

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de
La Recherche scientifique

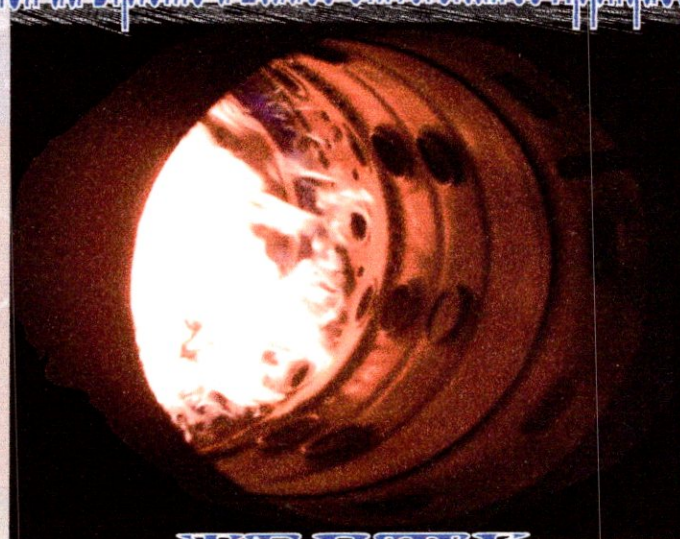
Université Saad Dahleb de Blida

Département de l'Aéronautique

Option Propulsion

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Universitaires Appliquées en aéronautique



THEME

realisation d'un banc d'essais d'une
chambre de combustion tubulaire

Réalisé par :

M^R KAID SAMIR

M^R MERABET SOFIANE

Encadré par :

M^R BENTRAD HOCINE

Session: 2006

REMERCIEMENT



Nous sommes heureux d'exprimer notre sincère gratitude et vifs remerciements à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et en particulier à nos deux promoteurs Mr BENTRAD Hocine et Mr KEBAB Hakim pour leur assistance et leur conseils qui nous ont permis d'aboutir dans notre réalisation, et Mr MOKHTARI djamel à qui on doit beaucoup de respects, Ainsi qu'à toute l'équipe de l'atelier de propulsion, Mr ABDELKRIM, Mr DAOUADJI pour leur disponibilité et leurs soutiens, comme nous témoignons notre reconnaissance à Mr AMIRI mustapha qui nous a beaucoup aidé dans les réalisations des pièces mécaniques et Mr TIKANUINE hacene et Mr GUELATI Karim pour leur aide au niveau de la direction technique d' AIR ALGERIE et leur conseils ainsi que leur aides bibliographique.



SAMIR ET SOFIANE

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :
A Mes très chers parents
Qui m'ont soutenus pendant ce long parcours
A mon grand Frère LYES
Et le petit GHILES



A mes chers grands parents
A mes oncles et mes tantes paternels et maternels
A mes cousins et cousines qui sont en Algérie et a l'étranger
A Mon cher ami et binôme MERABET SOFIANE et sa famille

A tous mes amis : SOFIANE , MOUNIR, KARIM,
NACIRA, MOULOUD ,AMAR, SAMIA , AMEL, SARAH
CHAFIK ,IMANE,TAREK,YACINE.....

A mes professeurs du primaire à l'université
Je le dédie aussi à tous ceux qui m'ont aidé à le réaliser

SAMIR.....

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A Mes chers parents bien aimés pour tout leur sacrifice

A mon Frère RACHID

A ma sœur Nesrine



*et spécialement à ma grande mère TOUNES
Sans oublier mes chers grands parents maternel
que j'aime très fort*

A tous mes oncles et mes tantes

Ainsi qu'à tous mes cousins et cousines adorés

*A Mon chér ami et binôme KAID SAMIR, ainsi que
toute sa famille*

*A tous mes amis : SAMIR, MOUNIR, KARIM,
NACIRA, AMAR, AMEL, SARAH, CHAFIK, IMANE, TAREK, YACINE.....*

*Et je le dédie aussi à tous ceux qui méritent mes respects
SOFIANE*



sommaire

5 6 2006

sommaire :

Liste des figures

Liste des symboles

Introduction

Chapitre I : Généralités.

