

REMERCIEMENTS

Remerciement

Au terme de cette étude, pour la réalisation de notre mémoire.

*Nous remercions dieu de nous avoir donné la volonté et le
Courage d'achever notre travail dans des bonnes conditions.*

*Nous tenons a exprimer nos vifs remerciement a notre
Promoteur Mr : 'BENTRAD HOSSINE' pour ses conseils
Et ses orientations qui nous a donné une entière satisfaction sans
Oublier toute l'équipe de l'atelier de propulsion.
Et particulièrement a Mr : MOKHTARAI DJAMEL*

*Un chaleureux remerciement à tout le personnel
D'AIR ALGERIE, particulièrement a l'équipe de la mécanique
Générale et a MR KARIME BOUZEMBRAKE
de l'aide qui nous ont apporté. et aussi a Mr: ZERGOUG et
RACHIDE le soudeur*

*Nous sommes éternellement reconnaissant à ceux et celles de l'aide
Qui nous ont apporté. Avec toute notre gratitude.*

YACINE & MAMMAR

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

*A mes chers parents bien aimés pour tout leur sacrifice et
Qui mon soutenus pendant ce long parcours
A mes frères ISLAME et KIKOU
A mes sœur KHADIJA et SOUSSOU*



*Spécialement à ma grande mère MIMA que j'aime très fort sans oublier
Mon grand père
A tous mes oncles et mes tantes spécialement a KARIMA
Que dieu la prenne avec ça pitié
Ainsi qu'a tous mes cousines et cousins adorés
A mon cher ami et binôme BOUSSALEM MAAMER ainsi que toute sa famille
A tous mes amis : SAMI, KAMEL, BILEL, MOUKHOU ET MESKANJI,
L'HSSSEN,TAHER, SALIM, PIXOU, YACINE, ABDOU et AMINE
ET a HSSISEN, TAREK le bonheur de notre quartier .ET BIEN SUR
A tous les colléges de propulsion groupe 2 et leurs profs
Et aussi a KHALISSE, YOUYOU et ALI ET OTIS
Et je le dédie aussi à tous ceux qui méritent mes respects*

YACINE.....

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

*A mes tés chers parents
Bien aimés pour tout leur sacrifices
Qui m'ont soutenus pendant ce long parcours
Et a mon frère SAMI.
A mon grand frère MOHAMED
A mes sœur SOUAD et HAMIDA
Et a ma femme NINA*



*Et spécialement à ma grande mère MANI AICHA que j'aime très fort sans
Oublié mon grand père
A tous mes oncles et mes tantes
Ainsi qu'a tous mes cousines et cousins adorés
A mon cher ami et binôme AMIRECHE MOHAMED YACINE ainsi que toute
Ca famille
A tous mes amis : BILLEL le PETIT, KAME, SMAIL, TAHER, DOUADI
SAAED, MEZTOUL, DJOUDI, HAMZA, MOHAMED, AMINE, WALID
MAHREZ, BILLEL, OUSSAMA, AMER, ELHADI ET BACHIRE
Et je le dédie aussi à tous ceux qui méritent mes respects et me
Connais à STAOUËLI*

MAAMAR.....



Introduction générale	2
Chapitre I : Généralité sur le pulsoréacteur	3
1/ Introduction.....	4
2 / Principe de la propulsion par réaction.....	5
3/ Constitution de pulsoréacteur a valves mobiles.....	6
3-1/ l'entrée d'air "la tête "	6
3-2/ la grille de valves mobiles « clapets ».....	7
a) Différents formes de valves	9
3-3/ la tuyère d'éjection.....	10
3-4/ Les accroches flammes.....	10
4/ Fonctionnement.....	11
a) admission	12
b) Explosion	12
C) l'échappement et la détente des gaz.....	13
5/ Les pulsoréacteurs sans valves ou à valves aérodynamiques.....	13
5-1/ Pour quoi un pulsoréacteur sans valves ?.....	13
5-2/ Description	14
5-3/ Cycle de fonctionnement	15
a) Allumage et combustion.....	15
b) Ejection	15
c) Admission	15
d) compressions et précombustion du mélange vigoureux....	15
6/ différents applications du pulsoréacteur.....	16
7/ Avantages et inconvénients d'un pulsoréacteur.....	17
8/ cycle thermodynamique.....	17
Chapitre II : méthodes de fabrication	18
1/Introduction.....	19
2/Choix de métal	19
3/Généralités sur les aciers inoxydables.....	19
4/Différents types d'acier inoxydable.....	20
a)Aciers au chrome.....	20
b) Aciers au Chrome Nickel.....	20
5/Désignation.....	22
6/ Les méthodes de fabrication.....	22
6-1) Le découpage.....	22
6-1-1) Les types de découpage.....	22
a) Découpage (classique)	22
.....22	
b) Découpage industriel.....	23
c) Découpage fin	23
d) La découpe au laser.....	24
e) La découpe au jet d'eau.....	24

	f) Le découpage plasma.....	24
	6-2) Le roulage.....	25
	a) Le but de roulage.....	25
	b) Obtention de roulage.....	25
	c) Différents types de roulage.....	26
	d) Calcule de longueur développée.....	27
	6-3) Le soudage.....	28
	6-3-1) Soudage TIG	28
.....	6-3-2) Générateurs et méthodes d'amorçage	
.....29		
	a) Par contact (lift arc)	29
	b) Par hautes fréquences.....	29
	c) Électrodes utilisées	29
	6-3-3) Gaz de soudage	30
	6-3-4) Défauts rencontrés.....	30
	6-3-5) Qualité du soudage TIG.....	31
7/Le tournage.....		31
	7-1/Les machines de tournage.....	31
	a) Les tours parallèles à charioter et à fileter	31
	b) Les tours à copier.....	32
	c) Les tours semi-automatiques	32
	d) Les tours automatiques.....	32
	e) Les tours automatiques multibroches.....	32
	f) Les tours à commande numérique.....	33
	7-2) les opérations de tournage.....	33
	a) Chariotage et dressage	33
	b) Perçage	34
	c) Rainurage.....	34
	d) Chan freinage	34
	e) Tronçonnage.....	35
	f) Filetage.....	35
	Chapitre III : conception CAO/DAO.....	36
	1/Introduction	36
	2/Définition de logiciel solide- Works.....	36
	3/Etapes de conception d'une pièce.....	37
	a) Le cone d'entrée d'air.....	42
	b) La bride des clapets.....	43
	c) La marguerite.....	44
	d) La butée de la marguerite	45
	e) Le redresser de l'écoulement	46
	f) La tige d'assemblage	47
	g) La tige d'alimentation	48
	h) Ecrou d'assemblage.....	49
	i) L'injecteur de gaz	50

Chapitre IV: travaux de fabrication & essai.....	50
1/ introduction.....	51
2/Présentation de plan.....	51
3/La conception sur ordinateur.....	52
4/Etapes de réalisation	53
4-1/ Travaux de tôlerie sur tube.....	53
a) découpage des développées	53
b) roulage des pièces	55
c) L'opération de soudage	57
4-2/ travaux de tôlerie sur l'entré d'air.....	58
4-3/ La réalisation de l'accroche flamme.....	58
4-4/ Bride des clapets	59
4-5/ Fabrication des valves 'marguerite'	61
4-6/ La buté de la valve	63
4-7/ Le redresseur d'écoulement.....	64
4-8/ La réalisation de l'injecteur.....	65
4-9/ La tige d'alimentation	65
4-10/ La tige d'assemblage	65
4-11/ L'assemblage de moteur.....	66
5/ Le banc d'essai	68
a) le ventilateur.....	68
b) Le socle.....	69
c) Le circuit d'allumage électrique.....	70
6/ L'essai de fonctionnement.....	71
6-1/ Les mesures de sécurité	71
a) À l'arrêt	71
b) en fonctionnement.....	71
6-2/Premier essai	72
a) Problème.....	73
b) Solution.....	73
6-3/ Deuxième Essai	73
a) Problème	73
b) Solution	73
6-4/Troisième essai	74
a) Problème	74
B) Solution	74
Conclusion.....	75
Annexe 1.....	76
Liste des figures	77
Liste des tableaux.....	79
bibliographie.....	80

Liste des figures

Chapitre I: généralité et description

Fig. (1-1) la bombe (v-1) équipe un pulsoréacteur	4
Fig. (1-2) : l'expérience du ballon gonflé qui illustre le principe de la propulsion.....	5
Fig. (1-3) pulsoréacteur a valves mobiles	6
Fig. (1-4) la tête.....	6
Fig. (1-5) la valve est ça buté.....	7
Fig. (1-6) effets des énormes sollicitations physiques et thermiques sur les valves d'obturations.....	8
Fig. (1-7) Valves en forme de marguerite.....	9
Fig. (1-8) grille de valves mobiles.....	9
Fig. (1-9) la tuyère d'éjection	10
Fig. (1-10) différents types d'accroche flamme.....	10
Fig. (1-11) Accroche flammes en série d'anneaux.....	11
Fig. (1-12) la phase d'admission	12
Fig. (1-13). La Phase d'allumage.....	12
Fig. (1-14) La combustion et l'échappement des gaz.....	13
Fig. (1-15) pulsoréacteur sans valves	14
Fig. (1-16) Pulsoréacteur sans valves avec les multiplicateurs de poussée.....	14
Fig. (1-17) cycle de fonctionnement d'un pulsoréacteur sans valves.....	15
Fig. (1-18) quelques exemples d'applications des pulsoréacteurs.....	16
Fig. (1-19) évolution des pression statiques en fonction du temps dans Différentes zones du pulsoréacteurs.....	17
Fig. (1-20) Variation de la pression statique pendant un cycle de travail.....	18

Chapitre II: méthodes de fabrication

Fig. (2-1) cisaille manuelle	22
Fig. (2-2). Principe de découpage plasma	24
Fig. (2-3).surface courbe ouverte.....	25
Fig. (2-4) surface courbe fermée réglée.....	25
Fig. (2-5) Principe de roulage	25
Fig. (2-6) Le roulage manuel	26
Fig. (2-7). Rouleuse mécanique	26
Fig. (2-8) Calcule de la développée	27
Fig. (2-9) Principe de soudage TIG	28
Fig. (2-10) Photo de générateur de soudage TIG	29
Fig. (2-11) le tour parallèle	31
Fig. (2-12) opération de dressage.....	33
Fig. (2-13) opération de chariotage	33
Fig. (2-14) opération de perçage	34
Fig. (2-15) opération de rainurage	34
Fig. (2-16) opération de Chan freinage.....	34
Fig. (2-17) opération de tronçonnage.....	35
Fig. (2-18) opération de filetage.....	35

Chapitre III: conception CAO/DAO

Fig. (3-1) interface de logiciel SOLID-WORKS.....	36
Fig. (3-2) photo de la premier étape.....	37
Fig. (3-3) photo de la deuxième étape.....	38
Fig. (3-4) photo de la troisième étape.....	38
Fig. (3-5) photo de la quatrième étape.....	39
Fig. (3-6) photo de la cinquième étape.....	39
Fig. (3-7) photo de la sixième étape.....	40
Fig.(3-8) photo de la septième étape.....	40
Fig. (3-9) photo de l'esquisse finit.....	41
Fig. (3-10) Photo de la tuyère d'éjection finit.....	41
Fig.(3-11)L'esquisse de l'entrée d'air.....	42
Fig.(3-12) l'entrée d'air	42
Fig.(3-13) esquisse de la bride des clapets	43
Fig.(3-14) La bride des clapets.....	43
Fig. (3-15) l'esquisse de la marguerite.....	44
Fig. (3-16) la marguerite	44
Fig. (3-17) l'esquisse de la butée.....	45
Fig. (3-18) la butée.....	45
Fig. (3-19) L'esquisse de redresseur d'écoulement.....	46
Fig. (3-20) le redresseur d'écoulement.....	46
Fig. (3-21) L'esquisse de la tige d'assemblage	47
Fig. (3-22) la tige d'assemblage.....	47
Fig. (3-23) l'esquisse de la tige d'alimentation.....	48
Fig. (3-24) la tige d'alimentation	48
Fig. (3-25) L'esquisse de l'écrou d'assemblage de la tige d'alimentation.....	49
Fig. (3-26) l'écrou d'assemblage de la tige d'alimentation.....	49
Fig. (3-27) l'esquisse de l'injecteur de gaz	50
Fig. (3-28) L'injecteur de gaz.....	50
Fig. (3-29) Le schéma éclaté du pulsoréacteur.....	51

Chapitre IV: travaux de fabrication et essai

Fig. (4-1) plan de constructeur.....	51
Fig. (4-2) plan recopier sur SOLID WORKS.....	52
Fig. (4-3) Gabarits en carton	53
Fig. (4-4) découpage manuel	54
Fig. (4-5) ensemble des morceaux après le découpage.....	54
Fig. (4-6) Rouleuse manuelle	55
Fig. (4-7) le roulage manuel.....	55
Fig. (4-8) pièce (1).....	56
Fig. (4-9) pièce (2).....	56
Fig. (4-10) pièce (3)	56
Fig. (4-11) pièce (4)	56
Fig. (4-12) pièce (5).....	56
Fig. (4-13) le soudage des pièces.....	57
Fig. (4-14) cône d'entrée d'air finit.....	58
Fig. (4-15) accroche flamme.....	59

Fig. (4-16) bride des clapets avant usinage.....	59
Fig. (4-17) bride des clapets au court d'usinage.....	60
Fig. (4-18) finition de la bride.....	60
Fig. (4-19) la bride des clapets finit.....	61
Fig. (4-20) traçage de la marguerite sur la tôle.....	61
Fig. (4-21) découpe des pétales.....	62
Fig. (4-22) la marguerite finit	62
Fig. (4-23) Opération de chariotage.....	63
Fig. (4-24) opération de chariotage conique.....	63
Fig. (4-25) tronçonnage de la pièce.....	64
Fig. (4-26) usinage de redresseur.....	64
Fig. (4-27) redresseur finit.....	64
Fig. (4-28) l'injecteur de gaz.....	65
Fig. (4-29) la tige d'admission.....	65
Fig. (4-30) la tige d'assemblage.....	66
Fig. (4-31) ensemble des pièces finit	66
Fig. (4-32) le joint d'amiante.....	67
Fig. (4-33) moteur avant l'assemblage	67
Fig. (4-34) moteur assemblé.....	67
Fig. (4-35) identification du ventilateur.....	68
Fig. (4-36) le ventilateur.....	68
Fig. (4-37) identification du moteur électrique.....	68
Figure (4-38) les éléments constituant du banc de simulation.....	69
Fig. (4-39) Le circuit Allumage électrique "schéma synoptique".....	70
Fig. (4-40) La plaque d'allumage électrique.....	71
Fig. (4-41) photo de premier essai	72
Fig. (4-42) Photo de la marguerite endommager.....	73
Fig. (4-43) photo de pulsoréacteur en marche.....	74

Liste des tableaux

Tableau (4-1) : Les composants du BANC D'ESSAIS.....	69
--	----

introduction

Introduction générale

Le pulsoréacteur est un simple moteur thermique il est dépourvu d'organes mobiles tel que le compresseur et la turbine, il travaille selon le cycle thermodynamique classique malgré ça simplicité de réalisation et de mise au point technologique, ce moteur reste compliqué à maîtriser et présente une consommation intensive de carburant.

Toute fois on peut rencontrer ce type de moteur sur des avions à échelle réduite ou bien des autres applications (sur un moto Etc).

Le fait que le pulsoréacteur travaille dans des conditions draconiennes de température et de pression exige l'utilisation de matériaux réfractaires, d'alliages spéciaux et de méthodes de réalisations spécifiques.

Dans notre mémoire nous nous sommes penchés sur l'élaboration d'un pulsoréacteur d'une poussée de 50 N

Notre travail est réparti en quatre chapitres où le premier traite des généralités à propos du pulsoréacteur et des applications de ce moteur, dans le second nous avons présenté les procédés et les méthodes de fabrication en générale, dans le troisième chapitre on a traité la conception de ce moteur à l'aide d'un logiciel 3D.

Enfin dans le quatrième chapitre, nous rapportons l'essentielle du travail effectué au niveau de l'atelier propulsion lors de l'application des procédés de fabrication à la réalisation du pulsoréacteur et ces essais.

chapitre I

generalité et description.

1/ Introduction

Le pulsoréacteur est un moteur à réaction atypique à flux discontinue, il a été utilisé pour propulser la célèbre bombe allemande (V1). Il est caractérisé par un faible rendement et une faible poussée développée.

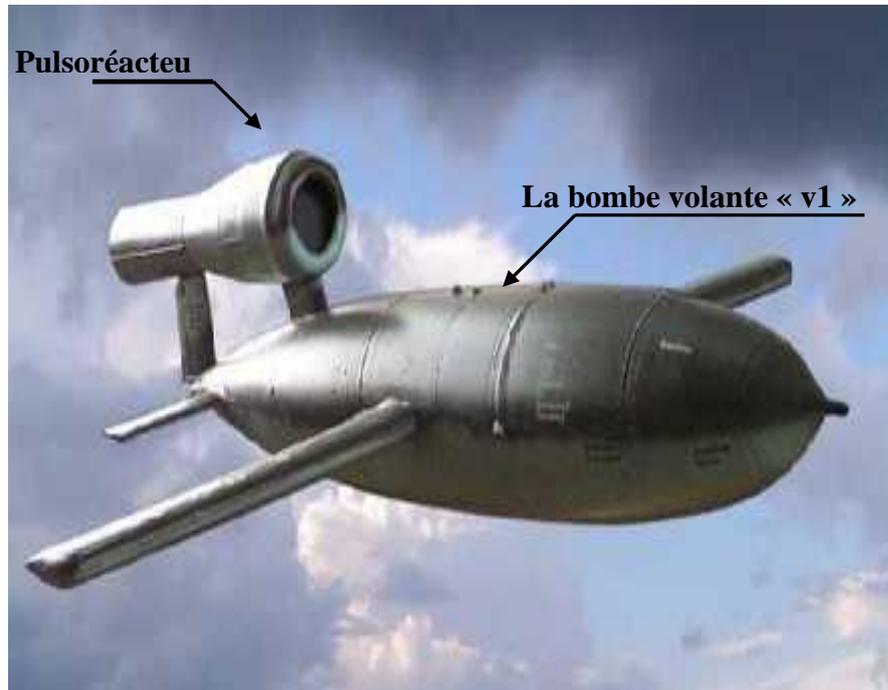


Fig. (1-1) la bombe (v-1) équipée d'un pulsoréacteur

En effet, l'invention du pulsoréacteur remonte au début des années 1900. En 1908, plus précisément, à **Karavodine** en Russie ou des ingénieurs ont pensé à créer un générateur de gaz à combustion pulsatoire "pour lancer d'autres turbines".

Peu de temps après en (1914). Les ingénieurs Français **Robert-Esnault** et **Pelterie** ont poursuivi les recherches dans ce domaine, et c'est alors que l'ingénieur allemand Paul Schmidt a repris le système et l'a amélioré et l'a optimisé pour une production à grande échelle, dans le cadre des armes secrètes d'**Hitler** le « V1 », qui vient du mot allemand "**Vergeltungswaffe**" ce qui veut dire "arme de représailles".

Puis en (1945), les américains ont entrepris également des recherches sur des petits pulsoréacteurs de 1,5 kg de poussée.

En 1970, **Paolo Zanin** produit en grande quantité des pulsoréacteurs destinés au loisir et à l'aéromodélisme.

2/ Principe de la propulsion par réaction

Le physicien **Isaac Newton** a établi les principes de bases de la mécanique newtonienne, à savoir la 2eme et la 3eme loi de newton qui stipule que :

« Pour chaque action il y a une réaction égale et de sens opposée »

Le schéma ci-dessous illustre ce principe de la propulsion par réaction, l'exemple pris du ballon gonflé sur un chariot mobile est une très bonne expérience simple à réaliser pour concrétiser le principe physique.

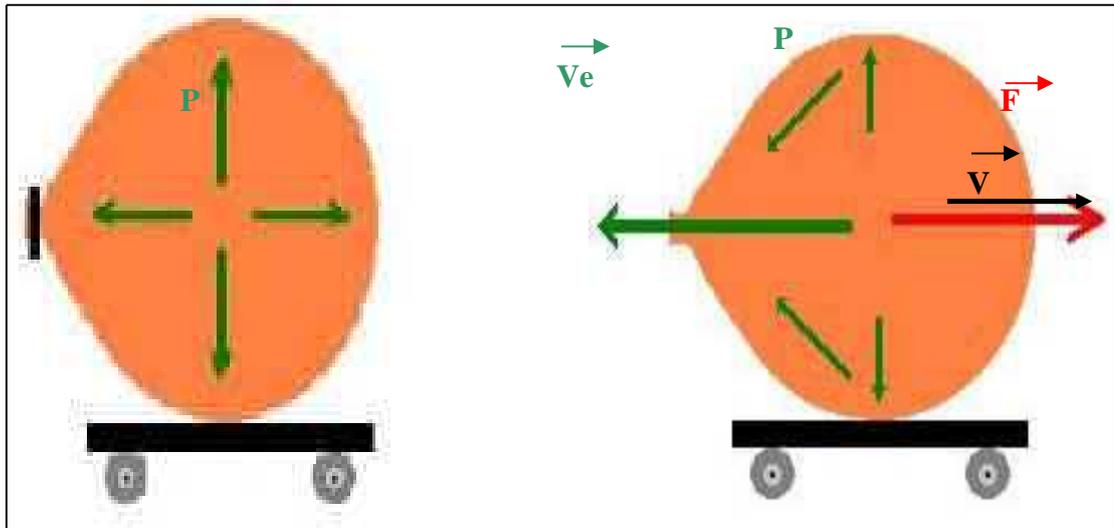


Fig. (1-2) : l'expérience du ballon gonflé qui illustre le principe De la propulsion.

En constate alors que le ballon est en équilibre statique sous l'action de la pression interne sur la paroi.

Cependant, en faisant un orifice l'air s'échappe d'un côté a une vitesse d'éjection et provoque dans l'autre sens une force qui fait bougé le chariot dans le sens inverse de l'éjection.

Le pulsoréacteur rentre dans la catégorie des propulseurs qui se base sur ce principe physique.

En réalisant un cycle thermodynamique assurant un jet discontinue de gaz due essentiellement au phénomène de dépression engendrée par la longue détente et permettant le remplissage de la chambre de combustion.

3/ Constitution de pulsoréacteur a valves mobiles

Ce types de pulsoréacteur est Généralement composé d'une entrée d'air, d'une chambre de combustion et d'une longue tuyère d'éjection muni avec une grille de valves mobiles fabriqué a partir d'un métal élastique rigide « ressort » et une bougie pour l'allumage.

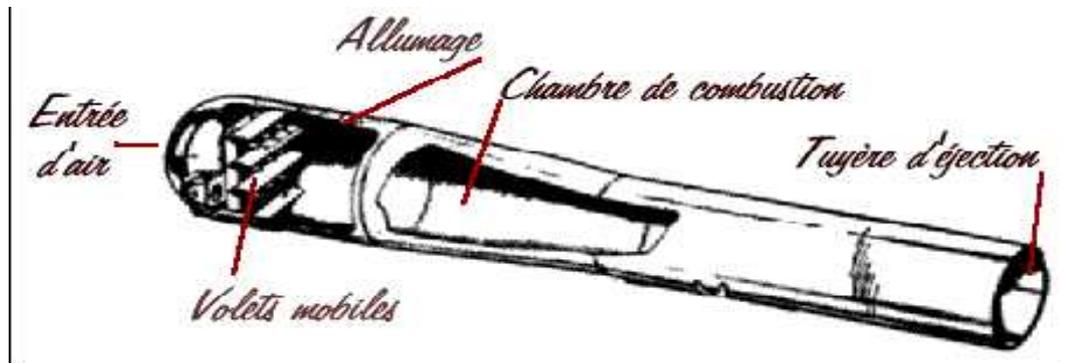


Fig. (1-3) pulsoréacteur a valves mobiles

D'autres modèles, comme l'Escopette ou le Hiller-Lockwood mis au point en France par Snecma, n'ont pas de clapets, mais un tube d'admission souvent dirigée vers l'arrière.

3-1/ l'entrée d'air « la tête »:

L'entré d'air a pour rôle d'alimenter le moteur d'une manière convenable, elle a une forme convergente divergente pour augmenter la pression d'air.

Elle permetre aussi de capter l'air et de le conduire vert la chambre de combustion en réalisant une légère compression.

On peut rencontrer une multitude de conception différente, la photo ci-dessous nous montre un type d'entré d'air adopté pour certain pulsoréacteur, elle contient des ailettes qui ont le but d'augmenter la surface d'échange de chaleur pour bien refroidir.



Fig. (1-4) la tête

Certaine entré d'air présente une buse d'injection de carburant qui permet de dosé l'air aspiré vers la chambre de combustion a chaque nouveau cycle.

3-2/ la grille de valves mobiles « clapets »

La forme la plus connue de la valve d'obturation utilisée sur des petits pulsoréacteurs est la valve à pétale couramment appelé la marguerite. Ils sont donnés ce nom parce qu'elles ressemblent aux pétales d'une fleur.

C'est la partie la plus importante dans le pulsoréacteur, l'air comprimé rencontre alors une grille munie de valves mobiles constituées de lames élastiques en acier, qui à pour rôle soit de permettre le passage de l'air comprimé dans la chambre de combustion, soit d'empêcher les gaz brûlés de faire le retour vers l'arrière « vers l'entrée d'air ».



Fig. (1-5) la valve est ça buté

A savoir que la fabrication des valves est la partie la plus difficile, car il faut trouver un alliage ou une matière quelconque qui puisse être légère et exposé à un des grandes contraintes qui est la chaleur, donc les valves doivent satisfaire des demandes incompatibles qui sont :

- Ouvrir et fermer largement et rapidement (dans l'intérêt d'efficacité).
- Elle doivent être aussi légères que possible, pour pouvoir supporter les énormes contraintes mécaniques (ouverture, fermeture ultra rapide).
- Une grande résistance à la chaleur, à cause des hautes températures de la chambre de combustion.

Les valves d'obturations sont donc des accessoires fragiles et consommables suites aux énormes sollicitations physiques et thermiques dont elles sont victimes, et voici quelques résultats fréquents causés par les forces d'impacts excessives.

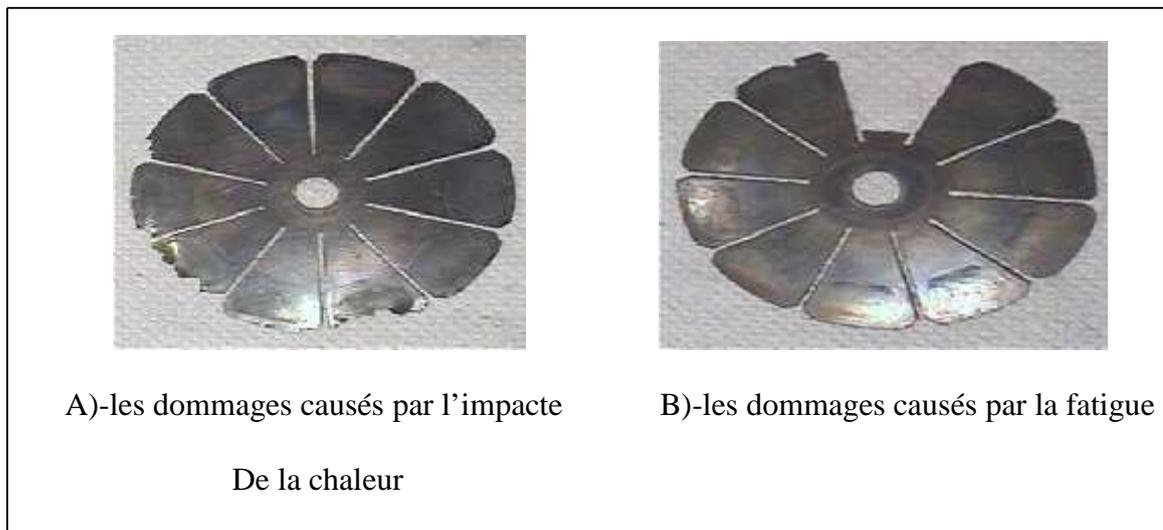


Fig. (1-6) effets des énormes sollicitations physiques et thermiques

Sur les valves d'obturations

Il y a alors deux facteurs principaux qui affectent la vie de valve à savoir les forces physiques et la température.

Si l'importance ou l'influence de ces deux facteurs peut être réduite au minimum, la vie de la valve sera prolongée en conséquence.

En remarque aussi q'il y a un autre facteur qui est la fatigue de métal, c'est un facteur inévitable parce que si la valve fléché dépasse la **seuil** d'élasticité de la matière alors des fissures serrant créées et ainsi une rupture totale rapidement.

