

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

Ecole Nationale Supérieure Polytechnique



Département de Génie Mécanique

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'Etat en Génie Mécanique

THÈME

ETUDE D'UN SYSTÈME DE VOLET POUR
AVION CIVIL PAR SOLIDWORKS

Etudié par:

FORTAS ISMAIL

Proposé et dirigé par :

M^r. L.RIACHE

Juillet 2011

E.N.S.P 10, Avenue Hassan Badi, EL-HARRACH, ALGER
Tél : (021) 52.14.92 Fax : (021) 52.29.73 Web: www.enp.edu.dz

DÉDICACE

Je dédie ce travail

A ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me soutenir, à ceux qui leur amour m'a donné la volonté d'aller toujours de l'avant,

A mes très chers parents, qu'Allah les protège

A mes frères et sœurs

A mes grand-mères

A toute ma famille et tous mes amis

ISMAIL

REMERCIEMENT

Je remercie en premier lieu ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé et le pouvoir d'accomplir ce modeste travail.

Je remercie mes parents pour leur patience, leurs encouragements et leur soutien.

Mes remerciements vont à M. L.RIACHE d'avoir accepté de m'encadrer, de leur précieuse conseil et de leur disponibilité.

J'adresse également mes remerciements à tous les membres du jury qui ont pris le soin de consulter mon document.

Enfin, je ne terminerai pas sans remercier tous les enseignants du Département pour la qualité de leurs cours ainsi que toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu.

ملخص

الهدف من هذا المشروع هو دراسة وتصميم مصراع طائرة مدنية في مرحلة الهبوط. وقد بدأنا بشرح مكوناته ثم بحساب المكونات الأساسية. وتم هذا التصميم بواسطة برنامج السوليدوركس
الكلمات المفتاحية: مصراع, سوليدوركس .

Résume

L'objectif de ce projet est l'étude et la conception d'un volet d'avion civil dans la phase d'atterrissage.

On a commencé par description du système de volet puis le calcul des principaux organes, La conception est faite par le logiciel SolidWorks.

Mots clés: **VOLET, SOLIDWORKS.**

Abstract

The objective of this project is the study and the design of a flap of civil aircraft in the phase of landing.

We started with system description of flap then calculation of the principal organs. The design is made by the software SolidWorks.

Key words: **FLAP,SOLIDWORKS**

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
Chapitre I : GENERALITES.....	3
I.1 L AILE.....	4
I.1.1 Répartition des pressions et des vitesses autour d'un profil.....	4
I.1.2 Résultante aérodynamique R.....	5
I.1.3 Force de portance.....	6
I.1.4 Force de Trainée.....	7
I.2 LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS.....	8
I.2.1 But.....	8
I.2.2 Dispositifs de bord d'attaques.....	10
I.2.3 Dispositifs de bord de fuite.....	14
Chapitre II:DESCRIPTION DU SYSTEME	19
II.1 SCHEMA CINEMATIQUE.....	20
II.2 LES ELEMENTS CONSTITUTIFS.....	21
II.3 ETUDE CINEMATIQUE.....	23
II.3.1 Calcul abscisse.....	24
II.3.2 Calcul la vitesse.....	25
II.3.3 Calcul l'accélération.....	26
Chapitre III:CALCUL DYNAMIQUE.....	28
III.1 CALCUL DE VOLET.....	29
III.1.1 calcul la force appliquée sur le volet.....	29
III.1.2 calcul la surface de volet.....	30
III.1.3 calcul du rivet.....	32
III.2 CALCUL LE BRAS DE COMMANDE.....	34
III.2.1 CALCUL DU COUPLE MOTEUR A TRANSMETTRE SUR LE BRAS DE	

SOMMAIRE

COMMANDE	34
III.2.2 DIMENSION LE BRAS DE COMMANDE.....	37
III.3 CALCUL DU TOURILLON.....	40
III.4 CALCUL DE LA CLAVETTE.....	41
III.4.1 Calcul les dimensions de clavette.....	41
III.4 CALCUL DES CANNELURES.....	43
III.5 DIMENSION DE JOINT DE CARDAN.....	45
III.6 DIMENSION DE CHARIOT ET LA RAIL DE GUIDAGE.....	45
Chapitre IV. ETUDE TECHNOLOGIQUE.....	48
IV.1 INTRODUCTION.....	49
IV.2 LOGICIEL SOLIDWORKS.....	49
IV.3 VOLET.....	51
IV.3.1 Volet sans support.....	51
IV.3.2 Supports de volet.....	52
IV.4 CHARIOT ET RAIL DE GUIDAGE.....	54
IV.4.1 Rail de guidage	54
IV.5 JOINT DE CARDAN.....	56
IV.6 ACCOUPLEMENT RIGIDE.....	57
IV.7 ARBRE	59
IV.8 LE BRAS.....	61
IV.9 ASSEMBLAGE VOLET AVEC CHARIOT ET RAIL.....	62
IV.10 ASSEMBLAGE LE SYSTEME DE VOLET	63
CONCLUSION GENERALE.....	65
BIBLIOGRAPHIE.....	66
ANNEXE	67

LISTE DES FIGURES

Fig. I.1. Expérience de profil à incidence nulle.....	4
Fig. I.2. Répartition des pressions autour d'un l'ail.....	5
Fig. I.3. Composantes de R.....	6
Fig. I.4. $c_z = f(\alpha)$ d'un profil du NACA 23012.....	7
Fig. I.5. $c_x = f(\alpha)$ d'un profil du NACA 23012.....	8
Fig. I.6. La distance de décollage ou d'atterrissage.....	9
Fig. I.7. Répartition des pressions au décollage ou l'atterrissage.....	10
Fig. I.8. Courbe de $c_z = f(\alpha)$ avec becs et sans becs.....	11
Fig. I.9. Répartition des pressions du bec de bord d'attaque.....	11
Fig. I.10. Bec de bord d'attaque A300.....	12
Fig. I.11. Répartition des pressions du volet à cambrure variable.....	12
Fig. I.12. Volet à cambrure variable B747.....	13
Fig. I.13. Répartition des pressions du volet Krueger.....	13
Fig. I.14. Volet Krueger B727.....	14
Fig. I.15. Courbe de $c_z = f(\alpha)$ pour 3 braquages de volets.....	15
Fig. I.16. Volet d'intrados.....	16
Fig. I.17. Volet de courbure.....	16
Fig. I.18. Volet de courbure à fente.....	17
Fig. I.19. Volet Fowler.....	17
Fig. I.20. Volet multi-fente.....	18
Fig. I.21. Volet triple fente B727.....	18
Fig. II.1. Schéma cinématique de commande de volet avion.....	20
Fig. II.2. Manette des volets.....	21
Fig. II.3. Schéma cinématique du différentiel d'actionneur hydro-mécanique.....	22
Fig. II.4. Joint de cardan.....	24

LISTE DES FIGURES

Fig. II.5.Principe de système du bras de commande.....	24
Fig. II.6.Courbe des abscisses.....	25
Fig. II.7.Courbe des V_x	26
Fig. II.8.Courbe des V_z	26
Fig. II.9.Courbe des γ_x	27
Fig. II.10.Courbe des γ_z	27
Fig. III.1.Evolution de Z air en fonction de l'inclinaison des volets.....	29
Fig. III.2.La force \vec{F}_{air} exercée sur le volet3	30
Fig. III.3.Polaires des profils.....	31
Fig. III.4.Assemblage par rivet.....	32
Fig. III.5.L'épaisseur de tôle e	33
Fig. III.6.Disposition des rivures.....	34
Fig. III.7.Paramétrage d'un mécanisme de guidage de volet.....	35
Fig. III.8.Dimension de cornières.....	38
Fig. III.9.Dimensions d'une clavette parallèle.....	41
Fig. III.10.Cannelure à flancs parallèle.....	45
Fig. III.11.Cardan série 08.100	45
Fig. III.12.Dimension du chariot.....	46
Fig. III.13.Dimension du rail de guidage.....	47
Fig. IV.1.Obtention d'un cylindre par Base / Bossage extrudé.....	49
Fig. IV.2.Obtention un perçage sur un cylindre.....	50
Fig. IV.3.Partie 1 de volet.....	51
Fig. IV.4.Partie 2 de volet.....	52
Fig. IV.5.Assemblage de volet sans support.....	52
Fig. IV.6.Support 1 et 2de volets.....	53

LISTE DES FIGURES

Fig. IV.7.Support 3 de volet.....	53
Fig. IV.8.Assemblage de volet et les 3 supports par les rivets.....	54
Fig. IV.9.Rail de guidage.....	55
Fig. IV.10.Chariot.....	55
Fig. IV.11.L'assemblage entre le chariot et le rail de guidage.....	56
Fig. IV.12.L'assemblage de joint de cardan.....	57
Fig. IV.13.Accouplement rigide.....	58
Fig. IV.14.Assemblage de joint de cardan et l'accouplement.....	58
Fig. IV.15.Arbre.....	59
Fig. IV.16.Assemblage arbre et joint de cardan par accouplement.....	59
Fig. IV.17.Assemblage arbre et bâti.....	60
Fig. IV.18.Assemblage arbre, bâti et clavette.....	60
Fig. IV.19.Assemblage le système qui commande le volet.....	61
Fig. IV.20.Assemblage le volet avec système de commande.....	62
Fig. IV.21.Assemblage de volet avec chariot.....	62
Fig. IV.22.Assemblage système volet avec capo en position rentrée	63
Fig. IV.23.Assemblage système du volet avec capot en position sortie	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1.Dimension de cornières égales.....	38
Tableau III.2. p_a de matage (en MPa)	42
Tableau III.3.Dimension normalisé de la clavette parallèle.....	42
Tableau III.4.Dimension normalisé des cannelures à flancs parallèle	44
Tableau III.5.Dimension de joint de cardan série 08.100.....	45
Tableau III.6.Capacités de charge du chariot et du rail de guidage.....	46
Tableau III.7.Dimension du chariot	47
Tableau III.8.Dimension du rail de guidage	47

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'avion est composé de plusieurs structures aéronautiques bien précises. Parmi ces structures, les ailes qui sont étudiés pour avoir la meilleure finesse à la vitesse de croisière. Pour augmenter la portance à basse vitesse, en particulier pendant les phases de décollage et d'atterrissage, des conceptions d'artifices aérodynamiques sont faite pour améliorer les dispositifs hypersustentateurs.

Ces dispositifs permettent d'obtenir une portance plus forte à faible vitesse. Il existe deux familles de dispositifs hypersustentateurs qui sont: les dispositifs de bord d'attaque (becs) et ceux de bord de fuite (volets).

Les volets de bord de fuite sont des surfaces mobiles que l'on peut incliner vers le bas. Ils se situent sur le bord arrière de l'aile. Ils en occupent entre $1/3$ et $2/3$ de la longueur. Ils sont entièrement déployés pour l'atterrissage et au tiers pour le décollage.

L'objectif principal de ce projet est la conception d'un système de volet pour avion civil, l'étude est focalisée sur les calculs des organes du système de volet par les théorèmes des résistances des matériaux et les catalogues, puis la conception de ces organes par le logiciel SolidWorks, et enfin l'animation du système de volet par le même logiciel.

Le mémoire est composé de quatre chapitres. Dans le premier chapitre on traite les généralités sur les volets et les différents types des volets.

Dans le deuxième chapitre, on procède à la description du système de commande du volet et on limite l'étude à partir du joint de cardan jusqu'au le volet et l'étude cinématique de déplacement du bras de commande.

Dans le troisième chapitre, on fait les calculs dynamiques des pièces essentielles pour déterminer les dimensions de chacune.

Dans le quatrième chapitre, on se basant sur l'étude établie auparavant, on entame l'étude technologique du système à l'aide du logiciel de CAO, SOLIDWORKS de tout le système et on termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I
GENERALITES

I.1 L AILE

I.1.1 Répartition des pressions et des vitesses autour d'un profil

En mécanique des fluides l'écoulement de l'air autour d'un profil peut être assimilé à l'écoulement de l'air dans une tuyère.

En effet, prenons par exemple un profil plan convexe comme sur le schéma ci-dessus, placé à incidence nulle dans un écoulement d'air.

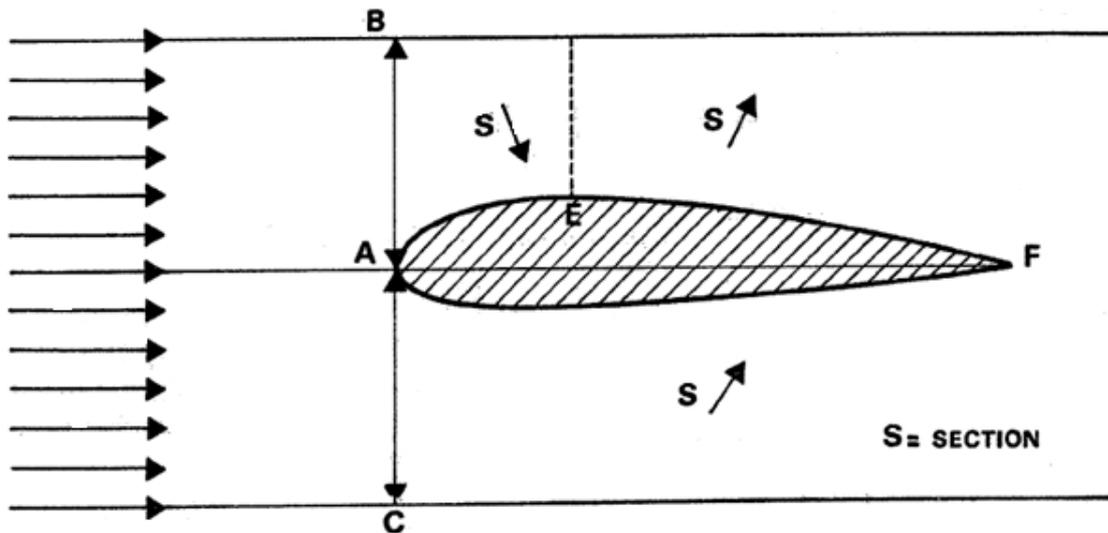


Fig. I.1 Expérience de profil a incidence nulle [1]

Il s'ensuit que l'écoulement d'air se fait:

- A l'extrados le profil de A à E dans un converge et de E à F dans un diverge.
- A l'intrados le profil dans diverge seulement.

Les variations de pression et de vitesse seront alors régies en fluide incompressible par :

- La loi de conservation du débit ($SV=cste$)
- La loi de conservation de l'énergie (théorème de Bernoulli $+\frac{1}{2}\rho V^2 = cte$).

Ce qui donne :

- A l'extrados: de A à E $S \searrow \quad V \nearrow$ (conservation du débit)
- $V \nearrow \quad P \searrow$ (conservation de l'énergie)
- de E à F $S \nearrow \quad V \searrow \Rightarrow P \nearrow$

Donc: cette accélération des filets d'air l'extrados de l'aile crée une **zone de dépression** qui sera maximum en E.

- A l'intrados : de A à F $S \nearrow \quad V \searrow \Rightarrow P \nearrow$

Donc cette décélération des filets d'air à l'intrados de l'aile crée une **zone de pression**.

- L'impact des filets d'air sur le bord d'attaque crée une **zone de surpression** en amont de ce dernier. [1]

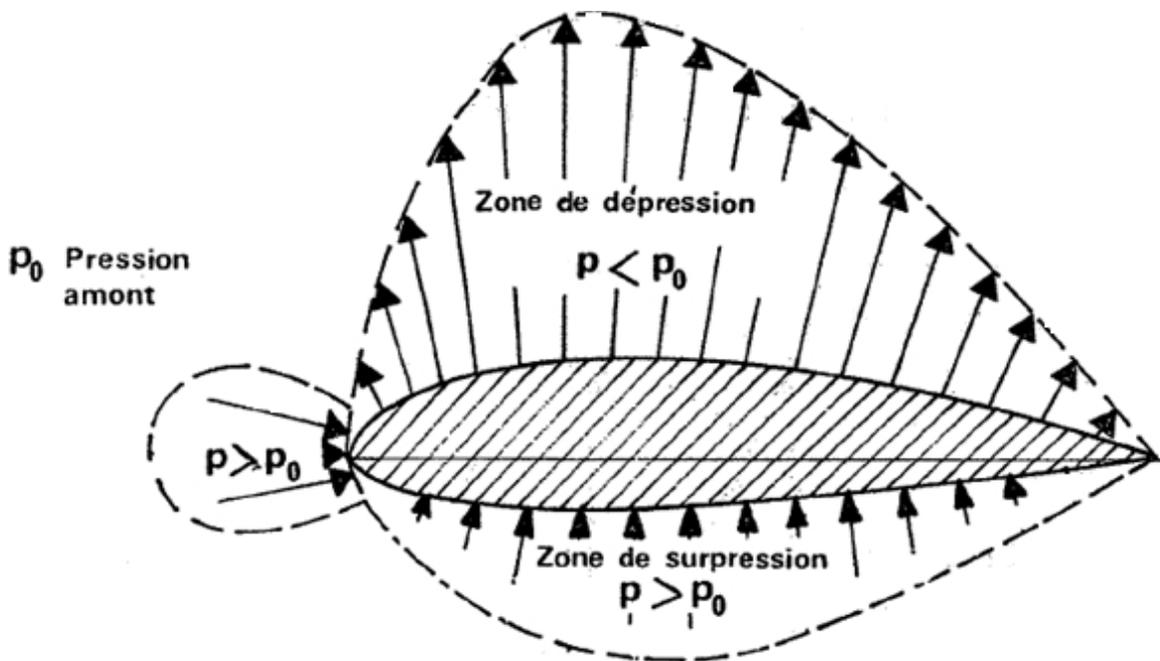


Fig. I.2 Répartition des pressions autour d'un l'ail [1]

I.1.2 la Force résultante aérodynamique R

I.1.2.1 Origine de R

Si l'on décompose la surface de l'aile en petites surfaces élémentaires, la pression sur chacune de ces surfaces crée une force s'exerçant normalement à la paroi et produit de la pression par la surface.

De plus les frottements de l'air sur la paroi qui engendre la couche limite créent en chaque point de la paroi une force tangentielle.

Il y a donc autour de l'aile une répartition de forces normales tangentielles.

Toutes ces forces admettent une force résultante **R** appelée **résultante aérodynamique** [1].

I.1.2.2 Caractéristiques de R

- Point d'application: Centre de poussée
- Direction : oblique par rapport aux filets d'air
- Intensité : $R = \frac{1}{2} \rho V^2 S c_R$ (I.1)

En effet R est proportionnel à

- La pression dynamique ($\frac{1}{2}\rho V^2$)
- La surface référence (S)
- Coefficient aérodynamique (c_R) qui tient compte de tout ce qui est difficile à chiffrer, à savoir
 - ✓ La forme de profil
 - ✓ L'état de surface du profil
 - ✓ L'incidence du profil

Le résultant aérodynamique R se décompose en 2 forces :

- L'une parallèle à l'écoulement de l'air : la force de **TRAINÉE** (F_X)
- L'autre perpendiculaire à l'écoulement de l'air : la force de **PORTANCE** (F_Z).

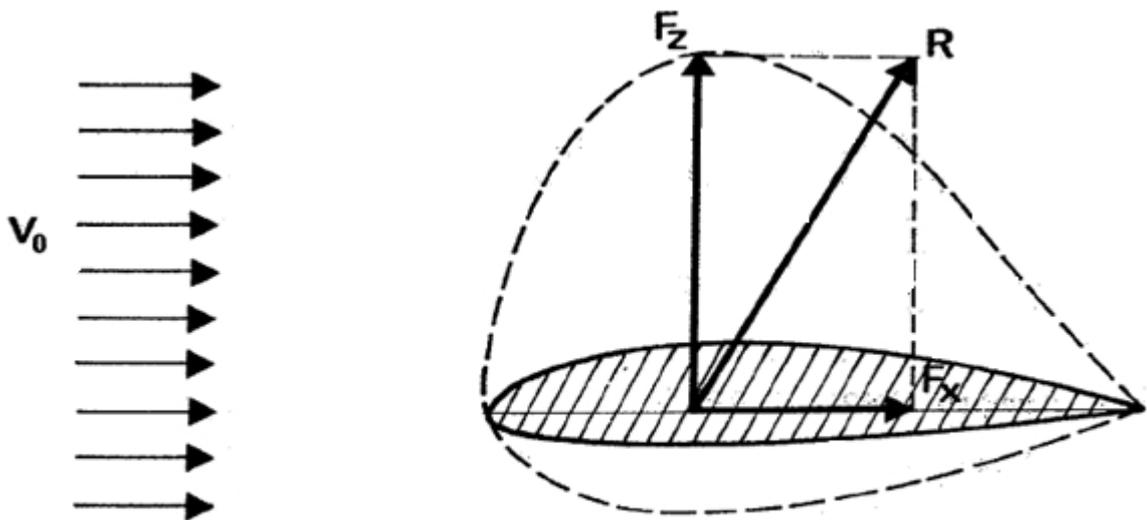


Fig. I. 3 Composantes de R [1]

I.1.3 Force de portance F_Z

La force de portance est caractérisé par :

- Point d'application: centre de poussée
- Direction: perpendiculaire à l'écoulement de l'air

$$\text{Intensité: } F_Z = \frac{1}{2}\rho V^2 S c_z \quad (\text{I.2})$$

La portance dépend de plusieurs variables :

- ✓ La masse spécifique (ρ)
- ✓ La vitesse (V)
- ✓ L'incidence (α) par c_z

Il est donc plus commode de raisonner sur c_z qui n'est fonction que d'une variable α .

On peut déterminer par la formule : $c_z = \frac{2F_z}{\rho V^2 S}$ (I.3)

On peut ainsi déterminer la valeur de c_z pour chaque valeur de α , ce qui permet de construire la courbe de $c_z = f(\alpha)$.

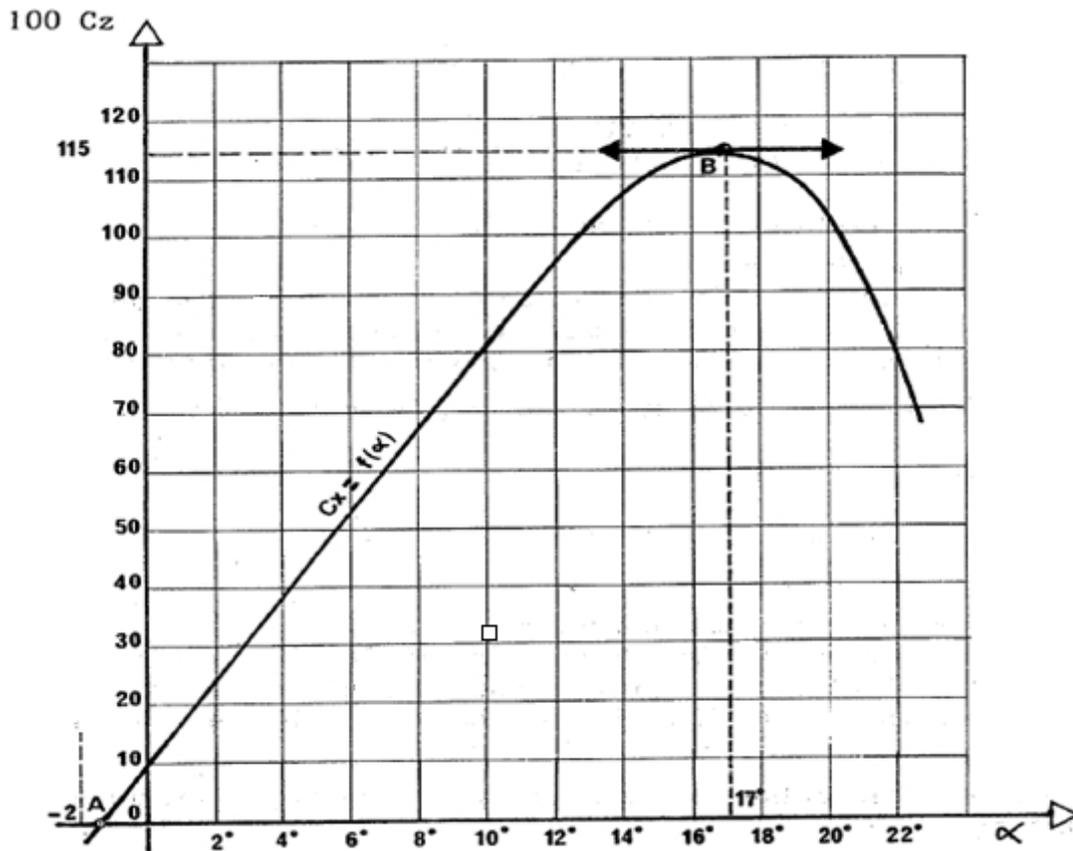


Fig. I.4 $c_z = f(\alpha)$ d'un profil du NACA 23012[1]

I.1.4 Force de Trainée F_x

La force de traînée est caractérisé par :

- point d'application: centre de poussée
- direction: parallèle à l'écoulement de l'air
- intensité: $F_x = \frac{1}{2} \rho V^2 S c_x$ (I.4)

La traînée dépend de plusieurs variables :

- ✓ La masse spécifique (ρ)
- ✓ La vitesse (V)
- ✓ L'incidence (α) par c_x

Il est donc plus commode de raisonner sur c_z qui n'est fonction que d'une variable α .

On peut déterminer par la formule : $c_x = \frac{2F_x}{\rho V^2 S}$ (I.5)

On peut ainsi déterminer la valeur de c_z pour chaque valeur de α , ce qui permet de construire la courbe de $c_x = f(\alpha)$. [1]

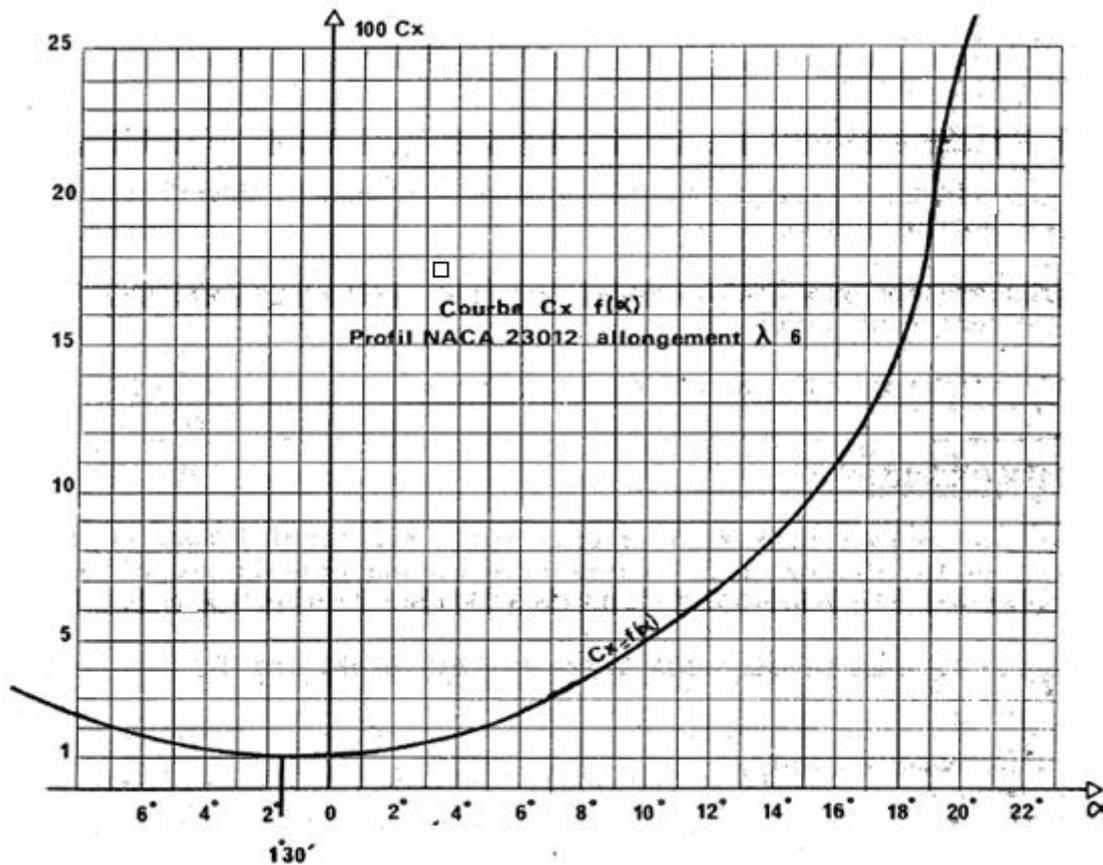


Fig. I.5 $c_x = f(\alpha)$ d'un profil du NACA 23012[1]

I.2 LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS

I.2.1 But

Les dispositifs hypersustentateur ont pour but de diminuer les distances nécessaire à l'avion tant au décollage qu'à l'atterrissage.