1/ Les moteurs à réaction.....	01
1.1 / Turboréacteur	02
1.2 / Turboréacteur a double flux.....	03
1.3 / Turbopropulseur.....	04
2/ les principaux éléments constituant un moteur	05
2.1 / Le compresseur.....	05
2.2 / La chambre de combustion.....	06
2.3/ La turbine.....	06
2.4 / La tuyère.....	07
2.5 / La Gearbox.....	07
3/ la chambre de combustion.....	08
3.1 Le rôle	08
3.2 Description.....	08
3.3 Le Fonctionnement.....	09
3.4 Types de chambres.....	10
a/ Chambre individuelle (séparée).....	10
b/ Chambre de combustion annulaire.....	11
c/ Chambre de combustion tubo-annulaire(mixte).....	12
d/ Chambre de combustion inversée.....	13
4/ Matériaux utilisés.....	14
5/ Pollution	15
5.1/ Solution adoptée par General Electric	16
5.2/ Solution adoptée par Pratt and Withney	18
5.3/ Chambre inverse	20
6/ Combustion catalytique.....	21
7/ Circuit carburant.....	22
8/ L'injecteur.....	23
9/ Amélioration de la pulvérisation.....	24

Chapitre II : Vue d'ensemble sur la combustion.

1/ Les réactifs.....	25
2/ La combustion.....	25
3/ L'auto inflammation.....	26
4/ Température et délai d'auto- inflammation.....	26
5/ La propagation de la flamme.....	26
6/ Vitesse de propagation.....	27
7/ Le combustible.....	28
8/ Réaction de combustion.....	29
9/ Facteurs régissant la combustion.....	30

Sommaire :

10/ L'étude thermoénergétique de la chambre de combustion.....	31
11/ Bilan énergétique.....	33
12/ Evolution des paramètres, pression, températures et vitesse dans une chambre de combustion.....	35

Chapitre III : le banc d'essais.

INTRODUCTION.....	36
1/ L'historique du moteur.....	36
2 / Les systèmes constituent le banc d'essai	38
2.1 / Le ventilateur.....	38
2.1.1/ Les éléments constituant un ventilateur.....	38
2.1.2/ Les caractéristiques d'un ventilateur.....	38
2.1.3/ la roue du ventilateur.....	41
2.2 / Le socle.....	41
2.3/ La chambre de combustion.....	42
a. <i>Le carter intermédiaire</i>	43
b. <i>Le redresseur</i>	43
c. <i>L'enveloppe externe</i>	44
d. <i>Le tube à flamme</i>	44
e. <i>La fixation de tube à flamme</i>	45
f. <i>Le système de drainage</i>	46
g. <i>L'injecteur</i>	47
h. <i>L'allumeur</i>	47
i. <i>Le thermocouple de température</i>	48
j. <i>Montage d'ensemble de la chambre de combustion</i>	50
2.4 / Système d'alimentation.....	50
2.4.1 / Le réservoir.....	50
2.4.2 / Le moteur et la pompe à carburant.....	51
2.4.3 / Le filtre.....	53
2.4.4 / Les robinets de régulation.....	54
2.4.5 / Les indicateurs de pression.....	54
2.5 /système d'allumage électrique	57
• Le transformateur.....	57
• La carte électronique.....	58
2.6 /Le système de commande et d'indication	59
• Le circuit hydraulique.....	59
• Le circuit électrique.....	60

Chapitre IV : .

1 / Introduction	61
2 / les mesures de sécurité	62
3 / Les manipulations	62
Manipulation N°1	62
Manipulation N°.....	65
Manipulation N°3	67
a / Les procédures de démarrage et d'arrêt de la chambre de combustion.....	67
b /Les mesures à prendre.....	67
C / Interprétation des résultats.....	74

Conclusion

Bibliographie

liste des figures :