Parmi les solutions adoptés pour remédié a ses problèmes

Minimiser le mouvement :

Pour réduire la cours de l'extrémité de la valve en mouvement on doit utilisée des valves plus grandes au lieu d'utiliser des petites valves qui exigent une grande course par apport à sa taille.

Fournir des surfaces de contacts lisses :

Pour que les valves adhèrent sur leurs sièges correctement et d'une manière saine, il faut que les deux surfaces soit lisses et ne présentent aucuns bosses, dont le cas contraire leurs présences peuvent créés des dommages énormes dans la valve. L'air présent entre les deux surfaces « sièges et valves » amortie le claquement et diminue le bruit.

Protéger les valves du souffle directe

Parmi les meilleures solutions adaptées pour prolonger la durée de vie des valves d'après l'ingénieur New Zélandais Bruce Simpson, serait de protéger les valves du souffle directe des flammes de combustion, cette technique consiste à couvrir les valves avec un verni réfractaire qui résiste les hautes températures, comme il l'a démontré sur son moteur équipé de valves qui ne présente aucun problème visible malgré la durée de vol qui était d'une douzaine d'heures.

a) Différents formes de valves

Les valves d'obturations existent sous plusieurs formes, les plus courantes sont les valves en forme de marguerite (fleur) et qui sont les plus utilisées car elles sont faciles à concevoir et présentent un fonctionnement simple.



Fig. (1-7) Valves en forme de marguerite.

Le deuxième type de valves est plus **encheint** par rapport à celui cité précédemment, il a été utilisé pour la propulsion de la célèbre bombe volante allemande V1 pendant la deuxième guerre mondiale.

Ce type de dispositif d'obturation est très compliqué car il comporte plusieurs grilles de valves ressortes ainsi que la rampe d'injection de carburant, le principe de fonctionnement est tout à fait le même que précédemment.

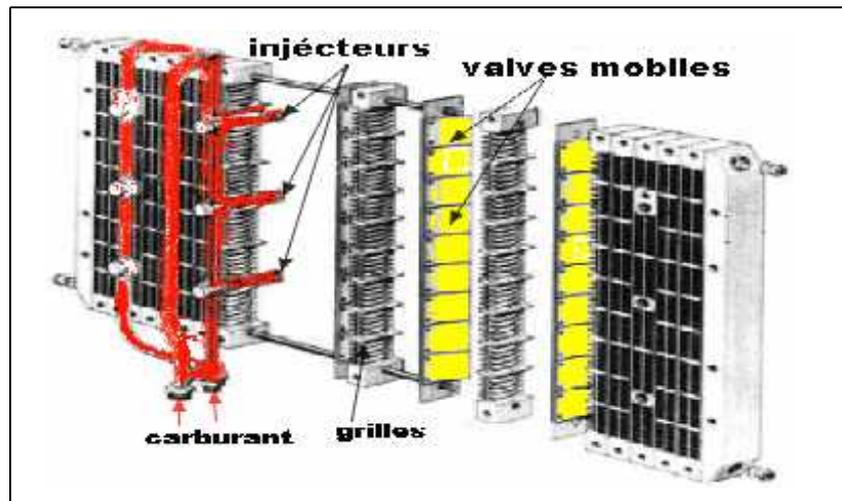


Fig. (1-8) grille de valves mobiles

On voit sur le schéma comment les valves sont devant les injecteurs.

3-3/ la tuyère d'éjection

La tuyère d'éjection est un long canal cylindrique a section variable convergent divergent permettant de réaliser une détente des gaz chaud issus de la combustion.



Fig. (1-9) la tuyère d'éjection

La longueur de la tuyère joue un rôle crucial dans le rendement de la détente dans la chambre de combustion, la longueur est étudiée et optimisée pour garantir cette fonction.

Les gaz sortant de la tuyère sous forme pulsatoire à une fréquence donnée garantissant une poussée vers l'avant en expulsant des paquets d'air.

La tuyère et la chambre sont en constitution métallique généralement en matériaux réfractaires résistant à une haute température.

3-4/ Les accrochas flammes

Les accrochas flammes sont des obstacles placés à l'entrée de la chambre de combustion, elles sont destinés à créer par leur couche limites un ralentissement local de l'écoulement, ainsi qu'un sillage dans les turbulences qui faciliteront la poursuite de la combustion en aval.

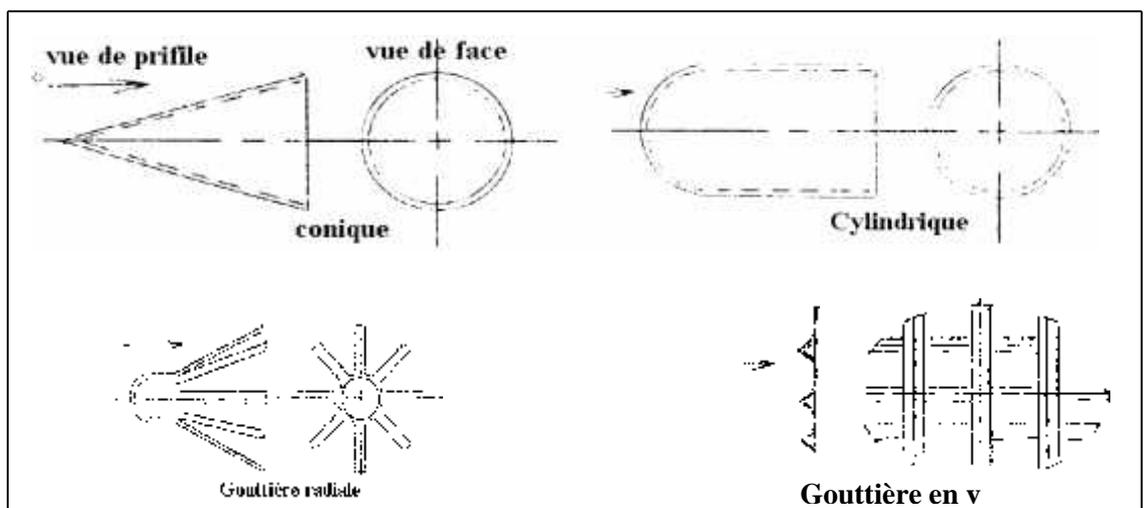


Fig. (1-10) différents types d'accroche flamme

Généralement les accroches flammes sont constituées d'obstacles sous formes de gouttières ou de pousoirs, disposés suivant un réseau plus ou moins serré ou suivant des rayons.

Il n'existe pas de règles très précises pour le dimensionnement de ces obstacles mes les expériences on prouvait la nécessités d'utilisation de ces dispositifs pour diminuer est maintenir la flamme à l'intérieure de la chambre de combustion.

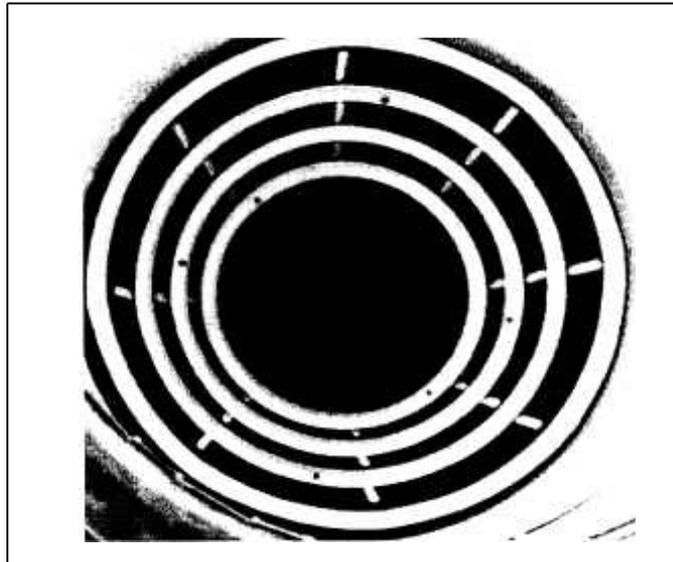


Fig. (I-11) Accroche flammes en série d'anneaux

Lorsque la chambre de combustion est de grande dimension supérieure à 500 mm on utilise un ensemble de gouttière, soit une série de couronnes concentriques, soit une superposition de gouttières radiales et de gouttières concentriques

4/ Fonctionnement

Le régime de fonction ment d'un pulsoréacteur est un régime discontinu, ce qui est la cause des vibrations. En réalité le mérite revient a Huygens a qui l'on doit la découverte d'un phénomène de base utilisé dans les pulsoréacteurs cela dit:

Une capacité brusquement ouverte se vide au-delà de l'équilibre avec le milieu extérieur et s'établit transitivement en dépression.

La chambre de combustion du pulsoréacteur utilise cet effet de dépression assurant ses remplissages successifs et une combustion approximativement a volume constant.

Donc la combustion dans un pulsoréacteur s'apparente à celle d'un moteur a combustion interne 2 ou 4 temps, plutôt qu'à celle d'un turboréacteur ou le flux d'air est continue.

Le cycle thermodynamique comprend alors les phases classiques suivantes :

a) admission

Au départ on injecte de l'air comprimé dans le pulsoréacteur ce qui provoque l'ouverture des clapets au même temps du carburant pulvérisé est additionné à l'air permettant de constituer un mélange d'air / carburant.

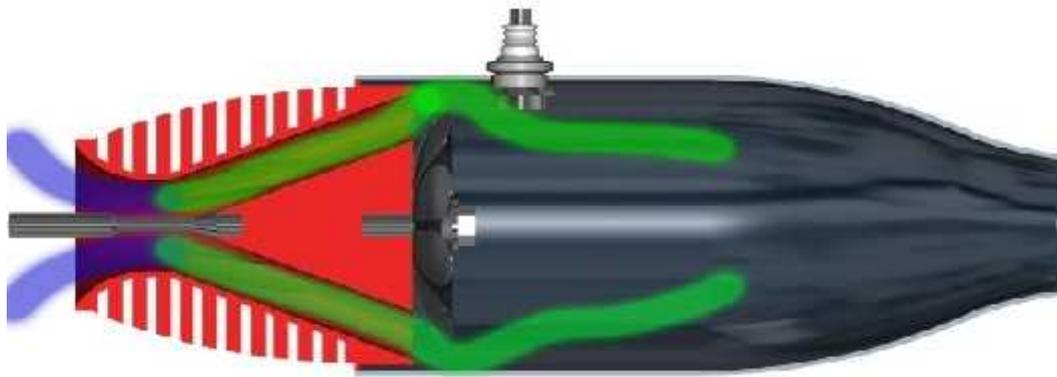


Fig. (1-12) la phase d'admission.

Dans cette phase le mélange est admis dans la chambre de combustion en attente de l'étincelle pour déclencher la combustion

b) Explosion

Le mélange air / carburant est dans la chambre de combustion. Il est enflammé par une étincelle produite par une bougie d'allumage ou par le contact des gaz froids avec les parois chaudes ce qui enclenche la combustion du mélange air/carburant.

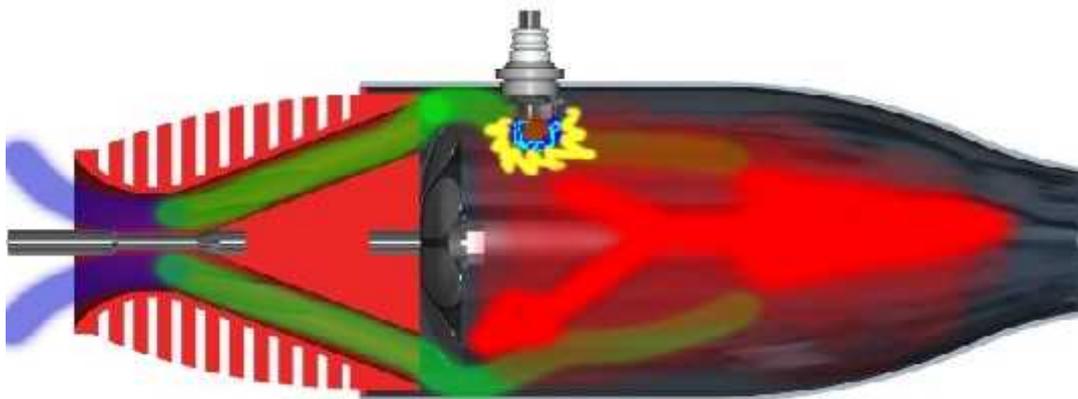


Fig. (1-13) La Phase d'allumage

La combustion se réalise pratiquement d'une manière similaire à celle d'un moteur à combustion interne, approximativement à volume constant.

C) l'échappement et la détente des gaz

La pression augmente brutalement, les clapets sont maintenus fermés et s'opposent au retour des gaz vers l'entrée alors, il n'y a qu'une seule issue, Les gaz de combustion s'échappent par la tuyère où leur détente provoque la poussée.

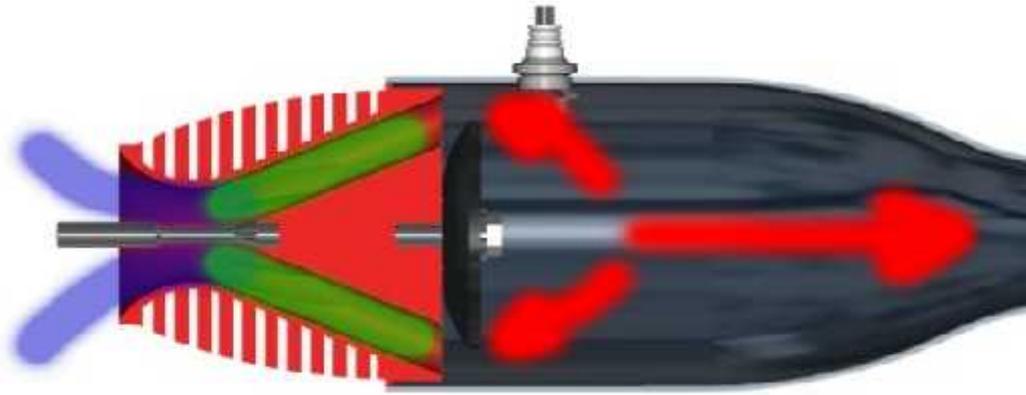


Fig. (1-14) La combustion et l'échappement des gaz

L'évacuation des gaz chauds brûlés crée une dépression à l'intérieur de la chambre de combustion à cause de la vitesse des gaz et leurs inerties ce qui provoque l'ouverture des clapets car la pression extérieure est supérieure à celle de la chambre de combustion donc il y a de l'air + du carburant qui pénètrent à nouveau dans la chambre de combustion.

Comme le pulsoréacteur est très chaud le mélange s'enflamme tout de suite au contact des parois et un nouveau cycle recommence. Ce cycle se produit environ 200 fois par seconde, ceci est la cause du bruit sourd que le pulsoréacteur produit.

5/ Les pulsoréacteurs sans valves ou à valves aérodynamiques

La fonction des valves dans les pulsoréacteurs est d'empêcher l'inversion de l'écoulement à l'admission et le transport négatif d'élan quand la pression de chambre de combustion devient plus haute que la pression externe.

Ce même but peut être réalisé sans valves par l'utilisation appropriée du même phénomène de pulsation dans deux conduites d'admission liée a proportionnées.

5-1/ Pour quoi un pulsoréacteur sans valves ?

Durant les années 1950 et 1960, quelques travaux préparatoires ont été faits sur le concept de la pulsation sans valves aux États-Unis par deux chercheurs lockwood et Hiller, mais ce n'est qu'en 1967 que leur pulsoréacteur sans valves a été breveté.

L'image suivante représente l'un des moteurs **hiller-lockwood**. Ce moteur particulier pèse seulement 30 livres et produit 300 livres de poussée.



Fig. (1-15) pulsoréacteur sans valves

(Lockwood-hiller).

L'une des plus grandes qualités de ce moteur était l'immunisation parfaite contre les corps étrangers qui pouvant être introduite à l'intérieure.

Chose qui n'est évidente pour les turbo-réacteurs qui sont vulnérables aux objets qui sont aspiré dans leurs prises d'air très facilement. En fait, beaucoup d'avions de ligne commerciaux exigent des réparations majeures de moteur chaque année a cause des FOD qui sont généralement des oiseaux

5-2/ Description

Généralement le corps du pulsoréacteur sans valves est une sorte de conduite en U a section variables dans les extrémités sont ouvertes, la chambre de combustion est facilement réparable grâce a sa forme apparente sur l'une des conduites dans la quelle sont introduits l'injecteur de carburant et la bougie d'allumage électrique.

Par contre il n'y a pas d'entrée d'air ou de tuyère d'éjection spécifiques, car les deux conduites servant au même temps d'entrée pour l'admission d'air frais et d'échappement pour l'évacuation des gaz brûlés.

Les pulsoréacteurs sans valves sont équipés de multiplicateur de poussée servent a augmenter le rendement de propulsion.

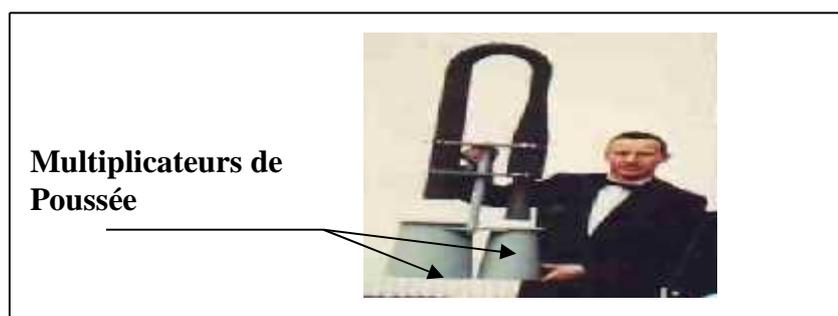


Fig. (1-16) Pulsoréacteur sans valves avec les multiplicateurs de poussée

5-3/ Cycle de fonctionnement

Comme son nom l'indique déjà, le pulsoréacteur son valves est avant tout un moteur à Pulsation qui a pratiquement le même cycle de fonctionnement que ce lui d'un pulsoréacteur classique.

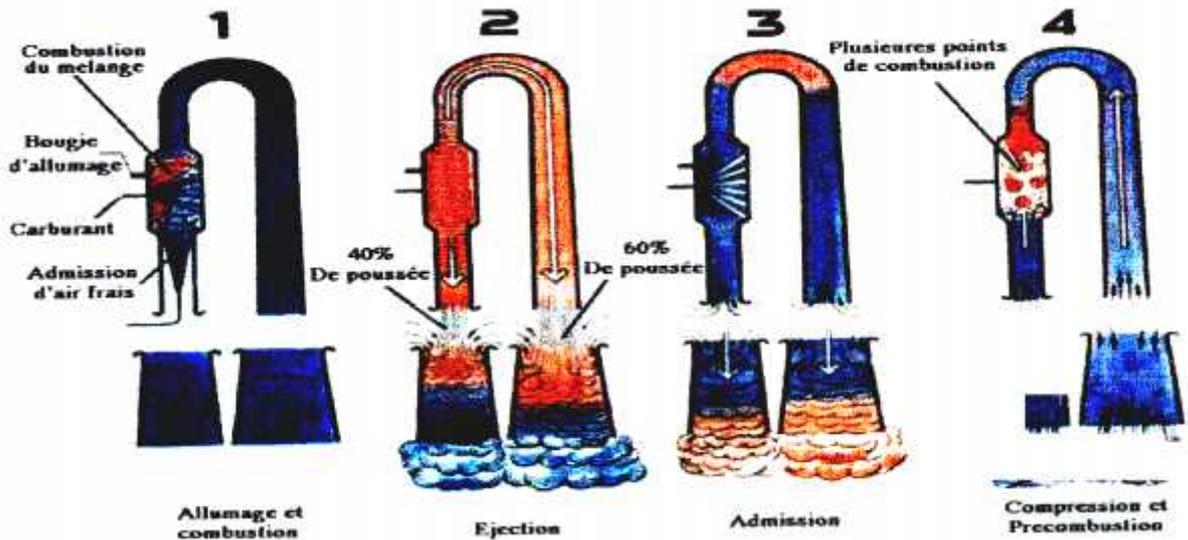


Fig. (1-17) cycle de fonctionnement d'un pulsoréacteur

Sans valves

Le schéma précédent représente la théorie de bas de fonctionnement des pulsoréacteurs sans valves et l'effet des multiplicateurs de poussée adaptée par Mr Hiller et Mr lookwood.

a) Allumage et combustion

Le mélange d'air/carburant est admis dans la chambre de combustion et brûlée instantanément. L'allumage est obtenu grâce à une bougie d'allumage électrique, mais après la combustion seras indépendante de cette dernière car elle sera obtenue par les gaz chauds résiduel qui revient d'en bas de long du tube des gaz d'échappement.

b) Ejection

La combustion du mélange carburée entraîne une brusque augmentation de chaleur et de pression à l'intérieur de la chambre, les gaz en expansion commencent à se dépêcher dehors a travers les deux canaux d'éjection produisent ainsi une poussée et beaucoup de bruit

c) Admission

Comme un poids attaché a un morceau d'élastique, l'inertie du gaz chaud évacuit vers l'extérieur, provoque aux gaz de combustion restant à l'intérieur des tubes un allongement de volume supérieure au volume normale entraînant ainsi une dépression brusque à l'intérieur, offrant en conséquence une inversion d'écoulement a l'air frais vers l'intérieur.

d) compressions et précombustion du mélange vigoureux

Donc l'air entrant continue à être tiré par le vide relatif et la dépression dans le moteur en même temps le combustible est injecté dans la chambre de combustion. Réellement la plupart de l'air entre à travers la courte prise d'air parce qu'il a moins de distance à parcourir, le reste chargée des gaz d'échappements résiduels se dépêcher vers l'intérieur par la plus longue tuyère, ces deux colonnes d'air entrent en collision dans la chambre de combustion pour comprimer le nouveau mélange air/carburant et commencé à nouveau un nouveau cycle.

6/ différents applications du pulsoréacteur

Les pulsoréacteurs existent sous plusieurs formes à cause de sa simplicité à concevoir et de ces diverses applications et utilisations.

Son utilisation la plus fréquente et sûrement l'hélicoptère à pulsoréacteur dans laquelle en fait montée un pulsoréacteur au bout de chaque pale, la mise en rotation simple du rotor est assurée grâce à la poussée produite par chaque pulsoréacteur.

Les pulsoréacteurs sont utilisés aussi pour la propulsion des modèles d'avions à échelles réduites, des voitures de fabrication amateurs et d'autres engins bizarres.

• Exemple d'applications

Voici quelques exemples d'utilisation des pulsoréacteurs



Fig. (1-18) quelques exemples d'applications des pulsoréacteurs.

Le seul inconvénient présent sont les vibrations correspondantes à la fréquence du cycle d'ouverture des valves d'obturation. Les pulsoréacteurs offrent un gain de poids considérable et une consommation de carburant réduite par rapport à un moteur à explosion interne.

7/ Avantages et inconvénients d'un pulsoréacteur

- Il peut, contrairement au statoréacteur, fonctionner à vitesse nulle.
- Il a l'avantage d'être de construction relativement simple et peu coûteuse.
- Il est très bruyant.
- Son rendement est médiocre.
- Il ne supporte pas bien les rapides changement d'injection de carburant.

8/ cycle thermodynamique

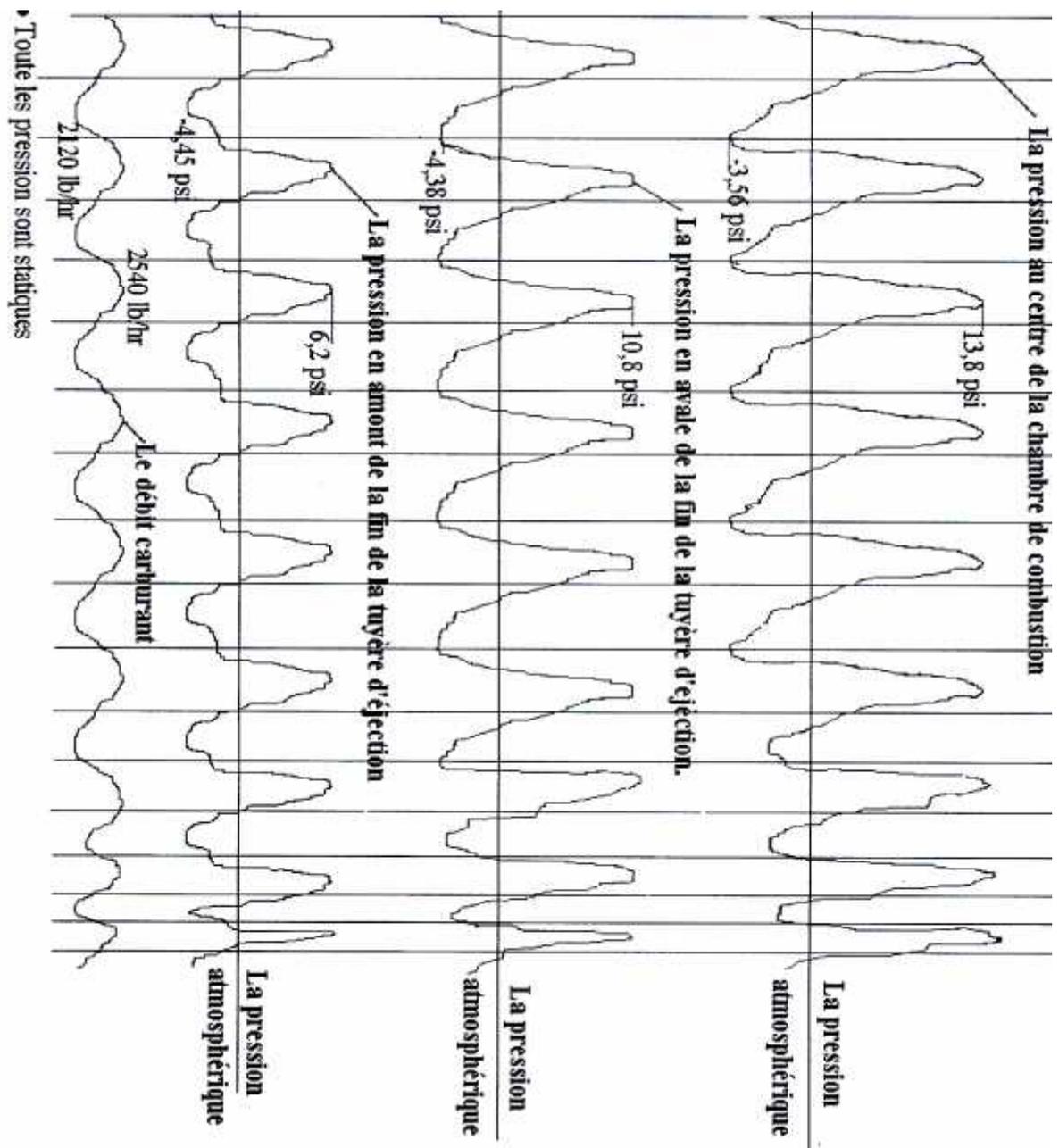


Fig. (1-19) évolution des pression statiques en fonction du temps dans différentes zones du pulsoréacteurs

Le graphe précédent est le résultat expérimental d'un test sur le fonctionnement d'un pulsoréacteur.

A travers se graphe qui va nous servir d'exemple, nous allons mieux comprendre le comportement réel de ce dernier.

D'après l'allure de la courbe en voie bien que la variation de la pression statique est sous la forme de pulsation qui se répète successivement.

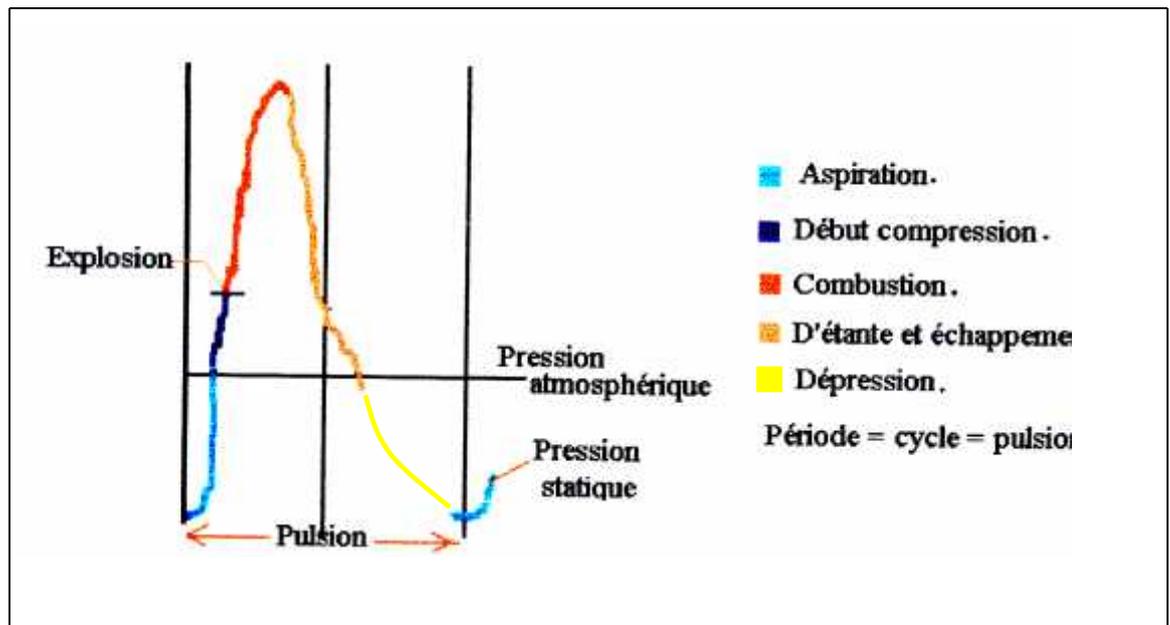


Fig. (1-20)

*Variation de la pression statique pendant
un cycle de travail.*

La figure représente une pulsation dans la quelle le cycle de fonctionnement est accomplie.

