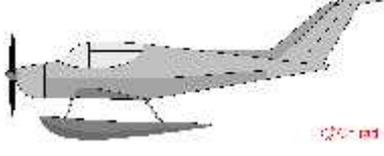
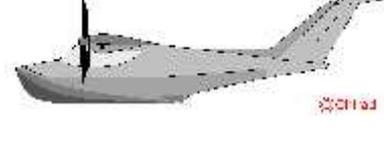
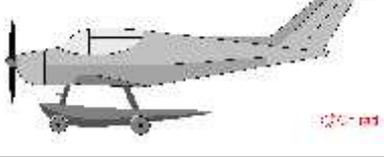
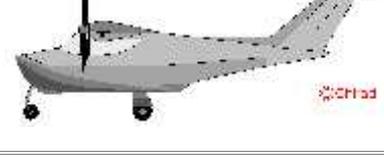
Se système est le plus utilisé. Il est pour les avions ou les hélicoptères qui utilisent des pistes (terrestres). Il comporte des roues pour assurer le roulage.

### III-2-2 Système d'amerrissage

Il est destiné pour les hydravions qui présentent généralement des flotteurs pour les petits avions ou une coque bateau pour les grands avions.

### III-2-3 Système amphibie

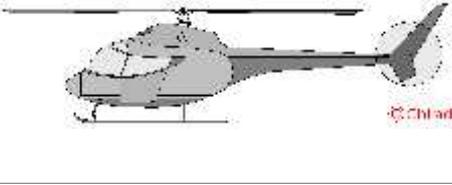
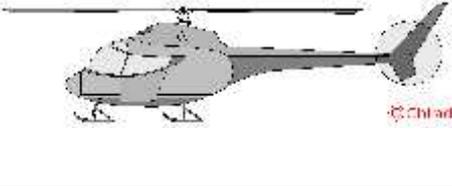
Il est conçu pour les hydravions pour leur donner la possibilité d'atterrir. Les trains ajoutés peuvent être fixes ou escamotables.

Trains	
	
	<b>Firnas-42</b> [35]
Flotteurs	
	
	<b>STOL CH 701</b> [24]
Fuselage coque bateau	
	
	<b>beriev A-40</b> [31]
Flotteurs + trains	
	
	<b>Cessna c-800</b> [42]
Coque bateau + trains	
	
	<b>Beriev Be-200</b> [31]

**III-2-4 Atterrissage et décollage vertical**

Les hélicoptères utilisent des patins rigides pour assurer leurs atterrissages.

Et parfois ils utilisent des patins Skye pour les pistes glaciales.

<b>Patins</b>	
	
	<b>Ghazel</b> [31]
<b>Patins Skye</b>	
	
	<b>Allouette III</b> [31]
<b>Tab III-1 Les systèmes d'atterrissage</b>	

**III-3 Différents types de trains :**

**III-3-1 Selon Le nombre de roues**

Afin de pouvoir satisfaire à ces exigences, chaque train est pourvu du nombre de roues adéquat ; plus la masse de l'avion croit, plus le nombre de roues par train augmente.

Chaque train a une dénomination différente selon le nombre de roue l'équipant ; on distingue principalement : la roue simple, le diabolo, et le boggie

Le nombre de roues sur une même Jambe de train d'atterrissage est variable. Il peut aller de 1 à 8, selon la charge à supporter.

Généralement un avion pèse moins de 50.000 livres (22.680 kilogrammes), a seulement une roue par contrefiche de train principal. L'avion pesant jusqu'à 200.000 livres (90.720 kilogrammes) porte habituellement deux roues par contrefiche. Sur des avions pesant jusqu'à 400.000 livres (181.440 kilogrammes), un boggie à quatre roues est typique. L'avion d'un plus grand poids a souvent quatre boggies , chacun avec quatre à six roues.

**A- Mono roue**

Nous trouvons ce cas généralement sur les ULM, les avion légers, les train principaux des avions de chasse, les hélicoptères de combat...avec un différence de dimension suivant la charge ex : dans le cas de MiG-21 (chasseur supersonique) Ø = 800mm et dans le cas de Zlin-142 (avion léger d'entraînement) Ø = 420mm.



**Mono roue**

**SU-27**

[31]

**B- 2 roues**

Ce cas est trop utilisé au train avant des avions de chasse, et aux avions de transport.

Il existe deux configurations :

2 roues en diabololo f-27

2 roues en tandem C-130 Su-34



**2 roues en diabololo**

**F-27**

[31]



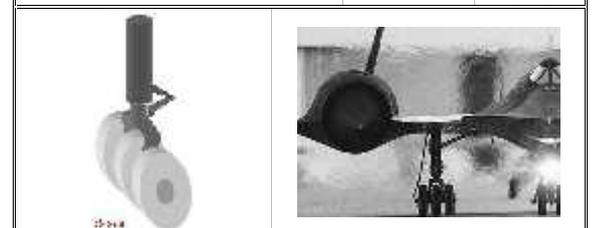
**2 roues en tandem**

**C-130**

[31]

**C- 3 roues**

Cette configuration est très rare on ne le trouve que sur le blackbird sr-71



**4 roues**

**SR-71  
Blackbird**

[37]

**D- 4 roues**

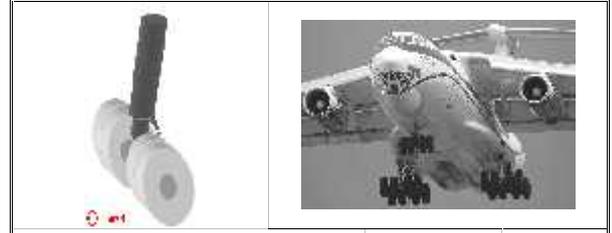
Cette configuration est généralement utilisée sur les avions de cargo, ou les grands avions de transport.

Il existe généralement en boggye B-707.

Et rarement en diabolo il-67



**4 roues en boggye**      **B-707**      [31]



**4 roues en diabolo**      **Il-76**      [31]

**E- 6 roues**

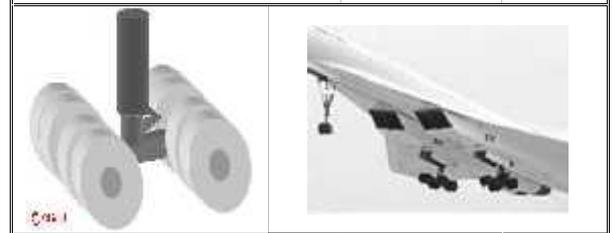
Certains avions présentent cette configuration en bogey comme le tu 154, pour éliminer plus des contraintes sur les jambes.



**6 roues**      **Tupolev Tu-154**      [31]

**F- 8 roues**

C'est un cas très rare on le trouve uniquement sur l'avion de transport supersonique tu-144



**8 roues**      **Tupolev Tu-144**      [38]

**Tab III-2 Différents types des trains selon le nombre des roues**

*III-3-2 Selon la manœuvre*

**A-Trains fixes**

Les premiers avions qui utilisent les roues comme un système d'atterrissage ont commencé avec des trains dont les jambes restent fixés à l'extérieure du fuselage Fig.(III-2).

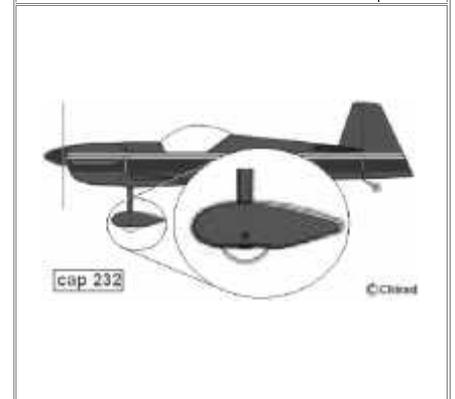
Et cette configuration est toujours appliquée pour les avions légers de faible vitesse, ou celle qui n'ont pas assez d'espace dans la cellule pour les faire loger (comme notre cas).

Généralement Sur la majorité des avions de tourisme et de voltige de nos jours, le train est fixe, et est généralement doté de carénages aérodynamiques Fig.(III-3), afin de réduire la traînée qu'il génère. Ces carénages, généralement réalisés en matériaux composites, permettent d'accroître la vitesse de croisière d'environ 5 à 10 km/h, ce qui n'est pas négligeable.



**Fig.(III-2) trains fixes**  
**Cap -231**

[05]



**Fig.(III-3) le carénage**  
**aérodynamique**

**B-Trains semi escamotables**

Certain avions des années 40 -50 ont présenté des trains semi escamotables c à d ils entrent partiellement dans la cellule.

On trouve cette conception dans les avions qui où les trains sont fixés sur les ailes, alors il n'y a pas assez de volume pour les roues.

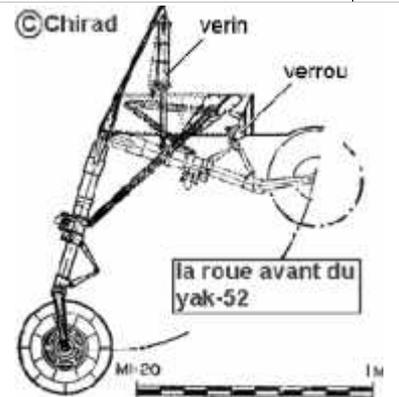
On peut trouver cette configuration sur des anciens avions comme le Yakovlev 18 Fig.(III-4) et 52, DC-3, et de même sur les avions récents comme le A-10 et HARRIER.

Les trains restent suspendus hors de la cellule à l'aide des verrous. Fig.(III-5)



**Fig.(III-4) trains semi escamotables Yak-18 A**

[14]



**Fig.(III-5) le verrouillage des trains**

[15]

**D-Trains escamotables**

Avec la progression de la vitesse des avions. Les constructeurs sont obligés de faire escamoter les trains totalement dans la cellule, comme sur les aéronefs de voyage aérien plus évolués.

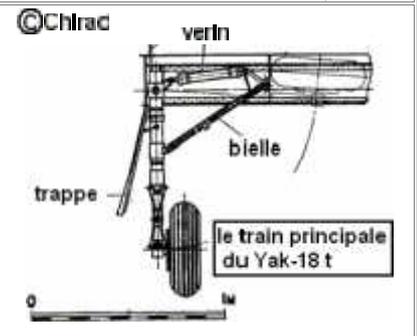
Ils se replient dans des logements aménagés à cet effet ; ceux-ci sont obturés par des trappes. Ce dispositif est plus complexe et plus onéreux, mais il accroît les performances de l'aéronef par diminution de la traînée. Fig. (III-6)

**Les différents types d'escamotages des trains**

On distingue plusieurs types d'escamotage des trains selon le type de l'avion, l'emplacement des moteurs, la position des ailes et l'épaisseur de l'aile . Fig. (III-7)

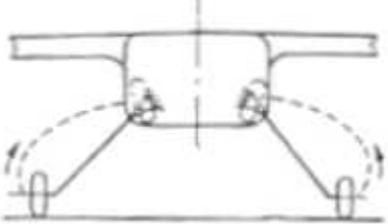
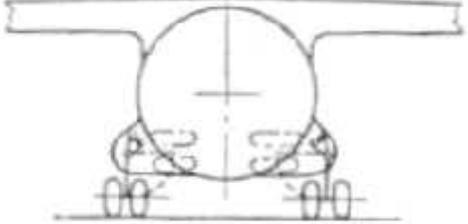


**Fig. (III-6) trains escamotables L-39** [35]



**Fig. (III-7) le système de relevage.** [14]

<p>Les axes des jambes fixés sous les ailes Et les roues prennent place dans le fuselage verticalement. Ex MiG21 BIS</p>	<p>Les axes des jambes fixés sous les ailes Et les roues prennent place dans le fuselage horizontalement. Ex B737-800</p>
<p>Les axes des jambes fixés sous les ailes Et les roues prennent place dans les ailes avec un rabattement vers les cotés. Yak-18t</p>	<p>Les axes des jambes fixés sous les ailes Et les roues prennent place dans les ailes (nacelles) ou sous les moteurs avec un rabattement vers l'avant. Ex F-27</p>

	
<p>Les axes des jambes fixés sous le fuselage Et les roues prennent place dans le fuselage avec un rabattement vers l'avant. Ex cessna 172</p>	<p>Les axes des jambes fixés sous le fuselage Et les roues prennent place dans le fuselage avec un rabattement vers les cotés. Ex IL-97</p>
<p><b>Tab.III-3 Les déferant types d'escamotages des trains</b></p>	

[10]

**III-3-3 Selon la configuration**

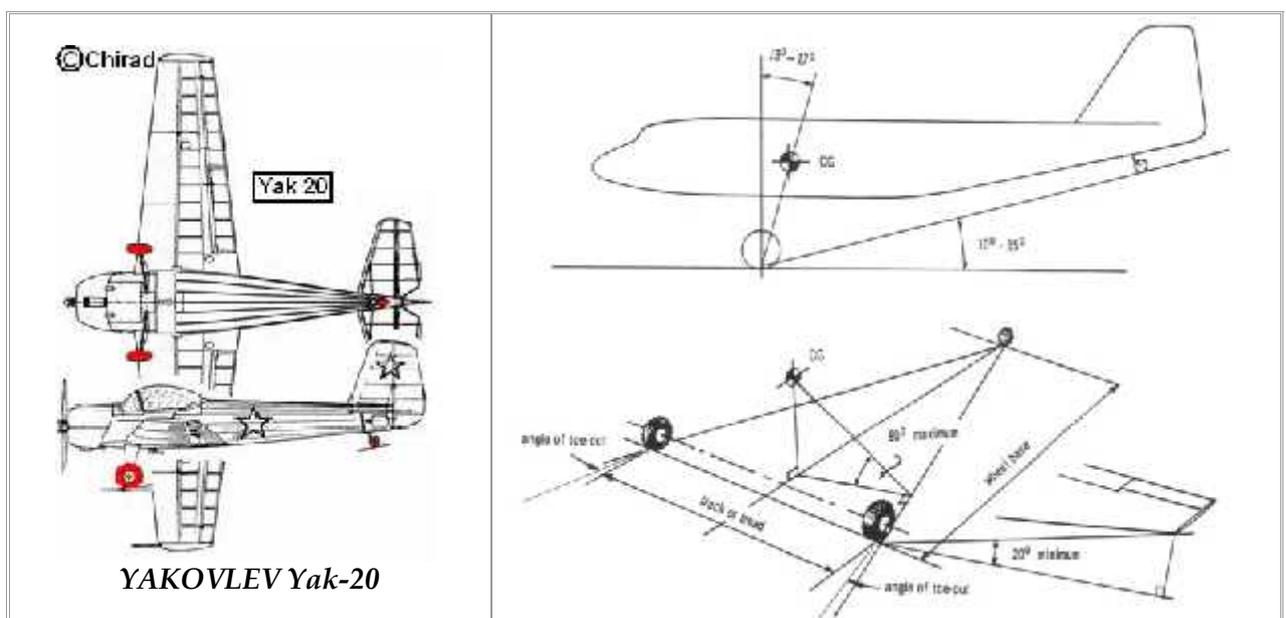
L'emplacement des autres roues que celles du train principal, c'est la roue de queue ou la roue avant, on distingue :

**A-Train classique (Tailwheel or Taildragger Gear) Fig. (III-8)**

Les deux atterrisseurs principaux placés symétriquement, légèrement en avant d'un atterrisseur arrière, ce type d'atterrisseurs est utilisé sur les avions anciens et reste en service sur quelques avions de tourisme, mais ce type a cédé la place aux trains tricycles.

L'avantage principal du train classique est de permettre à l'avion de se poser sur des terrains cahoteux sur les quels on risquerait d'arracher la roue avant si l'appareil est mené d'un train tricycle.

Les principaux inconvénients d'un avion équipé d'un train classique sont la fâcheuse tendance au cheval de bois, et la difficulté à le manœuvrer au sol au fait de la visibilité réduite vers l'avant.



**Fig. (III-8) Train classique et la position de centre de gravité**

[40]

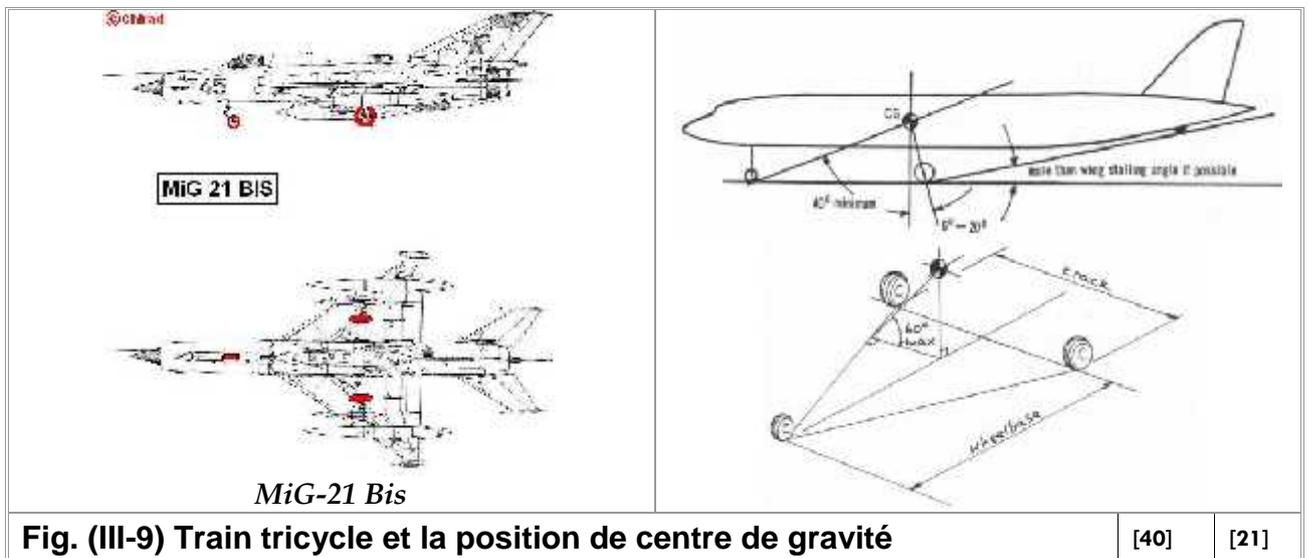
[21]

**B- Train tricycles (Tricycle or Nosewheel Gear) Fig. (III-9)**

Les demi trains principaux sont placés symétriquement, légèrement en arrière du centre de gravité. Le train auxiliaire est à l'avant.