La distance nécessaire est :

$$L = \frac{v^2}{2\gamma} \tag{I.6}$$

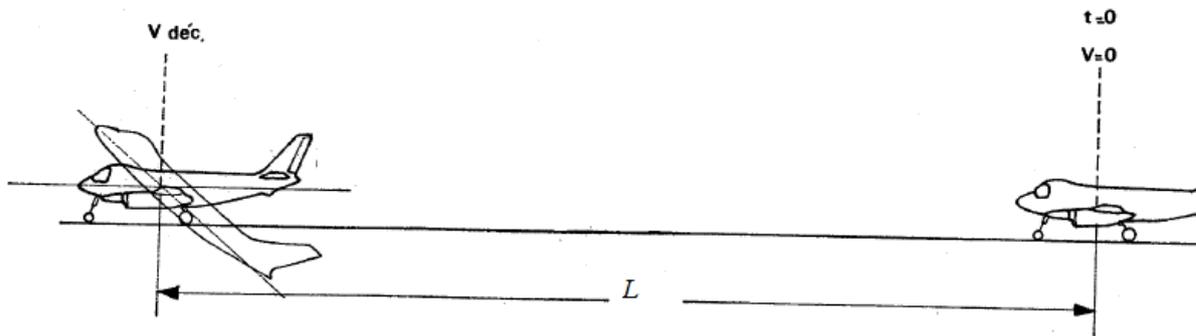


Fig. I.6 La distance de décollage ou d'atterrissage [1]

Les dispositifs sont généralement constitués par des volets. Selon leurs positions, on distingue les volets de bord de fuite et les volets de bord d'attaque.

Leurs principes sont essentiellement les mêmes : augmenter la courbure de l'aile et, selon le type utilisé, augmenter aussi la surface de l'aile.

En technique utilisation : les vitesses de décollage et d'atterrissage sont fonction de la vitesse de décrochage (V_s).

En mécanique du vol : la vitesse de décrochage (vitesse minimale) est donnée par la relation :

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2p}{\rho c_{zmax} S}} \quad (I.7)$$

En particulier :

$$\begin{array}{c}
 S \nearrow \quad \text{OU} \quad c_{zmax} \nearrow \\
 \downarrow \\
 V_{min} \searrow \\
 \text{v décollage, v atterrissage} \searrow \\
 \downarrow \\
 \mathbf{L} \searrow
 \end{array}$$

Donc c'est le but des dispositifs hypersustentateur [2].

I.2.2 Dispositifs de bord d'attaques

I.2.2.1 But

Au décollage, mais surtout à l'atterrissage, la vitesse est réduite, le pilote cabre afin d'augmenter l'angle d'incidence de façon à augmenter le c_z . dans cette configuration, la répartition des pressions autour du profil est la suivante :

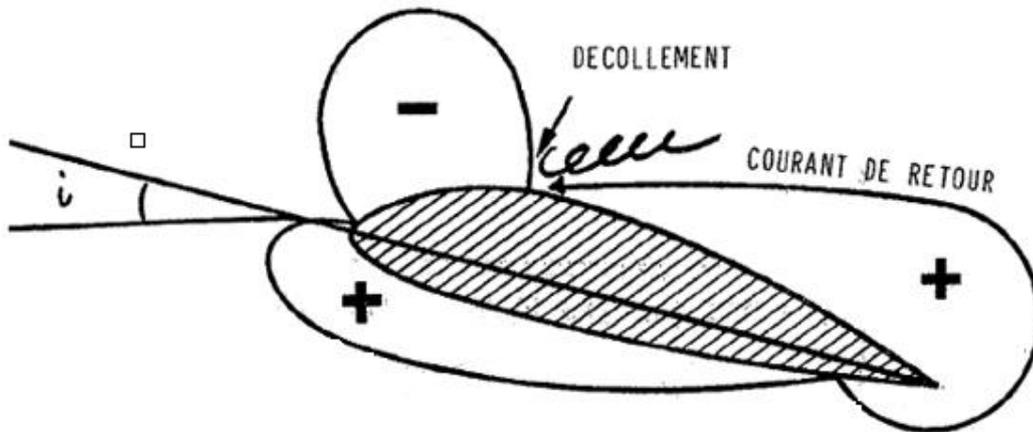


Fig. I.7 Répartition des pressions au décollage ou l'atterrissage [2]

On cherche, en modifiant la forme du bord d'attaque, à éviter les survitesses à cet endroit, car ces survitesses favorisent le décollement des filets d'air sur l'extrados.

Les dispositifs de bord d'attaques permettent d'augmenter le c_{zmax} par augmentation d'incidence.

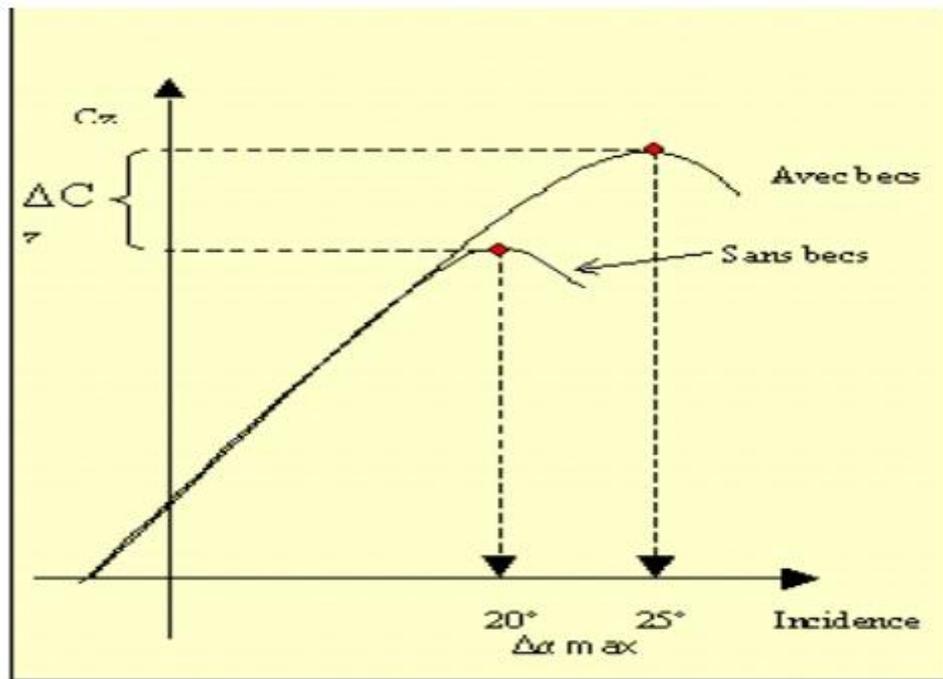


Fig. I.8 Courbe de $c_z = f(\alpha)$ avec becs et sans becs [3]

I.2.2.2 Différent types

A) Becs de bord d'attaque

Dans ce cas, le bord d'attaque de l'aile se déplace vers l'avant et vers le bas. Il crée une fente formant un convergent. L'aire va accélérer la couche limite et faire reculer la zone de décollement

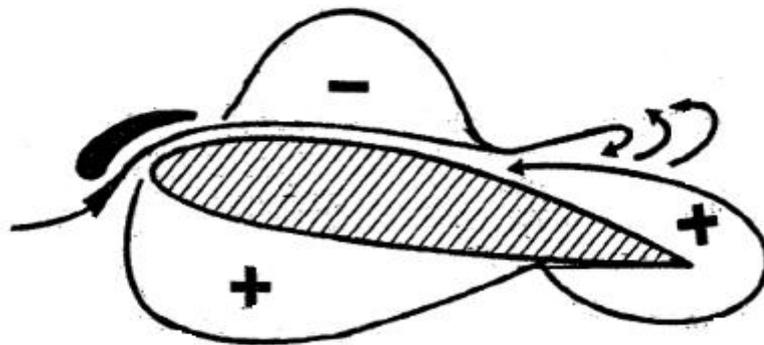


Fig. I.9 Répartition des pressions du bec de bord d'attaque [2]

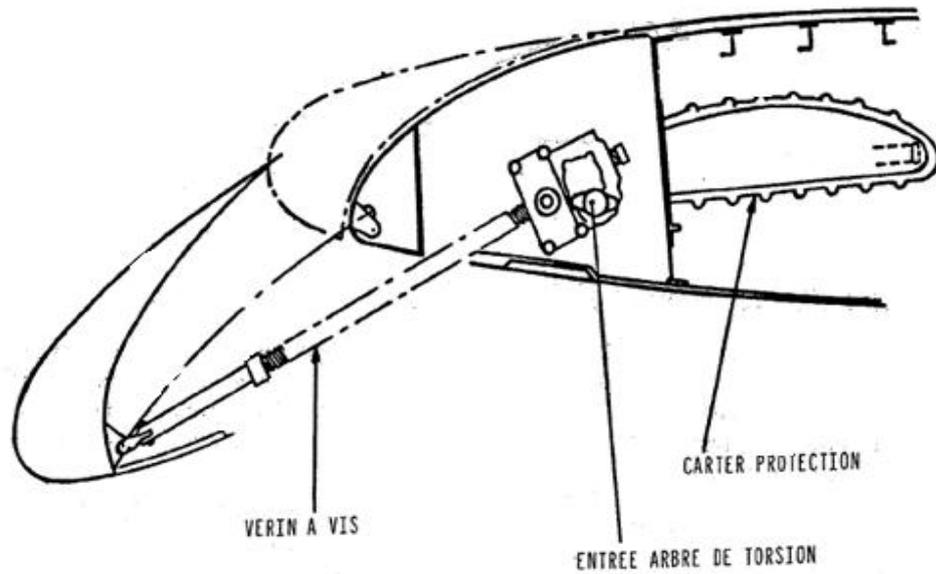


Fig. I.10 Bec de bord d'attaque A300 [2]

B) Volets a cambrure variable

Ce volet étant cambre, il augmente le rayon du bord d'attaque et prolonge la courbure du profil vers l'avant et vers le bas. La création d'un effet de fente produit le même effet que pour le bec de bord d'attaque.

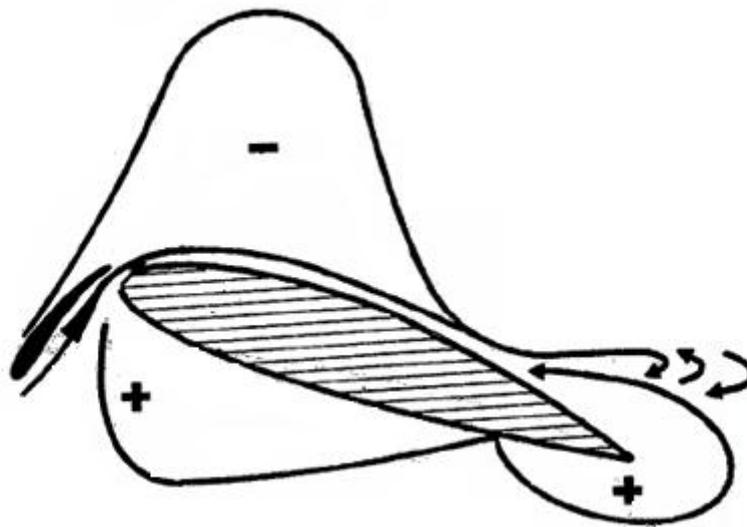


Fig. I.11 Répartition des pressions du volet a cambrure variable [2]

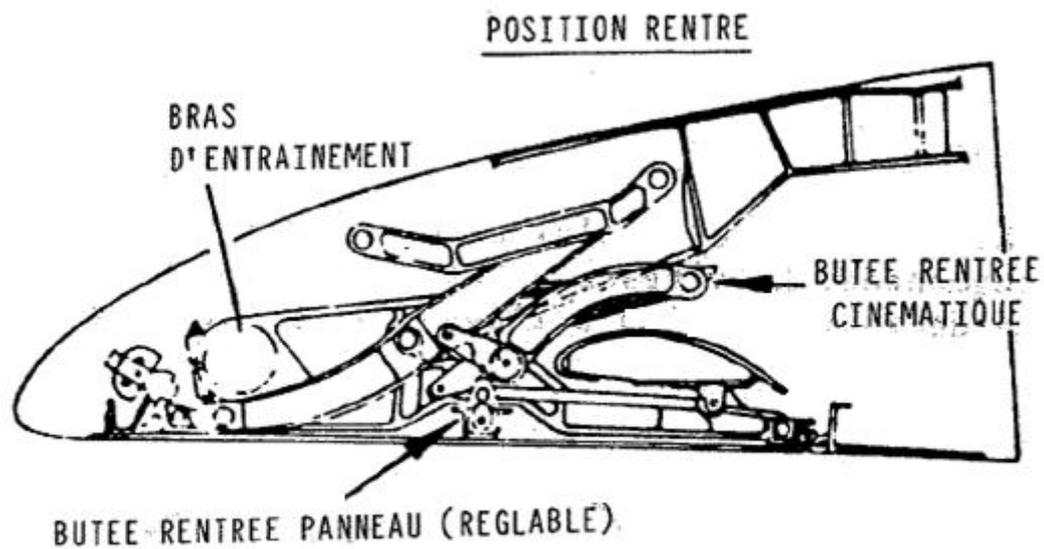


Fig. I.12 Volet a cambrure variable B747 [2]

C) Volet Krueger

Dans ce cas, le bord d'attaque de l'aile se déplace vers le bas ; la surface de voilure est augmenter. La vitesse d'écoulement à l'avant du profil est réduite.

L'intensité de la dépression à l'avant de l'extrados est réduite [4].

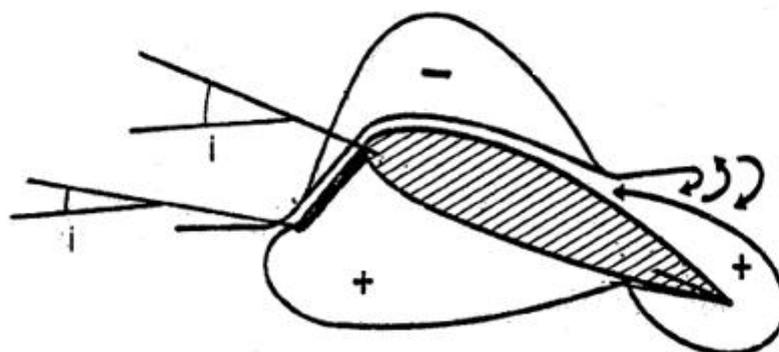


Fig. I.13 Répartition des pressions du volet krueger [2]

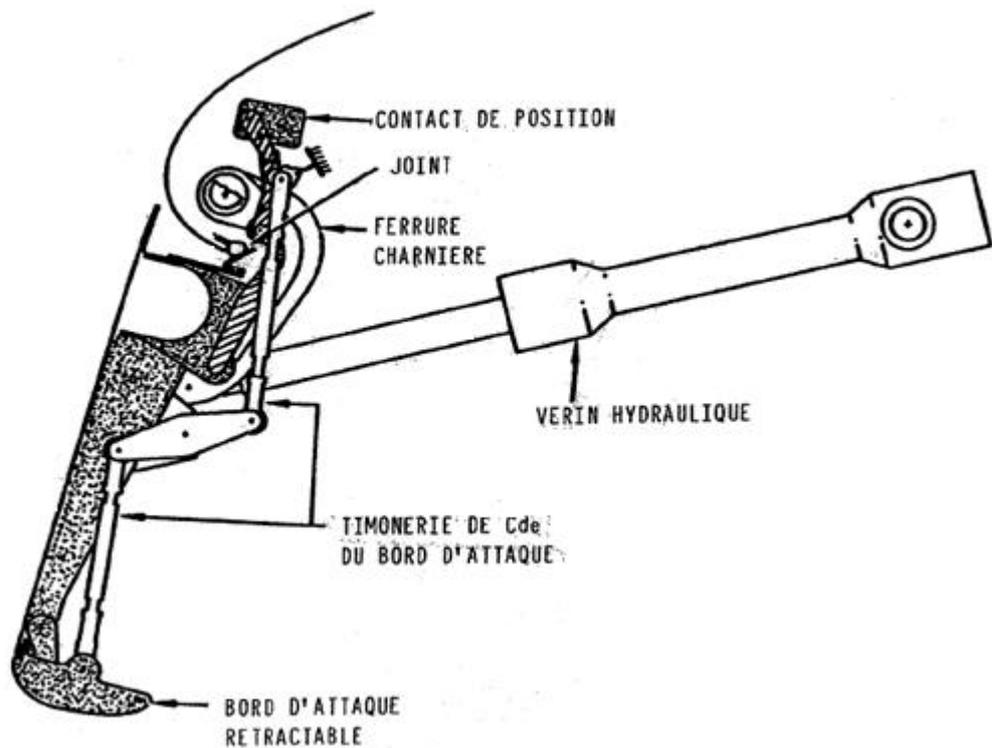


Fig. I.14 Volet Krueger B727 [2]

I.2.3 DISPOSITIFS DE BORD DE FUITE

I.2.3.1 But

Lorsqu'ils sont braqués vers le bas, ces volets changent la courbure de la partie arrière du profil afin :

- D'augmenter le c_z pour une même incidence.
- D'augmenter parfois la surface.

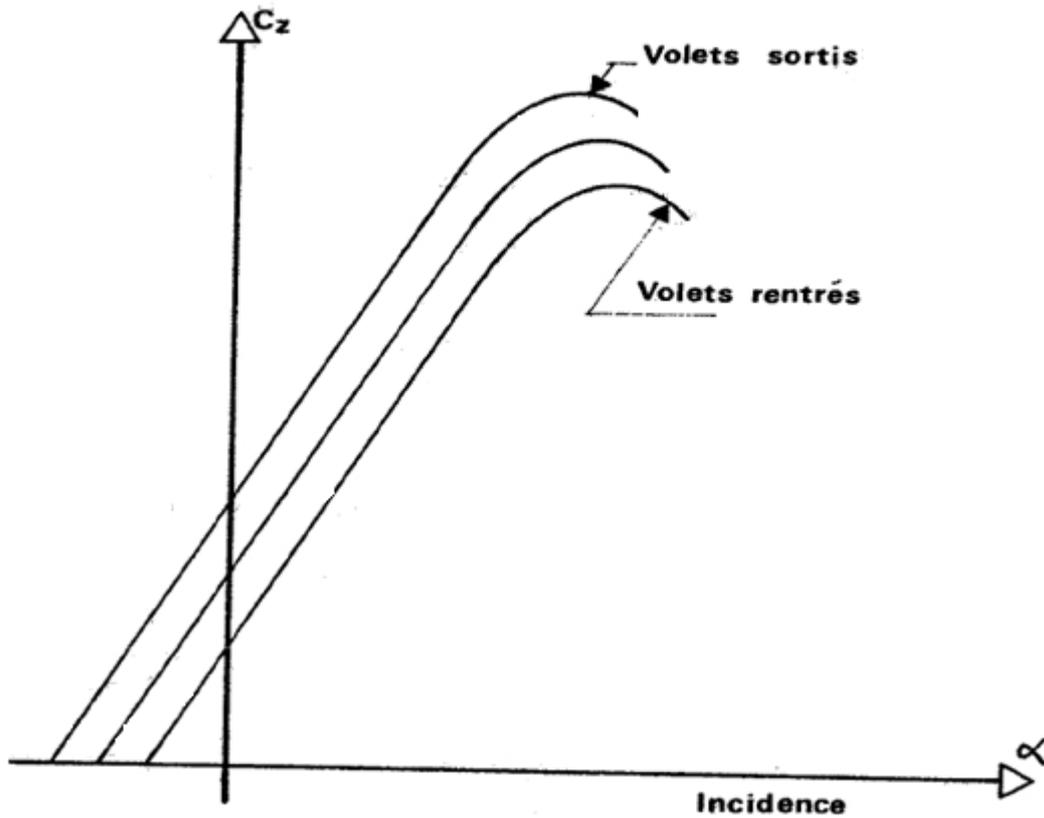


Fig. I.15 Courbe de $c_z = f(\alpha)$ pour 3 braquages de volets

I.2.3.2 Différent types

Il y a deux types :

I.2.3.2.1 Volets modifiant la c_z

On distingue les dispositifs suivant :

A) Volet d'intrados

Il augmente la pression à l'intrados et la dépression à l'extrados.



Fig. I.16 Voilet d'intrados [1]

B) Voilet de courbure

Ce volet a l'avantage d'agir à la fois à l'intrados comme le volet précédent, mais aussi à l'extrados en augmentant sa courbure, donc l'accélération des filets d'air.

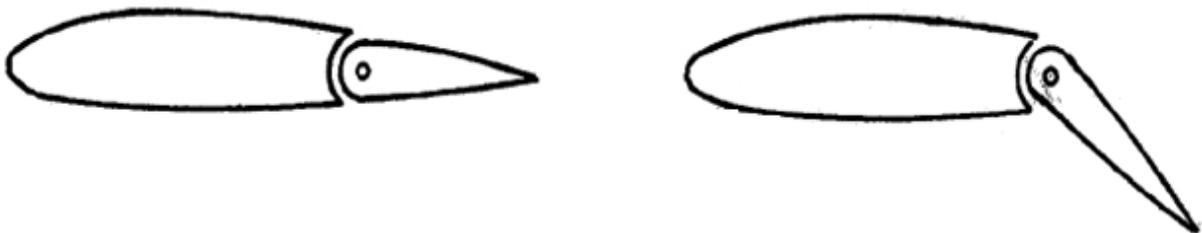


Fig. I.17 Voilet de courbure [1]

C) Voilet de courbure a fente

La fente remédie à l'inconvénient du volet précédent en retardant le décollement de la couche limite, donc en permettant une incidence plus importante .

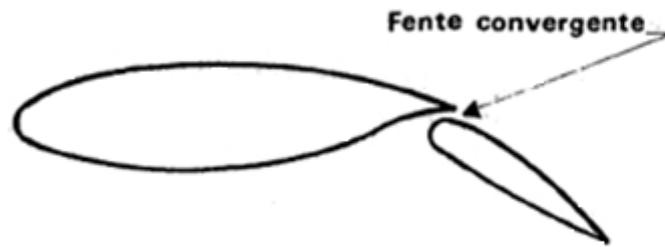


Fig. I.18 Volet de courbure a fente[1]

I.2.3.2 Volets modifiant la c_z et la surface

On distingue les dispositifs suivant :

A) Volet Fowler

Ce volet combine les effets de courbure, de fente et d'augmentation de la surface.

Lors de manœuvre, le volet commence par reculer, ensuite, il se braque.

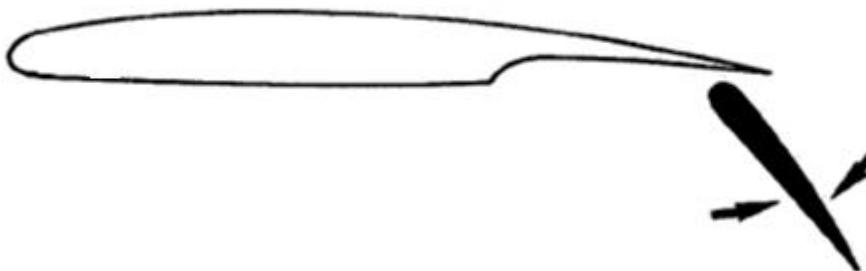


Fig. I.19 Volet Fowler [1]

B) Volet multi-fente

Ayant constaté sur certains volet à fente que le décollement se produit plus tôt sur le volet que sur l'aile, on a cherché à éviter ce phénomène nuisible l'augmentation du c_z

Avec ce type de volet c_{zmax} peut augmenter de 100% par rapport au c_{zmax} volet rentres.



Fig. I.20 Volet multi-fente [1]

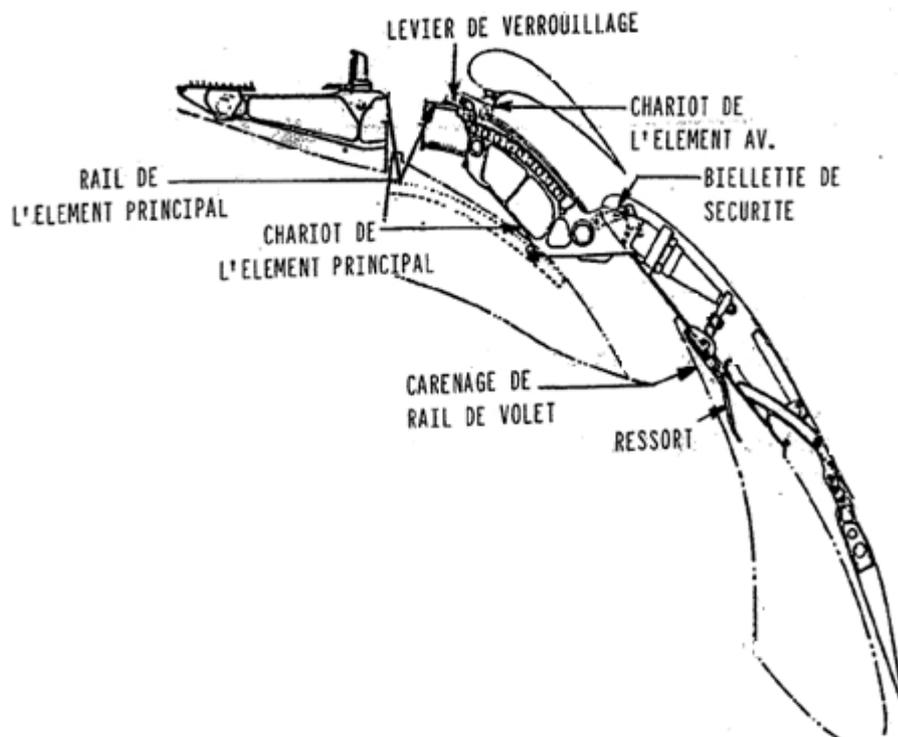


Fig. I.21 Volet triple fente B727 [1]

CHAPITRE II
DESCRIPTION DU SYSTEME

II.1 SCHEMA CINEMATIQUE

Les commandes de vol sont des dispositifs qui permettent de provoquer des évolutions de l'avion autour des axes de référence.

On distingue :

- Les commandes de vol primaires grâce auxquelles on commande les évolutions (gouvernes)
- Les commandes de vol secondaires grâce auxquelles on modifie la configuration aérodynamique de l'avion (hypersustentateurs, spoilers, aérofreins).

La figure (II.1) est une représentation du schéma cinématique de commande des volets d'avion civil.

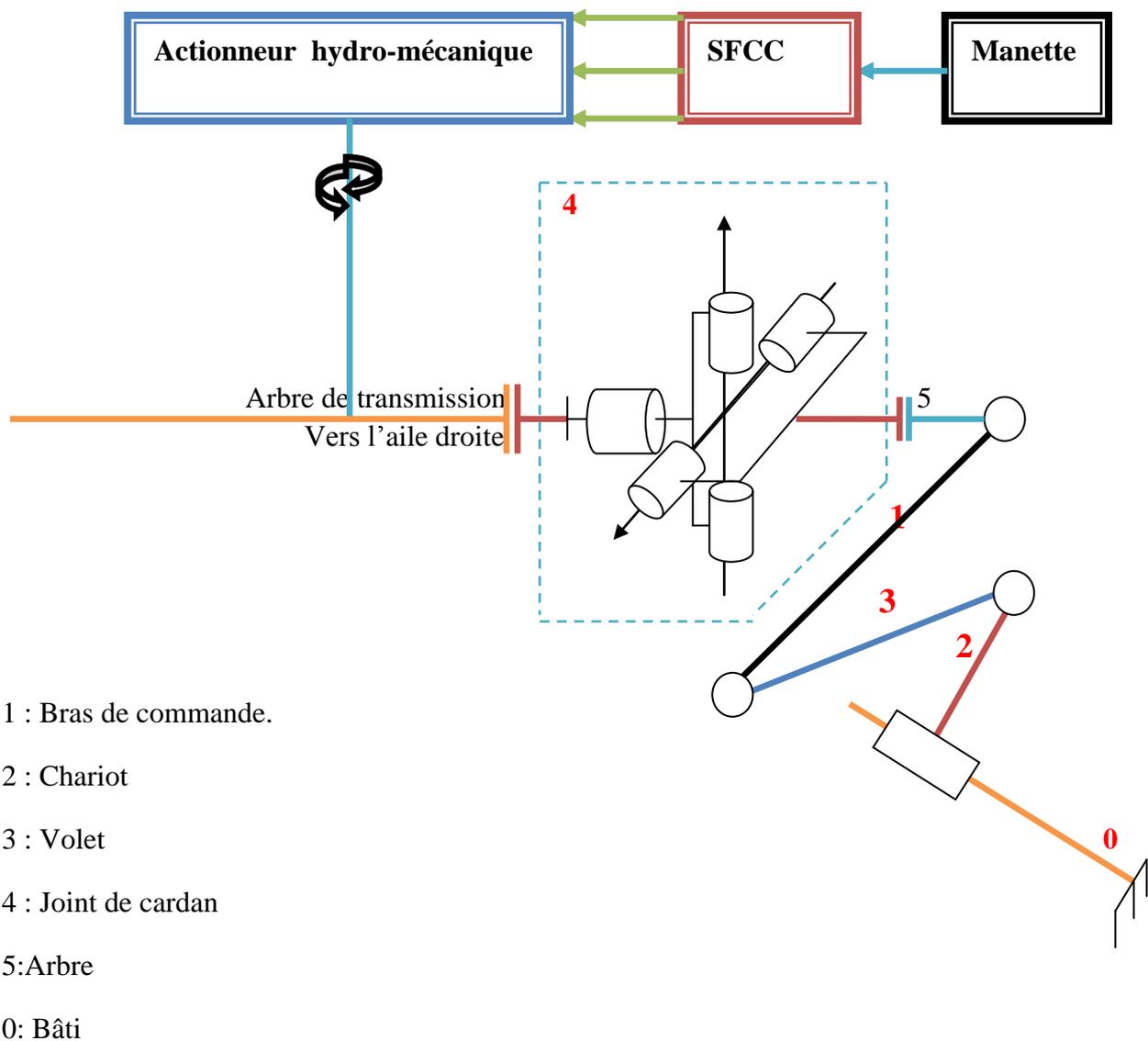


Fig. II.1 Schéma cinématique de commande de volet avion.

