

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB
BLIDA

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGERIEUR
DEPARTEMENT D'AERONAUTIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme des études universitaires appliquées
(DEUA) en aéronautique

Thème :

*Travaux De Maintenance
Sur
Micro-Turboréacteur*

Réalisé par :

Mr. MAKHBI *Lokmane*
Melle. MELKAR *Siham*

promoteur :

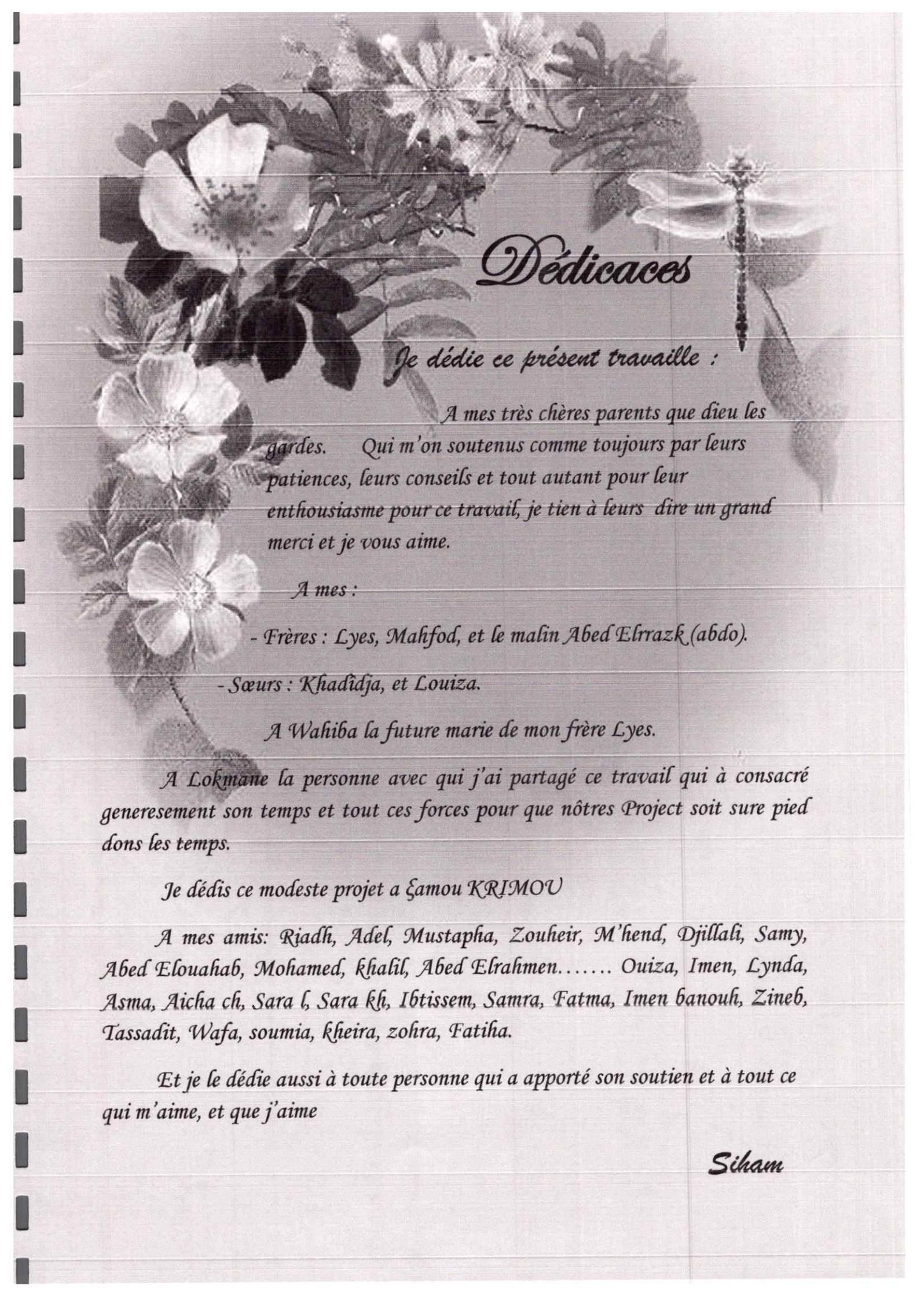
Mr. BENTRAD. *H*

Promotion 2008

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله وحده والصلاة والسلام

على من لا نبي بعده

A decorative illustration featuring a cluster of white flowers with dark centers and green leaves on the left side. On the right side, there is a detailed drawing of a dragonfly with its wings spread, perched on a stem. The background is a light, textured grey.

Dédicaces

Je dédie ce présent travaille :

A mes très chères parents que dieu les garde. Qui m'on soutenus comme toujours par leurs patiences, leurs conseils et tout autant pour leur enthousiasme pour ce travail, je tien à leurs dire un grand merci et je vous aime.

A mes :

- Frères : Lyes, Mahfod, et le malin Abed Elrazk (abdo).

- Sœurs : Khadîdja, et Louiza.

A Wahiba la future marie de mon frère Lyes.

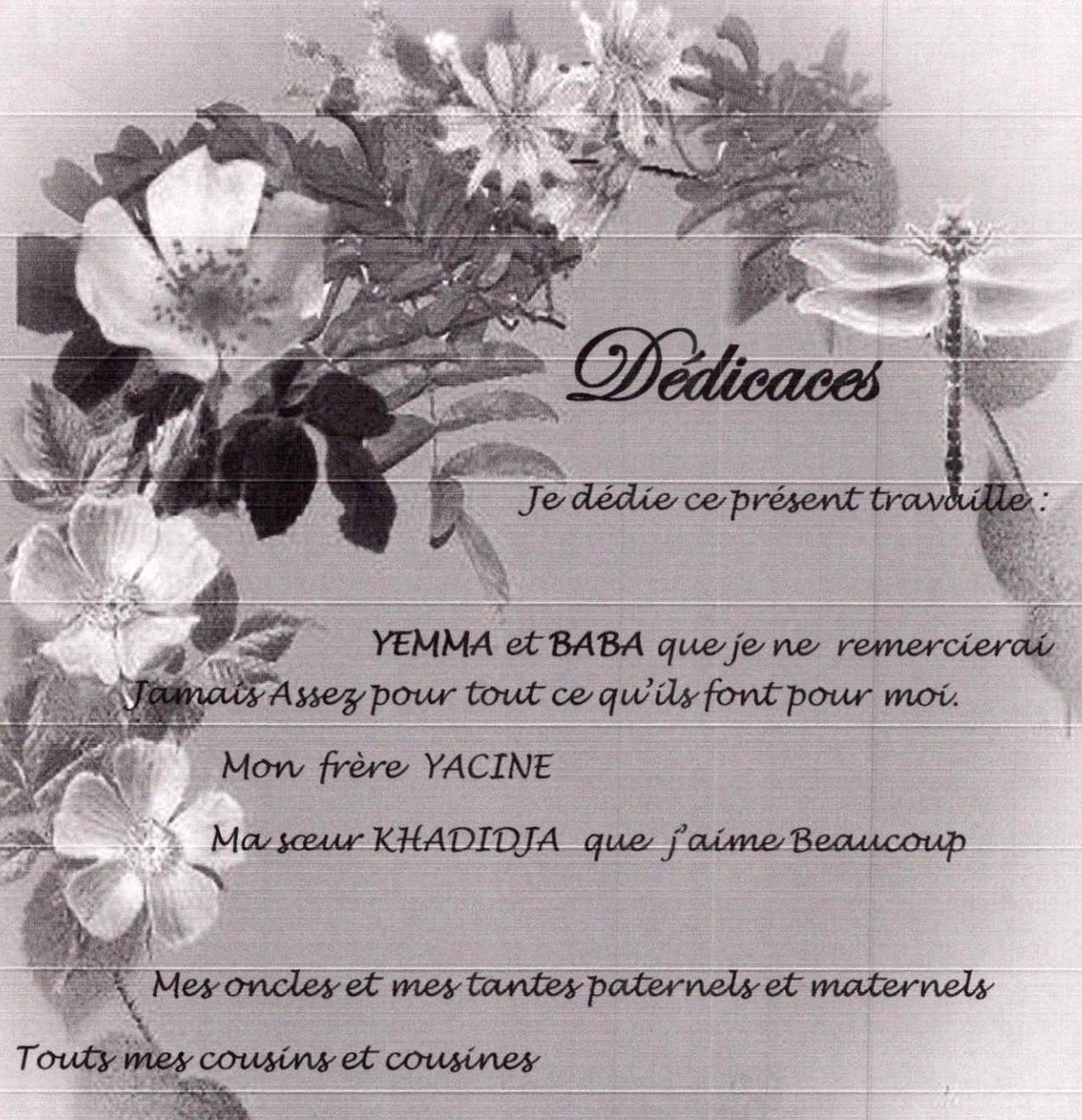
A Lokmane la personne avec qui j'ai partagé ce travail qui à consacré genereusement son temps et tout ces forces pour que nôtres Project soit sure pied dons les temps.

Je dédis ce modeste projet a Samou KRIMOU

A mes amis: Riadh, Adel, Mustapha, Zouheir, M'hend, Djillali, Samy, Abed Elouahab, Mohamed, Khalil, Abed Elrahmen..... Ouiza, Imen, Lynda, Asma, Aicha ch, Sara l, Sara kh, Ibtissem, Samra, Fatma, Imen banouh, Zineb, Tassadit, Wafa, soumia, kheira, zohra, Fatiha.

Et je le dédie aussi à toute personne qui a apporté son soutien et à tout ce qui m'aime, et que j'aime

Siham



Dédicaces

Je dédie ce présent travaillé :

*YEMMA et BABA que je ne remercierai
Jamais Assez pour tout ce qu'ils font pour moi.*

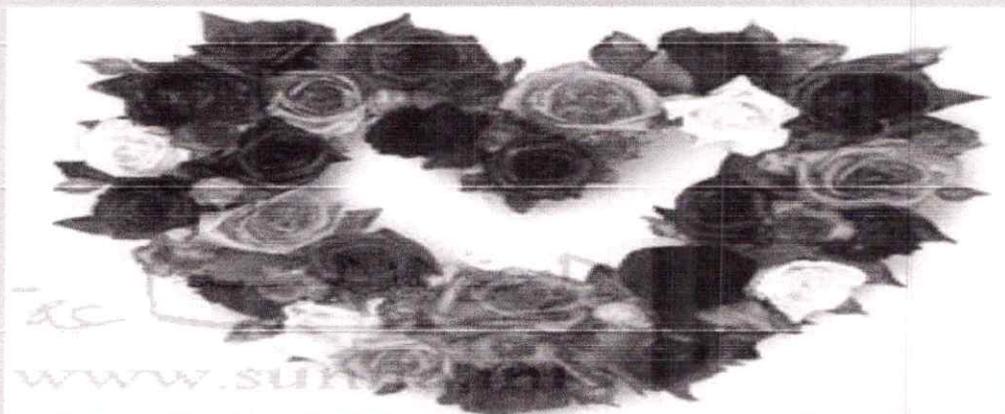
Mon frère YACINE

Ma sœur KHADIDJA que j'aime Beaucoup

Mes oncles et mes tantes paternels et maternels

Touts mes cousins et cousines

*Mon binôme SIHAM ainsi que toute sa famille et
toutes les personnes que j'aime et qui me sont très chères.*



Lokmane

Remerciements

Je remercie en premier lieu le bon DIEU de m'avoir donné le courage, la patience et la capacité de mener ce travail à terme.

Tout d'abord, on tient à remercier monsieur BENTRAD.H, notre promoteur, pour nous avoir accueillis, et sa confiance accordée pour traiter notre thème, qui nous a dirigés et conseillé tout le long de notre travail.

Nous remercions aussi vivement Monsieur KEBAB.H pour ses conseils.

Nous remercions aussi M^{er} Moukhtari.D responsable de l'atelier de propulsion, M^{er} DHOUDJI responsable de l'atelier de métallurgie, et à tous les travailleurs de la société kossider sur tout M^{er} Ouahab, et à nos encadreurs M^{er} Habesse Abed elkader et M^{er} Belhacher Hocine dans la base maintenance et le bloc H400.

Et nous remercions fortement les techniciens TAIFOUR, et DJILALI.

Nous remercions également toute personne qui nous a apporté une idée, pour le bon déroulement de ce présent projet.

TABLE DES MATIERES

Résumé

Table des matières

Liste des tableaux et figures

Introduction

CHAPITRE I : Généralité sur le turboréacteur

I.1. Introduction.....	(3)
I.2. Les différents moteurs utilisés dans l'aéronautique.....	(3)
I.2.1. Les moteurs à propulsion directe	(3)
I.2.1.1. Le turboréacteur.....	(3)
I.2.1.2. Le pulsoréacteur.....	(4)
I.2.1.3. Le statoréacteur.....	(4)
I.2.2. Les moteurs à propulsion indirecte.....	(5)
I.2.2.1. Le turbopropulseur.....	(5)
I.2.2.2. La moto réacteur.....	(5)
I.3. Description générale d'un turboréacteur.....	(5)
I.3.1. L'entrée d'air.....	(6)
I.3.2. Le compresseur.....	(6)
I.3.3. La chambre de combustion.....	(7)
I.3.4. La turbine.....	(7)
I.3.5. La tuyère.....	(8)
I.3.6. La Gearbox.....	(8)
I.4. Les différents types de turboréacteurs	(9)
I.4.1. Turboréacteur simple flux sec, mono-corps	(9)
I.4.2. Turboréacteurs simple flux, sec, double-corps.....	(9)
I.4.3. Turboréacteur simple flux, mono-corps, avec PC.....	(10)
I.4.4. Turboréacteur simple flux, double-corps, avec PC.....	(10)
I.4.5. Turboréacteur double flux, double -corps, sec.....	(11)

I.5. Les systèmes associés.....	(12)
I.5.1. Le circuit de carburant.....	(12)
I.5.2. Circuit de graissage (d'huile).....	(12)
I.5.3. Circuit d'allumage.....	(13)
I.5.4. Le circuit de démarrage.....	(13)
I.6. Etude thermodynamique.....	(14)
I.6.1. Le cycle d'un turboréacteur.....	(14)
I.6.2. Explication du cycle.....	(14)
I.7. Les performances.....	(15)

CHAPITRE II : La chambre de combustion et la combustion

II.1. La chambre de combustion.....	(18)
II.1.1. Introduction.....	(18)
II.1.2. Définition de la chambre de combustion.....	(18)
II.1.3. Les exigences sur la chambre de combustion.....	(19)
II.1.4. Description de la chambre de combustion.....	(19)
II.1.4.1. Cône divergent.....	(19)
II.1.4.2. Le tube à flamme.....	(19)
II.1.4.3. L'enveloppe externe.....	(19)
II.1.5. Fonctionnement de la chambre de combustion.....	(19)
II.1.6. Les types des chambres de combustion.....	(20)
II.1.6.1. La chambre séparée.....	(20)
II.1.6.2. La chambre annulaire.....	(22)
II.1.6.3. La chambre mixte.....	(23)
II.1.6.4. La chambre inversée.....	(23)
II.1.7. La pollution.....	(24)
II.1.8. Système d'injection et les injecteurs.....	(25)
II.1.8.1. Les injecteurs.....	(25)
II.1.8.2. Le système d'injection.....	(27)

II.1.9. Amélioration de la pulvérisation.....	(28)
II.1.10. Les matériaux utilisés.....	(28)
II.1.11. Les techniques de refroidissement.....	(29)
II.2. La combustion	(29)
II.2.1. Les réactifs.....	(30)
II.2.2. Problèmes posés.....	(30)
II.2.3. Conditions nécessaires.....	(30)
II.2.4. Vue d'ensemble sur les phénomènes de combustion.....	(30)
II.2.4.1. La combustion	(30)
II-2.5. La réaction de combustion.....	(32)
II.2.6. Paramètres limitatifs de la combustion.....	(33)
II.2.7. Facteurs régissant la combustion.....	(34)
II.2.8. L'étude thermodynamique de la chambre de combustion.....	(35)
II.2.9. Evolution des paramètres, pression, températures, vitesses, dans une chambre de combustion.....	(37)
II.3. Le combustible.....	(38)
II.3.1. Les carburants.....	(38)
II.3.2. La production des carburants.....	(38)
II.3.3. Remarque sur la production des carburants d'aviation.....	(39)
II.3.4. Les propriétés des carburants d'aviation.....	(39)

CHAPITRE III : *Inspection et entretien*

III.1. Présentation d'un banc d'essai.....	(43)
III.1.1. Le banc d'essai.....	(43)
III.1.2. Le démarreur.....	(43)
III.1.3. Le socle.....	(44)
III.1.4. Le turbocharger.....	(44)
III.1.5. Le logement du compresseur.....	(45)
III.1.6. La roue du compresseur.....	(45)
III.1.7. Le logement de la turbine.....	(46)

III.1.8. La roue turbine.....	(46)
III.1.9. Le logement roulement.....	(46)
III.1.10. La chambre de combustion.....	(47)
III.1.11. La tuyère d'éjection.....	(48)
III.2. Les circuits.....	(49)
III.2.1. Le circuit de carburant.....	(49)
III.2.2. Le circuit de graissage.....	(50)
III.2.3. Le circuit d'allumage.....	(53)
III.2.4. Le tableau de contrôle.....	(54)
III.2.4.1. Les thermomètres.....	(54)
III.2.4.2. Le thermocouple à affichage digital.....	(55)
III.2.4.3. Manomètres.....	(56)
III.2.4.4. Le tableau de commandes.....	(57)
III.3. Démontage et inspection des éléments.....	(58)
III.4. Conte rendue d'anomalies et travaux d'entretien.....	(60)
III.5. Vue en bref de la réalisation de la nouvelle chambre de combustion.....	(61)

CHAPITRE IV : Montage et essais

IV.1. Introduction.....	(65)
IV.2. Les essais et compte rendue d'anomalies.....	(65)
IV.3. Procédure de maintenance.....	(66)
IV.4. Réalisation de la chambre de combustion.....	(67)
IV.4. 1. Estimations théoriques.....	(67)
IV.4. 2. Estimation de la longueur.....	(67)
IV.4. 3. L'étape de la réalisation.....	(68)
IV.4.3.1. La chambre de combustion.....	(68)
IV.4.3.2. L'injecteur mixte.....	(72)
IV.4.3.3. Montage des éléments.....	(72)

IV.5. Les circuits associés dans le banc d'essai.....	(73)
IV.5.1. Circuit de carburant.....	(73)
IV.5.2. Circuit de graissage.....	(74)
IV.5.3. Système d'allumage électrique.....	(74)
IV.6. Essais de fonctionnement.....	(75)
IV.6.1. Introduction.....	(75)
IV.6.2. Mesures de sécurité.....	(75)
IV.6.3. Les procédures de démarrage et d'arrêt de la chambre de combustion.....	(76)
IV.6.4. Phase d'accélération.....	(77)
IV.6.5. Extinction.....	(77)

Conclusion

Bibliographie

Notations

Tableau de conversion

Remerciements

Je remercie en premier lieu le bon DIEU de m'avoir donné le courage, la patience et la capacité de mener ce travail à terme.

Tout d'abord, on tient à remercier monsieur BENTRAD.H, notre promoteur, pour nous avoir accueillis, et sa confiance accordée pour traiter notre thème, qui nous a dirigés et conseillé tout le long de notre travail.

Nous remercions aussi vivement Monsieur KEBAB.H pour ses conseils.

Nous remercions aussi M^{er} Moukhtari.D responsable de l'atelier de propulsion, M^{er} DHOUDJI responsable de l'atelier de métallurgie, et à tous les travailleurs de la société kossider sur tout M^{er} Ouahab, et à nos encadreurs M^{er} Habesse Abed elkader et M^{er} Belhacher Hocine dans la base maintenance et le bloc H400.

Et nous remercions fortement les techniciens TAIFOUR, et DJILALI.

Nous remercions également toute personne qui nous a apporté une idée, pour le bon déroulement de ce présent

Résumé

Notre travail est consacré à l'inspection et la recherche de pannes d'un micro-turbo réalisé au niveau de l'atelier propulsion (promotion 2002) et d'apport les solutions convenables pour sa remise en état.

Ces travaux consiste à réaliser d'un nouveau injecteur mixte (gaz /carburant), d'une nouvelle chambre de combustion et le changement des tuyauteries et des joints.

Abstract

Our work is devoted to the inspection and the fault finding of micro-turbo realized to the level of the workshop propulsion (promotion 2002) and contribution the suitable solutions for its repairing.

This work consists in realizing of a new mixed injector (gas /carburant), of a new and change combustion chamber, pipings and joints.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو البحث والكشف عن العطب الموجود في محرك تيربو المشيد من طرف طالبين سنة 2002 و المتواجد على مستوى ورشة الدفع، حيث قمنا بصناعة ضاخ مزدوج للغاز و المازوت في آن واحد و غرفة الاحتراق بالاضافة الى تغيير انابيب الخاصة بالتشحيم و التغذية.

Figure (II.7) : la chambre de combustion mixte.....	(24)
Figure (II.8) : la chambre de combustion inversée.....	(24)
Figure (II.9) : graphe de la teneur de CO imbrûlé et NO.....	(25)
Figure (II.10) : injecteur simplex.....	(26)
Figure (II.11) : injecteur duplex.....	(27)
Figure (II.12): injection sens courant.....	(27)
Figure (II.13) : injection à contre du courant.....	(27)
Figure (II.14) : coupe longitudinal du tourbillonnaire. . .	(28)
Figure (II.15) : photo du tourbillonnaire.....	(28)
Figure (II.16) : courbe de pression minimale en fonction de dosage réel.....	(34)
Figure (II.17) : courbe de vitesse de l'écoulement en fonction de dosage réel.....	(34)
Figure (II.18) : courbe qui montre l'évolution théorique de la pression en fonction de la température.....	(36)
Figure (II.19) : courbe qui montre l'évolution réelle de la pression en fonction de la température.....	(36)
Figure (II.20) : courbe qui montre L'évolution réelle et théorique du fluide dans le compresseur.....	(37)
Figure (II.21) : Evolution des paramètres, pression Températures, vitesses, dans une chambre de compresseur.....	(38)

CHAPITRE III : *Inspection et entretien*

Figure (III.1) : Le banc d'essai (vue de derrière). . .	(44)
Figure (III.2) : Le banc d'essai (vue de face). . .	(44)
Figure (III.3) : Le démarreur.....	(44)
Figure (III.4) : Le ventilateur.....	(44)
Figure (III.5): Le socle.....	(45)
Figure (III.6): vue en coupe du turbo-charger.....	(45)
Figure (III.7) : la roue compresseur montée dans ce cache.....	(46)
Figure (III.8) : la roue compresseur.....	(46)
Figure (III.9) : la roue turbine monté dans ce cache.....	(47)
Figure (III.10) : les ailettes de turbine.....	(47)
Figure (III.11) : le tube externe de la chambre.....	(47)
Figure (III.12) : l'injecteur fixé dans le couvercle.....	(48)

Figure (III.13) : partie inférieure de la chambre.....	(48)
Figure (III.14) : la position de la bougie.....	(48)
Figure (III.15) : le tube à flamme.....	(49)
Figure (III.16) : la tuyère d'éjection.....	(49)
Figure (III.17) : schéma d'assemblage du système carburant.....	(50)
Figure (III.18) : schéma du circuit de graissage.....	(51)
Figure (III.19) : le réservoir.....	(51)
Figure (III.20) : la pompe.....	(52)
Figure (III.21) : la pompe plongée dans le réservoir.....	(52)
Figure (III.22) : la bride de connexion.....	(52)
Figure (III.23) : le palier de rotation.....	(52)
Figure (III.24) : la poulie.....	(53)
Figure (III.25) : le moteur électrique.....	(53)
Figure (III.26) : la bobine et la bougie utilisées.....	(54)
Figure (III.27) : la carte électronique.....	(54)
Figure (III.28) le tableau de contrôle.....	(54)
Figure (III.29) Le thermomètre à cadrans.....	(55)
Figure (III.30) la sonde pour mesurer la température d'huile.....	(55)
Figure (III.31) la sonde pour mesurer la température à la sortie compresseur.....	(56)
Figure (III.32) Le thermocouple à affichage digital.....	(56)
Figure (III.33) Manomètre à cadrans.....	(56)
Figure (III.34) : le tableau de commande.....	(57)

CHAPITRE IV : Montage et essais

Figure (IV.1) : modèle de la chambre prise.....	(62)
Figure (IV.2) : le tube de l'enveloppe externe de la chambre de combustion.....	(62)
Figure (IV.3) : le couvercle.....	(63)
Figure (IV.4) : partie inférieure de la chambre.....	(63)
Figure (IV.5) : l'enveloppe externe de la chambre de combustion.....	(64)
Figure (IV.6) : tube à flamme.....	(64)

Liste des figures

Figure (IV.7) : chambre de combustion.....	(65)
Figure (IV.8) : Le culot avec la bougie d'allumage.....	(65)
Figure (IV.9) : Le culot.....	(65)
Figure (IV.10) : l'injecteur.....	(57)
Figure (IV.11) : la pompe	(68)
Figure (IV.12) : le robinet.....	(69)
Figure (IV.13) : le système d'allumage.....	(70)
Figure (IV.14) : photo de la flamme sortie sévirent	(73)
Figure (IV.15) : photo de la flamme déplacée vers l'extérieur.....	(74)

INTRODUCTION

Le turboréacteur est une machine thermique qui fonctionne selon le cycle de Brayton. Il assure une compression, apport de chaleur et une détente.

La combustion représente l'étape la plus importante de ce cycle, dont dépendent le rendement et les performances du moteur. Donc les constructeurs du moteur donnent une grande importance à cette partie dans le but d'augmenter son rendement mais aussi de réduire son taux de pollution.