Le train tricycle est le plus utilisé et a beaucoup plus d'avantages que le train classique, et parmi ces avantages :

- Il permet d'appliquer très fortement des freins sans risque de culbuter vers l'avant.
- Il offre une plus grande visibilité.
- Il tend à empêcher l'avion d'effectuer le cheval de bois.
- Il permet de faire l'avion reposer sur plusieurs jambes de trains principales placées les unes en arrière des autres de part et d'autre part de l'axe longitudinal



**Fig. (III-9) Train tricycle et la position de centre de gravité**

[40]

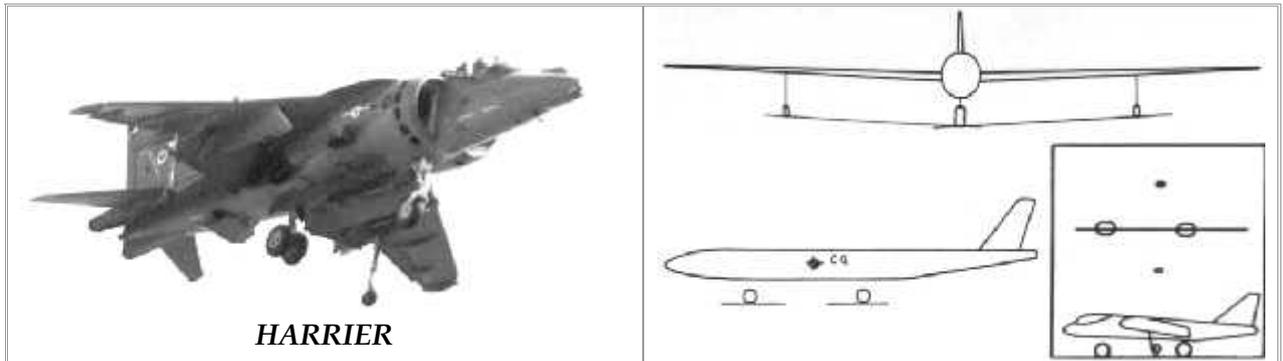
[21]

**C-Train bicycle (Bicycle Gear) Fig. (III-10)**

C'est une conception relativement rare. Le système bicycle comporte deux trains principaux sous la ligne centrale de l'avion, un vers l'avant et un à l'arrière du centre de la gravité. Avec deux petites roues montées sous les ailes pour empêcher l'avion d'incliner à gauche ou à droite.

Le seul vrai avantage de ce système est le poids et la traînée inférieure que les deux précédents.

Cette configuration est appliquée sur certains bombardiers qui présentent un fuselage long et une grande envergure comme le B-47 ou sur les ADAV (STOL) comme le HARRIER



HARRIER

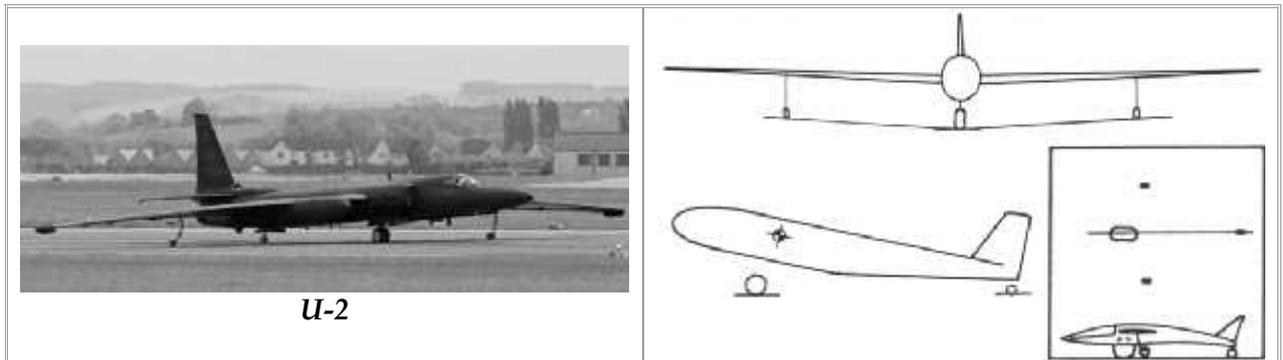
Fig. (III-10) trains bicycles

[05] [21]

**D-Train monotrace (Single Main Gear) Fig. (III-11)**

Une sous-catégorie spéciale du train d'atterrissage bicyclic . Cette disposition comporte une grande jambe simple et une roulette de queue auxiliaire beaucoup plus petite sous la ligne centrale. Des tangons sont montés pour donner la stabilité.

Ce système a une traînée particulièrement réduite, il est léger et il est très simple. Et pour cette simplicité, il est utilisé sur les avions légers comme les planeurs et des sailplanes, mais le train principal simple est généralement impraticable pour les porteurs.



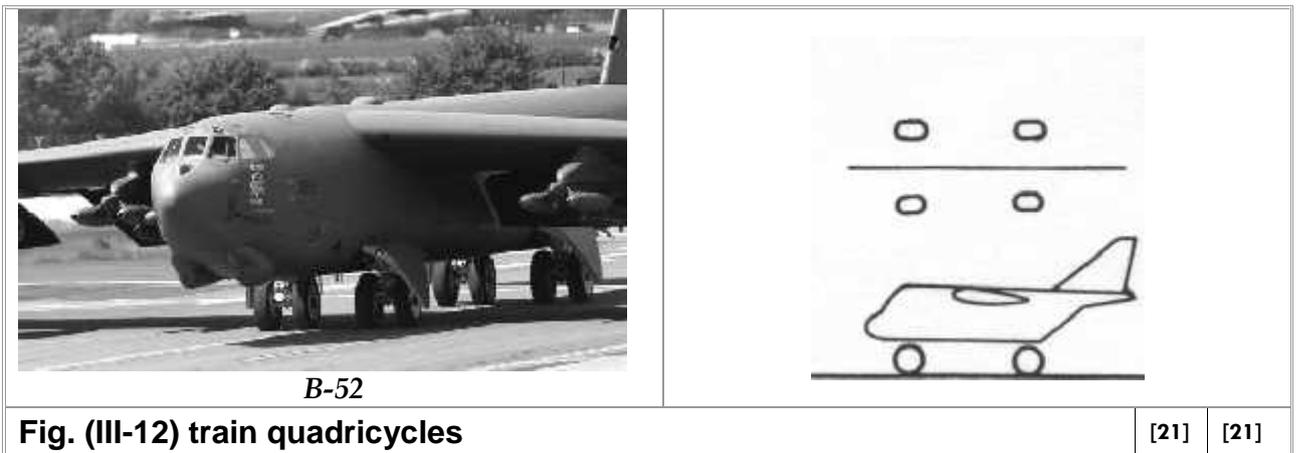
U-2

Fig. (III-11) train monotrace

[21] [21]

**Train d'atterrissage Quadricycle Fig. (III-12)**

Comme le bicycle, le train d'atterrissage quadricycle exige également un angle très plan pendant le décollage et l'atterrissage. Cet arrangement est également très sensible au roulis, aux vents latéraux, et à l'alignement approprié avec la piste. L'avantage le plus significatif du quadricycle est que le plancher de l'avion peut être très près de la terre pour un chargement et un déchargement plus faciles du cargo. Cependant, ce système a un poids et une traînée beaucoup plus élevés que le train bicycle.



**Train Multi- boggie ( Multi-Bogey Gear) Fig. (III-13)**

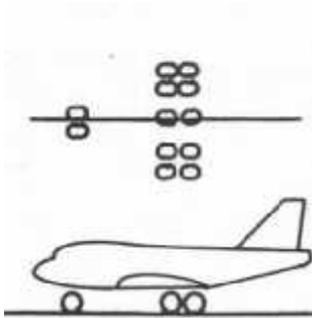
Les roues multiples sont également employées souvent sur des unités de train principal pour la sûreté supplémentaire, particulièrement sur les avions de lignes commerciales.

On a dit précédemment qu'un avion pèse plus de 400.000 livres (181.440 kilogrammes), présente souvent quatre boggies, chacun avec quatre à six roues.

Les meilleurs exemples du multi- boggie c'est les « large mega jet » très grands porteurs comme l'An-225. Cet avion gigantesque de cargo avec leur 1,322,750 livres (600 000 Kg) de poids, a un total de 32 pneus ; sept paires de roues de chaque train principal plus quatre roues avant.



*Antonov An-225*



**Fig. (III-13) trains multi boggie**

[21]

[21]

### III-4 Les charges appliquées sur un atterrisseur.

#### III-4-1 Avion stationné

Les trains d'atterrissage doivent supporter tout le poids de l'avion  $P_{ds}$ , chaque jambe va supporter une charge relative avec sa distance de centre de gravité, dont

$$2 R_a + R_p = P_{ds}$$

$$2 R_a L_1 - R_p L_2 = 0$$

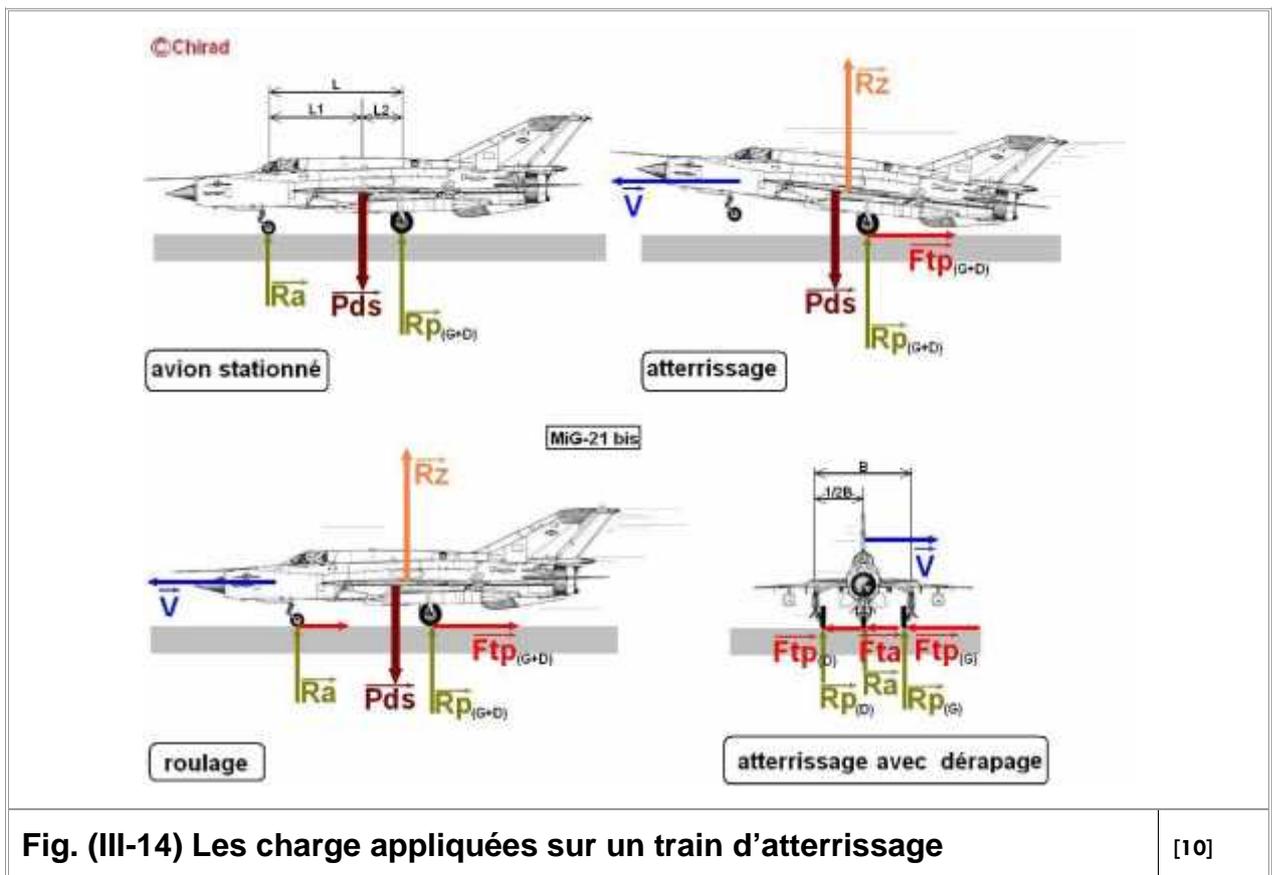


Fig. (III-14) Les charge appliquées sur un train d'atterrissage

[10]

#### III-4-2 Lors de l'atterrissage

Lors de l'atterrissage, du fait de la vitesse de chute, une certaine énergie cinétique doit être absorbée par le train. Le constructeur de l'avion fera le calcul des réactions du sol sur un train de la façon suivante : Fig. (III-14)

- Atterrissage sur un train principal en tenant compte de la vitesse verticale.  
( $2R_p = P_{ds} - R_z$ )
- Les charges dues aux évolutions au sol.
- Les efforts dus au frottement.
- Le efforts dus au freinage qu'ils se traduisent par une flexion dirigée vers l'arrière, un couple de torsion autour de l'axe de la jambe sur les roues montées en porte à faux.

*III-4-3 Lors de roulage*

Les trains vont supporter le poids de l'avion et les efforts dus au frottement seulement. Si l'avion roule à grande vitesse, les charges verticales sur les trains vont s'approcher de zéro, mais les effort de frottement augmentent avec la vitesse.

*III-4-4 Lors de l'atterrissage avec dérapage*

Lors de l'atterrissage par vent de travers, nous avons une flexion latérale, les trains doivent donc supporter ces efforts qui sont aussi importants.

*III-5 Description d'un atterrisseur :*

L'atterrisseur est donc en général constitué de : Fig. (III-15)

-Un fut de train contenant généralement l'amortisseur, (4) fixé avec des paliers sur un longeron ou une nervure (3)

-Un ou plusieurs axes de roue reliée à la tige de l'amortisseur (10)

-Des biellettes des contre-fiches, qui maintiennent le fut vertical et le renforcent (6)

-Une roue recevant le pneumatique, (9)

-Un système de freinage (train principal). (11) avec leur tuyauterie (8).

-Un vérin de rabatement. (2)

-Un trappe (7) , un système de verrouillage (5) et un détecteur de fin de course (1) .

-Un compas anti-shimmy (12)

*III-5-1 L'amortisseur :*

L'amortisseur se trouve souvent à l'intérieur de la jambe du train, son rôle est :

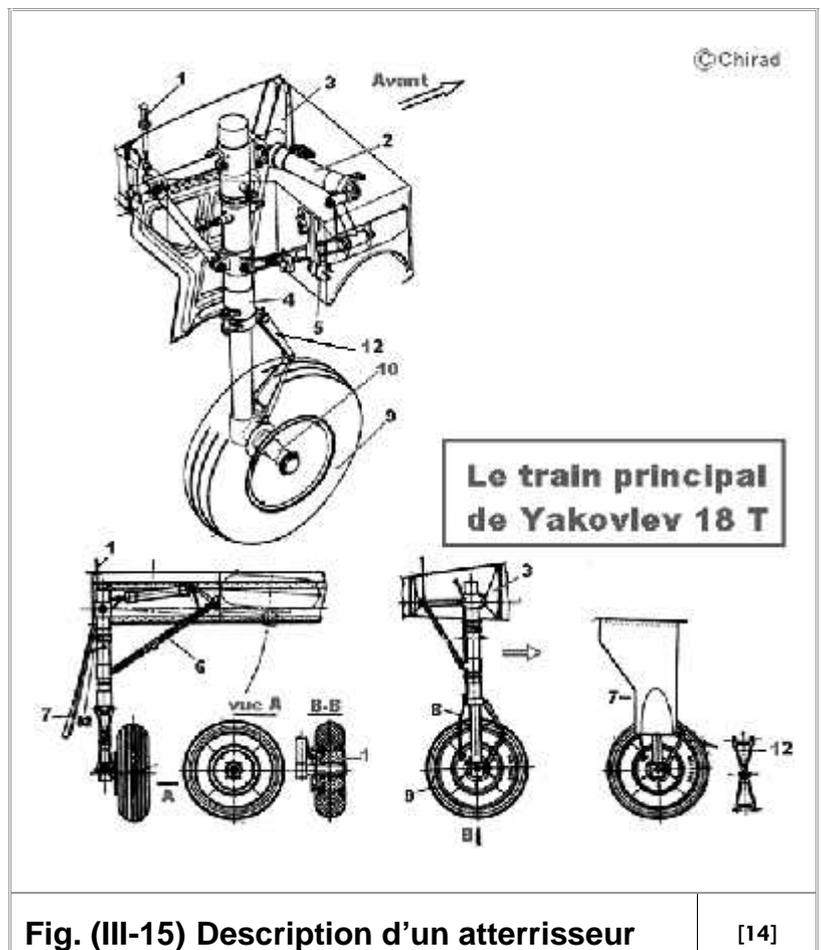


Fig. (III-15) Description d'un atterrisseur

[14]

- D'absorber l'énergie cinétique due à la vitesse verticale de l'avion au moment de l'atterrissage, ceci est voulu pour limiter les efforts transmis à la structure à une valeur aussi basse que possible.
- Créer des forces élastiques qui équilibrent le poids de l'avion afin d'assurer la suspension élastique de l'avion au sol.
- Amortir les oscillations verticales pendant le rouage.

**Fixation sur la structure :**

Le train escamotable peut être monté par rotule ou par coussinets et tourbillon. Ce dernier est généralement utilisé.

**III-5-2 Différents types d'amortisseurs :**

**a- Amortisseur en caoutchouc en extension :** Fig. (III-16 )

Leur inconvénient est l'élasticité des bandes en caoutchouc, ils sont simples en conception, et effectuent des rebondissements spectaculaires (grands) ex : piper J-3enb (avion léger).

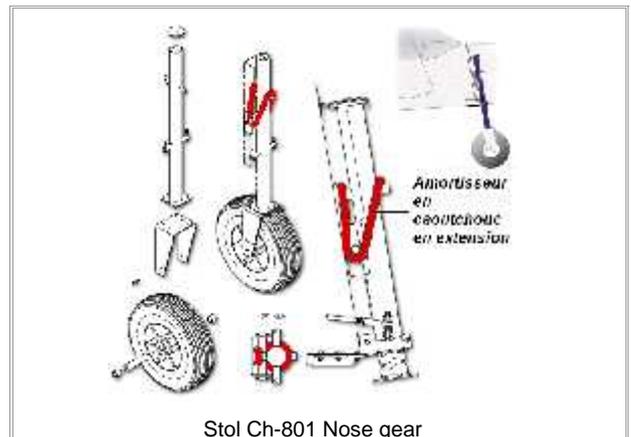
**b- Amortisseur en caoutchouc en compression :** Fig. (III-17 )

Rebondissement raisonnable par rapport au précédent, il est utilisé généralement dans les avions légers.

**c- Amortisseur à ressort ou lames :** Fig. (III-18)

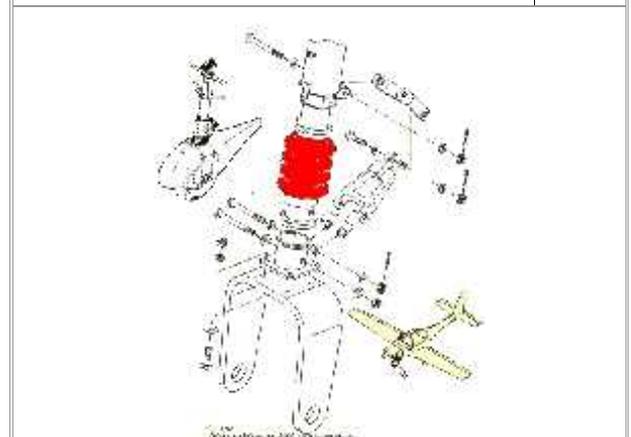
On utilise un ressort ou bien des piles de galets (pour les avions légers).Le phénomène de friction mécanique atténue les rebondissements.