II.2 LES ELEMENTS CONSTITUTIFS

Les organes constitutifs de commande de volet est :

- **Manette** : L'ordre de rentrer ou de sortir les volets est donné par le pilote en actionnant la manette (levier de commande) situé dans le poste de Pilotage.

Le rentrer et le sortie des becs est en fonction de volet.

Par exemple dans l'avion airbus A310 elle est à cinq positions :

- 1^{er} et 2^{ème} crans le braquage volets = 0° becs 0°
- 3^{ème} cran le braquage volets = 15° becs 15°
- 4^{ème} cran le braquage volets = 20° becs 15°
- 5^{ème} cran le braquage volets = 40° becs 30°

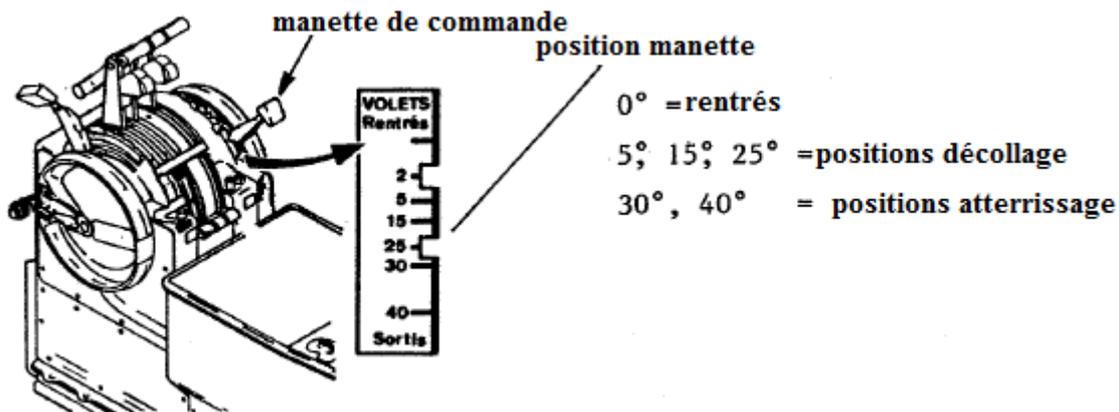


Fig. II.2 Manette des volets.

- **SFCC (Slat, Flap, Control, Computer)**: le signal de position manette est transmis par un circuit électrique à deux calculateurs SFCC 1 et 2 et les deux derniers comparer les informations fournies par les 2 capteurs de position situés aux extrémités de la chaîne de transmission.

- **Actionneur hydro-mecanique** : il est constitué de 2 moteurs (m1 et m2) Hydrauliques identiques qui fonctionnent simultanément et qui possèdent 2 sens de rotation pour rentrer et sortir les volets. Le mouvement de rotation de chaque arbre moteur est transmis à un différentiel constitué des roues coniques 1, 2,3 et du porte-satellite 4 qui entraîne la roue dentée 5 solidaire de l'arbre de transmission, vers les 2 ailes droite et gauche pour entraîne l'ensemble des mécanismes de guidage donc le rôle de l'actionneur Hydromécanique est fournir l'énergie mécanique.

En cas de panne d'un des 2 moteurs ou d'un circuit hydraulique d'alimentation, un frein à « Manque de pression » (P« off ») permet d'immobiliser l'arbre correspondant du moteur, même en l'absence de fluide sous pression.

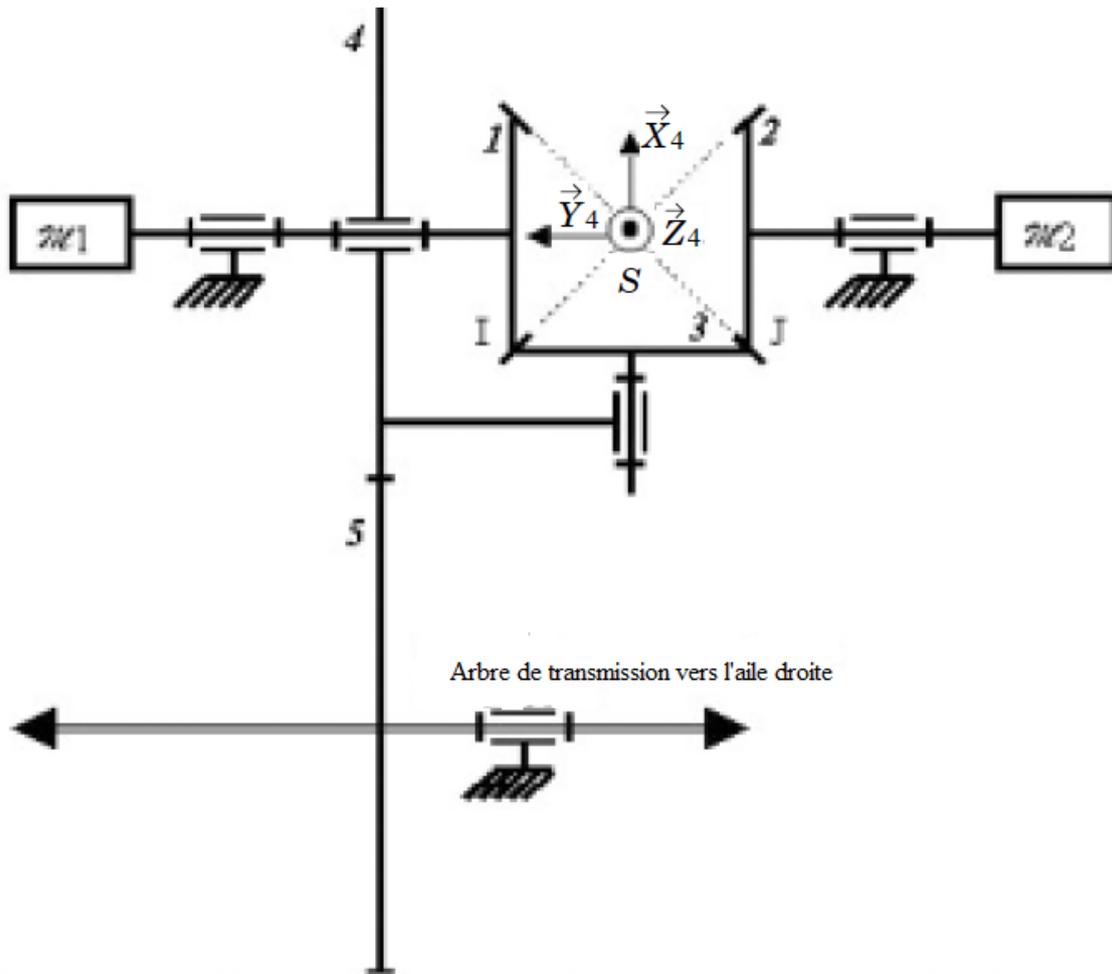


Fig. II.3 Schéma cinématique du différentiel d'actionneur hydro-mecanique [11]

➤ **Joint de cardan(4)** : un joint de cardan permet la transmission d'un mouvement de rotation a deux arbre concourants ou parallèle.il est composé de deux chapes 1a et 1b et d'un croisillon 2.Dans le modèle de la figure (II.4) la liaison chape-croisillon se fait par l'intermédiaire de quatre douilles a aiguilles 3. Le joint de cardan de ce système entraîne le bras de commande.

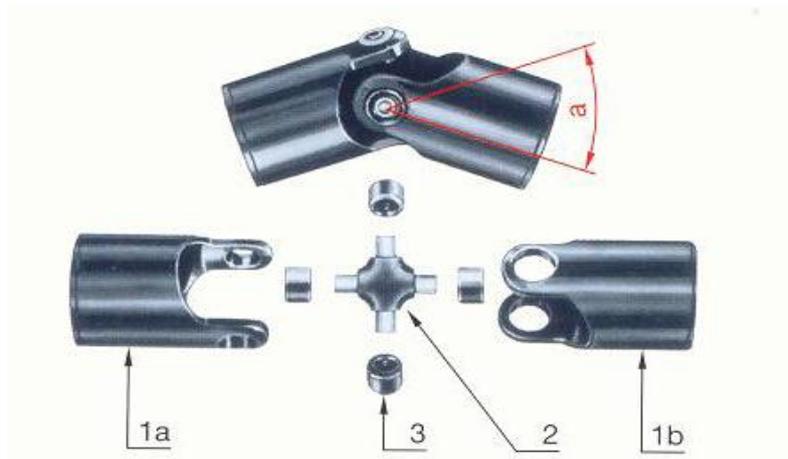


Fig. II.4 joint de cardan

- **Bras de commande(1)** : la forme de bras est une forme de profilés en + est entraîné en rotation autour d'un axe par le joint de cardan .le rôle de cette bras est poussé le volet pour rentré ou sortir.
- **Volet(3)**: Il est utilisé uniquement pendant le décollage et l'atterrissage. Les angles de braquage des volets dépendent de la phase dans laquelle se trouve l'avion, Le braquages est généralement plus forts à l'atterrissage qu'au décollage. Le déploiement du volet est un mouvement plan qui combine une translation et une rotation par rapport au rail de guidage.
- **Chariot(2)** : il est raccordé avec le volet par une liaison pivot et glisser sur un rail de guidage pour facilité le sorti ou le rentré de volet.
- **Bâti(0)** : il est constitué de la poutre et du rail de guidage et fixer dans un nervures.
- **Frein** : il utilise pour assurer le blocage des volets en cas d'anomalie (asymétrie, survitesse, déplacement intempestif).
- **Capteur de position** : les deux capteurs situés aux extrémités de la chaine de transmission et envoyer les informations de position des volets sur l'aile correspondante à la SFCC. Ce signal est utilisé pour la détection d'anomalies (asymétrie, survitesse, déplacement intempestif).
- **Éléments de fixation et assemblages** : les éléments sont des boulonneries, clavetages, cannelures, écrous, rondelles.
- **Arbre** : de forme cylindrique qui transmettre la transmission entre joint de cardan et le bras de commande

II.3 ETUDE CINEMATIQUE

Dans ce système on fait l'étude cinématique sur le mouvement de bras de commande

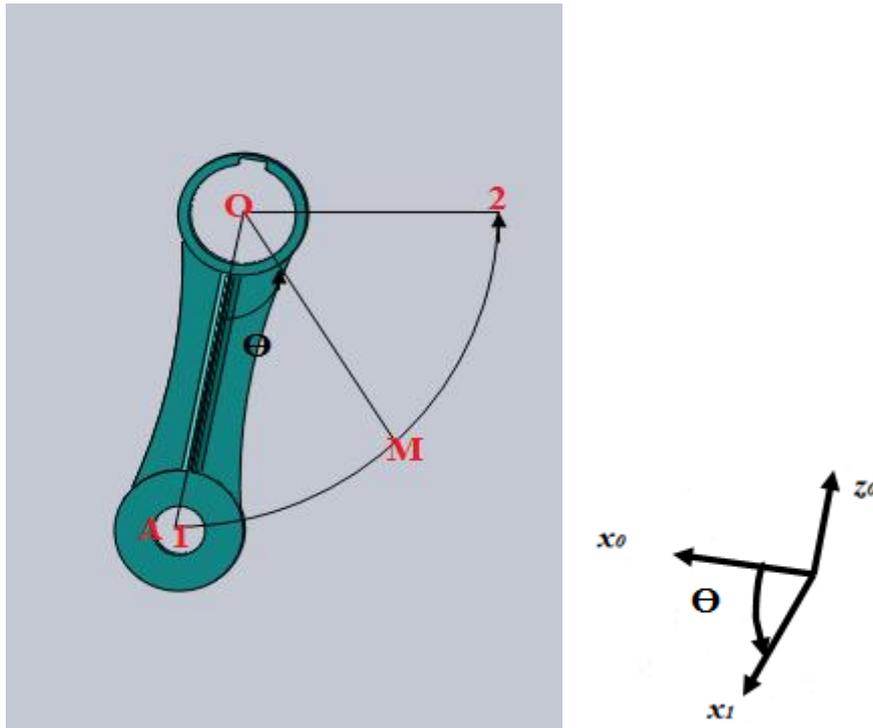


Fig. II.5 Principe de système du bras de commande

L'angle θ est varier entre 85° et 180°

II.3.1 Abscisse

$$\overrightarrow{OA} = R\vec{x}_1 \tag{II.1}$$

Donc

$$\overrightarrow{OM} = R \cos \theta \vec{x}_0 - R \sin \theta \vec{z}_0 \tag{II.2}$$

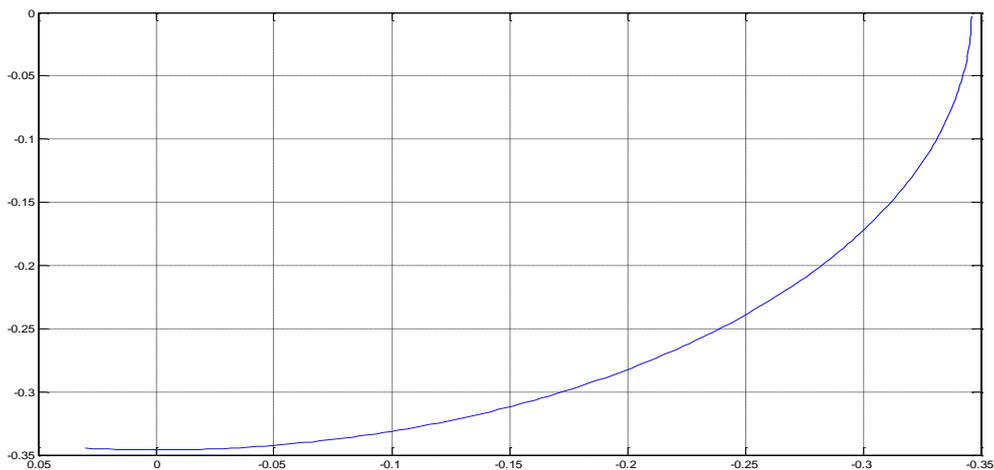


Fig. II.5 courbe des abscisses

II.3.2 Calcul la vitesse

Description Du Système

$$V_M = \frac{d}{dt} \overrightarrow{OM} = \frac{d}{dt} (R \cos \theta \vec{x}_0 - R \sin \theta \vec{z}_0) \quad (\text{II.3})$$

$$V_M = R\omega(-\sin \theta - \cos \theta) \quad (\text{II.3})$$

a) Calcul la vitesse angulaire ω

$$\theta = \omega \cdot t \Rightarrow \omega = \frac{\theta}{t} \quad (\text{II.4})$$

On a $t = 17s$

Donc

$$\omega = \frac{1,658}{17} \approx 0,1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

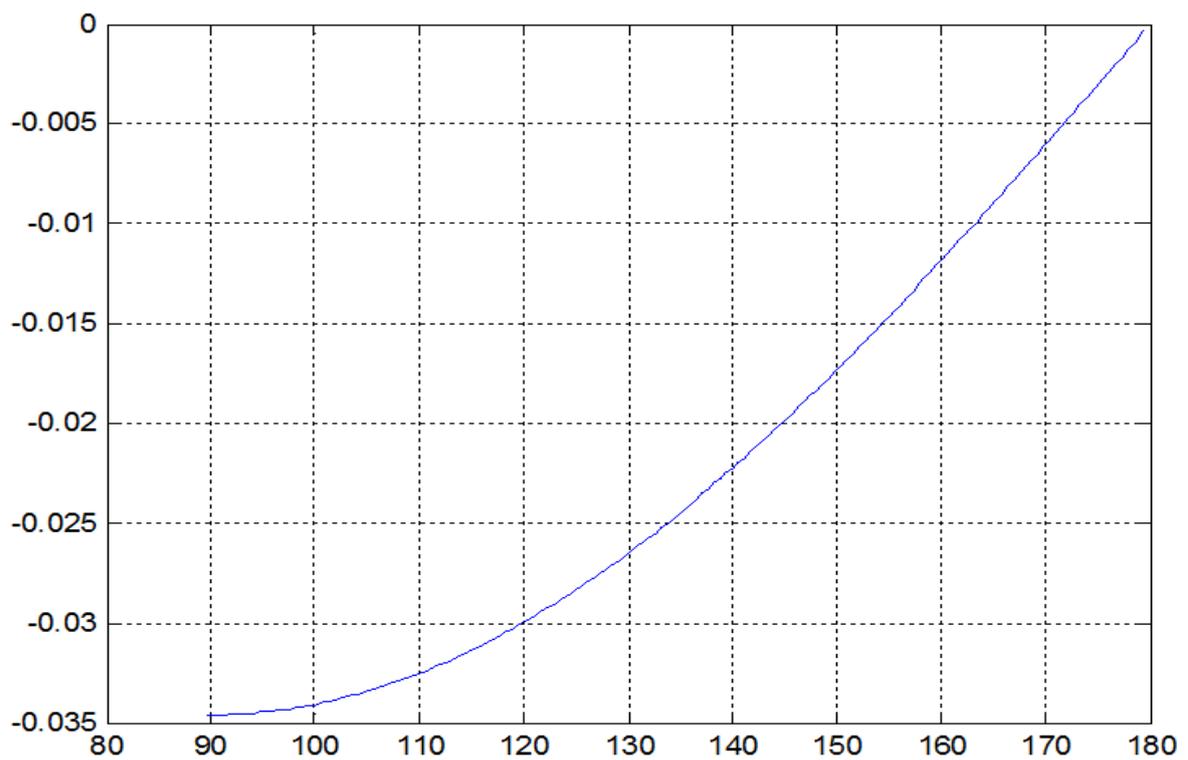


Fig. II.6 courbe des V_x

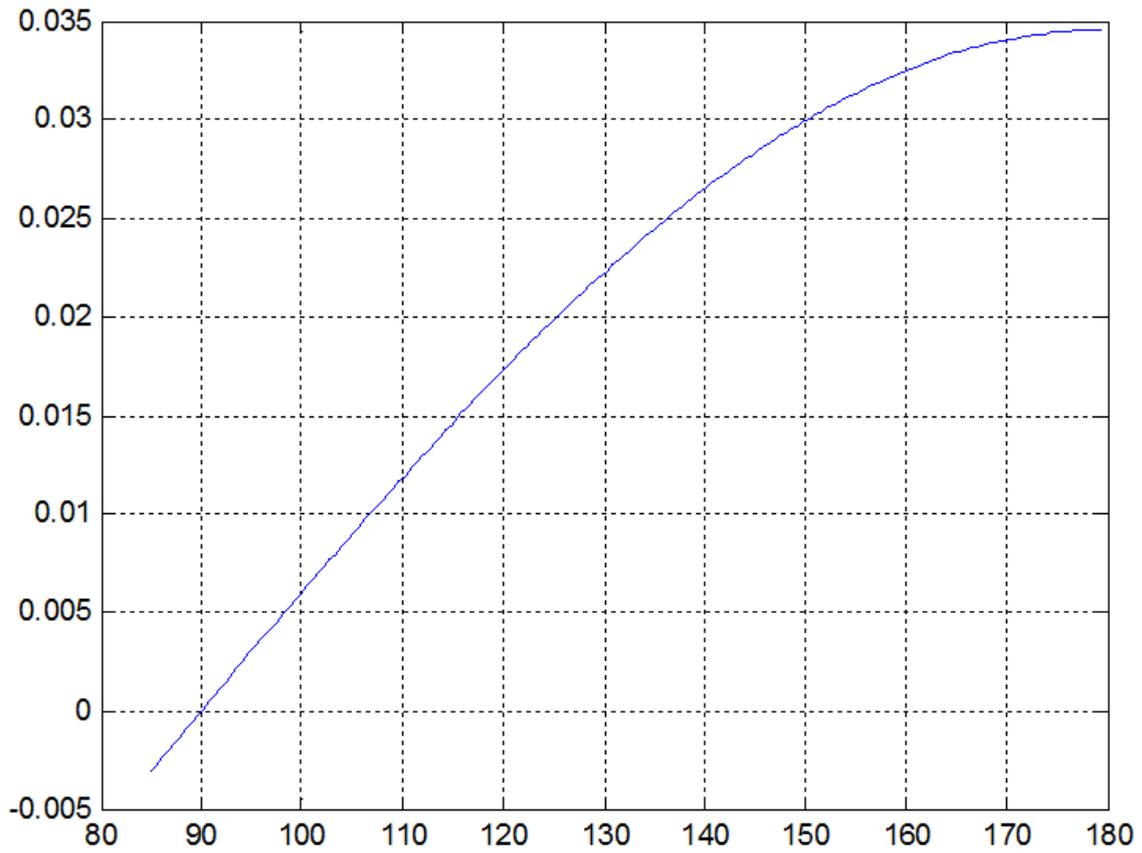


Fig. II.7 courbe des V_z

II.3.2 Calcul l'accélération

$$\gamma_M = \frac{d}{dt} V_M = \frac{d}{dt} (R\omega(-\sin \theta - \cos \theta)) \quad (II.5)$$

$$\gamma_M = R\omega^2(-\cos \theta + \sin \theta)$$

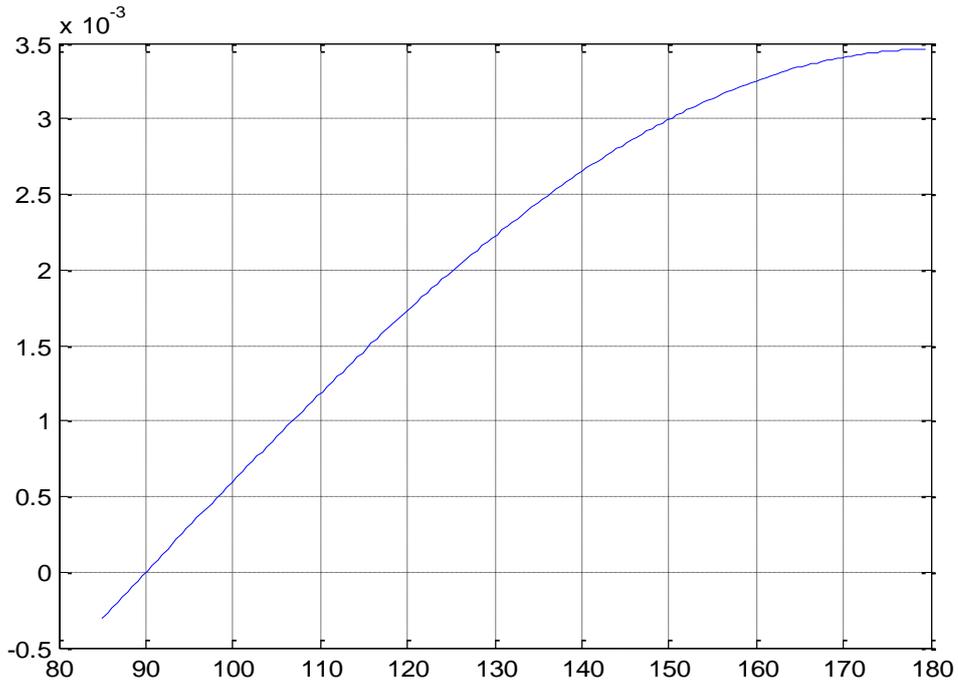


Fig. II.7 courbe des γ_x

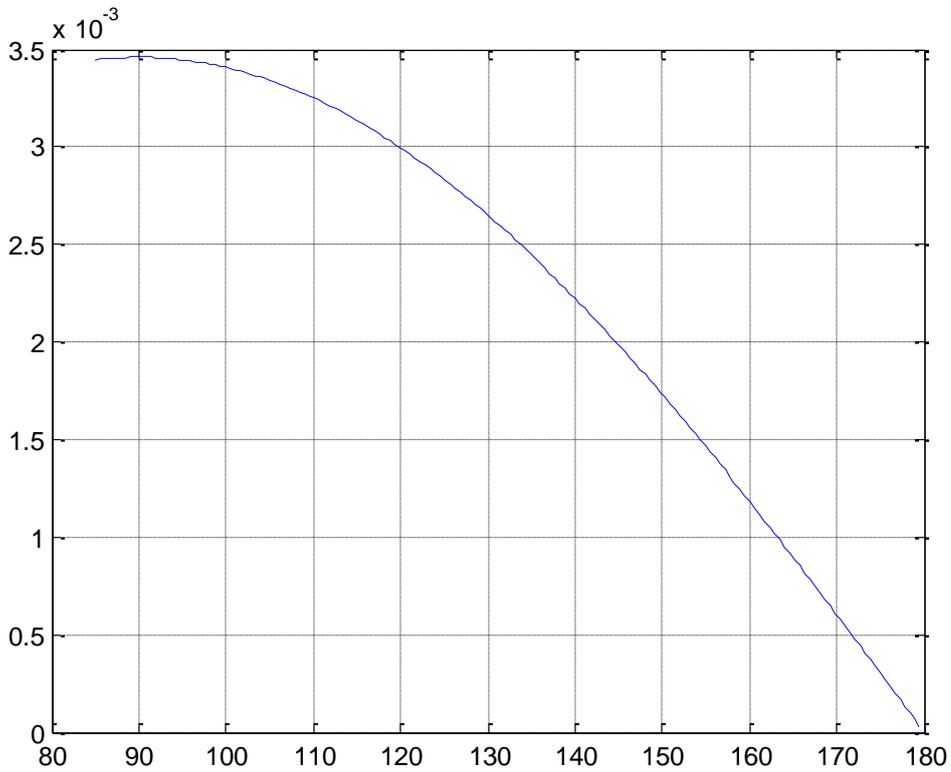


Fig. II.8 courbe des γ_z

CHAPITRE III

CALCUL DYNAMIQUE

III.1 CALCUL DE VOLET

III.1.1 calcul la force appliquée sur le volet

Effort aérodynamique exercé sur la partie du volet 3 (figure II.1 et III.2)

$$T_{(air \rightarrow 3)} = \left\{ \begin{matrix} \vec{F}_{\vec{0}}^{air \rightarrow 3} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_P = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{air}/8 & 0 \end{matrix} \right\}_{P, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0} \quad (III.1)$$

Z_{air} Représente la résultante des efforts aérodynamiques qui s'exerce sur tous Les volets internes et externes de la voilure (4 volets).

On limite l'étude de système de volet dans la phase de l'atterrissage.

Donc pour cette étude l'angle maximal de braquage du volet est en phase d'atterrissage égale 40 degrés.

La figure III.1 présente L'évolution de Z_{air} en fonction de l'inclinaison des volets [5].

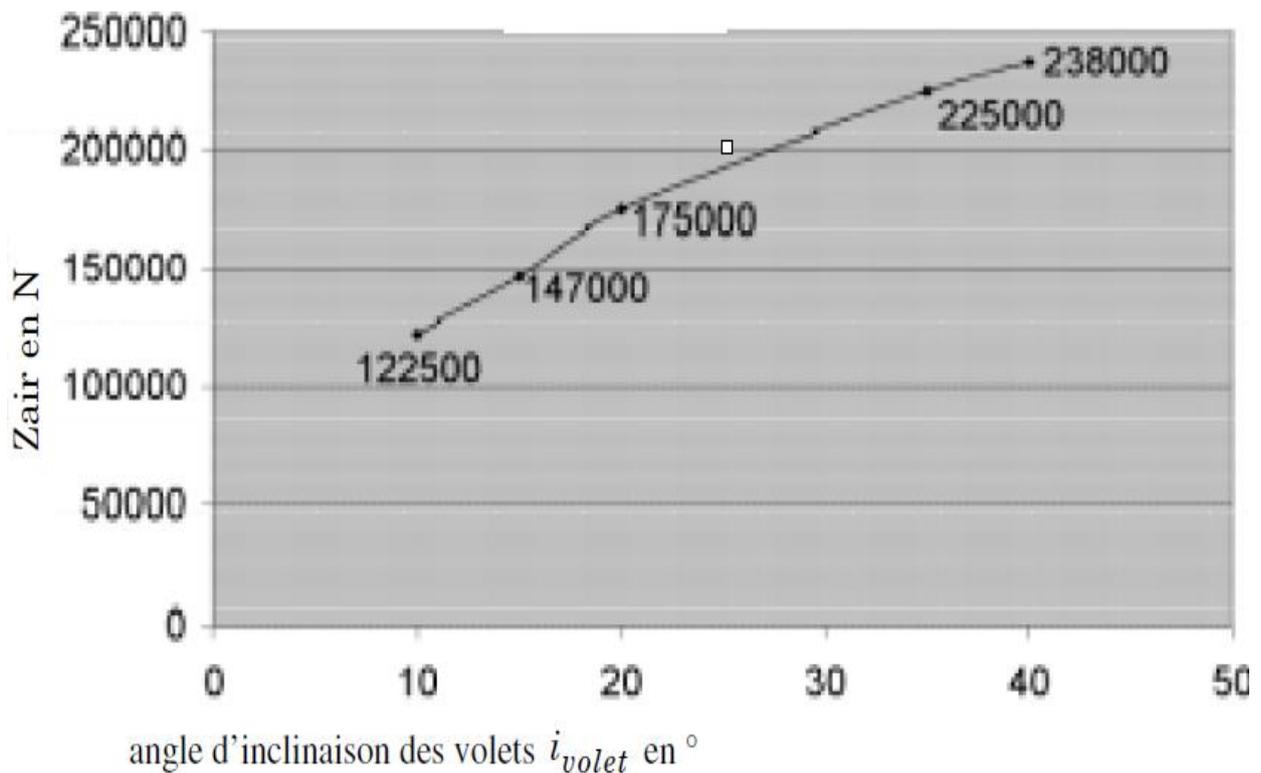


Fig. III.1 Evolution de Z_{air} en fonction de l'inclinaison des volets.