Le cycle commence avant le début de la combustion par l'aspiration du mélange (air/carburant) obtenu dans l'entrée d'air ou une légère compression est obtenu. Pendant cette phase les valves d'obturation sont ouverts

En suite la pression augmenteras brusquement après l'explosion du mélange pour atteindre la valeur maximal pendant ce temps les valves se trouve plaqués à leurs brides faisant obstacle au gaz de combustion du coté de l'entrée d'air.

Le pic représente la pression statique maximum atteinte, au même moment elle est au maximum tout au long du canal (chambre de combustion+ tuyère).

D'autre parts le débit carburant varies d'une manière proportionnelle est similaire a la variation de la pression statique à l'intérieure du canal.

Une fois la combustion est accomplie il y auras la détente des gaz de combustion et l'évacuation vers l'extérieur à travers la tuyère d'éjection donnant naissance a la poussée.

L'évacuation des gaz de combustion entraîne une diminution de la pression statique, et une accélération des gaz vers l'extérieure des valves pour l'admission d'air pour un nouveau cycle. Ce cycle se répète plusieurs centaines de fois par minute.

chapitre III
methodes de fabrication

1/Introduction

Dans ce chapitre nous allons illustrer quelques méthodes de fabrication utilisées par le constructeur amateur ou imitateur pour des constructions d'appareil volant léger ou ultra léger.

En effet la majorité des opérations de fabrication mécanique sont basées sur des travaux de tôleries classiques alors on cite les plus importants.

2/Choix de métal

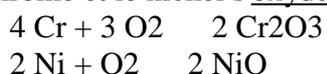
Avant de parler sur les méthodes de fabrication suivies pendant la réalisation il faut bien connaître avec quel métal on travaille, et tant que l'on essaie de construire un moteur thermique il nous faut un métal réfractaire qui résiste aux températures très élevées alors c'est la raison pour laquelle on a choisi l'acier inoxydable.

3/Généralités sur les aciers inoxydables

Par rapport à leurs possibles substituts, les aciers inoxydables restent difficilement remplaçables au regard de leurs caractéristiques mécaniques élevées : résistance aux efforts, dureté et résistance aux chocs. Aucun des autres matériaux énumérés plus haut ne cumule toutes ces propriétés.

L'élément d'alliage auquel les aciers inoxydables doivent leur résistance à la corrosion est le chrome. Contrairement à ce que l'on croit généralement, ce métal est très réactif du point de vue chimique et il est en particulier très oxydable, mais son oxyde forme une véritable peau à la fois transparente et protectrice. Associé au fer et au nickel, il provoque la formation d'un composé de surface oxydé capable de ralentir ou même d'arrêter totalement la corrosion.

Le chrome et le nickel s'oxydent ainsi :



Le terme « inoxydable » est en fait trompeur et très mal choisi... Un néologisme comme « in corrodable » (analogue au terme « rustles » en anglais) serait plus correct, puisque c'est la corrosion (destruction lente par action chimique) qui est freinée.

Comme nous le verrons, il existe de très nombreuses nuances d'acier inoxydables et le choix est parfois difficile, car elles n'ont pas tout le même comportement dans un milieu donné. On les désigne souvent par les pourcentages massiques en nickel et en chrome.

Ainsi, un inox 18/10 tel que ceux utilisés en coutellerie, pour les couverts et pour la cuisine en général, contient 18 % en masse de chrome et 10 % en masse de nickel. Cette désignation est en fait très insuffisante car elle ne préjuge en rien de la structure métallurgique.

La teneur en chrome est dans tous les cas d'au moins 12 %. D'autres éléments d'alliage, pour l'essentiel des métaux relativement « nobles » comme le nickel, le molybdène, le cuiivre, améliorent encore la résistance chimique, en particulier dans les milieux non oxydants.

Les propriétés de résistance de ces alliages ont été découvertes en 1913 lorsque l'on s'aperçut que des échantillons polis en vue d'examen de laboratoire ne subissaient pas d'oxydation. En fait, on peut dire :

Que les aciers inoxydables ne peuvent être corrodés à froid qu'en présence d'humidité.

C'est ainsi qu'ils résistent au chlore, gaz pourtant très corrosif, pourvu que ce dernier soit parfaitement sec.

L'action des solutions aqueuses est telle que la corrosion électrochimique prend la place sur la corrosion chimique directe ; la bonne tenue du matériau dépend, comme cela a été écrit plus haut, des potentiels électrochimiques en surface et de leur répartition.

Comme l'aluminium, métal extrêmement oxydable qui se recouvre d'un oxyde protecteur, les aciers inoxydables se comportent de manière active lorsqu'ils viennent d'être usinés, décapés ou polis et de manière passive lorsque les attaques extérieures ont permis de former la « peau » qui les protège.

Une bonne utilisation des aciers inoxydables nécessite donc un métal d'une très grande homogénéité pour éviter des corrosions locales et un passage de l'état actif à l'état passif en tous les points de la surface exposée.

Par rapport à une électrode à hydrogène de référence, le potentiel des aciers inoxydables se situe entre le molybdène et le mercure, non loin de l'argent et du platine.

4/Différents types d'acier inoxydable

a)Aciers au chrome : contenant de 12 à 27 % de Cr. Ils possèdent l'une ou l'autre des structures suivantes :

Martensitique : avec 12 à 18 % de Cr. Cette structure correspond à une sursaturation en carbone dans Fe obtenue par trempe à partir de l'austénite (Fe_γ). Ils allient une bonne résistance à la corrosion à des caractéristiques mécaniques élevées. Ils sont utilisés pour les instruments chirurgicaux, en coutellerie,... Etc.

Férritique (Fe_α) : avec une teneur élevée en Cr ou la présence d'éléments alpha-gènes (Zr, Ti, Nb), qui ne permettent pas la transformation, à chaud, en austénite et donc ne donnent pas de trempe martensitique.

Les plus utilisés, en architecture, dans les ustensiles de cuisine, contiennent 17 % de Cr. Ils sont plus économiques que les aciers Cr-Ni de type 18-10 car le nickel compte pour plus de 40 % dans le coût de production des aciers inoxydables. Ils contiennent aussi du molybdène dont les cours sont élevés.

b) Aciers au Chrome Nickel : la nuance de base contient 18 % de Cr et 10 % de Ni (nuance 18-10). Ils renferment peu de carbone : de 0,02 à 0,15 %. Les éléments le plus souvent ajoutés sont Mo et Mn. Ils possèdent une structure :

Austénitique : la structure Fe est conservée à la température ambiante. Ils ne prennent pas la trempe et sont amagnétiques. Ils allient une grande résistance à la corrosion à une bonne aptitude à la déformation facilitant la mise en forme. Ce sont les aciers inoxydables les plus utilisés, dans les industries chimiques, alimentaires, les couverts de table de qualité

En ce qui concerne l'usage, on distingue les aciers martensitiques, ferritiques et austénitiques.

Les aciers martensitiques : sont utilisés lorsque les caractéristiques de résistance mécanique sont importantes. Les plus courants titrent 13 % de chrome avec au moins 0,08 % de carbone. D'autres nuances sont plus chargées en additions, avec éventuellement un faible pourcentage de nickel.

Les aciers ferritiques : ne prennent pas la trempe. On trouve dans cette catégorie des aciers réfractaires à haute teneur en chrome (jusqu'à 30 %), particulièrement intéressants en présence de soufre.

Les aciers austénitiques : sont de loin les plus nombreux, en raison de leur résistance chimique très élevée, de leur ductilité comparable à celle du cuivre ou du laiton, et aussi de leurs bonnes caractéristiques mécaniques élevées. Les teneurs en éléments d'addition tournent autour de 18 % de chrome et 10 % de nickel. La teneur en carbone est très basse et la stabilité améliorée par des éléments tels que le titane ou le niobium.

Les aciers austéno-ferritiques ont des propriétés intermédiaires entre les deux précédentes catégories et parmi eux se trouvent des alliages particulièrement aptes à la soudure et d'autres très résistants

- X 2 CrNi 18-10 (304L) : C : 0,02 %, Cr : 17 à 19 %, Ni : 9 à 11 %, utilisés en chaudronnerie nucléaire et autres usages civils.

- X 2 CrNiMo 17-12 (316L) : C : 0,02 %, Cr : 16-18 %, Ni : 11-13 %, Mo : 2 %, utilisés dans les industries chimiques, pétrolières, agro-alimentaires, pour les cuves de vins, etc.....

- X 8 Cr 17 (430) : C : 0,08 %, Cr : 16-18 % (acier inoxydable ferritique) utilisés pour les articles de ménage, l'électroménager, les éviers, etc....

- X 6 CrTi 12 (409) : C : 0,06 %, Cr : 11-13 %, Ti, utilisé dans les échappements Automobiles.

5/Désignation

Lettre X : indique que l'acier est allié avec au moins 1 élément d'addition dépassant la teneur de 5 % en masse.

Nombre : indique la valeur multipliée par cent de la concentration en carbone exprimée en % en masse.

Lettres : précisent, par leur symbole chimique, les éléments d'addition majoritaires, rangés en teneur décroissante.

Nombres séparés par des traits d'union :

Donnent les concentrations des éléments d'alliages, classés dans l'ordre des symboles préalablement décrits, exprimées en % en masse s'ils sont supérieurs à 5 % Exemples avec entre parenthèse, la norme américaine .

6/ Les méthodes de fabrication

6-1) Le découpage

Le découpage est une opération qui consiste à appliquer sur une tôle deux forces perpendiculaires au fibre moyen, de deux sens opposés, avant de commencer il faut avant tout éliminer toute la calamine, les particules ferreuses plus ou moins adhérentes à la suite du passage dans les outillages de fabrication ou du broissage à la brosse métallique, les résidus d'outillages abrasifs surtout s'ils ont auparavant servi à travailler des aciers ordinaires.

6-1-1) Les types de découpage

a) Découpage (classique)

Le découpage classique d'un matériau mince (carton, plastique, tôle) se fait à l'aide de ciseaux, cisailles ou grignoteuses éventuellement. Le défaut de ce type de découpage est qu'il s'éloigne progressivement les deux parties découpées entraînant ainsi des déformations locales. Plus le tracé est sinueux, plus ces déformations seront importantes.

Un découpage sans déformation sera obtenu par l'équivalent du poinçonnage par exemple avec un scalpel à lame fine (cutter) pour le carton et le plastique.



Fig. (2-1) cisaille manuelle

b) Découpage industriel

L'outil de découpe (composé d'une lame tranchante en acier d'environ 23 mm de haut et 1 à 2 mm d'épaisseur fixée dans un contreplaqué d'environ 18 mm) de la forme du produit fini désiré est posé dans une presse.

Pour les matériaux fins (quelques millimètres) et les petites et moyennes séries est utilisée une presse appelée "platine portefeuille" : le marbre fixe reçoit l'outil, le marbre mobile reçoit la feuille à découper et l'ensemble se referme à la manière d'un portefeuille.

Toujours pour les matériaux fins mais en grandes séries est utilisé une platine rotative. Les feuilles sont entraînées par des rouleaux sous l'outil.

Pour des matériaux plus épais nécessitant des pressions plus fortes, les outils (avec des lames plus hautes, 50 à 100 mm) sont montés sur des presses hydrauliques.

c) Découpage fin

Opération qui consiste à découper des pièces dans de la tôle plutôt épaisse. La pièce obtenue par ce procédé à la particularité d'avoir le bord découpé parfaitement perpendiculaire à la face, et de très bonnes qualités géométriques et dimensionnelles.

L'outillage nécessaire pour cette découpe est de conception particulière par rapport aux outils de découpe habituel car la tôle est maintenue dans la phase découpe par des joncs des retenues.

Mise en bande

L'étude de la mise en bande consiste à chercher la disposition des pièces dans une bande de tôle en essayant de produire un minimum de déchet.

Mise en bande simple

Dans le cas général les pièces sont disposées l'une après l'autre.

La distance entre deux pièces et la largeur des bords de bande est égale à l'épaisseur du métal découpé. L'espace entre deux points similaires d'une bande est appelé le pas.

Écart = épaisseur de la tôle découpé.

Néanmoins, dans le cas de découpage de métal de faible épaisseur, il est prudent d'utiliser la découpe thermique, pour cela plusieurs solutions sont possibles :

d) La découpe au laser

Très efficace, et pratique utilisé dans la nouvelle industrie

e) La découpe au jet d'eau

Pratique pour les découpes de forme ou des découpes spatiale sur des épaisseurs moyennes (50 mm),

f) Le découpage plasma

Sous atmosphère d'air comprimé épuré ou d'un mélange argon/hydrogène à 3% qui « dope » les performances. Cette solution remplace avantageusement la découpe au chalumeau oxyacétylénique.

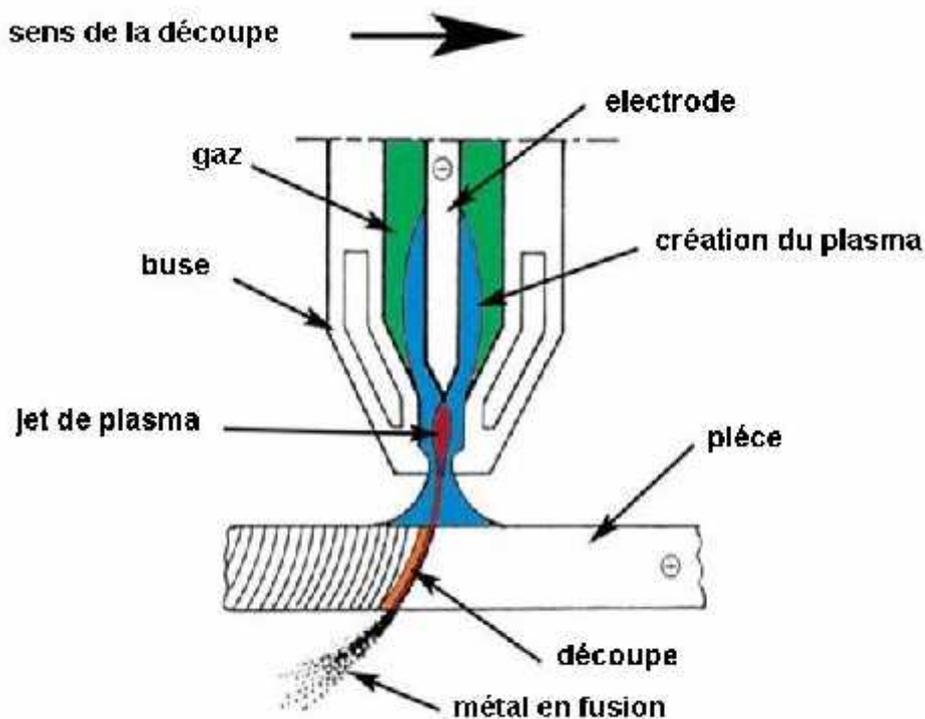


Fig. (2-2). Principe de découpage plasma

La gamme d'épaisseur va pour des postes manuels de 0,1 mm jusqu'à 60 mm. Des épaisseurs allant jusqu'à 150mm sont possibles en automatique.

Il est à noter que ce procédé engendre une dépouille, variable selon les torches, ce qui signifie que les chants de la tôle ne sont pas exactement perpendiculaires à la surface.

Le plasma, colonne en rotation rapide, s'évase avec la profondeur, les températures sont extrêmes et vont de 18 000 à 55 000°C. Le coupage de tout matériau Taine tenue au déchet. La largeur de ce dernier est de 2mm au minimum.

6-2) Le roulage

a) Le but de roulage

A partir d'une tôle plane de forme et de dimension bien définie (flanc capable), obtenir une surface courbe réglée, cylindrique ou conique, ouverte (Fig. 2-3) ou fermée (Fig.2-4).

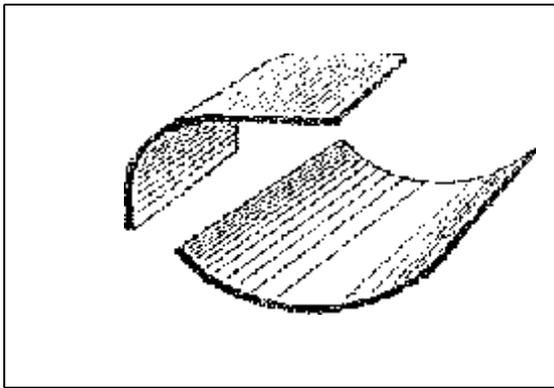


Fig. (2-3) surface courbe ouverte

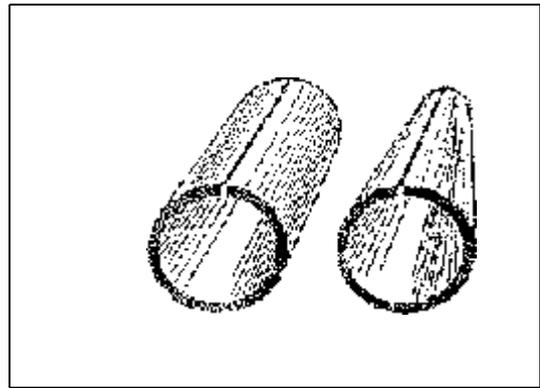


Fig.(2-4) surface courbe fermée réglée

b) Obtention de roulage

Le roulage est obtenu en exerçant un effort suffisant, afin de vaincre la résistance élastique du

Métal pour obtenir une déformation permanente, soit par pression ou par choc.

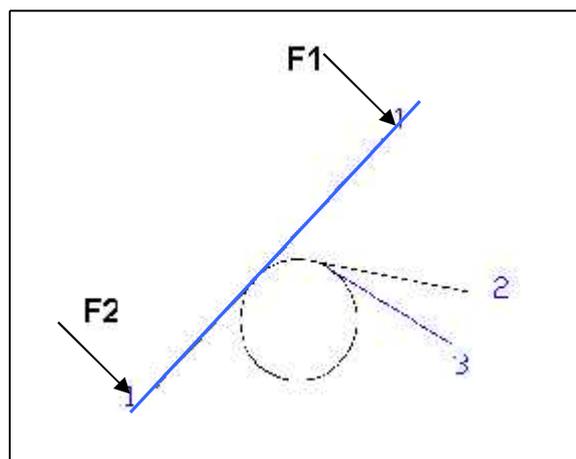


Fig. (2-5) principe de roulage

c) Différents types de roulage

Manuel

Pour les tôles minces ou moyennes ; on dit que l'on réalise un cintrage, celui-ci peut être exécuté à la main, en exerçant des forces (F) successives sur un flanc autour d'une forme.

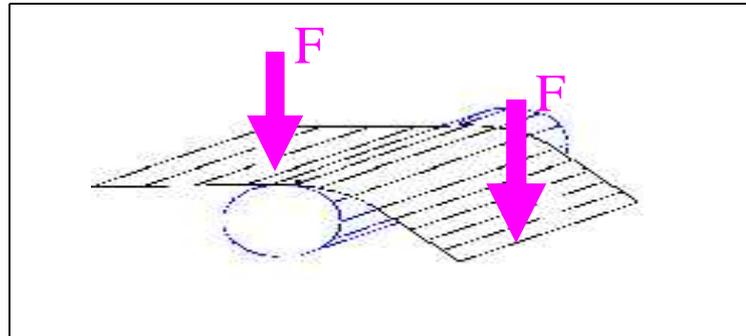


Fig. (2-6) Le roulage manuel

Mécanique

toutes les épaisseurs, plus précis que le cintrage manuel, il permet d'obtenir des surfaces courbes réglées à l'aide d'une rouleuse mécanique motorisée ou non ; on dit que l'on réalise un roulage.

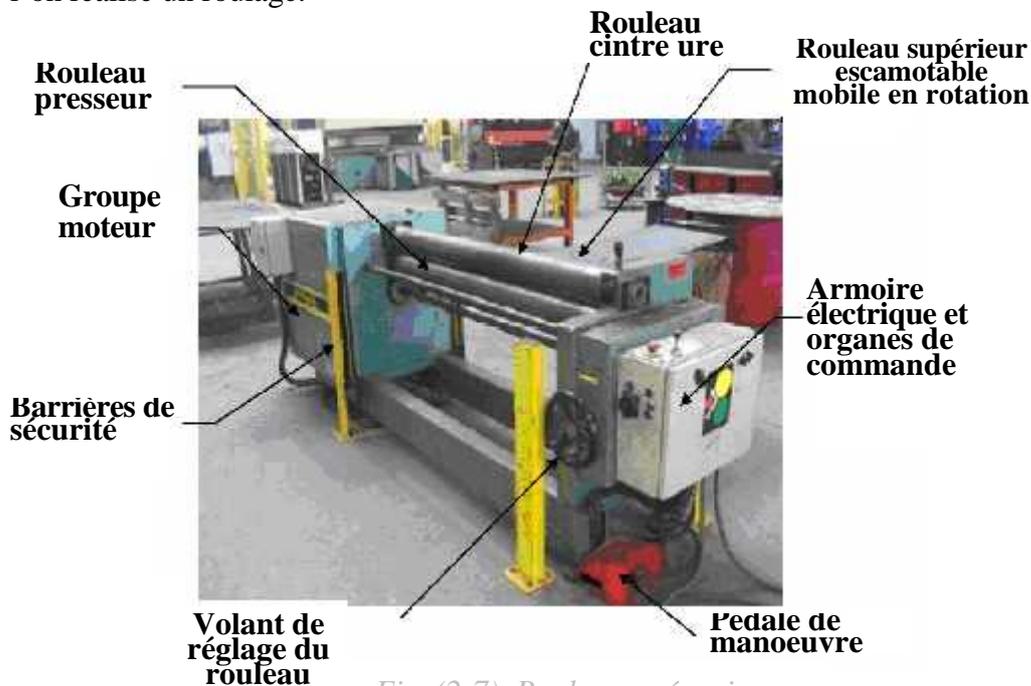


Fig. (2-7). Rouleuse mécanique

Cette photo nous montre un type de rouleuse mécanique automatisé qui se compose de deux rouleaux présente un longueur de 2 m et traite des feuillets allant jusque 5 mm d'épaisseur.

d) Calcule de longueur développée

La longueur développée d'une virole se calcule à partir du diamètre en fibre neutre, diamètre passant par le milieu de l'épaisseur de la tôle de couleur rouge sur le croquis ci-dessous

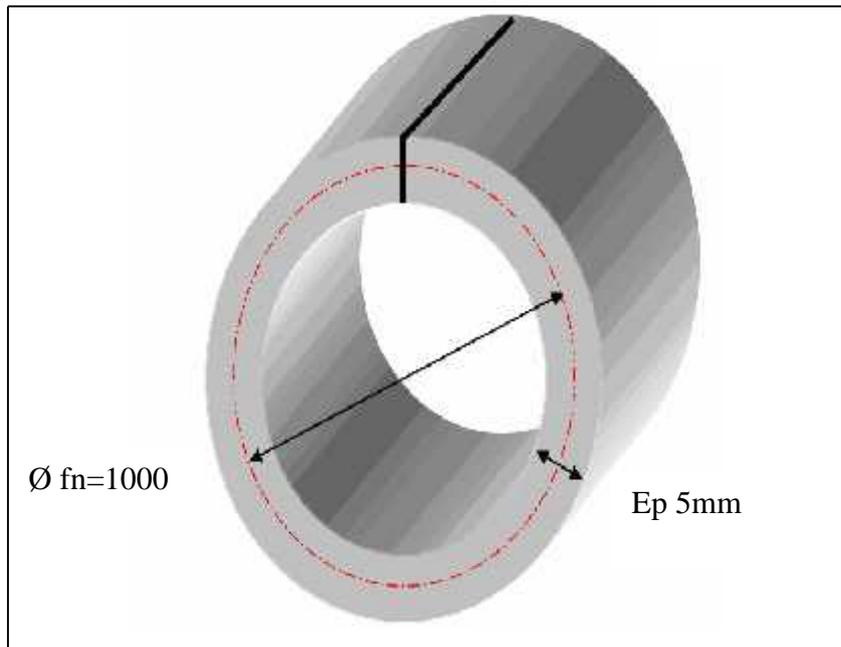


Fig. (2-8) Calcule de la développée

Bien sur pour réaliser un roulage afin de reproduire une forme cylindrique d'un diamètre donnée, on doit avant tout connaître les dimensions de la forme cylindrique développée c'est-à-dire en feuil plane.

Cette dernière calcule à partir de diamètre de la fibre neutre qui est supposé passe en tôle par le centre de l'épaisseur du feuil a roulé.

L'exemple ci-dessus montre une opération de calcule de développée pour un cylindre de diamètre de 1000 mm et une épaisseur de 5 mm on aura alors :

Alors pour calculer le développé il faut appliquer la règle suivante:

$$(1005 - 5) \times 3,14 \text{ Longueur développée} = 3140 \text{ mm}$$

Fn =fibre neutre

6-3/ Le soudage

Le soudage est un procédé d'assemblage consiste a faire la fusion d'un métal d'apport sur les surfaces a assemblés, il existe une multitude de type de soudage, comme on travaille avec l'inox qui nécessite un soudage étanche alors c'est la raison pour la quelle on va étudier le soudage TIG

6-3-1/ Soudage TIG

Le soudage TIG est un procédé de soudage à l'arc avec une électrode non fusible. TIG est un acronyme de "Tungstène Inerte Gaz" où Tungstène désigne l'électrode et Inerte Gaz désigner le type de gaz plasmagène utilisé.

L'arc se crée entre l'électrode réfractaire (- du générateur) et la pièce (+ du générateur) sous un flux gazeux. De façon générale, il s'agit d'un gaz ou d'un mélange de gaz rares.

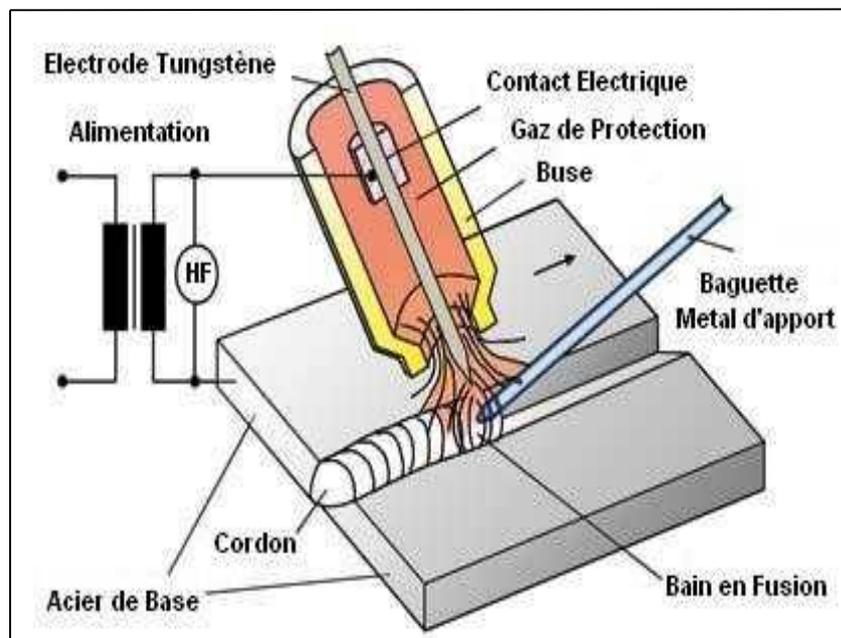


Fig. (2-9) Principe de soudage TIG

L'amorçage se fait grâce au gaz circulant dans la buse qui entoure une grande partie de l'électrode.

Le soudage s'effectue en polarité directe (pôle - du générateur relié à l'électrode) pour la majorité des métaux et alliages (**aciers, inox, cuivreux, titane, nickel...**) sauf dans le cas des alliages légers d'**aluminium** ou du **magnésium** où l'on soude en polarité alternée (pendant un laps de temps, l'électrode est reliée au pôle + du générateur).

Souder de façon continue en polarité inverse (pôle + relié à l'électrode) détruit cette électrode en la faisant fondre.

6-3-2) Générateurs et méthodes d'amorçage

Les générateurs utilisés sont des générateurs dont la courbe tension intensité est de type plongeant, c'est-à-dire que pour une variation de tension dans une plage donnée, l'intensité va peu varier.