**d- Amortisseur pneumatique :**

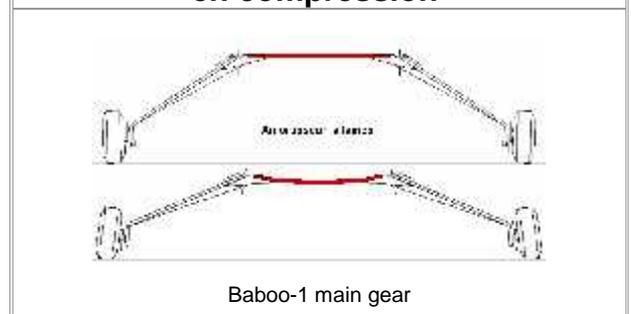


**Fig. (III-16 ) Amortisseur en caoutchouc en extension**

[24]



**Fig. (III-17 ) Amortisseur caoutchouc en compression**



**Fig. (III-18 ) Amortisseur à lames**

Il contient l'air comprimé élastique.

**e- Amortisseur oléopneumatique :**

C'est le type d'amortisseur que nous rencontrons le plus souvent. Il convient aussi bien aux grands qu'aux petits avions pour son efficacité et sa fiabilité.

**f- Amortisseur à compression de liquide :**

- Compression de 5% du liquide sous une pression de 7000Kpa.
- Il se comprime aussi de 25% sous  $P=350000\text{Kpa}$  pour les avions militaires.

***III-5-3 les freins*****Généralités**

Chaque roue du train principal est dotée d'un système « à friction », permettant de diminuer rapidement la vitesse de rotation de la roue, tout en évacuant les calories dégagées par ce frottement important.

Sur les avions de tourisme, le système de freinage est très semblable (dans son principe), à celui des véhicules terrestres : on retrouve principalement des freins à disques.

Alors que sur véhicule terrestre les roues motrices sont freinées simultanément, sur la majorité des aéronefs chaque roue du train principal dispose d'un circuit de freinage indépendant. Les roues du train principal peuvent être freinées simultanément (utilisation normale après le toucher des roues), ou indépendamment, à faible vitesse, ce qui permet de faciliter la mise en virage de l'avion au sol en réduisant le rayon de virage.

Lorsqu'un aéronef est « vide de ses occupants », il est important qu'un tiers (ou même le simple effet du vent), ne puisse déplacer celui-ci au sol. Comme pour un véhicule terrestre, l'avion est doté d'un dispositif permettant son immobilisation, appelé frein de parc.

**Efficacité**

Plus la masse des aéronefs est élevée, plus le dispositif de freinage doit être efficace. L'efficacité du freinage dépend de beaucoup de paramètres, du système de freinage lui-même, mais également du contact du pneumatique sur le sol. Sans entrer dans le détail, le freinage est d'autant plus efficace que :

- la surface des freins est importante (multidiques) ;
- les pneumatiques sont gonflés correctement ;

- leur surface de gomme (bande de roulement) est correcte ;
- leur température est proche de la température ambiante (20 c) ;
- la piste est rugueuse et sèche (non contaminée d'eau, de neige ou de glace).

L'adhérence du pneumatique sur le sol est moins bonne sur piste en herbe que sur piste en « dur » (béton ou bitume).

Lorsque la piste est humide, ou recouverte de flaques d'eau (à fortiori inondée), le freinage doit être progressif afin de ne pas rompre l'adhérence de la roue sur le sol. Si le freinage est trop brutal, la perte d'adhérence de la roue provoque un échauffement de la gomme, qui, en se déformant, peut obturer les rainures d'évacuation d'eau. L'eau ne pouvant plus s'évacuer, le « pneu » monte alors sur la pellicule d'eau, augmentant la perte d'adhérence. Lorsque cela est le cas, on dit alors qu'il y a **hydroplanage**. Afin de rendre le freinage progressif, et d'éviter le blocage de roue, les avions de « haut de gamme » sont dotés d'un dispositif anti-patinage, améliorant l'efficacité du freinage tout en minimisant l'usure des pneumatiques.

La majorité des pneumatiques utilisés en aéronautique sont sans chambre (**tubeless**), et pourvus de rainures rectilignes dans le sens de la bande de roulement.

## IV Généralités sur les commandes de vol

### IV-1 Les axes de l'aéronef

Soit **G** le centre de gravité de l'avion. Par G, faisons passer le repère orthogonal (**G**, **Gx**, **Gy**, **Gz**). Fig.(IV-1) L'avion peut se mouvoir autour de ces trois axes, tout mouvement autour d'un de ces axes porte un nom bien précis.

L'axe Gx est l'axe longitudinal de l'avion, les seuls mouvements qu'il autorise sont des mouvements d'inclinaison latérale. Fig.(IV-2-A)

Cet axe est appelé axe de **roulis** (comme pour un navire).

L'axe Gy est l'axe transversal de l'avion. Les seuls mouvements qu'il permet sont des mouvements de bascule du nez de l'avion (vers le haut ou vert le bas). Fig.(IV-2-B)

Cet axe est appelé axe **de tangage** (comme pour un navire également).

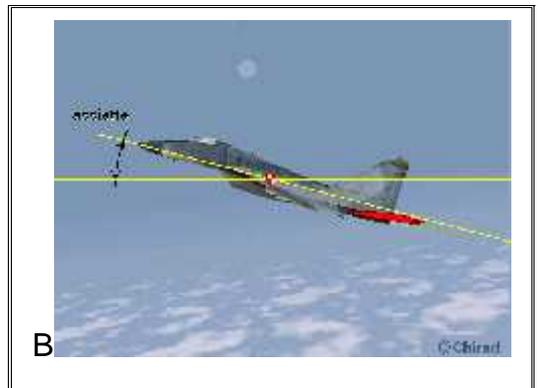
L'axe Gz enfin est l'axe vertical de l'avion. Les mouvements autour de cet axe sont des mouvements de rotation horizontale : déplacement du nez de l'avion vers la droite ou la gauche. Fig.(IV-2-C).



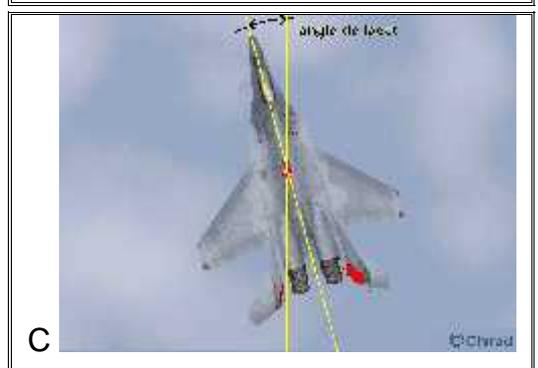
Fig.(IV-1): Les axes d'un avion



A



B



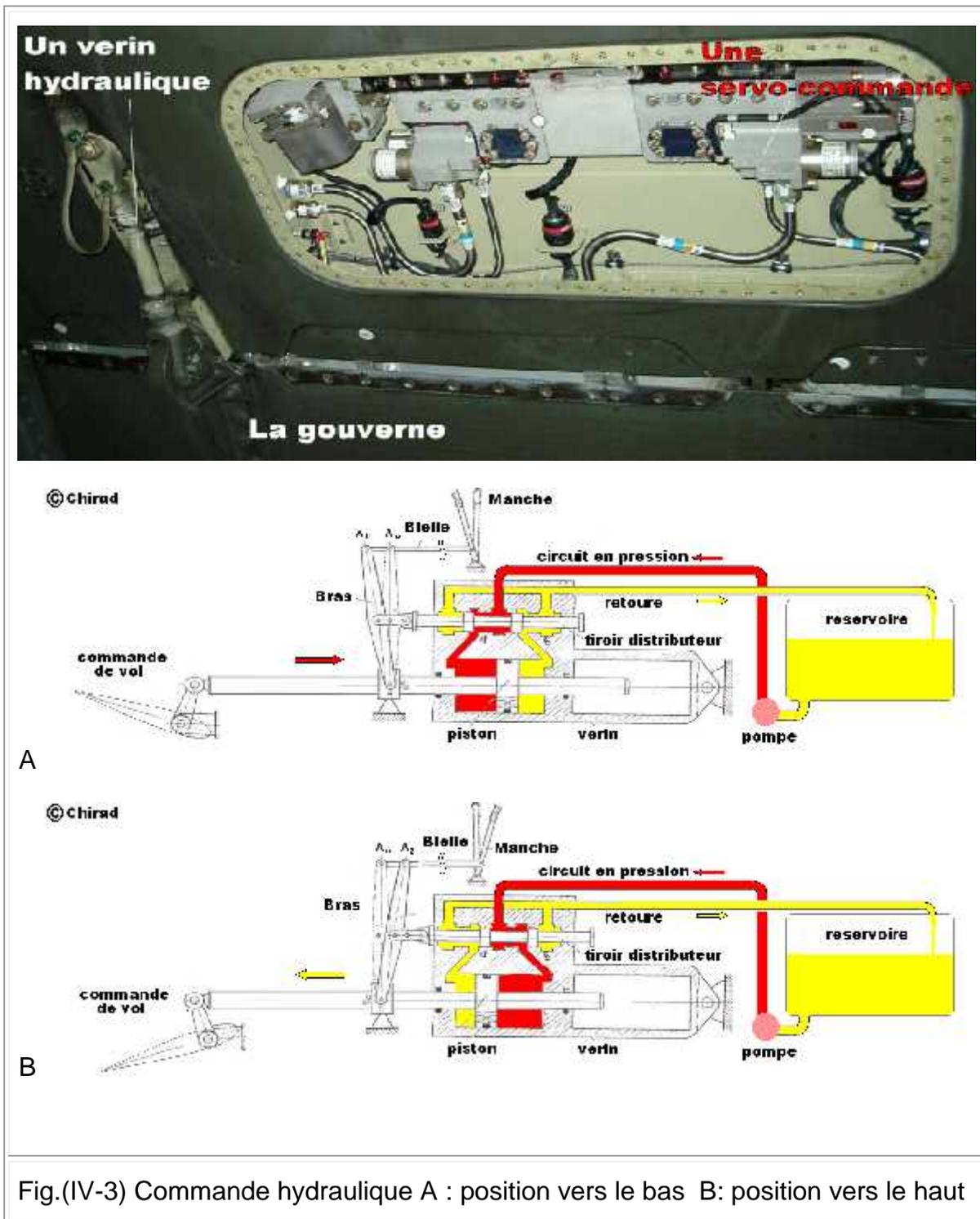
C

Fig.(IV-2): Les mouvements suivant les axes

## *IV-2 Les Commandes de vol*

Les variations d'attitude de l'aéronef autour de son centre de gravité sont provoquées par le braquage de plans mobiles (gouvernes principales). Ces gouvernes sont activées par l'intermédiaire de commandes de vol situées dans le poste de pilotage. Chaque commande de vol permet de déplacer l'avion autour de l'un des trois axes précédemment définis. Les gouvernes et les commandes sont reliées elles par un ensemble de câbles et de renvois, ou par timonerie métallique réalisée en tubes creux.

Sur les aéronefs évoluant à des vitesses plus élevées (avion de ligne, avion de combat), les forces aérodynamiques sont importantes, l'énergie nécessaire au déploiement des gouvernes est conséquente. Les avionneurs utilisent alors l'énergie fournie par un circuit hydraulique sous pression Fig.(IV-3). Cette pression est assurée par des pompes hydrauliques entraînées mécaniquement par les moteurs. Le fluide est acheminé par des tuyauteries vers le dispositif de puissance appelé vérin, dont le piston actionne la surface mobile. Des tiroirs distributeurs, activés par des sélecteurs à commande électrique (ou hydraulique ou mécanique suivant les systèmes), permettent, depuis le poste, d'assurer l'alimentation et le retour des chambres du vérin. Pour des raisons de sécurité, le circuit est triplé. Les trois circuits sont dotés de deux pompes mécaniques et d'une pompe électrique, afin qu'en cas de panne moteur ou fuites hydrauliques sur un circuit, l'avion puisse rester manoeuvrable.



### IV-2 -1- le gauchissement

Aux débuts de l'aviation, pour incliner latéralement l'avion, on procédait au gauchissement de la voilure, c'est-à-dire que l'on déformait l'extrémité d'une des ailes pour provoquer le mouvement de l'avion autour de son axe de roulis. De nos jours, cette fonction est assurée par des surfaces mobiles, situées au bord de fuite des extrémités de voilure, et qu'on appelle ailerons.

Le déplacement des ailerons est contrôlé du poste de pilotage par l'intermédiaire du manche (ou du volant). Fig.(IV-4)

En vol rectiligne, les deux ailerons sont placés dans le prolongement du profil d'aile (au neutre).

Afin de provoquer la rotation autour de l'axe de roulis, le déplacement latéral à gauche ou à droite, du manche entraîne l'élévation de l'aileron de l'aile vers le quel le manche est tourné, et l'abaissement de l'aileron de l'aile opposée.

L'aile dont l'aileron est baissé voit sa portance s'accroître, alors que l'autre aile (aileron levé) voit la sienne diminuer. La dissymétrie de portance des deux ailes génère un moment de roulis faisant incliner l'avion du côté où le manche est déplacé.

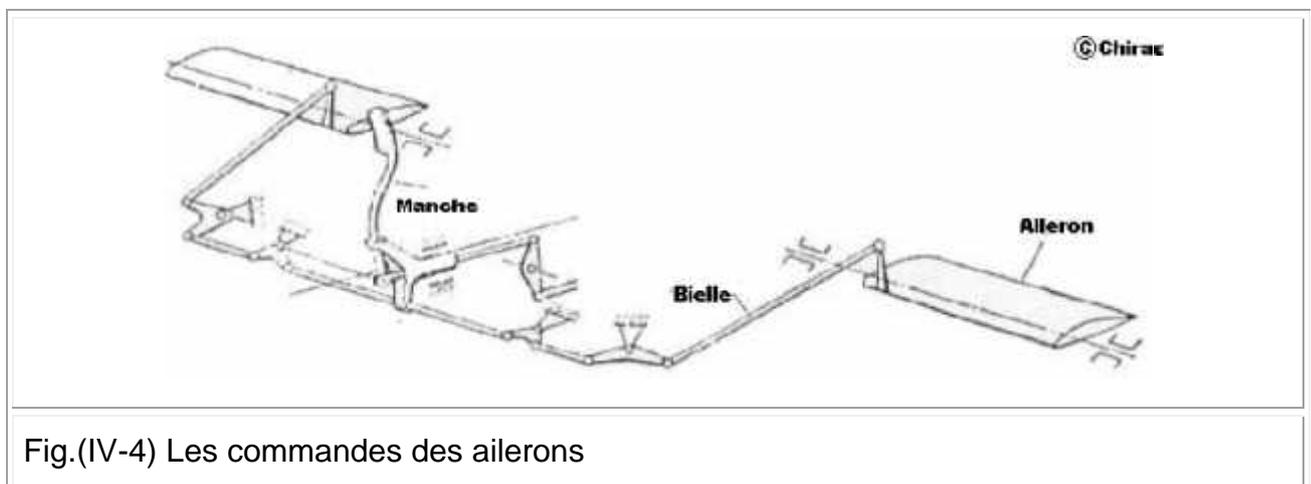


Fig.(IV-4) Les commandes des ailerons

### *IV-2 -2-La profondeur*

Pour faire évoluer l'avion autour de son axe de tangage, on déplace une surface mobile appelée gouverne de profondeur qui est articulée sur le stabilisateur horizontal. Celle-ci est reliée au manche (ou au volant), qui se trouve dans le poste de pilotage. Fig.(IV-5)

Lors du vol horizontal le manche est poussé vers l'avant, la gouverne de profondeur s'abaisse. Le plan horizontal voit alors sa portance augmenter et celle-ci crée un moment de tangage, faisant baisser le nez de l'appareil (à piquer)

Inversement, tiré en arrière (comme le montre le schéma ci-contre), le manche provoque la rotation vers le haut de la gouverne, ce qui génère un moment de tangage à cabrer.

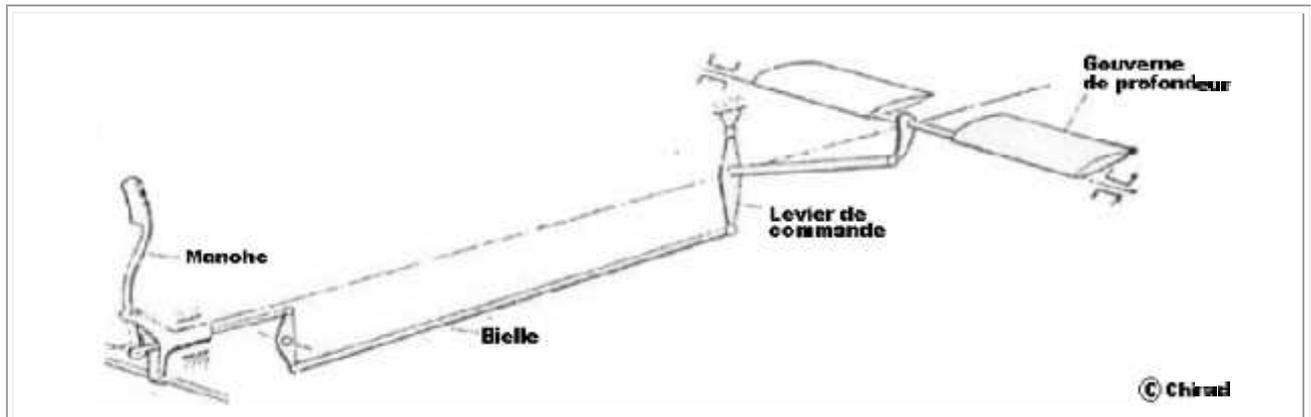


Fig.(IV-5) Les commandes de la gouverne de profondeur

### IV-2 -3-La direction

L'avion va évoluer autour de son axe de lacet grâce à une surface mobile, articulée sur la dérive et appelée gouverne de direction. Elle est reliée à l'organe de commande appelé palonnier. Ce dernier est constitué d'un tube articulé autour d'un axe, et équipé de pédales à ses extrémités.

Si à l'aide du pied droit, on pousse sur le palonnier Fig.(IV-6) , la gouverne de direction se déplace du côté où le palonnier est poussé. Sous l'effet du vent relatif une résultante, située à une certaine distance du centre de gravité, naît sur la gouverne.

Cette résultante génère un moment qui provoque la rotation de la cellule autour de l'axe de lacet.