A partir de la Fig. III.1 pour un braquage de 40 degrés $\Rightarrow Z_{air}=238000N$ cette valeur pour 4volets.

Pour déterminer la valeur appliquée sur un seul volet on utilise la relation (1) donc:

$$\vec{F}_{air \rightarrow 3} = \frac{238000}{8} = 29750N$$

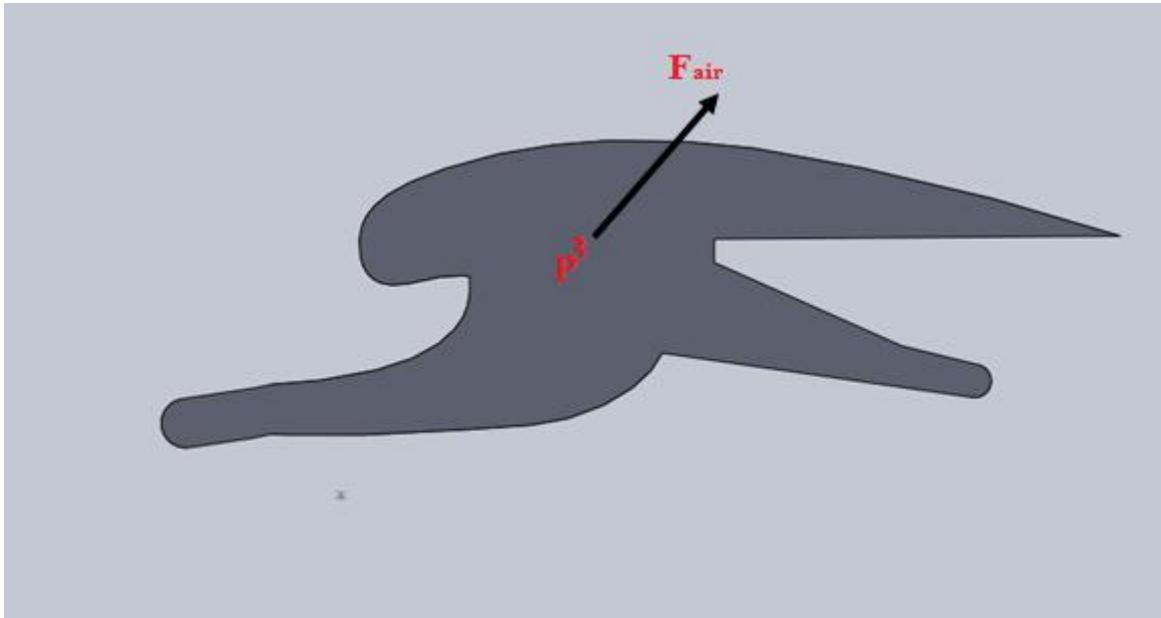


Fig. III.2 La force \vec{F}_{air} exercée sur le volet 3

III.1.2 calcul la surface de volet

La loi de force est donnée par la relation suivante :

$$F = Psc \tag{III.2}$$

$$s = \frac{F}{PC}$$

a) Calcul la pression

On calcul la pression P à partir la relation suivante :

$$P = \frac{1}{2} \rho V^2 \tag{III.3}$$

Avec $\rho = 1,22 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$V = 230 \text{ Km} \cdot \text{h}^{-1} = 63,88 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Donc

$$P = 0,5 \cdot 1,22 \cdot 63,88^2 = 2489,2 \text{ kgm}^{-1} \text{s}^{-2}$$

$$P = 2489,2 \text{ Pa}$$

b) Calcul du coefficient aérodynamique

Coefficient aérodynamique $c = \sqrt{c_x^2 + c_z^2}$

En générale pour un volet simple les valeurs des coefficients est :

Le coefficient de trainée $c_x = 2,3$

Et le coefficient de portance $c_z = 0,3$

Les deux valeurs est déterminé à partir la figure III.3

$$c = \sqrt{2,3^2 + 0,3^2} = 2.32$$

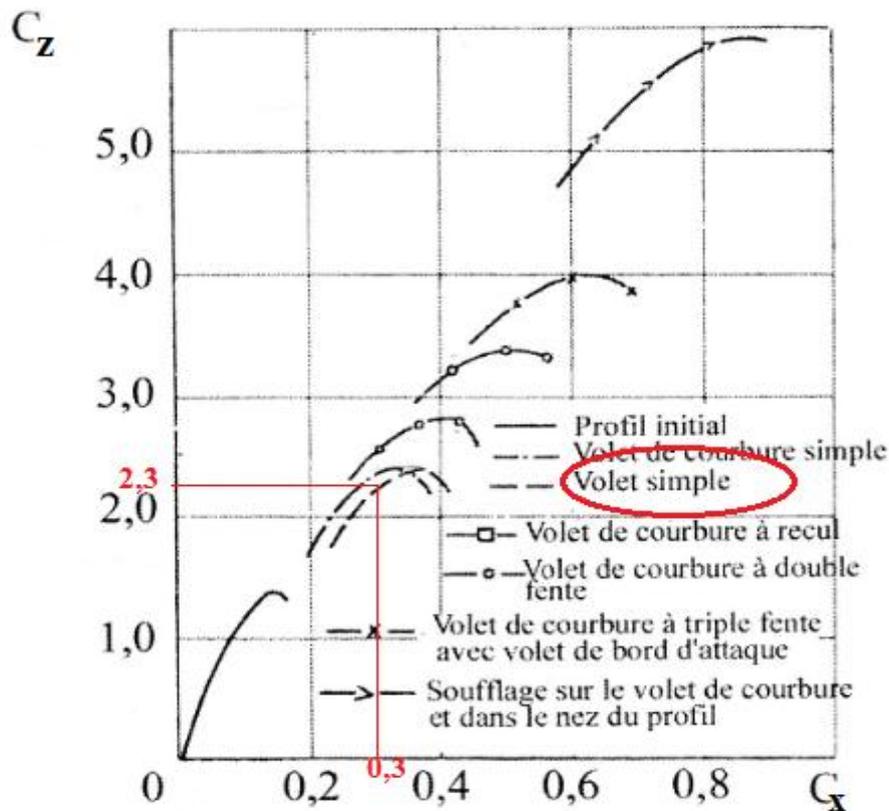


Fig. III.3. Polaires des profils

Donc finalement après les valeurs de pression et les coefficients aérodynamiques la surface de volet est :

$$s = \frac{F}{Pc} = \frac{29750}{2489,2,2,32} = 5,15m^2$$

On prend la valeur de $s=5m^2$ et on choisi la largeur de volet égale 1m et la longueur égale 5m.

III.1.3 calcul du rivet

Le volet est fixé avec le support de volet par les rivets.

a) Fonctionnement

Les assemblages rivetés permettent d'obtenir économiquement une liaison encastrement indémontable d'un ensemble de pièces par refoulement ou par expansion de matière d'un élément malléable

b) Matière

Les matériaux le plus utiliser pour fabriquer les rivets est généralement aluminium, alliage d'aluminium, cuivre, laitons, aciers doux, aciers inoxydables, alliage de zinc.....

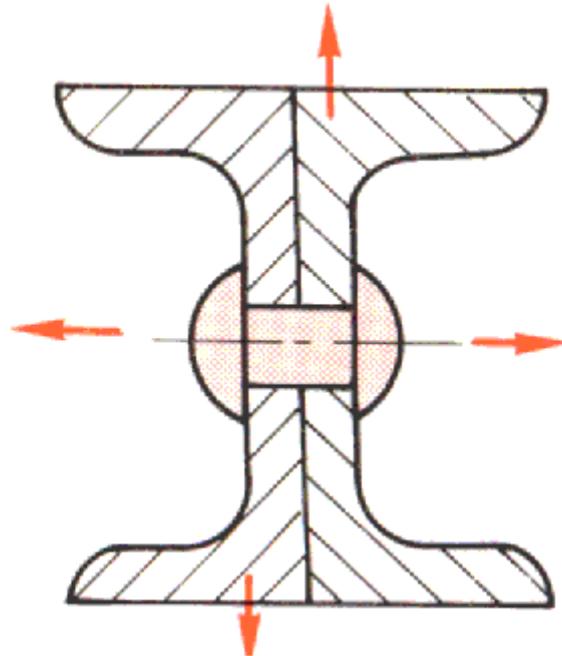


Fig. III.4. Assemblage par rivet

c) Calcul le diamètre du rivet

Pour déterminé le diamètre des rivets on utilise la relation suivante

$$\frac{F}{S} \leq R_p \quad (\text{III.4})$$

$$S = n \cdot \pi \cdot d^2$$

$$d \geq \sqrt[2]{\frac{F \cdot F_s}{n \cdot \pi \cdot \sigma_e}} \quad (\text{III.5})$$

$\sigma_e = 27,57 \cdot 10^6 \text{MPa}$ (Alliage d'aluminium 1060)

$F_s = 1,5$

n : nombre des rivets

$$d \geq \sqrt[2]{\frac{F \cdot F_s}{n \cdot \pi \cdot \sigma_e}} \quad (\text{III.6})$$

$$d \geq 22,7 \text{mm} \quad (\text{III.7})$$

Donc $d = 24 \text{mm}$

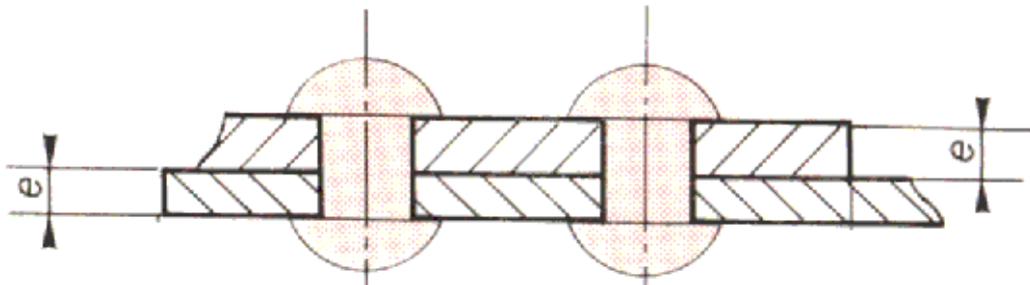


Fig. III.5. L'épaisseur de tôle **e**

Avec $e = 15 \text{mm}$ (épaisseur de la tôle).

d) Calcul le pas du rivet (a)

Le pas **a** de rivet est la distance entre deux rivets consécutifs d'une ligne pour une rivure de résistance le pas varier dans l'intervalle suivant :

$$3d \leq \mathbf{a} \leq 10d$$

On suppose que $\mathbf{a} = 5d$

Donc

$$\mathbf{a} = 5 \cdot 24 = 120 \text{ mm}$$

e) calcul de pince (p)

La pince est la distance entre l'extrémité de la tôle et le centre de premier rivet

$$\mathbf{p} = 2 \cdot d \Rightarrow \mathbf{p} = 2 \cdot 24 = 48 \text{ mm}$$

f) calcul la longueur du rivet (l)

La longueur de rivet et variée entre deux extrémité, pour une rivure normale la longueur est :

$$1,1e + 1,5 \leq l \leq 1,7d$$

On prend $l = 1,58.d = 1,58.24 = 37,92 \text{ mm} \approx 38 \text{ mm}$

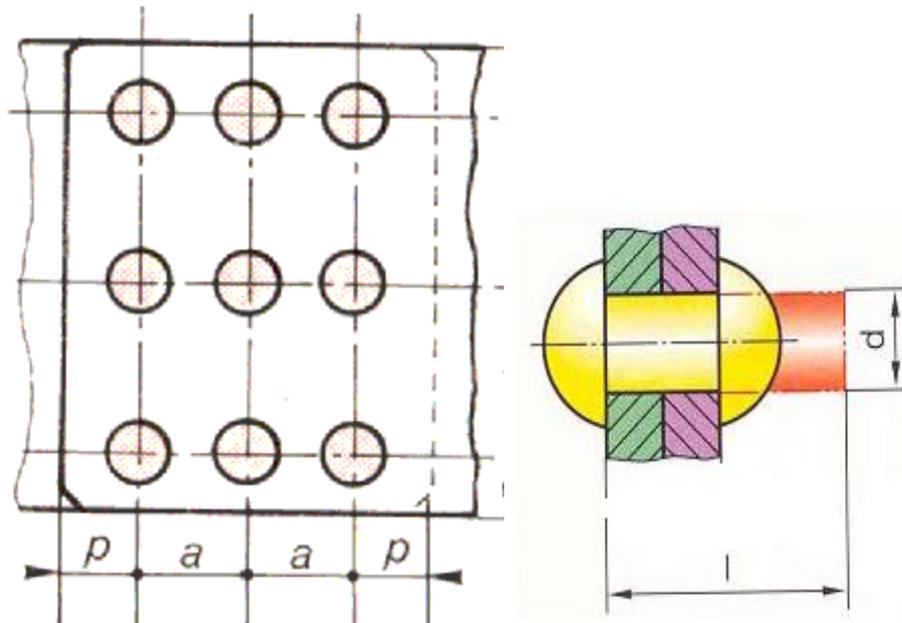


Fig. III.6.Disposition des rivures

III.2 CALCUL LE BRAS DE COMMANDE

III.2.1 CALCUL DU COUPLE MOTEUR A TRANSMETTRE SUR LE BRAS DE COMMANDE

Le mécanisme de guidage constitue de 4 solides est considéré comme plan. Le paramétrage est :

Bâti(0) : repère $(D, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ supposé galiléen.

Bras de commande(1) : repère $(o, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ avec $\vec{y}_0 = \vec{y}_1$ et $(\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{z}_0, \vec{z}_1) = \theta$.

Chariot(2) : repère $(B, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ avec $\vec{x}_0 = \vec{x}_2$, $\vec{y}_0 = \vec{y}_2$ et $\vec{z}_0 = \vec{z}_2$.

Volet(3) : repère $(B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ avec $\vec{y}_0 = \vec{y}_3$ et $(\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{z}_0, \vec{z}_3) = \alpha$.

Le positionnement est défini par :

$$\vec{OA} = r\vec{x}_1 ; \vec{BA} = d\vec{x}_3 ; \vec{BP} = -\beta_x\vec{x}_3 + \beta_z\vec{z}_3 \text{ avec } \beta_x > 0.$$

L'orientation au cours du déploiement des volets est caractérisée par :

$$\theta \in [85^\circ, 195^\circ] \text{ Et } \alpha \in [40^\circ, -8^\circ] \text{ avec } \alpha = (40^\circ - i_{\text{volet}}) .$$

Le torseur des actions mécaniques transmissibles par une liaison entre les solides et sera noté :

$$T_{(i \rightarrow j)} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{i \rightarrow j} \\ \vec{M}_{A, i \rightarrow j} \end{array} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{ll} \vec{X}_{i \rightarrow j} & \vec{L}_{i \rightarrow j} \\ \vec{Y}_{i \rightarrow j} & \vec{M}_{i \rightarrow j} \\ \vec{Z}_{i \rightarrow j} & \vec{N}_{i \rightarrow j} \end{array} \right\}_{A, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0}$$

L'action mécanique exercée par l'actionneur sur le bras est modélisée par :

$$T_{(moteur \rightarrow 1)} = \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ c_1 \\ 0 \end{array} \right\}_{0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0}$$

On néglige la masse et l'inertie de toutes les pièces mobiles. On suppose que les liaisons sont parfaites.

La figure suivante présente toute les paramètres précédents

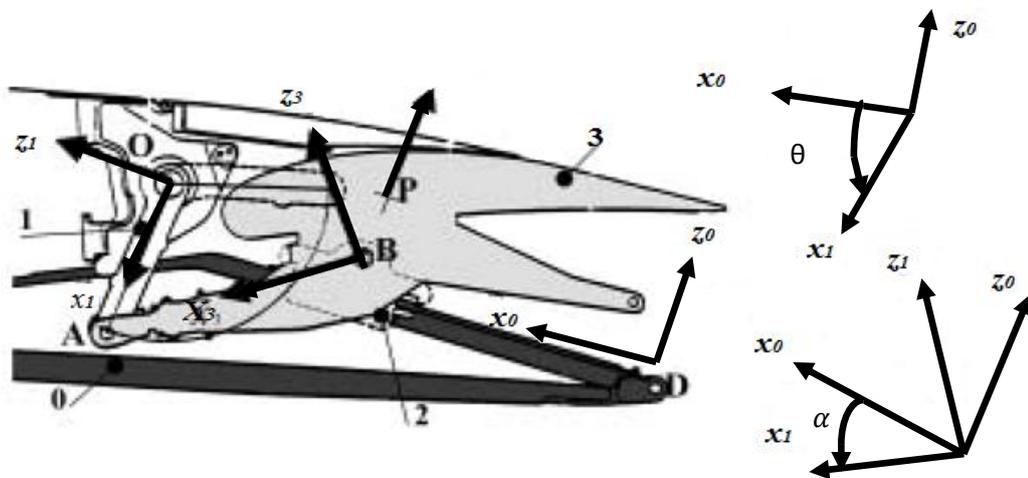


Fig. III.7. Paramétrage d'un mécanisme de guidage de volet

Pour calculer le couple c_1 il ya trois étapes ;

- Etape n°1 : déterminer $\vec{X}_{1 \rightarrow 3}$

On applique le théorème de la somme géométrique sur le système (2,3).

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} + \sum \overrightarrow{F_{int}} = \vec{0} \text{ (masse négligeable)} (\sum F_{int} = 0)$$

Les 3 torseurs est $T_{(air \rightarrow 3)}$, $T_{(0 \rightarrow 2)}$, $T_{(1 \rightarrow 3)}$

On fait la projection suivant x_0

$$\vec{X}_{air \rightarrow 3} + \vec{X}_{0 \rightarrow 2} + \vec{X}_{1 \rightarrow 3} = 0$$

$$\vec{X}_{air \rightarrow 3} = 0$$

$$\vec{X}_{0 \rightarrow 2} = 0$$

Donc

$$\vec{X}_{1 \rightarrow 3} = 0$$

- Etape n°2 : déterminer $\vec{z}_{1 \rightarrow 3}$ en fonction de Z_{air} ,

On applique le théorème du moment cinétique sur le système (3).

$$\sum \overrightarrow{M_{ext}} + \sum \overrightarrow{M_{int}} = \vec{0}$$

Les 3 torseurs est $T_{(air \rightarrow 3)}$, $T_{(2 \rightarrow 3)}$ (pivot d'axe $B\vec{y}_0$), $T_{(1 \rightarrow 3)}$

On fait la projection suivant $B\vec{y}_0$:

$$\vec{M}_{2 \rightarrow 3} + \vec{M}_{1 \rightarrow 3} + \vec{M}_{air \rightarrow 3} = \vec{0} \tag{III.8}$$

$$\vec{M}_{2 \rightarrow 3} = 0$$

$$\vec{M}_{1 \rightarrow 3} = \overrightarrow{BA} \wedge \vec{R}_{1 \rightarrow 3}$$

$$\vec{M}_{air \rightarrow 3} = \overrightarrow{BP} \wedge (Z_{air}/8)$$

$$\text{Donc } \vec{0} + \overrightarrow{BA} \wedge \vec{R}_{1 \rightarrow 3} + \overrightarrow{BP} \wedge (Z_{air}/8) = 0$$

Soit

$$d\vec{x}_3 \wedge \vec{z}_{1 \rightarrow 3} \vec{z}_0 + (\beta_z \vec{z}_3 - \beta_x \vec{x}_3) \wedge (Z_{air}/8) \vec{z}_0 = \vec{0}$$

$$\vec{x}_3 = \cos \alpha \vec{x}_0 - \sin \alpha \vec{z}_0$$

$$\vec{z}_3 = \cos \alpha \vec{x}_0 + \sin \alpha \vec{z}_0$$

$$(III.8) \Rightarrow -d\vec{z}_{1 \rightarrow 3} \cos \alpha + \beta_x (Z_{air}/8) \cos \alpha - \beta_z (Z_{air}/8) \sin \alpha = 0$$

$$\text{Donc } \vec{z}_{1 \rightarrow 3} = \frac{\beta_x \cos \alpha - \beta_z \sin \alpha}{d \cos \alpha} (Z_{air}/8) \tag{III.9}$$

- Etape n°3 : déterminer C en fonction de Z_{air}

On applique le théorème du moment cinétique sur le système (1).

$$\sum M_{ext} + \sum M_{int} = 0$$

Les 3 torseurs est $T_{(mot \rightarrow 1)}$, $T_{(0 \rightarrow 1)}$ (pivot d'axe oy_0), $T_{(3 \rightarrow 1)}$.

On fait la projection suivant oy_0

$$\vec{M}_{mot \rightarrow 1} + \vec{M}_{0 \rightarrow 1} + \vec{M}_{3 \rightarrow 1} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_{mot \rightarrow 1} = C1\vec{y}_0$$

$$\vec{M}_{0 \rightarrow 1} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_{3 \rightarrow 1} = \vec{OA} \wedge \vec{R}_{3 \rightarrow 1}$$

Soit

$$C\vec{y}_0 + r\vec{x}_1 \wedge (-\vec{z}_{1 \rightarrow 3}\vec{z}_0) = \vec{0}$$

$$\vec{x}_1 = \cos \theta \vec{x}_0 + \sin \theta \vec{z}_0$$

Donc

$$C + r\vec{z}_{1 \rightarrow 3} \cos \theta = 0 \quad \Rightarrow C = -r\vec{z}_{1 \rightarrow 3} \cos \theta \quad (\text{III.10})$$

Donc finalement d'après la relation (III.9) et (III.10) le couple C est

$$C = \frac{(-\beta_x \cos \alpha + \beta_z \sin \alpha) r \cos \theta}{d \cos \alpha} (Z_{air}/8) \quad (\text{III.11})$$

$$\vec{OA} = r\vec{x}_1 = 346 \vec{x}_1$$

$$\vec{BA} = d\vec{x}_3 = 552\vec{x}_3$$

$$\beta_x = 76\text{mm}$$

Pour la phase d'atterrissage $\alpha = 0^\circ$ et $\theta = 180^\circ$

$$C = \frac{(-0,076+0)(0,346)(-1)}{0,552} 29750 = 1412,5N.m = 1,4125KN.m$$

III.2.2 DIMENSIONS DU BRAS DE COMMANDE

Les efforts exercés sur le bras de commande c'est les efforts de flexion

Donc

$$\sigma_{\max} = \frac{M_z}{I_z} < R_p \quad (\text{III.12})$$

$$\frac{I_z}{v} = \mu_v \quad (\text{III.13})$$

μ_v : Module de flexion de la section de la poutre

R_p : Résistance élastique pratique du matériau utilisé égale $F_s \cdot \sigma_e$

$$(\text{III.12}) \Rightarrow \mu_v > \frac{M_z}{R_p}$$

$$\Rightarrow \mu_V > \frac{1,5 \cdot 1412,5}{180 \cdot 10^6}$$

Pour acier laminées a chaud $\sigma_e = 180 \cdot 10^6$

Coefficient de sécurité $F_s = 1,5$

$$\Rightarrow \mu_V > 11,77 \cdot 10^{-6} m^3$$

Pour déterminé les dimensions du bras on utilise 4 cornières égales

Donc la valeur de μ_V diffuser sur 4

$$\frac{\mu_V}{4} > \frac{11,77 \cdot 10^{-6}}{4} = 2,942 \text{ cm}^3$$

La valeur la plus proche est $3,19 \text{ cm}^3$

Donc d'après le tableau III.1 on détermine les dimensions de cornière

$$\frac{\mu_V}{4} = 3,19 \text{ cm}^3$$

A=50mm

E= 8mm

R=7mm

L=346mm

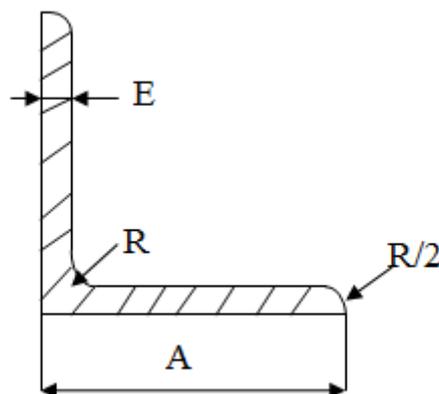


Fig. III.8 dimension de cornières

Tableau III.1 : Dimension de cornières égales

série	Désignation L A×E mm	D mm	Section mm^2	R mm	$\mu_x = \mu_y$ cm^3	μ_V cm^3
●	45×4	12,3	349	7	1,97	1,53
⊙	45×4,5	12,6	390	7	2,2	1,65
⊙	45×5	12,8	430	7	2,43	1,8
○	45×6	13,2	509	7	2,88	2,05
●	50×4	13,6	389	7	2,46	1,94
⊙	50×5	14	480	7	3,05	2,29
●	50×6	14,5	569	7	3,61	2,61
●	50×7	14,9	656	7	4,16	2,91
○	50×8	15,2	741	7	4,68	3,19
●	60×3	16,4	582	8	4,45	3,45
⊙	60×3,5	16,9	691	8	5,29	3,95
●	60×4	17,7	903	8	6,89	4,86
○	60×4	18,5	1110	8	8,41	5,67

Où

⊙ Et ● série préférée

○ Série à éviter

Donc les dimensions du bras de commande est :

$$A = 100\text{mm}$$

$$E = 16\text{mm}$$

$$R = 6\text{mm}$$

$$L = 346\text{mm}$$

La force appliquée sur le bras est max dans le point $\theta = 180^\circ$

$$F_{bras} = \frac{29750}{3} = 9916,66\text{N}$$

Donc

Le moment max est la $F_{bras} \times$ la longueur de bras

$$M_{bras} = 9916,66 \cdot 0,346 = 3431,2\text{N.m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{bras}}{\frac{\pi \cdot d^4}{32}} \cdot \frac{d}{2} < R_p$$

$$d > \sqrt[3]{\frac{F_s \cdot 16 \cdot M_{bras}}{\pi \cdot \sigma_e}} \quad (\text{III.14})$$

$$\sigma_e = 180 \cdot 10^6$$

$$F_s = 1,5$$

$$d > \sqrt[3]{\frac{1,5 \cdot 16 \cdot 3431,2}{3,14 \cdot 180 \cdot 10^6}} = 52,62 \text{mm}$$

Donc finalement $d = 53 \text{mm}$

III.3 CALCUL DU TOURILLON

Les tourillons sont les parties des arbres en contact avec les paliers dont principalement des efforts radiaux. la forme cylindrique est adoptée a cause de son exécution facile, précise et économique.

Il ya deux inconnues sont la longueur l et diamètre d de tourillon.

On utilise deux relations :

$$1^0 \text{ une première relation donne (1) : } \frac{l}{d} = k \begin{cases} 0,8 \text{ à } 1,5 \text{ palier rigide} \\ 1,5 \text{ à } 3 \text{ palier a rotule} \end{cases} \quad (\text{III.15})$$

$$2^0 \text{ une deuxième relation donne (2) : } \frac{F}{ld} = p \quad (\text{III.16})$$

P : est la pression de contact admissible en fonction de la vitesse, de la nature des matériaux e

On a en multipliant (1) par (2) :

$$\frac{F}{d^2} = kp \quad (\text{III.17})$$

$$F = \frac{c}{d/2} \quad (\text{III.18})$$

$$\text{Donc } d = \sqrt[3]{\frac{2c}{kP}} \quad (\text{III.19})$$

On prend

$$l = 1,5 \cdot d \quad (k = 1,5)$$

$P=15$ bars (coussinet en bronze, et graissage continue)

$$(III.18) \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{2.1412,5}{1,5.1510^5}} = 0,1078 \text{ m} = 107,8\text{mm}$$

Donc finalement le diamètre de tourillon est 108mm

III.4 CALCUL DE LA CLAVETTE

Une clavette est une pièce mécanique rapportée entre l'arbre et l'alésage et assurant la liaison en rotation entre ces deux organes. L'assemblage dans l'arbre est une liaison encastrement ou une liaison glissière.