L'objet de notre étude, est de réaliser une chambre de combustion pour un micro-turbo existant au niveau de l'atelier de propulsion de département aéronautique. Mais aussi de faire la maintenance des autres organes de ce même moteur.

Pour mener à bien notre travail, nous avons subdivisé le travail en quatre chapitres dont le premier est un rappel sur la propulsion aérienne, par contre le deuxième se portera sur les généralités sur la chambre de combustion et la combustion. Le troisième chapitre fera l'objet d'une description du banc d'essai. Le quatrième chapitre est consacré aux travaux de maintenance et à la réalisation de la chambre de combustion. En fin une conclusion est tirée.

CHAPITRE I

LA PROPULSION AERIENNE

- 1-Introduction
- 2-Les différents moteurs utilisés dans l'aéronautique
- 3-Description générale d'un turboréacteur
- 4-Les différents types des turboréacteurs
- 5- Les systèmes associés
- 6-Etude thermodynamique

I.1. Introduction:

Tout système de propulsion repose sur l'application de principe de l'égalité de l'action et de la réaction quel que soit le milieu dans lequel il doit fonctionner. Suivant ce principe tout action d'un corps sur un autre s'accompagne d'une réaction que lui est directement opposée et égale. Lorsqu'il s'agit d'un corps en mouvement, il faut distinguer deux cas suivant la nature de l'appui qui fournit la réaction.

- Appui mobile : déplacement dans l'eau et l'air.
- Appui fixe : marche à pied ou propulsion des autres mobiles.

La propulsion aérienne fait appel la réaction sur appui mobile (air ambiant + gaz éjectés), qu'ils s'agissent de l'hélice, de turboréacteur ou moteur fusée. Si l'on excepte ce dernier, tous les autres organes de propulsion communiquent à une masse d'air prélevé à l'avant, une vitesse plus ou moins grande dirigée vers l'arrière.

I.2. Les différents moteurs utilisés dans l'aéronautique :

I.2.1. Les moteurs à propulsion directe :

Ce sont des propulseurs délivrant directement une force. Tous les turboréacteurs sont rassemblés dans cette catégorie (la force est exprimée en Newton ou déca-Newton). Les turboréacteurs peuvent être Simple flux ou Double flux.

I.2.1.1. Le turboréacteur :

L'air pénètre à l'avant du réacteur aspiré par un compresseur. Il est comprimé et dirigé dans une chambre de combustion, à l'intérieur de laquelle arrive le combustible injecté de façon continue.

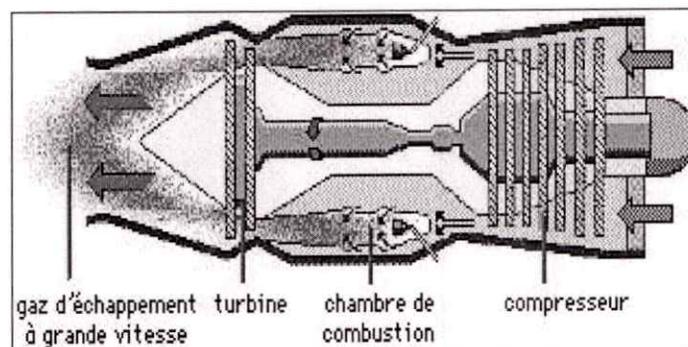


Figure (I.1) Coupe d'un turboréacteur.

Les gaz à haute température et à haute pression résultant de cette combustion sortent à grande vitesse à l'arrière du réacteur, à travers une tuyère d'injection. Au passage une partie de leur énergie est utilisée pour actionner une turbine qui entraîne le compresseur.

I.2.1.2. Le pulsoréacteur :

Par suite du déplacement de l'engin, l'air pénétrant à l'intérieur du pulsoréacteur à travers les frontaux, il est ensuite porté à haute température de la combustion d'un combustible, les clapets frontaux se ferment.

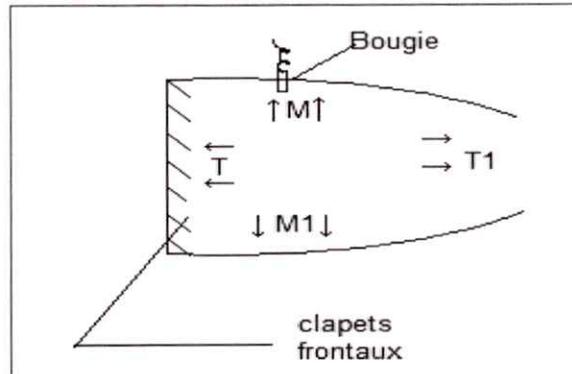


Figure (I.3) Pulso-réacteurs.

- Ce type de moteur représente des avantages :
 - ✓ Contrairement au statoréacteur, ce réacteur doit être lancé à une faible vitesse (de l'ordre de 10km/h) pour fonctionner.
 - ✓ De construction relativement simple et peu coûteuse.
- Et des inconvénients comme :
 - ✓ Le système d'ondes pulsées à l'intérieur du réacteur provoque des ratés à répétition.
 - ✓ Le réacteur ne peut toujours pas décoller de ses propres moyens.
 - ✓ Son rendement est médiocre.
 - ✓ Il ne supporte pas bien les rapides changements d'injection.

I.2.1.3. Le statoréacteur :

Il ne diffère en principe du pulsoréacteur que par l'absence des clapets frontaux, la pression à l'entrée est assurée par la pression dynamique, l'air est ensuite dilaté par la combustion du combustible puis il sort par l'arrière pour assurer la propulsion.

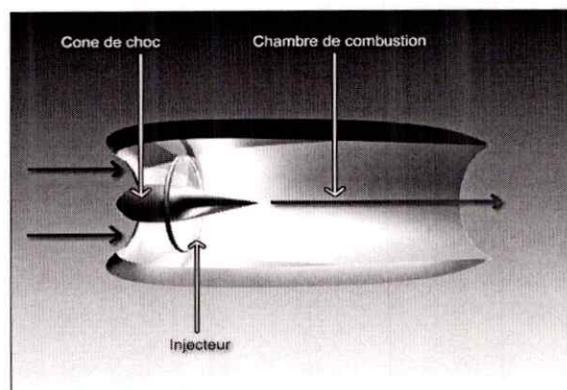


Figure (I.2) Coupe annotée d'un statoréacteur.

I.2.2. Les moteurs à propulsion indirecte :

La production de la force de propulsion est réalisée par un organe intermédiaire : l'hélice, le moteur fournit une puissance. La puissance est exprimée en Watts ou kilowatts parfois en chevaux.

On trouve dans cette catégorie : les turbopropulseurs et moteurs à pistons

I.2.2.1. Le turbopropulseur :

Même principe de fonctionnement que le turbo-réacteur, seul la turbine est beaucoup plus importante, elle utilise presque entièrement l'énergie des gaz qui lui permet de faire tourner une hélice en plus du compresseur.

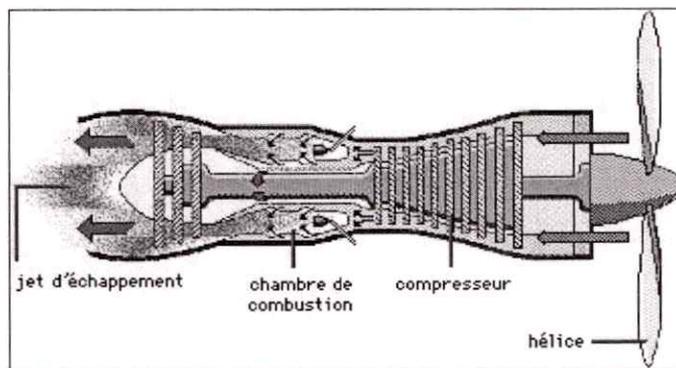


Figure (I.4) Coupe d'un turbopropulseur.

I.2.2.2. La moto réacteur :

L'écoulement des gaz à l'intérieur de l'engin est identique à l'écoulement des gaz à l'intérieur du turbo-réacteur, mais l'entraînement du compresseur n'est effectué par une turbine, mais par un moteur à piston.

I.3. Description générale d'un turbo-réacteur :

Le turbo-réacteur est un système de propulsion par réaction produite par éjection de gaz de combustion d'un carburant. Il a la particularité d'utiliser une partie de l'énergie de ces gaz pour comprimer l'air utilisé comme comburant.

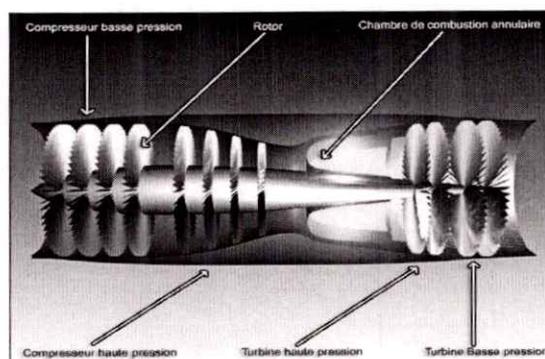


Figure (I.5): Coupe annotée d'un turbo-réacteur.

Le turboréacteur à l'arrêt ne peut pas démarrer; il doit d'abord être lancé par un moteur de démarrage externe. Le combustible est alors enflammé par une bougie chauffée. Une fois que le moteur est en marche, la combustion peut avoir lieu sans l'aide de bougies à étincelles.

Un turboréacteur dans sa forme la plus simple est constitué d'éléments suivants :

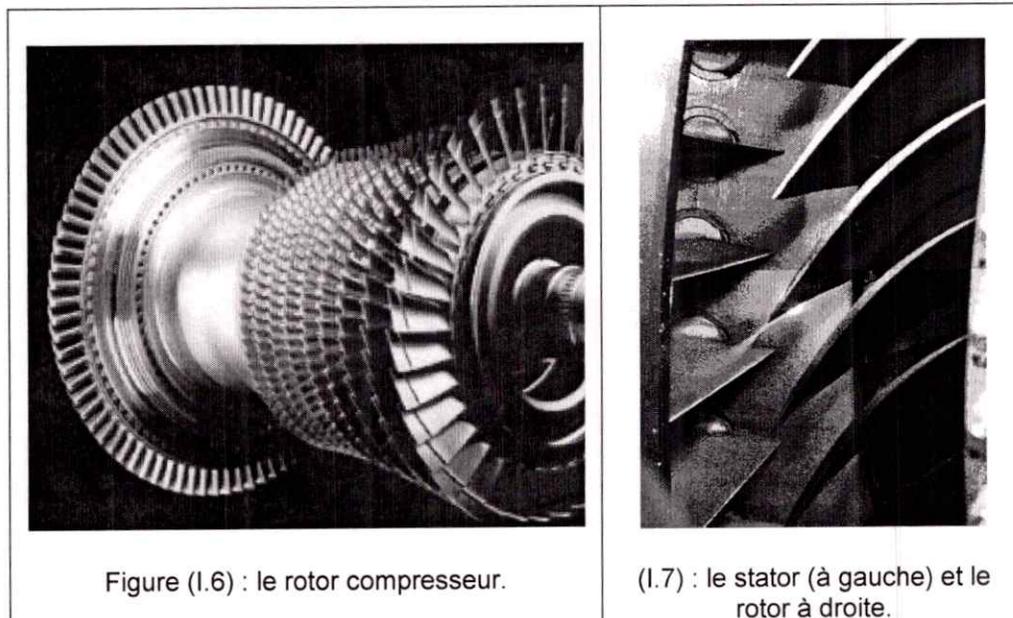
I.3.1. L'entrée d'air :

C'est un conduit de section variable. Calculée de telle sorte que l'énergie cinétique de l'air incident se transforme en une énergie de pression. La forme a donner pour ce conduit diffère selon la vitesse de vol est inférieure ou supérieure a la vitesse du son.

I.3.2. Le compresseur :

C'est le premier élément après l'entrée d'air, il a pour but d'augmenter la pression et d'amener le fluide à une pression et température minimale d'inflammation.

Il est constitué d'un disque entouré d'ailette formant le rotor (partie mobile), son rôle est de fournir de l'énergie cinétique au fluide, et d'une partie fixe appelée stator, forme d'ailette fixe, son rôle est de transformer l'énergie cinétique en énergie de pression et permet de stabiliser le flux.



Il existe deux types de compresseur :

✦ **Compresseur centrifuge :**

Le compresseur centrifuge est constituée de deux éléments, une roue mobile et un redresseur radiale plus un redresseur axiale.

L'air est admis dans le compresseur suivant l'axe et est rejeté radialement puis ramené vers la chambre de la combustion. Le rouet est généralement obtenu par procédé de moulage très avancé, il est composé de deux partie ou d'un seule bloc.

I.3.4. La turbine :

La turbine transforme l'énergie thermique des gaz en :

1. énergie mécanique pour faire tourner le compresseur
2. énergie cinétique pour produire la poussée.

Elle est constituée d'une :

- ➔ partie fixe appelée distributeur de turbine dont les aubages convenablement disposés dirige l'écoulement gazeux sur les aubes de la partie mobile.
- ➔ roue mobile, le rotor, solidaire du compresseur par un arbre commun et dont les aubes constituent la turbine proprement dite. L'ensemble de ces deux parties forme un étage.

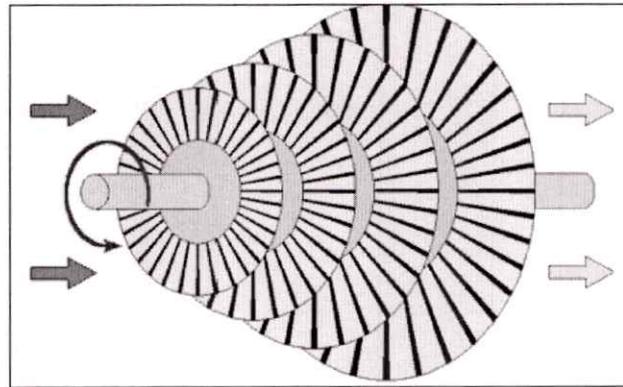


Figure (I.9) : turbine à vapeur.

On peut distinguer plusieurs types de turbine :

- Turbine liée et libre.
- Turbine à action et à réaction.

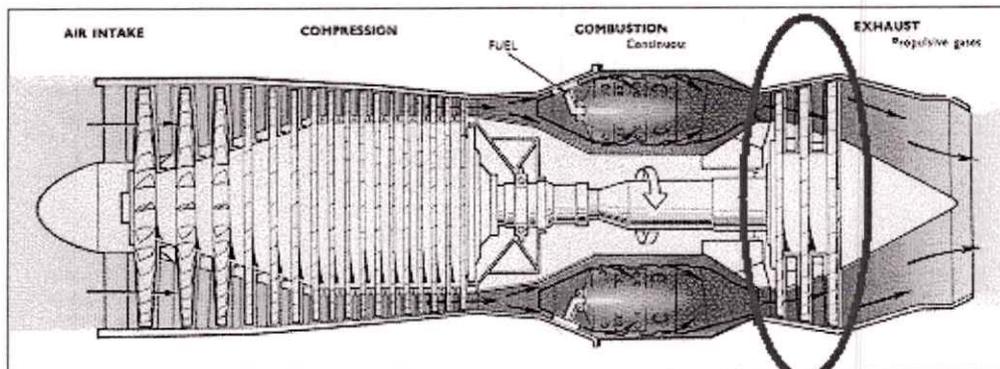


Figure (I.10) Les étages de turbine.

I.3.5. La tuyère :

Elle a pour rôle d'accélérer les gaz de combustion issus de la turbine jusqu'à ce que la pression statique dans le jet soit égale à la pression atmosphérique.

I.3.6. La Gearbox :

La boîte à accessoire sert à entraîner les accessoires du moteur elle se positionne à gauche du moteur sur le carter Fan. La gear-box est constituée des éléments suivants :

- ⚡ L'IGB Intel gear box prélèvement du mouvement de l'arbre N₂.
- ⚡ La RDS Radial drive shaft permet transmission radiale du mouvement.
- ⚡ La TGB Transfer Gear-Box boîte de Transfer du mouvement.
- ⚡ La HDS Horizontal drive shaft permet transmission axiale du mouvement.
- ⚡ La AGB Accessoire Gear-Box l'entraînement des accessoires moteur.

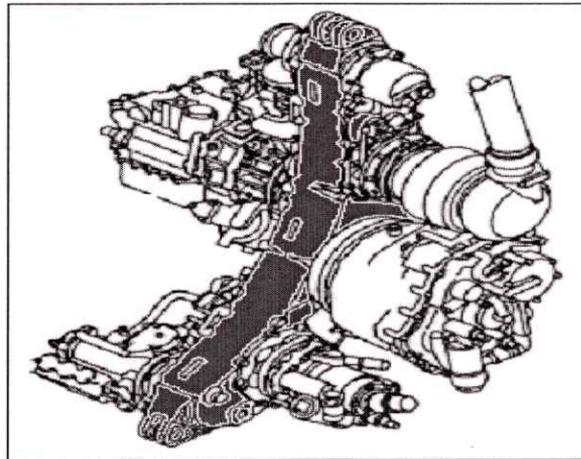


Figure (I.11) : La Gearbox.

I.4. Les différents types de turbo réacteurs :

I.4.1. Turbo réacteur simple flux sec, mono-corps :

Un Turbo est dit simple flux si un seul flux le traverse d'amont en aval. Un Turbo est sec s'il n'est pas équipé de la postcombustion. Un Turbo est mono-corps si son compresseur est unique par opposition au double ou triple corps où l'ensemble compresseur est séparé en deux ou trois mobiles.

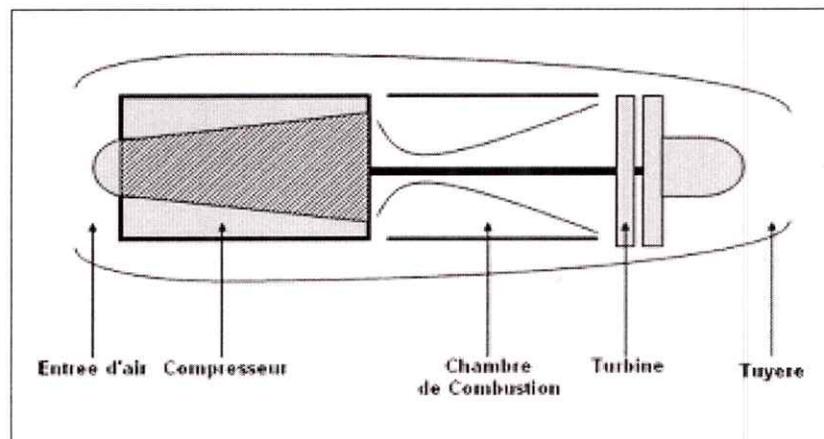


Figure (I.12) Turbo réacteur mono-Corp.

I.4.2. Turboréacteurs simple flux, sec, double-corps:

L'ensemble turbine HP, compresseur HP constitue l'attelage haute pression.
L'ensemble turbine BP, compresseur BP constitue l'attelage basse pression.
Les deux attelages ont leurs arbres de liaison concentriques et tournent à des vitesses de rotations différentes.

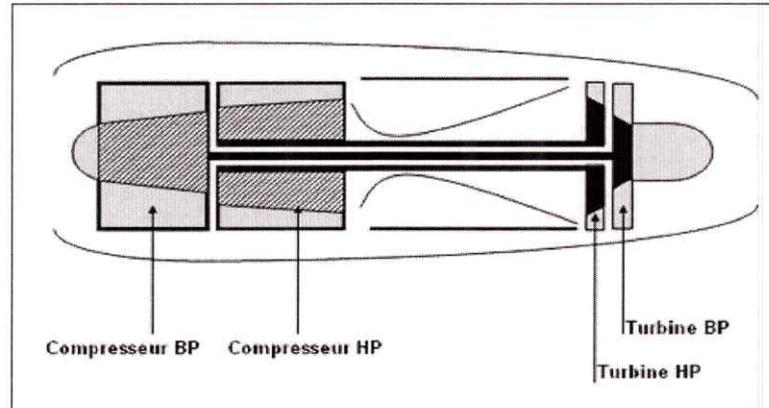


Figure (I.13) Turboréacteurs double-corps.

I.4.3. Turboréacteur simple flux, mono-corps, avec PC:

Cette conception est utilisée surtout sur les moteurs militaires, elle permet d'obtenir des poussées élevées au détriment du potentiel des mobiles tournant.

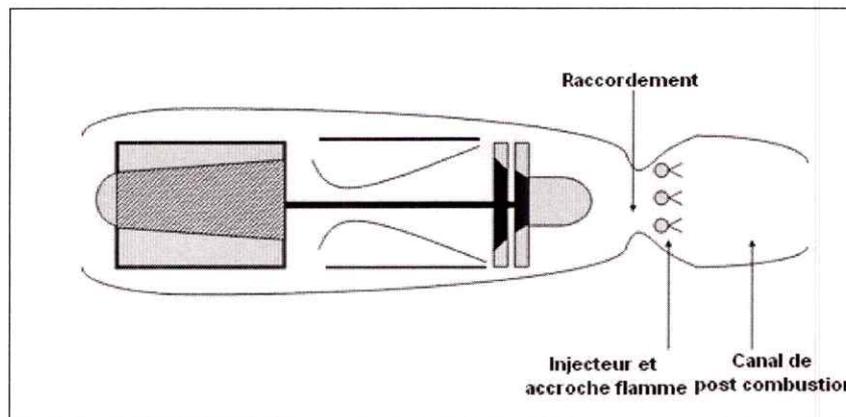


Figure (I.14) : Turboréacteur mono corps.

I.4.4. Turboréacteur simple flux, double-corps, avec PC:

Il existe aussi des moteurs simple flux double corps à PC tel que le moteur équipant le supersonique CONCORDE OLYMPUS 593 avec une poussée de 18,6 tonnes.

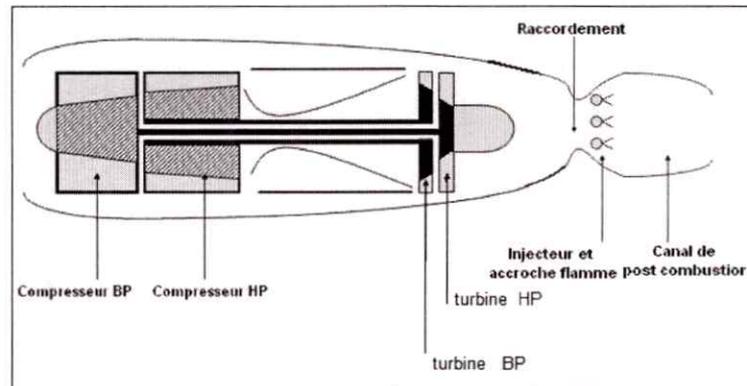


Figure (I.15) : Turboréacteur double-corps, avec PC.

I.4.5. Turboréacteur double flux, double -corps, sec:

➤ Soufflante avant :

Ce moteur est dénommé ainsi car deux flux le traversent, un flux chaud ou interne et un flux froid ou externe. Le fan ou soufflante fait partie intégrale du compresseur basse pression et est entraîné par les turbines basse pression.

Certains constructeurs appellent les moteurs double flux : turbofan.

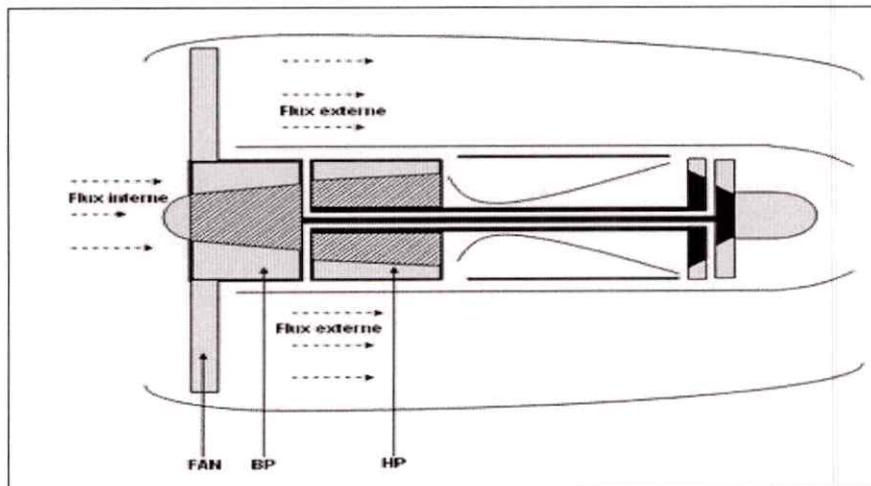


Figure (I.16) : Turboréacteur double-corps, double flux, avec soufflante avant.

➤ Soufflante arrière:

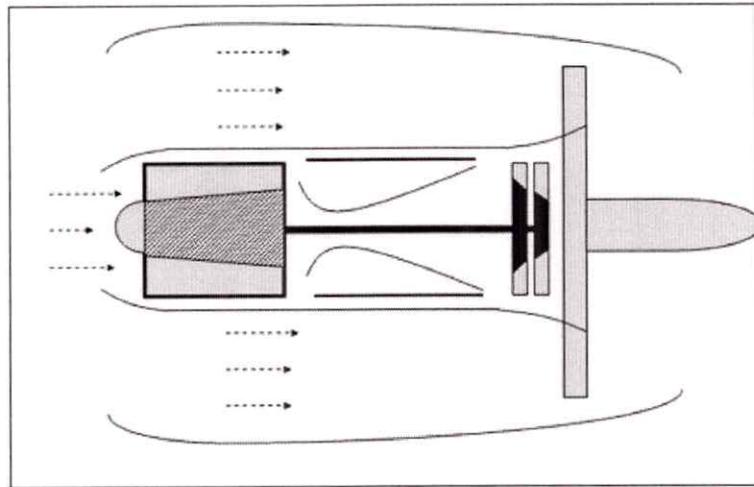


Figure (I.17) : Turboréacteur double-corps, double flux, avec soufflante arrière.