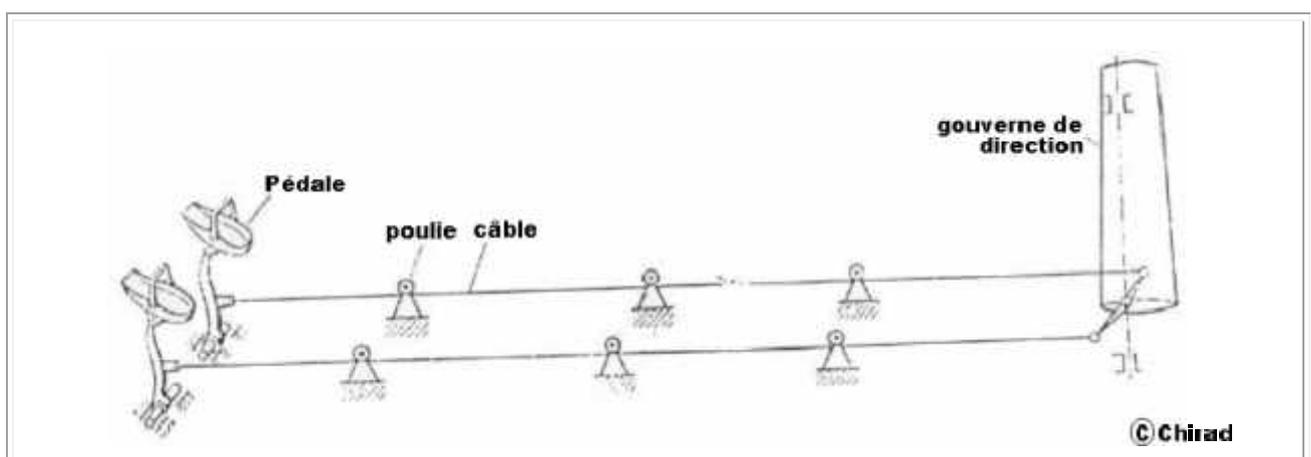
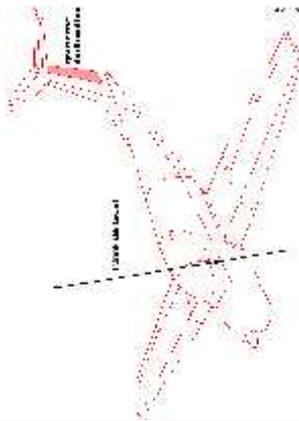
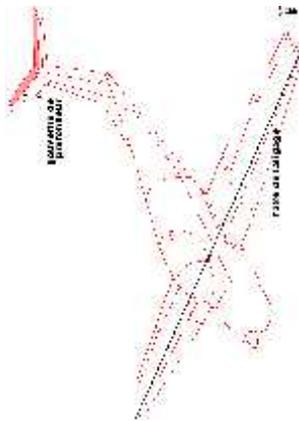
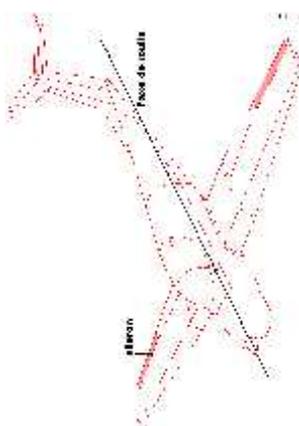
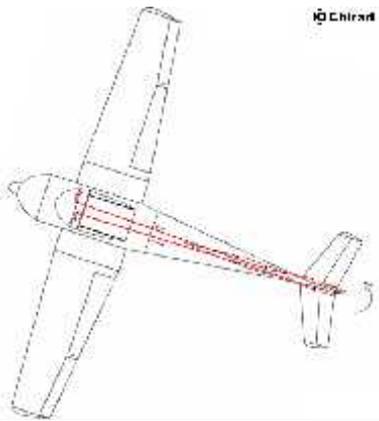
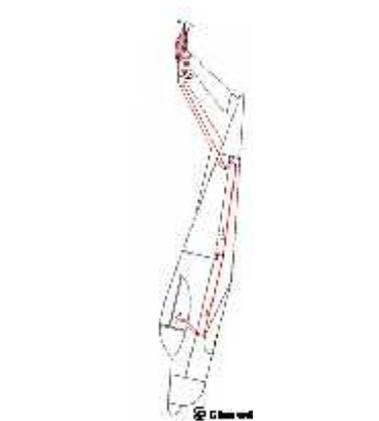
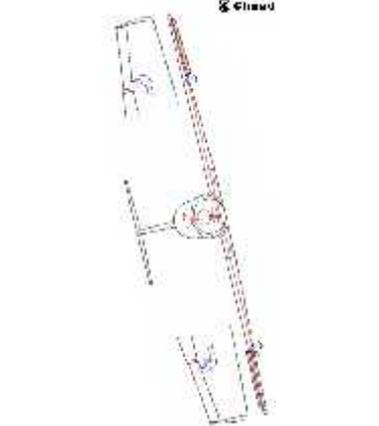


Fig.(IV-6) Les commandes de la gouverne de direction

La manœuvre « Du pied à droite » déplace horizontalement le nez de l'avion à droite. A l'opposé, «du pied à gauche » crée un lacet à gauche.

IV-2 -3 Tableau récapitulatif des commandes de vol

AXES AVION	Lacet (axe vertical)	Tangage (axe transversal)	Roulis (axe longitudinal)
<b>GOUVERNE</b> (surface mobile)	Direction	Profondeur	Ailerons
<b>COMMANDE</b> (au poste de pilotage)	Palonniers (pédales)	Manche AV-AR Volant AV-AR	Manche G-D Volant G-D
<b>Mouvement</b> De l'avion	Orientation nez G-D	Montée- Descente	Inclinaison latérale
<b>ILLUSTRATION</b> Axe et gouverne			
<b>ILLUSTRATION</b> Commande et mouvement			

Tab IV-1 Tableau récapitulatif des commandes de vol

## *IV-3 Commande auxiliaire*

### *IV-3 -1 Dispositifs hypersustentateurs*

Ces surfaces mobiles, mais à positions prédéterminées, permettent d'accroître la portance aux faibles vitesses.

Les volets sont installés sur le bord de fuite de l'aile, entre le fuselage et les ailerons. Leur braquage, vers le bas, est obtenu par le déplacement d'une commande auxiliaire à plusieurs crans. Fig.(IV-7)

Le nombre de crans correspond au déploiement des configurations décollage et atterrissage (exemple : décollage volets  $10^\circ$  ; atterrissage volets  $40^\circ$ ).

Sur d'autres aéronefs, les volets peuvent être à commande électrique alimentée par le réseau de bord. Un interrupteur, ou sélecteur, permet alors à l'équipage, d'activer le moteur de commande.

Dans certains cas, un indicateur de position, souvent intégré au sélecteur de commande, permet à l'équipage de vérifier la position des volets.

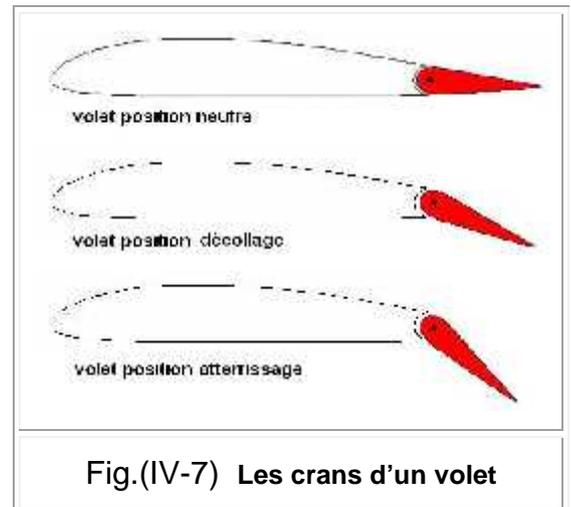
Sur ces aéronefs, des bords d'attaque sont généralement associés aux volets ; un indicateur, situé sur le tableau de bord, permet à l'équipage de vérifier si l'ordre qu'il a donné, en déplaçant sa manette, a bien été exécuté.

Le mécanisme de ces différents dispositifs est dimensionné pour être utilisé dans une plage de vitesse déterminée.

## *IV-4 La transmission des mouvements*

Pour agir sur les gouvernes et les différentes parties mobiles d'un avion, le pilote dispose de commandes.

Le volant ou le manche commande le déplacement des ailerons et de la profondeur. le volant permet de piloter plus confortablement et les pilotes le préfèrent pour le vol aux instruments. Le manche donne plus de précision dans les manœuvres. On le voit donc plus souvent dans les avions de pilotage.



Le palonnier commande le déplacement de la direction. Il supporte habituellement les freins, permettant ainsi le freinage différentiel.

Des manettes, des leviers ou des volants permettent d'actionner les dispositifs hypersustentateurs, les tabs, les volets de capot, la roue avant, etc.

Les commandes transmettent les mouvements du pilote aux éléments qu'elles actionnent par l'intermédiaire de câbles, de tringles de transmission, de systèmes électriques. Certains avions utilisent une combinaison de tous ces moyens de transmission. Lorsque toutes les gouvernes sont commandées électriquement, sans liaison mécanique, il s'agit d'un système de pilotage par fils (fly by wires).

L'amplitude du mouvement des gouvernes est restreinte par des butées, le plus souvent réglables, placées sur la partie fixe et qui limitent les déplacements aux angles de calage déterminés par les ingénieurs.

### IV-4 -1 Les câbles

Les câbles sont largement utilisés pour toutes les commandes, parce qu'ils ne sont pas affectés par les distorsions de la cellule sur laquelle ils sont fixés.



Fig.(IV-8) Une extrémité d'un câble

Les câbles flexibles sont composés d'un faisceau de fils d'acier inoxydable. A leurs extrémités, ils font le tour d'un œil ou d'une douille qui réduit l'usure Fig.(IV-8)

Les câbles sont maintenus en place par des guides en stratifié ou en aluminium lorsqu'ils circulent en ligne droite et ils changent de direction sur des poulies. Les guides qui traversent les cloisons étanches des avions pressurisés sont d'un modèle spécial qui laisse suffisamment de liberté pour le mouvement du câble tout en minimisant les fuites d'air Fig.(IV-9) .

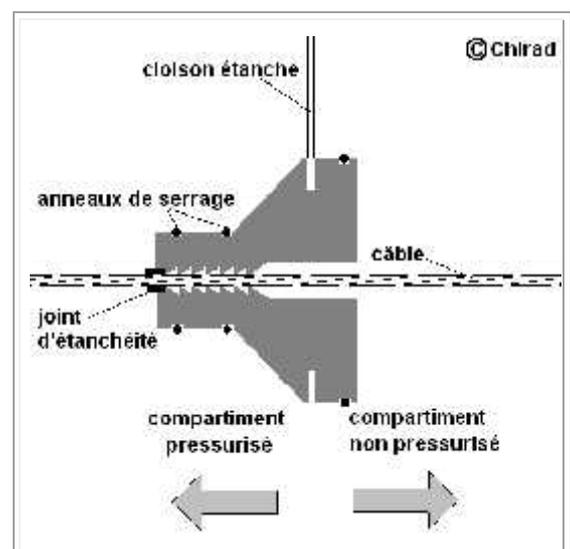


Fig.(IV-9) Un guide

Etant donné que les câbles flexibles ne travaillent qu'en tension, il faut deux câbles pour transmettre un mouvement. Les extrémités de ces deux câbles sont souvent attachées à un levier de commande articulé sur un pivot qui transmet les mouvements par l'intermédiaire d'une barre d'accouplement Fig.(IV-10) . Dans d'autres cas, les câbles sont fixés directement sur la gouverne.

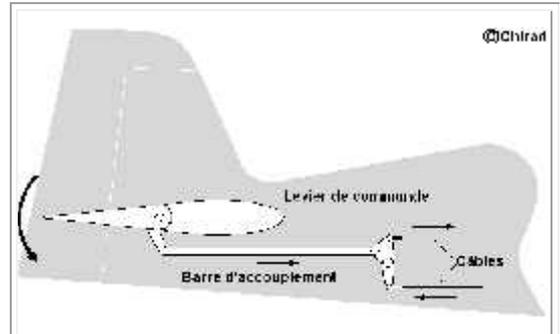


Fig.(IV-10) La transmission des mouvements

La tension des câbles est ajustée en agissant sur un tendeur placé en série et qui unit deux sections de câble. Il suffit de visser ou de dévisser la partie centrale du tendeur pour obtenir la tension désirée Fig.(IV-11)

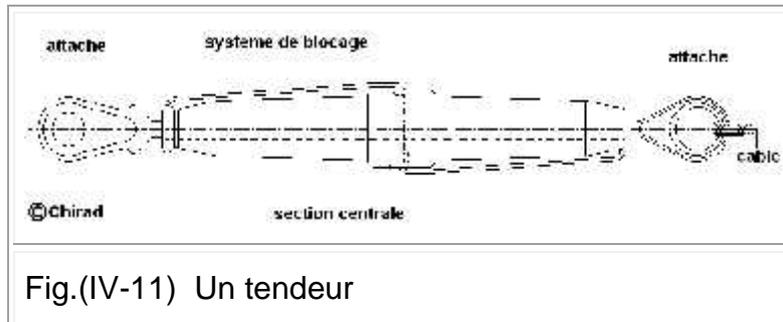


Fig.(IV-11) Un tendeur

On mesure la tension d'un câble à l'aide d'un tensiomètre Fig.(IV-12) .

Le trou d'inspection logé dans le tendeur doit lisser (voir la partie filetée). Si on ne voyait pas le filetage, cela signifierait qu'un nombre insuffisant de filets maintient le câble et que, par conséquent, le tendeur pourrait se désunir sous les efforts de tension, après l'ajustement de la tension, on bloque les parties mobiles du tendeur par du fil à freiner ou des goupilles de sécurité.

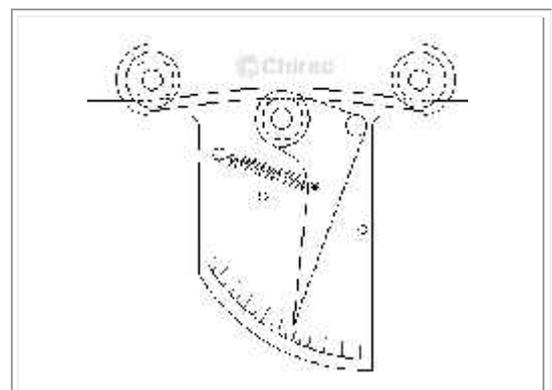


Fig.(IV-12) la tensiomètre

L'ajustement correct des câbles est extrêmement important. En effet, s'il est trop lâche, un câble peut sortir de la gorge d'une poulie et se coincer entre le flanc de la poulie et son support. De plus, un câble trop mou ralentit la réaction de la gouverne et restreint son déplacement. Un câble trop tendu use prématurément les poulies et peut même les briser.

Les effets de la température empêchent, cependant, d'avoir un réglage constamment correct. Les cellules sont habituellement en aluminium alors que les câbles sont en acier. Ces deux métaux ont des coefficients de dilatation différents. Lorsqu'un avion évolue en air froid, sa cellule se contracte et les câbles se relâchent. On donne donc aux câbles un réglage de tension moyen qui assure la sécurité des systèmes de commandes, quelles que soient les contractions ou les dilatations de la cellule. Parfois, on place, en parallèle sur le câble, un ressort qui rattrape constamment le jeu.

#### IV-4 -2 La tringlerie mécanique rigide

On réalise les liaisons mécaniques rigides au moyen de tringles et de leurs différents systèmes de conjugaison. Lorsque l'avantage principal du câble, c'est-à-dire le fait de ne pas être affecté par les distorsions de la cellule, n'est pas une exigence absolue, on utilise de préférence la tringlerie rigide. Une de ses qualités est de ne pas être sensible aux variations de tension qui imposent un réajustement **périodique** des câbles. De plus, la tringlerie rigide donne une réaction plus immédiate que les câbles, car l'attaque de l'élément à mouvoir est plus directe.

Si, comme nous l'avons dit plus haut, il faut deux câbles pour transmettre un mouvement, une seule tringle rigide suffit. On utilise donc la tringlerie rigide dans les passages restreints, souvent en systèmes combinés avec des câbles.

Une tringle type est faite d'un tube aux extrémités duquel sont rivetées des tiges filetées sur lesquelles on visse des embouts qui ont la forme d'une douille ou d'une chape. En vissant plus ou moins l'embout sur la tige filetée, puis en la bloquant à l'aide d'un contre-écrou, on peut ajuster précisément la longueur de la tringle Fig.(IV-13)

L'axe de la douille ou de la chape est retenu à une extrémité par sa tête plate et à l'autre par une goupille. Lors de l'installation et de l'inspection, il est

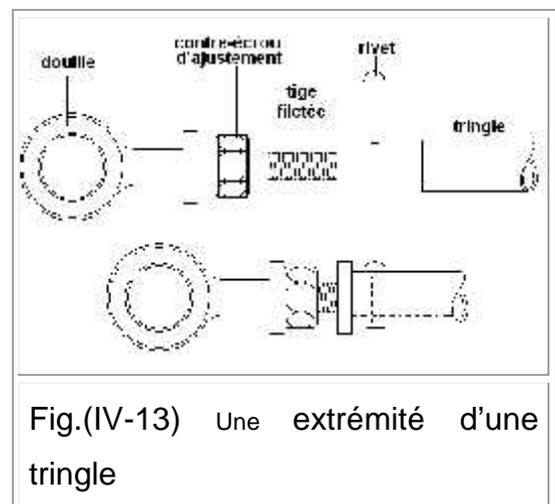
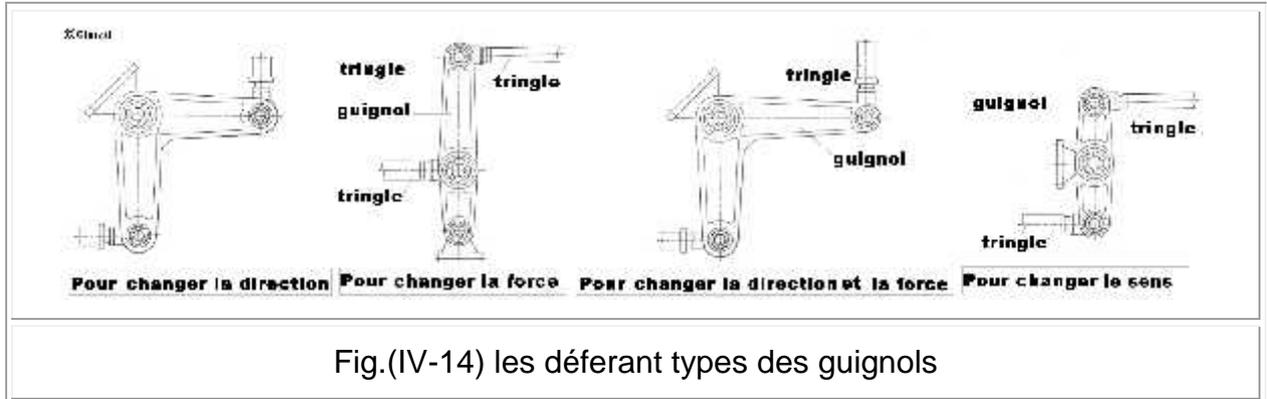


Fig.(IV-13) Une extrémité d'une tringle

très important de s'assurer que la goupille est en place et que ses extrémités sont correctement recourbées autour de l'axe.