III.4.1 CALCUL LES DIMENSIONS DE LA CLAVETTE

La longueur de ℓ de clavette est calculée au matage par la relation suivante :

$$P = \frac{F_T}{\ell.(b/2)} < p_a \quad (III.20)$$

L'effort de cisaillement est :

$$F_T = \frac{2C}{d} \quad (III.21)$$

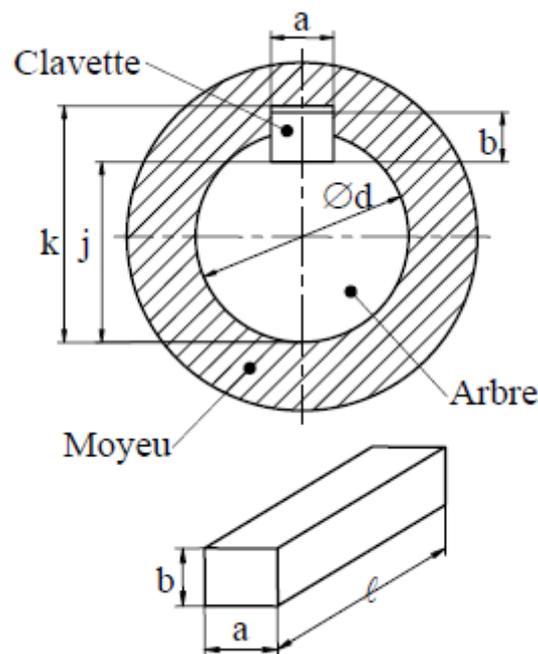


Fig. III.9 Dimensions d'une clavette parallèle

Les valeurs de a et b sont déterminées par le diamètre de l'arbre.

$$F_T = \frac{2C}{d} = \frac{2.1412,5}{108.10^{-3}} = 26157,4\text{N}$$

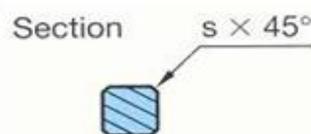
Tableau III.2 : p_a de matage (en MPa)

Fonctionnement		Pression en MPa
Glissant sous charge	A	3 à 30
	B	5 à 15
	C	10 à 20
Glissant sans charge	A	15 à 30
	B	20 à 40
	C	30 à 50
fixe	A	40 à 70
	B	60 à 100
	C	80 à 150

A partir le tableau (III.2) on utilise $p_a = 50\text{MPa}$ pour la condition de glissant sans charge

Tableau III.3 : Dimension normalisé de la clavette parallèle

d	a	b	s	j	k	d	a	b	s	j	k
de 6 à 8 inclus	2	2	0,16	$d - 1,2$	$d + 1$	58 à 65	18	11	0,6	$d - 7$	$d + 4,4$
8 à 10	3	3	0,16	$d - 1,8$	$d + 1,4$	65 à 75	20	12	0,6	$d - 7,5$	$d + 4,9$
10 à 12	4	4	0,16	$d - 2,5$	$d + 1,8$	75 à 85	22	14	1	$d - 9$	$d + 5,4$
12 à 17	5	5	0,25	$d - 3$	$d + 2,3$	85 à 95	25	14	1	$d - 9$	$d + 5,4$
17 à 22	6	6	0,25	$d - 3,5$	$d + 2,8$	95 à 110	28	16	1	$d - 10$	$d + 6,4$
22 à 30	8	7	0,25	$d - 4$	$d + 3,3$	110 à 130	32	18	1	$d - 11$	$d + 7,4$
30 à 38	10	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$	130 à 150	36	20	1,6	$d - 12$	$d + 8,4$
38 à 44	12	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$	150 à 170	40	22	1,6	$d - 13$	$d + 9,4$
44 à 50	14	9	0,4	$d - 5,5$	$d + 3,8$	170 à 200	45	25	1,6	$d - 15$	$d + 10,4$
50 à 58	16	10	0,6	$d - 6$	$d + 4,3$	200 à 230	50	28	1,6	$d - 17$	$d + 11,4$



A partir le tableau précédant pour un diamètre $d = 108\text{mm} \Rightarrow a = 28\text{mm}$ et $b = 16\text{mm}$

$$J = d-10 = 108-10 = 98\text{mm}.$$

$$K = d+6,4 = 108+6,4 = 114,4\text{mm}.$$

$$S=1\text{mm}.$$

$$\begin{aligned} \frac{F_T}{\ell \cdot (b/2)} < p_a &\Rightarrow \ell > \frac{F_T}{p_a \cdot (b/2)} \\ &\Rightarrow \ell > \frac{26157,4}{50 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} \\ &\Rightarrow \ell > 0,0654\text{m} = 65,4\text{mm} \end{aligned}$$

Donc $\ell = 66\text{mm}$.

Vérification de ℓ au cisaillement

$$\tau = \frac{F_T}{a \cdot \ell} \leq \tau_{\text{adm}} \quad (\text{III.22})$$

$$\tau_{\text{adm}} \leq \frac{\mu \cdot R_e}{F_S}$$

$\mu=0,5$ (alliages d'aluminium)

R_e : Limite d'élasticité ($R_e=50\text{MPa}$ alliage d'aluminium)

$$\ell \geq \frac{F_T \cdot F_S}{a \cdot \mu \cdot R_e}$$

$$\ell \geq 56,05\text{mm}$$

Donc condition de cisaillement est vérifiée

Donc finalement d'après la condition de matage et de cisaillement on prend $\ell = 66\text{mm}$.

III.5 CALCUL DES CANNELURES

Le montage par cannelure est utilisé pour transmettre des couples importants. Le nombre de cannelure et la section des flancs dépendent du diamètre de l'arbre et de la série de cannelure dont on dénombre trois : la série faible, moyenne et forte.

Le calcul de cannelure consiste en la détermination de la longueur L qui doit vérifier la condition suivante : $L < 2,5 d$.

La longueur des cannelures est calculé à partir la condition de cisaillement

$$\tau = \frac{F_T}{a \cdot L} \leq \tau_{\text{adm}} \quad (\text{III.23})$$

$$\tau_{\text{adm}} \leq \frac{\mu \cdot R_e}{F_S}$$

$\mu=0,5$ (acier)

R_e : Limite d'élasticité ($R_e=180\text{MPa}$ acier 1010 laminée à chaud)

$$F_T = \frac{C}{d/2} = \frac{1412,5}{51 \cdot 10^{-3}} = 27696,07\text{N}$$

$$L \geq \frac{F_T \cdot F_S}{b \cdot \mu \cdot R_e}$$

$$L \geq 28,08\text{mm}$$

Donc $L=30\text{mm}$

La valeur de d déterminé à partir de tableau III.4

d = 102mm (série légère)

$$L < 2,5 d \Rightarrow 30 < 2,5 \cdot 102 = 255 \text{ mm}$$

Donc la condition est vérifiée.

Le nombre des cannelures est n = 10

Tableau III.4 Dimension normalisé des cannelures à flancs parallèle

Série légère				
n	d	D	B	s
6	23	26	6	5
	26	30	6	7,2
	28	32	7	7,2
8	32	36	6	8,4
	36	40	7	8,4
	42	46	8	8,4
	46	50	9	8,4
	52	58	10	12
	56	62	10	12
	62	68	12	12
10	72	78	12	15
	82	88	12	15
	92	98	14	15
	102	108	16	15
	112	120	18	22,5

n = nombre de cannelures.
s = surface réelle d'appui des cannelures par millimètre de longueur.

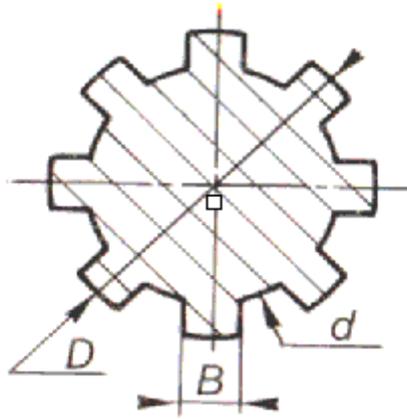


Fig. III.10 cannelure à flancs parallèle

III.6 DIMENSION DU JOINT DE CARDAN

Un joint de cardan permet la transmission d'un mouvement de rotation à deux arbres concourant.

Le couple transmettre sur le bras de commande est 1412,5Nm.

Donc on cherche un joint de cardan qui transmette cette valeur

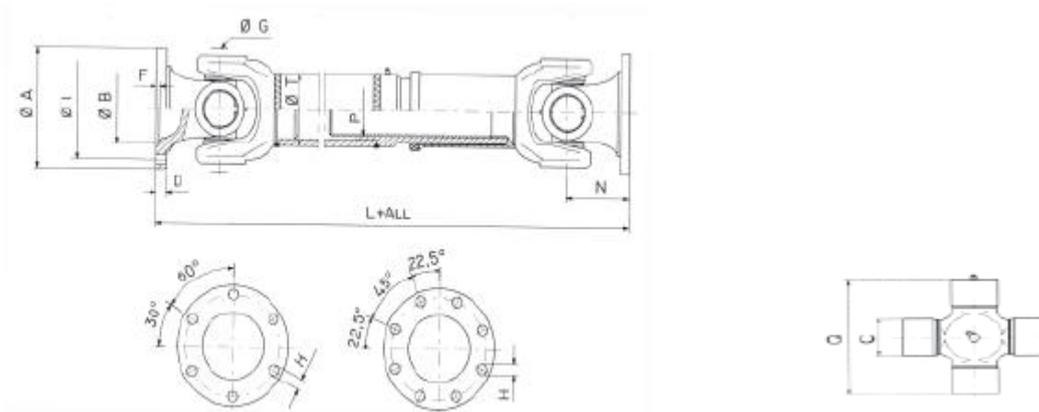


Fig. III.11 cardan série 08.100

Tableau III.5 dimension de joint de cardan série 08.100

M_t Nm	1450
β	20°
A	100 mm
D	7 mm
H	8 mm
I	84 mm
Nombre de trous	6
N	46 mm
P	35×31×18 DIN5482
L+ALL	480 à 640 mm
Q	81,8 mm
C	30mm

III.7 DIMENSIONS DU CHARIOT ET DU RAIL DE GUIDAGE

La direction de l'effort aérodynamique est constante au cours du mouvement, pratiquement perpendiculaire à l'axe du rail de guidage.

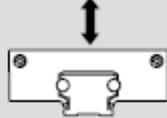
La valeur appliquée sur le chariot et le rail est la valeur appliquée sur le volet diffusé par 3

Donc

La valeur est $\frac{29750}{3} = 9916,67N$

On détermine le type que vaut utilise (catalogue de Rexroth Bosch group).

Tableau III.6 capacités de charge de chariot et de rail

Taille -Variante	Référence				
		C_y (N)	C_{y0} (N)	C_z (N)	C_{z0} (N)
20	1902-119-00	2300	1600	1336	783
25	1902-125-00	2550	1780	1357	803
32	1902-132-00	7335	4560	4300	2200
52	1902-152-00	17150	10200	10050	4900
52-h	1902-252-00	27900	15400	16775	7630
52-sh	1902-352-00	31000	18200	18400	8750

Le type est guidage par galet 1902

A partir le tableau précédant on utilise le type 52-h $\Rightarrow c_z = 16775N > 9916,67N$

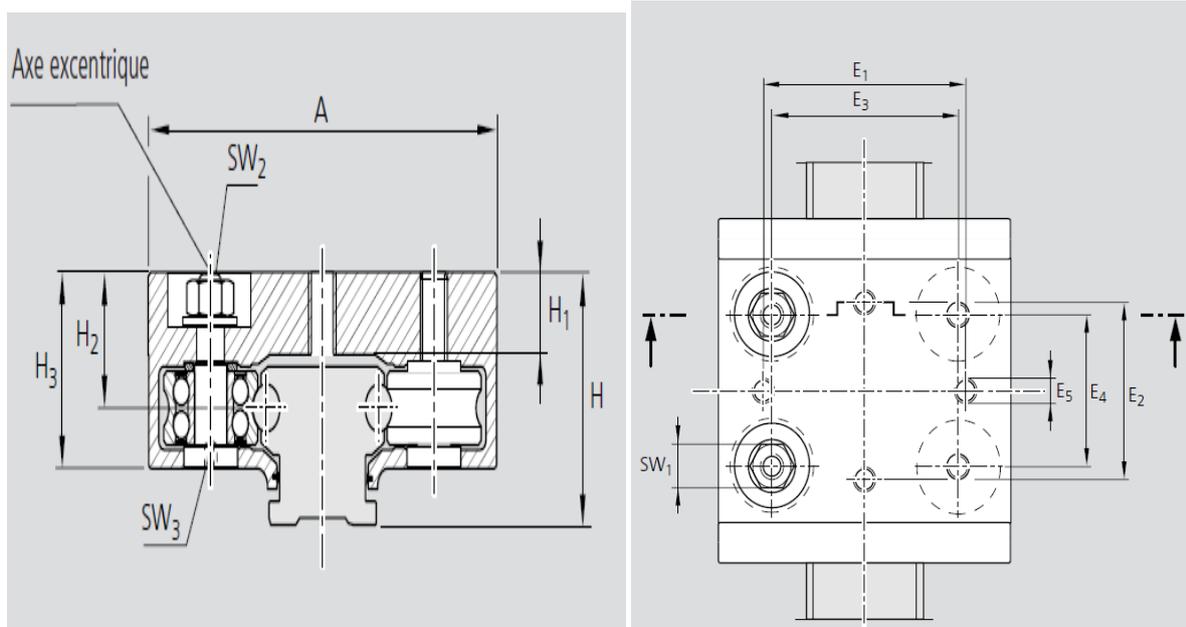


Fig. III.12 dimension de chariot

Tableau III.7 dimension de chariot (mm)

	A	B	B ₁	B ₂	H	H ₁	H ₂	H ₃	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	SW ₁	SW ₂	SW ₃
52h	145	186	154	16	60,4	24	35,3	51	115	110	90	105	M10	16	4	6

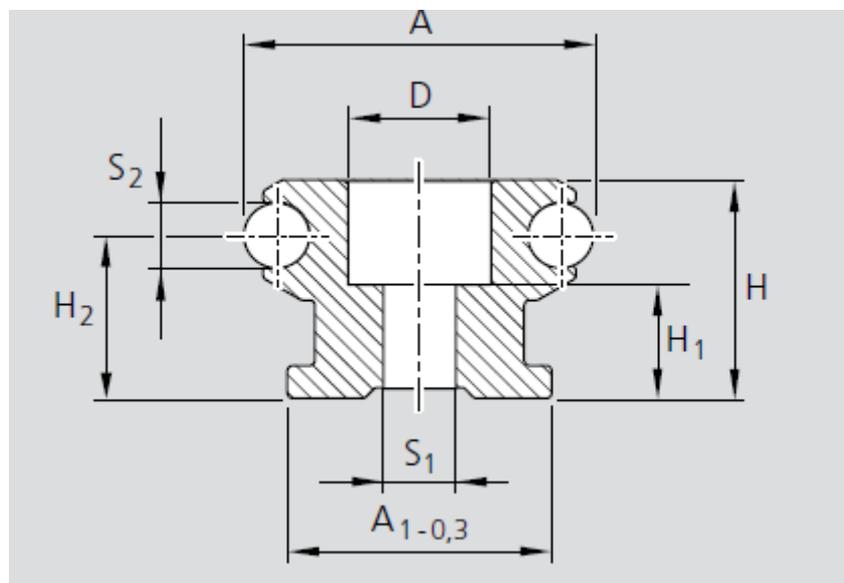


Fig. III.13 dimension de rail de guidage

Tableau III.8 dimension du rail de guidage (mm)

	A	A ₁	H	H ₁	H ₂	D	S ₁	S ₂
52-2	52	40	34	19	25,1	20	11	10

CHAPITRE IV
ETUDE TECHNOLOGIQUE

IV.1 INTRODUCTION

Ce chapitre est la partie la plus important car tous les chapitres précédant fait pour utiliser dans ce chapitre qui permet dessiner et assembler le système étudié par SolidWorks.

IV.2 LOGICIEL SOLIDWORKS

SolidWorks est un logiciel de dessin et conception assisté par ordinateur DAO et CAO. Il est considéré comme un outil essentiel dans le domaine de la conception mécanique, et nombreuses entreprises et bureaux d'études en mécanique de renommé l'utilisent.

Il permet, avec ses diverses fonctionnalités, d'aborder des problèmes de dimensionnement complexe et de les résoudre dans des délais très courts, comparés aux méthodes conventionnelles.

Il est apprécié par des ingénieurs de conception pour sa souplesse et son potentiel en constante progression grâce au programme de développement.

L'interface DAO de SolidWorks permet la création de formes en 3D de la manière la plus facile et la plus rapide.

Il fait appel à des fonctions comme la révolution, l'extrude, enlèvement de matière ou la symétrie pour obtenir des formes 3D à partir de dessin plan. Pour une même forme il peut y avoir différentes manières de procéder pour sa création.

Par exemple sur une même surface fait les fonctions Base / Bossage extrudé et assistance pour le perçage.

La fonction Base / Bossage extrudé (cylindre) : obtenir un cylindre par extrusion de L'esquisse d'un cercle.

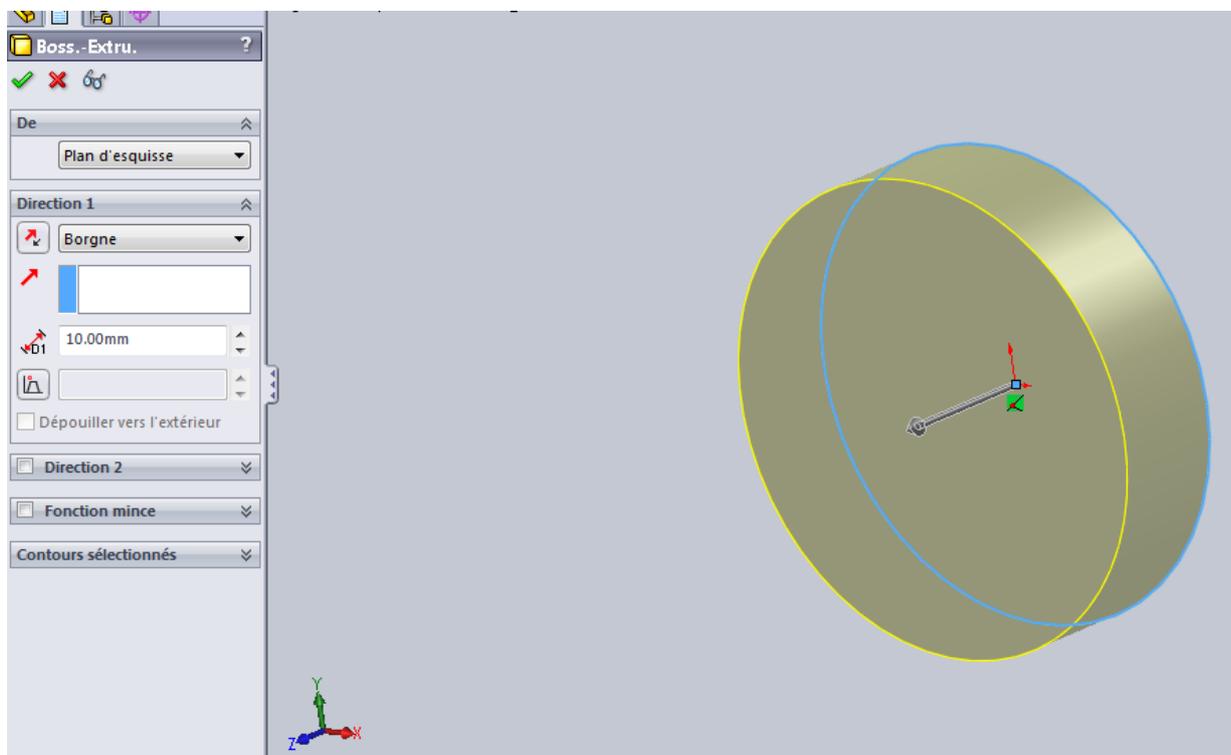


Fig. IV.1 Obtention d'un cylindre par Base / Bossage extrudé

- ✓ La fonction assistance pour le perçage: obtenir un perçage sur un cylindre.

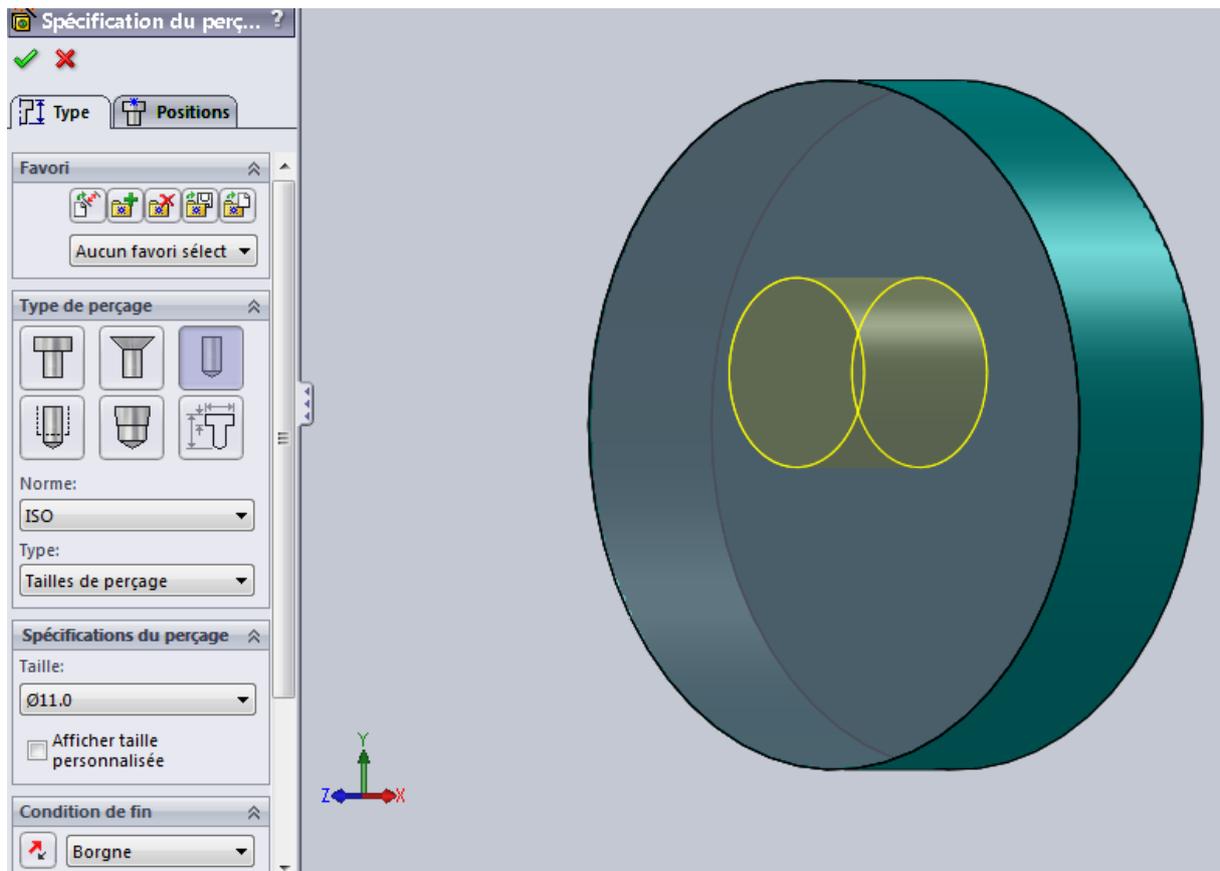


Fig. IV.2 Obtention un perçage sur un cylindre.

SolidWorks était à la base un logiciel de modélisation 3D, mais avec le temps et le Développement de l'outil numérique, il a été doté de plusieurs compléments dont on citera : Cosmos Works, Motion Works, Flow Works, Solid Works-Piping, Solid Works Animator...

- ✓ SolidWorks-Piping : interface de conception de tuyauteries dotées d'une bibliothèque d'accessoires normalisés.
- ✓ SolidWorks Animator : interface permettant la création d'animation de mouvement des produits de conceptions
- ✓ FlowWorks : interface permettant la simulation d'écoulements et des phénomènes de transfert de chaleur ;
- ✓ MotionWorks : interface d'étude des mouvements d'assemblages ;
- ✓ CosmosWorks : interface de calcul de structures intégré à SolidWorks. Il permet différents types d'analyse tels que l'analyse statique (déplacements, déformations et contraintes), modale (fréquences propres et déformées modales), du flambage (charges critiques de flambage) ou de l'optimisation dimensionnelle.

SolidWorksS offre la possibilité de développer des produits plus rapidement, pour un coût inférieur et de manière plus efficace qu'avec des prototypes, aussi précis soient-ils, tout en permettant d'étudier les performances obtenues avec un bien meilleur niveau de détail.

A partir des formes volumiques, on peut créer des assemblages de mécanismes ou structure en introduisant les contraintes appropriées.

IV.3 VOLET

IV.3.1 Volet sans support

Le volet est constitué de deux parties qui s'assemblent avec des rivets ou avec soudage mais la méthode plus préférable est le soudage car l'assemblage par rivets produit un problème de turbulence de l'air sur le volet.

Le volet à l'intérieur est vidé d'une épaisseur de 15mm.