Ces générateurs peuvent également s'employer pour le soudage à l'électrode enrobée



Fig. (2-10) Photo de générateur de soudage TIG

Il existe 2 façons d'amorcer l'arc :

a) Par contact (lift arc)

Le soudeur va faire entrer en contact l'électrode avec la pièce à souder puis va éloigner l'électrode afin de "tirer" un arc électrique.

Cette méthode peut être utilisée avec tous les générateurs de soudage mais peut créer une inclusion de Tungstène pour les soudeurs peu expérimentés.

Cette méthode ne s'emploie pas pour les machines de soudage TIG proprement dites. Ces dernières comportent un générateur "haute fréquence" pour amorcer l'arc.

b) Par hautes fréquences

Le générateur va créer un arc électrique de faible intensité en appliquant une haute tension (env. 1000 V) à une très haute fréquence (env. 1 000000 Hz) entre l'électrode et la pièce.

L'ionisation de l'air entre pièce et électrode va permettre la création d'un arc de soudage de forte intensité malgré une tension modeste (environ 20-30V).

Cette méthode d'amorçage a pour inconvénient d'engendrer une pollution électromagnétique de l'environnement.

c) Électrodes utilisées

Les électrodes employées sont majoritairement constituées de tungstène à plus de 99% en masse auquel on ajoute des oxydes métalliques pour augmenter l'émissivité électronique de l'électrode et donc le rendement.

Ces oxydes sont ceux du thorium (ThO_2), du cérium (CeO_2), du lanthane (La_2O_3), du zirconium (ZrO_2) ou d'yttrium (Y_2O_3) finement dispersés dans la phase W. Pour le soudage de l'aluminium, on trouve également des électrodes en tungstène pur.

Étant donné la radioactivité naturelle du thorium, il est probable que, dans le futur, celui-ci disparaîtra du marché en Europe Occidentale.

Une électrode de tungstène à 2% de ThO_2 a une radioactivité de $1,3 \cdot 10^6$ Bq/kg, une électrode avec 2% de CeO_2 descend à 56 Bq/kg. D'ores et déjà, certaines législations (Belgique, Pays-Bas, ...) requièrent de traiter les restes d'électrodes et la poussière d'affûtage comme des déchets légèrement radioactifs.

La couleur de l'anneau ceignant l'électrode renseigne sur la quantité et la nature d'élément d'addition présent suivant la norme EN 26848. Un code alphanumérique indique aussi la teneur en oxyde.

Par exemple, WT20 désigne une électrode de W avec 2% de ThO_2 . Le diamètre d'électrode est compris entre 1 et 8 mm (1,0 - 1,6 - 2,0 - 2,4 - 2,5 - 3,2 - 4,0 - 4,8 - 5,0 - 6,0 - 6,4 - 8,0). Les longueurs courantes sont 50 - 75 - 150 - 175 mm.

Pour éviter une usure trop rapide des électrodes lors de l'affûtage manuel, la plupart des fournisseurs de matériel de soudage vendent aussi de petites meules transportables qui garantissent un angle constant avec le minimum de perte de matière.

Les électrodes sont affûtées de sorte que les stries d'affûtage soient orientées de la pièce vers l'électrode.

6-3-3) Gaz de soudage

Dans la majorité des cas le gaz employé est de l'argon, ce gaz influant sur la facilité d'amorçage de l'arc (plus facile sous argon car sa tension d'ionisation est plus faible que celle de l'hélium), la forme du cordon, la profondeur de pénétration, la vitesse de soudage (les vitesses élevées sont plutôt réservées aux mélanges majoritaires en hélium).

Cependant, aux Etats-Unis les gisements d'hélium étant plus abondant ce gaz est donc plus utilisé.

Bien qu'il rende l'amorçage plus difficile l'hélium élève la tension d'arc et par conséquent permet une pénétration et une vitesse de soudage plus importante. Pour les aciers inoxydables austénitiques, l'utilisation de mélanges binaires argon + hydrogène améliore la productivité en augmentant la pénétration et les vitesses de soudage.

6-3-4) Défauts rencontrés

-  Inclusions de tungstène lié à la dextérité du soudeur « calife d'équipe de soudeurs ».
-  Porosités (surtout avec de l'argon).
-  Collages et manques de pénétration.
-  Oxydation si mauvaise protection gazeuse, notamment à l'envers des soudures débouchent ("rochage")

6-3-5) Qualité du soudage TIG

La qualité visuelle d'une soudure TIG est excellente, le procédé convient à tous les métaux.

Noter qu'un gaz de protection envers (cas du soudage d'acier inox) voire une boîte à gants ou un traînard (cas du soudage du titane) peuvent être nécessaires.

La compacité de la torche permet de souder dans des endroits difficilement accessibles pour d'autres procédés.

7/Le tournage

Le tournage est une opération d'usinage consiste à enlever la matière d'une pièce de révolution muni avec un mouvement de rotation on réalisera toutes les surfaces de révolution, y compris les plans lorsque la trajectoire du point générateur est située dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation.

7-1/Les machines de tournage

Les machines outils les plus courantes utilisées pour le tournage sont:

a) Les tours parallèles à charioter et à fileter

Tour parallèle à charioter et à fileter : C'est le nom donné aux tours horizontaux destinés originellement à l'exécution de surfaces de révolution et des filetages, le tour comprend :

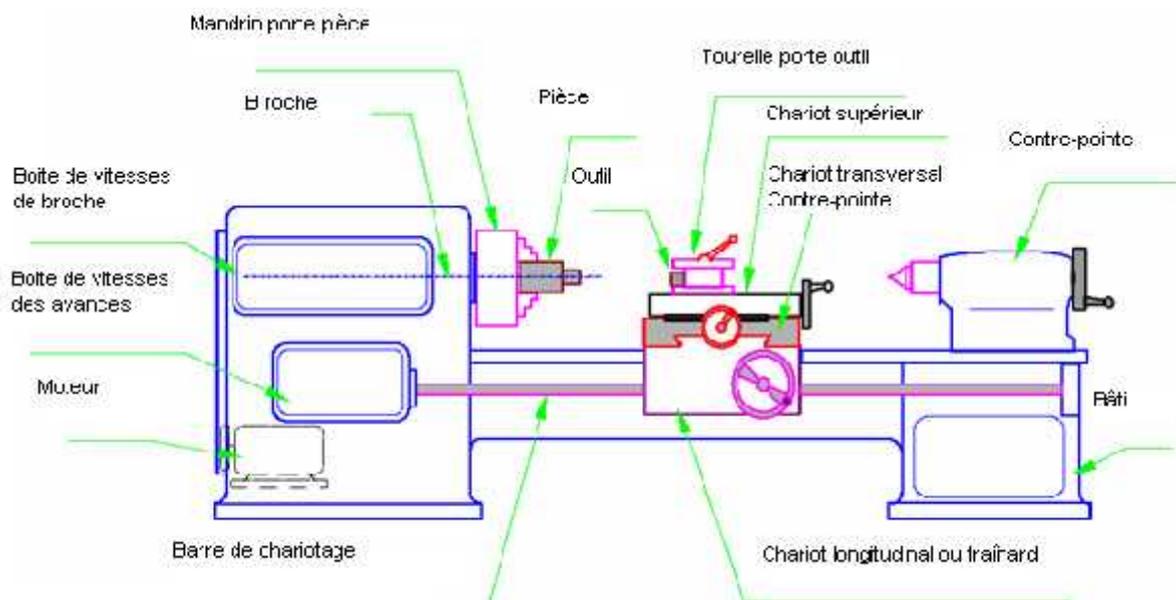


Fig. (2-11) le tour parallèle

La pièce est montée au moyen de deux centrages coniques constituant les surfaces référentielles, entre les pointes du tour et entraînée en rotation par la broche, au moyen du toc. Elle peut aussi être montée en l'air sur un plateau solidaire de la broche.

L'outil est monté sur la tourelle porte-outil. Le mouvement de coupe part du moteur et arrive à la broche (pièce) après sélection de "n" nombre de tours, dans la boîte de vitesse de rotation de la broche.

Le mouvement de pénétration de l'outil est commandé à volonté à la main par le tourneur et détermine la largeur du copeau.

b) Les tours à copier

Ils permettent l'usinage des pièces par reproduction, à partir d'un gabarit, grâce à un système de copiage hydraulique qui pilote le déplacement du chariot transversal.

C'est une machine assez flexible qui peut convenir pour des travaux de petites séries, la génératrice des surfaces de révolution peut être quelconque.

c) Les tours semi-automatiques

Ce sont des tours équipés d'un traînard semblable à celui d'un tour parallèle avec une tourelle hexagonale munie de 6 postes d'outils animée d'un mouvement longitudinal contrôlé par des butées.

Les outillages spécialement conçus pour la machine permettent des opérations simples et précises. La commande de ces tours peut être manuelle ou en partie automatique.

La flexibilité de ces machines est très limitée, on les utilisera pour des travaux de moyenne série.

d) Les tours automatiques

Plusieurs outils sont montés tangentiellement à la pièce, les mouvements sont obtenus par des cames qui donnent la vitesse d'avance et la course de chaque outil, une came est spécifique à une opération et à une pièce.

Ces machines n'ont aucune flexibilité. Elles conviennent pour les très grandes séries.

e) Les tours automatiques multibroches

Ce type de tour comportera par exemple huit broches, huit outils soit un par broche travaillent en même temps et effectuent une opération différente.

Ce sont les broches qui tournent d'un huitième de tour pour présenter la pièce devant l'outil suivant. Lorsque les broches ont effectuées un tour complet la pièce est terminée.

Sur ce type de tour les réglages sont longs et le temps de passage d'une série à l'autre immobilise la machine. Ce tour sera réservé pour les grandes et très grandes séries à des pièces de dimensions réduites à cause de l'espacement entre les broches.

f) Les tours à commande numérique

Comme en copiage la génératrice de la pièce peut être quelconque mais ici la trajectoire de l'outil est obtenue par le déplacement simultané de deux axes dont les positions successives sont données par un calculateur travaillant à partir d'un programme propre à la pièce.

Ces tours sont équipés d'un magasin d'outils et éventuellement d'un système de chargement des pièces.

La flexibilité de ces machines est très grande et particulièrement bien adapté pour le travail unitaire ou les petites séries

7-2) les opérations de tournage

Il existe différentes opérations de tournage classique utiliser pour usiner les formes des pièces de révolution

Nous pouvons citer quelques unes:

a) Chariotage et dressage

Le chariotage et le dressage sont des opérations d'usinage permettant de réalisés un enlèvement de matière parallèle à l'axe de broche et perpendiculairement à l'axe de broche respectivement.

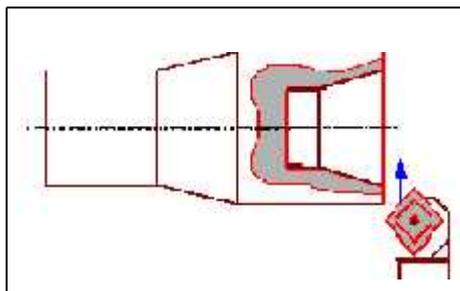


Fig. (2-12) opération de dressage

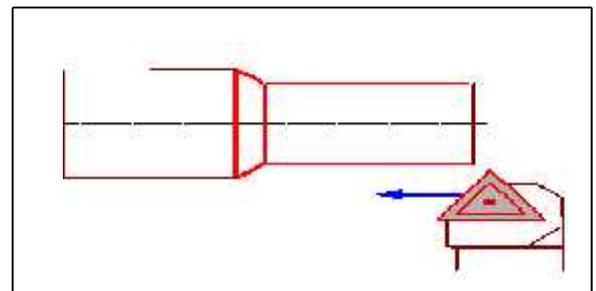


Fig. (2-13) opération de chariotage

L'image ci-dessus montre un exemple des deux opérations ainsi que l'outils correspondant pour cette opération.

b) Perçage

Opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'une forêt placé sur la contre pointe.

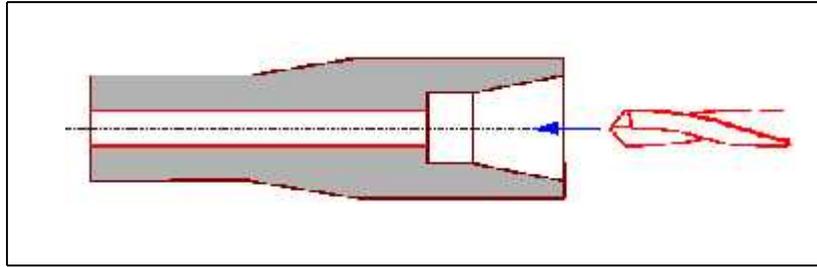


Fig. (2-14) opération de perçage

c) Rainurage

Opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure pour le logement d'un circlips ou d'un joint torique par exemple.

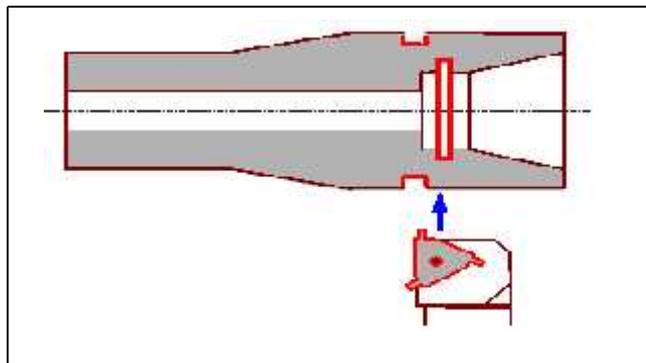


Fig. (2-15) opération de rainurage

d) Chan freinage

Opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle vif.

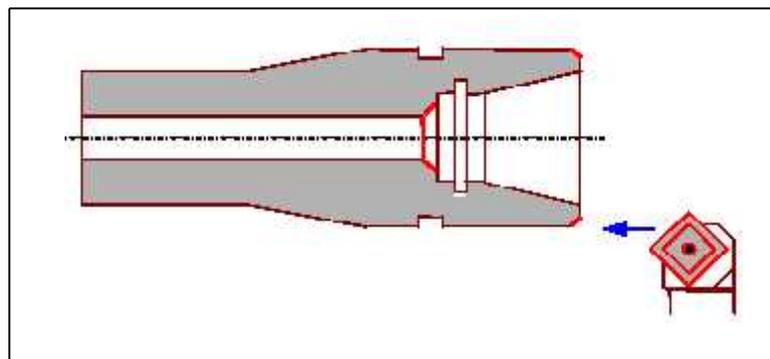


Fig. (2-16) opération de Chan freinage

e) Tronçonnage

Opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin d'en détacher un tronçon.

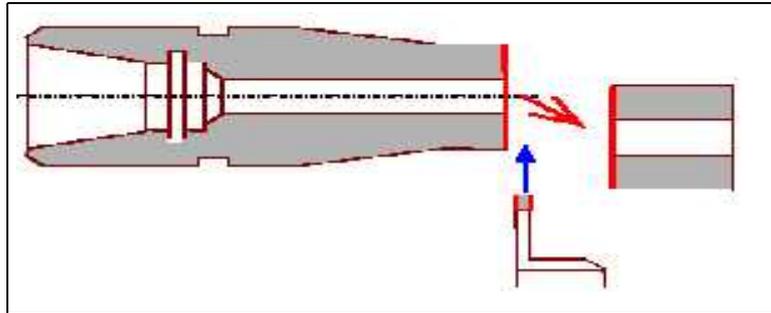


Fig. (2-17) opération de tronçonnage

f) Filetage

Opération qui consiste à réaliser un enlèvement de la matière d'une manière hélicoïdale on peut trouver un filetage extérieur ou bien intérieur.

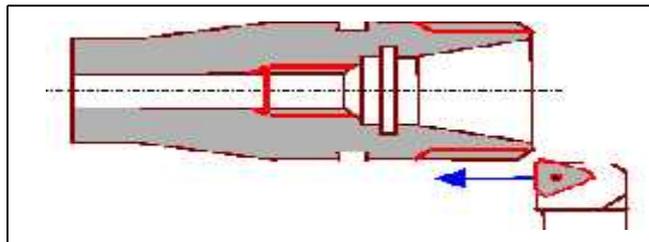


Fig. (2-18) opération de filetage

chapitre III

conception CAO/DAO

1/Introduction

Dans ce chapitre nous allons vous présenter les différentes étapes suivies pour la reconstruction d'un moteur "pulsoréacteur" dans un logiciel de CAO en 3D, à partir d'un plan déjà existant.

Cette partie la servir de guide pour notre réalisation et nous facilite la compréhension du montage et la recherche des défauts d'assemblage.

2/Définition de logiciel solide- Works

SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base: la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation.

Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur Solid-Works.

Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

Le schéma ci-dessous est le résultat d'une schématisation sur le logiciel **SOLIDWORK** version 2007.

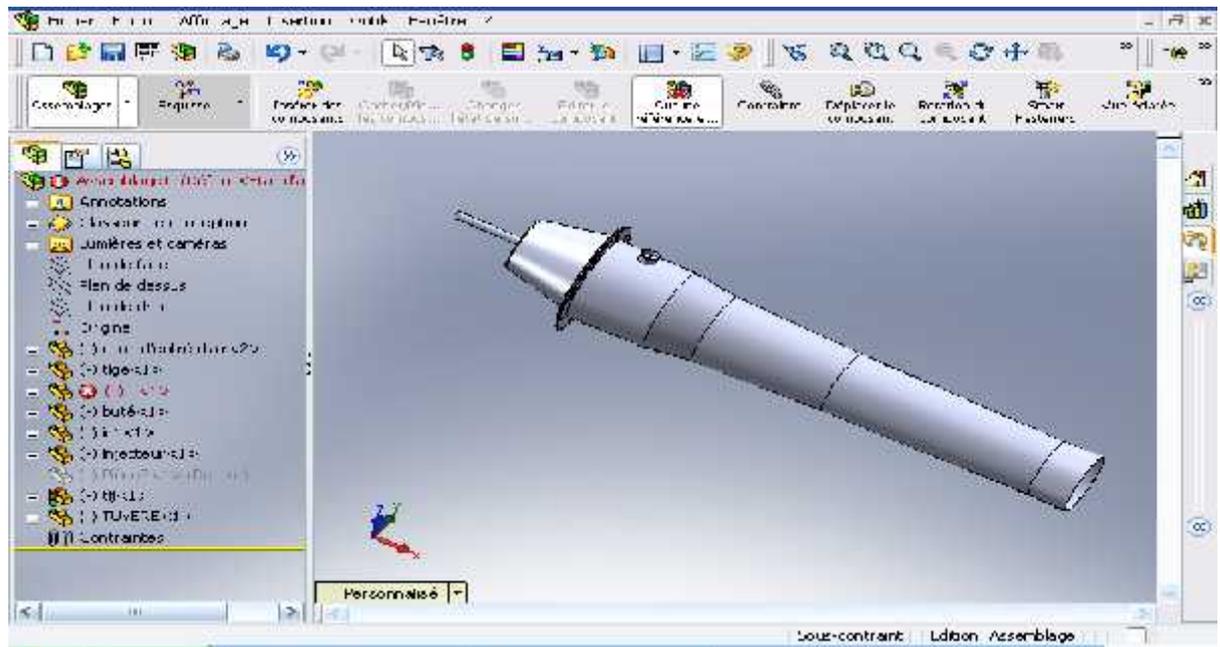


Fig. (3-1) interface de logiciel SOLID-WORKS

On voit clairement dans cette figure le résultat finale de la réalisation on 3D que on peut modifie et voir dans toute les faces et coupes désiré.

3/Etapes de conception d'une pièce

Pour bien permettre à l'utilisateur de sentir cette conception nous allons présenter les différentes étapes de la conception de la chambre et la tuyère sur SOLID-WORKS.

Bien sur chacun peut alors les correspondant lui permettant d'atteindre sont but avec le minimum d'opération et une bonne optimisation dans la conception.

Voir les étapes:

1-En premier on commence par l'exécution de logiciel.

2-Apres l'exécution de logiciel SOLIDE WORKS on sélectionnant le buttons fichier a gauche de l'écran le coin le plus haut.



3-cliquant sur **nouveau** dans la barre d'outil standard La boite de dialogue **nouveau document solid-works** apparaît.

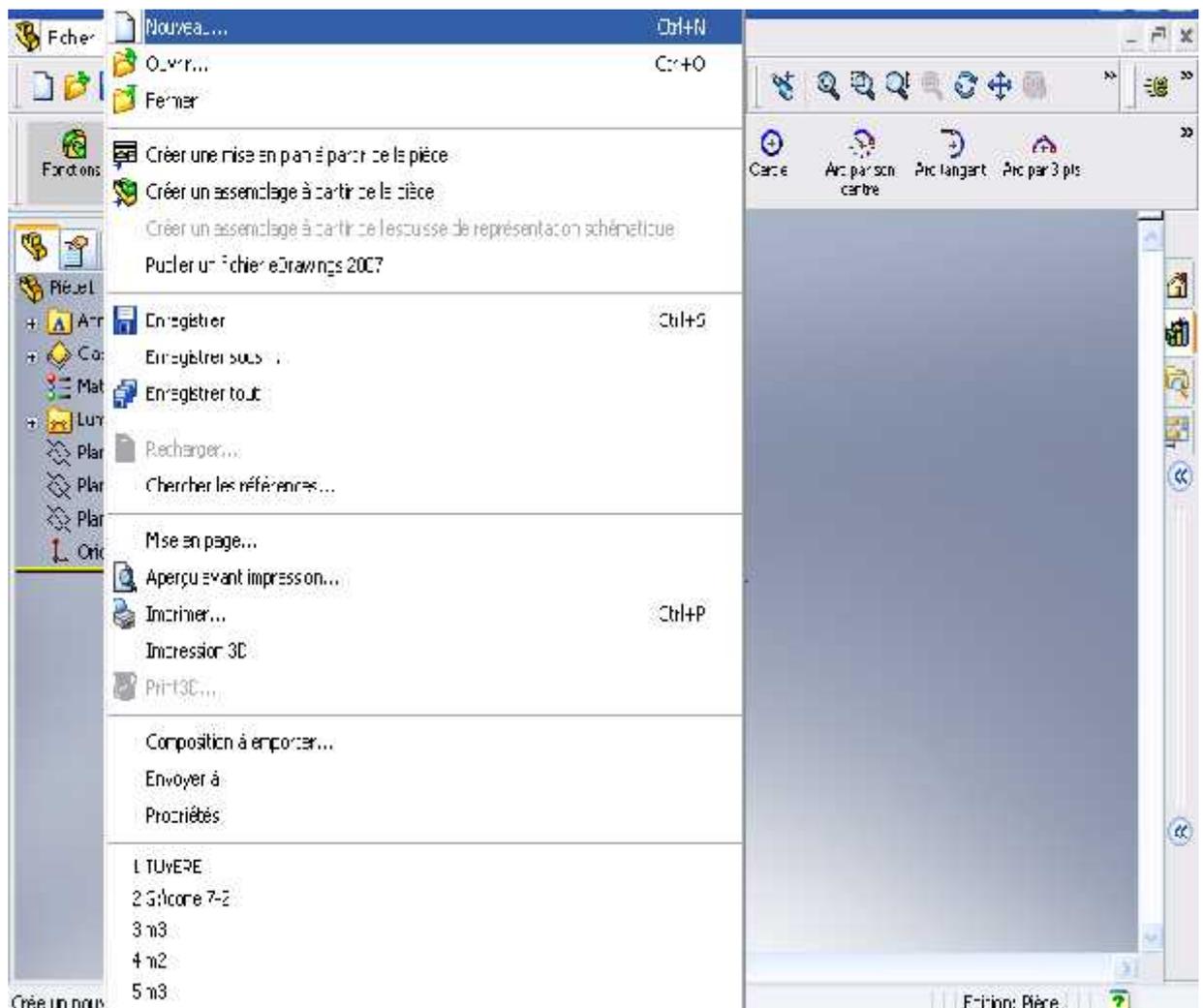


Fig. (3-2) photo de la premier étape

4-cliquant sur **pièce** pour choisir le mode de création d'une nouvelle pièce.

5-cliquant sur **ok** une nouvelle fenêtre de pièce apparaît.

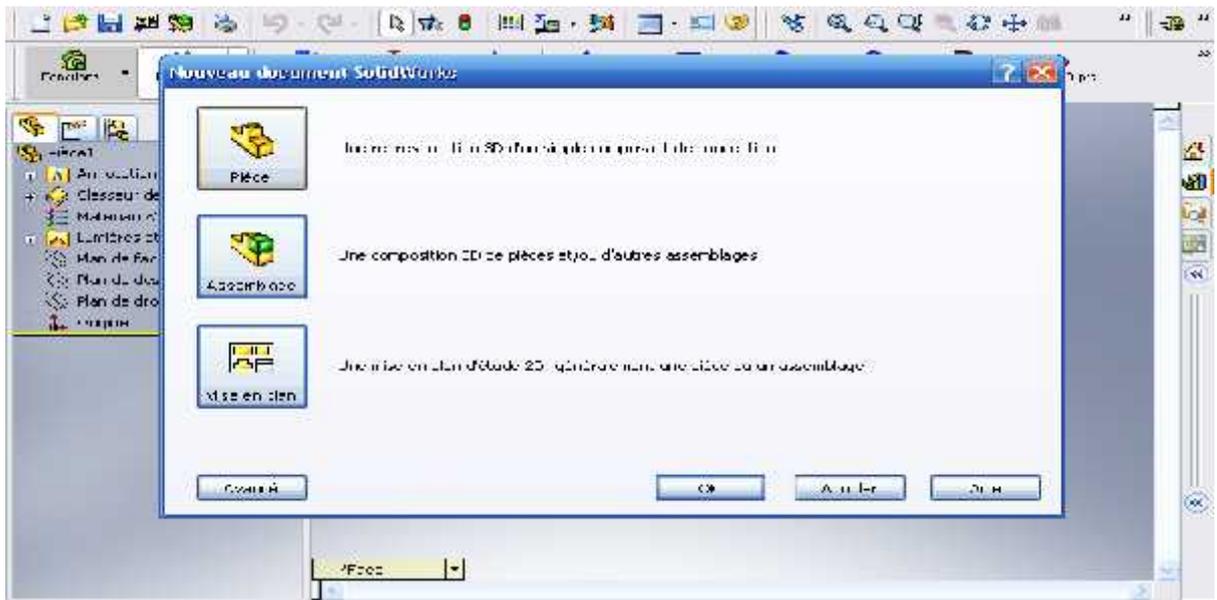


Fig. (3-3) photo de la deuxième étape

* Maintenant q'on est dans la bare d'outil on peut utilisé les fonction mais avant il faut tracé l'esquisse de la pièce pour avoir une forme de revolution.

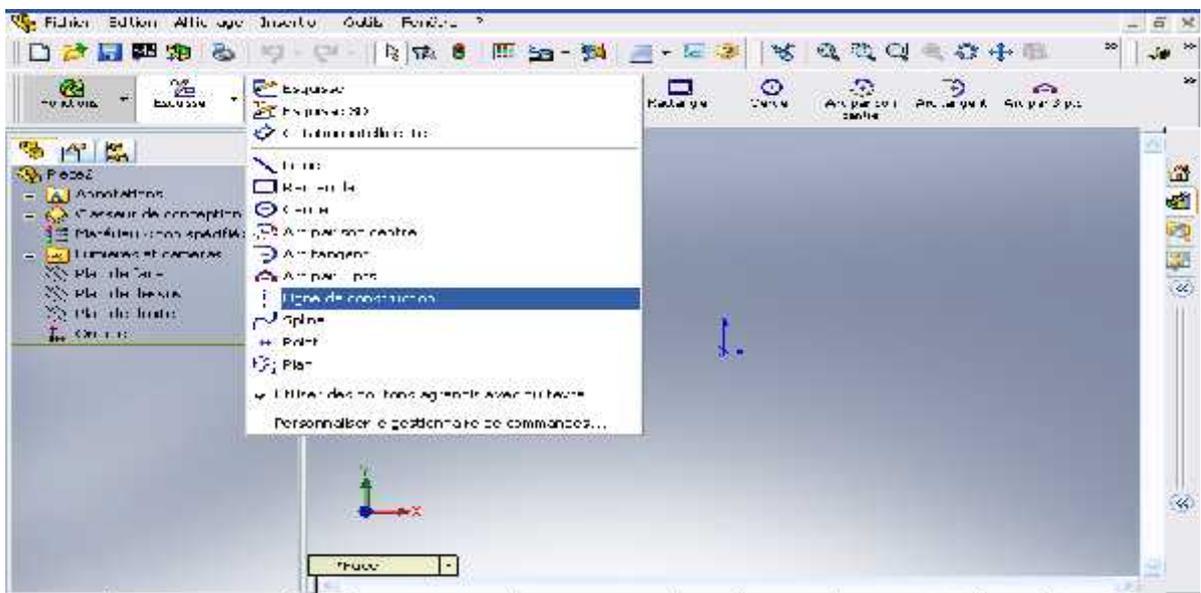


Fig. (3-4) photo de la troisième étape



6-Cliquant sur esquisse dans la barre d'outil on auras une nouvelle liste, les plans de face de dessus et de droit apparaissent dans la zone graphique

7-Deplacer le pointure au dessus de plan dessus pour le mettre en surbrillance ,puis cliquer pour le selectionner.