Pour changer la direction du mouvement de la tringlerie, on utilise un renvoi, appelé parfois guignol de renvoi, qui est une pièce rigide coudeé ayant son axe dans le coude Fig.(IV-14)



### IV-4 -3 Les barres de torsion rigides

Les barres de torsion rigides sont des tiges, pleines ou creuses (tubes), qui transmettent un déplacement angulaire. On les rencontre, par exemple, dans les mécanismes servant à actionner les volets. On les trouve fréquemment dans des systèmes qui utilisent aussi des câbles et des tringles. La conjugaison des barres de torsion se fait à l'aide des joints universels.

### IV-4 -4 L'entraînement par moteur électrique

Pour actionner les éléments mobiles de la structure, tels que les volets, les tabs, les volets de capot et le train d'atterrissage, on utilise souvent des moteurs électriques qui comportent de nombreux avantages. En effet, ils n'exigent pas d'effort pour le pilote. L'action est rapide et ils occupent très peu d'espace : un câble électrique est beaucoup moins volumineux que la timonerie classique, et on peut placer un moteur électrique dans des endroits où il serait difficile de passer des câbles et des tringles. Enfin, ils sont faciles à installer sur un tableau de bord.

Les moteurs électriques sont reliés aux pièces à mouvoir par l'intermédiaire de câbles, de tringles ou de barres de torsion. Ils sont mis en action par des interrupteurs à une ou plusieurs positions. L'effet de leur action est souvent indiqué sur le tableau de bord par des témoins lumineux ou des curseurs mobiles

## V-Conception et réalisation

### V-I Généralités sur la conception de l'avion.

Le début de l'idée était de réaliser un drone ou une maquette de l'échelle 1/5, afin d'améliorer les travaux pratiques dans l'institut ; Et après nous l'avons développé vers la réalisation d'un avion à l'échelle réelle (1/1) , et puis nous avons tiré plusieurs fiches techniques et plans des avions comme le Yak 1 , Yak -18 A ,Yak-18 T, Yak -52, T-34 ,As-05 ,Z-142, Zodiac-XL et les avions réalisés par les amateurs Baboo – 01 , Dieslies et même sur l'hélicoptère As-355 et le chasseur

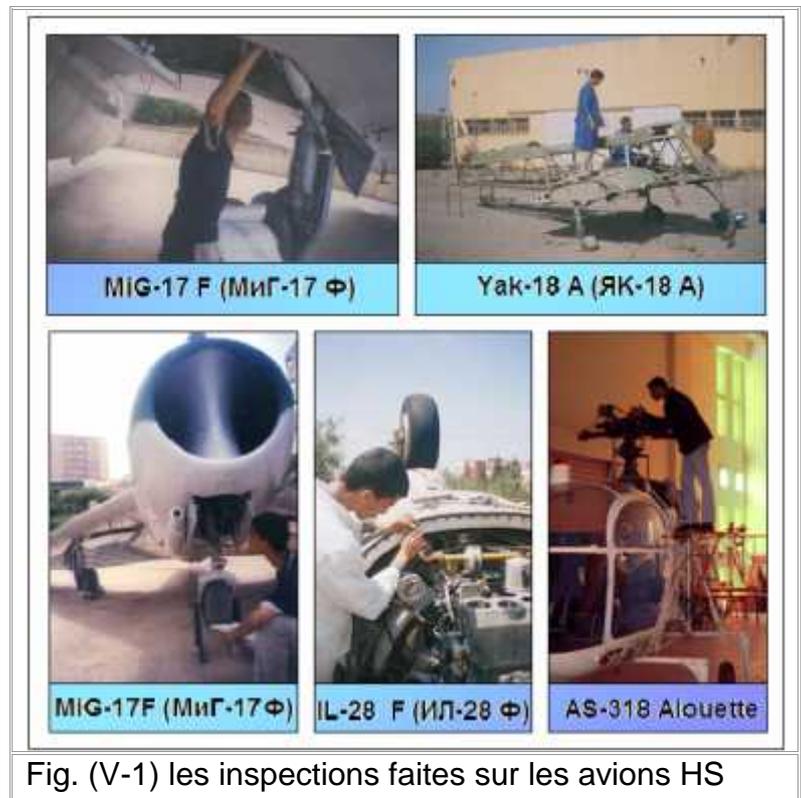


Fig. (V-1) les inspections faites sur les avions HS

MiG-21 Bis ; Et nous avons fait des études pratiques et théoriques sur les avions hors service disponibles MiG-17F IL-28 F, Yak-18 A et l'hélicoptère l'Alouette- II Fig. (V-1), afin de nous mettre dans les normes

Nous sommes obligés de réaliser un avion avec une grande précision car il va être destiné vers les travaux d'atelier comme un exemple vif d'un avion léger.

Les conditions de stockage de l'avion nous ont obligé de travailler avec de faibles dimensions, longueur et envergure Fig. (V-2), alors nous avons joué sur les paramètres restants c'est à dire la surface portante ou plus précisément la corde de profil, le profil et l'angle de calage de l'aile c'est à dire le coefficient de portance et le paramètre le plus important est le poids.

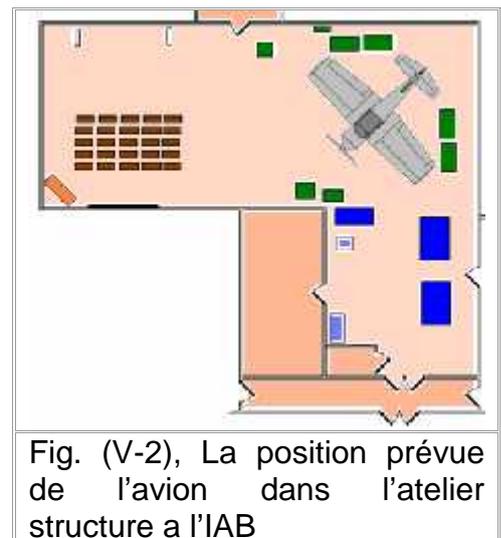


Fig. (V-2), La position prévue de l'avion dans l'atelier structure a l'IAB

## V-2 Le fuselage.

### V-2-1 La Conception

Le fuselage voulu pour notre avion est de type semi-monocoque pour donner la chance à nos collègues de savoir plus sur la construction des fuselages.

La longueur réduite du fuselage est calculée pour donner un convenable bras de levier pour les empennages , et en même temps ne pas dépasser la marge de leur parking prévu Fig. (V-2).

L'hauteur est dimensionnée par simulation avec des autres avions légers, par le calcul directement du Yak 18 et de l'Allouette et par les essais avec un pilote de taille maximale .Et la même démarche est suivie pour la largeur du fuselage.

Les cadres sont positionnés aux points qui supportent des grandes charges dans l'avion, comme aux points de fixation des ailes , sous le siège pilote , aux extrémités et au milieu de la soute et le réservoir...

### V-2-2 La description du fuselage

L'avion CHIRAD 1-A présente un fuselage semi-monocoque de section hexagonale de base de bois avec des renforts métalliques.

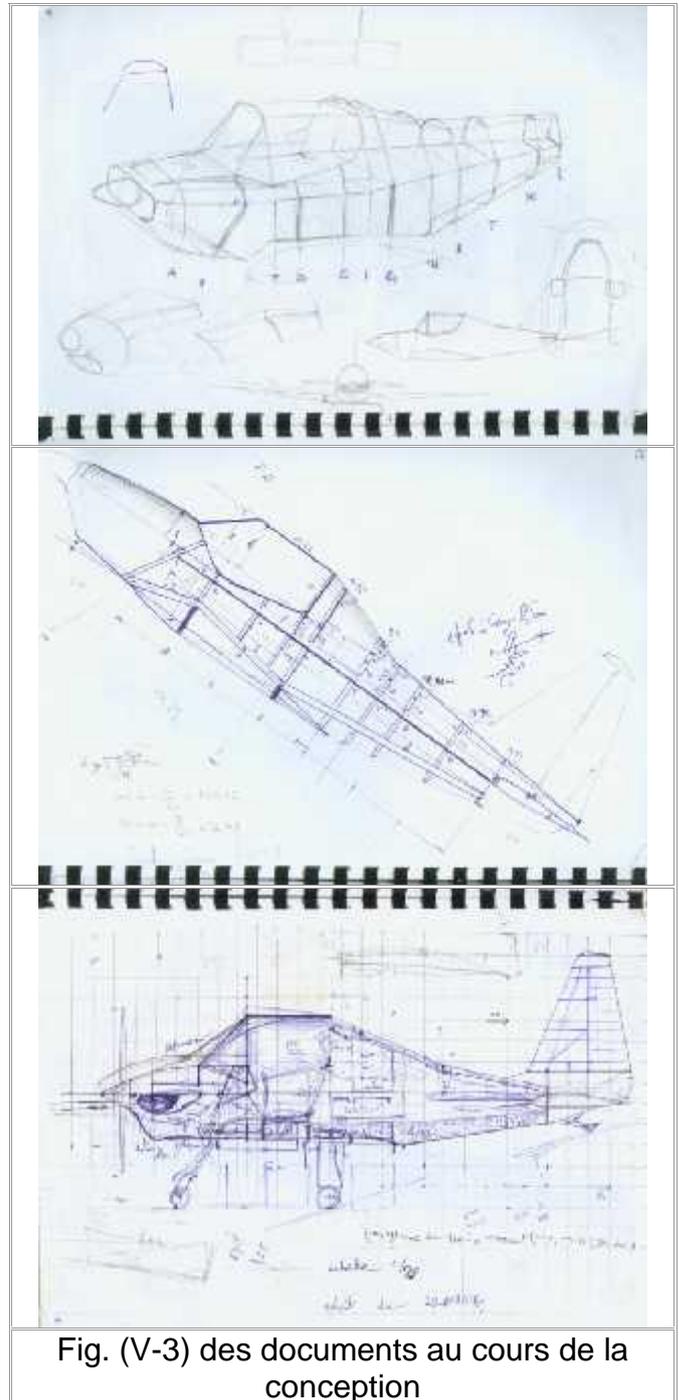


Fig. (V-3) des documents au cours de la conception

Les dimensions de fuselage sont comme suivants Fig. (V-4),

Longueur du fuselage : **3250 mm**

Largeur max du fuselage : **800 mm**

Largeur min du fuselage : **300 mm**

Hauteur max du fuselage : **1250 mm**

Hauteur min du fuselage : **350 mm**

Nombres de sièges : **1**

Longueur du cockpit : **1250 mm**

Hauteur du cockpit : **1250 mm**

Largeur intérieure du cockpit : **600 mm**

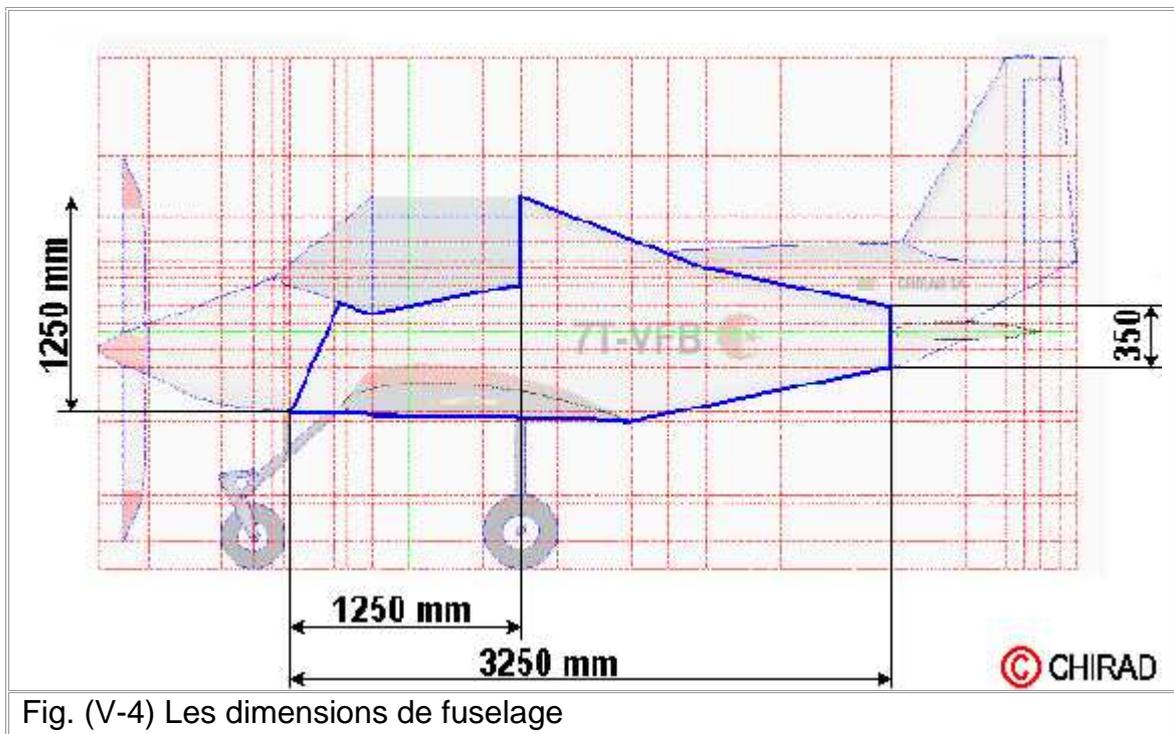


Fig. (V-4) Les dimensions de fuselage

Largeur extérieure du cockpit : **800 mm**

Dans l'avion CHIRAD 1-A le fuselage qui est porté par les ailes, porte le moteur et les trains d'atterrissage au vol. Et il porte les ailes et le moteur, et porté par les trains au sol.

Le fuselage contient le cockpit mono place, la soute de bagage, le réservoir de carburant et les commandes de vol.

Sur la partie avant du fuselage on a fixé le moteur à l'aide de quatre 4 points d'attache situés sur les quatre longerons du flanc et un cinquième point situé entre les deux longerons de la base.

Au dessous de la partie avant on a fixé le train avant avec deux 2 axes passants entre les deux longerons de base.

Sur la queue du fuselage on a fixé les empennages à l'aide de quatre (4) points d'attache situés sur les quatre longerons du flanc.

L'aile centrale est fixée au cotés du fuselage, dont leurs longerons se croisent avec celles de la base de fuselage.

La structure de notre fuselage contient neuf (9) cadres fixés sur six (6) longerons, avec la fixation de douze (12) paires de lisses sur les cadres.

### *V-2-3 La réalisation du fuselage*

Le fuselage est réalisé en bois ordinaire avec un renforcement métallique

#### **A-Les cadres**

Le fuselage présente neuf cadres du fuselage nommés de B à K Fig. (V-5)

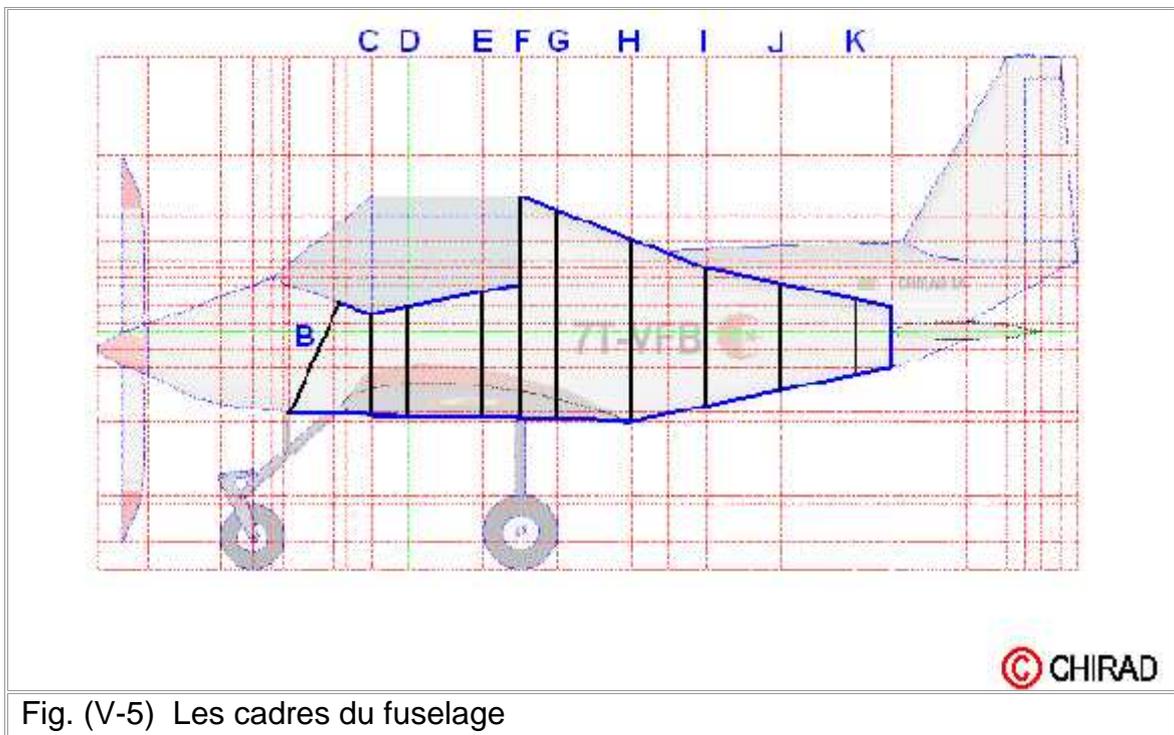


Fig. (V-5) Les cadres du fuselage

**-Le pare-feu**

Le cadre **B** ou bien le pare-feu , il fait la séparation entre la chambre du moteur et le cockpit,il est réalisé en bois multiplié de 8mm d'épaisseur renforcé par deux barre de bois rouge, et entôlé avec un feuille d'aluminium de 0.4 mm a fin d'isoler le cockpit. Fig. (V-6 A)

**Les supports de moteur et de tableau de bord** :Ils supportent le moteur, le tableau de bord et le planché des palonniers Fig. (V-6 B)

**-Les cadres du cockpit** Fig. (V-7 )

Le cadre **C** supporte la partie fixe de la verrière , il assure la fixation des supports du moteur et de tableau de bord.

Le cadre **D** est un cadre principal de l'avion il est fixé sur le longeron principal de l'aile et il supporte le poste centrale de la commande et la patrie avant du siège pilote .

Le cadre **E** il est fixé sur le longeron central de l'aile centrale et il supporte le siège de sa partie arrière.

**-Le cadre F** c'est le cadre d'extrémité arrière de cockpit et l'extrémité avant de la soute Fig.(V-8) . C'est un cadre fermé il ne presente qu'une seule ouverture pour le réservoir du carburant, et sur lui on a fixé les guignols de la commande des volets

**-Les cardes de la soute** : Fig. (V-9 A,B )

Le cadre **G** est un cadre principal de l'avion il est fixé sur le longeron arrière de l'aile et il supporte une partie des charges des bagages et de carburant.