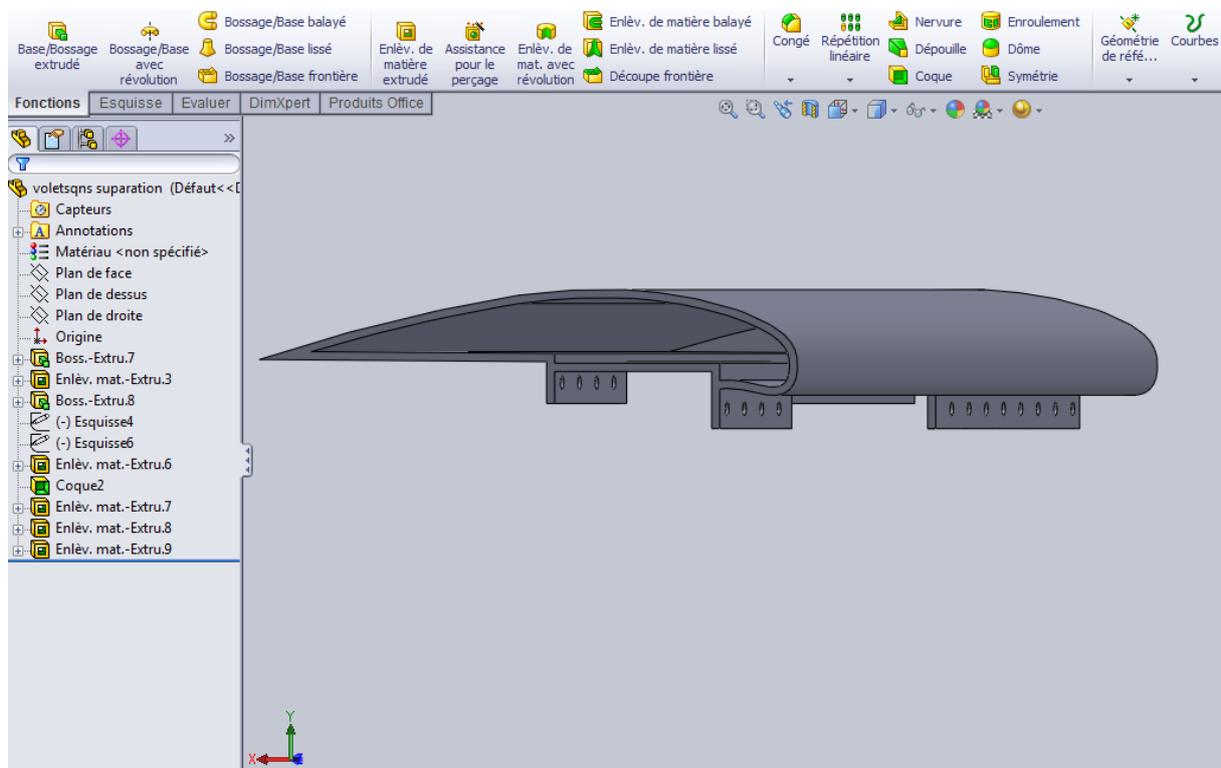


Fig. IV.3 Partie 1 de volet

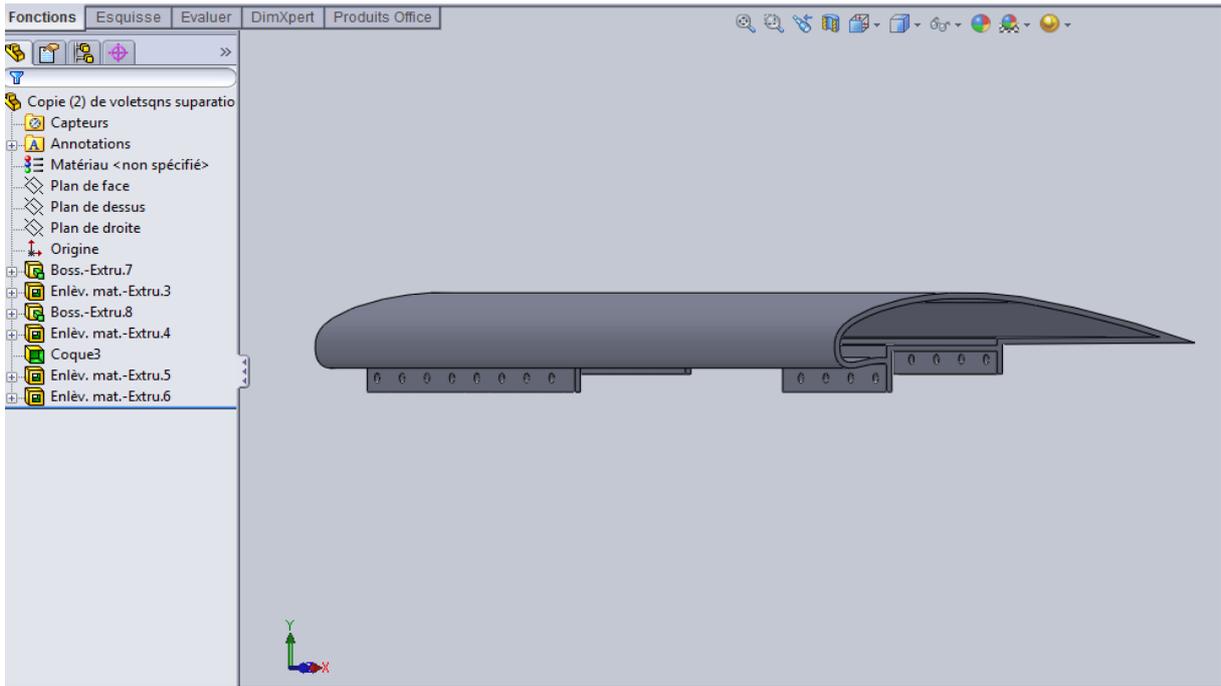


Fig. IV.4 Partie 2 de volet

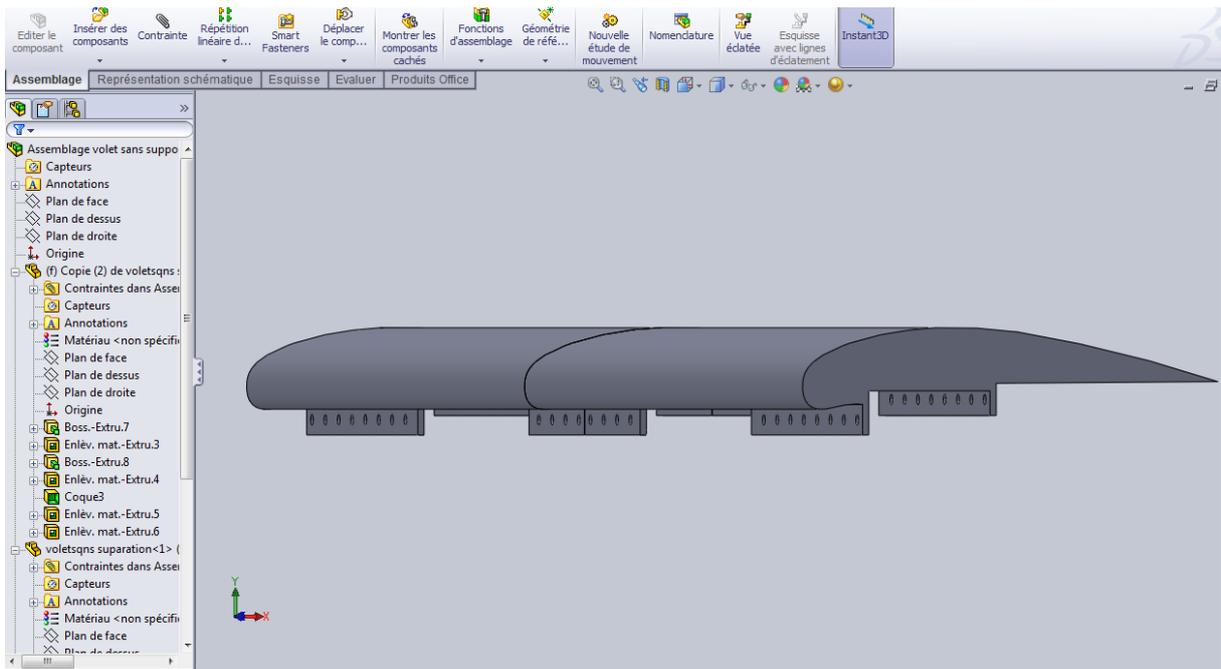


Fig. IV.5 Assemblage de volet sans support

IV.3.2 Supports de volet

Le volet est fixe avec le support de volet par les rivets (48 rivets) car l'assemblage par les rivets est un assemblage indémontable.

Le volet est supporter par 3 support la distance entre les 3 supports est 1m.

Le diamètre des rivets est calculé dans le chapitre précédent.

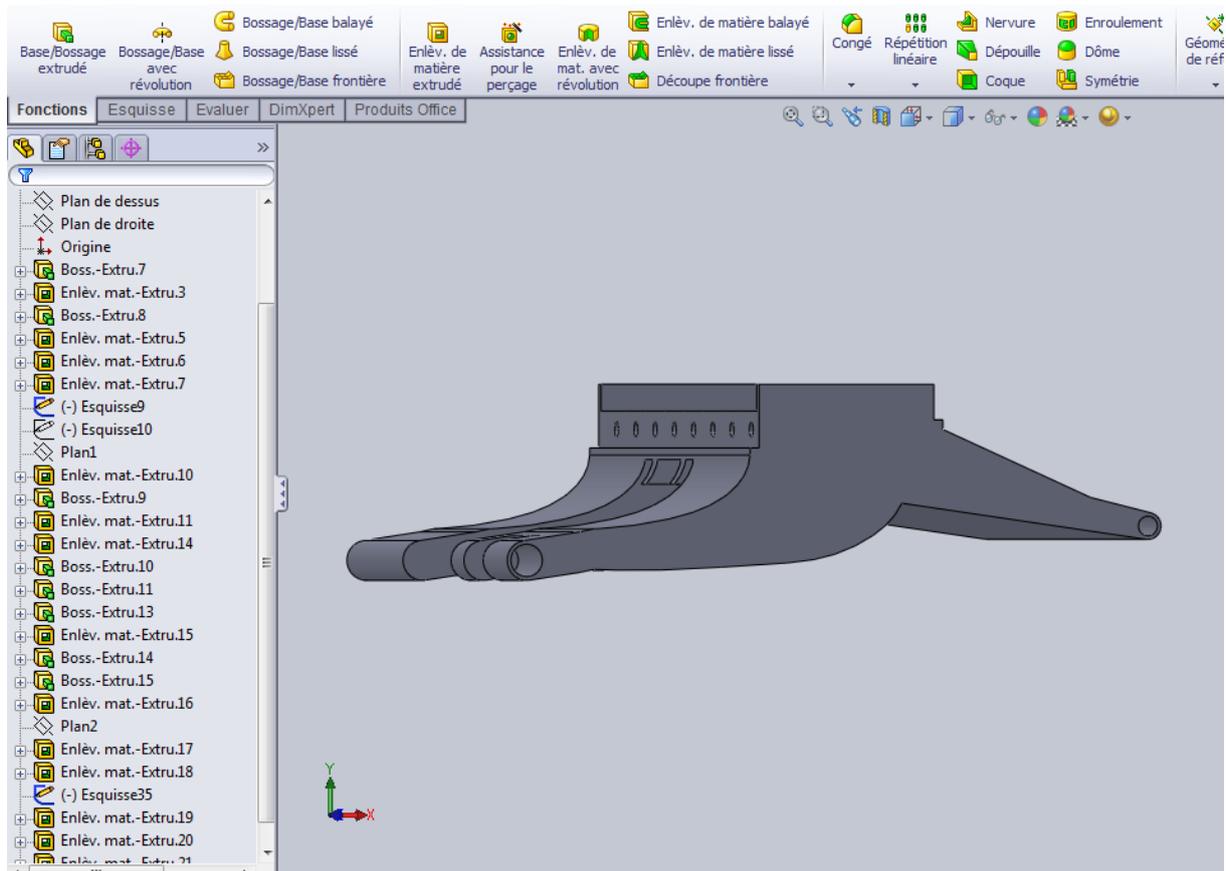


Fig. IV.6 Support 1 et 2de volets

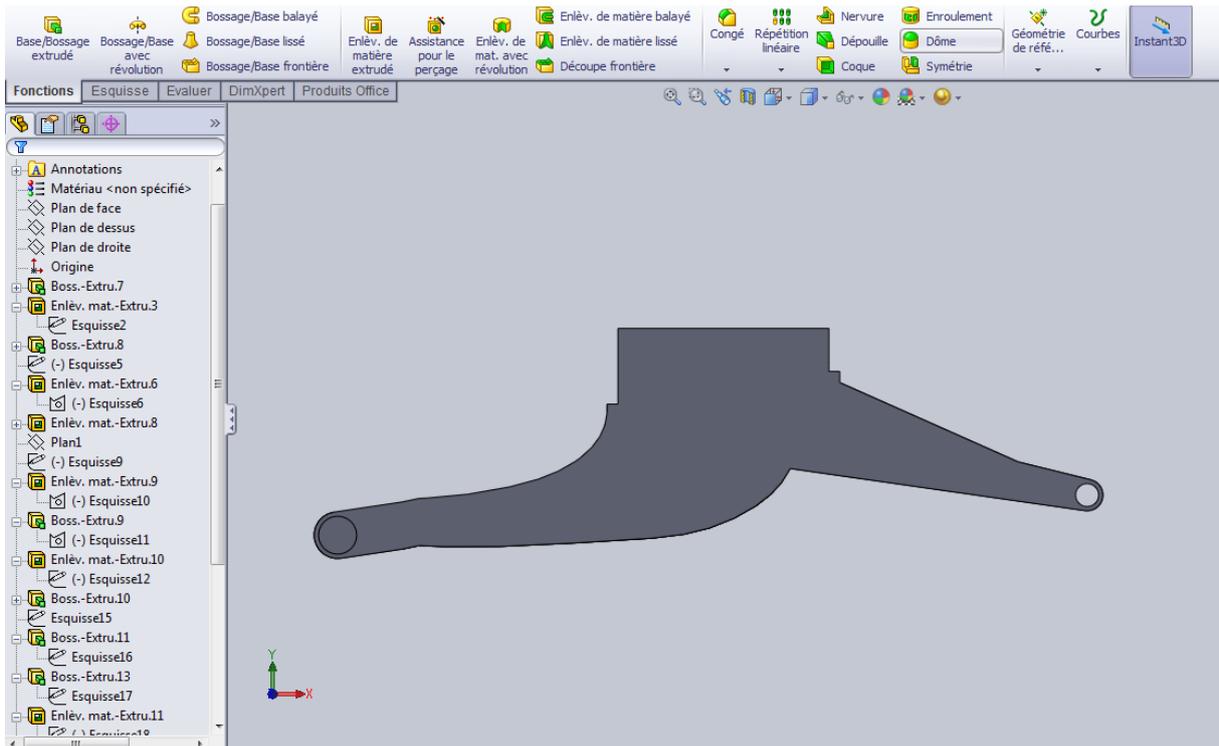


Fig. IV.7 Support 3 de volet

Donc à partir de 3 supports on fait l'assemblage avec le volet sans support.

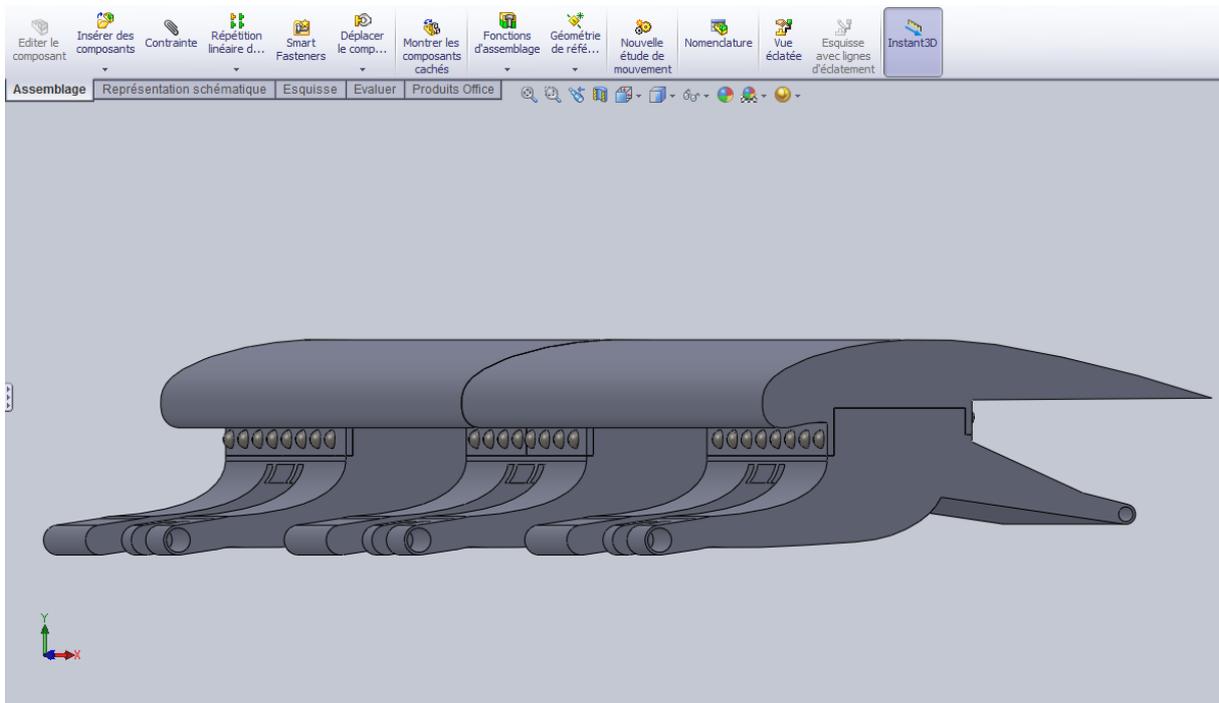


Fig. IV.8 Assemblage de volet et les 3 supports par les rivets

IV.4 CHARIOT ET RAIL DE GUIDAGE

L ensemble chariot a gale et rail est relievé avec le support de volet pour permet de facilité le glissement et le guidage de volet dans les phases de rentrer et de sortie.

IV.4.1 Rail de guidage

Le rail de guidage est fixé avec un bâti fixe

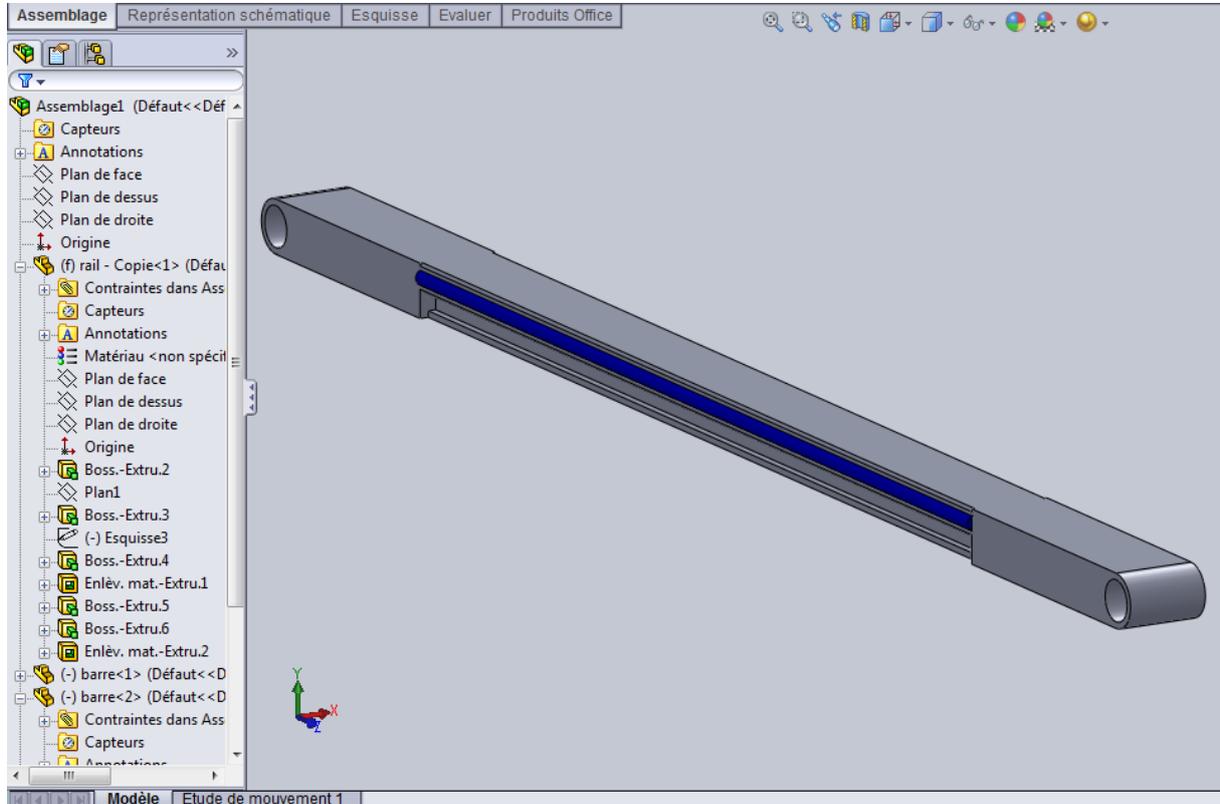


Fig. IV.9 Rail de guidage

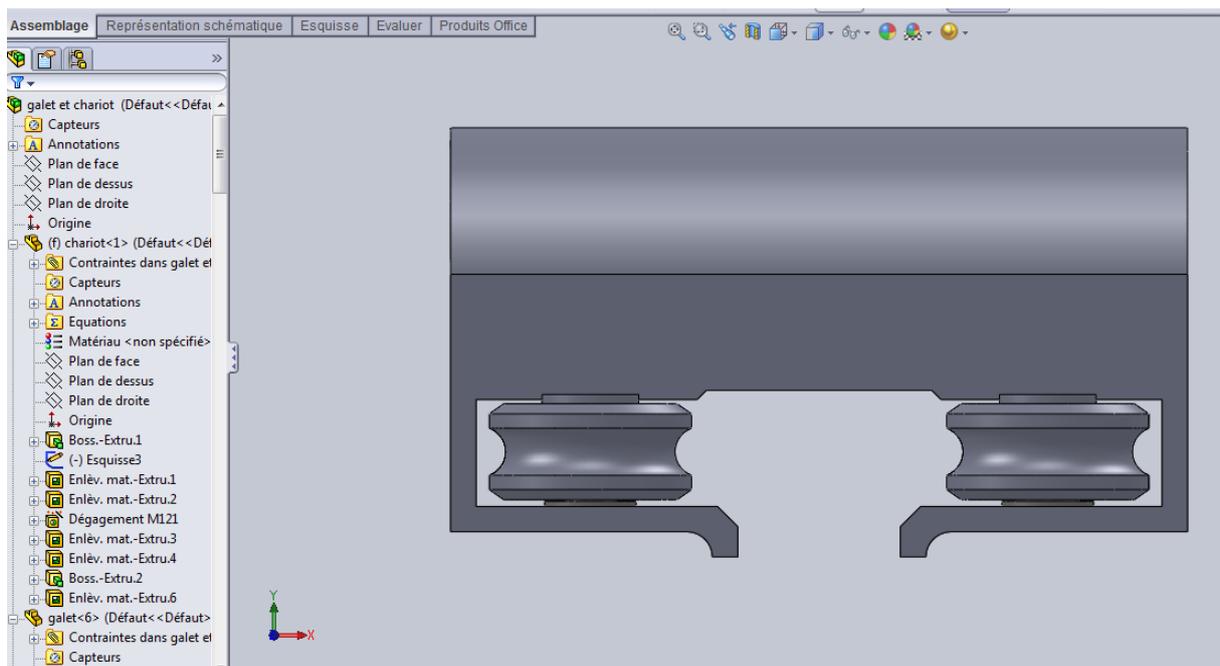


Fig. IV.10 chariot

On fait l'assemblage entre le chariot et le rail de guidage

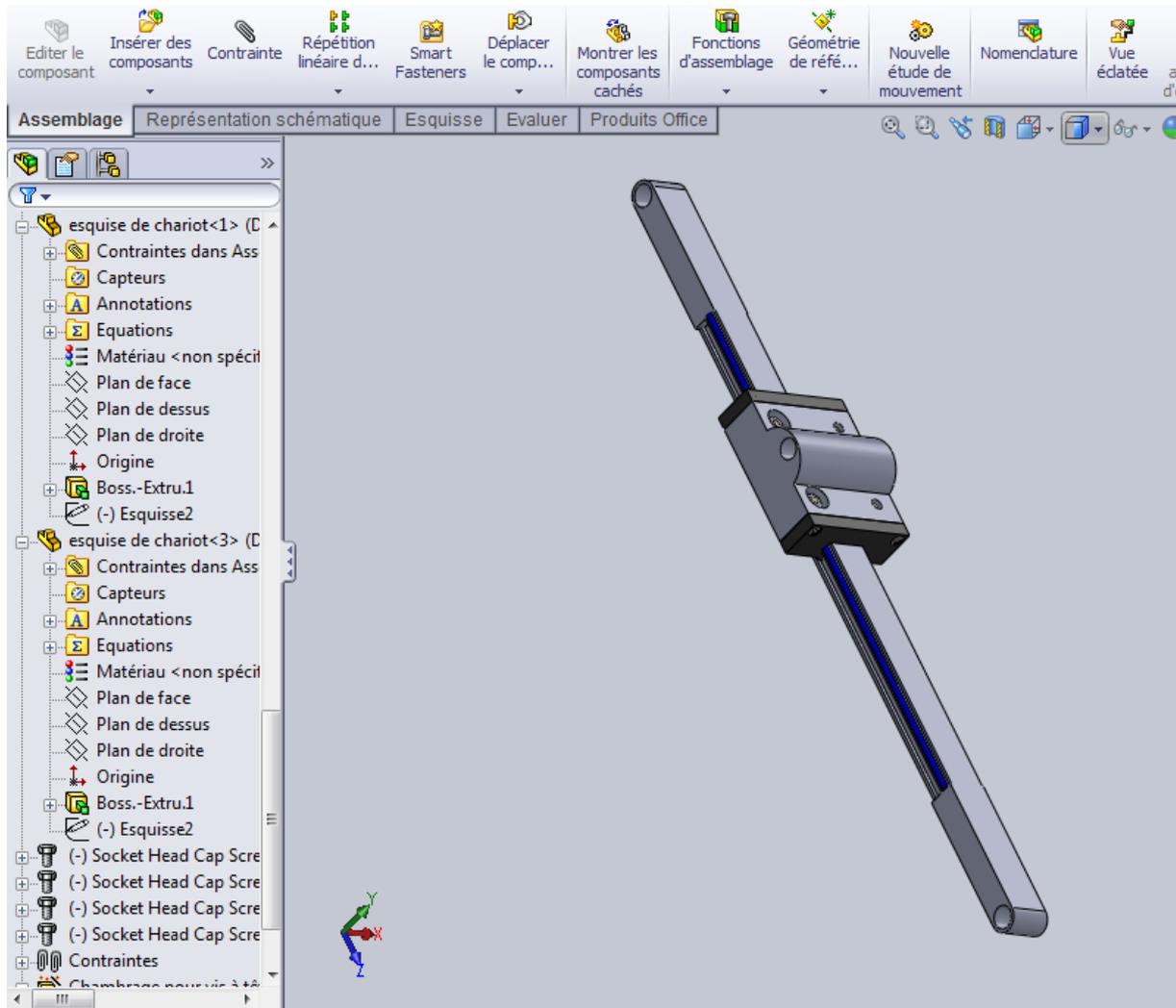


Fig. IV.11 L'assemblage entre le chariot et le rail de guidage

IV.5 JOINT DE CARDAN

Le joint de cardan seul est constitué aux plusieurs organes:

- Fourches
- Circlips
- Croisillons
- Roulement a aiguille
- Arbre cannelé

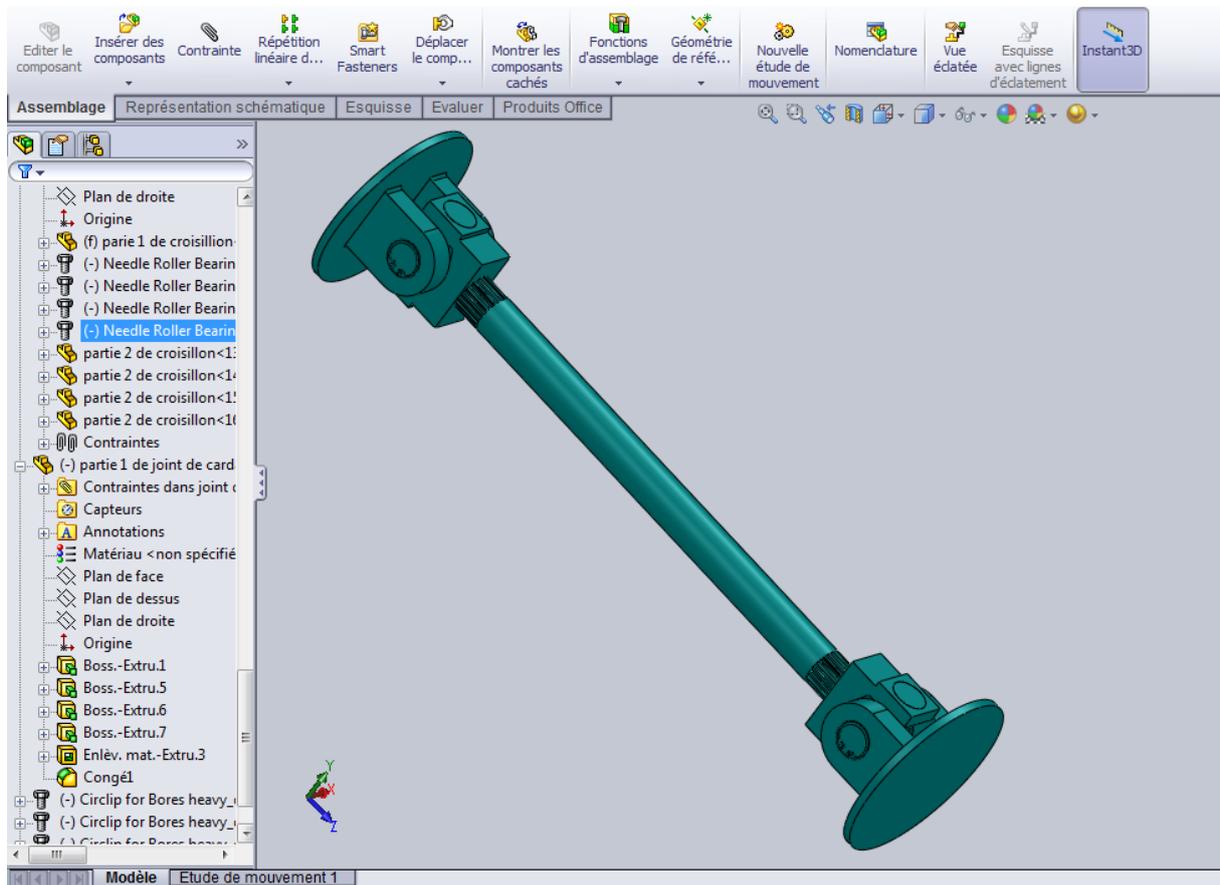


Fig. IV.12 L'assemblage de joint de cardan

IV.6 ACCOUPLEMENT RIGIDE

L'exterminer de joint de cardan qui on utilise est une fourche et pour ce la il faut utiliser un accouplement rigide entre le joint de cardan et l'arbre cannelé.

L'accouplement et le cardan est fixé par des boulons.