* L'affichage change afin que le plan de dessus soit en face de vous ,une esquisse est ouverte sur le plan de dessus

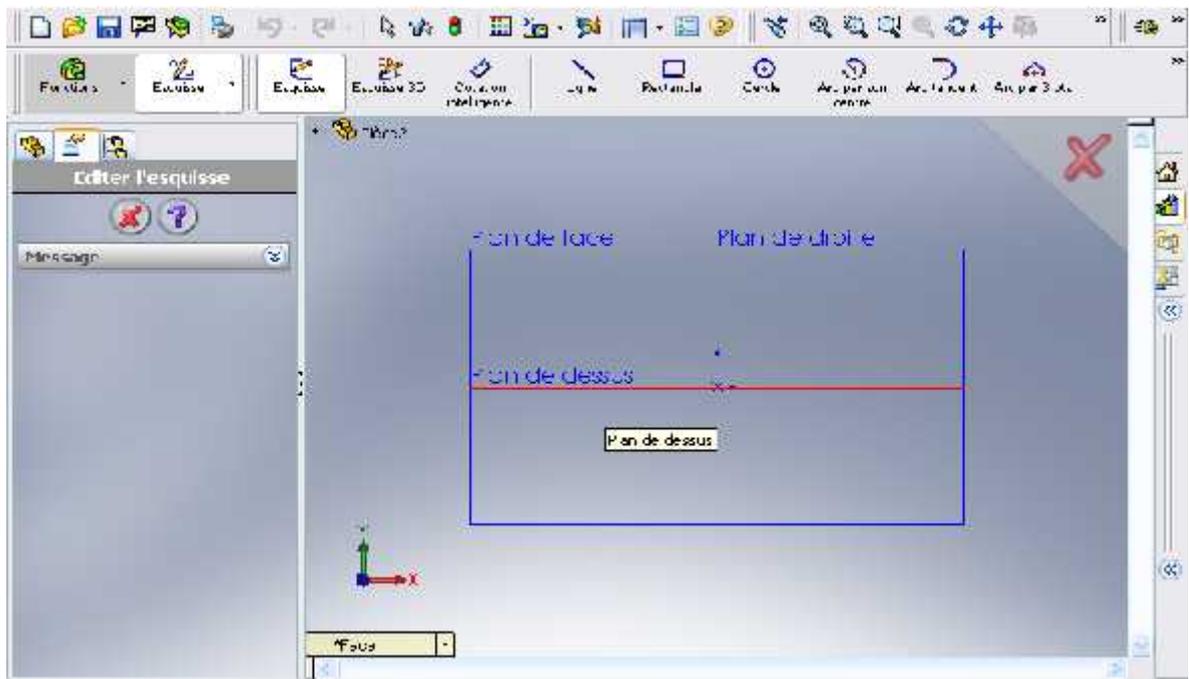


Fig. (3-5) photo de la quatrième étape

* La premiere fonction de la piece est de tracé une ligne de construction qui est l'axe de simétré .

8-Liste on choisir ligne de construction.

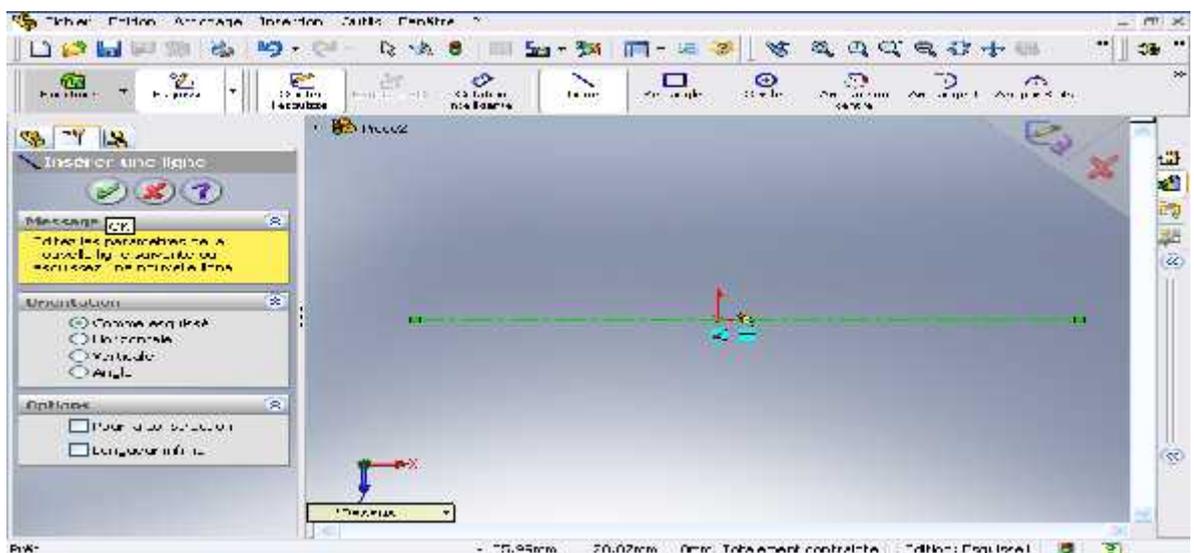


Fig. (3-6) photo de la cinquième étape

* Après le traçage de la ligne de construction on peut tracer notre esquisse et après on obtient notre pièce de révolution par symétrie.

La fonction suivante est de tracer les lignes qui constituent la pièce.

9-Cliquez sur esquisse comme la première fonction mais cette fois vous choisissez ligne

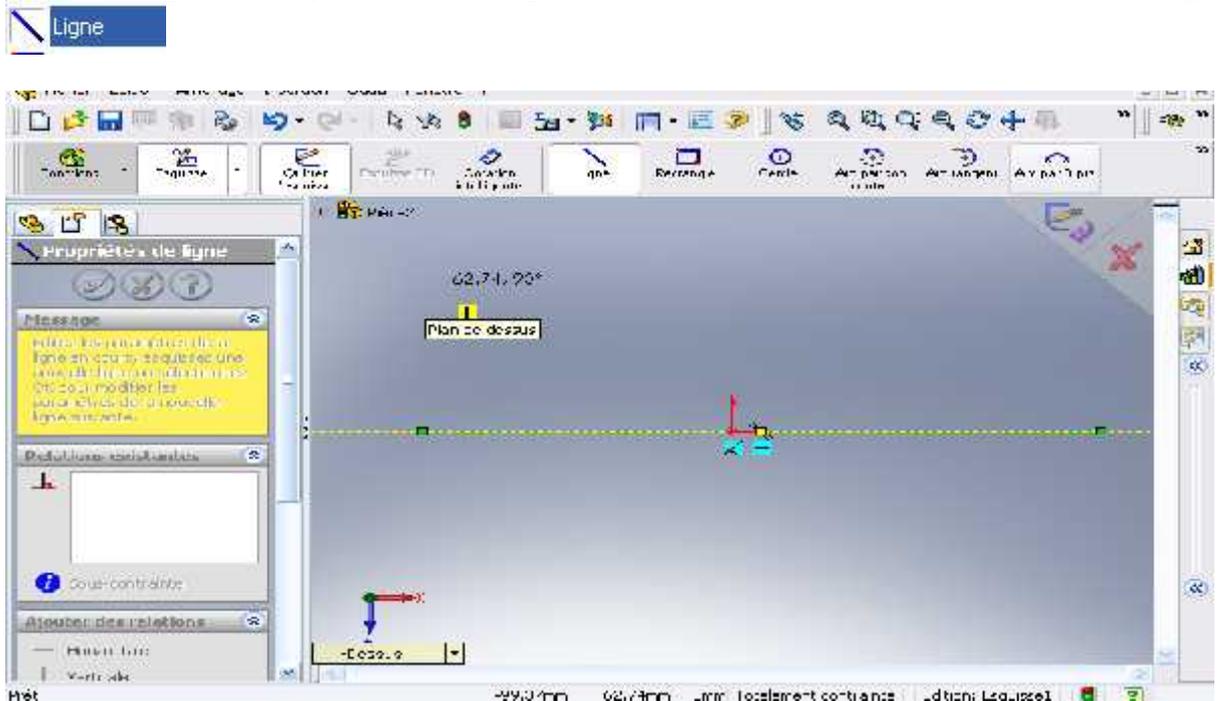


Fig. (3-7) photo de la sixième étape

10-On trace les ligne de qui constituent l'esquisse de la pice avec l'ajustement des côtes et les angles d'inclinisant dans propety manager ,sous paramaetre

11-Cliquez sur ok  .

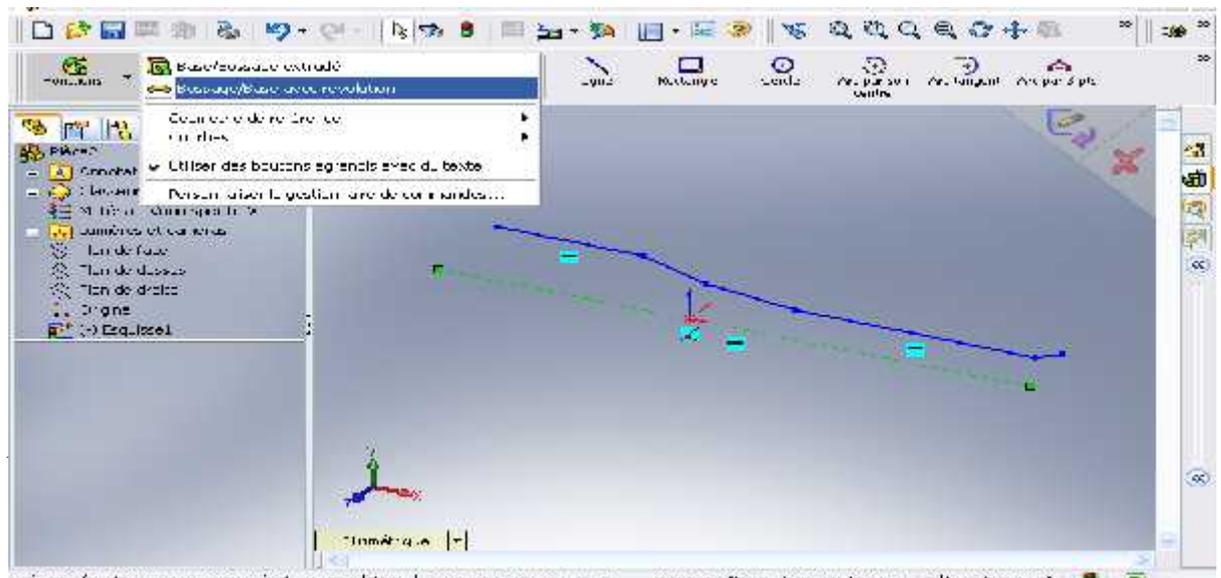


Fig.(3-8) photo de la septième étape

* Maintenant que l'esquisse est terminée ,revolutionnez la pour avoir la tuyère

12-Cliquez sur  Bossage/Base avec révolution dans la barre d'outils fonctions

*Slectionner l'axe de symetrie « ligne de construction » comme axe de rotation .

13-Enfin selectioner l'épaisseur de la piece qui est de 2mm dans le panneau parametre de revolution l'outil fonction mince.

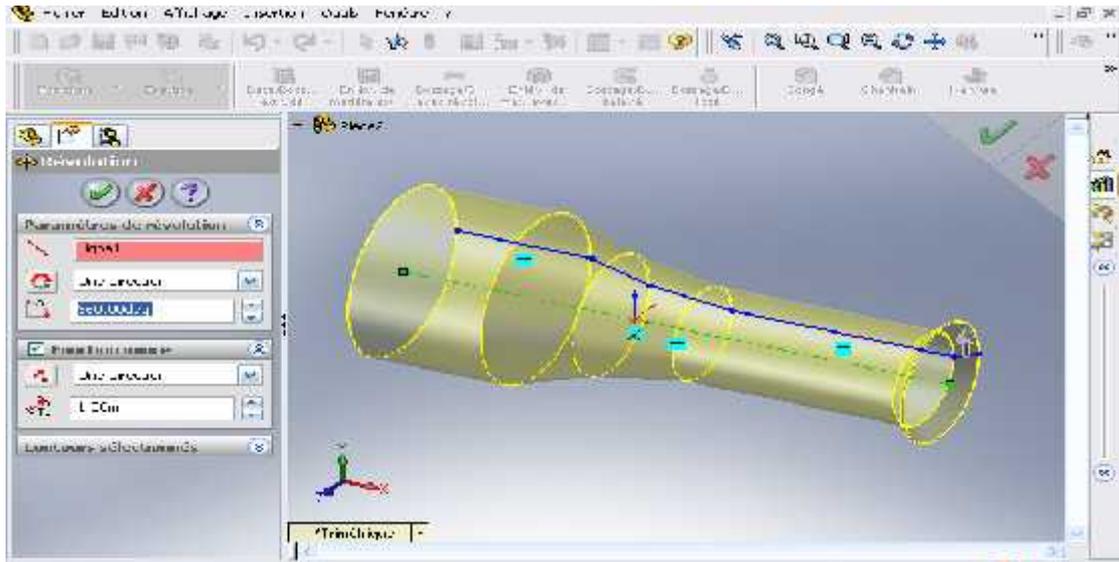


Fig. (3-9) photo de l'esquisse finit

14-Cliquez sur enregistrer  dans la barre d'outil standard, la piece est terminé et enregistré.

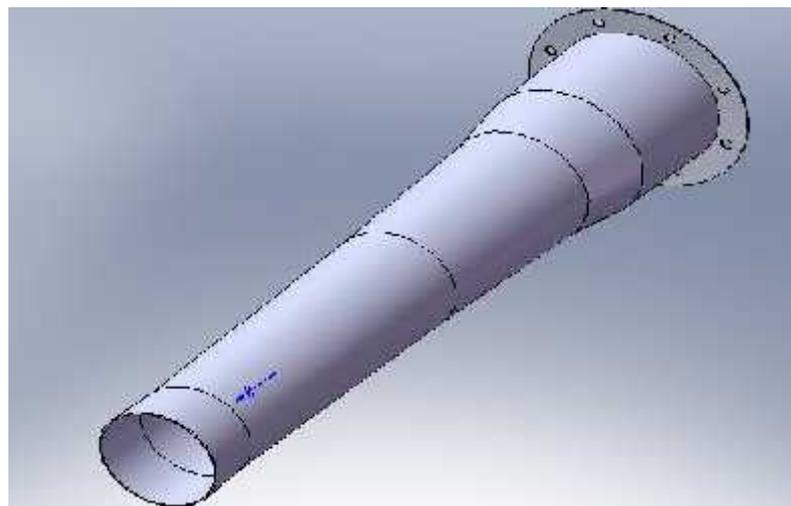


Fig. (3-10) Photo de la tuyère d'ejection finit.

Acvec les mêmes démarches suivi pour réalisé la tuyère on etabliront les autres pièces qui restent. alors voici les esquisse et leurs revolutions:

a) Le cone d'entrée d'air

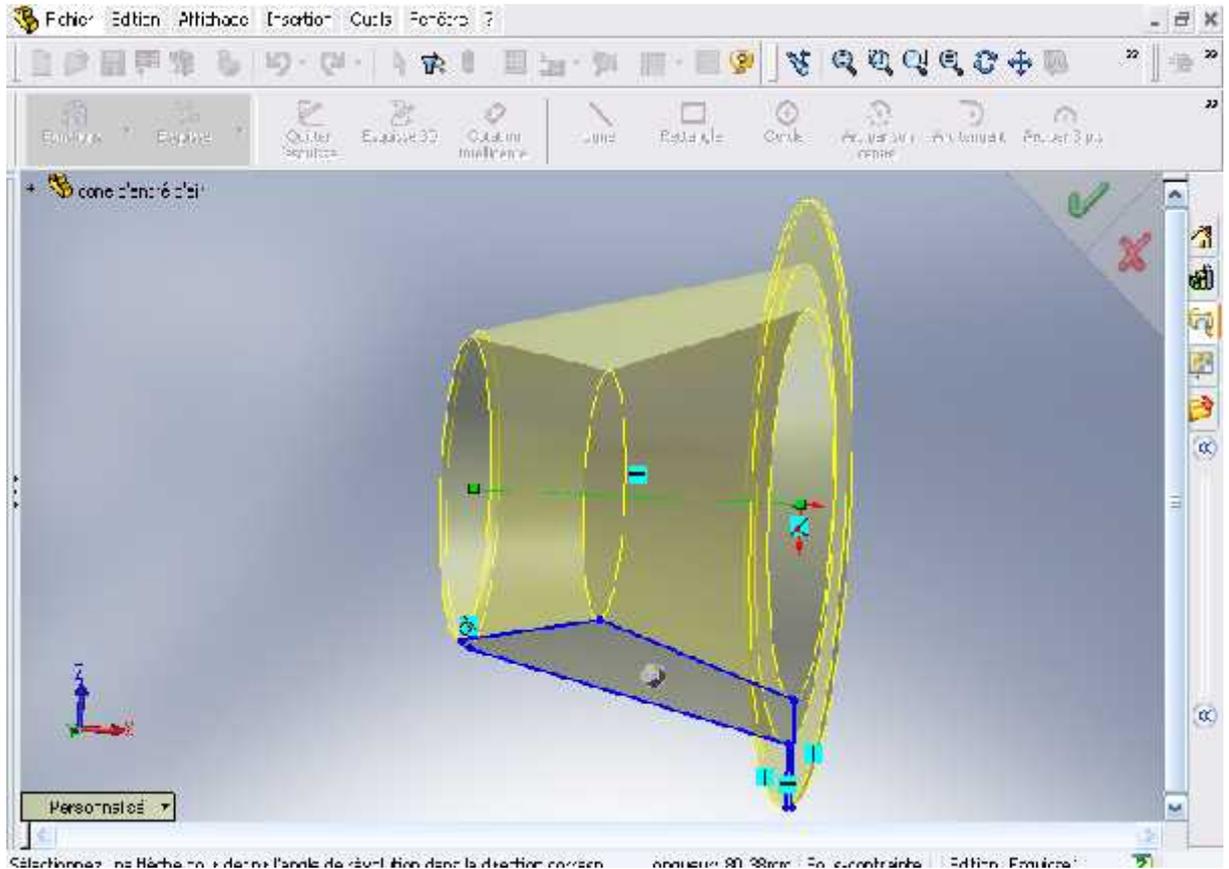


Fig.(3-11) L'esquisse de l'entrée d'air

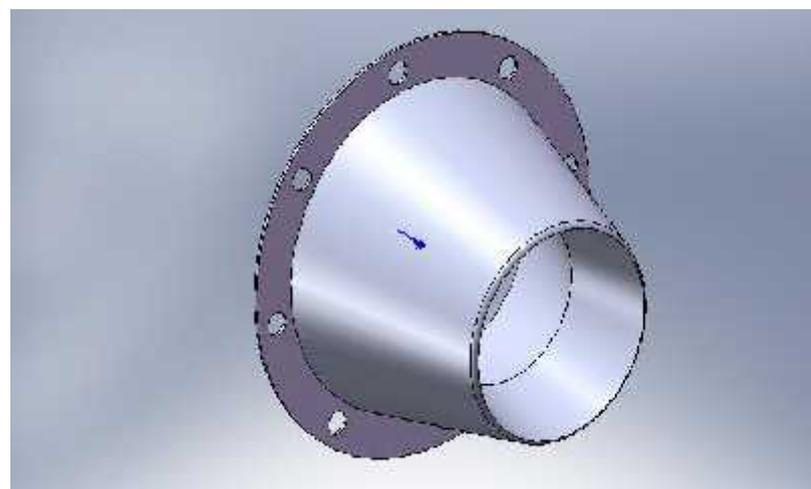


Fig.(3-12) l'entrée d'air

b) La bride des clapets

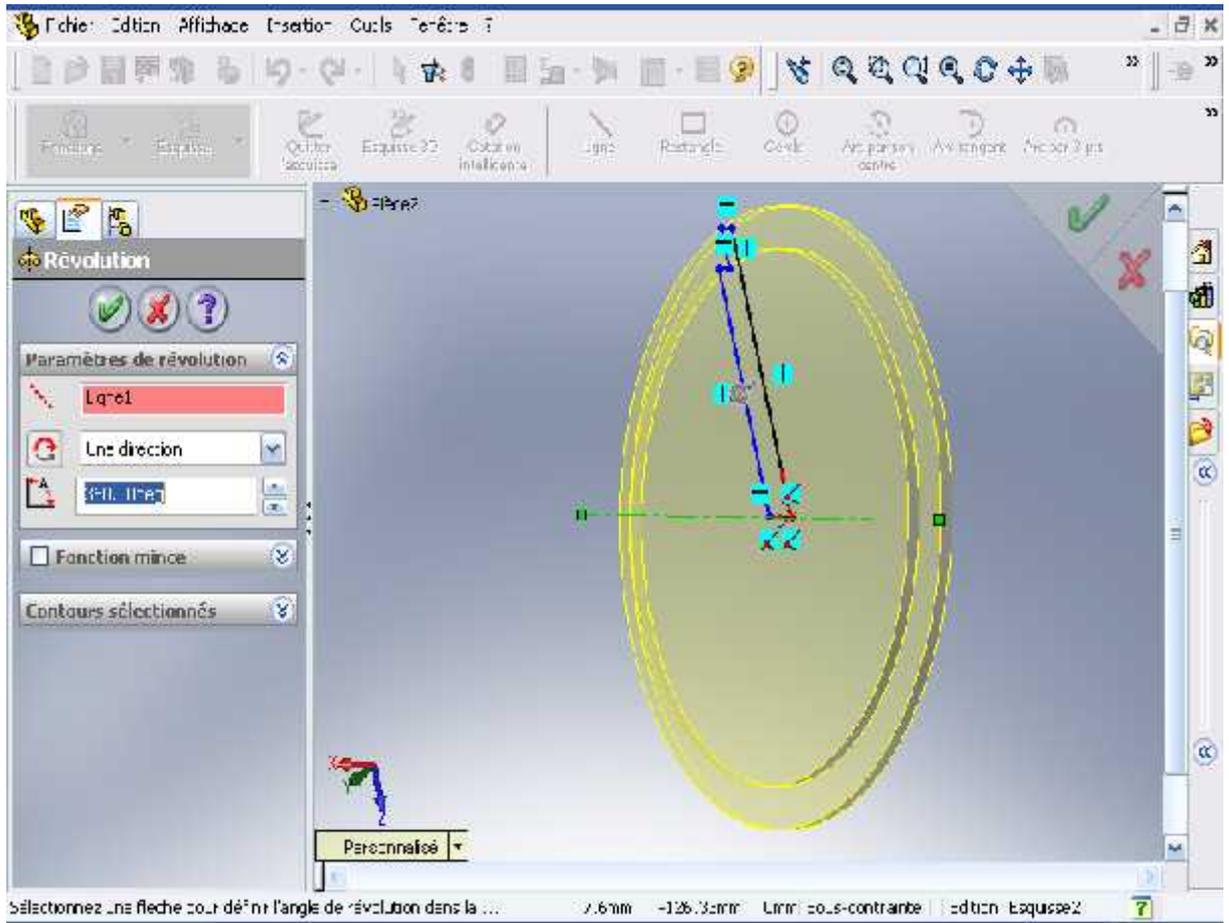


Fig.(3-13) esquisse de la bride des clapets

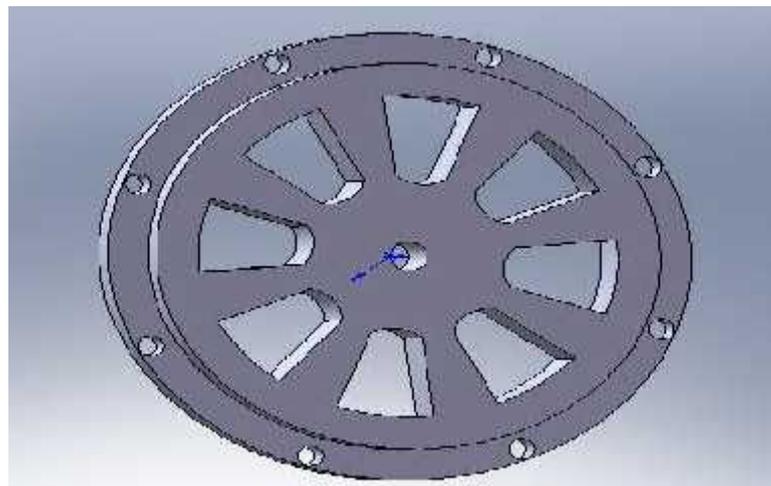


Fig.(3-14) La bride des clapets

c) La marguerite

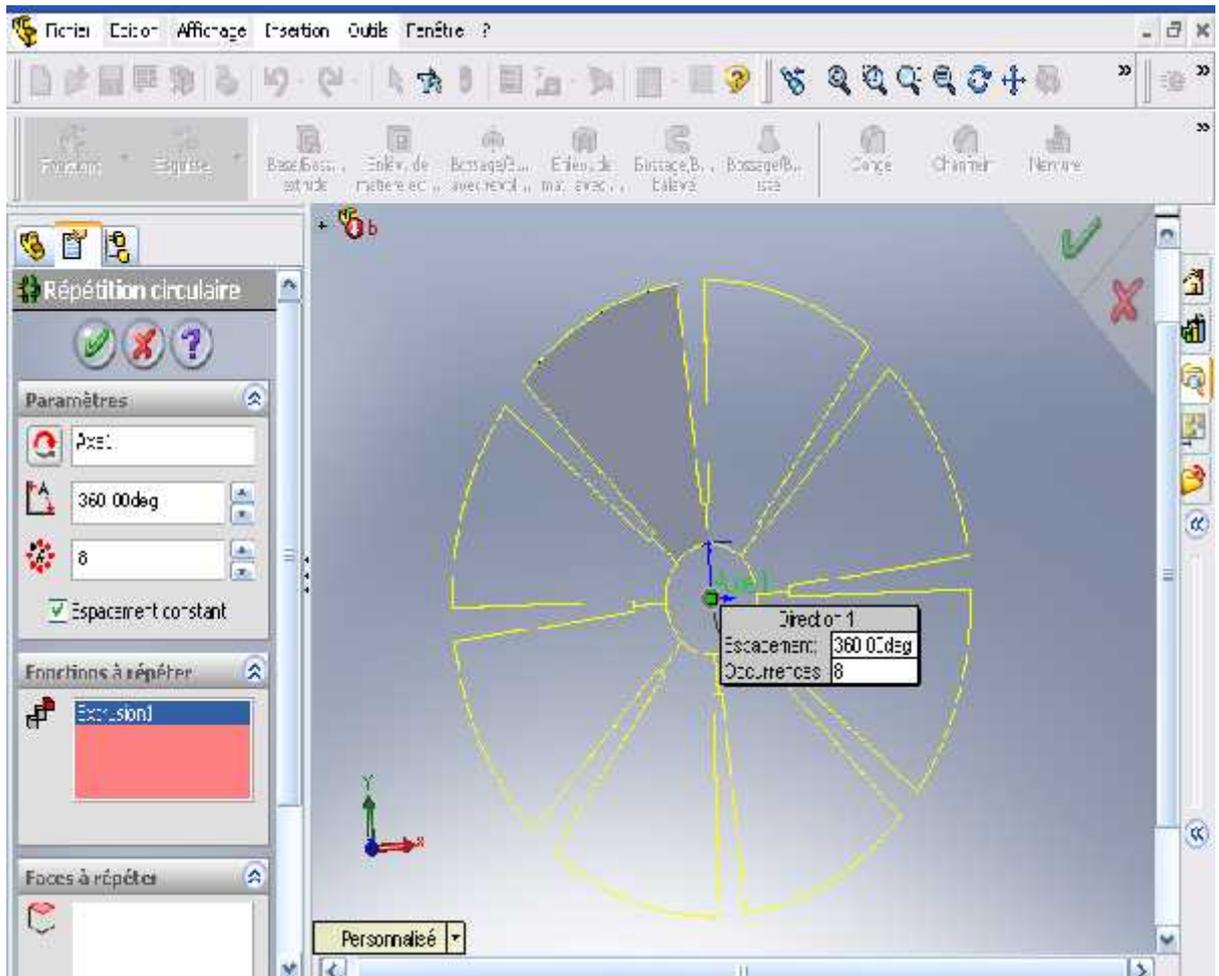


Fig. (3-15) l'esquisse de la marguerite

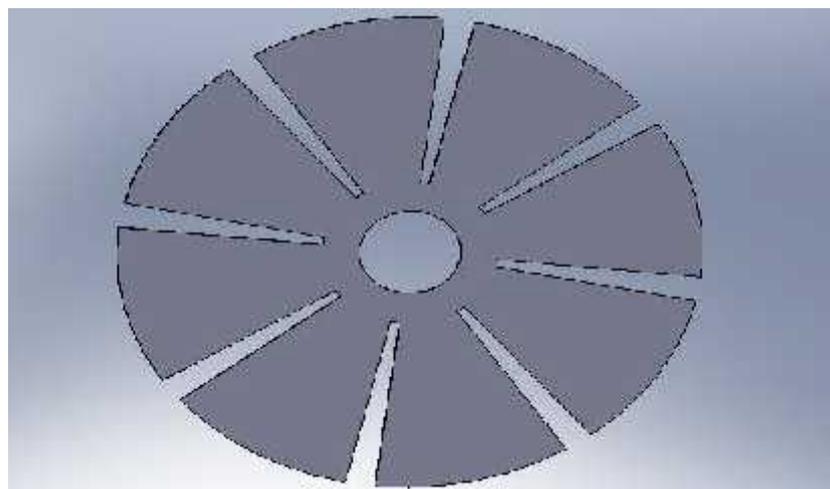


Fig. (3-16) la marguerite

d) La butée de la marguerite

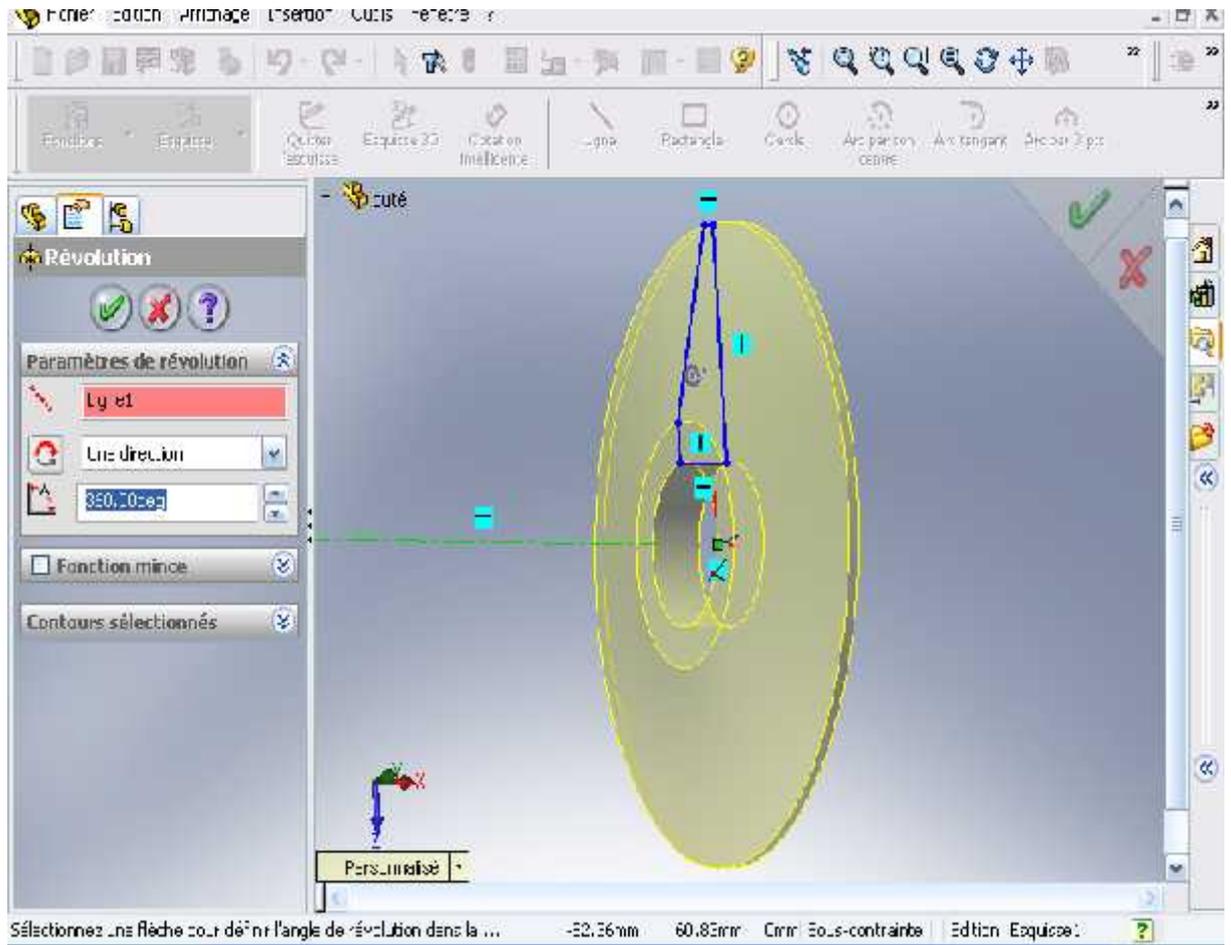


Fig. (3-17) l'esquisse de la butée

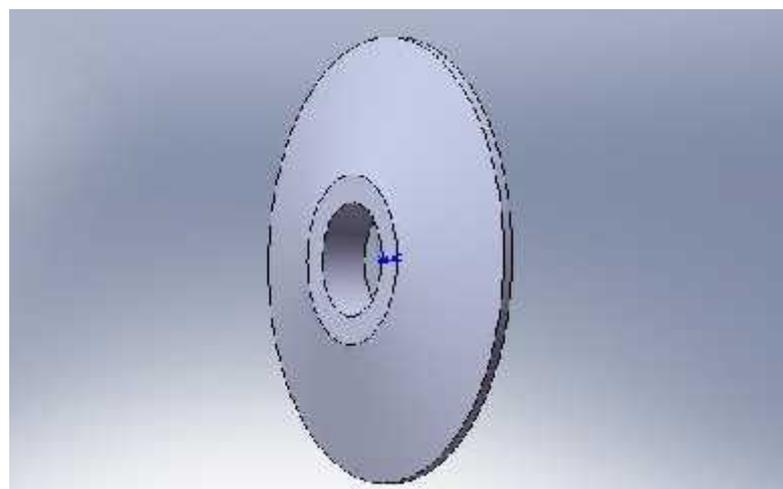


Fig. (3-18) la butée

e) Le redresser de l'écoulement

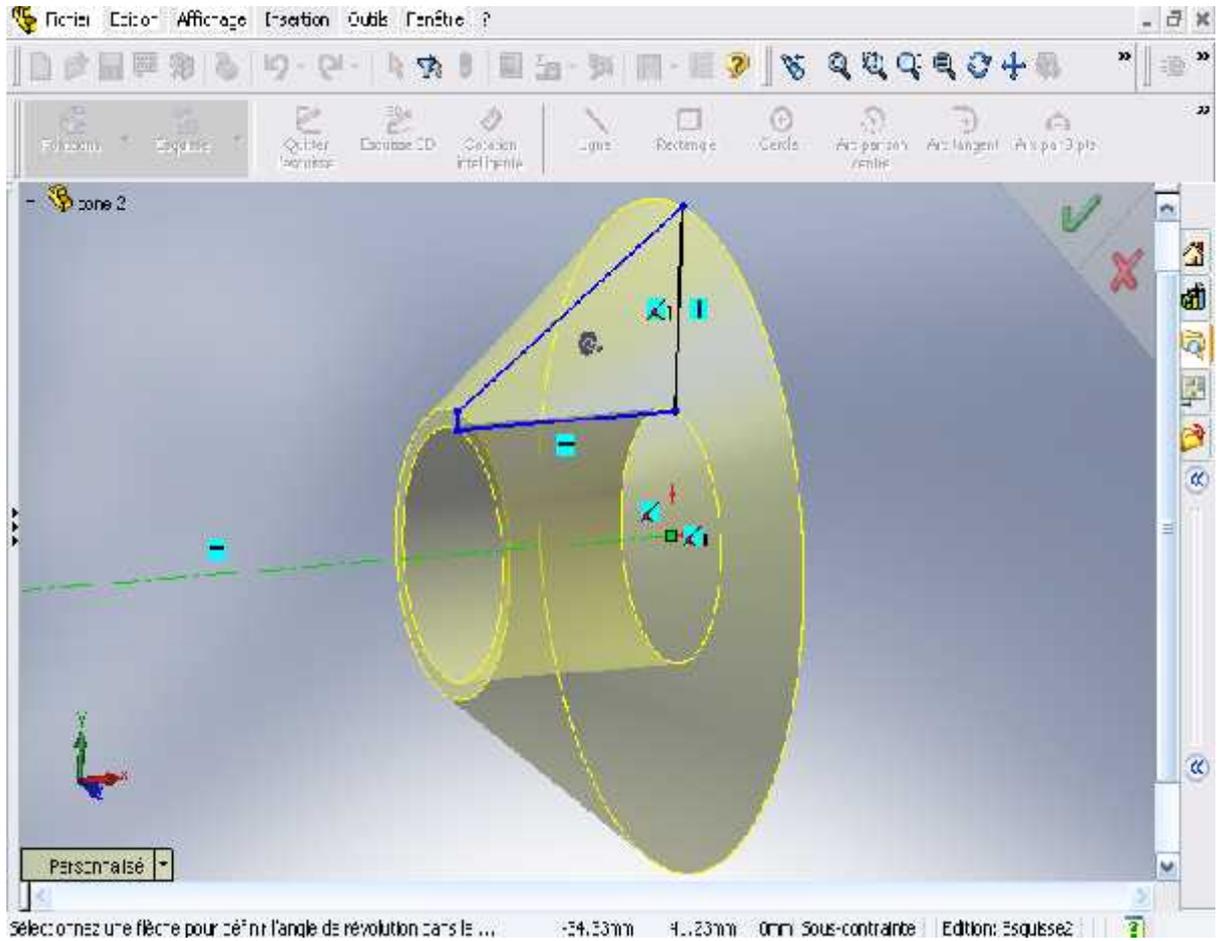


Fig. (3-19) L'esquisse de redresseur d'écoulement

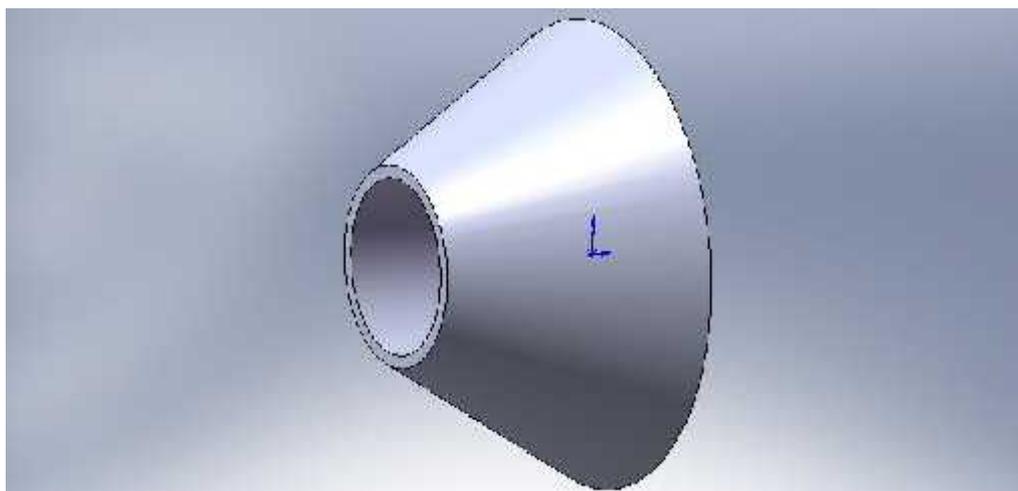


Fig. (3-20) le redresseur d'écoulement

f) La tige d'assemblage

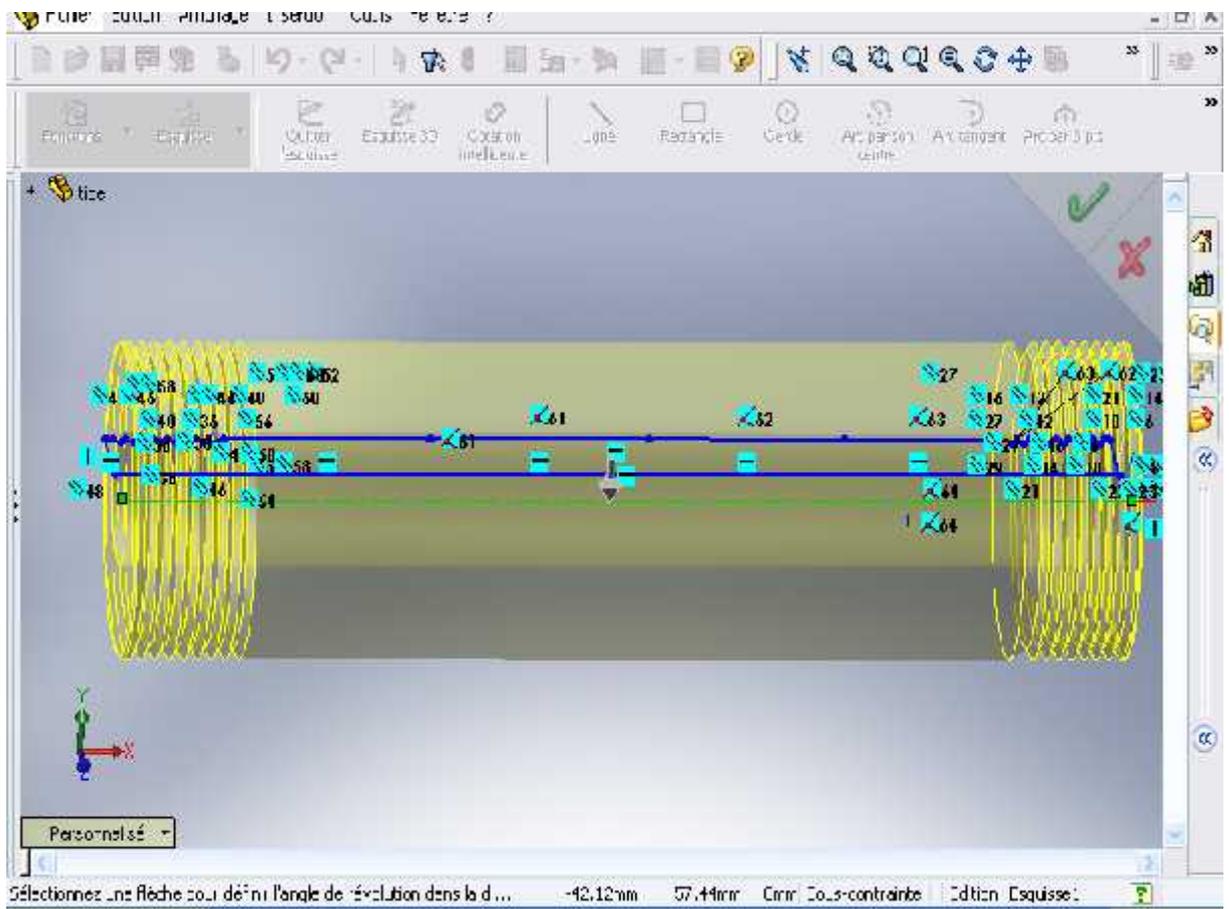


Fig. (3-21) L'esquisse de la tige d'assemblage

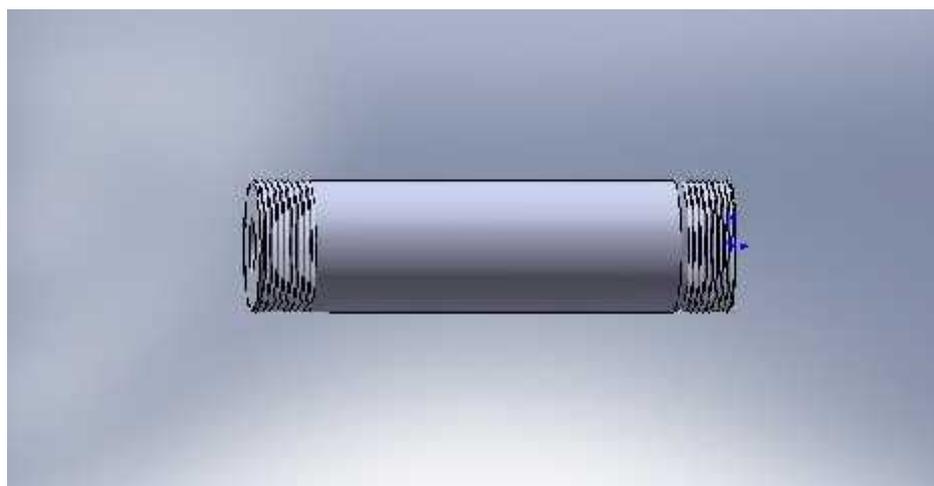


Fig. (3-22) la tige d'assemblage

g) La tige d'alimentation

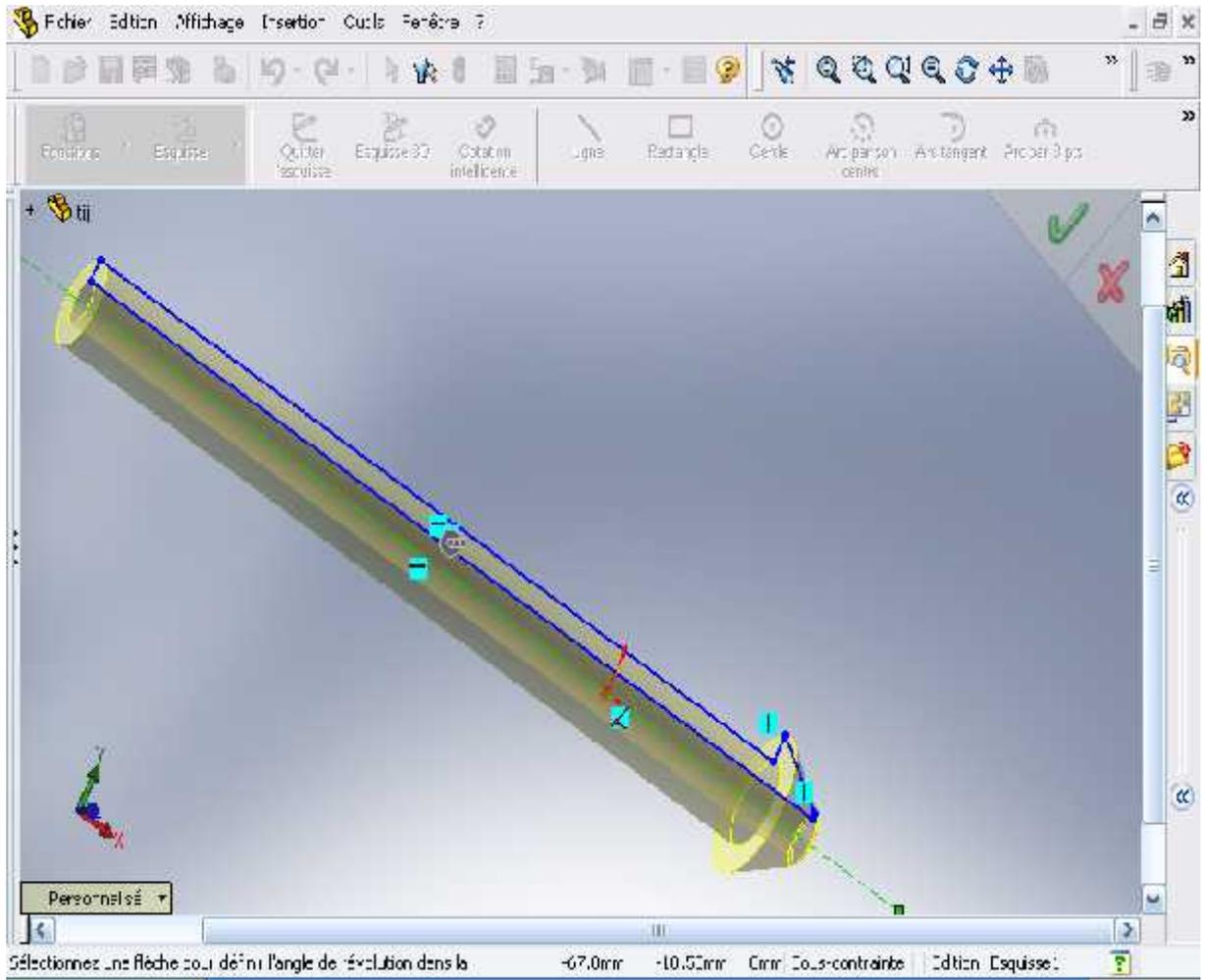


Fig. (3-23) l'esquisse de la tige d'alimentation

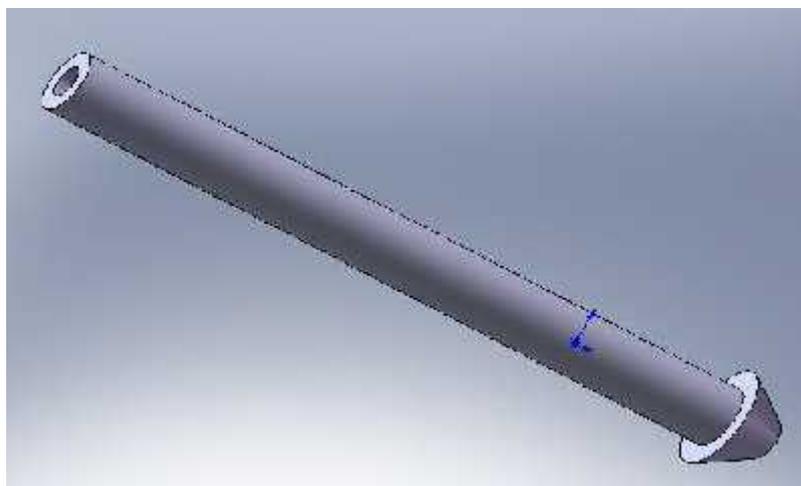


Fig. (3-24) la tige d'alimentation

h) Ecrou d'assemblage

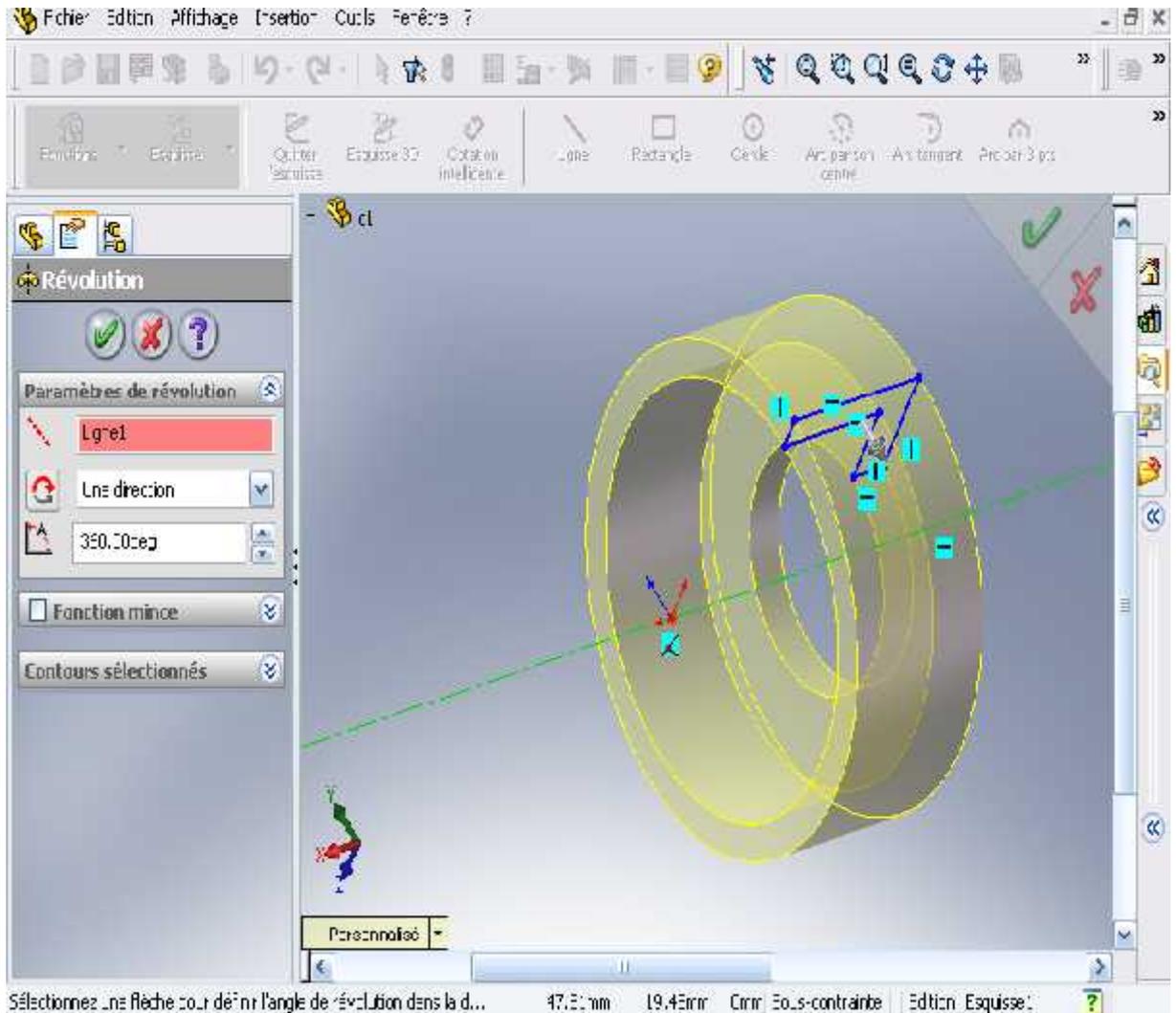


Fig. (3-25) L'esquisse de l'écrou d'assemblage de la tige d'alimentation

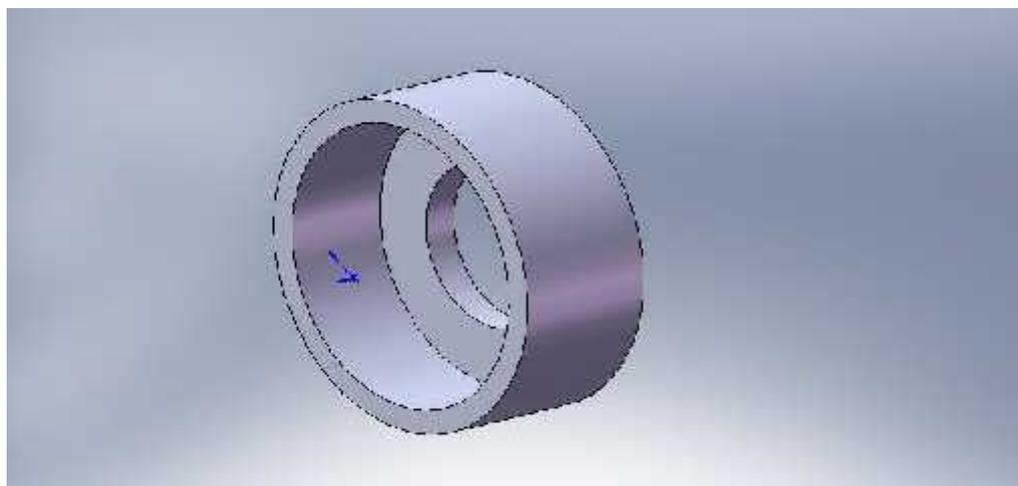


Fig. (3-26) l'écrou d'assemblage de la tige d'alimentation

i) L'injecteur de gaz

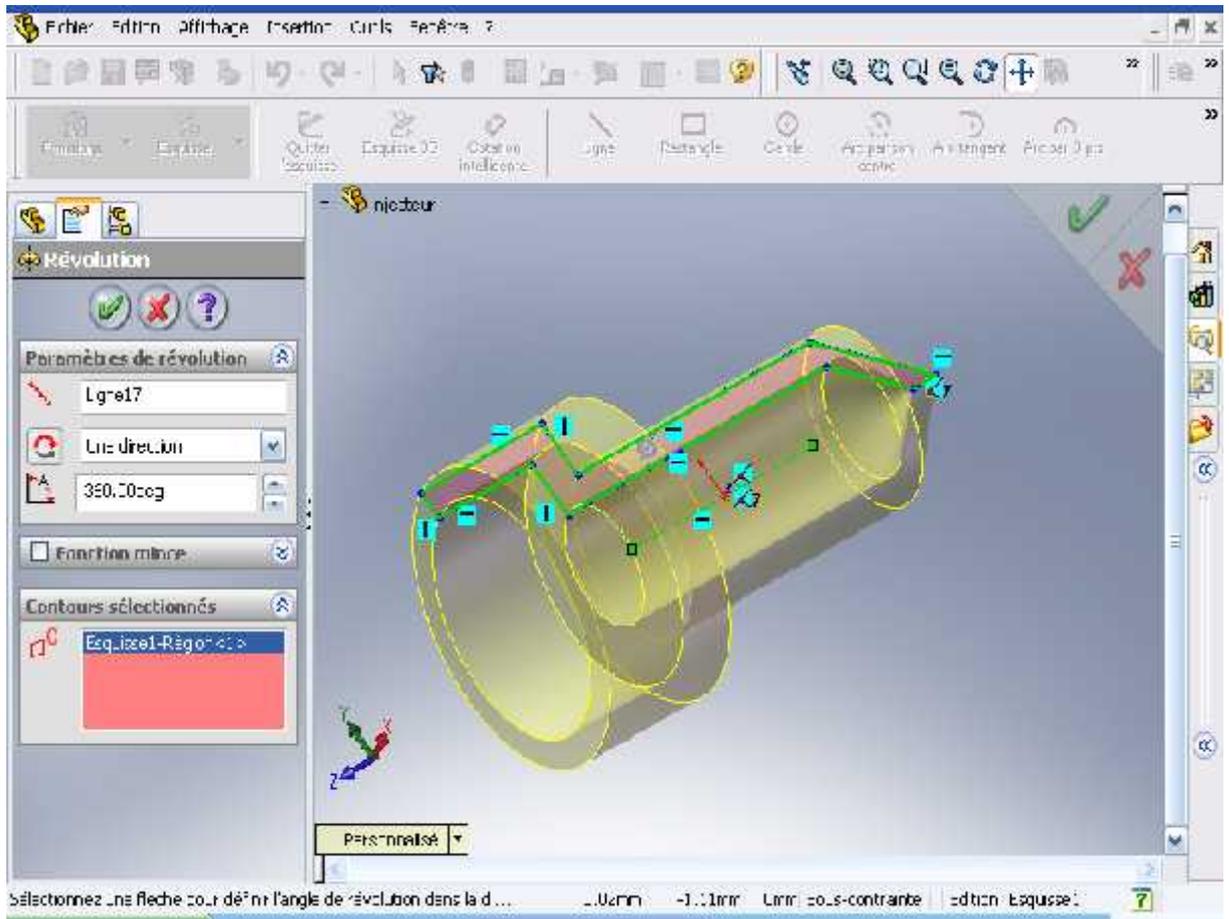


Fig. (3-27) l'esquisse de l'injecteur de gaz

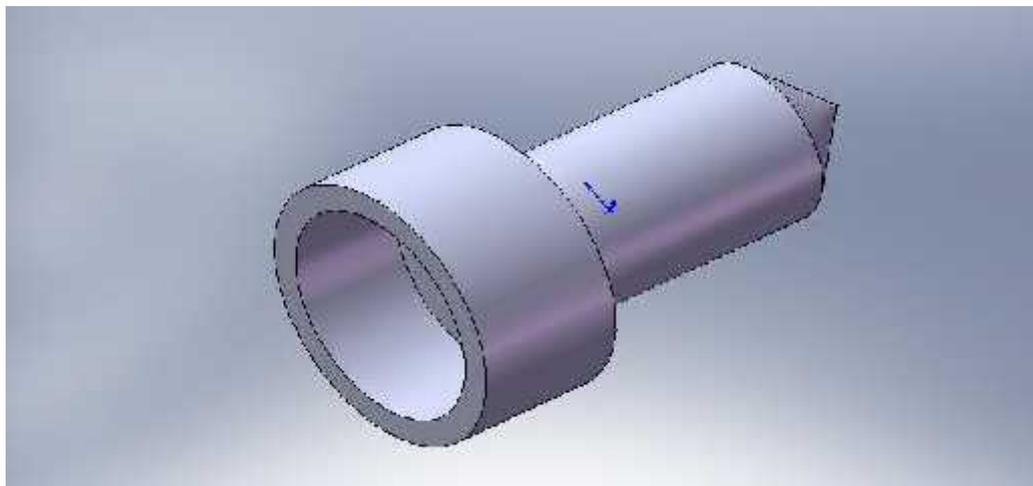


Fig. (3-28) L'injecteur de gaz

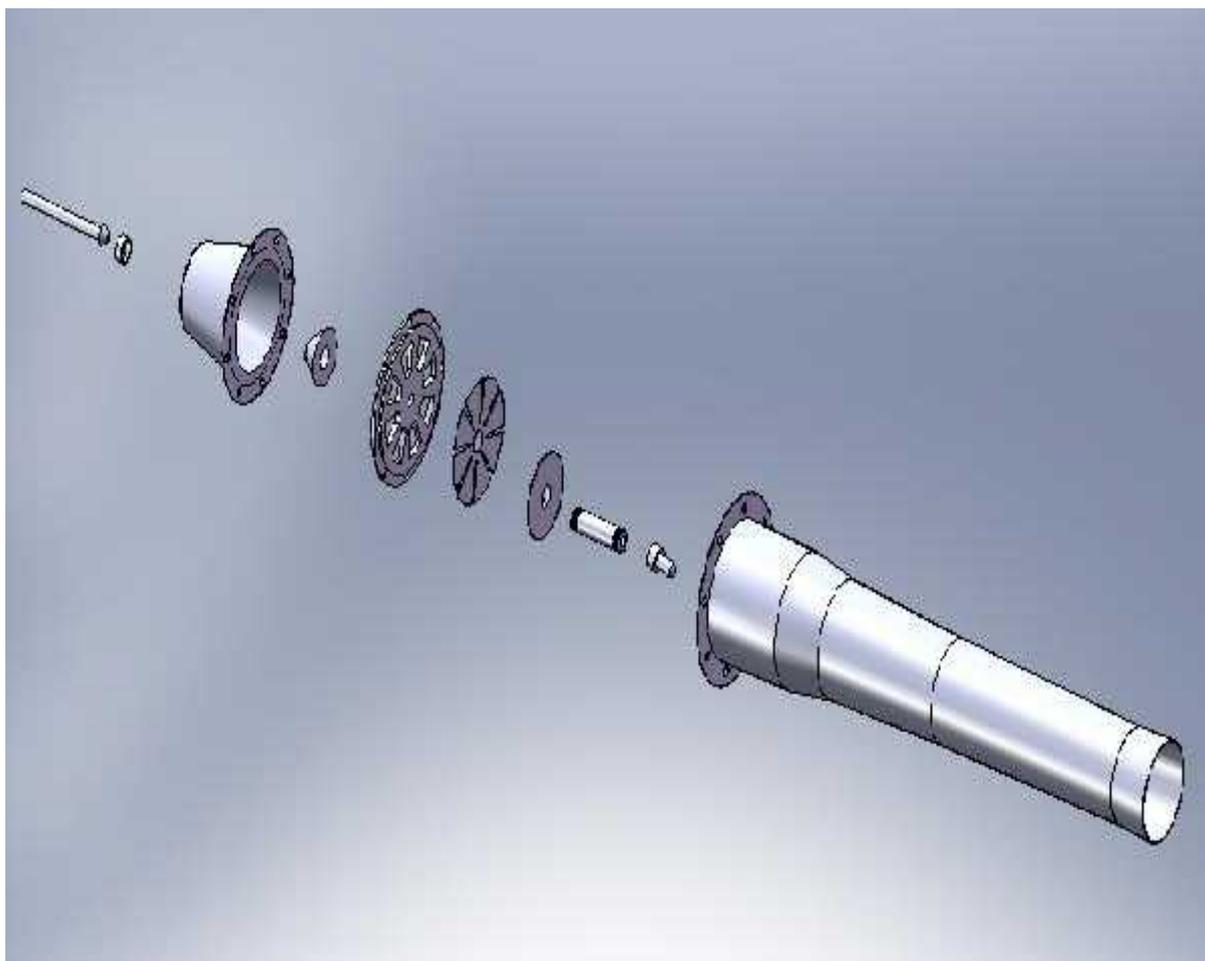


Fig. (3-29) Le schéma éclaté du pulsoréacteur

chapitre IV

travaux de fabrication & essai

1/ introduction

Notre projet consiste a la construction d'un moteur a réaction " pulsoréacteur " d'une poussée modérée a partir d'un plan existant.

Deux disciplines sont impliqués a savoir: La CAO/DAO, et la fabrication mécanique.

Le pulsoréacteur dont nous allons exposé les différentes phases de réalisation est prévue pour les applications a caractères didactique, ce qui implique une taille réduite et un métal réfractaire d'une importante résistance pour éviter tous risques.

Ce pulsoréacteur a construire a été conçu par l'ingénieur BRUCE SIMPSON en 1989 de l'équipe de concepteur Helmond et qui est mis a la disposition pour tout personne intéresser de découvrir ce type de moteurs a réaction historique.

2/Présentation de plan

Le plan de construction tell qui il est disponible a été télécharger d'un site internet sous un format DWG connu par le logiciel dessin assister par ordinateur AUTO-CAD.

Il présente une vue d'ensemble d'un moteur avec ces dimensions et le dessin de définition de chaque élément le constituant, comme indique ci-dessous.

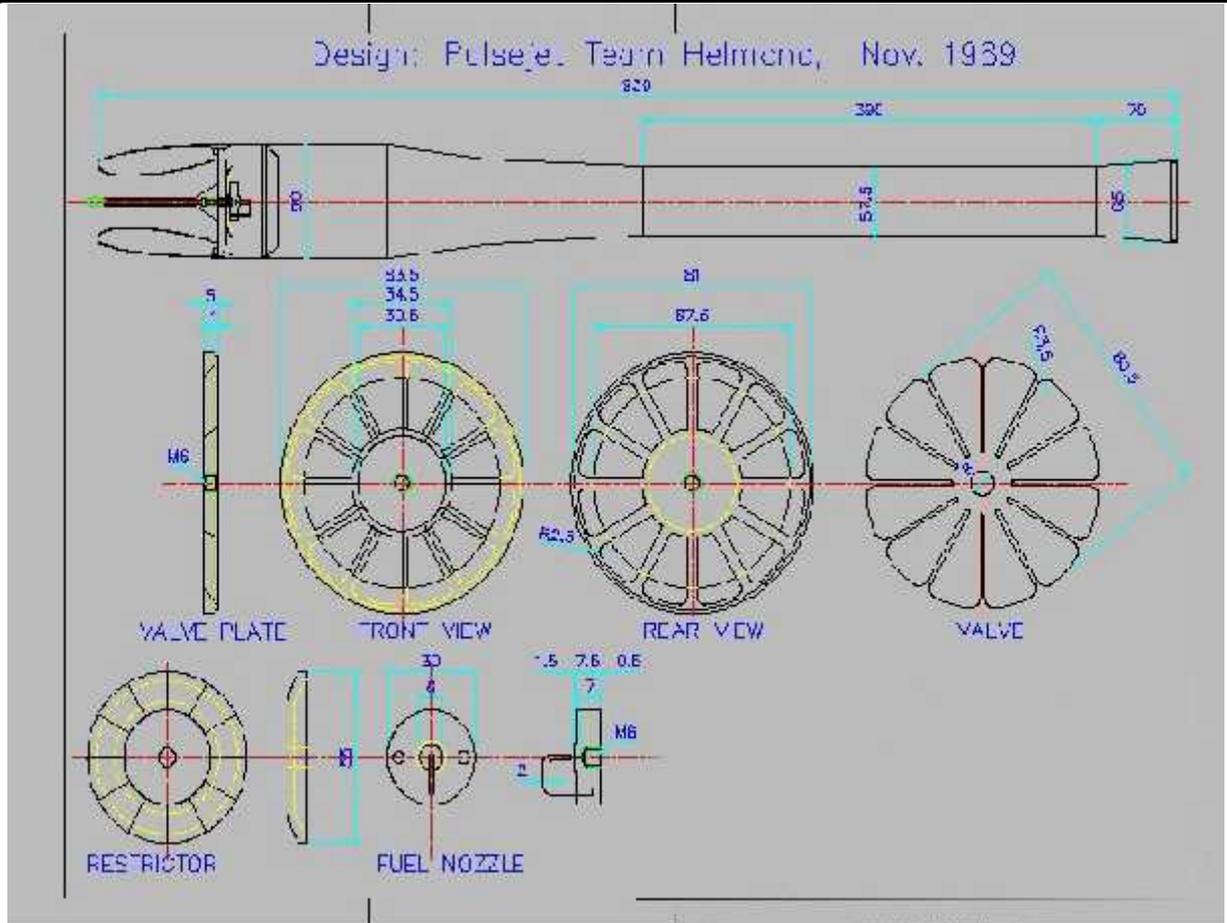


Fig. (4-1) plan de constructeur

On peut directement voir que ce moteur a les dimensions géométriques suivantes :

Longueur totale : 930 mm
 Diamètre max: 90 mm
 Diamètre min : 57.5 mm

Pour une première étape nous allons reprendre le plan sur un autre logiciel de CAO/DAO en 3D SOLID-WORKS pour faciliter la conception et l'assemblage des éléments.

3/La conception sur ordinateur

SOLID-WORKS est un modéleur 3D utilisant la **conception paramétrique**. Il génère trois types de fichiers relatifs à trois concepts de base qui sont : la pièce, l'assemblage et la mise en plan.

Ces fichiers sont en relation entre eux ce qui fait que toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

Des utilitaires orientés métiers tel que la tôlerie, bois, verrerie, Etc., ont été implantés dans l'architecture du logiciel pour le compléter et permettre de donner plus de flexibilité aux utilisateurs de disciplines variées.

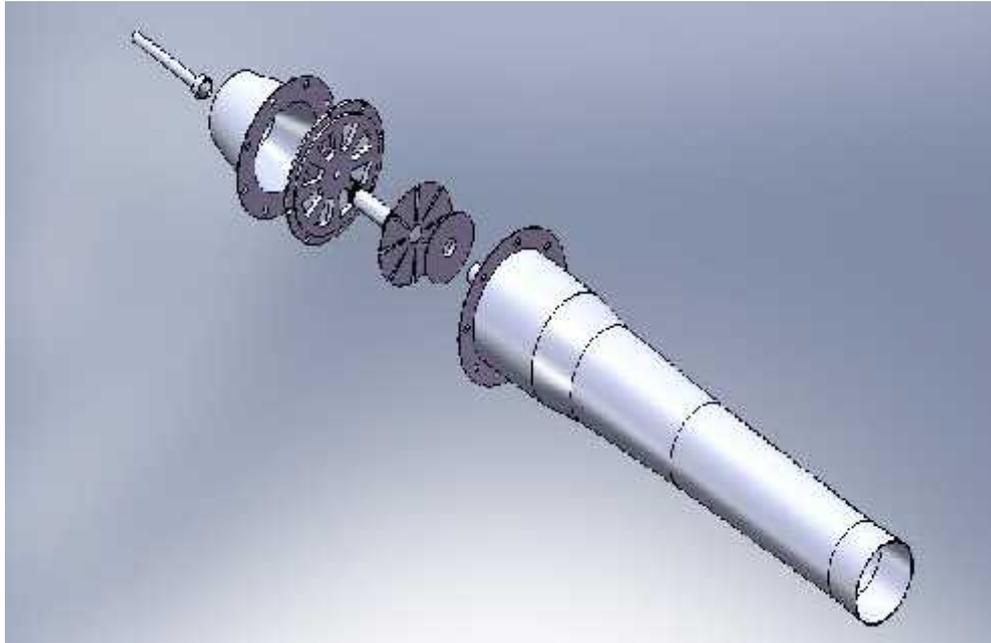


Fig. (4-2) plan recopié sur SOLID WORKS

La figure ci-dessus illustre le travail d'ensemble recopié sur SOLID-WORKS version 2007.

La conception a été réalisée en utilisant l'outil de tôlerie de SOLID-WORKS, le métal choisi est de l'acier inoxydable 304 ou le 308 ou bien 316 d'une épaisseur de sécurité de 2mm, suffisamment épaisse pour les limites de fonctionnement du moteur, c'est l'épaisseur utilisée pour ce type de construction.

4/Etapes de réalisation

Les travaux de réalisation suivis sont abordés dans ce qui suit selon le plan en partant en première avec des pièces de tôlerie à savoir la tuyère l'entrée d'air, la chambre de combustion et l'accroche flamme puis les brides d'assemblages, les clapets "marguerite" et ça buté et finalement l'injecteur de carburant.

4-1/ Travaux de tôlerie sur tube

On partant d'une tôle d'inox 308 nous avons exécuté le plan pour réaliser la chambre et la tuyère on a une seule pièce mécanique soudée, pour cela nous avons procédé en première par le calcul des dimensions des pièces afin de pouvoir déterminer leur développées, ces derniers nous permettent de réaliser le traçage sur tôles.

a) découpage des développées

Les développés calculés sont tracés sur la tôle inoxydable une à une. Pour faciliter la tâche nous avons tracé chaque développé sur des gabarits en carton dur puis rapporté chaque pièce sur la surface de la tôle. Le dessin de chaque gabarit est représenté ci-dessous.

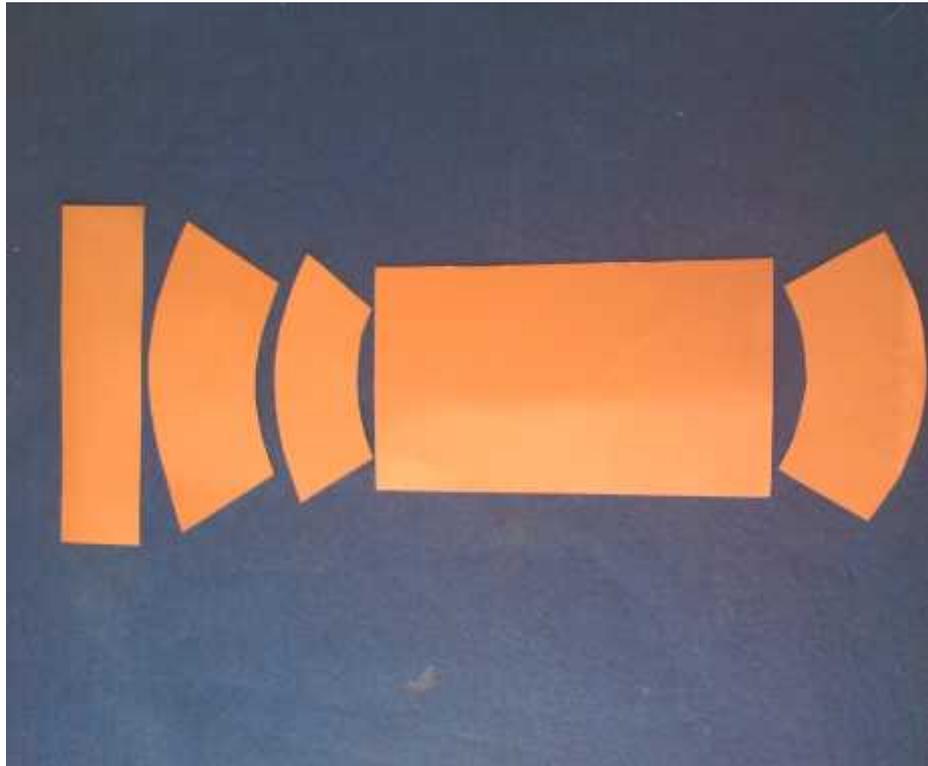


Fig. (4-3) Gabarits en carton

Après vérification l'opération de découpage est entreprise avec précaution à l'aide d'une tronçonneuse manuelle puis finie manuellement par une lime ou une meule

Les photos ci-dessous nous montre l'opération de découpage d'une pièce, qui représente un cône et son opération de finition manuel sur meule.



Fig. (4-4) découpage manuel