Le cadre **H** situé à l'extrémité é de l'aile il supporte comme le précédent une partie des charges des bagages et du carburant.

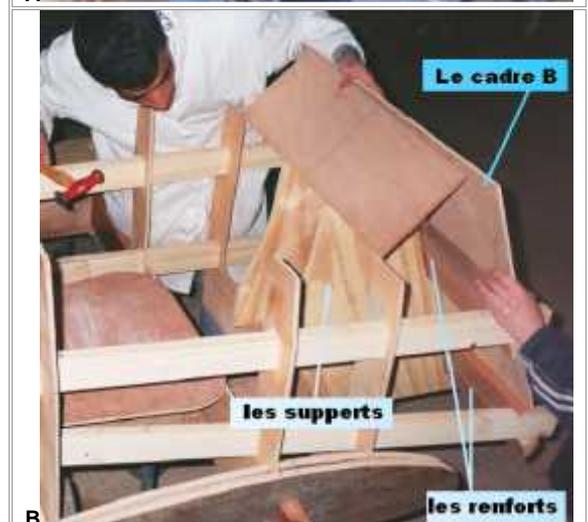
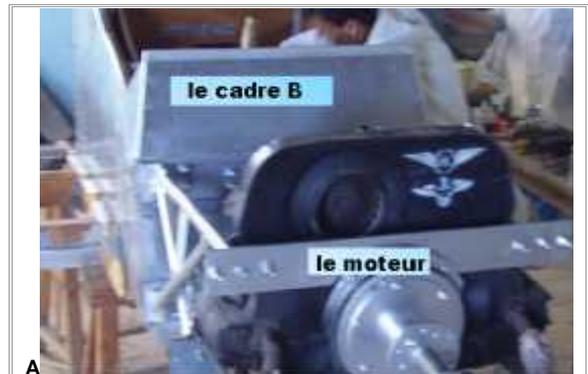


Fig. (V-6) le carde B et ses supports



Fig. (V-7) Les cadres du cockpit c,d,e.



Fig. (V-8) Le cadre F

- **Le cadre I** c'est le cadre d'extrémité arrière du soute et l'extrémité avant de la chambre du batterie.

-**Les cardes de la queue:** Fig. (V-9 C)

Le cadre J et K : ils supportent les charges de flexion et de torsion dues au forces créés par les empennages, il assure le passage des câbles de commande,

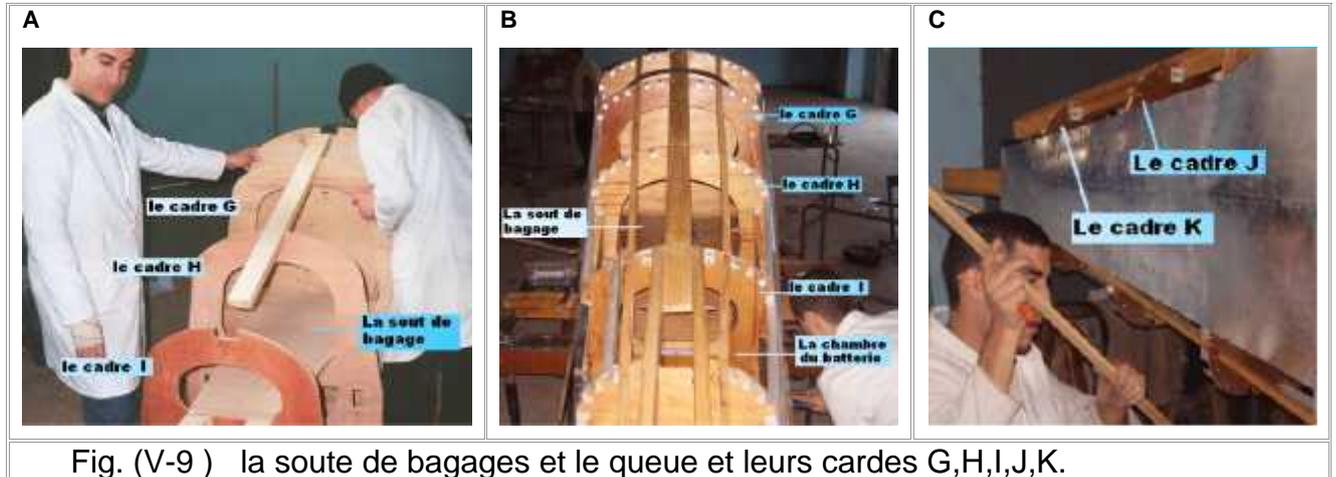


Fig. (V-9 ) la soute de bagages et le queue et leurs cardes G,H,I,J,K.

**-La réalisation**

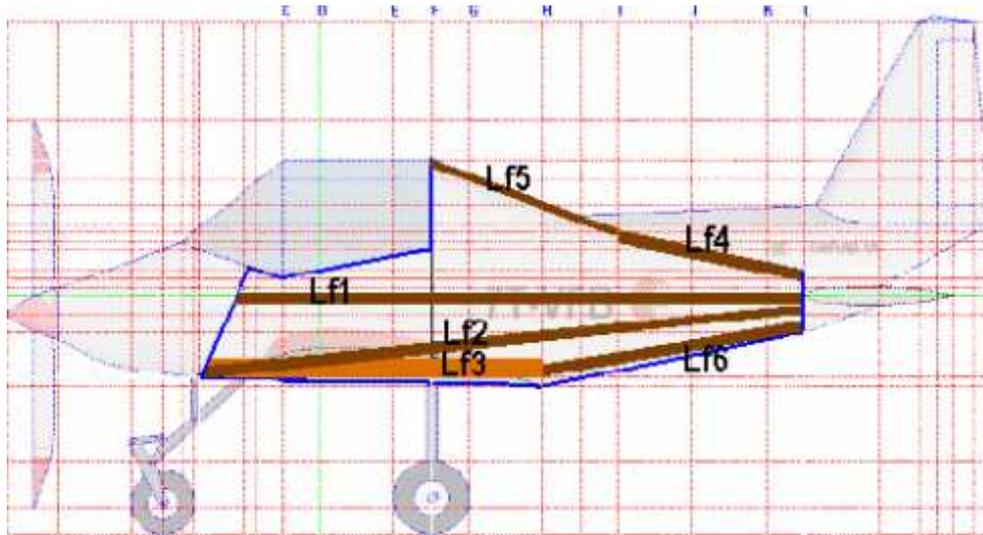
La réalisation se fait avec du bois multiplié de 8mm pour les cadres et 18 mm pour les supports, après 3 opérations : Le traçage, Le découpage et La finition.

(Voici un exemple de ces 03 étapes de réalisation sur les supports de tableau de bord Fig. (V-10 ))



Fig. (V-10 ) les trois étapes de la réalisation des supports

B- Les longerons



CHIRAD



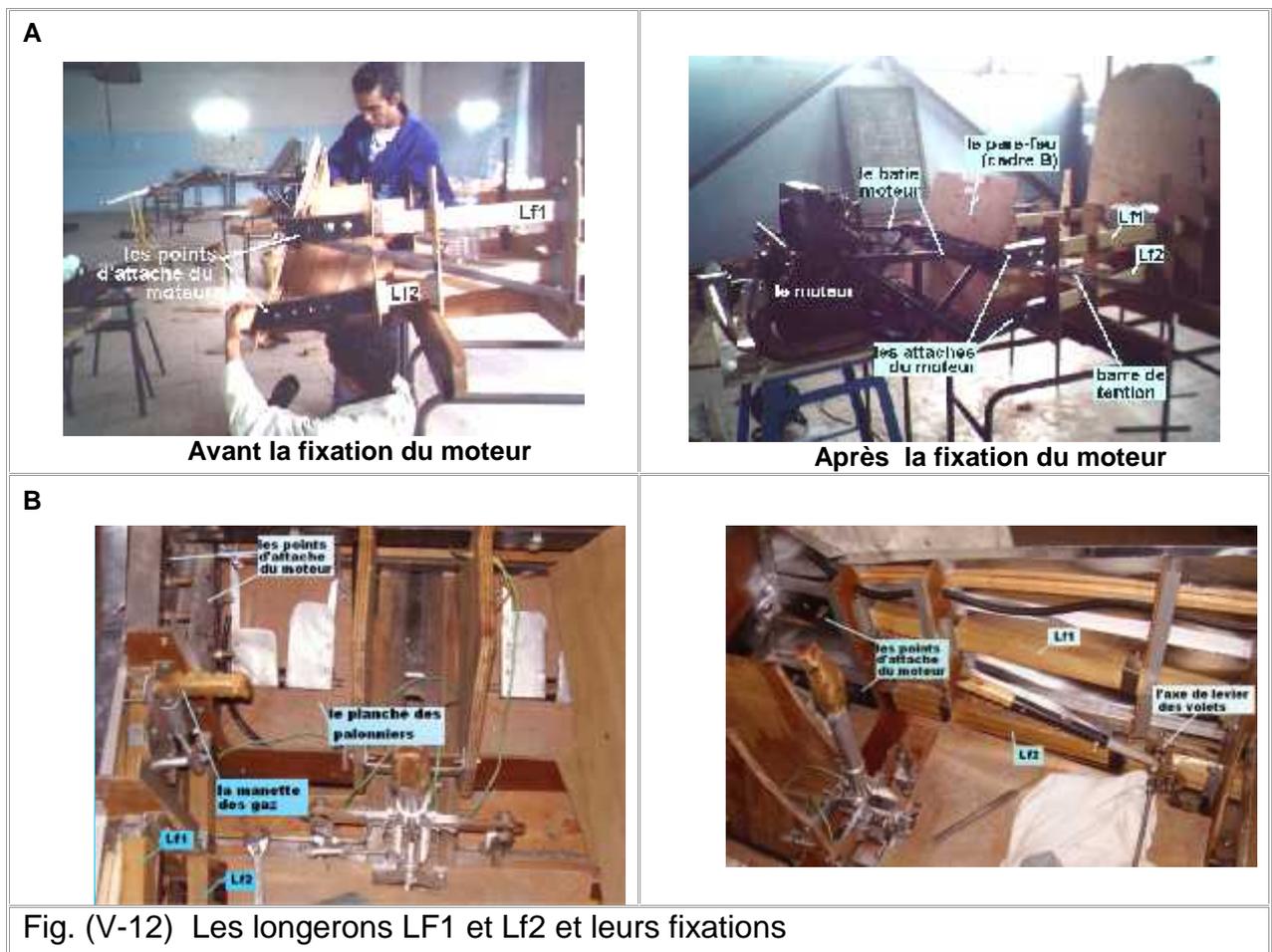
Fig. (V-11) Les longerons du fuselage

**-Les deux paires de longerons des flancs Lf1 et Lf2**

Ils sont des blanches de bois blanc de section 30x60mm, il supporte la majorité des charges de flexion et torsion dues au poids des différents éléments du fuselage, et des efforts appliqués par le moteur, les ailes, les empennages

Les points d'attache de moteur sont situés à l'avant de ses longerons Fig. (V-12 A) et sels des empennages à l'arrière.

On a fixée les axes des commandes de vol, la manette des gaz les planché des palonniers Fig. (V-12 B)



**-La paire des longerons de base Lf3**

Ils sont réalisés avec des planches de bois rouge de 110x28mm de section, ils supportent le poids de l'avion et le transmettent aux longerons des ailes, Au vol, et aux trains d'atterrissage au sol.

Les supports de tableau Fig. (V-13) de bord sont fixés sur eux et Ils contiennent le cinquième point de fixation du moteur

**-Le longeron Lf5 et la paire des longerons Lf4, de queue**

Ils sont des blanches de bois blanc de section 30x60mm, il supporte une partie des charges de flexion et torsion dues au poids et au efforts appliqués les empennages. Fig. (V-14)

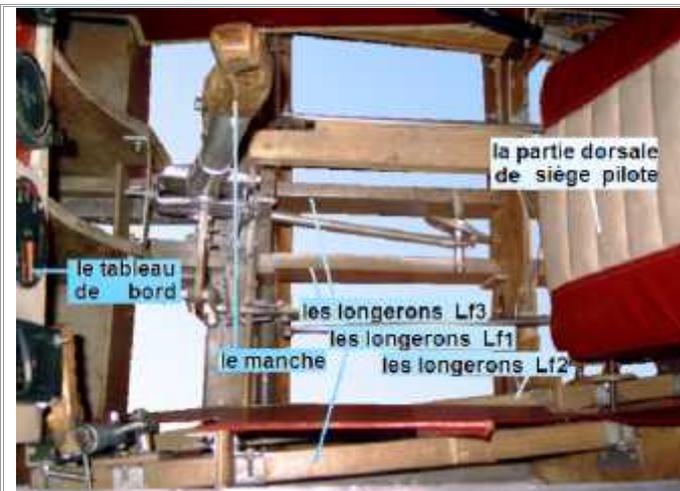


Fig. (V-13) un vue de dessus de cockpit représente le Lf3

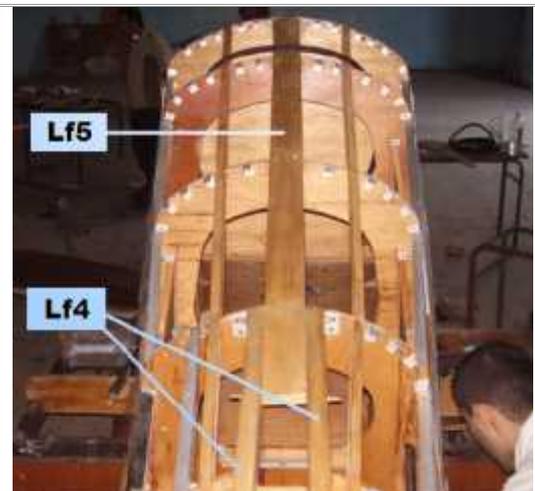


Fig. (V-14) les longerons Lf4 Lf5

**-Le longeron de queue ventral Lf6**

C'est un tube d'acier carré 30x60mm .il supporte les charges des empennages voire la Fig. (V-11).

**-La deux barres métalliques de tension**

Elles relient les attaches supérieures du moteur par le longeron métallique arrière, afin de cheminer la charge du moteur vers les trains principaux, voire la Fig. (V-12 A).

## C-Les lisses

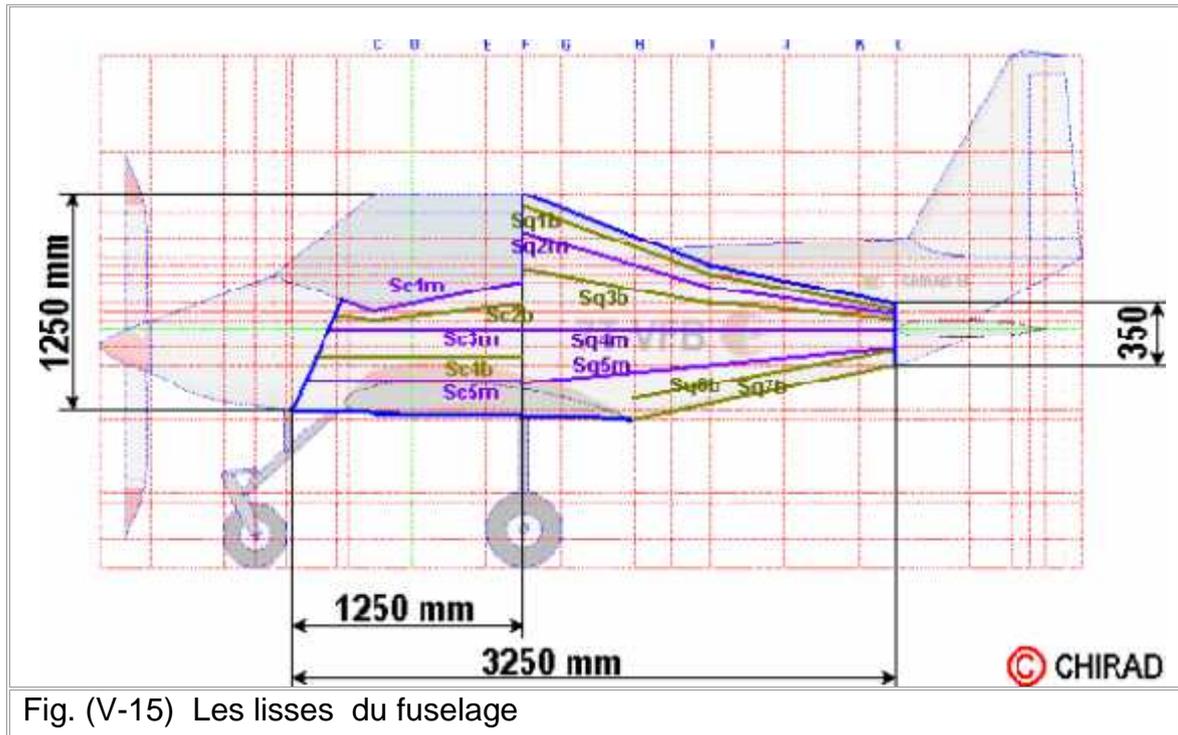


Fig. (V-15) Les lisses du fuselage

Les douze paires de lisses fixées sur les cadres Fig. (V-15/16) sont nommées:

Sc1m, Sc3m et Sc5m pour les lisses métalliques de la partie avant.

Sq2m, Sq4m et Sq6m pour les lisses métalliques de partie arrière.

Sc2b et Sc4b pour les lisses de bois de la partie avant.

Sq1b, Sq3b, Sq5b et Sq6b pour les lisses de bois de la partie arrière



Fig. (V-16) exemple des lisses

- **Les lisses métalliques** sont réalisées avec des cornières d'aluminium de section L 25x25 supportent le revêtement. Fig. (V-16)

- **Les lisses de bois** sont les baguettes de bois rouge 12x18 ils sont encastrés dans les cadres avec le collage afin d'assurer la rigidité de la cellule

### V-2-4 Le cockpit

Comporte les sièges ,le manche, les palonniers, le levier de volets, la manette des gaz et le tableau de bord Fig. (V-17).



01	Indicateur de pression*	13	Switch des feux de navigation
02	Radio**	14	Switch de pompe de gavage
03	Indicateur de vitesse [HS]	15	Switch d'éclairage cockpit
04	Tachymètre	16	Indicateur de l'angle de braquage du volet-aileron (flaperon)
05	Horizon artificiel [HS]	17	Coupe courant
06	Indicateur de cap [HS]	18	Contacteur du moteur
07	Altimètre [HS]	19	Le manche a balais
08	Variomètre	20	Les palonniers
09	Horloge	21	Les freins roues
10	Switch de far (3 position) Roulage (taxi) – off – atterrissage (land)	22	La manette à gaz
11	Switch d' essuie glass	23	Le siège
12	Switch des feux de position	24	Le levier volet

Fig. (V-17) Le cockpit

\* un projet de fin d'études réalisé par nos collègues Rosa TALEB et Linda HERADJ

\*\* le Radio et le câblage est réalisé par notre collègue Ahmed BOUDAI

## V-4 Les trains d'atterrissages

### V-4-1 Conception

Les trains d'atterrissages de l'avion sont conçus pour assurer sa manœuvrabilité au sol, sa suspension et sa sécurité au moment d'impact. Fig. (V-18)

Le système d'atterrissage de l'avion est tricycle fixe avec une seule roue par jambe.