I.5. Les systèmes associés :

Pour avoir un meilleur rendement du moteur, on lui associe des systèmes suivants :

I.5.1. Le circuit de carburant :

Son rôle est :

- Il alimente les injecteurs de la chambre de combustion.
- L'alimentation des deux vérins des vannes de décharge (VBV).
- L'alimentation des deux vérins des stators à calage variable (VSV).
- L'alimentation de la vanne de refroidissement de carter turbine haute et basse pression.
- L'alimentation de la vanne de décharge transitoire (TBV) pour le CFM56-7B.
- Refroidissement de l'huile de graissage moteur.
- Refroidissement de l'huile de graissage alternateur.
- L'alimentation des circuits hydrauliques d'asservissement et de contrôle du régulateur principale carburant (HMU).

Il est constitué d'éléments suivants :

- un réservoir.
- des systèmes de régulation.
- des convections.
- des transmetteurs.
- des filtres.
- des injecteurs.

I.5.2. Circuit de graissage (d'huile) :

Il a pour rôle de :

- ✓ Assurer une protection contre la corrosion.
- ✓ Refroidir les pièces en frottement.
- ✓ Exploitation de la température récupérée pour réchauffer le fuel.
- ✓ Nettoyage des paliers et roulements.

Il est constitué d'éléments suivants :

a. Le réservoir :

C'est l'élément de stockage.

b. Le système de refoulement :

Il contient des pompes de refoulement de type engrenages, un filtre de refoulement et des chips detectors.

c. Le système de récupération :

Il contient des pompes de récupération de type engrenages, un filtre équipé d'un système de détection digitale relié au cockpit et un échangeur de chaleur.

d. La tuyauterie :

Elle contient la distribution et le dégazage, ce dernier nécessite un contact avec l'air ambiant.

I.5.3. Circuit d'allumage :

Deux types sont couramment utilisés :

➤ **L'allumeur chalumeaux** : ce dispositif implique d'une part un circuit auxiliaire d'alimentation de carburant fonctionnant uniquement pendant la période de démarrage et d'autre part des bougies d'allumage haute tension au nombre de deux, montées dans deux chambres opposées.

Chaque bougie d'allumage a sa bobine de transformation.

➤ **L'allumage par bougie à haute énergie** : dans ce système il n'est pas nécessaire d'avoir un circuit auxiliaire d'injection de carburant et on utilise en général une seule bougie fournissant des étincelles discontinues (10/sec) dont l'énergie varie entre 0,12 sous une tension de 1000V et 2 calories sous une tension de 2000V.

Ce dispositif qui tend à remplacer le précédent permet de meilleur allumage à haute altitude.

I.5.4. Le circuit de démarrage :

Le démarrage d'un turboréacteur nécessite les opérations suivantes :

- ✓ Le lancement de l'attelage compresseur-turbine : Le turboréacteur a besoin d'être entraîné par un démarreur jusqu'à ce qu'il ait atteint une vitesse de rotation égale à 20% de sa vitesse nominale. Le démarreur doit ensuite désenclancher automatiquement.
- ✓ Production d'un mélange air-carburant homogène correctement dosé.
- ✓ L'inflammation de ce mélange de façon à atteindre une température suffisante pour que la flamme se maintienne d'elle-même.

Les principaux types de démarreurs utilisés sont :

→ Le démarreur électrique :

Alimenté par le réseau de bord ou par une source extérieure. Un réducteur est intercalé entre son moteur électrique et l'attelage compresseur-turbine.

→ Le démarreur pneumatique :

Partant de ce principe de démarrage deux dispositifs ont été réalisés.

- a). utilisation d'APU (auxiliary power unit) monté à l'arrière de l'appareil.
- b). utilisation du GPU (ground power unit) groupe extérieur généralement utilisé lors du démarrage au sol.

→ le démarreur à cartouche :

Dans laquelle la turbine de démarrage est entraînée par les gaz produits par la combustion d'un combustible comprenant de la nitrocellulose et de la nitroglycérine.

I.6. Etude thermodynamique :

L'étude thermodynamique du turboréacteur nous permet de définir les états au cycle thermodynamique et de déterminer les performances du moteur.

I.6.1. Le cycle d'un turboréacteur :

Le cycle d'un turboréacteur obéit au cycle défini de baryton qui est illustré par la figure (I-18) dans un diagramme (T-S) représentant l'évolution de la température (T) en fonction de l'entropie et de la pression (P).

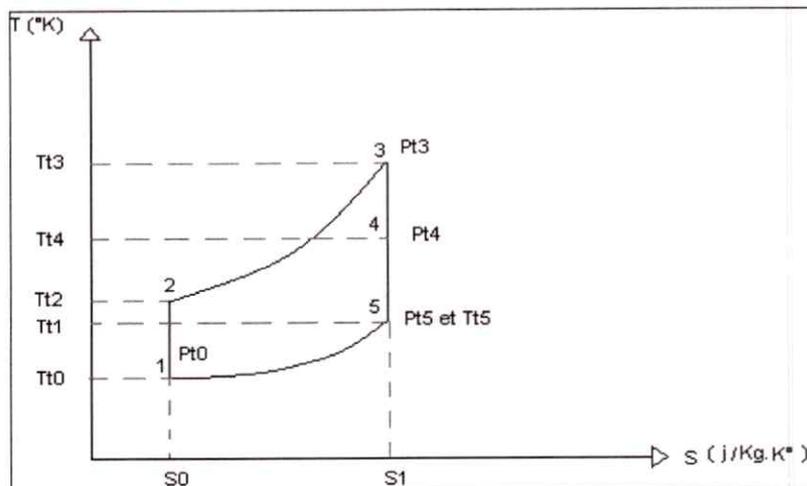


Figure (I.18) : le cycle thermodynamique.

Avec :

T (K) : température des gaz.

S (J / (Kg.k)) : l'entropie des gaz.

P_t : pression total aux différentes stations.

T_t : température totale aux différentes stations.

I.6.2. Explication du cycle :

En effet la transformation de l'état (0 à 1) définit une augmentation de la pression statique suite au freinage de l'écoulement isentropique et adiabatique de l'air dans l'entrée d'air divergente, il en résulte $P_{t0} = P_{t1}$.

Toute fois, le fluide de travail dans la phase (1-2) subit une transformation thermodynamique adiabatique. Lui permettant d'atteindre une pression finale P_{t2} et une augmentation de température totale T_t à l'état 2.

Cependant la transformation (2-3) caractérise la phase d'apport de chaleur du à la combustion à pression constante du mélange air/carburant ce qui nous donne une température élevée à l'état 3.

Dans la phase (3-4) on assiste à une détente adiabatique du fluide de travail qui à pour résultat P_{t4} et T_{t4} tout en produisant une énergie cinétique de rotation dans une roue mobile produisant une énergie mécanique.

La détente de l'air chaud se poursuit dans la phase (4-5) engendre une énergie cinétique qui est à l'origine de la variation de la quantité de mouvement qui assure la propulsion.

I.7. Les performances :

Les performances de la machine se caractérisent par la force de propulsion dite poussé, le rendement thermodynamique et la consommation spécifique.

➤ **La poussée :**

La poussée (N) est produite par la tuyère lors de la détente et l'éjection des gaz et de leurs éjections. Elle dépend du débit d'air et de la différence entre la vitesse d'admission et la vitesse d'éjections est gaz. La poussée est exprimée par la relation ci-dessous lorsque la pression des gaz éjectés est égale la pression ambiante et en négligeant le débit carburant.

$$f_{\text{poussée}} = m \times (v_{\text{sortie}} - v_{\text{entrée}}) \quad (1.1)$$

Avec :

m : débit massique (Kg /s).

v_{sortie} : vitesse d'éjection des gaz (m/s).

$v_{\text{entrée}}$: vitesse d'admission dans le moteur (m /s).

➤ **La puissance calorifique :**

C'est la puissance totale produite pendant la combustion du carburant dans la chambre de combustion, elle est sous forme de chaleur. Elle représente l'énergie dépensée, cette puissance dépend essentiellement du débit carburant et du pouvoir calorifique spécifique.

$$Q = m_{\text{fuel}} \times P_{\text{ci}} \quad (1.2)$$

Avec :

m_{fuel} : débit carburant (Kg /s).

P_{ci} : le pouvoir calorifique du carburant, pour le kérosène le P_{ci} à une valeur de $P_{\text{ci}}=44800$ KJ/Kg.

➤ **La puissance propulsive :**

C'est la puissance de propulsion autrement dit la puissance qui permet le déplacement de l'engin, elle dépend de la poussée produite et de la vitesse de déplacement de l'avion.

$$P_p = f \times v \quad (1.3)$$

Avec :

f : la poussée (N).

$v = v_{\text{entrée}}$: la vitesse de l'avion (m/s).

➤ **La puissance utile :**

Cette puissance correspond à la transformation de l'énergie de chaleur disponible en travail, autrement dit-elle représente l'augmentation de l'énergie cinétique du fluide.

$$W_u = \frac{1}{2} m (v_{\text{sortie}}^2 - v_{\text{entrée}}^2) \quad (1.4)$$

Avec :

m : débit massique de l'air passant dans le moteur, le débit du carburant étant négligeable (Kg/s)

➤ **Le rendement propulsif :**

C'est le rapport de la puissance propulsive par la puissance utile et donc nous renseigne sur la quantité de travail récupérée qui est utilisée pour la propulsion.

$$\eta_p = P_p / W_u \quad (1.5)$$

➤ **Le rendement thermodynamique :**

C'est le rapport de l'énergie propulsive par l'énergie calorifique qui exprime la quantité utilisée pour la propulsion de l'avion par rapport à l'énergie totale produite par le turboréacteur.

$$\eta_{th} = W_u / Q \quad (1.6)$$

➤ **Le rendement total :**

C'est le produit de rendement propulsif et le rendement thermodynamique.

$$\eta_t = (P_p / W_u) \times (W_u / Q) = P_p / Q \quad (1.7)$$

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LA CHAMBRE DE COMBUSTION ET LA COMBUSTION

1-La chambre de combustion

2-La combustion

3-Le combustible

II.1. La chambre de combustion :

II.1.1. Introduction :

La chambre de combustion est un élément très important du moteur, d'elle dépendent les performances et le rendement du moteur.

La chambre de combustion a pour rôle d'élever la température de l'air, par la combustion d'un carburant. Cette température doit être compatible avec les exigences des matériaux de la turbine.

II.1.2. Définition de la chambre de combustion :

C'est le lieu où la combustion est réalisée. Elle vient juste après le compresseur qui fournit de l'air comprimé. Ce dernier mélangé avec le carburant, pulvérisé par des injecteurs et brûlé grâce à l'étincelle de l'allumeur. De ce fait une réaction chimique se produit transformant ainsi l'énergie chimique en énergie calorifique prête à attaquer le rotor turbine.

Les chambres de combustion sont conçues :

- Pour brûler un mélange d'air et de kérosène et permettre ainsi la transformation la plus complète possible de l'énergie chimique en énergie calorifique (moins d'imbrûlés possible donc moins polluant).
- Pour diriger les gaz résultant de la combustion vers la turbine, qui doivent atteindre une température ne dépassant pas les limites prévues.
- Pour donner à ces gaz et en un très court espace, une très grande accélération d'où :
 1. La puissance nécessaire à l'entraînement du compresseur et des servitudes (par l'intermédiaire de la turbine).
 2. La poussée propulsive.
- Pour que la perte de pression subie par les gaz, soit réduite au minimum.

II.1.3. Les exigences sur la chambre de combustion :

Les constructeurs étudient les formes des chambres de combustion pour répondre aux critères ci-dessous :

- Minimiser l'encombrement.
- Réduire les pertes de charge.
- Assurer la combustion, la plus complète possible dans tous les domaines d'utilisation.
- Éviter le dépôt de carbone sur les brûleurs et les parois.
- Éviter les déformations et criques des parois suite à des chocs thermiques subits.
- Assurer une répartition de la température non néfaste sur les aubes de la turbine.

II.1.4. Description de la chambre de combustion :

La chambre de combustion se compose d' :

- Un carter de raccordement à la veine d'air du compresseur (ce carter est souvent appelé carter intermédiaire) dans lequel se trouvent les injecteurs (cône divergeant).
- Un ou plusieurs tubes à flamme dans le ou lesquels séjourne la flamme.
- Une enveloppe externe et une autre interne dans laquelle passe l'arbre compresseur turbine.
- Un carter de raccordement au premier étage de turbine.

II.1.4.1. Cône divergent :

Pour diminuer la vitesse de l'air sortant du compresseur. La chambre de combustion est munie d'un cône divergent.

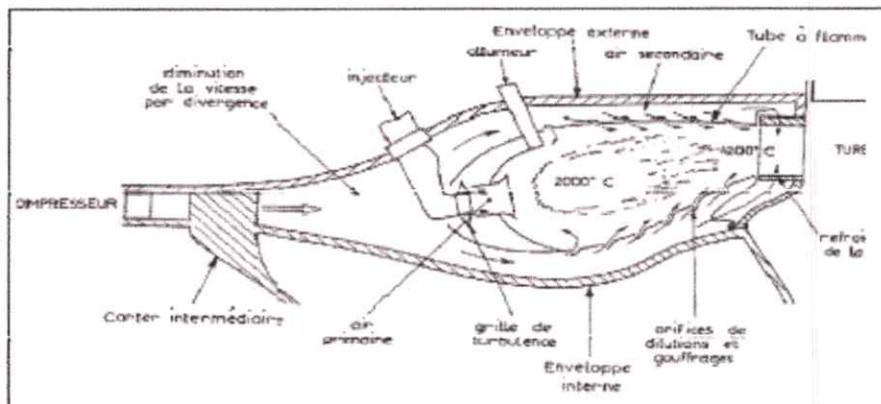


Figure (II.1) : les éléments de la chambre de combustion.

II.1.4.2. Le tube à flamme :

C'est le siège de la flamme, c'est là où se fait la combustion. Pour ce la il est fabriquée avec des matériaux résistants à de très grandes températures.

II.1.4.3. L'enveloppe externe :

C'est le carter qui couvre le tube a flamme de l'extérieur et permet le refroidissement de ce dernier. Il est conçu à partir des matériaux résistants à la température, en générale c'est de l'acier spécial, nickel, chrome.

II.1.5. Fonctionnement de la chambre de combustion :

Le volume de la chambre limite le temps de séjour du gaz et de ce fait le temps pendant lequel il pourra brûler. Toute fois étant donné les contraintes de place liées à la longueur du moteur et à son poids elle ne peut pas excéder une certaine taille.

Elle est divisée en trois zones principales : zone primaire, zone secondaire et de dilution.

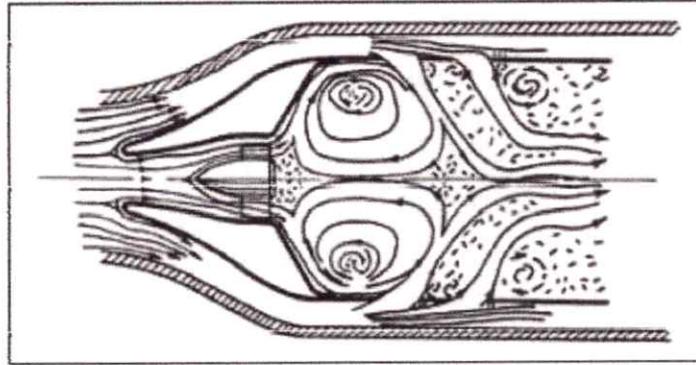


Figure (II.2) : tourbillonnement dans la chambre de combustion.

La zone primaire permet au combustible de se vaporiser. Ce dernier est injecté sous forme de petites gouttelettes et vaporisée pour faciliter l'inflammation. Les mouvements d'air permettent :

- ✓ d'avoir une meilleure combustion.
- ✓ d'homogénéiser la combustion.
- ✓ de diminuer la quantité des imbrûlées.

Dans les deux zones suivantes, on peut observer la présence de courants d'air. Ils ont pour but de :

- ✓ canaliser l'écoulement pour que toutes les particules fluides sont mélangées avec l'air secondaire et tertiaire dans la zone secondaire et de dilution.
- ✓ centrer le mélange enflammé pour refroidir les parois.
- ✓ assurer la combustion la plus complète au fluide présent à la périphérie de la flamme et homogénéiser un peu plus le mélange.
- ✓ éviter que les aubes de turbine soient en contact avec des gaz trop chauds et confrontées à des points chauds résultants d'un mélange non parfait.

II.1.6. Les types des chambres de combustion :

Suivant la forme de la chambre de combustion, il existe quatre types de chambre qui sont :

- Chambre individuelle (séparée).
- Chambre annulaire.
- Chambre tubo-annulaire (mixte).
- Chambre inversée.

II.1.6.1. La chambre séparée :

Ce type de chambre de combustion fut le premier à être adopté vu la facilité de mise au point ainsi que son interchangeabilité.

Elle est constituée de deux tubes concentriques, l'enveloppe interne et le tube à flamme. Les chambres individuelles sont placées derrière le compresseur et réparties autour de l'axe longitudinal du réacteur.

L'intercommunication qui permet au démarrage la propagation de la flamme à toutes les chambres à partir des deux chambres positionnées à 8h et à 4h qui disposent de bougies d'allumage.

Le débit d'air à la sortie du dernier étage du compresseur est divisé en plusieurs courants et conduit à l'intérieur de chacune des chambres de combustion, réparties circonférentiellement autour de l'axe du réacteur entre le compresseur et la turbine.

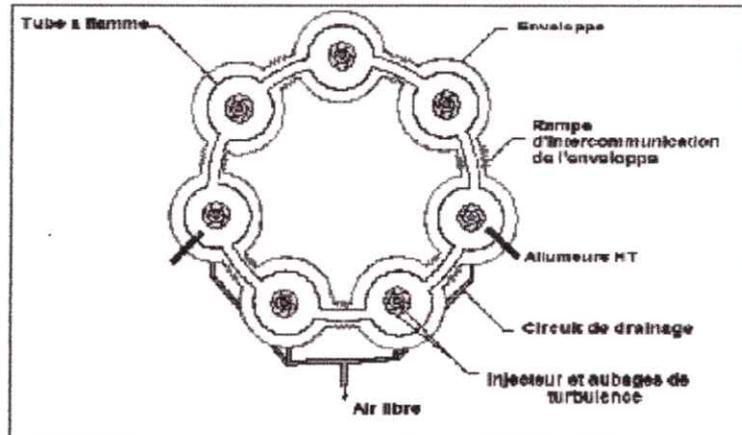


Figure (II.3) : coupe transversal des chambres individuelles.

Dans le montage en chambre séparée toutes les chambres communiquent entre elles par un orifice d'intercommunication (une rampe) qui a pour rôle :

- La propagation de la flamme
- Homogénéiser la combustion

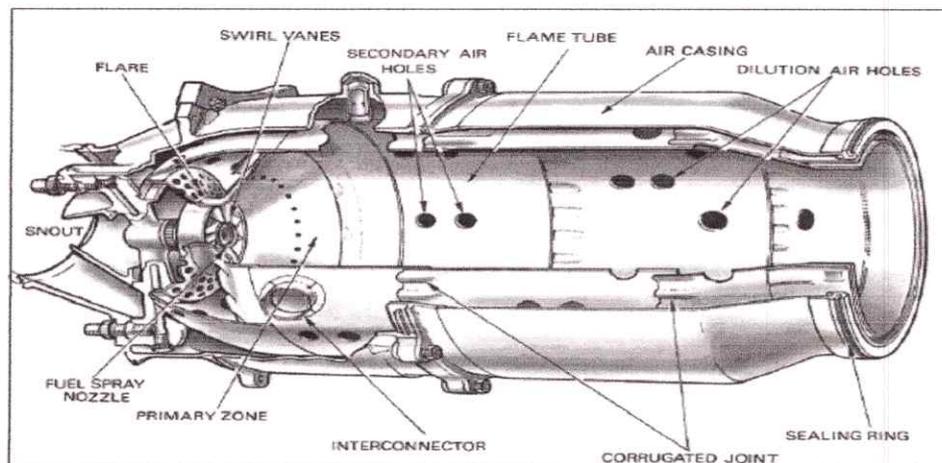


Figure (II.4) : la chambre de combustion individuelle.

Elle présente de nombreux avantages :

- maintenance et conception facile.
- la sécurité.

Mais elle présente les inconvénients suivants :

- ✓ un rendement de combustion moyen du fait qu'il n'occupe pas au mieux le volume disponible à la combustion sur la machine.
- ✓ l'encombrement et beaucoup de poids.

II.1.6.2. La chambre annulaire :

Une chambre de combustion annulaire est composée de deux tubes concentriques recevant dans l'espace annulaire formé par les deux enveloppes interne du tube à flamme ou se présente une série des injecteurs disposés tout autour de la section d'entrée du tube à flamme. Le tube à flamme est enveloppé par le carter interne. Pour assurer l'allumage, deux allumeurs sont disposés à 11h et 1h entre deux injecteurs consécutifs pour assurer l'allumage et former un anneau de flamme dans la chambre de combustion.

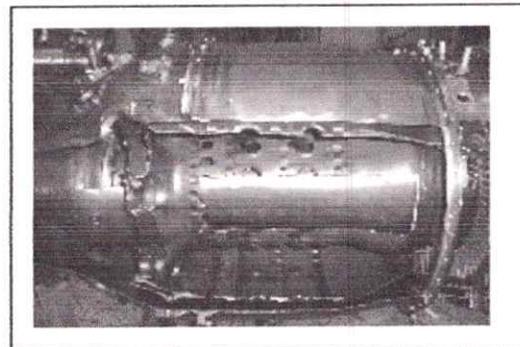
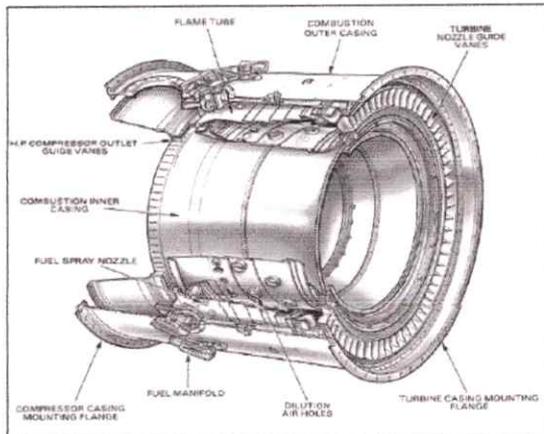


Figure (II.5) : la chambre de combustion annulaire.

Figure (II.6) : photo d'une coupe longitudinale des chambres Annulaire (ATAR).

Ce type de chambre présente comme avantages :

- faible encombrement.
- perte de charge réduite au minimum.
- gain de poids, maître couple plus faible.
- système d'allumage plus simple (1 seule bougie, pas de tube d'interconnexion).
- le rendement est meilleur que celui de la chambre tubulaire puis qu'elle occupe le plus l'espace alloué à la combustion par la machine.

Par contre sa mise au point présente quelques difficultés concernant surtout :

- La symétrie de l'écoulement de l'air par rapport aux injecteurs.
- La régularité du débit d'air total.
- Elle est très difficile à réaliser car elle exige un personnel qualifié pendant les opérations de remise en état et d'entretien.

II.1.6.3. La chambre mixte :

Elle est constituée d'un ensemble de tubes à flamme entourée de deux enveloppes interne et externe formant un espace annulaire où circule l'air secondaire. La combustion s'effectue dans des tubes à flamme séparés, chaque tube reçoit un injecteur permettant de contrôler la combustion.

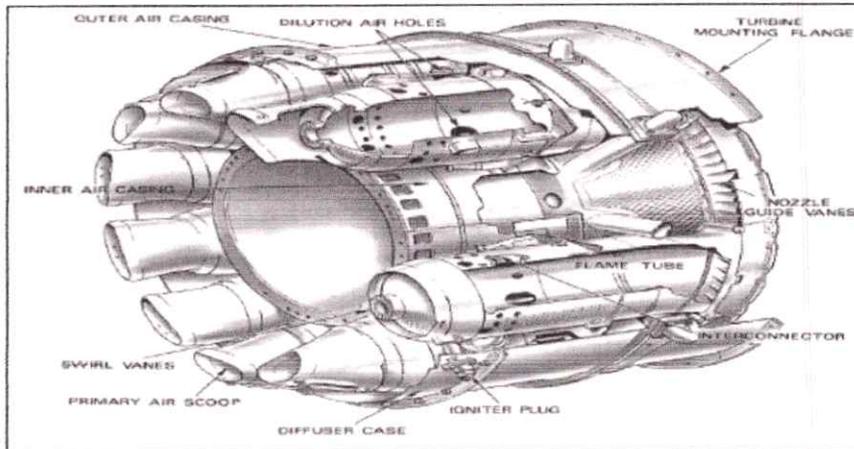


Figure (II.7) : la chambre de combustion mixte.

Ce type de chambre réunit les avantages des deux types précédents et élimine leurs inconvénients :

- On peut inspecter assez facilement les tubes à flamme.
- ils peuvent être interchangeables sans démonter le réacteur.
- permet de réduire au minimum la chute de pression de flux gazeux entre la sortie et la zone de flamme.
- elle assure à l'entrée turbine une distribution de gaz d'égale température.

II.1.6.4. La chambre inversée :

Ce type de chambre est très utilisé sur les machines dont les débits de masse sont relativement faibles comme les GTR de puissance moyenne ou les APU. Ces derniers sont généralement dotés de compresseurs centrifuges.

Cette chambre est nommée à flux inversé car la combustion se déroule en sens inverse au débit d'air issu du compresseur. Les gaz de combustions sont ensuite ramenés parallèlement à l'axe de la machine afin de se présenter convenablement au stator de la turbine.