Cette opération a été répétée pour les différents tronçons réalisent la dite tuyère chambre de combustion sous sa forme développée qui la prépare pour l'opération de roulage.

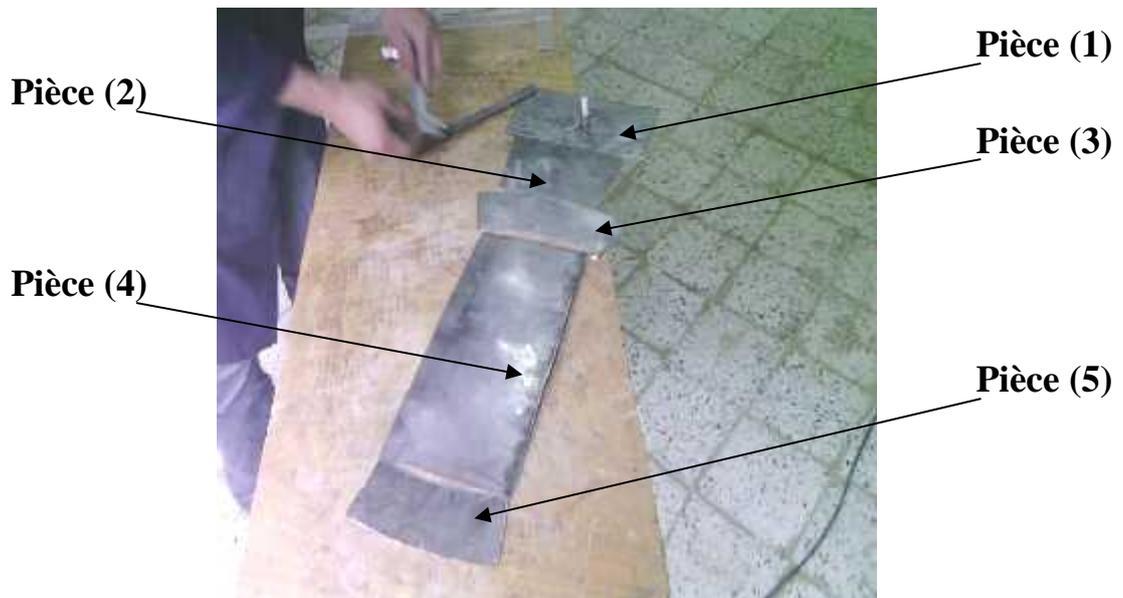


Fig. (4-5) ensemble des morceaux après le découpage

La photo précédente montre les cinq tronçons de pièce en tôle constituent le tube tuyère chambre de combustion, les coupes de métal seront façonnées respectivement en tubes et cônes par des opérations de tôlerie le roulage.

b) roulage des pièces

L'opération de roulage vient après le découpage, cette opération est réalisée par l'intermédiaire d'un outil connu sous le nom de rouleuse elle se compose de trois rouleaux qui font courber la feuille d'acier selon l'épaisseur est le rayon voulu.

La photo ci-dessous nous illustre un exemple de rouleuse manuelle, on constate qu'elle se compose de deux rouleaux un relié à une manivelle et l'autre mène la tôle sera introduite entre les deux rouleaux au brut puis en actionne la manivelle graduellement jusqu'à ce qu'une courbure s'affiche et forme le cylindre.



Fig. (4-6) Rouleuse manuelle

Vue l'incapacité de roulage de la machine disponible qui est limitée uniquement pour une épaisseur de 1 mm et une longueur de 600 mm de longs on a été contraints de revenir au travail manuel au marteau sur un corps cylindrique. Et travailler d'une manière artisanale pour réaliser le roulage selon la technique indiquée ci-dessous.

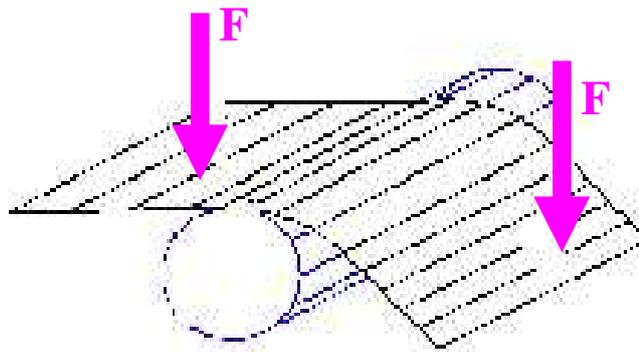


Fig. (4-7) le roulage manuel

Il faut commencer à courber la tôle brute sur le corps cylindrique proche du diamètre recherché petit à petit avec des coups de marteau répétés sur toute la longueur et faire avancer

La tôle de part en part jusqu'à obtenir une courbure prononcée à ce moment vient l'opération d'ajustage sur le diamètre désiré.

Les photos ci-dessous montrent les 5 pièces de tôle façonnées à la main, en suivant la technique présentée précédemment de gauche à droite les pièces de (1) à (5) représentent la chambre, le cône de raccordement convergent.

Pour la pièce (1) bien entendre une opération de perçage est à réaliser avant de rouler. Cette orifice est destiné à recevoir la dite bougie d'allumage de la chambre de combustion.



Fig. (4-8) pièce (1)



Fig. (4-9) pièce (2)



Fig. (4-10) pièce (3)



Fig. (4-11) pièce (4)



Fig. (4-12) pièce (5)

Quand aux pièces (2)-(3)-(5) ce sont des pièces coniques, alors sont difficile à rouler si on ne suit pas une certaine technique dans le processus de roulage.

Tandis que les pièces (1) et (4) se sont des cylindres simples à rouler.

Cependant pour toutes les pièces il faut bien faire attention à réaliser des cercles bien ronds et laisser un jeu afficher pour l'opération de soudage.

c) L'opération de soudage

Dans cette phase nous allons présenter l'étape de jonction des pièces de tôle découpées précédemment et roulé afin d'avoir un tube conique à section variable constituant (la chambre de combustion et le canal d'éjection "tuyère").

La technique de soudage adoptée est le TIG comme il a été indiqué dans le chapitre précédent que c'est une technique basée sur la fusion d'un métal d'apport sur la surface à souder avec la présence d'un gaz inerte réalisant la protection des surfaces de jonctions.

Alors cette méthode a été adoptée parce que elle est très étanche pour les aciers inoxydables minces, ce qui est nécessaire pour notre tube qui travaille dans des conditions de chaleur importantes.

Les photos ci-dessous nous montrent les différentes opérations de soudage des pièces une à une réalisées dans le centre de recherche de soudage à CHERAGA, l'atelier de soudage qui est équipé avec un poste à souder TIG.



Fig. (4-13) le soudage des pièces

L'opération menée a pris presque 20 h de travail, en totalité pour la soudure et l'assemblage qui est une opération délicate parce que il faut garantir une certaine coaxialité des pièces entre elles.

Pour garantir la jonction entre le tube et l'entrée d'air une bride d'assemblage est découpée percée puis soudé a l'entrée de la chambre de combustion.

4-2/ travaux de tôlerie sur l'entrée d'air

Similairement à ce que on a vue précédemment nous avons découpé les développés correspondant à l'entrée puis on a procédé à l'opération de soudage.

Le cône d'entrer en effet à une forme géométrique convergente divergente de l'entrer à la sortie partie couvercle de la chambre tuyère.

La réalisation comprend la découpe des tronçons **corriger** directement leur jonction au soudage TIG, leur finition est enfin une enveloppe extérieur est réaliser pour donner une forme conique de l'entrée a la sortie.

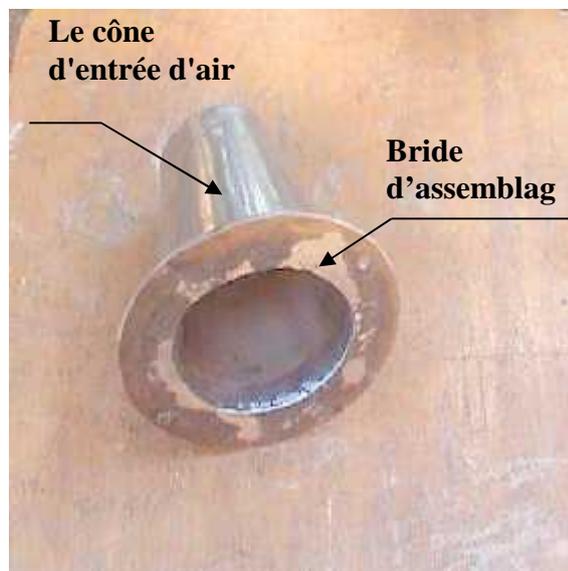


Fig. (4-14) cône d'entrée d'air finit

La photo ci-dessus nous montre l'entrée d'air finis avec sa bride d'assemblage façonner d'un manière a réalisé la jonction avec la chambre et la bride des clapets d'ouverture fermeture.

4-3/ La réalisation de l'accroche flamme

L'accroche flamme utilisé est en forme d'une grille son rôle consiste a créer une zone de régulation et permettent ainsi de générer des turbulences assurant a la flamme une continuité.

Dans le cas d'absence de l'accroche flamme le mélange sera brûlé plus loin et la flamme sera soufflée vers l'extérieure de la tuyère.

Il est fait à partir d'une tige d'inox coupée en 9 morceaux qui sont soudés similairement au tuyère c'est-à-dire avec le TIG.



Fig. (4-15) accroche flamme

4-4/ Bride des clapets

La bride des clapets est une pièce qui est inter collée entre l'entrée d'air et la chambre recevant l'ensemble des ouvertures qui communique entre la chambre et l'entrée d'air, et recevant à leur tour la marguerite d'obturation. La réalisation de cette pièce commence par une opération de découpage sur une tôle de 10 mm d'épaisseur en forme d'un disque. Voir figure (4-16)



Fig. (4-16) bride des clapets avant usinage.