Chapitre I : généralités

Figure (1-1) : une coupe d'un turboréacteur	1
Figure (1-2) : une coupe d'un turbopropulseur	1
Figure (1-3) : une coupe d'un turbofan.....	1
Figure (1-4) : photo réel d'un turboréacteur (ATAR).....	2
Figure (1-5) : les différents élément qui constitue un turboréacteur	2
Figure (1-6) : photo réel d'un turbofan (CFM 56)	3
Figure (1-7) : les passages des flux dans turboréacteur	4
Figure (1-8) : photo réel d'un turbopropulseur	4
Figure (1-9) : une coupe d'un turbopropulseur	4
Figure (1-10) : le compresseur type axial	5
Figure (1-11) : une coupe de chambre de combustion.....	6
Figure (1-12) : les étage de turbine.....	6
Figure (1-13) : la tuyère.....	7
Figure (1-14) : la position de la gearbox sur le moteur.....	7
Figure (1-15) : la gearbox.....	7
Figure (1-16) : les différents élément qui constitue la chambre de combustion.....	8
Figure (1-17) : l'entrée de l'air primaire.....	9
Figure (1-18) : l'entrée de l'air secondaire.....	9
Figure (1-19) : coupe transversal des chambres individuelles.....	10
Figure (1-20) : turboréacteur a chambres de combustion individuelles (VK-1H).....	11
Figure (1-21) : coupe transversal et longitudinal de chambre annulaire.....	11
Figure (1-22) : photo transversal d'une chambres Annulaire (ATAR)	12
Figure (1-23) : photo d'une coupe longitudinal des chambres annulaire.....	12
Figure (1-24) : coupe transversal et longitudinal de la chambres mixte.....	12
Figure (1-25) : chambre de combustion mixte.....	13
Figure (1-26) : chambres de combustion inversée.....	13
Figure (1-27) : graphe de la teneur de CO, IMBRULES et NO.....	15
Figure (1-28) : chambres classique.....	17
Figure (1-29) : chambres radiale/axiale.....	17
Figure (1-30) : double chambre annulaire.....	17
Figure (1-31) : chambres classique.....	18
Figure (1-32) : chambres hybride.....	18
Figure (1-33) : chambres VORBIX.....	19
Figure (1-34) : chambres de base.....	20
Figure (1-35) : modification de la chambres de base.....	20
Figure (1-36) : conception débit d'air pilote.....	21
Figure (1-37) : pré- mélange, pré- vaporisation.....	21
Figure (1-38) : circuit carburant d'un moteur.....	22
Figure (1-39) : injecteur simplex.....	23
Figure (1-40) : injecteur duplex.....	23
Figure (1-41) : coupe longitudinal du tourbillonnaire.....	24
Figure (1-42) : photo du tourbillonnaire.....	24
Figure (1-43) : photo d'ensemble des tourbillonnaires.....	24

Chapitre II : Vue d'ensemble sur la combustion

Figure (2-1) : courbe de pression minimal en fonction du dosage réel	30
Figure (2-3) : courbe qui montre l'évolution théorique de la pression en fonction de la température	31
Figure (2-4) : courbe qui montre l'évolution réelle de la pression en fonction de la température	32
Figure (2-5) : courbe qui montre L'évolution réelle et théorique du fluide dans le compresseur	32
Figure (2-6) : Evolution des paramètres, pression températures, vitesses, dans une chambre de combustion.....	35

Chapitre III : le banc d'essais

Figure (3-1) : le moteur VK-1H.....	36
Figure (3-2) : photo du moteur VK-1H.....	37
Figure (3-3) : photo du moteur VK-1H.....	37
Figure (3-4) : ventilateur.....	38
Figure (3-5) : la roue du ventilateur.....	41
Figure (3-6) : schéma du socle.....	41
Figure (3-7) : photo du socle.....	42
Figure (3-8) : photo du carter intermédiaire.....	43
Figure (3-9) : photo du redresseur.....	43
Figure (3-10) : photo de l'enveloppe externe.....	44
Figure (3-11) : photo de tube a flemme.....	44
Figure (3-12) : photo de bouchon de fixation.....	45
Figure (3-13) : dimensionnement de la pièce.....	45
Figure (3-14) : photo du guide de tube a flamme.....	45
Figure (3-15) : dimensionnement de la pièce.....	45
Figure (3-16) : photo du bouchon de drainage.....	46
Figure (3-17) : dimensionnement de la pièce.....	46
Figure (3-18) : system de drainage.....	46
Figure (3-19) : photo de l'injecteur utiliser.....	47
Figure (3-20) : photo de l'allumeur utiliser.....	47
Figure (3-21) : circuit d'alimentation de l'allumeur.....	48
Figure (3-22) : photo de la sonde de température.....	48
Figure (3-23) : photo de la sonde utiliser.....	49
Figure (3-24) : photo du montage de la chambre de combustion.....	50
Figure (3-25) : photo du réservoir.....	51
Figure (3-26) : photo du montage pompe avec moteur.....	52
Figure (3-27) : assemblage des deux poulies avec courroies.....	52
Figure (3-28) : le filtre a carburant.....	53
Figure (3-29) : les robinets de régulation.....	54
Figure (3-30) : le manomètre.....	55
Figure (3-31) : le manomètre a liquide.....	56
Figure (3-32) : mesure de la pression statique.....	56
Figure (3-33) : le système d'allumage.....	57
Figure (3-34) : Schéma électronique de la plaque d'allumage.....	58
Figure (3-35) : la plaque d'allumage.....	58
Figure (3-36) : le circuit carburant.....	59
Figure (3-37) : le circuit électrique.....	60
Figure (3-38) : table de commande.....	60