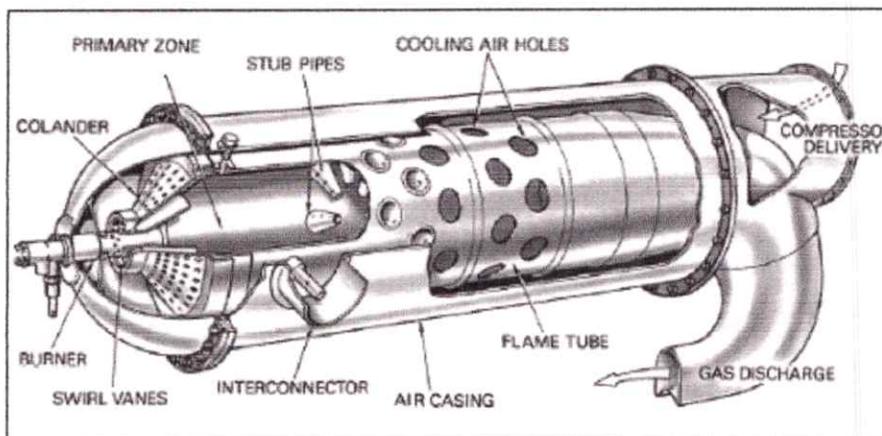


Figure (II.8) : la chambre de combustion inversée.

Cette configuration permet de réduire l'encombrement longitudinal de la chambre de combustion tout en favorisant l'échange thermique.

II.1.7. La pollution :

L'ordre de la combustion, les produits de combustion complète se limite aux dioxydes de carbone et l'eau, mais à haute température l'azote contenu dans l'air forme des dioxydes d'azote rassemblé en appellation unique NO_x . D'autre part aux faibles régimes le dioxyde de carbone CO_2 se décompose en 2CO ou monoxyde de carbone.

Ce ne sont pas les seuls polluants car la combustion produit également des imbrûlés ou molécules d'hydrocarbure HC_x n'ayant pas participé à la réaction chimique. Ces différents polluants sont classés en fonction des régimes auxquels ils apparaissent avec les effets, ce qui est présenté dans le tableau ci-dessous.

Régime de rotation	polluants	Effets
Faibles	CO	Toxicité
Faibles	HC_x	Toxicité, odeurs, brouillard.
Forts	NO_x	Toxicité, pluies acides, brouillard. Diminution de la couche d'ozone.
Forts	Fumées	Visibilité.

Des études sont en cours pour mesurer l'influence du CO_2 et de l'eau sur l'effet de serre.

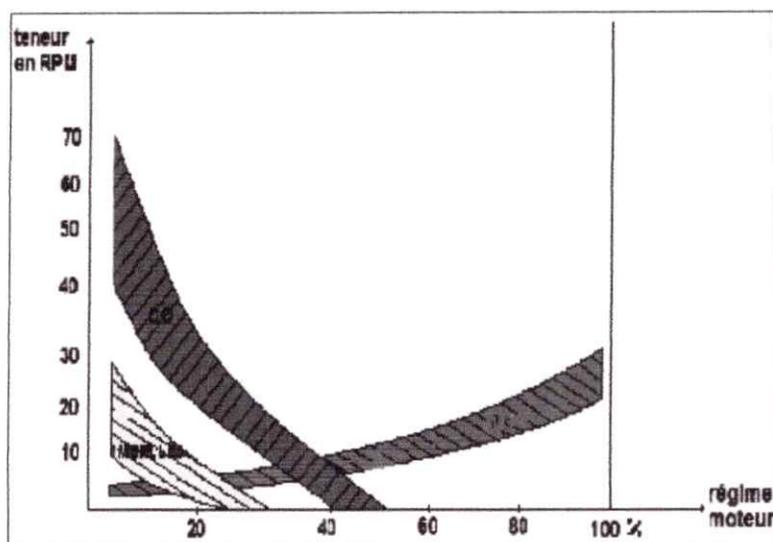


Figure (II.9) : graphe de la teneur de CO imbrûlé et NO_x .

En examinant la répartition de ces différents polluants au cours d'un vol type (décollage, montée descente, approche) on constate quand le moteur est utilisé en fort régime, que le NO_x représente environ 70% de la masse totale des polluants.

L'OACI a donc émis des recommandations en normes à partir du 01 /01/1996 pour réduire la masse des polluants émis pour un taux de 20% et de 40% de NO_x à partir de 1999 pour les moteurs de nouvelle et future générations.

Des solutions technologiques sont adoptées par les motoristes et proposent des chambres séparées en deux modules chacun optimisé pour réduire son polluant. Ils sont de conception onéreuse connue sous le nom de chambres **DAC** et satisfaisant les exigences dictées par les normes de l'OACI.

Dans ce type de chambres des injecteurs spéciaux sont utilisés avec une double rampe d'injection ce qui se justifie leur coût et maintenance plus élevé de 5% par rapport à la chambre SAC classiques.

Tout fois ça reste un arrangement incontournable lors des tractions commerciales liées à la vente de moteur.

II.1.8. Système d'injection et les injecteurs :

L'ensemble des problèmes liés aux différents types d'injecteurs, est les différentes contraintes et critères à respecter, dont la stabilité de la flamme qui constitue un élément essentiel au bon fonctionnement du moteur. L'étude se découpe en deux points, Un travail sur le fluide injecté puis sur les caractéristiques de l'injecteur.

II.1.8.1. Les injecteurs :

Parmi les éléments principaux qui constituent une chambre de combustion on trouve l'injecteur, son rôle essentiel est d'alimenter la chambre de combustion en carburant sous pression, en le pulvérisant en fines gouttelettes pour garantir un bon mélange air combustible tout en minimisant la production des polluants.

Il existe plusieurs type d'injecteurs, on rencontre alors l'injecteur simple et duplex.

a. L'injecteur simple :

Injecte un seul débit en une seule section.

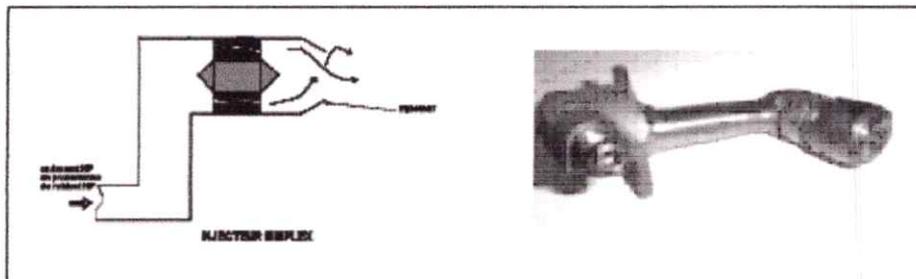


Figure (II.10) : injecteur simple.

b. L'injecteur duplex :

Présente deux sections d'injection concentriques de section différentes.

➤ La 1^{ère} section ;(débit primaire ou débit de base) :

Dans les gammes de faibles poussées, le débit de carburant et pour avoir une pulvérisation correcte, l'injection se fait par les gicleurs primaires de section relativement petite.

➤ La 2^{ème} section ;(débit secondaire ou débit principale) :

Pour atteindre les gammes de moyennes et fortes poussées, il faut augmenter le débit de carburant.

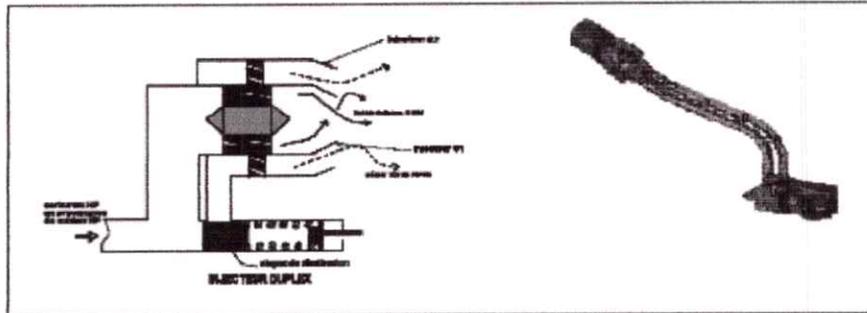


Figure (II.11) : injecteur duplex.

L'augmentation de pression qui en résulte amène l'ouverture d'un clapet de distribution augmentant ainsi progressivement la section d'injection et assurant le débit secondaire par une série d'orifices.

II.1.8.2. Le système d'injection :

A. Fluide injecté :

Le trajet de fluide injecté doit être particulièrement bien maîtrisé pour que les injecteurs travaillent au mieux. La majorité du fluide injecté doit d'être consommée pour assurer un bon fonctionnement de la chambre de combustion et donc une poussée optimale du moteur.

Le carburant est injecté sous formes de gouttelettes afin d'augmenter la surface d'interface entre les gaz chauds et le combustible. Si le combustible arrive dans la chambre sous formes d'un simple film liquide, la combustion est alors loin d'être totale.

B. Dispositif d'injection :

Pour obtenir une bonne combustion, il est nécessaire pour le combustible d'être injecté dans la chambre sous une forme gazeuse.

Il existe deux méthodes d'injection :

- l'injection directe.
- l'injection avec pré vaporisation.

➤ L'injection directe :

Le combustible est introduit directement dans la chambre de combustion par l'injecteur. Habituellement l'injection se fait dans le sens de l'écoulement gazeux, mais elle peut aussi se faire à contre courant. Ce dernier procédé assure une meilleure pulvérisation par suite des chocs sur les molécules d'air.

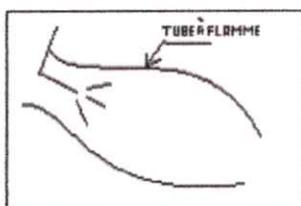


Figure (II.12): injection sens courant.

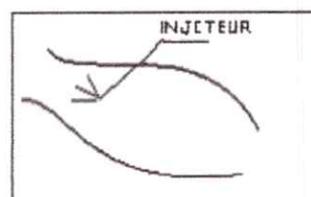


Figure (II.13) : injection à contre du courant.

Dans l'injection directe le combustible traverse l'injecteur en passant dans une chambre de combustion de tourbillonnement et sort animé d'un mouvement de rotation par un orifice de petit diamètre. Le jet prend une forme conique et s'éclate en fines gouttelettes, on augmente aussi la surface de contact entre le combustible et l'air ce qui facilite et améliore les réactions de combustion.

En cours d'exploitation la qualité de l'injection peut changer du fait de l'encrassement des injecteurs et il y a lieu de surveiller particulièrement :

- La forme du jet (angle de dispersion) dont dépend la réparation du mélange.
- La grosseur des gouttelettes :
 - trop fines on a localement un front de mélange trop riche, d'où instabilité de la flamme.
 - trop grosses elles ne s'enflamment pas ou s'enflamment bien en arrière du brûleur et la combustion peut se continuer dans la turbine.

L'injection doit se faire à pression élevée si l'on veut obtenir une bonne pulvérisation qui facilite la vaporisation du mélange.

➤ L'injection avec pré vaporisation :

Ce système est utilisé en particulier sur le réacteur SAPHIRE J.65. Son principe de fonctionnement est le suivant :

L'injecteur pulvérise le combustible dans un ou plusieurs tubes appelés « tuyère de mélange », la vaporisation s'effectue à l'intérieur de ceux-ci et le mélange carbure brûlés à la sortie du tube en arrivant dans la chambre de combustion. Ce dispositif qui permet d'augmenter le taux de combustion est d'une mise au point délicate.

II.1.9. Amélioration de la pulvérisation :

Pour améliorer la pulvérisation et de diminuer ainsi l'émission des polluants, les injecteurs sont placés dans un support d'ailettes de turbulence, dont l'enveloppe externe définit un convergent divergent ou l'injection se fait au col puisque la vitesse se trouve maximale ; ce qui crée une zone de dépression qui améliore la vaporisation et réalise un mouvement tourbillonnaire à l'aide de chicane qui améliore un bon brasage air/carburant pulvérisés.

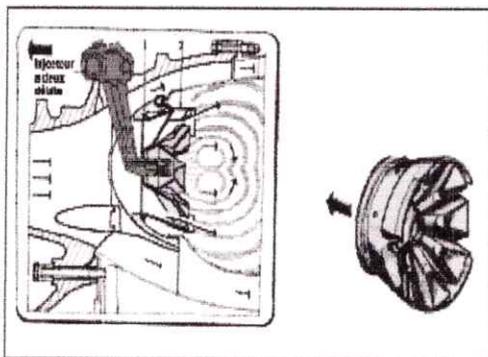


Figure (II.14) : coupe longitudinale du tourbillonnaire.

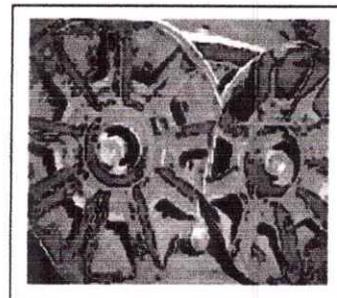


Figure (II.15) : photo du tourbillonnaire.

II.1.10. Les matériaux utilisés :

La chambre de combustion ainsi que les turbines sont à l'origine de la limitation de puissance des moteurs. La température de la chambre de combustion est de 850°C. Si on pouvait l'augmenter jusqu'à 1250°C on obtiendrait 20% de gain sur la poussée du moteur. Il est donc très important d'avoir des matériaux particulièrement résistants aux hautes températures.

Développer de tels matériaux permette non seulement d'améliorer les performances du moteur, mais aussi simplifier les systèmes de refroidissement. Les matériaux généralement utilisés en aéronautique sont les superalliages à base de nickel et de chrome. Ils satisfont plus ou moins les exigences suivantes :

- Une bonne résistance au fluage
- Une bonne résistance à la corrosion
- Une stabilité à chaud de la structure et l'absence d'une fragilité excessive.
- Des facilités de fabrication : bonne forgeabilité pour les aciers moulés.
- Une bonne soudabilité et une facilité de réparation lorsqu'il s'agit de tôles qui servent à la préparation d'ensembles chaudronnés.

En générale les tubes à flamme sont en acier spéciaux réfractaires composés essentiellement de nickel, chrome, ceux-ci doivent aussi résister aux fortes corrosions dues aux hautes températures. Les aciers employés sont généralement des aciers spéciaux de la classe Nimier, ou alliage rené (78 ou 80).

II.1.11. Les techniques de refroidissement :

➤ Refroidissement interne dans les canaux :

Il consiste à faire circuler le fluide de refroidissement dans le micro canaux lisses à l'intérieur de la paroi. Leur implantation près de surface exposée au flux permet de bien évacuer la chaleur.

Les premières chambres de combustion refroidies l'ont été avec des canaux cylindriques.

Les présentent l'avantage de répartir de manière homogène la température dans la pièce et d'augmenter les échanges convectifs.

➤ Refroidissement par ablation :

Le refroidissement par ablation utilise un thermodégradable qui se sublime en absorbant de la chaleur pour former un film isolant à paroi du fluide chaud.

➤ Refroidissement par film :

Cette technique, apparue dans les années 60, consiste à émettre de l'air de refroidissement par des rangées de trous cylindriques ou non, (de quelques dixièmes de mm), ou des fentes perpendiculaires au trajet des gaz de combustion, pour qu'un film protecteur de fluide « froid » développe entre les gaz chauds et la paroi à refroidir. Cette protection se dégrade progressivement, de l'émission jusqu'au bord de fuite.

➤ Refroidissement par transpiration :

Une fabrication originale. Initialement élaborée pour refroidir les chambres de combustion consiste à superposer des lamelles préalablement gravées, puis à les assembler. On obtient un matériau poreux et le refroidissement s'effectue par transpiration (ou effusion. Celui-ci assure, d'une part, le refroidissement interne du matériau, et d'autre part, la protection de sa surface, grâce à l'établissement d'un film dont l'efficacité du refroidissement est pratiquement constante sur toute la surface. Bien que prometteuse sur le plan de la réduction du débit de refroidissement, cette méthode possède un coût de production élevée.

II.2. La combustion :

La combustion est une réaction chimique, globalement exothermique, relativement lente au début mais pouvant devenir très rapide voire même violente, avec émission de rayonnements et élévation de température. On peut dire que la réaction de combustion est globalement une réaction d'oxydoréduction, où l'oxydant est appelé comburant et le réducteur combustible. Cette réaction comprend en réalité un grand nombre de réactions dit élémentaires, les unes consommant de la chaleur, les autres dégageant de la chaleur.

II.2.1. Les réactifs :

Dans la majorité des cas le combustible est sous forme liquide, gazeuse ou solide. Tant que le comburant et généralement de l'air ou l'oxygène gaz ou liquide.

Dans le domaine des fusées on utilise les termes de propergol pour désigner l'ensemble combustible/comburant, on parle d'ergol quand on désigne un des constituants ou monergols pour une substance contenant simultanément les deux espèces.

Lorsque la combustion vive démarre spontanément, dès que les deux constituants sont mis en contact dans les conditions normales de température et pression, le mélange réactionnel est dit **hypergolique**.

La diversité des milieux réactionnels rend difficile la mise en évidence des caractères communs des combustions ainsi réalisables. C'est dans les processus chimiques intimes que les travaux de (combustion fondamentale) s'attachent à trouver des analogies. La discipline de base avec laquelle sont abordées ces études est la **cinétique chimique** qui est mieux connue dans le domaine des combustions en phase (I) gazeuse.

II.2.2. Problèmes posés :

En résumé, il faut :

- Etablir et maintenir la flamme dans une gamme très étendue de température, pression et vitesse.
- Protéger les pièces.
- Obtenir un bon rendement, une bonne fiabilité avec une chambre légère et peu encombrante.

II.2.3. Conditions nécessaires :

Il faut :

- une pression minimale dans la chambre.
- une température minimale du mélange air/combustible.
- une pulvérisation fine du carburant à tous les débits.
- diminuer la vitesse de l'air à l'entrée de la chambre.
- créer de fortes turbulences.
- respecter le dosage.
- un allumage au départ.
- diluer les gaz de combustion.
- refroidir les parois.

II.2.4. Vue d'ensemble sur les phénomènes de combustion :

II.2.4.1. La combustion :

La combustion comprend deux phénomènes essentiels qui sont :

- l'auto inflammation.
- la propagation.

Le deuxième phénomène, s'il existe, est la conséquence du premier. Nous allons préciser ces définitions en considérant un milieu réactionnel gazeux dont l'état est défini par les trois paramètres physique :

- pression P.
- température T.
- concentration en combustible C, ou plus généralement composition des réactifs.

➤ Auto inflammation :

A. Définition :

Si l'un des trois paramètres P, T ou C a une valeur inférieure à une certaine valeur dite (critique), le milieu réactionnel est le siège d'un processus d'oxydation lente, et on ne peut avoir d'emballement de la réaction.

Si les trois paramètres P, T et C atteignent ou dépassent un certain seuil critique, on a une auto- inflammation. L'oxydation lente, exothermique, s'est auto- accélérée jusqu'à l'emballement.

L'auto- inflammation est dite aussi explosion, à ce mot étant associée la notion rigoureuse d'emballement d'une réaction chimique, l'explosion caractérise aussi bien le soufflage d'un bâtiment dû à une combustion très rapide que l'onde de pression provoquée par la rupture d'un robinet de bouteille de gaz comprimé. Ce dernier phénomène n'ayant rien à voir avec une réaction chimique.

L'auto- inflammation, première manifestation de la combustion, peut être localisé ou non.

B. Température et délai d'auto- inflammation :

Un mélange homogène combustible- comburant ne s'enflamme spontanément que pour des conditions de température, pression et concentration en combustible déterminées.

Dans la pratique courante où les combustions s'effectuent au voisinage de la pression atmosphérique ou sous des pressions modérées, le paramètre le plus utilisé est la température d'auto- inflammation, connue davantage sous désignation de température d'inflammation. Pour une pression donnée, le mélange (explosif) est porté à la température d'auto- inflammation, celle-ci intervient dans tout le volume concerné. Cependant, l'explosion ne se produit qu'à un certain temps après l'instant où la température limite est atteinte. Ce laps de temps est appelé délai d'auto- inflammation.

➤ La propagation :**Définition :**

L'auto inflammation ayant été déclenchée, il peut y avoir ou non propagation de la réaction de combustion dans le reste du mélange.

Les conditions régissant l'installation de la propagation sont de deux ordres :

A. condition internes au mélange réactionnel :

La propagation de la combustion ne peut s'installer que si les trois paramètres P, T et C atteignent ou dépassent un certain seuil critique. Il suffit que l'un d'entre eux ne réponde pas à cette condition pour qu'il n'y ait pas de propagation.

Signalons que les seuils critiques correspondant à la propagation ne sont pas nécessairement indépendants de ceux correspondants à l'auto inflammation.

b. conditions externes ou mélange réactionnel :

La nature du réacteur est susceptible d'intervenir dans le phénomène de propagation :

◆ Effet de paroi. D'une manière générale, aucune propagation ne peut s'effectuer au voisinage immédiat d'une paroi : c'est ce qui explique en grande partie les émissions d'imbrûlés émanant des véhicules automobiles.

Ce phénomène peut être dû à une captation de chaleur empêchant l'emballement local de la réaction d'oxydation ; mais il est surtout attribué à la captation d'espèces actives qui assurent la propagation.

◆ Phénomène de coincement. Au voisinage immédiat de chacune des parois constituant le réacteur, se produit le phénomène précédent. Si on rapproche les parois l'une de l'autre, c'est dire si le milieu réactionnel devient de plus en plus confiné, il arrive un moment où la propagation de la combustion n'est plus possible, bien que le mélange présente les caractéristiques intrinsèques assurant normalement la propagation.

Il y a alors extinction, ou mieux coincement de la réaction. La distance minimale de deux parois en deçà de laquelle une combustion ne peut se propager est la distance de coincement.

Ce phénomène est mis à profit dans les dispositifs de sécurité du type « arrêt de flamme »

II-2.5. La réaction de combustion :

La réaction de combustion est un phénomène physicochimique qui met en jeu les réactifs d'une part et les produits d'autre part à des quantités relatives de combustible et de comburant.

Si le rapport est comparé à un rapport de référence de dosage, pour le quelle on a la quantité minimale théorique nécessaire pour oxyder complètement le combustible alors la richesse définit ainsi conduit en un mélange.

Si la **richesse** = 1 le mélange est stoechiométrique.

Si la **richesse** > 1 le mélange est riche en combustible et pauvre en air.

Si la **richesse** < 1 le mélange est pauvre en combustible et un excès air.

Selon le mélange qu'on veut réaliser on peut avoir alors un type de réaction suivante :

Reaction complète:



Reaction oxydante:



Reaction reductrice /incomplete



Pour le kérosène qui a pour composition chimique proche de l'heptane, la combustion théorique complète a un rapport combrevore air/carburant de l'ordre de 15, ce qui caractérise le dosage théorique pour un dosage réel d'un rapport de richesse r donnée par :

$$r = \frac{\text{dosage}_{\text{réel}}}{\text{dosage}_{\text{théorique}}} \quad (II.6)$$

Exemple n° 1 :

Dosage réel = 1/ 20

$$r = (1/20) \times (15/1) = 0,75$$

Exemple n° 2 :

Dosage réel = 1/ 10

$$r = (1/10) \times (15/1) = 1,5$$

C'est aussi pour cette raison, que le constructeur raccorde la veine d'air compresseur a la chambre de combustion par un conduit a section divergente.

De par la construction, le constructeur s'arrange donc pour que la vitesse soit inférieure à la vitesse de propagation.

Seule le paramètre pression minimale d'inflammation influe donc au niveau de l'opération, le constructeur donne alors une courbe garantissant le démarrage en vol que nous verrons dans le chapitre « démarrage ».

II.2.7. Facteurs régissant la combustion :

Taux de combustion :

C'est la puissance calorifique mise en jeu dans l'unité, de volume d'une chambre de combustion. On l'exprime en KW par m³.

➤ **Le temps :**

Ce facteur est lié à la vitesse, il faut en effet laisser le temps à la réaction chimique de s'effectuer afin de la rendre la plus complète possible.

➤ **La température :**

Pendant la première phase de la combustion, il est nécessaire d'obtenir une température élevée afin d'obtenir le rayonnement le plus intense possible. Ce rayonnement est d'autant plus grand que la richesse du mélange est élevée. En effet, se sont les particules de carbone qui portées a incandescence donnent à la flamme une couleur jaune.

Plus la richesse du mélange est élevée, plus la production d'imbrûlés est importante.

➤ **La turbulence :**

Afin d'homogénéiser au maximum le mélange, les constructeurs ont recours a des aubages de turbulence. Ces dernières mettent en mouvement l'air permettant un meilleur brasage, afin d'offrir le plus de contacts possible avec les très fines gouttelettes de carburant. Cette turbulence doit être créée avec soin afin de ne pas perturber le fonctionnement de la chambre. Cette turbulence est le fait que l'on utilise l'air de refroidissement pour créer un film fluide, se traduisant par de légères pertes de charge.

➤ **La vitesse de propagation de la flamme :**

Considérons un mélange carburé immobile et amorçons la combustion en un point. Nous aurons une réaction chimique exothermique. Qui échauffera les molécules autour du point d'amorçage jusqu'à une température à laquelle la réaction chimique se déclenchera spontanément.

Cette nouvelle réaction chimique, chauffera une nouvelle couche de molécules qui proche, propagation de la flamme à l'ensemble du mélange carburé. Cette propagation s'effectue à une vitesse qui dépend de la richesse, de la pression et de la température du mélange.

On rapporté sur le diagramme, l'évolution réelle et théorique du fluide dans le compresseur.