Avant de tracer l'emplacement des trous d'entrée d'air on fait un perçage au centre de la pièce avec un diamètre de 14 mm qui va recevoir plus tard l'injecteur, pour avoir le centre de la pièce.

Ensuite On trace les emplacements des trous d'entrée d'air et on débute les trous avec trois perçages pour faciliter l'opération. À l'aide d'une lime de fer on peut finir les trous percés pour arriver enfin à une forme de la valve d'obturation.



Fig. (4-17) bride des clapets au court d'usinage

Puis une série d'opération d'usinage sur un tour universelle nous permet de finalisé la pièce avec l'ensemble des orifices en première une opération de chariotage avec un outil a charioter qui a pour but d'attendre un diamètre égale a celui de la chambre de combustion et obtenir une forme bien arrondi.



Fig. (4-18) finition de la bride

L'opération de chariotage terminée, est suivit par une opération d'alésage qui nous permet d'avoir un alésage qui contiendra les trous d'entrer d'air.

Pour obtenir l'alésage voulu, un outil à aléser est fixé sur la porte outil, le tour tourne une vitesse de 1400 tr/min. L'outil est approché du centre du disque, puis enfoncé dans le disque jusqu'à atteindre l'épaisseur de 7mm.

Après avoir atteint la profondeur voulue, l'outil dirigé vers l'extérieur du disque jusqu'à atteindre le diamètre exacte de 90mm afin que la bride des clapets rentre avec serrage dans la tuyère.



Fig. (4-19) la bride des clapets finit.

4-5/ Fabrication des valves 'marguerite'

Puisque les valves sont le coeur du pulsoréacteur, alors elles sont très importantes et il faut qu'elles soient bien faites avec les bons matériaux correspondants,

En général la plupart des valves sont faites à partir d'un acier ressort entre de 0.3 et 0.5 mm d'épaisseurs, ce métal est difficile a trouvé sur le marché local. De notre part on a essayé un métal qui est utilisé pour les raclettes d'enduit utiliser dans la peinture.

Comme astuce il faut utiliser un métal qui a une bonne élasticité, la photo ci-dessous nous montre le traçage de pétale de marguerite sur le métal qui est préparer pour la découpe.



Fig. (4-20) traçage de la marguerite sur la tôle

Pour bien entamer la pièce il faut procéder avant au perçage centrale de 14 mm et dans chaque fin de pétale un orifice de 2 mm de diamètre pour limiter la coupe.



Fig. (4-21) découpe des pétales

La découpe des pétales est fait à l'aide d'un outil de coup appelé turbine qui est un outil pneumatique portant un disque scie circulaire et qui tourne à grande vitesse par l'intermédiaire d'une turbine actionner par l'air comme montre sur la figure ci-dessus.

L'utilisation de valve "marguerite" donne une bonne stabilité de fonctionnement mais exige une bonne pratique c'est la raison pour la qu'elle on a construit trois exemples de valves dans le département mécanique d' AIR ALGERIE.



Fig. (4-22) la marguerite finit

La valve est la clé essentiel pour le fonctionnement de moteur, c'est grâce a elle que le moteur réalise sont fonctionnement pulsatoire.

Pour garantir une flexibilité de contrôle de la valve une buté doit être introduite granitisant la limite de l'écartement.

Maintenant que la valve est finit on procède a la fabrication dela buté de la valve.

4-6/ La buté de la valve

La buté de la valves est un élément qui a pour rôle de fixer la valve sur la bride et l'empêcher de bouger ainsi qu'elle limite l'écartement des pétales pendant l'ouverture et la fermeture due a la combustion et la détente des gaz

Pour réaliser cette pièces on a besoin d'un métal réfractaire parce qu'elle travaille dans des conditions de chaleur très importantes c'est pour quoi on utilise de l'inox comme métal brut.

Un cylindre de 60 mm de diamètre sera fixé au mandrin et subira une opération de chariotage avec un outil à charioter.

Cette opération a pour but d'atteindre un diamètre égal a 55mm pour cela le tour sera réglé sur la vitesse de 1400 tr/min, l'avance de l'outil à charioter doit être lente, pour atteindre un bon état de surface nous augmentons la vitesse du tours à 2800tr/min et nous ré-effectuons un dernier chariotage. L'opération de chariotage terminée, suit l'opération dressage.



Fig. (4-23). Opération de chariotage

Pour obtenir le dressage voulu, un outil à dresser est fixé sur la porte outil, le tour tourne à la vitesse de 1400 tr/min et on fait le dressage jusque a une longueur de 15 mm.

Après c'est deux opérations on va exécuter un chariotage conique pour que les surfaces des pétales de la valve épouse la buté sans aucun obstacle, en tourne le porte outil avec un angle de 20 ° et on réalise le chariotage conique.



Fig. (4-24) opération de chariotage conique

Après avoir fait le chariotage conique on procède au tronçonnage de la pièce qui consiste à placer un outil de tronçonnage sur le porte outil on commence l'opération avec la tangente et on relise l'opération de tronçonnage progressivement enfonçant l'outil avec 0.5 mm chaque fois avec l'inclusion de la lubrification à cause des fortes contraintes radiales dues au tronçonnage.



Fig. (4-25) tronçonnage de la pièce

4-7/ Le redresseur d'écoulement

En effet ce redresseur est un petit cône son rôle consiste à garder la continuité de l'écoulement d'air qui traverse l'entrée d'air (le cône d'entrée d'air) car sans ce cône l'air reçoit une surface plane munie de 8 trous sur la circonférence qui est la bride des clapets alors ce petit cône dirige l'écoulement d'air jusque à ces trous d'admissions.



Fig. (4-26) usinage de redresseur



Fig. (4-27) redresseur finit

Il est réalisé à partir d'une barre de fer de diamètre 25 mm usiné sur le tour, la barre est fixée sur le mandrin l'outil de chariotage est placé sur le porte outil qui est décalé avec un angle de 30° et on réalise un chariotage conique sur une longueur de mm jusqu'à obtenir un grand diamètre 24mm et un petit diamètre 15 mm, finalement une opération de tronçonnage est effectuée pour terminer la tâche.

4-8/ La réalisation de l'injecteur

L'injecteur est une simple tige en aluminium allié de diamètre 6mm et 30mm de longueur muni d'un écrou pour l'assembler avec la tige d'assemblage, son rôle est d'injecter le carburant dans la chambre de combustion.

Pour la réalisation de l'injecteur on a effectué au tour de son périmètre des trous qui sont du nombre de 8 trous d'1mm de diamètre à l'aide d'une perceuse manuel équipé par un foré de 1 mm de diamètre.

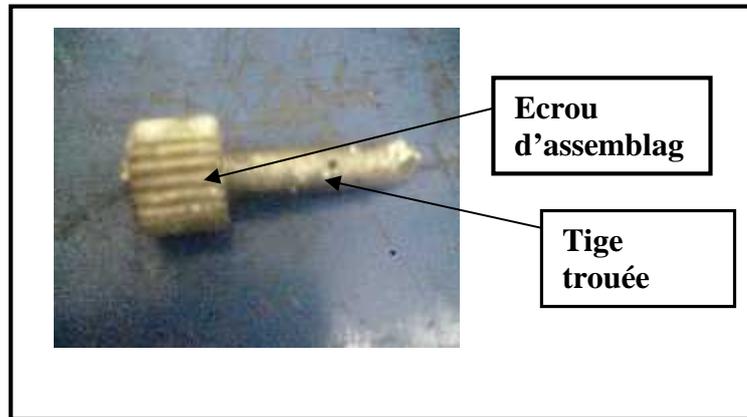


Fig. (4-28) l'injecteur de gaz

Cette disposition permet de donner une uniformité de jet de gaz verticalement à l'axe central et tout a fait près des clapets pour garantir un mélange air/carburant.

4-9/ La tige d'alimentation

C'est un tube de longueur 150 mm et de diamètre 6 mm en aluminium muni d'un écrou d'assemblage de diamètre 14 mm pour lui assembler avec la tige d'assemblage il traverse le cône d'entre d'air son rôle est de faire alimenté le moteur avec du carburant.



Fig. (4-29) la tige d'admission

4-10/ La tige d'assemblage

La tige d'assemblage est un arbre creux fileté de deux côté un coté reçoit l'injecteur et l'autre coté reçoit la tige d'alimentation.

Son rôle consiste à faire passer le carburant venant de la tige d'alimentation vers l'injecteur de carburant ainsi qu'elle assure l'assemblage des pièces à savoir que :

La marguerite, la butée l'injecteur, la bride des valves et le redresseur de l'écoulement



Fig. (4-30) la tige d'assemblage

Après terminer la réalisation de toutes les pièces constituant le pulsoréacteur on passe à l'assemblage.

La figure ci-dessous illustre l'ensemble des pièces usinées qui sont finies et prêts à être assemblés.



Fig. (4-31) ensemble des pièces finies

4-11/ L'assemblage de moteur

Afin de terminer la réalisation de toutes les pièces qui constituent le pulsoréacteur l'opération d'assemblage contient les étapes suivantes:

- 1- Au début on fait visser l'injecteur de carburant avec la tige d'assemblage.

2- De l'autre côté en fait glissé a travers la tige d'assemblage : la buté des clapets, la marguerite, la brides des clapets et le redresseur d'écoulement.

3- le serrage de l'ensemble des pièces précédentes avec la tige d'alimentation a l'aide de son écrou.

4- mètre l'ensemble dans la tuyère afin d'inter poser un joint d'amiante entre la tuyère et la bride pour l'étanchéité du moteur et assuré que les trous des brides sont aligné et que les trous d'entré d'air sont obturés par les pétales de la valves "marguerite".



Fig. (4-32) le joint d'amiante

5- on fait le placement du cône d'entré d'air qui enveloppe la bride des valves avec l'interposition d'un autre joint d'amiante.

6- a l'aide des visses avec leurs écrous d'assemblage en fait le serrage de toutes les pièces assemblés.



Fig. (4-33) moteur avant l'assemblage



Fig. (4-34) moteur assemblé

Afin d'assembler le pulsoréacteur et qu'il soit prêt a l'employer on lui installe sur un banc d'essai d'une chambre de combustion fait déjà par des autres étudiants, en a fait le choix de ce banc d'essai car il contient le dispositif d'allumage.

5/ Le banc d'essai

Le banc d'essai se compose essentiellement de deux parties distinctes qui sont le socle, et le ventilateur, le socle servira de support pour le moteur « pulsoréacteur » et le ventilateur permet le soufflage de l'air pour actionner le moteur.

a) le ventilateur

Le ventilateur est de type centrifuge a pale inclinée vers l'arrière et de moyen puissance, il porte la marque et le numéro de série suivant:

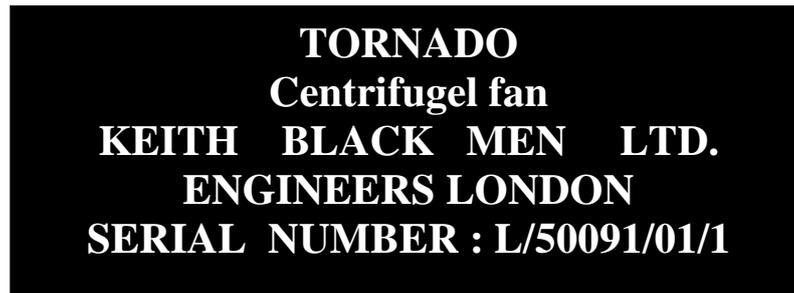


Fig. (4-35) identification du ventilateur.

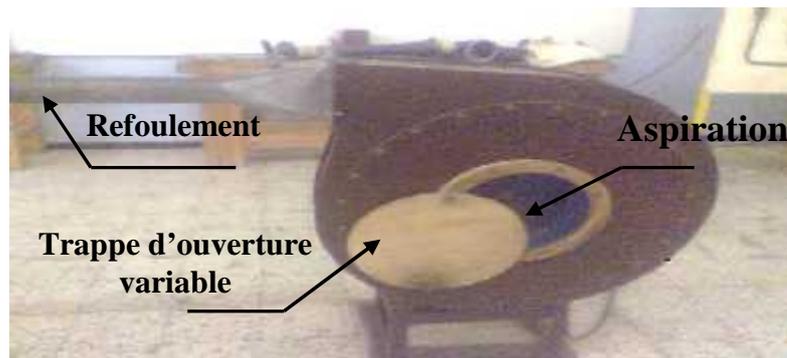


Fig. (4-36) le ventilateur.

Le ventilateur est entraîné par un moteur électrique très puissant donc voici ces caractéristiques et ces performances :



Fig. (4-37) identification du moteur électrique

b) Le socle

Le socle devrait contenir les éléments suivants :

- le pulsoréacteur
- le circuit d'alimentation en carburant (gaz de butane).
- Le circuit d'allumage électrique.

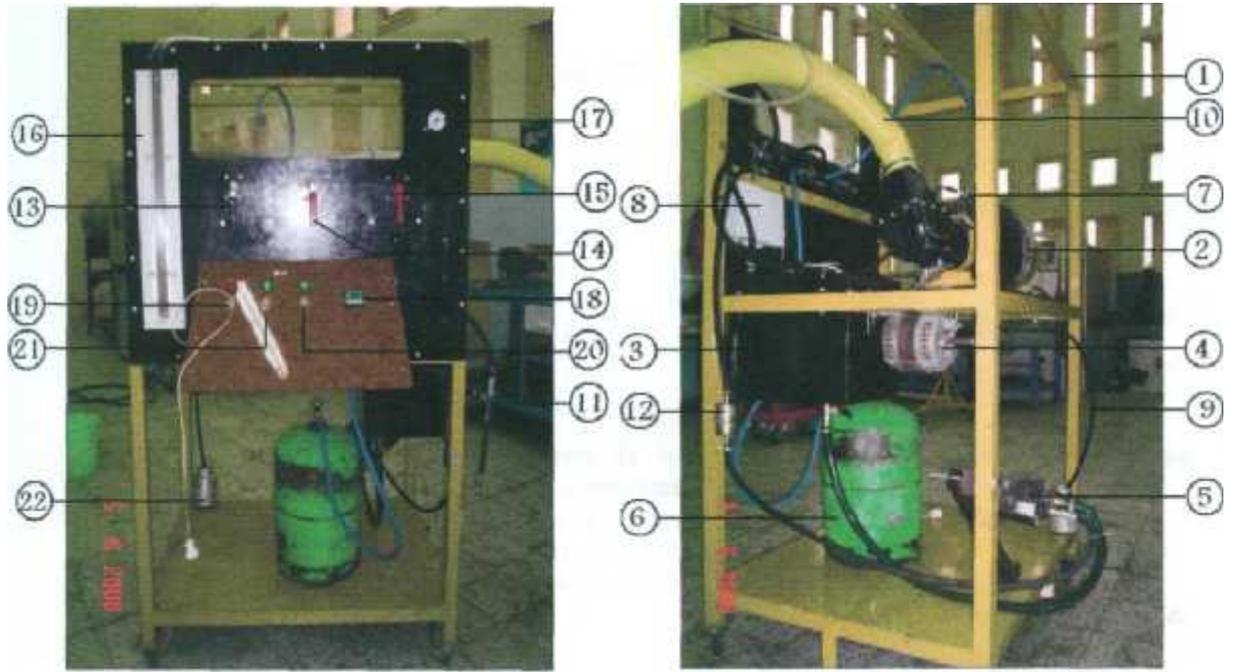


Figure (4-38) les éléments constituant du banc de simulation

Tableau (4-1) : Les composants du BANC D'ESSAIS

N°	Elément	N°	Elément
1	Le socle	12	Le filtre
2	La chambre de combustion	13	Le robinet de retour
3	Le réservoir	14	Le robinet a gaz
4	Le moteur	15	Le robinet de dosage
5	La pompe	16	Le manomètre
6	La bouteille a gaz	17	Le baromètre
7	L'allumeur	18	L'indicateur de température
8	La boîte d'allumage	19	L'interrupteur d'alimentation
9	Le tuyau de drainage	20	L'interrupteur d'allumage
10	L'entrée d'air	21	L'interrupteur de la pompe
11	Le débitmètre	22	Récipient de drainage

c) Le circuit d'allumage électrique

Le dispositif d'allumage est un appareillage électrique permettant d'assurer l'allumage du mélange air/gaz par la génération d'une étincelle d'une puissance nécessaire pour déclencher le processus de la réaction en chaîne de combustion.

Le circuit d'alimentation électrique il comporte les éléments suivants :

- ✚ Une bobine électrique 12 v.
- ✚ Une bougie d'allumage.
- ✚ Un transformateur électrique (220 V AC ~ 12 V DC).
- ✚ Une plaque électronique d'allumage commandée.

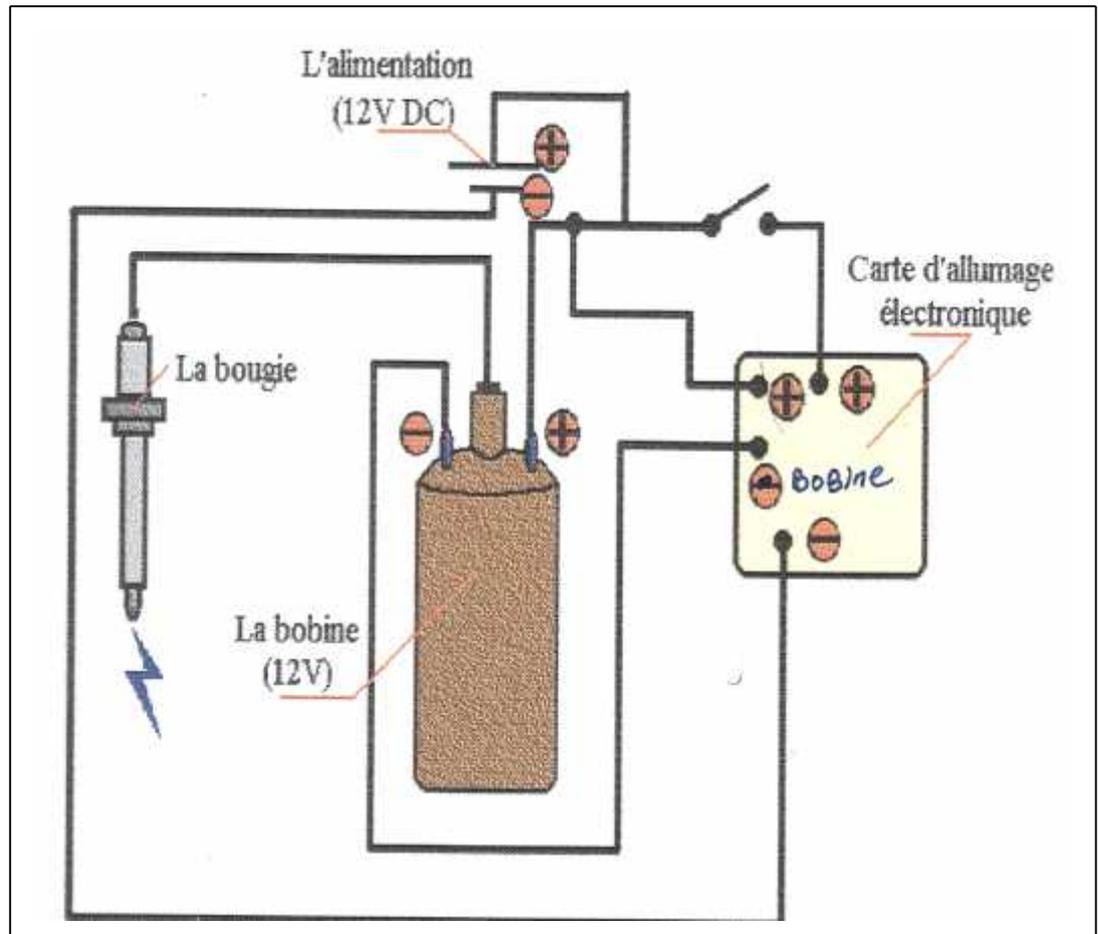


Fig. (4-39) Le circuit Allumage électrique "schéma synoptique"

Le circuit de commande est un circuit électronique basé sur un mien processeur NE555, Une base de temps qui permet de fournir un signale carré périodique à une certaine fréquence.

Le schéma électrique correspondant est décrit dans l'annexe 1.

La plaque électronique d'allumage commandée est conçue dans le but de transformer le signal continue sortant de la bobine en signal carré à la sortie, et ça grâce à l'action répétée d'un condensateur qui se charge est se décharge successivement.



Fig. (4-40) La plaque d'allumage électrique.

La plaque est réalisée puis implantée dans le boîtier électrique elle nous permet de gérer un signal automatique et cyclique d'étincelle, la fréquence de l'étincelle peut être contrôlée à l'aide des résistances variables de 47 k à bon ajustage, nous permet d'avoir une certaine puissance de l'étincelle et une périodicité voulue.

6/ L'essai de fonctionnement

Le but principale de notre réalisation est de permettre à l'étudiant technicien moteur avion de bien comprendre qu'es que un pulsoréacteur son principe et voir le fonctionnement réel de ce dernier .de ce fait il faut bien définir le procédure de démarrage et extinction et les applications possibles.

6-1/ Les mesures de sécurité

Dans tout les cas expérimentaux il faut prendre les mesures de sécurités nécessaires pour garantir la sécurité maximale de l'opérateur, c'est pourquoi on présente ci-dessous les consignes suivantes :

a) À l'arrêt

- ✚ S'assurer que l'allumage est off.
- ✚ Ventilateur à l'arrêt.
- ✚ L'extincteur dégoupiller et pris à l'utilisation.
- ✚ Robinet gaz ferme.
- ✚ Les interrupteurs en position off.
- ✚ Assures-vous qu'il n'y a pas de fuites.

b) en fonctionnement

- ✚ Ne jamais se placer près de la bouche d'aspiration du ventilateur. risque d'entraînement par la roue ventilateur.
- ✚ Attention la haute tension 380 v pour le démarrage du ventilateur
- ✚ Ne placer dans l'axe d'éjection des gaz chauds.

- ⚠ Ne pas toucher le fil de la bobine en fonctionnement ni à l'arrêt pour risque de décharge.
- ⚠ Ne pas ouvrir le robinet carburant brusquement risque de soufflage de flamme.

Après vérification de toutes les mises en garde à l'arrêt on fait connecter la prise de gaz, et que il n'y a aucune présence de fuite on peut procéder aux essais de fonctionnement.

6-2/Premier essai

Tous les essais commencent par les étapes suivantes :

- Ouvrir le robinet de la bouteille gaz en gardent la manette fermé avec le réglage de la trappe du ventilateur a une ouverture réduite enverront 1 cm au maximum.
- Ensuite on lance le moteur de ventilateur et s'assurer que l'air est soufflé dans l'axe du moteur qui est moins loin, enverrant 10 cm est qu'il sort à faible vitesse, l'utilisation de la soufflante est essentiel dans la phase de démarrage.
- Après on actionne l'allumage avec la vérification de la présence d'étincelle en regardent de loin dans la chambre ou en entendant du bruit.
- Maintenant on commence a ouvrir la manette des gaz progressivement jusque l'apparition de la flamme a ce moment il faut ouvrir la trappe d'aspiration du ventilo jusque a l'accrochage de la flamme.



Fig. (4-41) photo de premier essai

Dans cette première expérience le pulsa réacteurs ne démarre pas correctement est son régime n'est pas le régime désirer car il s'éteint spontanément.

a) Problème

Il y a un problème des valves qui fusent pas leur travaille elles ne s'ouvrent pas suffisamment car elle sont pas assis mous

b) Solution

Pour cela, on change la matière des valves.

6-3/ Deuxième Essai

Après avoir changer la matière des valves on a utiliser une autre raclette d'une épaisseur moins que la première 0.3 mm.

Similairement au procédure du premier essai on fait le deuxième essai, Après cette expérience le moteur a fonctionné mais pas long temps .a cause de la marguerite qui est endommagé voir figure (4-51).



Fig. (4-42) Photo de la marguerite endommager

a) Problème

Le problème est due au marguerite qui a procédure ces caractéristiques physiques a savoir que : l'élasticité et ainsi que elle est oxydé.

b) Solution

Pour remédier à ce problème la même solution comme au premier essai on change la marguerite.

6-4/Troisième essai

Pareille à la procédure du premier et deuxième essai on fait le troisième essai, dans ce dernier le pulsoréacteur a bien fonctionné et il atteint son régime de fonctionnement mais si on enlève le tube de la soufflante le régime se dégrade jusqu'à l'extinction du moteur.



Fig. (4-43) photo de pulsoréacteur en marche

a) Problème

Le problème qui se pose maintenant est dû à sa détente des gaz car cette dernière elle est insuffisante pour remplir à nouveau la chambre de combustion.

B) Solution

Enfin pour régler ce problème soit en aide le pulsoréacteur avec le ventilateur (soufflante) ou bien allonger la longueur de la tuyère d'éjection pour que la détente soit suffisante.

conclusión

Conclusion

Français

Cette étude nous a permis de bien comprendre le fonctionnement du moteur pulso-réacteur d'une part, d'autre part cette réalisation nous a servis de moyen technique pour enrichir nos connaissances pratiques dans le domaine de fabrication mécanique.

Nous espérons que ce travaille va apporter une aide fructueuse dans la compréhension du principe de fonctionnement pour les futures techniciens supérieur et au moins de pouvoir réaliser des applications a caractère didactique.

Anglais

This study enabled us to include/understand the operation of the engine plus-jet well on the one hand, on the other hand this realization served to us as average technique to enrich our practical knowledge in the mechanical field of manufacture.

We hope that this works will bring a profitable help in the comprehension of the principle of operation for the future high-level technicians and at least to be able to carry out applications has didactic character.

العربية

في الختام هذه الدراسة سمحت لنا بتحسين معارفنا لمبدأ عمل المحرك النفاث النابض من جهة, من ناحية أخرى تحقيق هذا المشروع خدمنا بطريقة تقنية, بإثراء معلوماتنا التطبيقية في ميدان الصناعة الميكانيكية.
نحن نأمل أن يساعد هذا العمل التقنيين القادمين مستقبلا في فهم مبدأ عمل المحرك النفاث و أدنى ذلك أن يقوموا بتطبيقات تعليمية.

Bibliographie

[1] www.wikipedia.com

[2] www.musedelta.free.fr

[3] Mémoire "élaboration d'un banc d'essai pour statoréacteur et pulsoréacteur" HAMIDI TAREK et MANSOURI ASMA.2002.

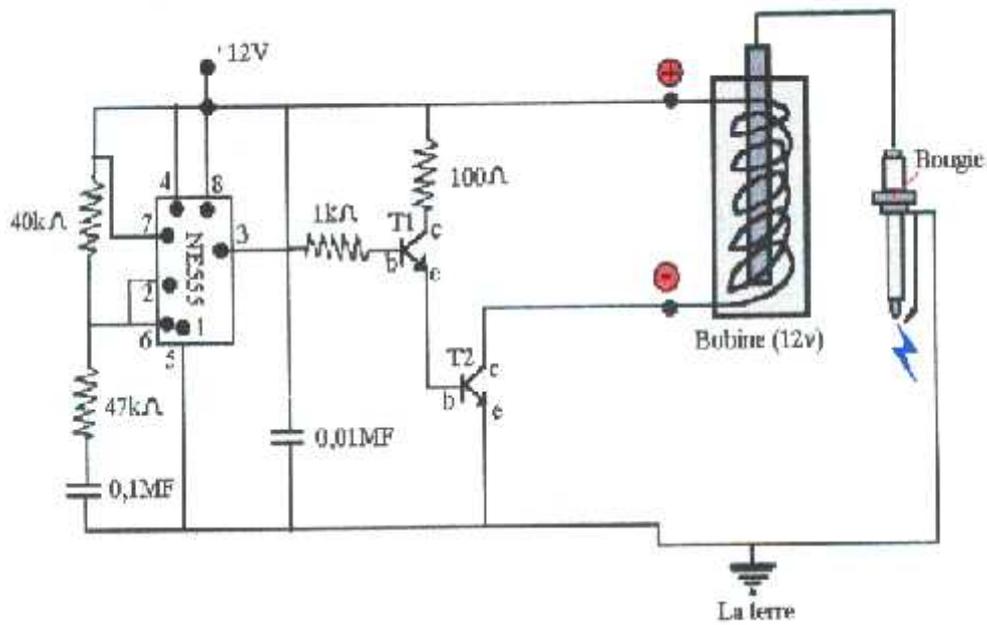
[4] www.google.fr

[5] www.pulse-jet.com

[6] www.aardvark.co.nz/pjet.

[7] Technique de L'ingénieur (soudage, tournage, assemblage)

Annexe 1



T1=2N2222

T2=2N3055

Le schéma électronique de circuit d'allumage