Son empâtement est de 2000 mm et sa voie est de 1450,

Le système d'atterrissage est équipé d'un système de freinage et guidage en même temps. Et c'est pour ça que les trains principaux aient un grand empâtement.

La longueur des jambes assure une hauteur minimale de ventre de l'avion de 75 cm de sol, afin de sécuriser l'hélice de l'avion le maximum possible.

Les amortisseurs des trains principaux sont fixés à l'extérieur des fûts. Par contre le l'amortisseur avant est encastré dans le fût.

Les trains principaux ont des câbles de tension Fig. (V-19) pour éliminer la rotation vers l'arrière au moment d'impact.

Le compas et les fourches de train avant sont une seule pièce. Cette solution est utilisée dans les avions de chasse Fig. (V-20) pour absorber les forces verticales de poids et horizontales de frottement du à l'impact

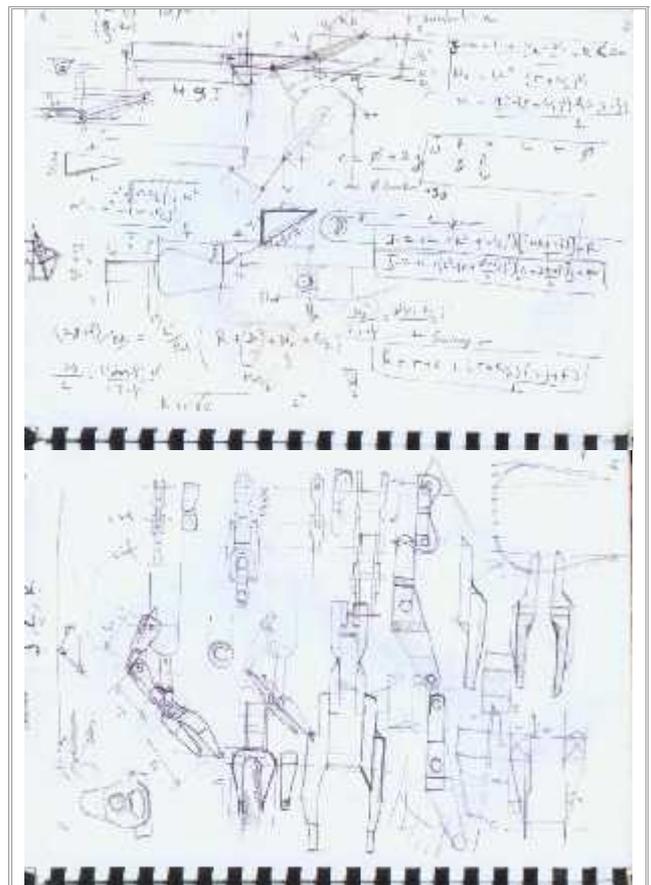


Fig. (V-18) la Conception des trains



Fig. (V-19) Le câble de tension

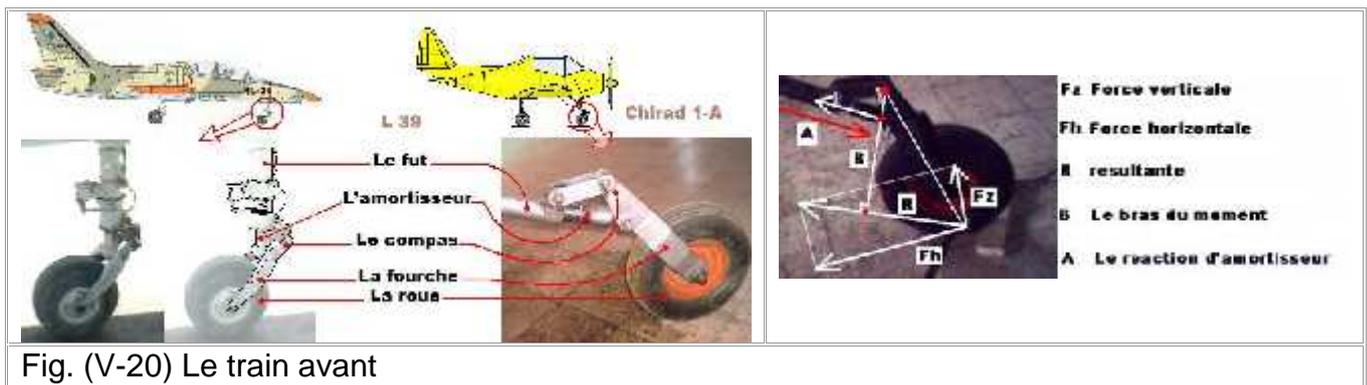


Fig. (V-20) Le train avant

en même temps.

### V-3-3 La réalisation

#### a-Le train avant

Les jambes de trains sont réalisées avec des tubes rond d'acier  $\varnothing=48\text{mm}$   $e=2\text{mm}$ , Les attaches sont de fer plat  $e=6\text{mm}$  soudées sur les jambes a l'aide d'un Gabarret ; le compas et la fourche sont de fer plat  $e=6\text{mm}$ .

La réalisation des fourches était à 4 étapes : traçage, découpage, pliage et perçage. Fig. (V-21 ).

La fixation des trains principaux est avec un axe principal de  $\varnothing=16\text{ mm}$  et deux autres de  $\varnothing=12\text{ mm}$ .

Le train avant présente une roue de 350 x100 -150



Fig. (V-21 ) les étapes de la réalisation de la fourche

#### b-Le train principal

Les jambes de trains sont réalisées avec des tubes rond d'acier  $\varnothing=48\text{mm}$   $e=2\text{mm}$ , Les attaches sont de fer plat  $e=6\text{mm}$  soudées sur les jambes a l'aide d'un Gabarret .

la fixation des trains principaux est avec des paliers de  $\varnothing=20\text{ mm}$  .

le train avant présente une roue de 400 x120 -200

Les axes de jambes et les axes des roues et des amortisseurs sont réalisés en tournage. Fig. (V-22 )

Les tambours ont fondus et finis au SONACOM

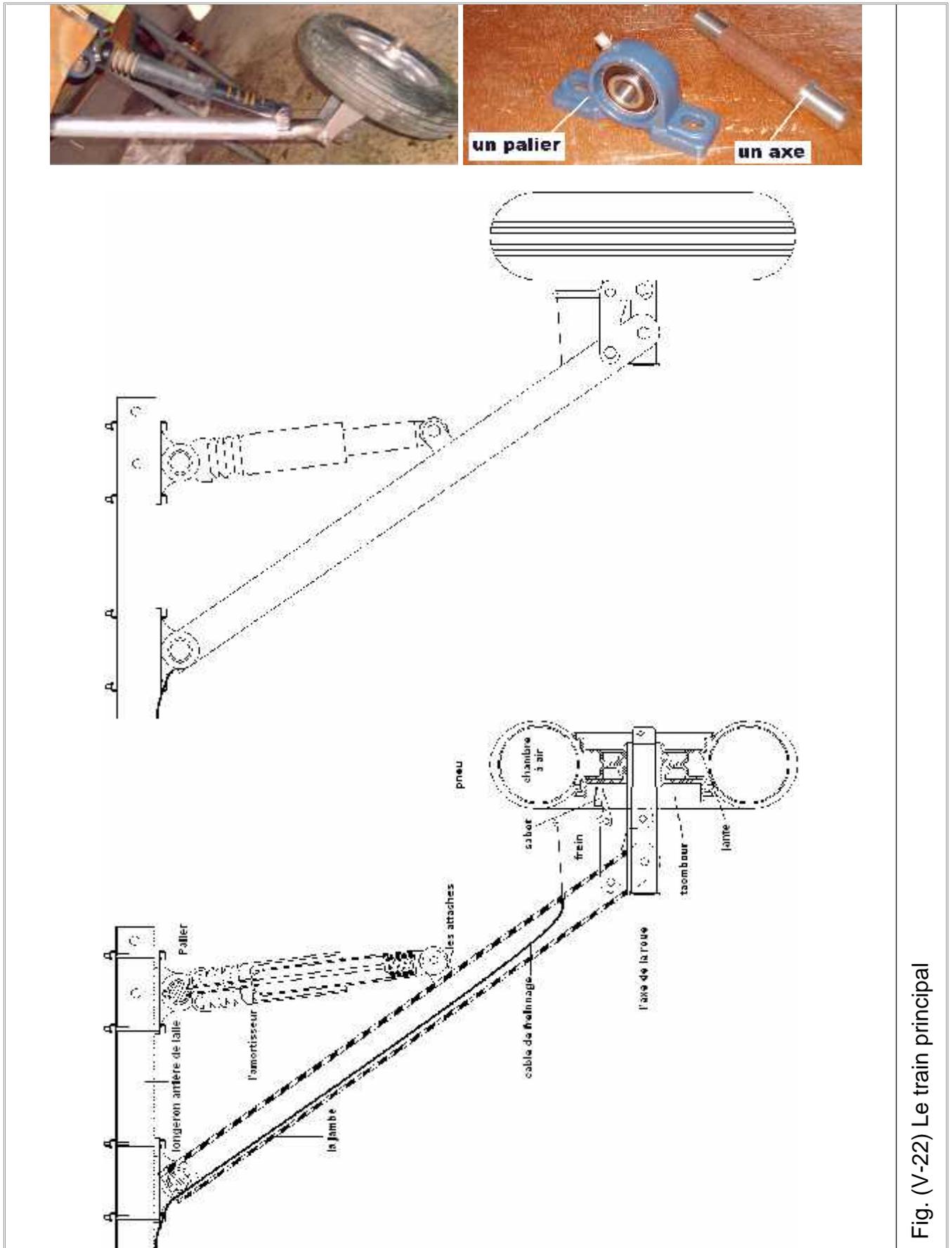


Fig. (V-22) Le train principal

# V-4 Les commandes de vol

## V-4-1 La conception

le système de commande dans notre avion est un peu spécial car nous n'avons qu'une seule surface mobile (flaperon) qui joue le rôle des volets et des ailerons en même temps Fig. (V-22 A), alors elle est commandée avec le manche et le levier de commande des volets.

Et cette complexité nous a obligé de créer un mécanisme différent de ce que nous avons vu sur les autres avions. Fig. (V-22 B)

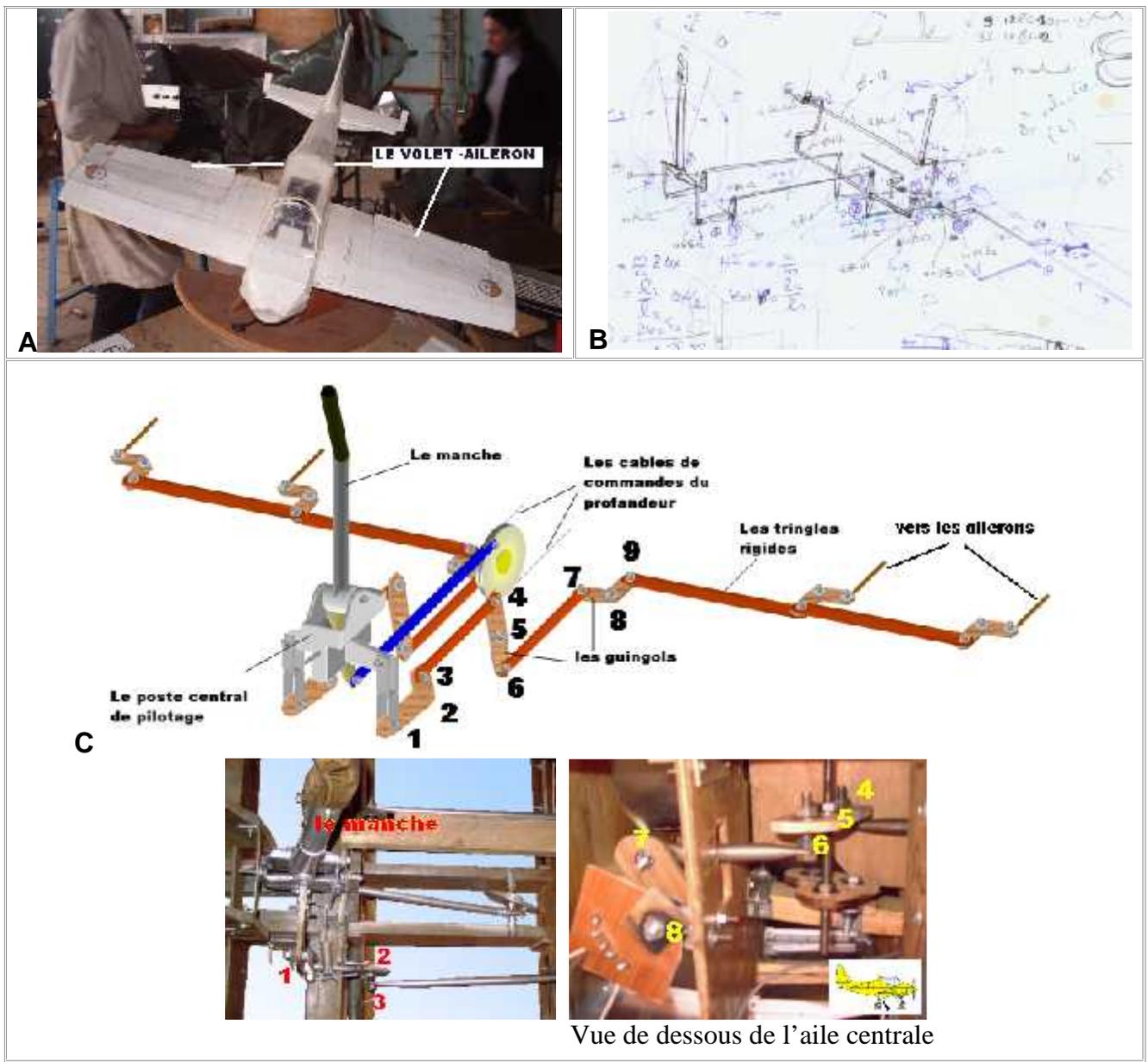


Fig. (V-23) Les commande de vol

Généralement, lorsque le pilote actionne le manche vers la gauche ( le levier des volets est fixe) le cycle des mouvement est le suivant Fig. (V-22 C) :

Le point gauche 1 va tourner vers le bas par rapport au point 2 qui est fixe au cadre D.  
Les points gauches 3 et 4 vont tourner vers l'avant

Le point gauche 6 va tourner vers l'arrière par rapport au point 5 qui est lié à la commande des volet (fixe).

Le point 7 va tourner vers l'arrière par rapport au point 8 qui est fixe au cadre F.

Le point 9 va tourner vers la gauche transmettant un mouvement qui pousse les volet vers le haut.

Et nous avons le cycle inverse à la partie droite.

Et lorsque le pilote actionne le levier des volets les deux points 5 gauche et droite vont reculer ou avancer en même temps, ce qui nous donne un mouvement identique dans les deux surfaces.

# *Conclusion*

Après les treize mois de conception et de construction de notre avion on a conclu que la précision des calculs et leurs expérimentations par les essais sont très importants avant l'engagement dans la réalisation.

Les problèmes vécus pendant la réalisation sont :

Premièrement le manque des matériaux aéronautiques dans le marché et le manque de l'outillage spécifique pour cette construction.

Deuxièmement le manque de finance qui nous a obligé d'aller chercher des sources d'argent nos administratifs (des contributions des personnes ...).

Et le plus grand obstacle c'est le temps, car 13 mois ne sont jamais suffisants pour la réalisation d'un avion.

Maintenant nous allons lancer un autre projet pour la finition de la réalisation de notre avion et d'optimisation de ses performances.

Finalement nous remercions tous ceux qui nous ont aidés et ... nous n'allons pas cesser de travailler jusqu'au ... voler *-inchaâ allah-*

# Annexe I

## La liste des modules de Young de matériaux

### Métaux

Matériaux	Module (MPa)
<u>Aluminium</u> (Al)	69 000
<u>argent</u> (Ag)	83 000
<u>Baryum</u> (Ba)	13 000
<u>Béryllium</u> (Be)	240 000
<u>Bismuth</u> (Bi)	32 000
<u>Cadmium</u> (Cd)	50 000
<u>Césium</u> (Cs)	1 700
<u>Chrome</u> (Cr)	289 000
<u>Cobalt</u> (Co)	209 000
<u>Cuivre</u> (Cu)	124 000
<u>Étain</u> (Sn)	41 500
<u>Fer</u> (Fe)	196 000
<u>Germanium</u> (Ge)	89 600
<u>Indium</u> (In)	110 000
<u>Iridium</u> (Ir)	528 000
<u>Lithium</u> (Li)	4 900
<u>Magnésium</u> (Mg)	45 000
<u>Manganèse</u> (Mn)	198 000
<u>Molybdène</u> (Mo)	329 000
<u>Nickel</u> (Ni)	214 000
<u>Niobium</u> (Nb)	105 000
<u>Or</u> (Au)	78 000
<u>Palladium</u> (Pd)	121 000
<u>Platine</u> (Pt)	168 000
<u>Plomb</u> (Pb)	18 000
<u>Plutonium</u> (Pu)	96 000
<u>Rhodium</u> (Rh)	275 000
<u>Rubidium</u> (Rb)	2 400
<u>Ruthénium</u> (Ru)	447 000
<u>Scandium</u> (Sc)	74 000
<u>Sélénium</u> (Se)	10 000
<u>Sodium</u> (Na)	10 000
<u>Tantale</u> (Ta)	186 000

<u>Titane (Ti)</u>	116 000
<u>Tungstène (W)</u>	406 000
<u>Uranium (U)</u>	208 000
<u>Vanadium (V)</u>	128 000
<u>Zinc (Zn)</u>	78 000
<u>Zirconium (Zr)</u>	68 000
Alliages	
<b>Matériaux</b>	<b>Module (MPa)</b>
<u>Acier</u> de construction	210 000
Acier à ressorts	220 000
<u>Acier inoxydable 18-10</u>	203 000
<u>Bronze (cuivre + 9 à 12% d'étain)</u>	124 000
Bronze au Béryllium	130 000
<u>Cuivre laminé U4 (Recuit)</u>	90 000
<u>Cuivre laminé U4 (Écroui dur)</u>	150 000
Duralumin AU4G	75 000
<u>Fontes</u>	83 à 170 000
Hastelloy B2 ( <u>Ni + Mo</u> )	217 000
Hastelloy C 2000 ( <u>Ni + Cr + Mo</u> )	206 000
Inconel X-750 ( <u>Ni + Cr + Fe</u> )	212 à 218 000
<u>Invar</u>	140 000
Monel 400 ( <u>Ni + Cu</u> )	173 000
Nimonic 90 ( <u>Ni + Cr + Co</u> )	213 à 240 000
Nispan ( <u>Ni + Cr + Ti</u> )	165 à 200 000
Phynox ( <u>Co + Cr + Ni + Mo</u> )	203 400