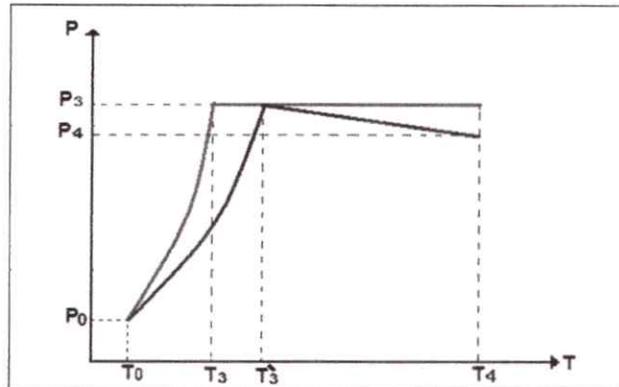


Figure (II.20) : courbe qui montre L'évolution réelle et théorique du fluide dans le compresseur.

➤ **Travail de combustion :**

D'après la thermopropulsion la puissance thermique réelle est la suivante :

$$\zeta_R = (m_0 + m_{fuel}) \cdot C_P (T_{t4} - T_{t3}) \quad (II.8)$$

➤ **Rendement de la chambre de combustion :**

D'après cette équation on peut définir le rendement de combustion et c'est le rapport la puissance réelle à la puissance théorique. Son ordre de grandeur au point fixe est voisin de $\eta_b=0.95$ et s'accroît avec l'altitude pour atteindre une valeur maximale de l'ordre de $\eta_b=0.98$

$$\eta_b = \frac{(m_0 + m_{fuel}) \cdot C_P (T_{t4} - T_{t3})}{m_{fuel} \cdot P_{ci}} \quad (II.9)$$

Si on néglige le débit de carburant devant le débit de mass d'air et en supposant que les constantes physiques et le rendement varient peut et remplacent aussi la température sortie compresseur par l'expression en fonction du taux de compression globale π_c alors on peut écrire :

$$T_{t4} = T_{t2} \cdot (\pi_c)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} + \frac{\eta_c P_{ci}}{C_P} \frac{m_{fuel}}{m_0} \quad (II.10)$$

A conditions externe constantes et a régime constant la relation précédente devient une fonction simplifiée fonction du dosage.

$$T_{t4} = f \left(\frac{m_{fuel}}{m_0} \right) \quad (II.11)$$

Généralement il est difficile de mesurer la température T_{t4} mais en régime constant cette dernière évolue comme la température d'éjection des gazes EGT (exhaust gas temperature).

D'où :

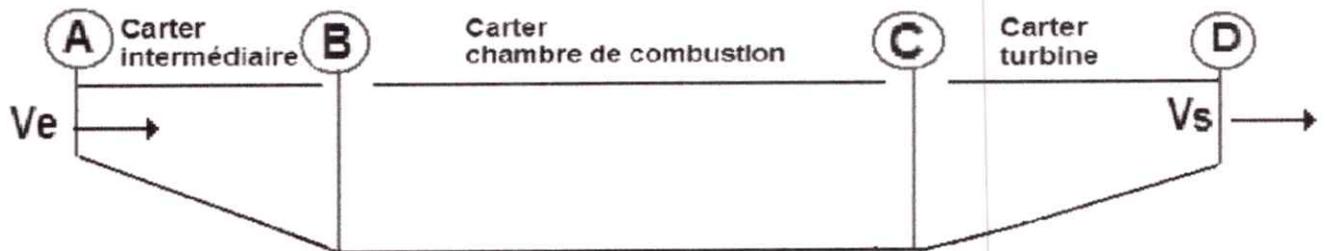
$$EGT = f\left(\frac{m_{fuel}}{m_o}\right) \quad (II.12)$$

Comme pour les régimes de rotation, il existe une **EGTMO** (exhaust gas température max take off).

Et une **EGTMCT** (exhaust gas température maxi continu), qu'il faut absolument respecter, afin d'éviter d'une part la perte de garantie du moteur mais surtout des défaillances pouvant conduire à la rupture d'un des éléments. Une **EGTMO** correspond à une température entrée turbine **TIT** ou T_{t4} maximal qui actuellement sur les **GTR** modernes est voisine de **1400 à 1500°C**.

II.2 Evolution des paramètres, pression, températures, vitesses, dans une chambre de combustion :

Dans une chambre de combustion on passe par plusieurs sections, ce qui fait changer la pression et la vitesse d'écoulement, et d'autres facteurs qui font varier la température.



l'évolution des paramètres			
P	Augmente	Constante	Diminue
V	Diminue	Augmente	Augmente
T	Augmente	Constante	diminue

Figure (II.21) : Evolution des paramètres, pression Températures, vitesses, dans une chambre de combustion.

II.3. Le combustible :

II.3.1. Les carburants :

Le terme combustible toute substance capable de brûler et par conséquent de fournir de la chaleur. Un combustible doit être en présence d'un comburant pour pouvoir brûler, le plus souvent, on utilise l'oxygène contenu dans l'air comme comburant. Il existe des combustibles solides, liquides et gazeux. Un combustible contenant du carbone et utilisé comme source d'énergie dans les moteurs à combustion interne s'appelle un

carburant. Toutefois, on utilise fréquemment ce terme pour désigner tout combustible qui fournit de l'énergie à un moteur.

II.3.2. La production des carburants :

Des milliers d'hydrocarbures différents entrent dans la composition du pétrole brut. A ce mélange s'ajoutent des quantités variables de corps contenant du soufre, de l'azote et de l'oxygène, au point qu'il n'existe pas dans le monde deux sortes de pétrole brut exactement semblables.

Grâce aux différents procédés de raffinage, on transforme le pétrole brut en une variété de produits finis tels que des essences, des carburateurs, des lubrifiants, des bitumes. Le raffinage fait intervenir toutes les ressources de la physique et de la chimie. Les trois principales opérations de raffinage sont :

- la séparation, qui isole les uns des autres les différents hydrocarbures contenus dans le pétrole brut et dont la distillation constitue le procédé le plus courant.
- l'épuration, pour purifier et raffiner les distillats en éliminant les fractions indésirables par réaction chimique.
- la synthèse, qui compose des hydrocarbures nouveaux ou trop rares dans le pétrole brut, en appliquant au pétrole des pressions et des températures élevées.

Nous allons maintenant passer en revue les procédés de raffinage les plus courants :

A. La distillation :

La distillation est le procédé le plus courant pour séparer les pétroles bruts en coupes élémentaires ou pour redistiller un produit hétérogène provenant d'une synthèse. On appelle coupe un mélange d'hydrocarbures dont l'ensemble peut être considéré comme ayant des qualités définies, notamment en ce qui concerne la volatilité.

La colonne de fractionnement constitue l'instrument principal de la distillation. L'intérieure contient une cinquantaine de plateaux perforés horizontaux espacés d'un mètre la circulation s'effectue à travers des chicanes.

On fait pénétrer le pétrole brut à la base de la colonne et on injecte de la vapeur surchauffée pour vaporiser les fractions légères du brut qui montent dans la colonne.

Chaque plateau est plus froid que celui d'en dessous et on rencontre des fractions toujours plus légères au fur et à mesure qu'on monte dans la colonne. Pour permettre une meilleure séparation, un flot continu de liquide passe de chaque plateau au plateau inférieur. Les fractions les plus légères sont revaporisées et remontent dans la colonne tandis que les fractions plus lourdes, qui avaient été entraînées vers le haut par le courant incessant de vapeur, restent maintenant au plateau approprié.

La température de distillation de l'essence d'aviation se situe entre 40°C et 160°C. La distillation du kérosène se situe entre 160°C et 230°C.

B. La désulfuration :

La plupart des pétroles bruts renferment une grande quantité de soufre. La méthode de désulfuration la plus courante s'appelle l'hydrosulfuration qui implique l'action de l'hydrogène pour décomposer les produits soufrés en faisant intervenir la température, la pression et un catalyseur.

C. Le craquage :

Le craquage vise à dissocier, sous l'effet de la pression et de la température, les molécules des hydrocarbures pour donner des molécules plus simples et plus légères. Le procédé couramment utilisé fait intervenir un oxyde métallique comme catalyseur pour produire des essences à haut indice d'octane proche de 100.

D. Le reformage :

Parmi les procédés d'alimentation de l'indice d'octane lors du traitement du pétrole brut, le reformage offre l'avantage, en plus de dissocier les molécules de faibles valeurs, de réassembler les molécules pour produire les carburants aromatiques particulièrement recherchés.

II.3.3.Remarque sur la production des carburants d'aviation :

Les carburants d'aviation ne constituent qu'une infime portion de la production des dérivés du pétrole.

Sur le plan économique et financier, cela signifie que les compagnies pétrolières ne sont pas particulièrement motivées à mettre plus d'énergie qu'il n'en faut dans la production de carburant d'aviation, d'autant plus que ces carburants exigent un traitement et un contrôle particulièrement astreignant.

II.3.4.Les propriétés des carburants d'aviation :

Les carburant d'aviation doivent répondre à des normes strictes permettant de garantir à la fois des performances élevées et une grande sécurité d'utilisation.

A. Les carburants des moteurs à pistons :

L'essence utilisée dans les moteurs à pistons devrait avoir les qualités suivantes :

- ✓ se vaporiser facilement à basse température pour que le moteur démarre promptement, mais pas trop facilement non plus pour éviter la formation de tampons de vapeur posséder une grande valeur énergétique par unité de masse.
- ✓ posséder un indice d'octane élevé pour permettre un taux de compression élevé sans détonner.
- ✓ être libre de tout composé qui entraîne la formation de gommages.
- ✓ contenir la plus faible quantité possible de composés soufrés pour éviter la corrosion du moteur et la pollution atmosphérique.

➤ La volatilité :

La volatilité désigne l'aptitude d'un carburant à s'évaporer. La volatilité du carburant amène aussi le risque de perte de quantités par évaporation en haute altitude.

➤ **La résistance à la détonation :**

Lors de la combustion normale, après l'allumage par étincelle, un front de flamme avance progressivement dans le cylindre pour brûler les gaz.

En condition de détonation, les gaz enflammés compriment brutalement les gaz adjacents non brûlés qui s'enflamment à leur tour par compression.

Le facteur temps joue un grand rôle dans le processus de la détonation, puisque ce phénomène est engendré par la compression progressive des gaz non brûlés.

Pour éviter la détonation et permettre d'atteindre de grandes puissances, on utilise différents moyens.

Un moyen simple, mais coûteux, consiste à introduire dans les cylindres un mélange plus riche que le mélange optimal.

La méthode la plus simple et la plus efficace demeure l'amélioration des quantités antidétonantes de l'essence elle-même.

➤ **La pureté de l'essence :**

L'importance d'avoir un carburant absolument libre d'impureté ne devrait pas être sous-estimée. Un carburant pur est une garantie de bon fonctionnement du moteur et cela s'applique autant aux essences qu'aux carburateurs.

Les impuretés les plus courantes sont l'eau, les poussières, les acides, les bases, le soufre et les gommes.

B. Les carburateurs :

Bien qu'on désigne par carburateurs les différents carburants destinés spécifiquement aux moteurs à réaction. Deux types principaux de carburateurs ont été développés. Pour fixer son choix sur l'un ou l'autre type, un exploitant se base sur des critères variés tels que la sécurité en cas d'incendie, les conditions climatiques qui prévalent au sol ou la densité plus ou moins élevée du carburateur.

➤ **Le carburateur de type kérosène :**

Une spécification importante à considérer dans un carburateur est son point d'éclair, qui est la température à laquelle il dégage suffisamment de vapeur pour s'enflammer au contact d'une petite flamme genre veilleuse. Le kérosène a l'avantage d'un point d'éclair assez élevé (+38°) qui en fait un produit ne dégageant pas de vapeurs dangereuses dans les conditions habituelles de températures au sol.

C'est un combustible assez semblable au mazout domestique avec un point d'éclair plus élevé et un point de congélation plus bas (- 40°).

Il a une plus grande énergie calorifique au litre. Sa volatilité est si faible qu'il n'y a que très peu de perte par évaporation en altitude.

CHAPITRE III

DESCRIPTION

DU

BANC D'ESSAI

- 1- Présentation d'un banc d'essai
- 2- Les circuits

III.1. Présentation d'un banc d'essai :

III.1.1. Le banc d'essai :

Notre banc d'essai est constitué essentiellement d'un ventilateur, d'un socle supportant les différentes parties du banc, à savoir le turboréacteur, le circuit de graissage et les différents instruments de mesure.

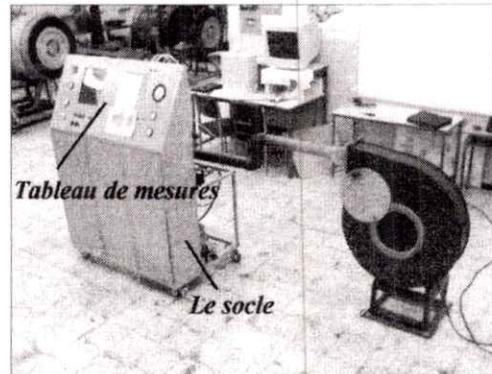
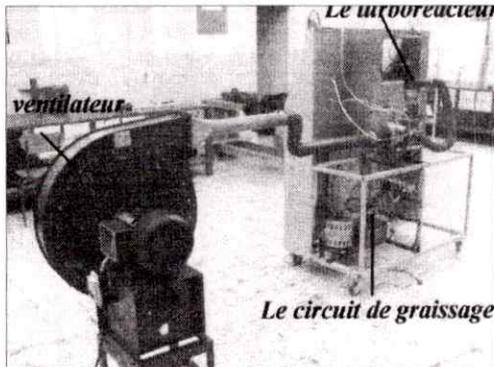


Figure (III.1) : Le banc d'essai (vue de derrière).

Figure (III.2) : Le banc d'essai (vue de face).

III.1.2. Le démarreur :

Pour que le moteur puisse fonctionner, on doit assurer une vitesse de rotation minimale de l'arbre, afin que le compresseur comprime l'air entrant à la chambre de combustion, pour lui assurer le régime minimum de fonctionnement.

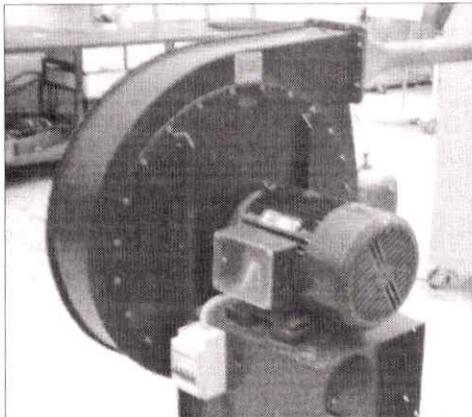


Figure (III.3) : Le démarreur.

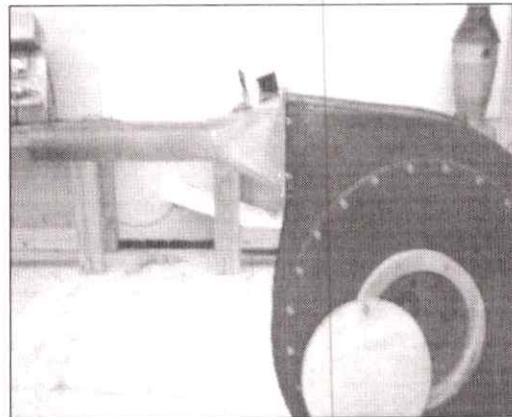


Figure (III.4) : Le ventilateur.

Dans ce but on a utilisé un ventilateur centrifuge, qui a les caractéristiques suivantes :

- Puissance : 5,5 kW.
- Alimentations : 380 V Ac.
- Fréquence : 50 Hz.
- Vitesse de rotation : 2870 tr/min.
- Ampérage : 10,5A.
- Montage.

III.1.3. Le socle :

Un socle était nécessaire pour poser et monter notre moteur avec son circuit de graissage et de carburant, et de supporter tous les instruments de mesure.

C'est principalement une structure métallique de 125cm de longueur, 76cm de largeur et 154cm de hauteur, avec des parties en bois. Elle est réalisée en tubes de sections carrés, la base renforcée avec des barres de section (35×35) mm², le reste de la structure avec des tubes de section (25×25) et les supports des éléments avec de la cornière de 30mm, caréné avec des tôles de 2mm d'épaisseur, les liaisons sont faites par soudage de boulonnerie.

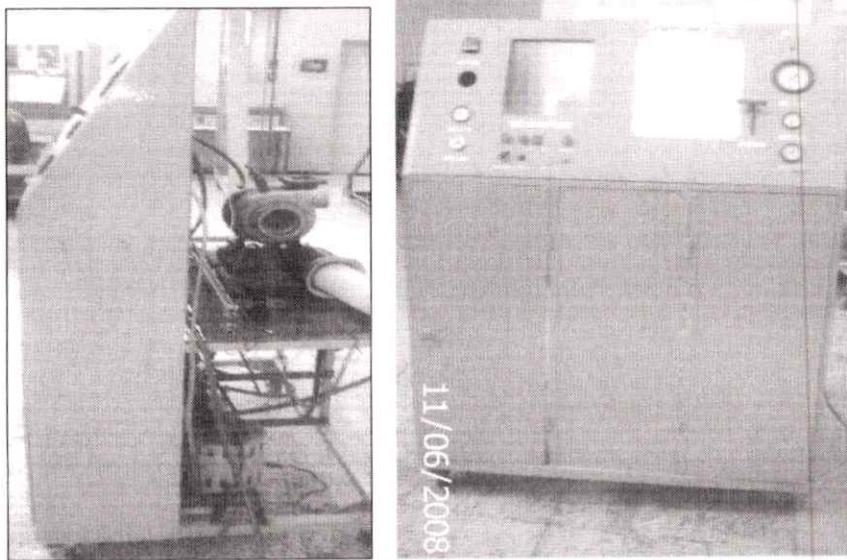


Figure (III.5): Le socle.

Le socle est peint pour le préserver contre la corrosion. Afin de permettre son déplacement, deux paires de roues lui sont placées dont deux avec freins.

III.1.4. Le turbo-charge :

Le turbo utilisé est de marque GARRETT.

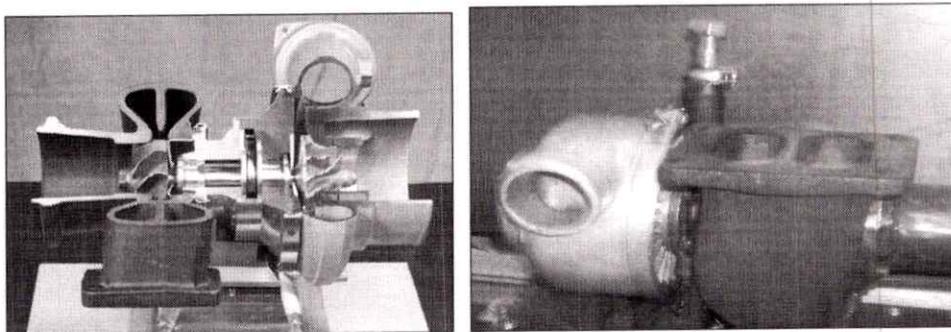


Figure (III.6): vue en coupe du turbo-charge.

Le turbo-charge est constitué essentiellement d'un compresseur centrifuge, encastré dans son logement, et d'une turbine centripète, couverte par un cache, entre ces deux caches on trouve le logement des roulements qui abrite l'arbre reliant la turbine au compresseur.

III.1.5. Le logement du compresseur :

Un cache couvrant la roue compresseur, en aluminium, de diamètre d'entrée 86 mm et de diamètre de sortie 54 mm.

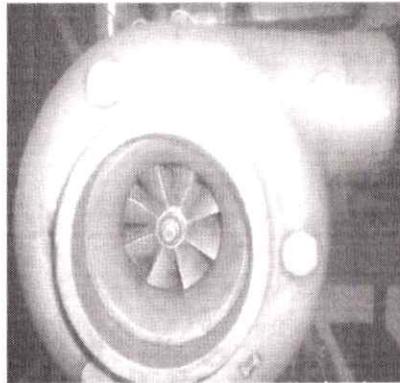


Figure (III.7) : la roue compresseur monté dans ce cache.

III.1.6. La roue du compresseur :

Une roue compresseur centrifuge en aluminium a16 aubes, de dimensions $d=61\text{mm}$, et $D=86\text{mm}$.

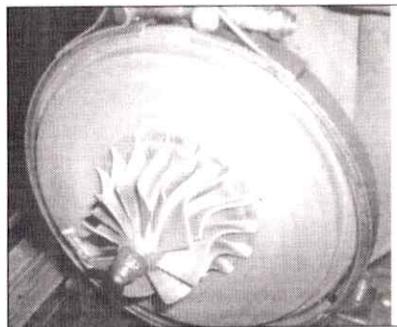


Figure (III.8) : la roue compresseur.

Un disque de séparation entre le logement des roulements et le logement compresseur, fait en aluminium et permet la fixation du cache grâce à un collier.

III.1.7. Le logement de la turbine :

Le logement de la turbine qui sert comme diffuseur a un diamètre de sortie de 71mm, l'entrée est sous forme d'une bride rectangulaire (144×100) mm^2 d'une épaisseur de 15mm avec 4 trous de fixation à la chambre et 6 vis de fixation au logement roulement.

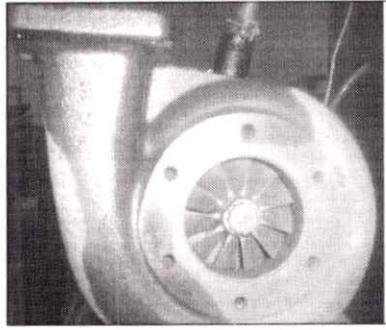


Figure (III.9) : la roue turbine monté dans ce cache.

III.1.8. La roue turbine :

La turbine de 11 ailettes, de diamètre à la racine de 77mm et au sommet de 87mm, conçue avec son arbre fileté au bout en alliage de titane.

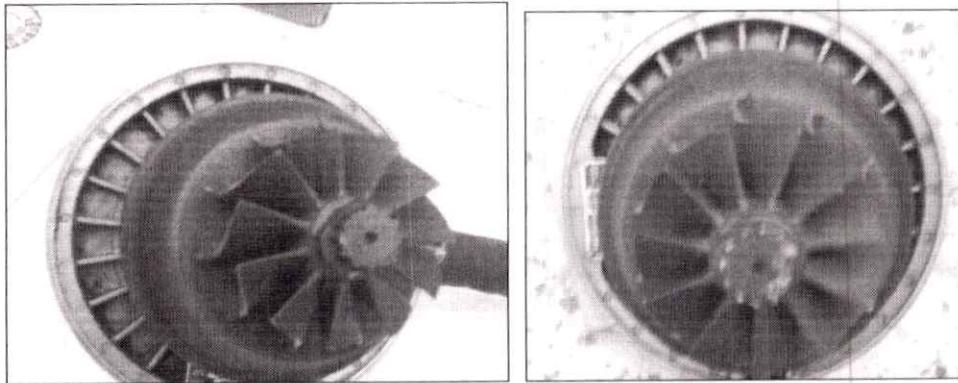


Figure (III.10) : les ailettes de turbine

III.1.9. Le logement roulement :

Le logement des roulements appelé aussi le carter, il abrite les paliers (ou roulement) avec ses deux caches de séparation entre les logements turbine et compresseurs, plus une entrée a petit diamètre et une sortie de diamètre plus large pour permettre la récupération de l'huile par gravité.

III.1.10. La chambre de combustion :

La chambre de combustion réalisée est tubulaire à flux inversé, afin d'éviter le décrochage de la flamme en lui offrant de résidence favorable. Elle est composée de deux enveloppes, externe faite d'un tube en acier fileté des deux cotés et une manchette d'entrée soudée sur un coté du tube.

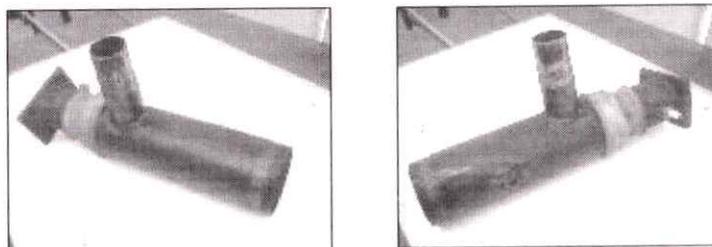


Figure (III.11) : le tube externe de la chambre.

La longueur de la chambre de combustion est de 51cm. Sur le côté haut de la chambre un couvercle taraudé, en acier sur lequel on a réalisé un trou taraudé pour fixer l'injecteur.

On a une bride qui est taraudée par la suite et liée avec une soudure étanche sur le couvercle de la chambre de combustion, dans laquelle on a mis l'injecteur.

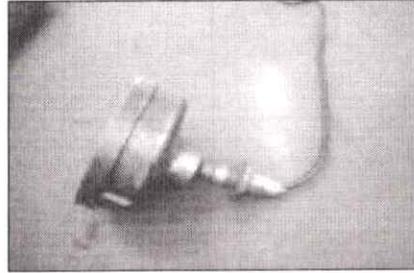


Figure (III.12) : l'injecteur fixé dans le couvercle.

La partie inférieure de la chambre de combustion est composée d'un convergent de 114 / 80 sur une longueur de 97mm, montée sur une manchette soudée à une bride de fixation avec 4 trous adoptée à l'entrée turbine du turbocharger.