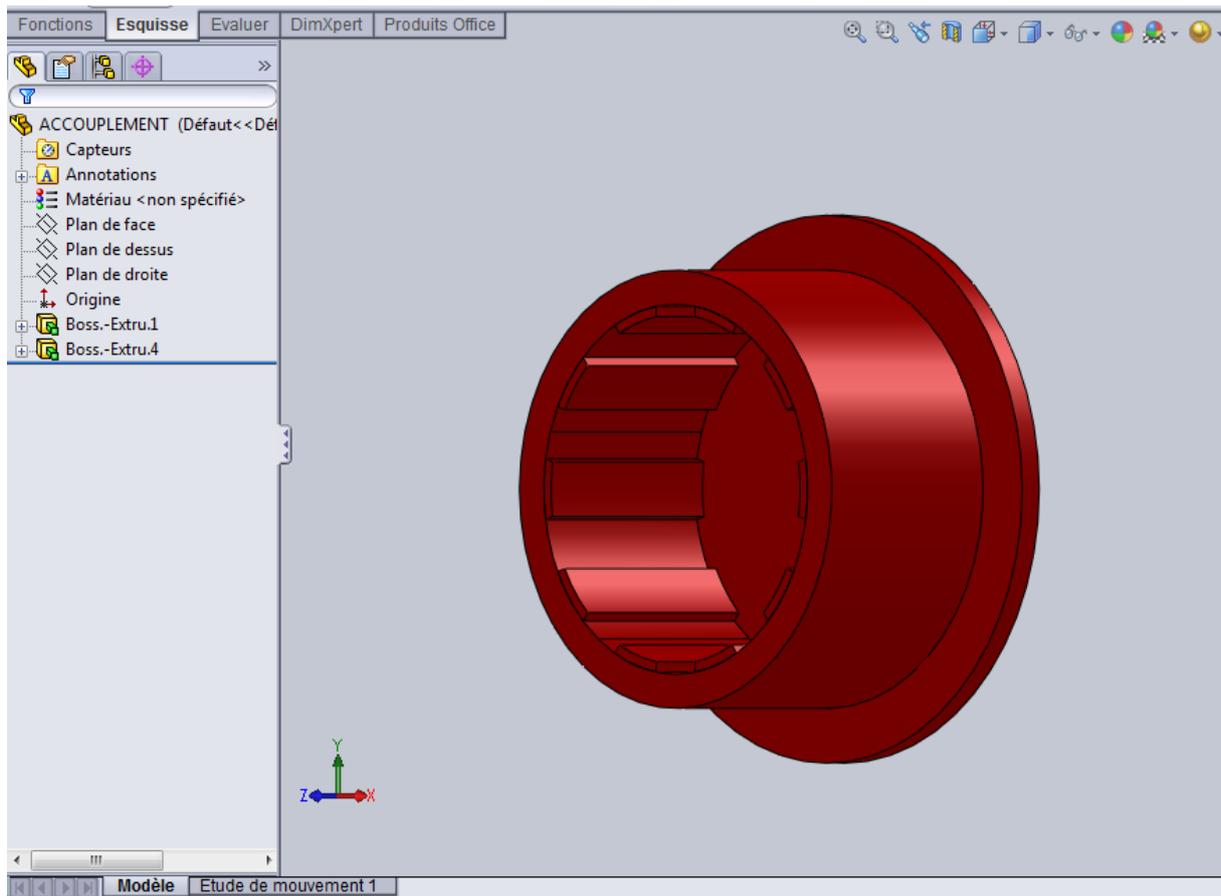


Fig. IV.13 Accouplement rigide

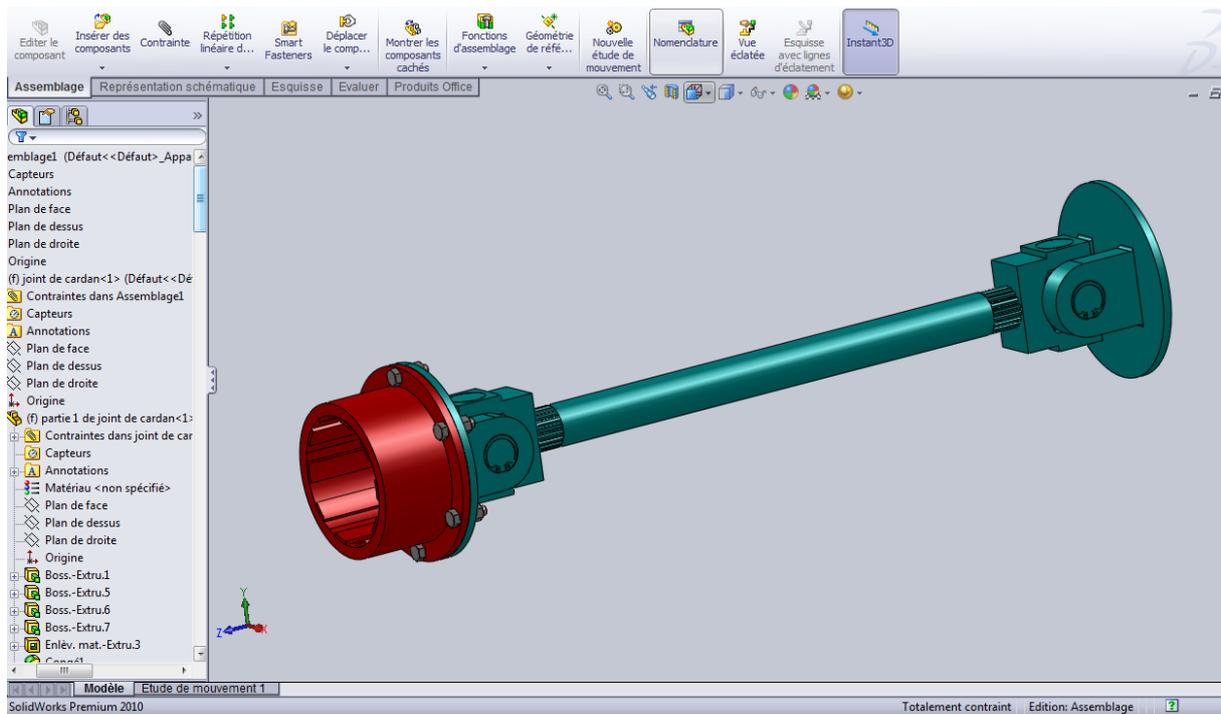


Fig. IV.14 Assemblage de joint de cardan et l'accouplement

IV.7 ARBRE

Cette arbre est cannelé sur un coté et fileter sur l'autre coté. Le coté cannelé est assembler avec l'accouplement rigide, mais l'autre coté est assembler avec un écrou SKF (écrou a encoches) pour bloqué le bras de commande a sortir a l'aide d'un rondelle a encoche . Entre les deux extrémités il ya un clavette, bâti et deux rondelles pour éviter le contact entre les solides. Le bâti est utilisé pour guider l'arbre.

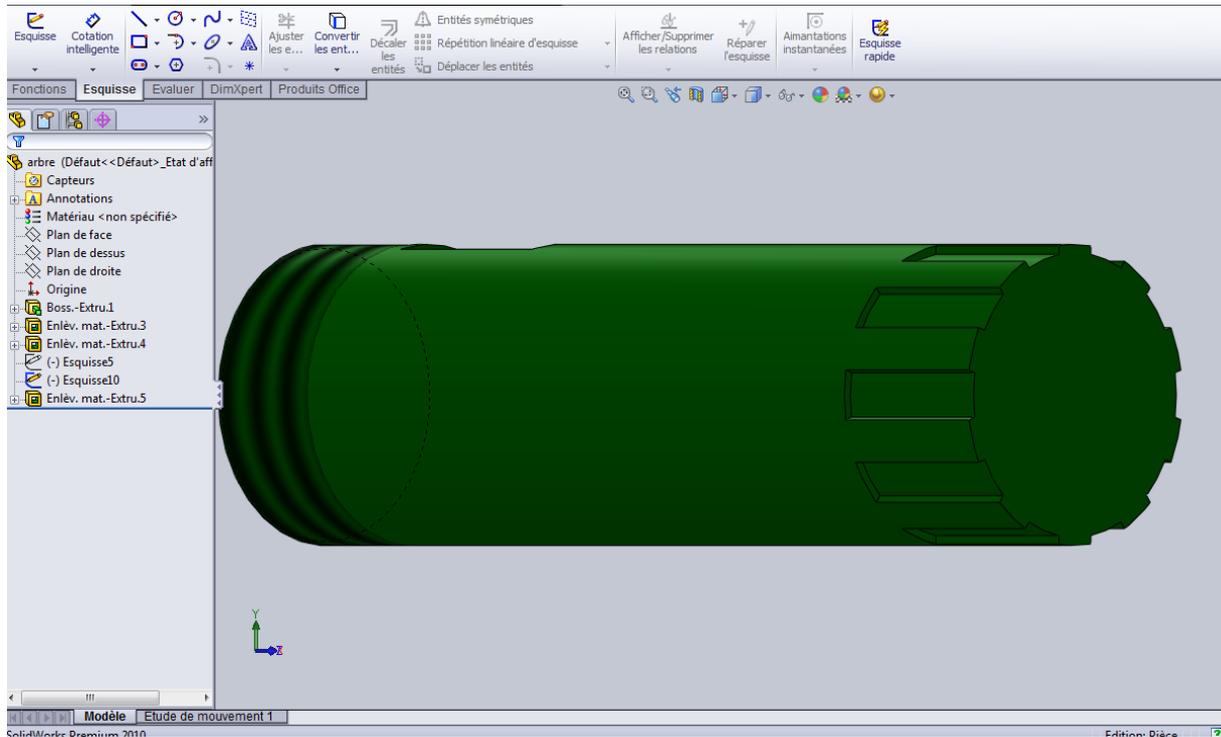


Fig. IV.15 Arbre

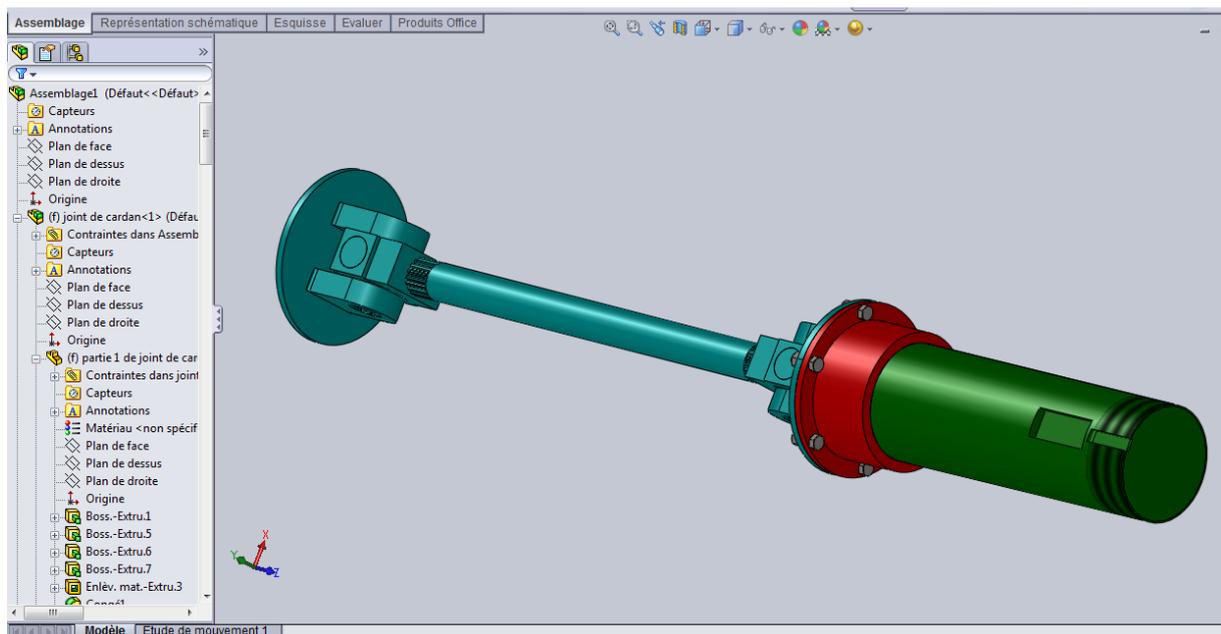


Fig. IV.16 Assemblage arbre et joint de cardan par accouplement

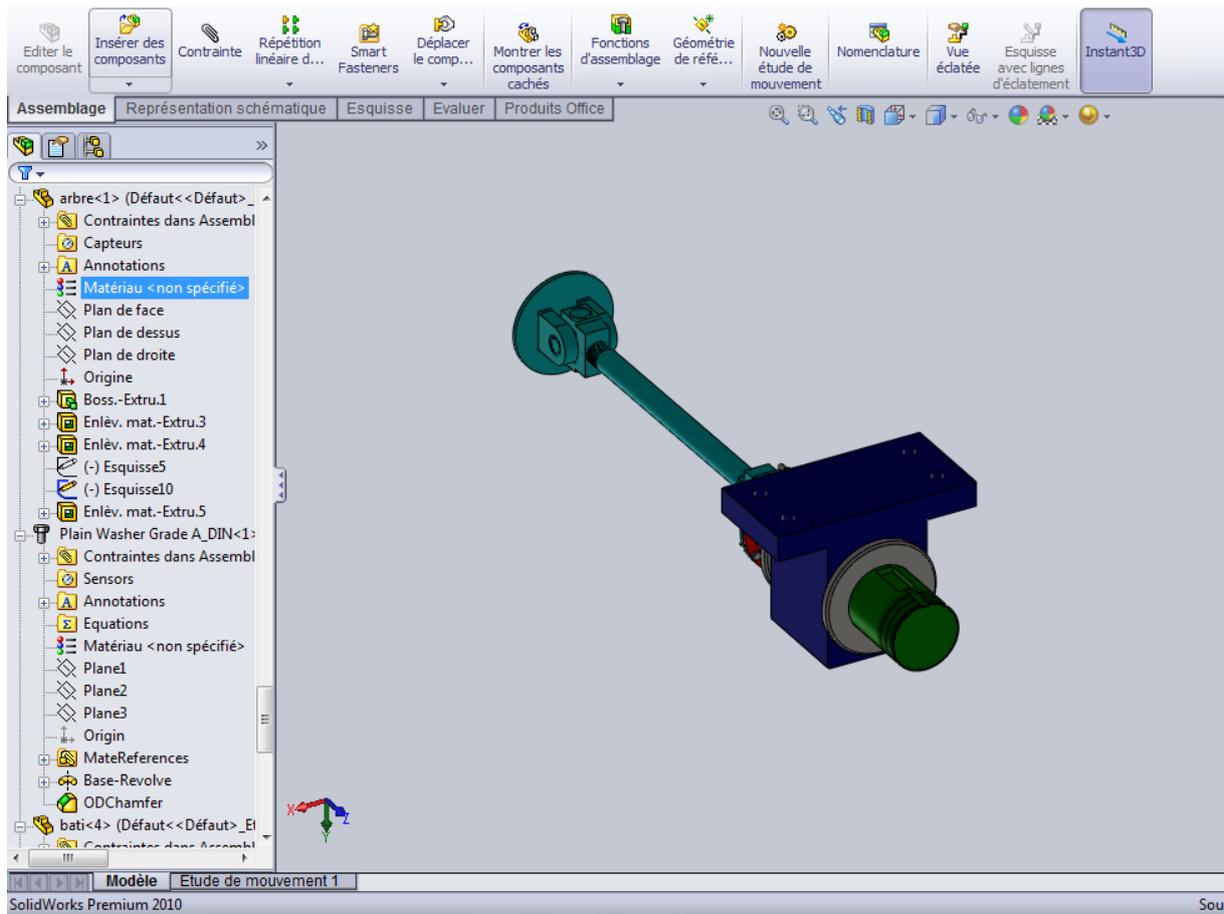


Fig. IV.17 Assemblage arbre et bâti

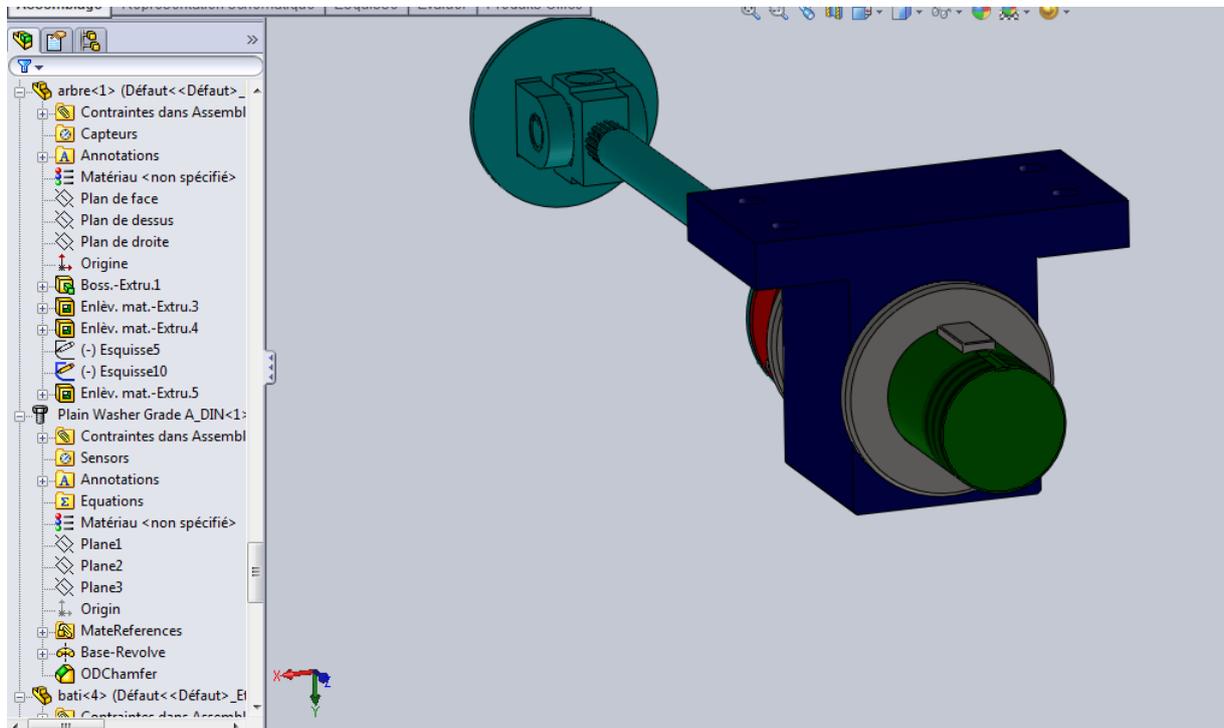


Fig. IV.18 Assemblage arbre, bâti et clavette

IV.8 LE BRAS

Le bras est assemblé avec l'arbre précédant par une clavette dans l'extrémité supérieur et dans l'extrémité inférieure avec le volet par un boulon.

Il ya 3 bras de commandes ou 3 systèmes de commande le volet

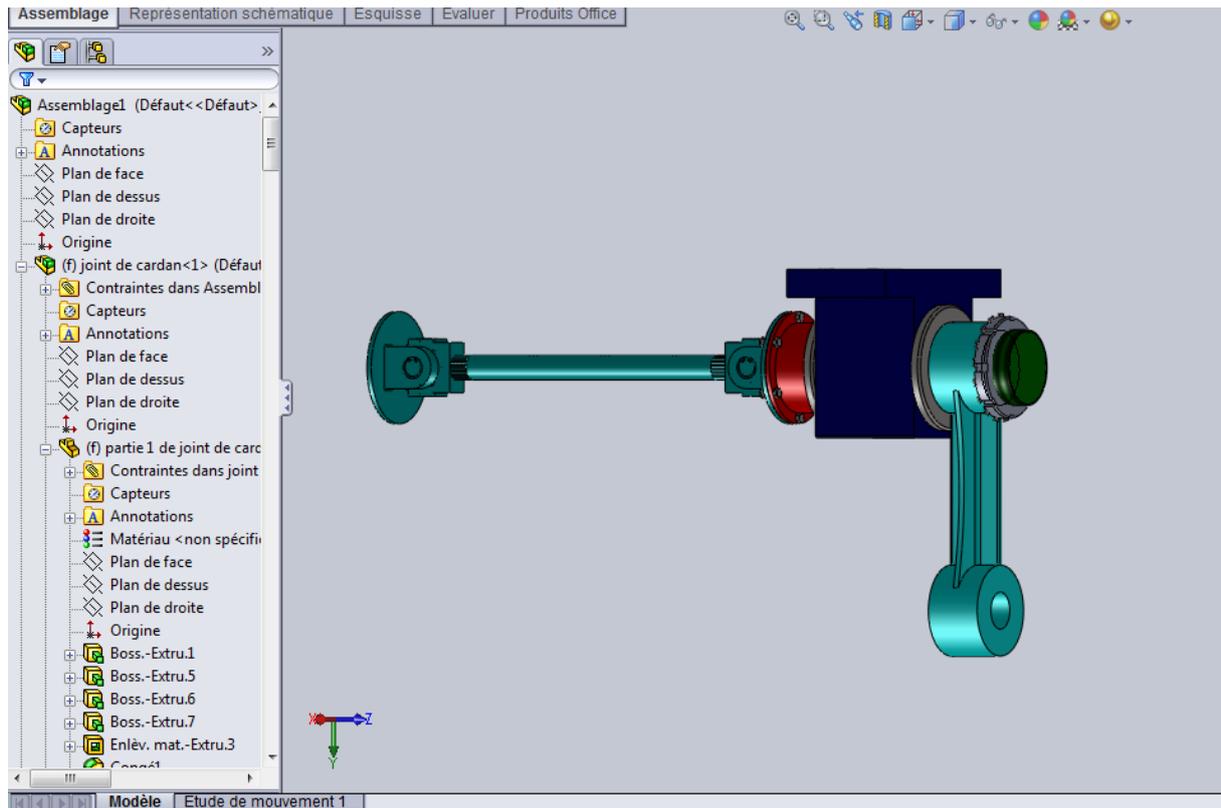


Fig. IV.19 Assemblage le système qui commande le volet

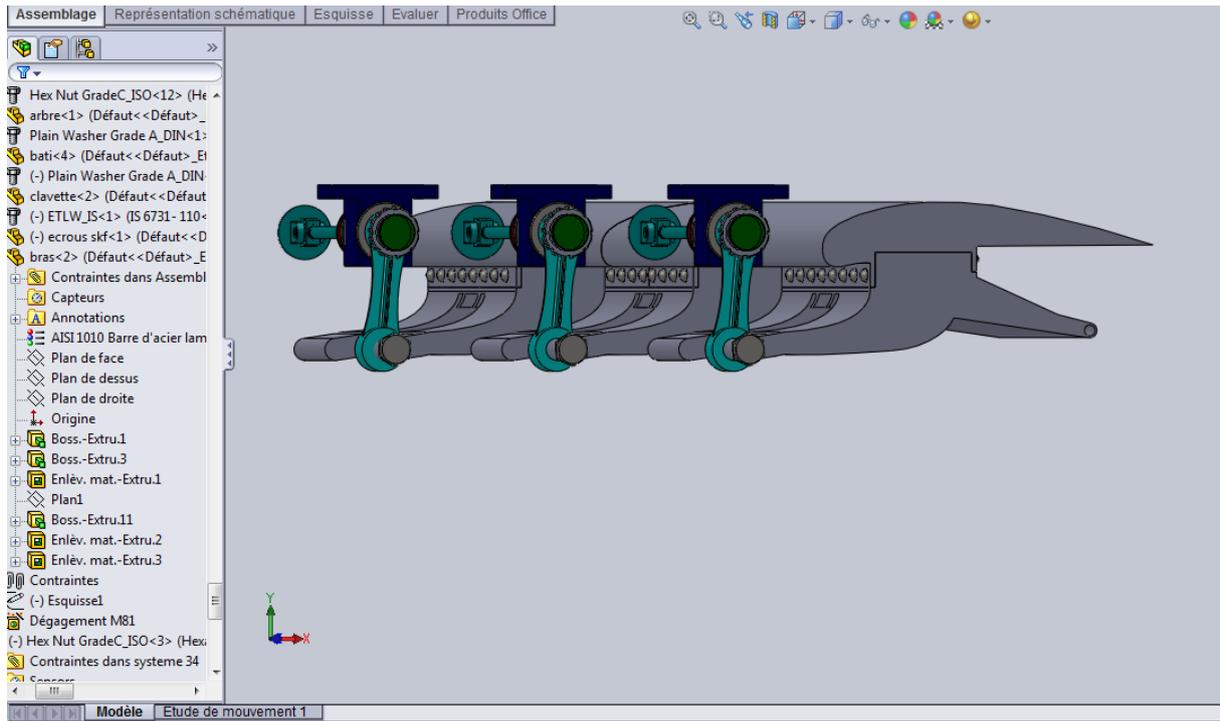


Fig. IV.20 Assemblage le volet avec système de commande

IV.9 ASSEMBLAGE VOLET AVEC CHARIOT ET RAIL

Le volet assemblé avec le 3 chariots par un 3 boulon.

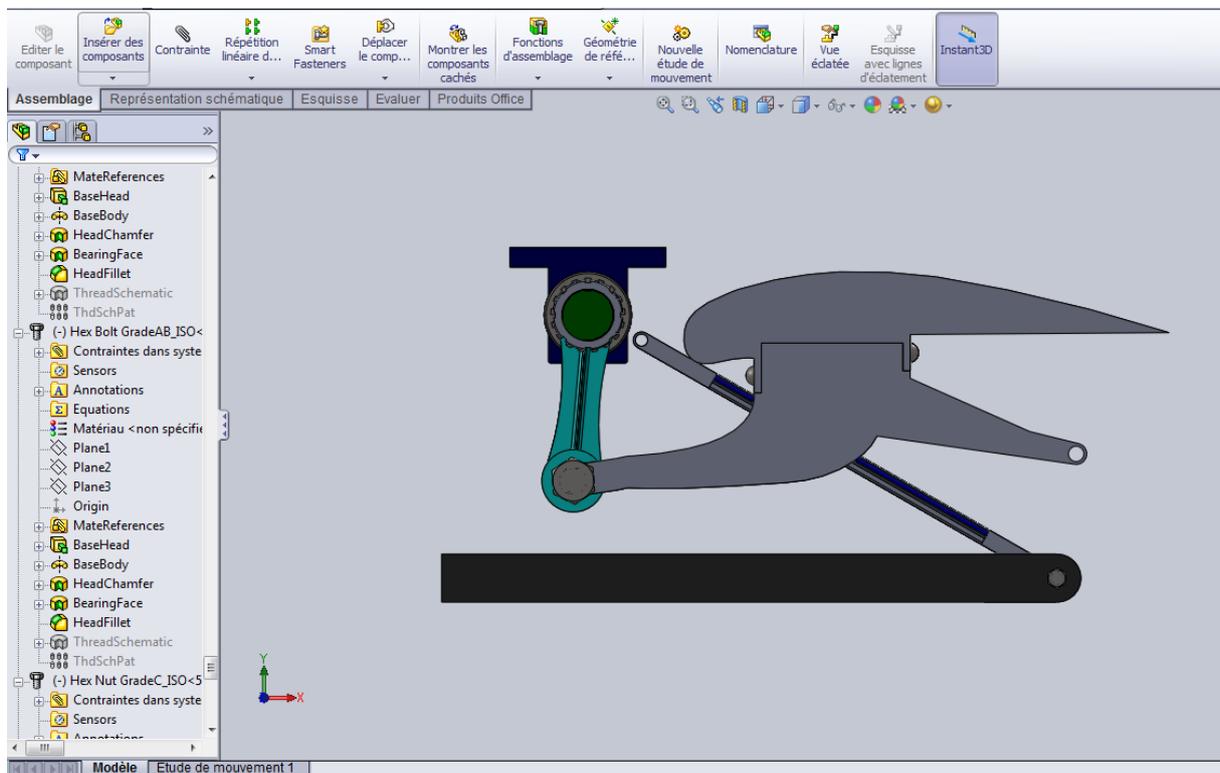


Fig. IV.21 Assemblage de volet avec chariot

IV.10 ASSEMBLAGE LE SYSTEME DU VOLET

Pour protéger le système de volet contre le vent on utilise un capot qui fonctionne en même Temps avec le volet, il contient une articulation sur l'aile pour permet fonctionner.