### Verres, céramiques, oxydes, carbures métalliques, minéraux

<b>Matériaux</b>	<b>Module (MPa)</b>
<u>Arsenic (As)</u>	8 000
Arséniure de gallium (AsGa)	85 500
<u>Béton</u>	27 000
Brique	14 000
<u>Calcaire (carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub>, pierres)</u>	20 à 70 000
<u>Carbure de chrome (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>)</u>	373 130
<u>Carbure de silicium (SiC)</u>	450 000
Carbure de Titane (TiC)	440 000
<u>Carbure de tungstène (WC)</u>	650 000
<u>Diamant (C)</u>	1 000 000
<u>Graphite</u>	30 000

<b><u>Granite</u></b>	60 000
<b><u>Marbre</u></b>	26 000
<b><u>Mullite (Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>)</u></b>	145 000
<b><u>Alumine (Oxyde d'Aluminium Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</u></b>	390 000
<b><u>Oxyde de béryllium (BeO)</u></b>	30 000
<b><u>Oxyde de magnésium (MgO)</u></b>	250 000
<b><u>Oxyde de zirconium (ZrO)</u></b>	200 000
<b><u>Saphir</u></b>	420 000
<b><u>Silice (oxyde de silicium SiO<sub>2</sub>)</u></b>	107 000
<b><u>Titanate d'aluminium (Ti<sub>3</sub>Al)</u></b>	140 000
<b><u>Titanate de baryum (BaTiO<sub>3</sub>)</u></b>	67 000
<b><u>Verre</u></b>	69 000

## **Bois**

<b>Matériaux</b>	<b>Module (MPa)</b>
<b><u>Acajou (Afrique)</u></b>	12 000
<b><u>Bambou</u></b>	20 000
<b><u>Bois de rose (Brésil)</u></b>	16 000
<b><u>Bois de rose (Inde)</u></b>	12 000
<b><u>Chêne</u></b>	12 000
<b><u>Contreplaqué glaw</u></b>	12 400
<b><u>Épicéa</u></b>	13 000
<b><u>Érable</u></b>	10 000
<b><u>Frêne</u></b>	10 000
<b><u>Papier</u></b>	3 000 à 4 000
<b><u>Séquoia</u></b>	9 500

## **Polymères, fibres, ...**

<b>Matériaux</b>	<b>Module (MPa)</b>
<b><u>caoutchoucs</u></b>	700 à 4 000
<b><u>Fibre de carbone</u></b>	190 000
<b><u>Kevlar</u></b>	34 500
<b><u>Nanotubes (Carbone)</u></b>	1 100 000
<b><u>Nylon</u></b>	2 000 à 4 000
<b><u>Plexiglas (Polyméthacrylate de méthyle)</u></b>	2 380
<b><u>Polyamide</u></b>	3 000 à 5 000
<b><u>Polycarbonate</u></b>	2 300

<b><u>Polyéthylène</u></b>	200 à 700
<b><u>Polystyrène</u></b>	3 000 à 3 400
<b><u>Résines époxy</u></b>	3 500

## **Biomatériaux**

<b>Matériaux</b>	<b>Module (MPa)</b>
<b><u>Cartilage</u></b>	24
<b><u>Cheveux</u></b>	10 000
<b><u>Collagène</u></b>	6
<b><u>Fémur</u></b>	17 200
<b><u>Humérus</u></b>	17 200
<b><u>Radius</u></b>	18 600
<b><u>Soie d'araignée</u></b>	60 000
<b><u>Tibia</u></b>	18 100
<b><u>Vertèbre cervicale</u></b>	230
<b><u>Vertèbre lombaire</u></b>	160

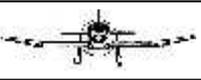
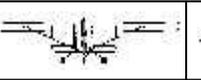
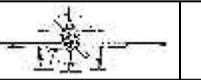
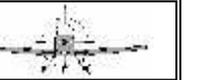
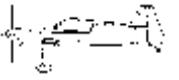
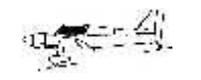
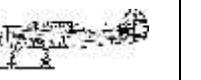
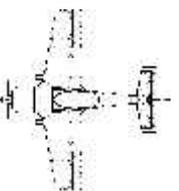
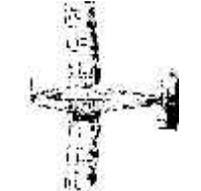
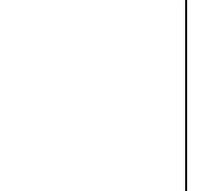
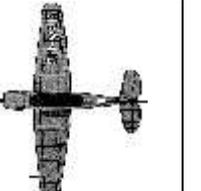
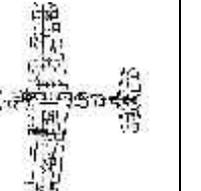
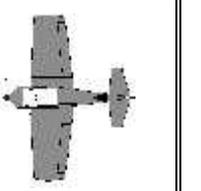
## Annexe II

*Tableau des correspondances des matériaux*

<b>Application commerciale</b>	<b>France norme NF</b>	<b>Allemagne norme DIN</b>	<b>USA norme ASTM</b>
Aluminium	<i>A.5</i>	<i>N°3.0255</i>	<i>1050</i>
	<i>A.45</i>	<i>N°3.0255.26</i>	<i>1100</i>
	<i>A.U4G</i>	<i>N° 3.1124</i>	<i>2017</i>
Duralumin	<i>A.UG1</i>	<i>N° 3.1354</i>	<i>2024</i>
	<i>A.UG1/PLAS</i>	<i>N° 3.1364.5</i>	<i>2024CLAD</i>
	<i>A.U2G</i>	<i>N° 3.13.5</i>	<i>2117</i>
	<i>A.U2GN</i>		
Duralunox	<i>A.G3</i>	<i>N° 3.3524</i>	<i>5052</i>
	<i>A.G5</i>	<i>N° 3.3555</i>	<i>5056</i>
	<i>A.G4MC</i>		<i>5086</i>
Zicral	<i>A.Z5GU</i>	<i>N° 3.4364</i>	<i>7075</i>
	<i>A.ZGU/PLAS</i>	<i>N° 3.4364.7</i>	<i>7075CLAD</i>
			<i>7079</i>
Almasilium	<i>A.G5</i>	<i>N° 3.3241.7</i>	<i>6061</i>
	<i>A.Y5GT</i>	<i>N° 3.2374.6</i>	<i>A.356</i>
Titane	<i>T.35</i>	<i>N° 3.7024.1</i>	<i>TI 30</i>
	<i>T.40</i>	<i>N° 3.7034.1</i>	<i>TI 45A</i>
	<i>T.A6V</i>	<i>N° 3.7164.1</i>	<i>6AL 4V</i>
Aciers	<i>Z10 CN18.9</i>		<i>AISI 301</i>
Inoxydables	<i>Z6 CN18.9</i>		<i>AISI 304</i>
	<i>Z6 CNT18.11</i>		<i>AISI 321</i>
	<i>Z6CNUD15.4</i>		<i>17.4 PH</i>
	<i>Z9 CN 17.7</i>		<i>17.7PH</i>
	<i>Z10 CNT18</i>		<i>AISI 347 ; 321</i>

## Annexe III

### Tableaux de comparaison des performances

COMPARATIF		U	AS-5	ZLIN Z-142 (FIRNAS-142)	JODEL D-140	CESSNA C-127	BABOO 01	YAKOVLEV YAK-18 A K-18 A	YAKOVLEV YAK-52 K-52	CHIRAD -1A
Les vues de l'avion	V. face									
	V. gauche									
	V. dessus									
Destination			voltige aérienne	entraînement - voltige (vol dos)	Entraînement-Tourisme	Entraînement-Tourisme	Expérimentale	entraînement - voltige (vol dos)	entraînement - voltige	Expérimentale
Construction			composites	Tubes soudés + une queue monocoque	bois		Tubes soudés	Tubes soudés	Tubes soudés	Bois
N° des sièges			1	2 cote à cote	4	4	2 cote à cote	2 en tandem	2 en tandem	1
Envergure	m		7.85	9.16	10,27	11	9,60	10.6	10.6	6.44
Longueur	m		5.7	7.33	7,92	8.2	6,50	8.35	8.18	5
Hauteur	m		/	2.75	/	/	/	3.35	3.25	2.65
Masse à vide	kg		352	745	610	1002	347	1025	1025	450
Masse maxi	kg		544	1090	1200	1157	562	1320	1316	600
Surface alaire	m²		/	13.15	18,50	/	11,52	17.8	17	9
Carburant interne	l		/	220	215	212	/	/	/	80
L'aile	Type		Trapézoïdal	Rectangulaire	Trapézoïdal + Aile centrale	Trapézoïdal + aile centrale	Rectangulaire	Trapézoïdal + aile centrale	Trapézoïdal	Trapézoïdal + aile centrale
	position		Médiane	basse	basse	haute	haute	basse	basse	basse
	Figure									
	Profil		Naca 23012	NACA 36-416.5	Naca 23015	Naca 2412	Naca 23012	CLARK YH	CLARK YH	Naca 4412
	F max / C	%	2		2	2	2	4	4	4
	E max / C	%	12	16.5	15	12	12	14	14	12
	fièche au ¼ de la corde		> 0°	< 0°	= 0°	= 0°	= 0°	= 0°	= 0°	= 0°
Le dièdre		0°	> 0°	= 0°	> 0°	= 0°	= 0°	> 0°	= 0°	> 0°
Allongement		/	6.38	/	/	/	8,00			4.61
Charge alaire maxi	kg/m²		/	82.88	64.86	/	48.78	74.16	77.41	66.67

Vitesse de décollage	km/h	/	100	/	/	/	/	/	110	
Vitesse de croisière	km/h	210	215	230	200	/	/	/	220	
Vitesse maxi	km/h	250	333	260	203	/	300	340	250	
Distance franchissable	km	/	/	/	1181	/	700	725	/	
Plafond pratique	km	/	/	/	4267	/	5060	5060	/	
Moteur	Constructeur	ROTAX	/	Lycoming	Lycoming	/	Ivchinko	Ivchinko	Volkswagen	
	Type	O200A	M 337 AK	O-360-A2A	IO-360-L2A	/	AI-14RF	AI-14R	Vw 1600	
	N <sup>br</sup> des cylindres	4 plats	6 en ligne	4 plats	4 plats	/	5 étoiles	9 étoiles	4 plats	
	Rotation	Tr/mn	2200	2400	2700	/	/	/	3900	
Puissance	cv	/	210	180	180	/	300	260	40	
Hélice	N <sup>br</sup> des pales	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Pas	/	variable	fixe	fixe	/	variable	variable	fixe	
	Diamètre	m	1.6	2	1.96	/	/	2.3	2.3	1.20
	Rotation	Tr/mn	2200	2400	2700	/	/	/	/	3900
Trains	Type	classique	tricycle	classique	tricycle	classique	tricycle	tricycle	tricycle	
	Manœuvre	fixe	fixe	fixe	fixe	fixe	(Semi)-Escamotable	(Semi)-Escamotable	fixe	



# Bibliographie

Les ouvrages		La Langue
01	<b>Cellules et systèmes</b> <i>A.Paujade</i> édition 1991 Institut d'Aéronautique Jean Mermoz	<i>français</i>
02	<b>Cellules - circuits</b> <i>J.C Ripoll</i> 3 <sup>ème</sup> édition 1990 ENAC	<i>français</i>
03	<b>Cellules et systèmes d'aéronefs</b> <i>Didier Féminier</i>	<i>français</i>
04	<b>Initiation à l'aéronautique</b> <i>Thierry du PUY de GOYNE-Yves PLAY- Patrick LEPOURRY-Jacque BESSE</i> 3 <sup>ème</sup> édition CEPADUES-EDITIONS	<i>français</i>
05	<b>Technologie des aéronefs</b> [E-Book] <i>Frederic willot</i>	<i>français</i>
06	<b>Aircraft general knowledge</b> Oxford aviation training	<i>Anglais</i>
07	<b>Guide de dessinateur industriel</b> <i>A. Chevalier</i>	<i>français</i>
08	<b>Hélicoptère Mécanique du vol appliqué</b> <i>J. Heurtaux</i>	<i>français</i>
09	صفحات من تاريخ الطيران خليفة عيسى 2002	<i>Arabe</i>
10	[E-Book] مدخل في الطيران الدكتور ياسر كلية هندسة الطيران جامعة	<i>Arabe</i>
11	- موسوعة بهجة المعرفة - د. كريم عزقول - الصادق النهيوم. الشركة العامة للنشر والتوزيع والإعلام طرابلس ليبيا Printed in switzerland 30-07-1981	<i>Arabe</i>
12	<b>L'encyclopédie VU</b> <i>GUILLIMARD Jeuness</i> Edition revue et augmentée PARTENAIRE LIVRE 1997	<i>Français</i>
13	<b>Glossaire aéronautique anglais -français</b> [E-Book] <i>Paul jean gille</i> juillet 1998	/
14	<b>Technologie du YAK 18 T</b> [E-Book] -18 Federation of the Amateurs of the Aviation of Russia UTVERZH Moscow 2001 2001 Avec plusieurs plans de cet avion	<i>Russe</i>
15	<b>Technologie du YAK 52</b> [E-Book] -52 Federation of the Amateurs of the Aviation of Russia UTVERZH Moscow 2001 2001 Avec plusieurs plans de cet avion	<i>Russe</i>
16	<b>Technologie du WILGA</b> [E-Book] (ВМЛАГТ)-35А Federation of the Amateurs of the Aviation of Russia UTVERZH Moscow 2001 2001 Avec plusieurs plans de cet avion	<i>Russe</i>
<b>Les sites</b>		
17	<b>Configuration d'avion</b> <i>Gaetan Pichon</i> <a href="http://www.avionslegendaires.net">www.avionslegendaires.net</a>	<i>Français</i>
18	<b>Histoire de l'aviation</b> <a href="http://www.perso.orange.fr/ecole.chabure/index.htm">www.perso.orange.fr/ecole.chabure/index.htm</a>	<i>Français</i>
19	<b>Description des principaux organes d'un avion léger</b> <a href="http://www.volez.net">www.volez.net</a>	<i>Français</i>
20	<b>Histoire de l'aviation</b> <i>Jimmy Wales</i> <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a>	<i>Français</i>
21	<b>Aircraft Landing Gear Layouts</b> <i>Jeff Scott</i> , October 2004. <a href="http://www.aerospacweb.org">www.aerospacweb.org</a>	<i>Anglais</i>
22	<b>Structure, cellule et description du MiG 21 BIS</b> <a href="http://www.mig21.de">www.mig21.de</a>	<i>Allemand</i>
23	<b>L'évolution de l'aviation</b> <i>Leroy M. &amp; Lebrun PH</i> <a href="http://www.poluxweb.free.fr">www.poluxweb.free.fr</a>	<i>Français</i>
24	<b>STOL CH-810 landing gear design</b> <a href="http://www.zanithair.com">www.zanithair.com</a>	<i>Anglais</i>
25	<b>Les Prototypes à réaction de Sukhoï. SU-17 R</b> <a href="http://www.prototypes.free.fr">www.prototypes.free.fr</a>	<i>français</i>

Les Mémoires		
26	<b>Réalisation d'une aile d'avion léger de reconnaissance</b> Option structure 2002-2003	
Les CD		
27	<b>Monde des avions</b>	Français
Les Manuels		
28	<b>SRM structural repair manual B737-800</b>	Anglais
Photographie		
29	<a href="http://www.air-and-space.com">www.air-and-space.com</a>	Anglais
30	<b>Russian Aircraft Camouflage Colores</b> <a href="http://www.racc.ru">www.racc.ru</a>	Anglais
31	<a href="http://www.airliners.net">www.airliners.net</a>	Français
32	<a href="http://www.paulnann.com">www.paulnann.com</a>	Français
33	<b>Aviation Picture Library</b> <a href="http://www.click.adbrite.com">www.click.adbrite.com</a>	Anglais
34	<b>Aviation Art Darryl Legg</b> <a href="http://www.aviationartsa.com">www.aviationartsa.com</a>	Anglais
35	<b>Algerian air force</b> <a href="http://www.membres.lycos.fr/algaf">www.membres.lycos.fr/algaf</a>	français
36	<b>Algerian air force aircrafts profils</b> <a href="http://www.acig.org">www.acig.org</a>	Anglais
37	<b>SR-71</b> <a href="http://www.xp-office.de">www.xp-office.de</a>	Allemand
38	<b>Appareils légendaires</b> <a href="http://www.autodrome-cannes.com">www.autodrome-cannes.com</a>	français
39	<b>Avion dieslis</b> <a href="http://www.ipsa.net">www.ipsa.net</a>	français
40	<b>Plans et 3 vus des avions</b> <a href="http://www.richard.ferriere.free.fr/3vues.htm">www.richard.ferriere.free.fr/3vues.htm</a>	français
41	<b>Technologie d'un avion léger en bois</b> <a href="http://www.aviation-fr.info">www.aviation-fr.info</a>	français
42	<b>CD-Microsoft combat Flight simulator 39-45</b>	français
43	<b>CD-Microsoft Flight simulator 2002</b>	Anglais
44	<b>CD-M 29 fulcrum (simulator) Nova logic</b>	Anglais - russe
<p>... Et des fiches techniques et des plans tirés des sites :</p> <p><a href="http://www.mkmagazin.almanacwhf.ru">www.mkmagazin.almanacwhf.ru</a> (russe)  <a href="http://www.richard.ferriere.free.fr">www.richard.ferriere.free.fr</a> (français - anglais)</p> <p style="text-align: right;">des plusieurs sources</p>		
<b>avions légers :</b>		
<p><b>Yakovlev (ЯК) :</b> <u>Yak 1, Yak 9, Yak 18A, Yak18T, Yak 20, Yak 52,</u>  <b>Zlin :</b> <u>Z-142 (Firmas), Z-42M, Z-43(Safir).</u>  <b>Cessna :</b> <u>C-127,C-150</u>  <b>Beechcraft</b> <u>T34, As-05 (cap 222), Zodiac XL,Baboo 01,Dieslies,</u>  <b>HM 380 (pou du ciel), Jodel D 140, Piper PA 38, PZL (ПЗЛ) 23,  <b>La(ЛА) 11. WILGA (БЛАБТА)-35A</b></b></p>		
<b>Autre avions :</b>		
<p><b>MiG (МиГ)-21BIS, Su (Су)-17R, MiG (МиГ)-17F, Ilyouchine (Ил)-28,</b>  <b>Yak (ЯК)-15, F 16, MBR (МБР)-2, La (ЛА)-15</b></p>		
<b>Hélicoptères :</b>		
<p><b>Aérospatial : AS-355 Ecureuil, SA-318 Alouette II.</b>  <b>Mil Mi (Ми)-2</b></p>		

[E-Book] Electronic Book :

*livre électronique (de forme PDF ou DOC)*