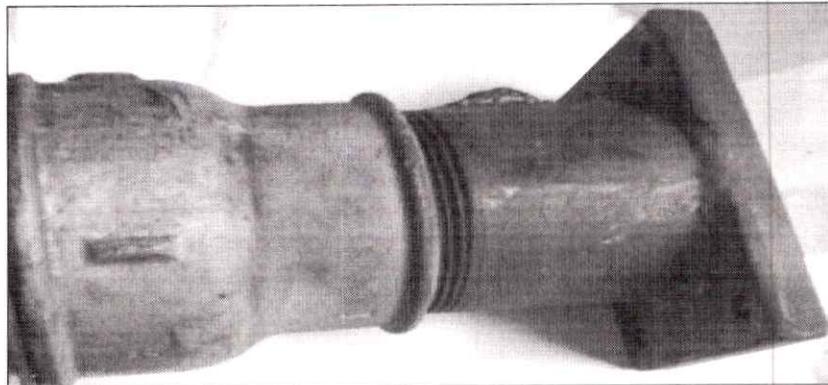


Figure (III.13) : partie inférieure de la chambre

Un culot est soudé, au milieu de l'enveloppe externe de la chambre pour assurer l'allumage à l'aide d'une bougie.

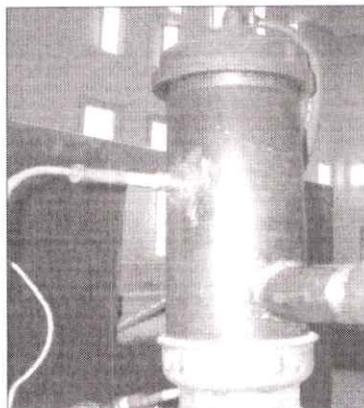


Figure (III.14) : la position de la bougie.

Figure 3.1

Le tube à flamme de 50cm de longueur, et de 86cm de diamètre, est réalisé en tôle de 2mm d'épaisseur, un cône est rajouté à la fin du tube pour accélérer les gaz.

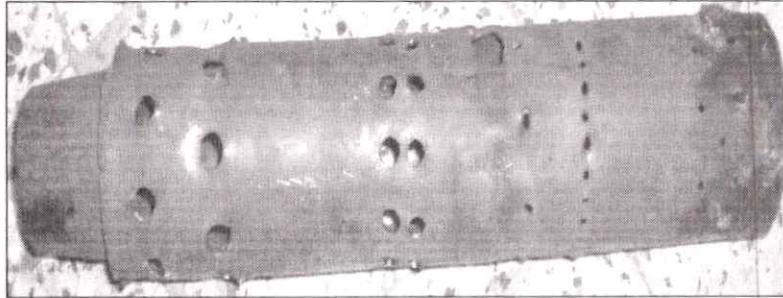


Figure (III.15) : le tube à flamme

III.1.11. La tuyère d'éjection :

Afin d'assurer une bonne détente des gaz d'échappement, on a conçu une tuyère en acier, comportant un disque de diamètre (10cm), qui a un orifice de diamètre de (8cm), sur ce disque il y'a 6 trous assurant sa fixation à la sortie de la turbine et pour assurer une bonne étanchéité entre ses deux derniers on a utilisé un joint.

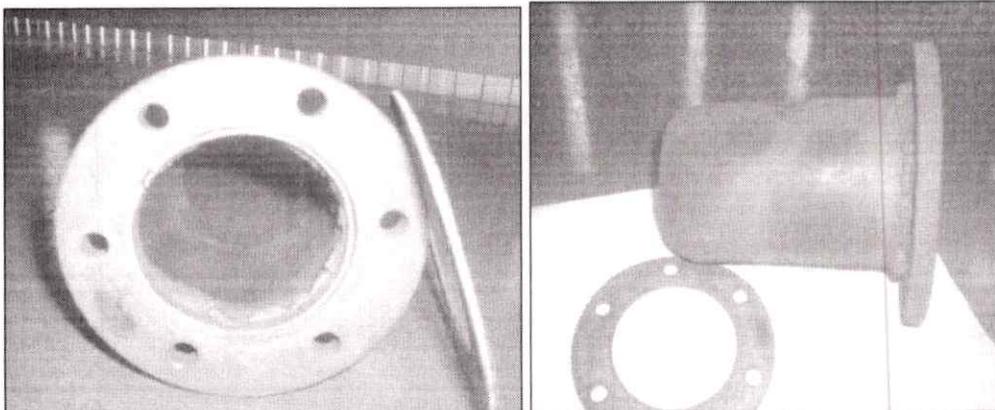


Figure (III.16) : la tuyère d'éjection.

Le disque est soudé avec un tube de section constante (diamètre=8cm) et de longueur de 12cm se terminant avec un convergent.

III.2. Les circuits :

III.2.1. Le circuit de carburant :

Tout moteur à combustion interne exige un système d'alimentation en carburant. Pour cela on a conçus un circuit d'alimentation en gaz (butane/propane), qui est très disponible et facile à manipuler, et l'un de ses avantages est la non nécessité de pompe le refouler à l'intérieur du moteur.

La bouteille est interchangeable, pèse 13kg, et nous offre une pression entre 2 à 3bar, qui s'avère utile, et répond aux besoins d'alimentation du moteur en carburant.

La figure suivante montre le cheminement du circuit. En effet on distingue un circuit de refoulement et un circuit de récupération. Il comporte les éléments suivants :

- un réservoir.
- une pompe.
- un filtre.
- un échangeur

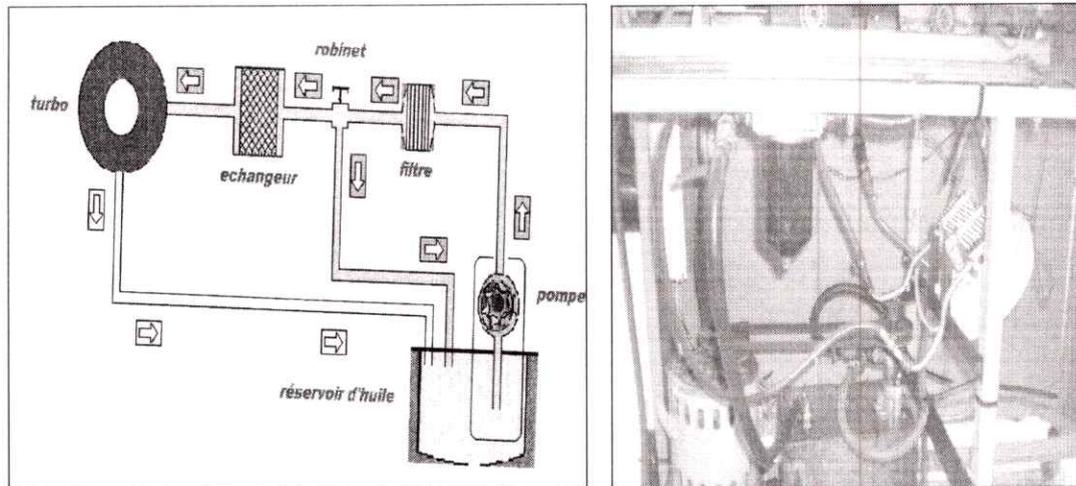


Figure (III.18) : schéma du circuit de graissage

L'huile est pompée du réservoir par une pompe à engrenage vers le filtre, puis l'échangeur, et enfin les paliers avant et arrière. Après le passage, l'huile sera récupérée, et descend chaude par gravité vers le réservoir.

Pour le besoin du stockage de l'huile on a un réservoir qui est réalisé par soudage d'une tôle épaisse d'un volume de (15litres), qui a pour dimensions (longueur 300mm, largeur 200mm et hauteur150mm), avec un couvercle en tôle fixé à l'aide de six boulons (M6), et sur lequel il y'a un orifice de récupération.

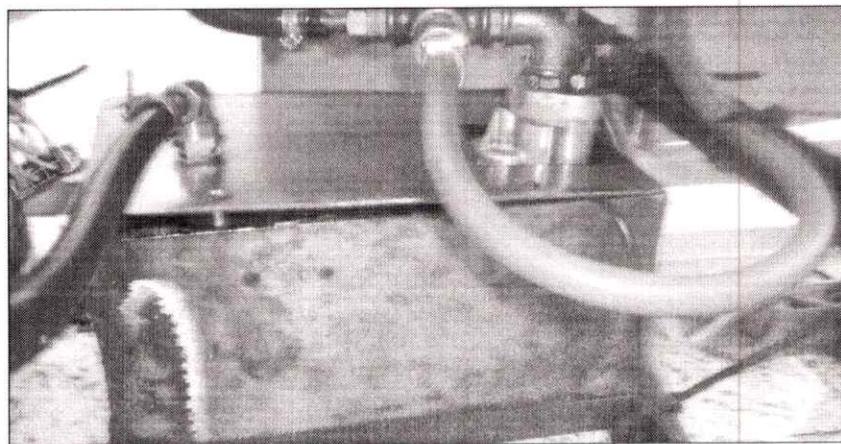


Figure (III.19) : le réservoir

Dans le réservoir, la pompe plongée est munie d'un tamis à son côté d'aspiration qui sert comme premier filtre, pour bloquer les impuretés non ferreuses d'une dimension supérieure ou égale à 0.5mm.



Figure (III.20) : la pompe

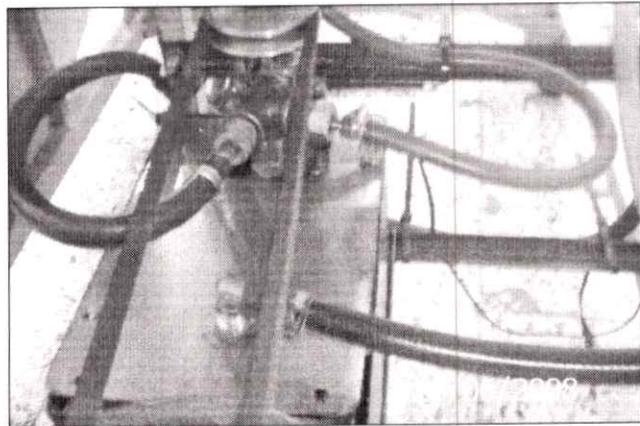


Figure (III.21) : la pompe plongée dans le réservoir

Dans sa fonction originale la pompe est toute emboîtée dans le bloc moteur pour l'entraînement et la distribution de l'huile sous pressions. C'est pourquoi dans notre système de graissage, nous avons une bride pour fermer le coté supérieur. Permettre à l'axe de tourner et assurer la connexion pour la distribution vers les éléments.

La bride est constituée d'alliage d'aluminium à 17% de silicium à partir d'un coulé obtenu à 780°C dans un moule à sable fin.

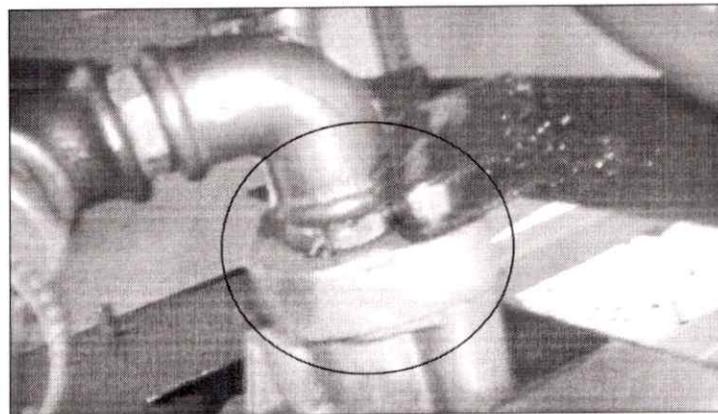


Figure (III.22) : la bride de connexion

La pompe est maintenue à l'extrémité de son arbre de rotation par un palier afin d'assurer une rotation libre et d'éviter toute vibration lors du fonctionnement.

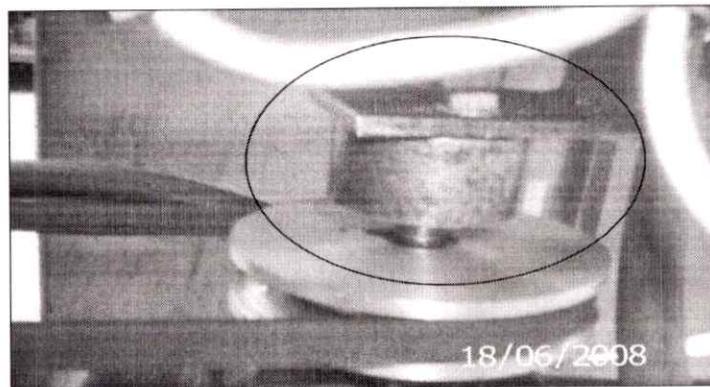


Figure (III.23) : le palier de rotation

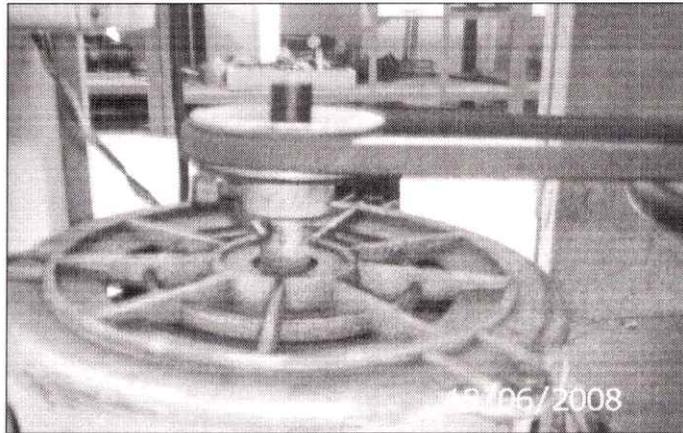


Figure (III.24) : la poulie

La pompe est entraînée par une courroie de diamètre (700mm), qu'on a liée au moteur électrique, nous assurant une rotation de 1200 tr/min.

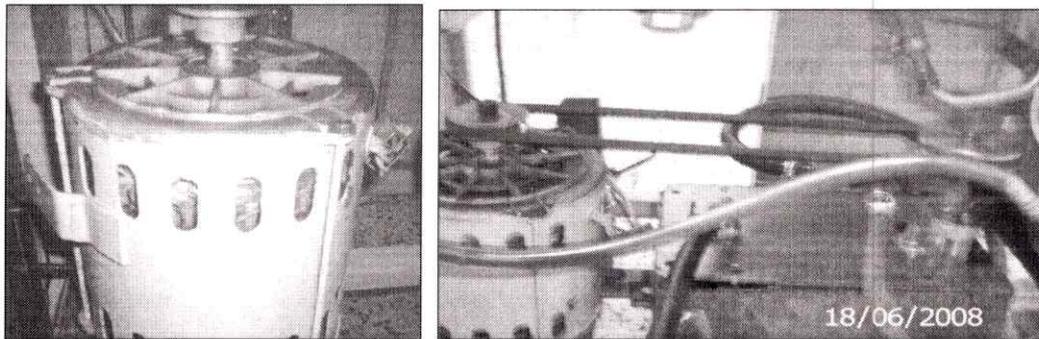


Figure (III.25) : le moteur électrique

Le moteur électrique est fixé sur un support, autour duquel il peut pivoter afin de permettre de tendre la courroie à l'aide d'un tendeur.

III.2.3. Le circuit d'allumage :

Le système d'allumage, est un circuit électrique basé essentiellement sur un micro processeur le NE 555, une base de temps qui permet de fournir un signal carré, périodique, à une certaine fréquence.

Le circuit comporte essentiellement :

- une bougie.
- une bobine 12V.
- une alimentation 12V.
- une carte électronique de commande de l'allumage.

La plaque nous permet de générer un signal automatique et cyclique de l'étincelle, la fréquence est contrôlée à l'aide de résistances variables, de 47k Ω . Un bon ajustage nous permet d'avoir une certaine puissance et une bonne périodicité.

Dans le cas de chambre de combustion d'un G.T.R l'air n'est pas immobile, mais en écoulement permanent et il est impératif d'avoir terminé la combustion avant la sortie du tube à flamme, ce qui implique une vitesse d'écoulement dans le tube à flamme inférieure à la vitesse de propagation de la flamme.

II.2.8. L'étude thermodynamique de la chambre de combustion :

La combustion se fait théoriquement dans une enceinte ouverte à pression constante.

➤ Evolution théorique :

On suppose que la combustion s'effectue à une pression constante « isobare », l'inflammation du mélange augmente la température de T_3 à T_4 . La représentation de l'évolution sera la suivante :

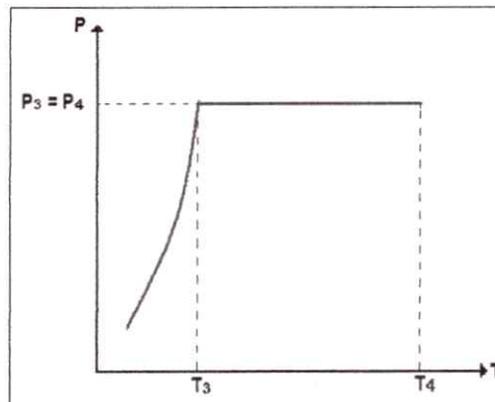


Figure (II.18) : courbe qui montre l'évolution théorique de la pression en fonction de la température.

➤ Evolution réelle :

On sait que la turbulence et le refroidissement entraînent une perte de charge, donc on aura toujours une pression sortie chambre de combustion légèrement inférieure à celle de l'entrée, en générale les pertes de charges sont voisines de 4% à 5%. La représentation de l'évolution sera la suivante.

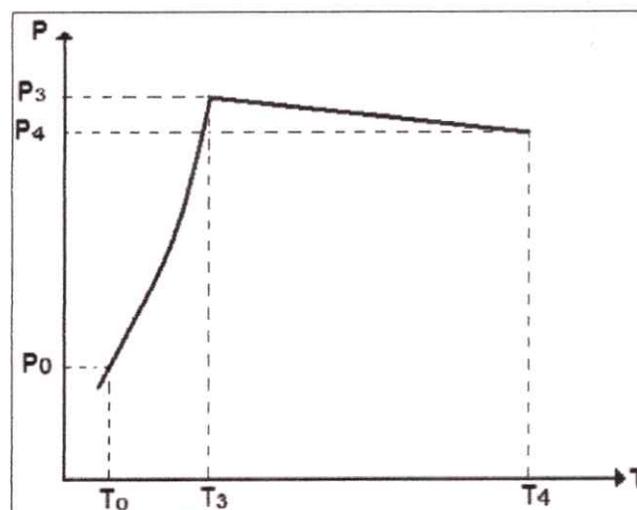


Figure (II.19) : courbe qui montre l'évolution réelle de la pression en fonction de la température.

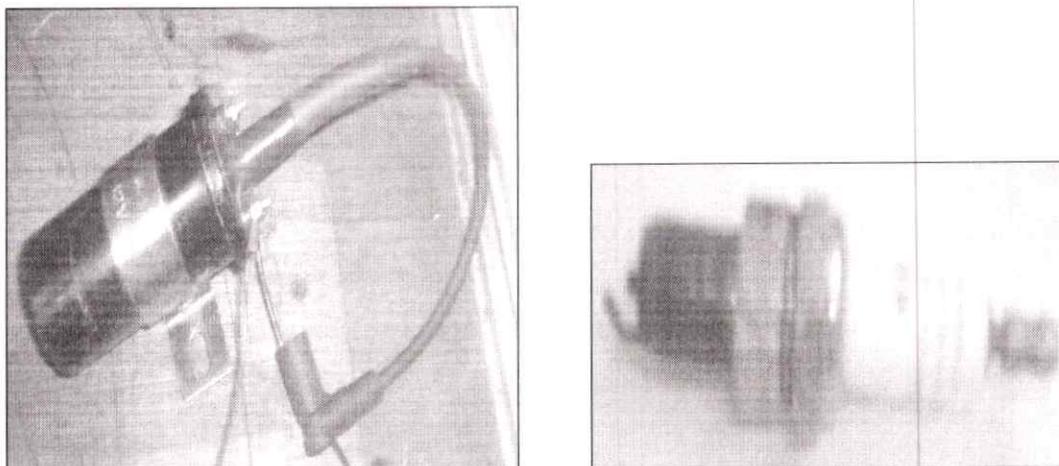


Figure (III.26) : la bobine et la bougie utilisées

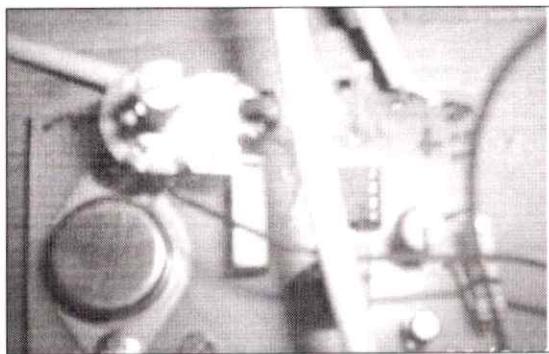


Figure (III.27) : la carte électronique.

Elle est reliée à une bobine, elle-même reliée à une bougie, afin d'assurer l'allumage.

La plaque est alimentée avec un courant continu de 12V.

III.2.4. Le tableau de contrôle :

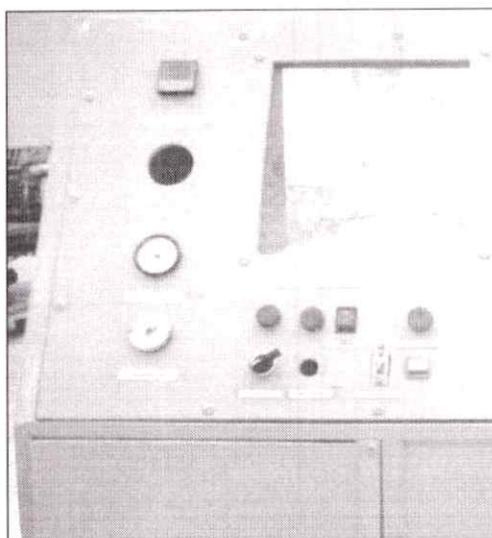


Figure (III.28) le tableau de contrôle.

La surveillance des différentes stations et systèmes du moteur sont indispensables pour assurer le bon fonctionnement sur et efficace du moteur. Pour cela différentes sondes sont placées à plusieurs points, qui nécessitent un suivi continu. Le contrôle se fait sur le tableau d'affichage et de contrôle. Ce dernier est un panneau en bois, perforé pour l'emplacement des afficheurs des différents instruments.

Il est composé essentiellement de :

- 3 thermomètres à cadrans.
- 1 thermocouple à affichage digital.
- 4 baromètres à cadrans.
- tableau de commande.
- un hublot pour le suivi visuel du moteur.
- un schéma des différentes stations du moteur.

III.2.4.1. Les thermomètres :

Pour mesurer :

- la température de l'huile à l'entrée du moteur.
- la température de l'air à la sortie compresseur.
- la température ambiante.

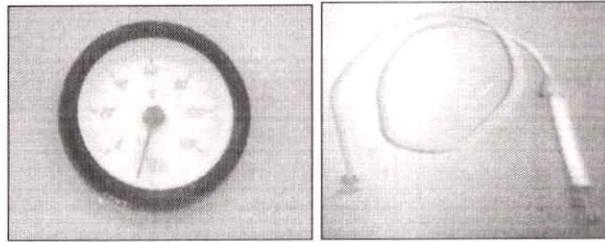


Figure (III.29) Le thermomètre à cadrans

La sonde de mesure de la température d'huile est placée dans l'écoulement d'huile à l'entrée du moteur, grâce à un té.

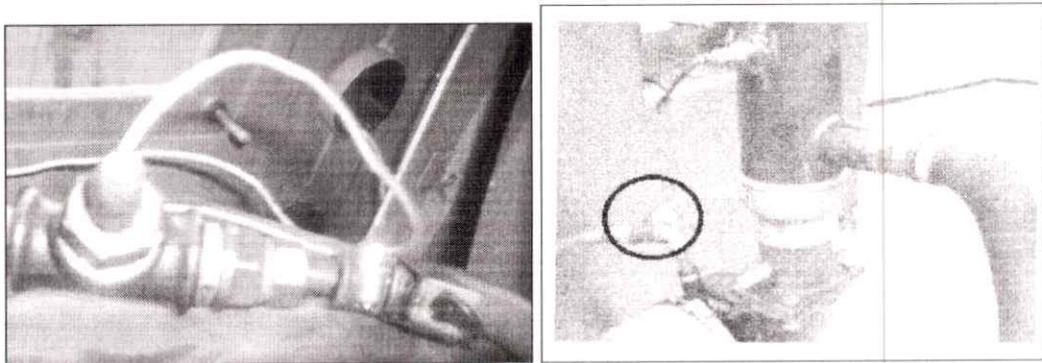


Figure (III.30) la sonde pour mesurer la température d'huile

Cette sonde nous permet de suivre l'évolution de la température de l'huile entrant au moteur, afin d'éviter la surchauffe.

Pour mesurer la température de l'air à la sortie du compresseur, une sonde est placée dans un culot, qui est plongé dans l'écoulement.

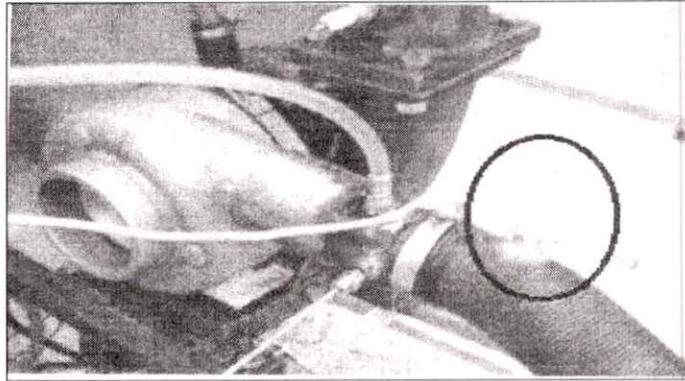


Figure (III.31) la sonde pour mesurer la température à la sortie compresseur.