Chapitre IV :

Figure (4-1) : les éléments constituant le banc de simulation.....	61
Figure (4-2) : organes du débitmètre.....	63
Figure (4-3) : les éléments du débitmètre.....	64
Figure (4-4) : la variation du débit en fonction de la pulsation.....	65
Figure (4-5) : Le robinet de retour.....	66
Figure (4-6) : Le robinet de dosage.....	66
Figure (4-7) : les positions manométrique.....	68
Figure (4-8) : Interface EQL du logiciel de calcul d'équilibre chimique.....	71
Figure (4-9) : Teneurs des espèces chimique en fonction du dosage.....	73
Figure (4-10) : photo de la flamme.....	73
Figure (4-11) : évaluation de la température adiabatique en fonction du dosage.....	74
Figure (4-12) : le bilan énergétique de la chambre.....	76
Figure (4-13) : photo de la flamme a l'intérieur.....	77
Figure (4-14) : photo de la flamme déplacé vers l'extérieur.....	77
Figure (4-15) : photo de l'état de la flamme au débit maximum.....	78

liste des symboles :



- ✚ E : Energie d'activation
- ✚ R : Constante molaire universelle des gaz parfait (J/mol .K°)
- ✚ K : Constante de vitesse /(s)
- ✚ T : Température du milieu réactionnel / (K°)
- ✚ P/P₀ : pression absolue du mélange rapportée à la pression atmosphérique normale
- ✚ r : richesse
- ✚ T : température statique /(°K)
- ✚ T_t : température total /(°K)
- ✚ P : pression statique /(pas)
- ✚ P_t : pression total /(pas)
- ✚ \dot{m}_0 : Débit d'air / (kg/s).
- ✚ C_p : Chaleur spécifique sous pression constante / (j/kg.K°) .
- ✚ h : L'enthalpie /(j/kg).
- ✚ P_{th} : La puissance théorique / (N) .
- ✚ P_R : La puissance réel /(N)
- ✚ P_{ci} : représente le pouvoir calorifique inférieur du combustible/ (j/kg.K°) .
- ✚ \dot{m}_{fuel} : Debit carburant / (kg/s).
- ✚ EGT : exhaust gaz température /(K°)
- ✚ π_c : taux de compression globale
- ✚ η_b : Rendement berner
- ✚ Δm : La masse de fluide.
- ✚ Δt : Le temps.
- ✚ ρ : La masse volumique moyenne de fluide
- ✚ Q_m : débit massique / (Kg/S) ou (Kg/ h).
- ✚ Q_{vm} : débit volumique moyen / (m³/ S) ou (m³/ h)
- ✚ ω : vitesse de rotation /(rd/s)
- ✚ U_t : La vitesse périphérique tangentielle /(m/s)
- ✚ W_u : puissance utile /(watt) ou (ch)
- ✚ N : nombre de tour /(tr/min)
- ✚ D : diamètre / (mm)

INTRODUCTION

Un moteur a réaction est une machine thermique qui fonctionne selon le cycle de Brayton . Il assure une compression, apport de chaleur et une détente.