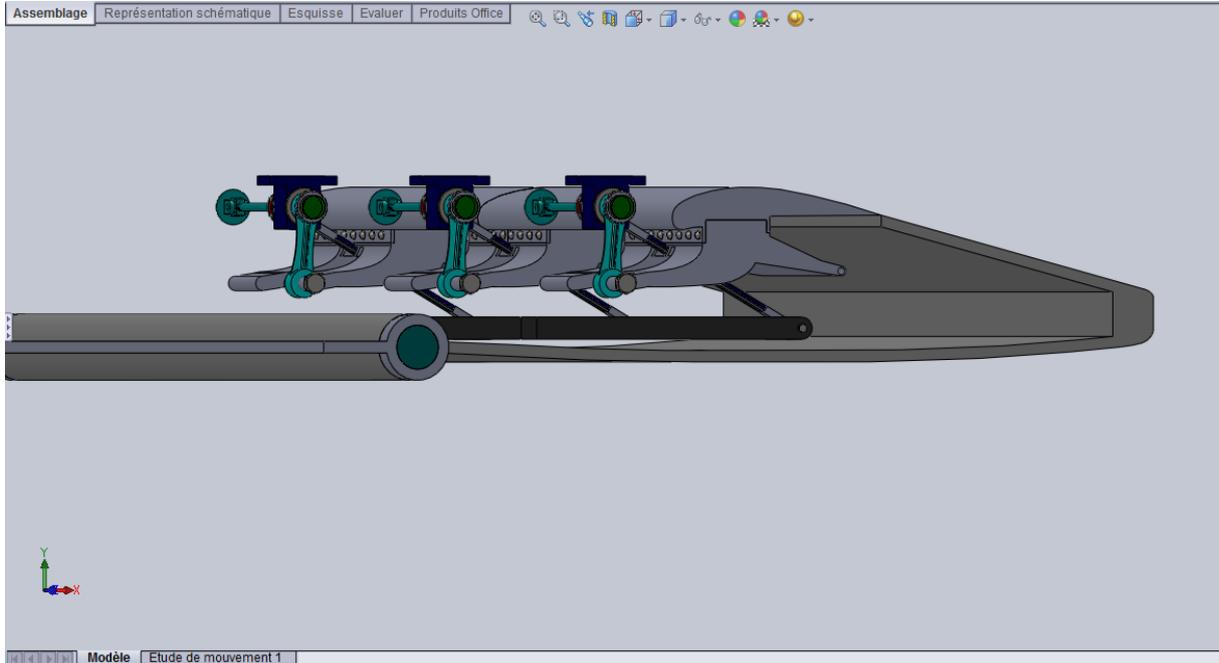


Fig. IV.22 Assemblage système du volet avec capot en position rentrée

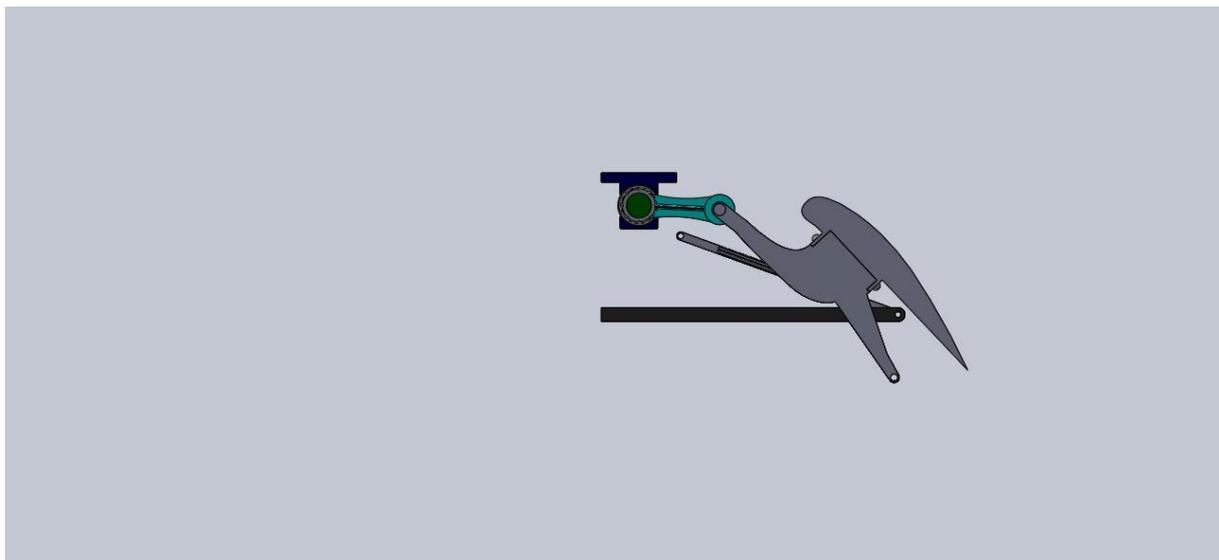


Fig. IV.23 Assemblage système du volet avec capot en position sortie

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude d'un volet d'avion civil est très complexe pour déterminer tous les organes qui commandent le volet à cause du manque de la documentation dans ce domaine sensible car les constructeurs d'avion ne publient pas leur technologie, malgré ça on a fait des propositions pour faire fonctionner le système de volet d'avion correctement.

Notre étude est faite sur les éléments essentiels du système. Il s'est fondé sur les théories de résistance des matériaux et les catalogues publiés par les constructeurs.

Pour l'étude technologique du volet d'avion, nous avons utilisé SolidWorks comme outil d'aide. On a essayé de réaliser le projet en prenant en considération tous les éléments cités auparavant.

Cette étude nous a permis d'avoir une idée sur le monde du travail et qui nous a appris que les éléments fondamentaux d'un projet d'ingénierie sont la fiabilité, le bon rendement, la disponibilité des moyens, et tout cela pour un coût relativement faible pour concurrencer.

Ce projet est une étape préliminaire, pour pouvoir aborder la conception de n'importe quel mécanisme par le logiciel SolidWorks.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] D.CAUVA. Aérodynamique Mécanique du vol, édition1983, institut aéronautique Jean Mermoz.
- [2] A.POUJADE. Cellule et systèmes, édition1985, institut aéronautique Jean Mermoz.
- [3] Cours théorique la cellule Apprendre à piloter avec Aeropilot.www.aeropilot.fr
- [4] R.PRUDHOMME. Elément de construction à l'usage de l'ingénieur Tome 3.Dunod, 1972.
- [5] A.CHEVALIER. Guide du dessinateur industriel-HACHETTE Technique édition 2004.
- [6] H.LOGEOT, L.JOURDAN. Construction industrielle .Dunod, édition1982.
- [7]JP.BROSSARD .mécanique appliqué. INSA de Lyon, édition1994.
- [8]Memento du dessin industriel Tome3
- [9] www.MECANIC.com
- [10] www.Rexroth Bosch Group.com
- [11] Concours Centrale-Supélec 2003
- [12] cours M° bouaziz(Pr.ENP)

ANNEXE

ANNEXE

Tableau 1: Dimension normalisé des clavettes

d	a	b	s	j	k	d	a	b	s	j	k
de 6 à 8 inclus	2	2	0,16	d - 1,2	d + 1	58 à 65	18	11	0,6	d - 7	d + 4,4
8 à 10	3	3	0,16	d - 1,8	d + 1,4	65 à 75	20	12	0,6	d - 7,5	d + 4,9
10 à 12	4	4	0,16	d - 2,5	d + 1,8	75 à 85	22	14	1	d - 9	d + 5,4
12 à 17	5	5	0,25	d - 3	d + 2,3	85 à 95	25	14	1	d - 9	d + 5,4
17 à 22	6	6	0,25	d - 3,5	d + 2,8	95 à 110	28	16	1	d - 10	d + 6,4
22 à 30	8	7	0,25	d - 4	d + 3,3	110 à 130	32	18	1	d - 11	d + 7,4
30 à 38	10	8	0,4	d - 5	d + 3,3	130 à 150	36	20	1,6	d - 12	d + 8,4
38 à 44	12	8	0,4	d - 5	d + 3,3	150 à 170	40	22	1,6	d - 13	d + 9,4
44 à 50	14	9	0,4	d - 5,5	d + 3,8	170 à 200	45	25	1,6	d - 15	d + 10,4
50 à 58	16	10	0,6	d - 6	d + 4,3	200 à 230	50	28	1,6	d - 17	d + 11,4

Nota : L'emploi d'une clavette, sur un arbre de dimension supérieure, est possible.

Tableau 2 : Dimension normalisé des cannelures à flancs parallèle

56.21 Cannelures à flancs parallèles	Série légère					Série moyenne					Série forte*				
	n	d	D	B	s	n	d	D	B	s	n	d	D	B	s
<p>EMPLOIS Du fait des difficultés d'usinage pour obtenir un centrage précis, ces cannelures ne conviennent pas pour les grandes vitesses de rotation. Préférer, dans ce cas, les cannelures à flancs en développante § 56.22.</p> <p>RECOMMANDATIONS SÉRIES LÉGÈRE ET MOYENNE Centrage pour le diamètre d seulement (voir figure). SÉRIE FORTE Centrage sur le diamètre D seulement.</p> <p>n = nombre de cannelures. s = surface réelle d'appui des cannelures par millimètre de longueur.</p>	6	23	26	6	5	6	11	14	3	5	10	16	20	2,5	12
		26	30	6	7,2		13	16	3,5	5		18	23	3	16
		28	32	7	7,2		16	20	4	7,2		21	26	3	16
		32	36	6	8,4		18	22	5,5	7,2		23	29	4	19
		36	40	7	8,4		21	25	5	7,2		26	32	4	19
		42	46	8	8,4		23	28	6	9,5		28	35	4	22
	8	46	50	9	8,4	26	32	6	10,8	32	40	5	25		
		52	58	10	12	28	34	7	10,8	36	45	5	29		
		56	62	10	12	32	38	6	14,4	42	52	6	30		
		62	68	12	12	36	42	7	14,4	46	56	7	30		
		72	78	12	15	42	48	8	14,4	52	60	5	36		
		82	88	12	15	46	54	9	18	56	65	5	42		
	10	92	98	14	15	52	60	10	18	62	72	6	48		
		102	108	16	15	56	65	10	21	72	82	7	48		
		112	120	18	22,5	62	72	12	24	82	92	6	60		
		72	82	12	30	72	82	12	30	92	102	7	60		
		82	92	12	30	82	92	12	30	102	115	8	82		
		92	102	14	30	92	102	14	30	112	125	9	82		
	10	102	112	16	30	102	112	16	30	* Emploi à éviter. Voir également page suivante.					
		112	125	18	41	102	125	18	41						

ANNEXE

Tableau 3 : joint de cardan série 08.100

		Série		08.100		
		Mt ⁽¹⁾ Nm	1450	1450		
		$\beta^{(2)}$	20	20		
		A	100	120		
		BH7	57	75		
		D	7	8		
		F ^{+0.2}	2.5	2.5		
		G	97	97		
		H ^{B12}	8	8/10		
		J ^{+0.1}	84	101.5		
		Nb trous	6	8		
		N	46	46		
P	35x31x18 DIN 5482					
T	50x3					
Type Cardan		Code	-	DIN 100	DIN 120	
	Cardan télescopique avec tube de prolongement	.310	L ⁽³⁾ +All	375+100		
		.311	L ⁽³⁾ +All		375+100	
	Cardan télescopique avec tube de prolongement et allongement sur demande	.400	L ⁽³⁾ +All	480+160		
		.401	L ⁽³⁾ +All	590+250		
				690+350		480+160
				590+250		
					690+350	
	Cardan à longueur fixe avec tube de prolongement	.500	L ⁽³⁾	240		
		.501	L ⁽³⁾		240	
	Cardan télescopique extra-court	.610	L+All	255+30		
		.620	L+All	280+50		
		.630	L+All	310+70		
		.640	L+All	330+70		
		.650	L+All	345+70		
		.611	L+All		255+30	
		.621	L+All		280+50	
		.631	L+All		310+70	
		.641	L+All		330+70	
.651	L+All		345+70			
	Joint de cardan simple	.100	L ^{+0.5}	92		
		.101	L ^{+0.5}		92	
	Joint de cardan double	.200	L ^{+0.5}	160		
		.201	L ^{+0.5}		160	

Tableau 4 : dimension de chariot (Rexroth Bosch Group)

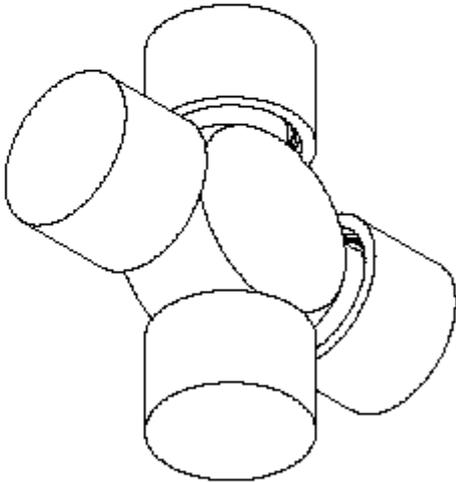
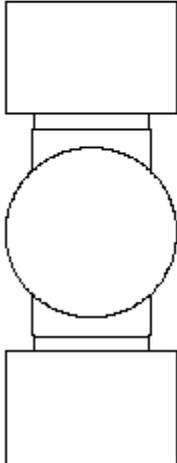
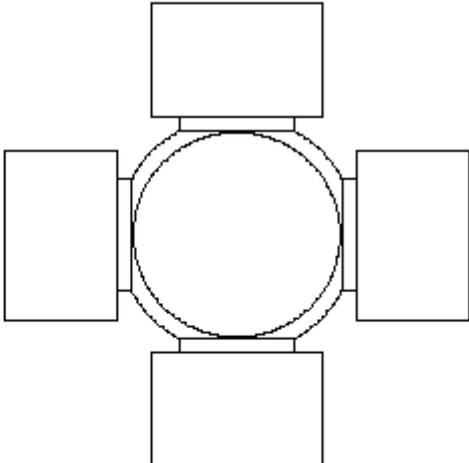
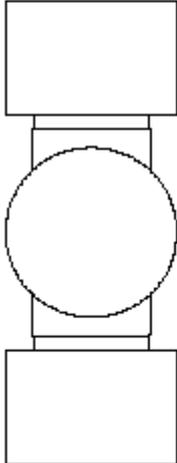
Taille	Dimensions (mm)																Poids (kg)
	-Variante	A	B	B ₁	B ₂	H	H ₁	H ₂	H ₃	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	SW ₁	SW ₂	
20	56	79	59	7	22,0	8,5	13,0	20,0	39	49	34,0	34	M5	7	2	2	0,20
25	65	95	75	7	25,0	9,0	14,4	22,3	50	60	40,0	45	M5	7	2	2	0,25
32	86	112	92	7	35,5	13,0	20,5	29,5	59	70	54,0	60	M8	10	3	4	0,56
52	130	136	104	16	54,3	19,4	29,2	42,2	90	70	83,3	60	M10	16	4	6	1,50
52-h	145	186	154	16	60,4	24,0	35,3	51,0	105	110	90,0	105	M10	16	4	6	2,60
52-sh	155	205	173	16	60,4	24,0	35,3	51,0	115	140	95,0	120	M12	18	6	8	3,30

ANNEXE

Tableau5: Dimension de rail de guidage (Rexroth Bosch Group)

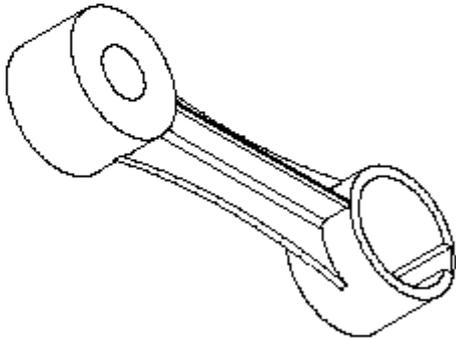
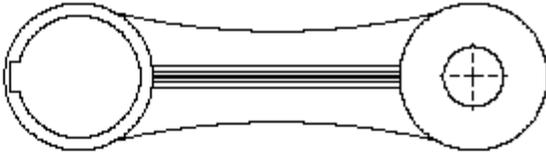
Taille -Variante	Dimensions (mm)							
	A	A ₁	H	H ₁	H ₂	D	S ₁	S ₂
20	20	17	12	5,0	9,0	9,4	4,5	4
25	25	21	15	6,0	10,6	9,4	5,5	6
32	32	24	20	9,5	15,0	11,0	6,5	6
32-2	32	24	20	9,5	15,0	11,0	6,5	6
42	42	28	20	9,0	12,6	15,0	9,0	10
52	52	40	34	19,0	25,1	20,0	11,0	10
52-2	52	40	34	19,0	25,1	20,0	11,0	10
52-4	52	40	34	17,0	25,1	24,0	13,0	10

ANNEXE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle			CROISILLON	ENP
1:2				Dép
Etudiant	F.Ismail			G.Mécanique
Promoteur	L.Riache			

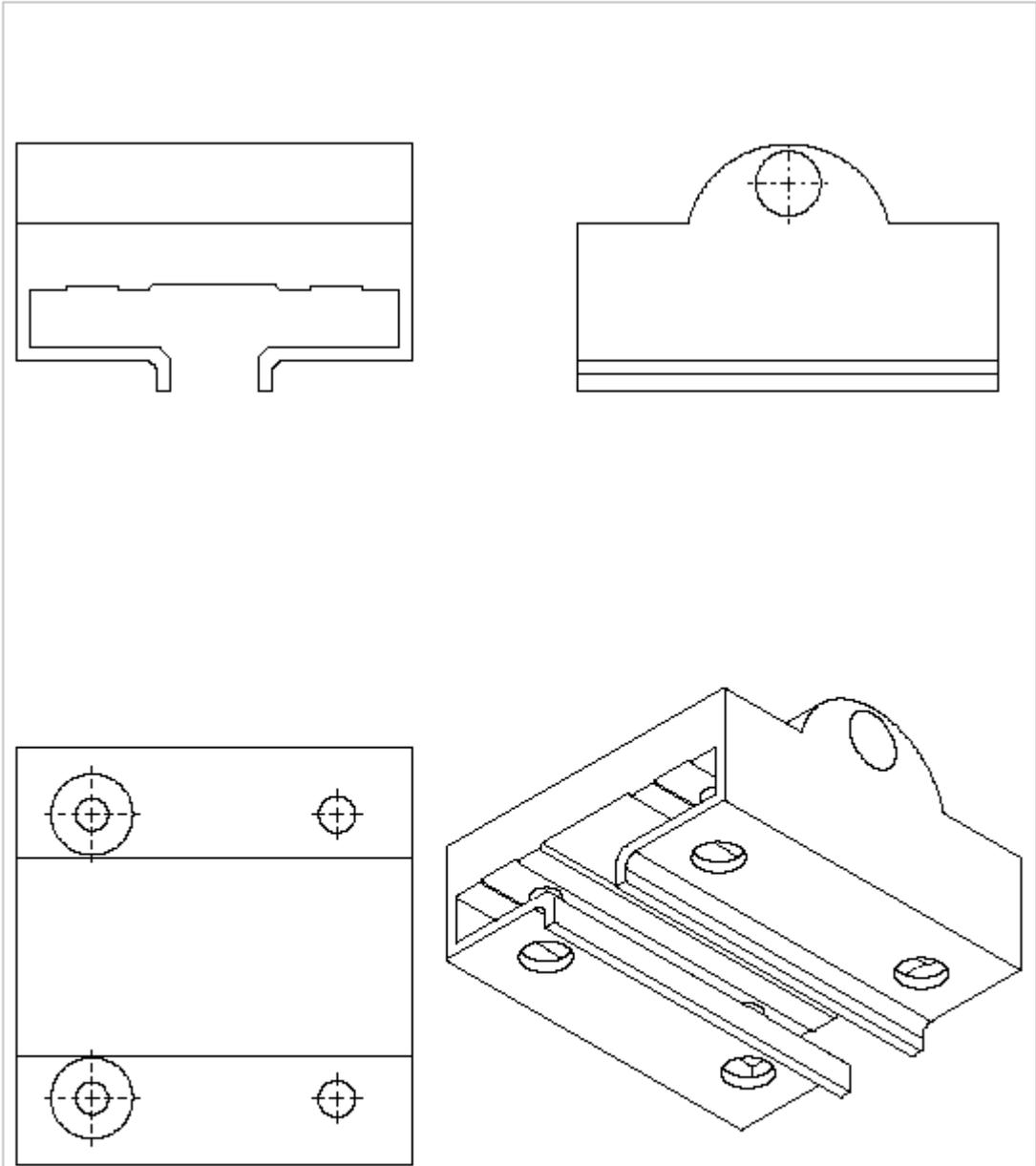
ANNEXE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

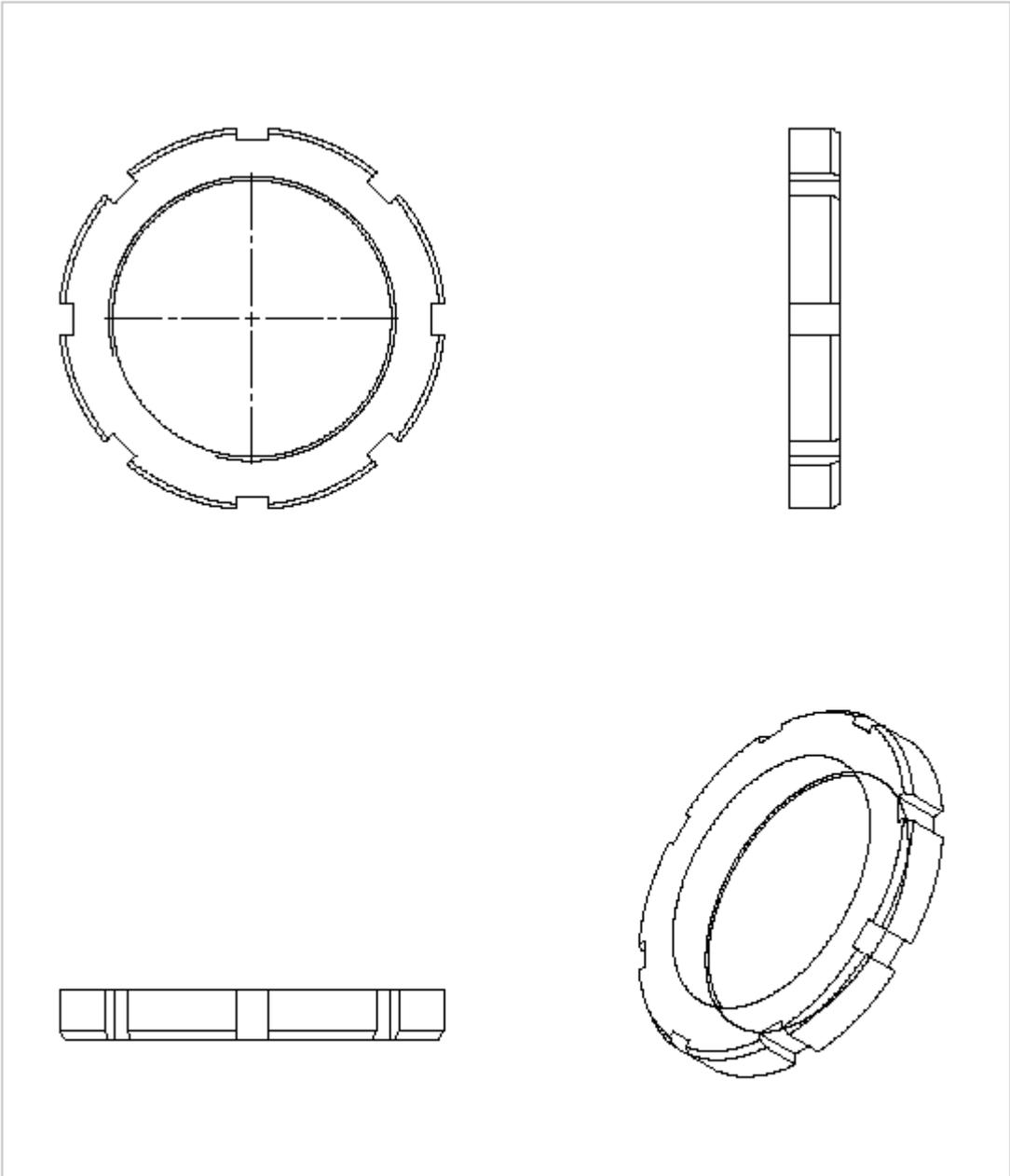
Echelle			BRAS DE COMMANDE	ENP
1:2				Dép
Etudiant	F.Ismail			G.Mécanique
Promoteur	L.Riache			

ANNEXE



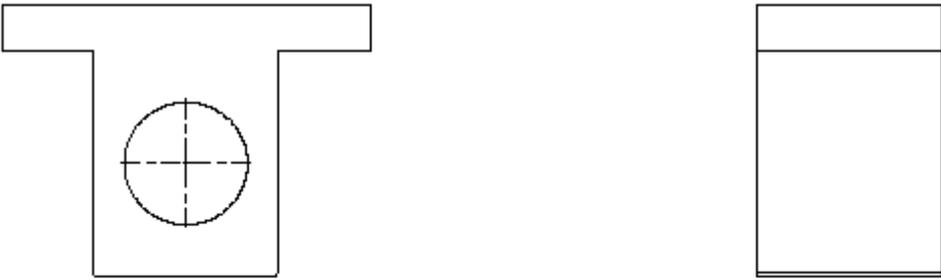
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle			<p style="text-align: center;">CHARIOT</p> <p style="text-align: center;">ENP Dép G.Mécanique</p>
1:2			
Etudiant	F.Ismail		
Promoteur	L.Riache		

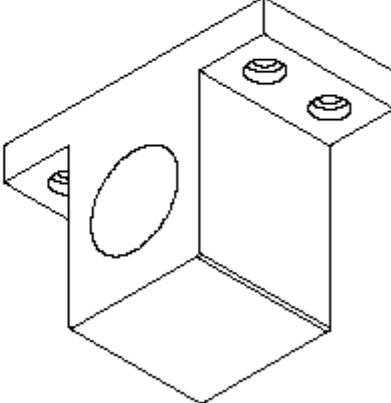
ANNEXE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle			ECROU SKF	ENP
1:2				Dép
Etudiant	F.Ismail			G.Mécanique
Promoteur	L.Riache			

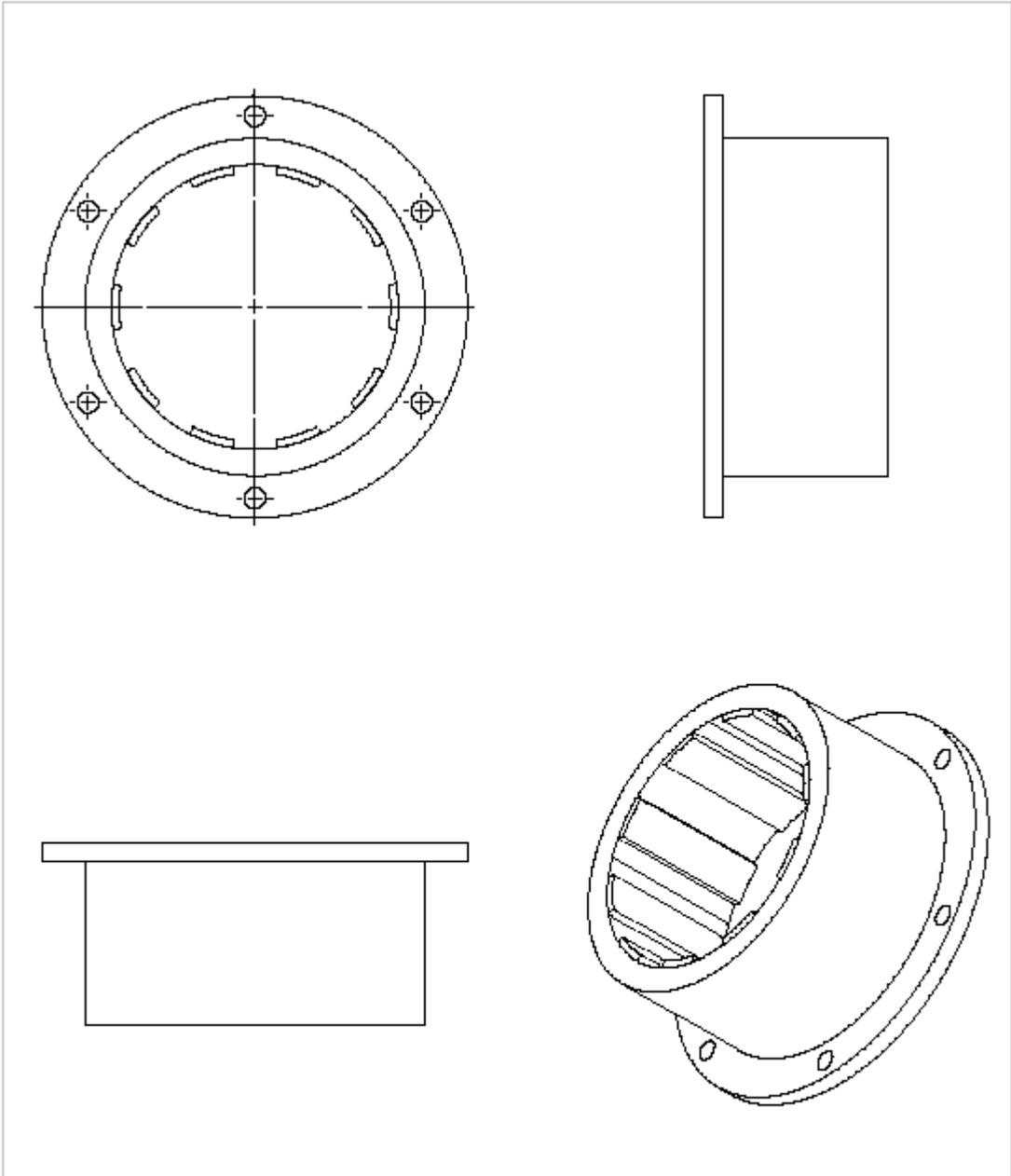
ANNEXE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle			BATI	ENP Dép G.Mécanique
1:2				
Etudiant	F.Ismail			
Promoteur	L.Riache			

ANNEXE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle		ACCOUPLLEMENT	ENP
1:2			Dép
Etudiant	F.Ismail		G.Mécanique
Promoteur	L.Riache		