III.2.4.2. Le thermocouple à affichage digital :

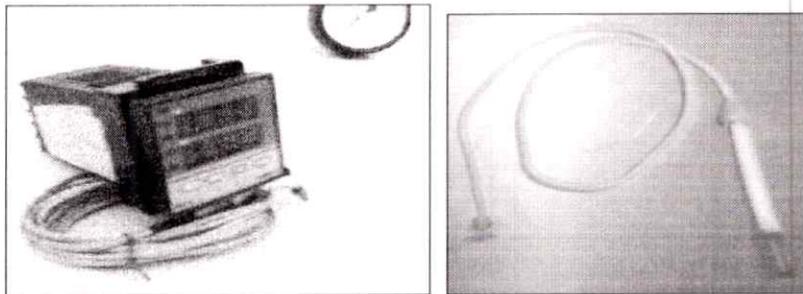


Figure (III.32) Le thermocouple à affichage digital

Pour mesurer la température des gaz d'échappement.

L'affichage du thermocouple à affichage digital est équipé de plusieurs options à savoir, des alarmes, des systèmes de régulations et contrôle de la température.

III.2.4.3. Manomètres :

Manomètres à cadrans pour mesurer :

- la pression sortie compresseur.
- la pression sortie turbine.
- la pression sortie pompe de graissage.
- la pression carburant.

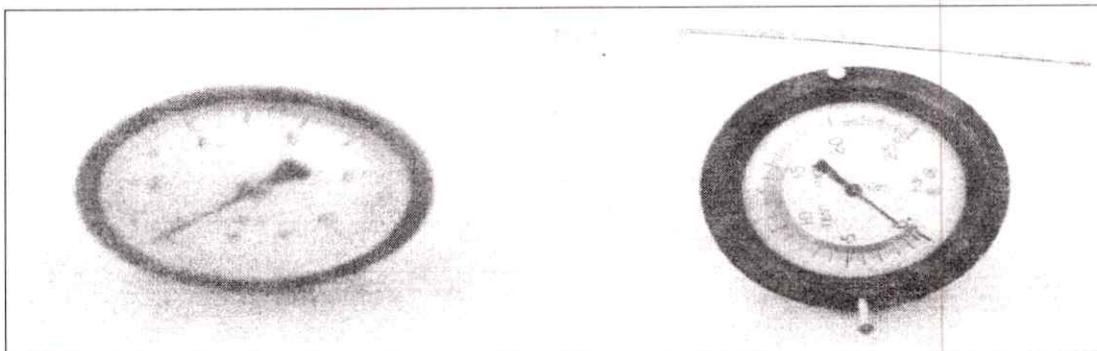


Figure (III.33) Manomètre à cadrans

Une prise statique est soudée à la manchette de connexion sortie compresseur, pour suivre l'évolution de la pression débitée par le compresseur.

La prise de pression, huile est placée à la sortie de la pompe à l'aide d'un té, et elle reliée par un tuyau à l'afficheur sur le panneau de contrôle.

Cette prise nous fournit la pression de sortie pompe, qui est utile pour les estimations du débit et de la puissance.

III.2.4.4. Le tableau de commandes :

Il est composé essentiellement de :

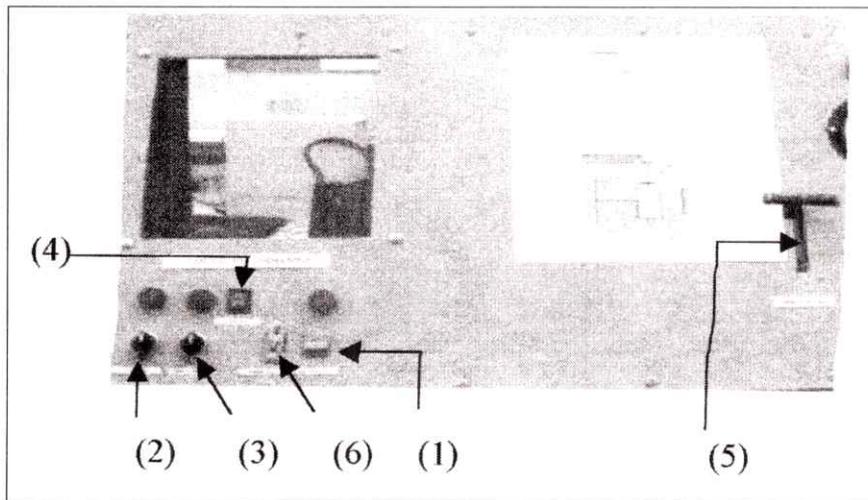


Figure (III.34) : le tableau de commande.

- (1) bouton d'alimentation.
- (2) bouton d'allumage de la pompe à huile.
- (3) bouton d'allumage de la pompe à carburant.
- (4) bouton d'allumage.
- (5) manette des gaz.
- (6) switcher de commande du thermocouple.

Un schéma illustratif est placé sur le tableau de contrôle avec le graphe caractéristique du turbocharger.

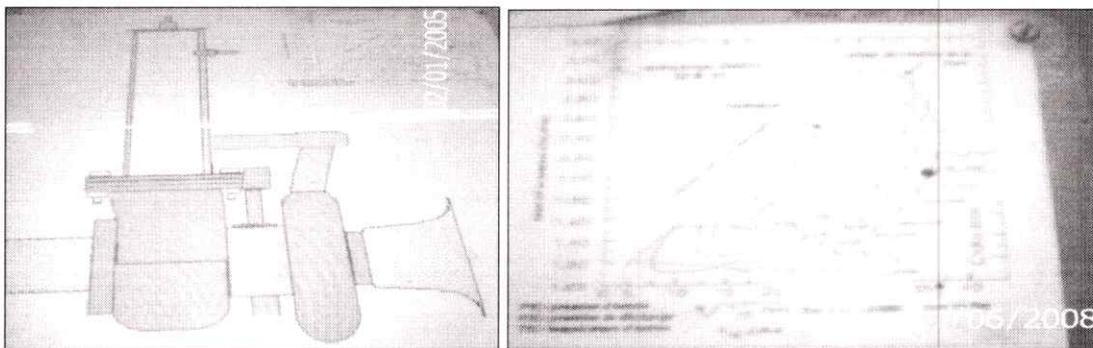


Figure (III.35) : les différents éléments du turbocharger.

CHAPITRE IV

TRAVAUX DE MAINTENANCE

ET

REALISATION D'UNE

CHAMBRE DE COMBUSTION

1. Introduction
2. Les essais et compte rendu d'anomalies
3. Procédure de maintenance
4. Réalisation de la chambre de combustion
5. Les circuits associés dans le banc d'essai
6. Essais de fonctionnement

IV.1. Introduction :

Le but de ce chapitre est de prendre en charge du point maintenance d'un micro-turbo existant au niveau de l'atelier de propulsion du département aéronautique. Ce dernier a été conçu en 2002 par les anciens étudiants de ce même département pour servir à des fins pédagogiques (travaux pratiques). Mais, après les premiers essais effectués, nous avons remarqué plusieurs défaillances qui sont mentionnées dans le tableau ci-dessous, donc dans ce chapitre on va essayer premièrement de remédier à tous ces problèmes, puis ensuite on va passer à la réalisation d'une chambre de combustion qui va être adéquate à ce turbo.

IV.2. Les essais et compte rendu d'anomalies :

Les premiers essais du mini turboréacteur ont montré plusieurs défaillances, dans ces systèmes et aussi dans chacune de ces parties qui est la chambre de combustion.

	Les problèmes	
Le moteur	<ul style="list-style-type: none"> 1- La saleté du compresseur. 2- La saleté de la turbine. 3- L'usure des aubes de turbines. 4- Jeu arbre turbine/compresseur. 	
Circuit de graissage	<ul style="list-style-type: none"> 1- Le colmatage du filtre. 2- Accumulation de déchet dans le réservoir. 3- Encrassement de la pompe. 4- Les fuites entre la turbine et le compresseur. 5- Usure de la tuyauterie. 	
Circuit d'allumage	<ul style="list-style-type: none"> 1- Problèmes dans la bougie, dont l'étincelle est faible. 1- carte électronique. 	
Circuit carburant	<ul style="list-style-type: none"> 1- Mauvaise injection du carburant. 2- Usure de l'injecteur. 	
Les indications	<ul style="list-style-type: none"> 1- Les sondes ne fonctionnent pas. 	
La chambre de combustion.	<ul style="list-style-type: none"> 1- La zone primaire : On a au début une flamme rouge jaunâtre, ce qui signifie que notre mélange est pauvre en oxygène. 2- Zone intermédiaire : la combustion n'est pas vraiment complète, par manque d'air. 3- Zone de dilution : la flamme ne s'accroche pas bien et ça couleur est rouge, la combustion n'est pas stable. 	

IV.3.Procedure de maintenance :

Après les premiers essais du moteur, et les anomalies qu'on a découvertes on a vu que c'est très nécessaire de faire le démontage pour faire les inspections et l'entretien des éléments et on a suivi les étapes suivantes :

- On commence le démontage par le dernier organe du moteur qui est la tuyère, élever de cette dernière ses compositions qui sont premièrement la rondelle et deuxièmes le canal.

➤ Le démontage du turbo-charge :

Avant le démontage du turbo-charge, il faut démonter les systèmes qui ont une relation divers avec lui comme :

- ✓ élever le tuyau transparent lié avec le manomètre qui mesure la pression de sortie compresseur.
- ✓ élever la connexion de circuit de refoulement de circuit de graissage avec le bloque logement.
- ✓ élever l'indication de température (sonde de mesure de température) au début du compresseur.
- ✓ élever la connexion de l'emplacement de sonde de température sortie compresseur.
- ✓ démonter la chambre de combustion, élever là cette chambre annulaire par quatre boulons de (M15).
- ❖ On arrive maintenant au démontage voulu qui est le démontage du turbocharger qui est réalisé en suivant les étapes ci-dessous :
 - ✓ démonter le cache compresseur.
 - ✓ démonter le cache turbine avec six vis qui la relie avec le logement de roulement et l'ensemble roue compresseur/roue turbine.
- ❖ Démontrer le couvercle de la chambre de combustion et son injecteur simplexe ainsi le tube à flamme.

➤ Le démontage du circuit de graissage :

On démonte le circuit de graissage qui a un rôle important pour le fonctionnement moteur.

- ✓ élever le filtre pour lui changé parce qu'est colmaté et le couvercle du réservoir.
- ✓ élever toutes les connexions des tuyaux de refoulement et récupération pour assuré que n'y a pas des déchets.

- ✓ démonter la courroie (qui relie la pompe de refoulement avec le moteur électrique) pour faire vidangé le réservoir et remplacé par un nouveau (20-40).
- ✓ élever la pompe de refoulement par boulonnerie de (M8) pour nettoyé (enlevé les débris des matériaux frotté pendant les anciens essais).
- ✓ démonter le réservoir d'huile qui est fixé par trois boulons de (M8), ensuite on fait la vidange de ce dernier.
- ✓ bien sur après le démontage, il faut remplacer tout les joints pour éviter les pertes de charge.

➤ **Le démontage du circuit de carburant :**

On démonte de circuit carburant qui est aussi très important pour le fonctionnement moteur. Dans ce circuit, démonter les tuyaux qui relie l'injecteur et la manette des gaz et changé l'injecteur de gaz par un autre qui injecte le gaz au démarrage et le gasoil une fois le moteur devient autonome pour donnée une grande puissance.

➤ **Le démontage du circuit d'allumage :**

- ✓ démonter la bougie d'allumage et remplacer par une nouvelle qui donne une meilleure étincelle (meilleur réglage d'écartement des électrodes).
- ✓ démonter la bobine liée au circuit de commandes.
- ✓ élever la carte pour remplacer le condensateur parce que l'ancien est devient faible.

IV.4. Réalisation de la chambre de combustion :

IV.4. 1. Estimations théoriques :

Le dimensionnement de la chambre de combustion se base généralement sur des approches théoriques et beaucoup plus sur des essais expérimentaux.

Dans notre cas on est parti d'un model existant et on a estimé une longueur de départ. Les essais expérimentaux nous ont permit d'ajuster la distribution des orifices, leurs diamètres et leurs dispositions afin de garantir une répartition de 20 % pour le dosage et de 80 % pour la dilution et le refroidissement de la paroi.

IV.4. 2. Estimation de la longueur :

En prenant comme référence un modèle d'une chambre annulaire qui fonctionne à une température de 710 °K sous une pression supérieure à 1,2 bar, qui a pour dimensions et répartition suivante la figure (IV.1) :

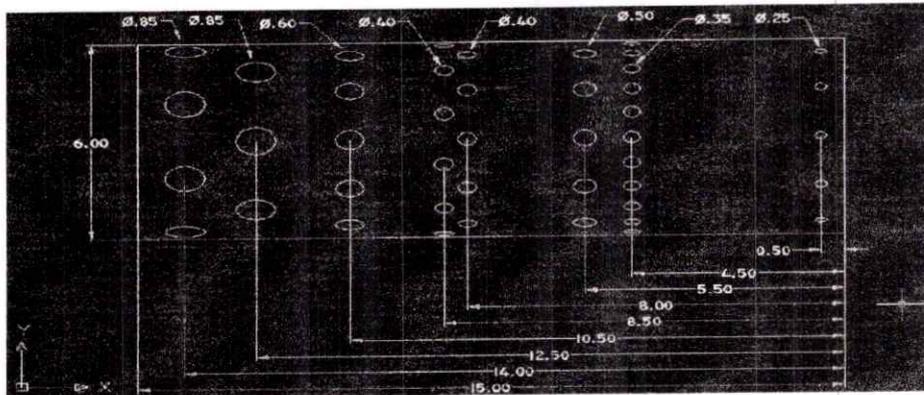


Figure (IV.1) : model de la chambre prise

Afin d'estimer la longueur de notre chambre, opérant jusqu'à une température de 1000 °k et sous une pression pouvant atteindre 3.5 bar.

IV.4. 3. L'étape de la réalisation :

IV.4. 3.1. La chambre de combustion

La chambre de combustion réalisée est tubulaire à flux inversé, afin d'éviter le décrochage de la flamme en lui offrant un temps de résidence favorable. Elle est composée de deux enveloppes, externe faite d'un tube en acier et une manchette d'entrée soudée sur cette dernière de telle façon à être tangente a l'enveloppe externe.

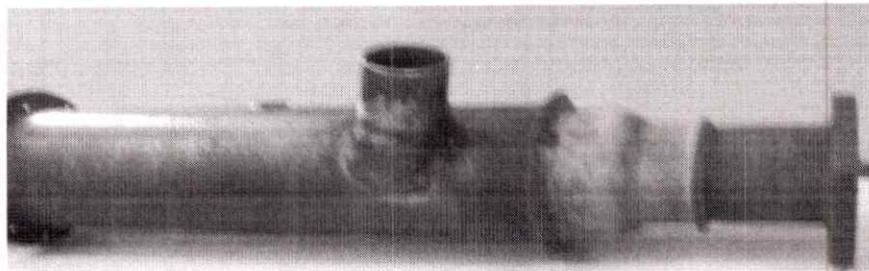


Figure (IV.2) : le tube de l'enveloppe externe de la chambre de combustion

La longueur de la chambre de combustion est de 60cm, selon les estimations théoriques.

Sur la section haute de la chambre, on soude une bride de 133mm diamètre interne, de 173mm diamètre externe, et d'épaisseur de 3mm, et un couvercle en forme de disque de 173mm de diamètre, et d'épaisseur de 3mm en acier sur lequel on a réalisé un trou pour introduire l'injecteur.

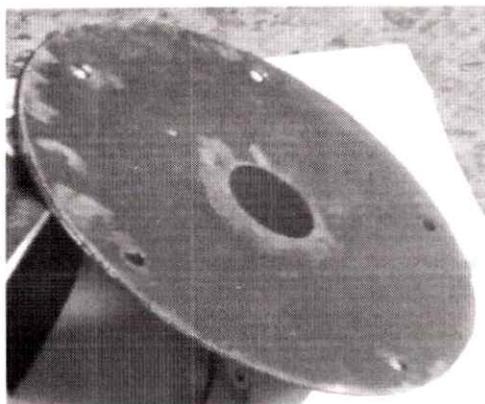


Figure (IV.3) : le couvercle

La partie inférieure de la chambre est composée d'un convergent de 114 / 80 sur une longueur de 97mm, montée sur une manchette soudée à une bride de fixation rectangulaire avec 4 trous adaptée à l'entrée turbine du turbocharger. Pour la faire adopter avec l'enveloppe externe, on a soudé une bride sur le grand diamètre du convergent avec un diamètre externe de 133mm.

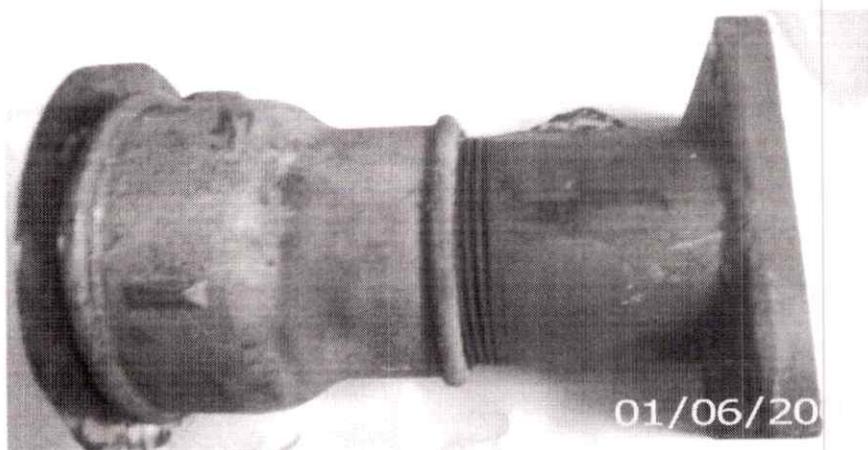


Figure (IV.4) : partie inférieure de la chambre

L'ensemble est soude pour avoir la forme finale de l'enveloppe externe de la chambre de combustion comme indiquée sur la figure (IV.5).

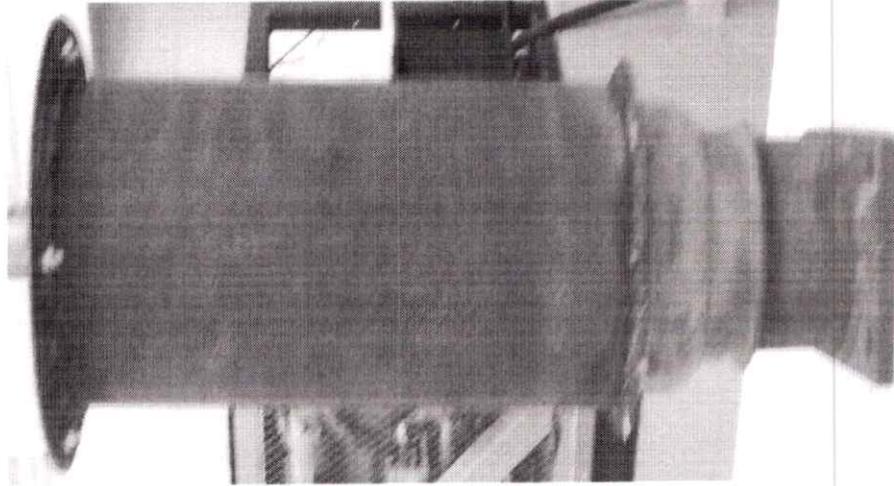


Figure (IV.5) : l'enveloppe externe de la chambre de combustion

Le tube interne << tube à flamme >> de 540mm de longueur, et de 100mm de diamètre est réalisé en tôle de 1.5mm d'épaisseur, perforée et soudée à l'argon après roulage, un troc de cône est rajouté au tube pour accélérer l'éjection des gaz brûlés.

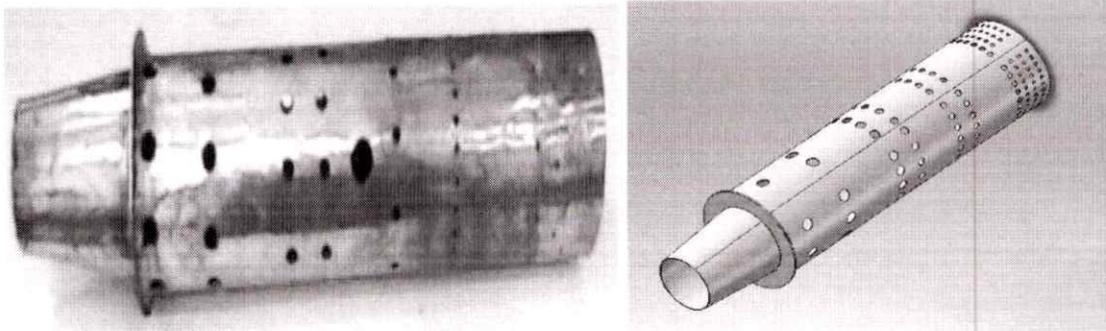


Figure (IV.6) : tube à flamme

Le tube est plongé dans l'enveloppe externe pour avoir la forme finale de la nouvelle chambre de combustion, comme indiqué sur la figure ci-dessous.

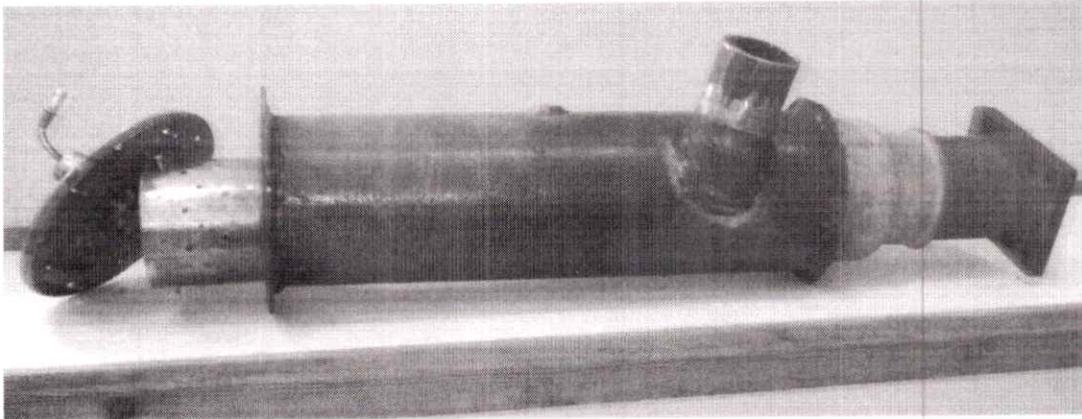


Figure (IV.7) : chambre de combustion

Un culot est soudé, au milieu de l'enveloppe externe de la chambre de combustion pour assurer l'allumage à l'aide d'une bougie.



Figure (IV.8) : Le culot avec la bougie d'allumage

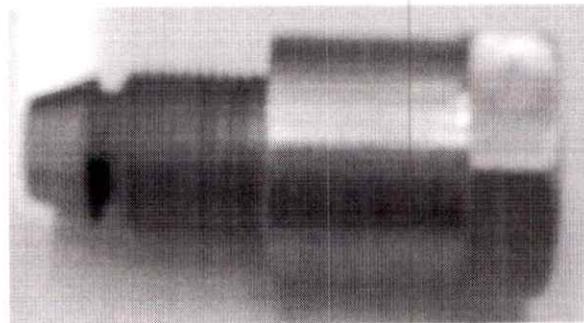
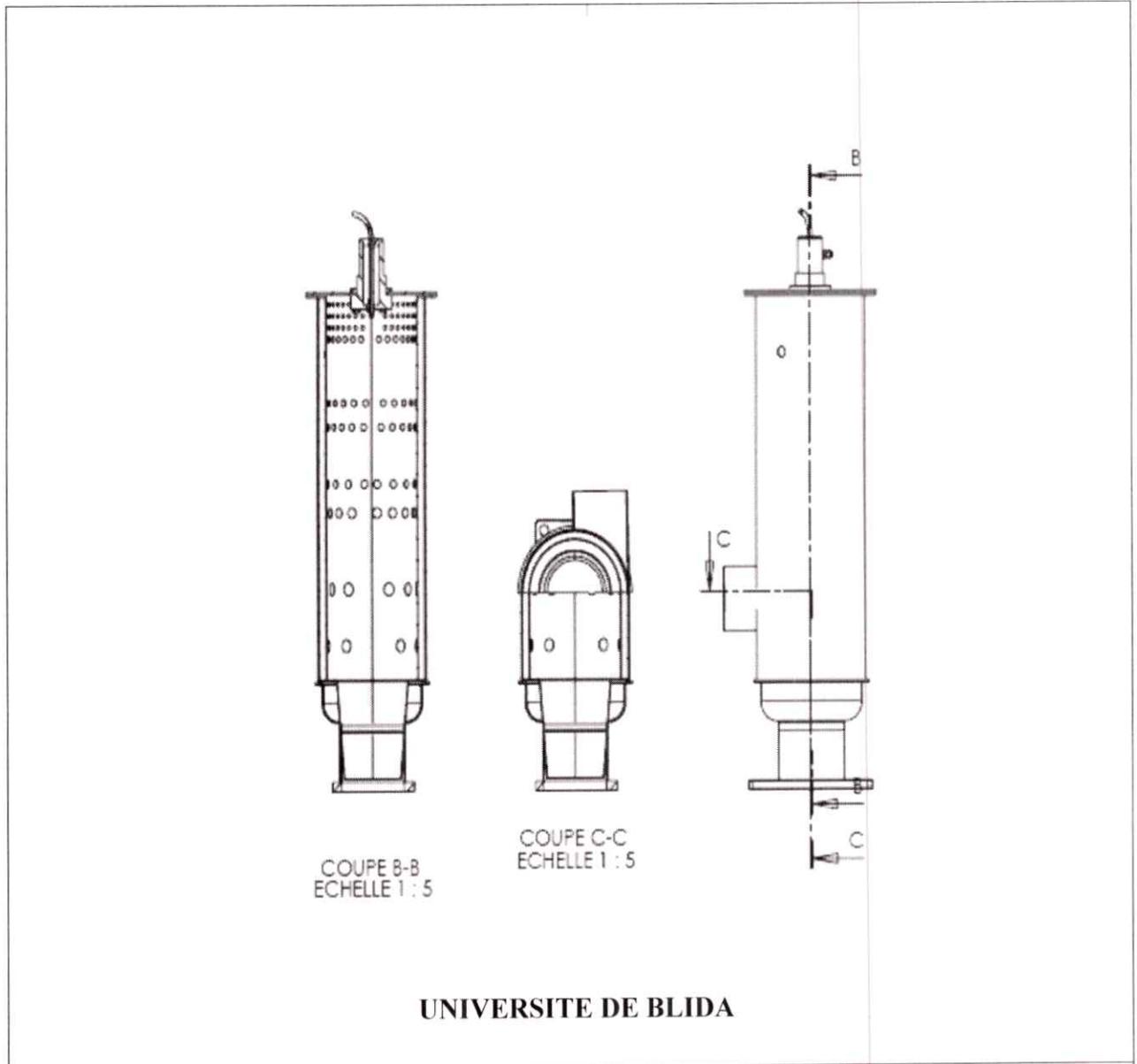


Figure (IV.9) : Le culot



UNIVERSITE DE BLIDA

Institut d'aéronautique de Blida

<p>ECHELLE : 1/5</p>	<p>LA CHAMBRE DE COMBUSTION</p>	<p>MAKHBI. L</p>
<p>P F E</p>		<p>MELKAR. S</p>

IV.4.3.2. L'injecteur mixte :

Son rôle est d'assurer la pulvérisation correcte du carburant sur toutes les gammes de fonctionnement de pression et température et minimiser la production de polluants.

Le gaz est injecté dans la chambre de combustion à travers les buses pour le gaz butane, par contre le gasoil est injecté grâce au tube central. Troué afin d'avoir un débit sortant suffisant pour permettre un très-bon mélange avec l'air entrant.

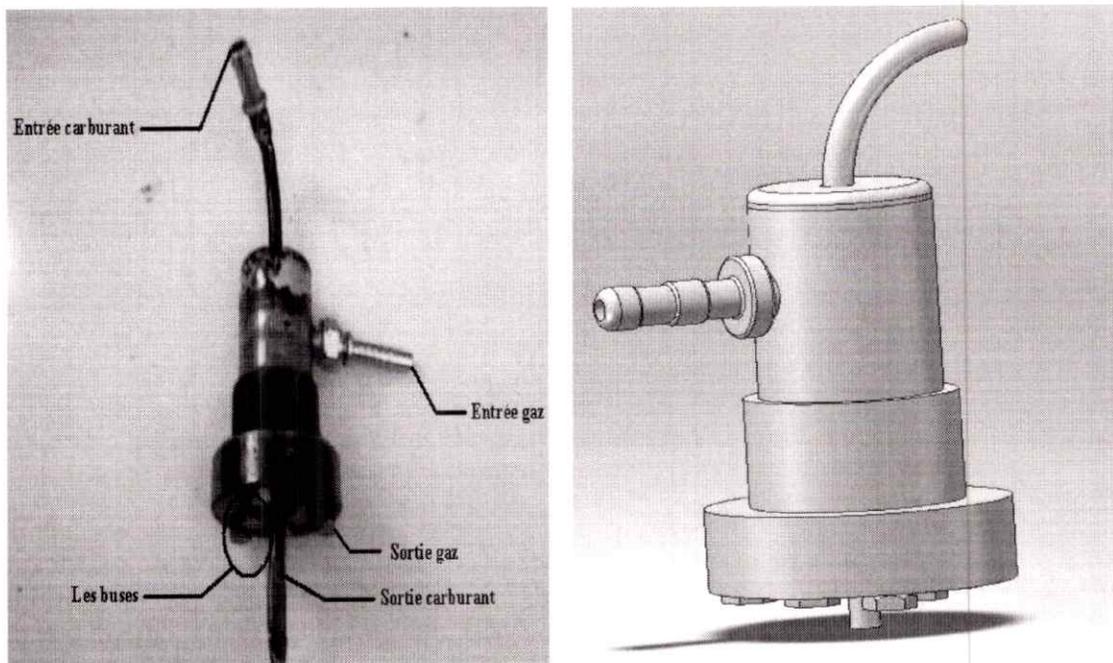


Figure (IV.10) : l'injecteur

IV.4.3.3. Montage des éléments :

Une chambre de combustion tubulaire est constituée essentiellement de :

- ✓ l'enveloppe externe,
- ✓ le tube à flamme
- ✓ l'injecteur.

Le tout est posé sur le turbocharger et fixé à l'aide de 4 boulons (M15).

IV.5. Les circuits associés dans le banc d'essai :

IV.5.1. Circuit de carburant :

La réalisation de l'alimentation est constituée de deux circuits carburant l'un pour l'acheminement du gaz butane, l'autre pour le gasoil.

➤ Circuit du gaz :

La bouteille est liée directement à la manette des gaz afin de régler le débit pénétrant dans la chambre de combustion, la pression du gaz est contrôlée à l'aide d'un manomètre relié avec un té entre la manette et le tuyau provenant de la bouteille, ensuite un autre flexible se dirige directement vers la chambre de combustion assurant l'alimentation en carburant. Pour assurer un meilleur contrôle du débit gaz on a placé un robinet en brans.

➤ Circuit du gasoil :

Contient les éléments suivants :

- Un réservoir.
- La tuyauterie est en tube de plastique, assurant la circulation du carburant.
- Pour mettre le carburant sous pression on utilise une pompe électrique, factionnant au courant continue 12v, qui est la même que c'elle monté sur des modèles de voiture **Mazda**.

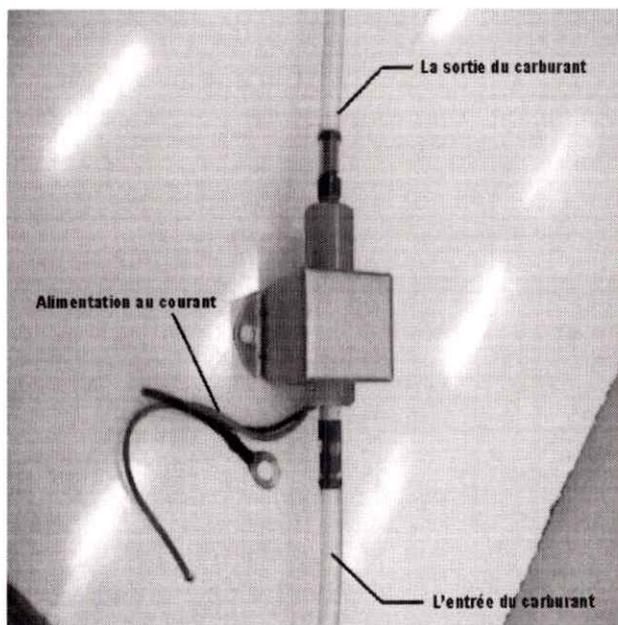


Figure (IV.11) : la pompe

Le contrôle du débit du gasoil est accompli grâce à un robinet utilisé pour le gaz.



Figure (IV.12) : le robinet.

IV.5.2. Circuit de graissage :

Le réservoir est relié à l'aide de boulons au socle, dans lequel on a plongé la pompe, sur laquelle on a fixé un coude en cuivre (15×21) la reliant au tuyau d'alimentation de couleur bleu, ce dernier est dirigé directement vers un filtre (pour éviter que toute impureté passe à travers le circuit).

Afin de régler le débit passant et d'éviter le surplus d'huile, un robinet en té sont montés après le filtre en lui connectant deux tuyaux, l'un de couleur noir, qui retourne vers le réservoir, et un autre transparent (affin d'observer le comportement et le contenu de l'huile), qui continue vers le palier.

Le tuyau transparent est lié à l'échangeur de chaleur qui nous assure un refroidissement de l'huile à l'aide d'un ventilateur.

Un tuyau bleu sort de l'échangeur, pour assurer l'alimentation du moteur, à une pression de (2bar). Enfin un tuyau transparent de récupération est monté au bas du turbo qui assure le refoulement par gravité de l'huile qui se dirige directement vers le réservoir.

Généralement les éléments filtrants sont des cartouches en papier interchangeables après une certaine durée d'utilisation.

Dans notre réalisation on a équipé notre circuit de carburant avec un filtre à essence utilisé dans l'automobile, il permet de filtrer les impuretés venant du réservoir et ceux venant de la pompe, le filtre est fixé par boulonnerie dans le socle.

IV.5.3. Système d'allumage électrique :

L'allumage a pour rôle de provoquer la combustion du mélange (gaz / carburant) dans l'allumeur de la chambre de combustion. Dans un système d'allumage classique, un courant est délivré par la batterie à la bobine, lorsque l'interrupteur d'allumage est enclenché. La bobine convertit ensuite ce courant en un courant à haute tension (de l'ordre de 10 000 volts), qui est envoyé vers la bougie de l'allumage. La bougie produit alors une étincelle qui enflamme le mélange d'air et de carburant.

Le circuit d'alimentation électrique de la chambre comporte les éléments suivants :

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

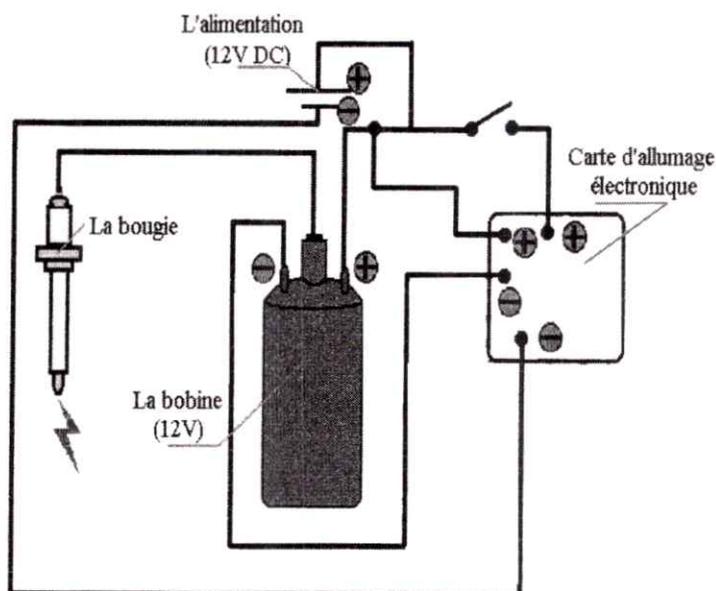


Figure (IV.13) : le système d'allumage

IV.6. Essais de fonctionnement :

IV.6.1. Introduction :

Le but principale de notre réalisation est de permettre à l'étudiant, technicien moteur avion, d'effectuer des travaux pratiques sur la chambre de combustion et de voir le fonctionnement réel de cette dernière sur un banc de simulation. De ce fait il faut bien définir les éléments constituant le banc d'essai, donner les procédures de démarrage et d'extinction de la chambre de combustion et les applications possibles.

IV.6.2. Mesures de sécurité :

➤ A l'arrêt :

- ☞ S'assurer que la bouteille de gaz est bien connectée, et que la pression qui règne à l'intérieur ne dépasse 2 bars.
- ☞ Les extincteurs posés à côté du moteur, et dégoupillés.
- ☞ Le ventilateur est à l'arrêt.
- ☞ La manette des gaz est au point off.
- ☞ S'assurer que l'allumage est off.
- ☞ Vérifier que le réservoir de l'huile est plein.

➤ **En fonctionnement :**

- ☞ Faire bien attention à la haute tension 380V, pour le démarrage du ventilateur.
- ☞ Ne pas se placer près de la bouche d'aspiration du ventilateur.
- ☞ Eviter de rester en face la tuyère d'éjection.
- ☞ Se protéger contre le bruit, en utilisant un casque.
- ☞ Eviter de toucher à la file d'alimentation en électricité, et de la bobine d'allumage.
- ☞ Actionner la manette des gaz doucement, toute en vérifiant la pression de la sortie compresseur dépasse celle de la bouteille, afin d'éviter le retour de la flamme vers cette dernière.
- ☞ Ne jamais allumer sans soufflage d'air (ventilateur).

IV.6.3. Les procédures de démarrage et d'arrêt de la chambre de combustion :

Après vérification de toutes les mises en gardes à l'arrêt, on procède à :

- 1) Connecter le courant à 220V.
- 2) Ouvrir la bouteille à gaz et vérifier le circuit des fuites.
- 3) Allumer la pompe à carburant.
- 4) Vérifier la pression dans le circuit à carburant.
- 5) vérifier qu'il n'y a pas des fuites dans le circuit à carburant.
- 6) Régler la trappe du ventilateur à une ouverture réduite enfonçant 1cm au max.
- 7) Lancer le moteur du ventilateur.
- 8) Actionner l'allumage et vérifier qu'il y'a une étincelle en entendant du bruit.
- 9) Ouvrir le robinet à gaz progressivement.
- 10) Mettez vous hors portée de la flamme.
- 11) S'assurer que l'allumeur est en fonctionnement par une petite augmentation de température.

- 12) Commencer à ouvrir le robinet de carburant progressivement et fermer celui de retour un peu proche de zéro, jusqu'à apparition de la flamme, au début elle aura une couleur rouge.
- 13) Arrêter l'allumage.
- 14) Fermer le robinet à gaz.
- 15) Ouvrir progressivement la trappe d'aspiration du ventilateur jusqu'à ce que la flamme devienne bleue jaunâtre.
- 16) Laisser le temps pour la stabilisation de la flamme.
- 17) A ce moment la flamme est accrochée et la combustion s'accroît.

Pour arrêter la flamme il suffit de fermer le robinet de dosage et d'ouvrir celui de retour, puis arrêter le moteur d'entraînement de la pompe et l'alimentation, on laisse le ventilateur en fonctionnement pour refroidir la chambre de combustion pour 5 minutes au maximum.

IV.6.4.Phase d'accélération :

Une fois la flamme est accrochée, et que le moteur assure son cycle de fonctionnement, sans l'aide du ventilateur, on peut régler l'accélération du moteur, et le faire fonctionner à différents régimes, tout en jouant sur le débit gaz, plus la manette des gaz est ouverte plus le moteur demande de l'air, ce qui le force à aspirer encore plus d'air, et par conséquent le moteur accélère plus, et fourni beaucoup de puissance.

IV.6.5. Extinction :

Pour passer à l'arrêt du moteur il suffit de couper les gaz, en actionnant un moment l'allumage, pour brûler tout le gaz resté à l'intérieur, une fois le moteur est à l'arrêt, on ouvre toute la trappe du ventilateur pour assurer un refroidissement de ce dernier, tout en laissant le circuit d'huile en marche, afin d'éviter d'endommager les paliers du turbo, pendant 10mn, puis en arrête le tout.

Toujours, avant chaque essai il faut connaître déroulement théorique de l'expérience qui nous entrain de faire, donc pour notre l'expérience il faut fixer quelques idées :

1. La couleur e la flamme et qu'est ce que signifie.
2. La quantité des imbrulés.
3. L'existence de fumée.

→ **Le premier essai :**

On mise en marche le ventilateur et on le raccorde à l'entrée d'air bien sur avec un sir-clips on laisse le turbocharge fonctionne quelques minutes en ventilateur et lorsque la température va atteindre la sénile l'auto-inflammation on l'existe la bougie a l'aide de la bobine d'excitation.

On remarque que l'étincelle I est faible donc ce dernier va infecter la propagation de la flamme.

On commence d'abord par l'injection de gaz ; une fois la flamme se propage on injecte la carburant (gasoil) a l'aide d'une pompe à carburant.

Le débit fuel augmente et engendre puissance fournie théorique puis importante mais on pratique on a constaté que le mélange se trouve trop riche par ce que la flamme est propagé sévèrement à l'extérieur. Avec dégagement des imbrulés au sol ainsi que un niveau de pollution élevé.

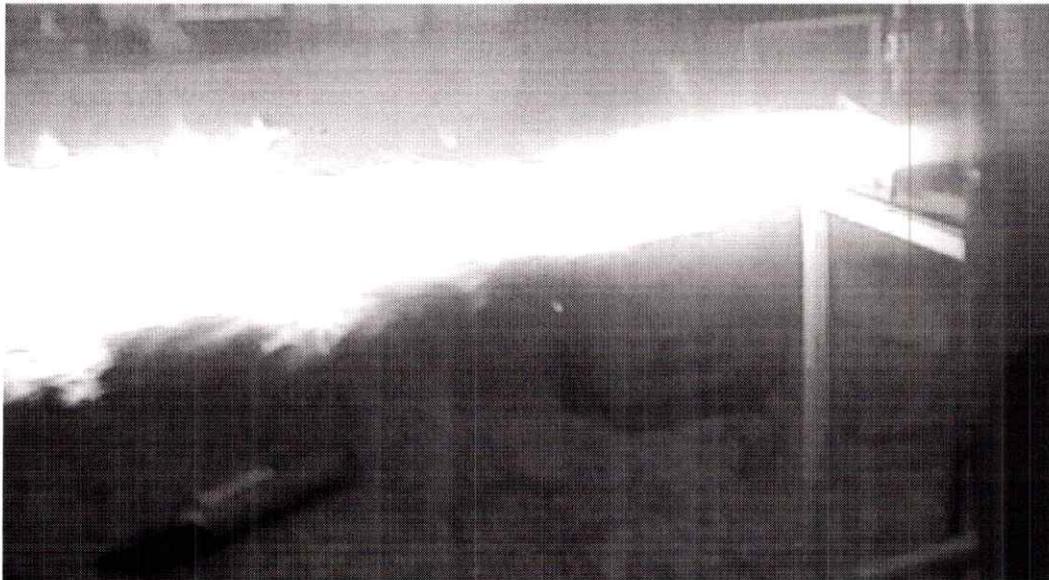


Figure (IV.14) : photo de la flamme sortie sévère

- ☞ Le débit carburant trop élevé
- ☞ Le débit d'air faible (l'éventuel de ventilateur)
- ☞ Les résiduelles des gouttelettes de carburant.
- ☞ Le carburant n'est pas totalement pulvérisé.

➔ **Dans le deuxième essai :**

L'étincelle est insuffisante à cause de :

- ☞ l'écartement des deux électrodes n'est pas réglé.
- ☞ la bougie n'est pas insérée correctement dans la tube à flamme.

Donc pour mettre l'essai au terme, nous sommes obligées d'exciter le gaz avec le papier.

Lorsque la flamme se propage on injecte le carburant mais cette fois-ci le débit est réglé à l'aide d'un robinet (pour le gasoil et même pour le gaz).

Et avec un débit d'air important assurant un bon brassage carburant / air ce qui améliore normalement la combustion.

Le débit de carburant augmente et engendre une puissance fournie plus importante mais à cause d'un mauvais contrôle de ce dernier la flamme se trouve à l'extérieur mais cette fois-ci avec une sortie acceptable avec une couleur orange foncée et moins polluante qui implique théoriquement une combustion complète.

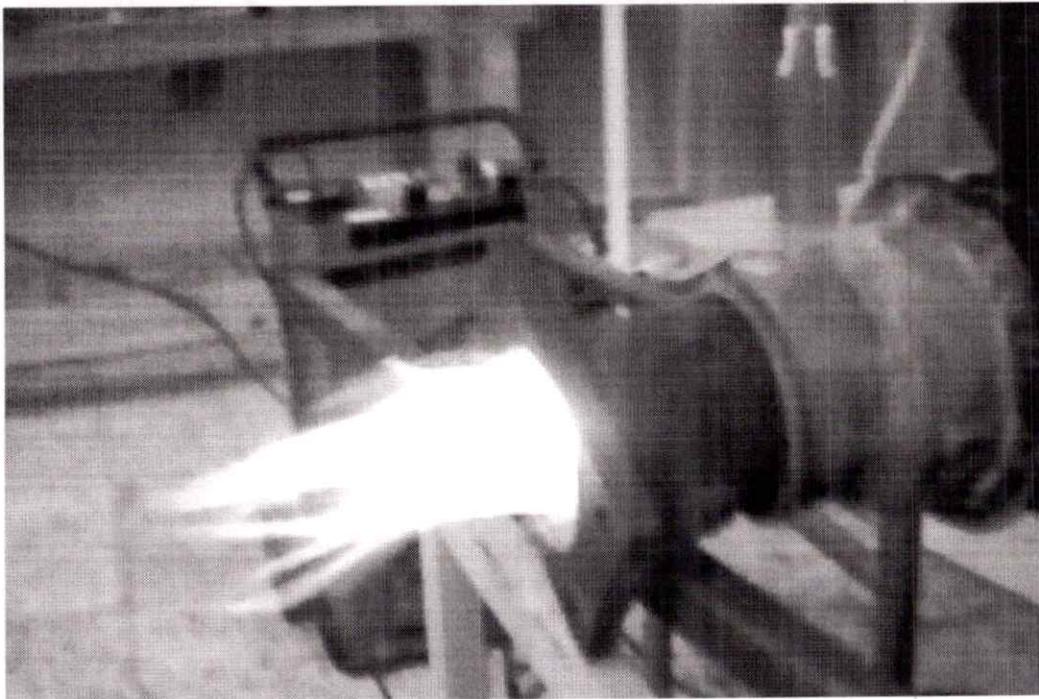


Figure (IV.15) : photo de la flamme déplacée vers l'extérieur

CONCLUSION

Durant la période de travail nous avons rencontré.

Pas mal de problème et de difficulté ce qui nous a freiné plusieurs fois ce qui nous a fait perdre beaucoup de temps.

Mais grâce à la volonté et l'ambiance qui régnait à l'enceinte de notre atelier, on a pu finalement concrétiser notre projet, qui est à présent opérationnel, et fonctionne sans aucun problème.

Nous espérons que le banc d'essai servira d'outil pédagogique pour les futurs Techniciens de propulsion et leur donnent le moyen de réaliser des travaux pratiques beaucoup plus fructueux.

Enfin nous souhaitons que le travail effectué permettra d'encourager beaucoup plus nos étudiants, et leur donner la volonté de bien vouloir s'investir sans aucune crainte dans d'autres propos.

Ce travail représente le fruit de plusieurs mois de travail et de ténacité à l'atelier de propulsion du département aéronautique. Ce qui nous a permis d'acquérir une certaine expérience dans différents domaines liés à notre formation à savoir : la soudure, la métallurgie.

Cette étude, nous a permis aussi de nous familiariser avec la combustion et la chambre de combustion, de connaître sa technologie, son principe de fonctionnement, mais surtout les procédures et méthodes de conception et maintenance.

Notations

symbole	désignation	unité
C_p	Chaleur spécifique à pression constante	j/kg.k°
C_v	Chaleur spécifique à volume constante	j/kg.k°
T	Température	k°
P	Pression	pa
T_t	Température total	k°
P_t	Pression total	pa
S	L'enthalpie	j/Kg.k°
r	Richesse du mélange	
V	Vitesse	m/s
f	Dosage	
F	Poussée	Kw
\dot{m}	Débit de masse	kg/s
\dot{m}_{fuel}	Débit de carburant	Kg/s
v_{sortie}	Vitesse d'éjection des gaz	m/s
$v_{\text{entrée}}$	Vitesse d'admission	m/s
Q	Puissance calorifique	Kj/s
P_{ci}	Pouvoir calorifique du carburant	Kj/Kg
P_p	Puissance propulsive	W
W_u	Puissance utile	W
η_p	Rendement propulsif	
η_{th}	Rendement thermodynamique	

Tableau de conversion

Longueur	1m = 3,2008ft = 39037in
Surface	1m ² = 10,764ft ² 1cm ² = 0,155in ²
Volume	1gal = 0,13368ft ³ = 3,785l 1l = 10 ⁻³ m ³ = 61,02in ³
Masse	1kg = 100g = 2,20046bm = 6,8521×10 ² slug
Energie	1j = 1n.m = 1kg.m ² /sec ² 1btu = 778,16ft.lbf = 252cal = 1055j 1cl = 4,186j 1kj = 0,947813btu = 0,23884k cal
Puissance	1kw = 3412btu/hr = 1,341hp
Pression	1atm = 14,696lb/in ² = 14,696psi = 760torr = 101,325pa 1atm = 30inHg = 407,2in H ₂ O 1mmHg = 0,01934psi = 1torr 1pa = 1n/m ² 1inHg = 3376,8pa
Puissance	1kj/kg = 0,4299btu/lbm
Chaleur	1kj/ (kg.C°) = 0,23884btu/ (lbm.f°)
température	1k = 1,8R 1k = 273,15C° 1R = 459,69F° 1C° = 1,8F°

BIBLIOGRAPHIE

[1] air Algérie

Cours théorique sur la réaction.

[2] Jean Mermoz

- Gilbert jougeux → le moteur d'avion (complément technologique)
Institut d'aéronautique
- Edition 1976.
- Fondateurs andreranondo → courts aéronautique cellule équipements et circuits
- Edition 1980.

[3] Mr Bentrads Hocine.

- Cours de propulsion et de technologie moteurs 2007-2008.

[4] Lehmann et Lepourry.

- Technologie des turboréacteurs.
- Edition 1982.

[5] Le turboréacteur.

- Le groupe SNECME.
- Polygraphie de la société nationale d'étude et construction de moteurs d'aviation (édition avril 1989).

[6] Mémoire de fin d'étude de l'année universitaire 2001/2002.

- Réalisation d'un micro turboréacteur.
- Fait par : seradj mounir et khoufache toufik.
- Promoteur BENTRAD.H :

[7] Edmondperthuis « la combustion industrielle, 1983 ».

[8] Didier Féminier.

- Cellules et systèmes d'aéronefs.
 - Edition 1986.
-