En effet l'apport de chaleur se déroule dans une enceinte qui est le siège de la réaction chimique d'oxydoréduction et où le fluide de travail gagne une élévation d'enthalpie.

L'étude de la combustion est très compliquée et demande beaucoup de moyens expérimental et d'analyse chimique qui consiste a étudié les paramètres physiques et les espèces chimiques développées par la combustion.

Dans le domaine pratique il est difficile d'observer le fonctionnement du processus. C'est pourquoi, nous nous sommes intéresser à concevoir et réaliser un dispositif contenant une chambre de combustion de types individuelle d'un turboréacteur existant à l'atelier de propulsion et de permettre la réalisation d'expérience de simulation de fonctionnement.

Notre étude débute par le chapitre 1 qui contient un petit rafraîchissement sur les moteurs à réaction et ces composants ainsi que les différents types de chambres qui existent en passant par le phénomène de pollution et les différentes solutions proposés. Puis une vue globale sur la combustion et les réactions chimiques ainsi que l'aspect phénoménal de la combustion est traité de près dans le chapitre 2.

Le chapitre 3 présentera les grandes lignes définissent les étapes de la réalisation et les différents éléments constituant le banc d'essais de simulation de fonctionnement de la chambre de combustion.

En terminant dans le chapitre 4 par la partie définissant l'essai expérimentales de fonctionnement et l'analyse des résultats.



chapitre I :
Généralités

5 B 2006

1/ LES MOTEURS À RÉACTION

Les moteurs à réaction sont divisés en trois catégories qui sont : les turboréacteurs, les turbopropulseurs et les turbofans, qui fonctionnent selon le même principe. L'air pénétrant dans le moteur passe tout d'abord dans un compresseur avant d'atteindre la chambre de combustion, où l'oxygène de l'air brûle le combustible présent dans la chambre. Les gaz de combustion entraînent alors des turbines qui actionnent le compresseur et le rotor du moteur.

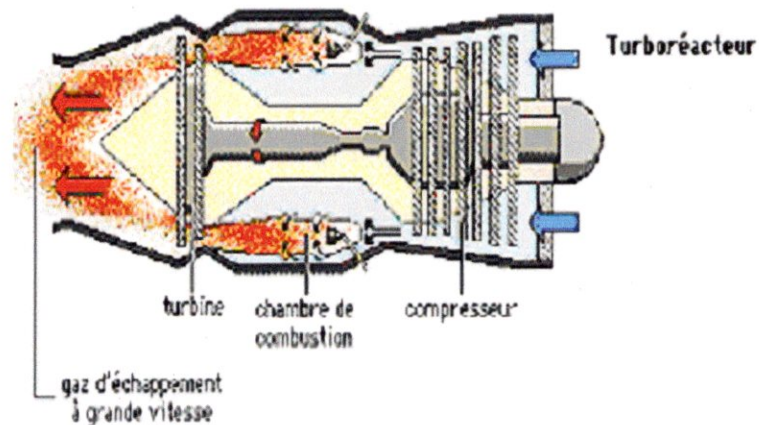


Figure (1-1) : une coupe d'un turboréacteur [6]

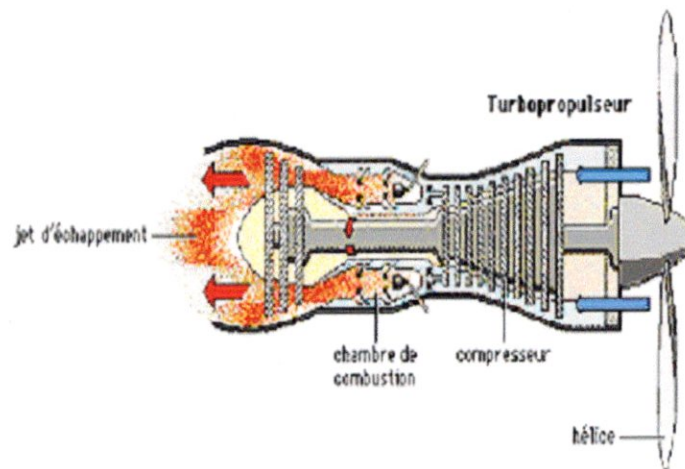


Figure (1-2) : une coupe d'un turbopropulseur [6]

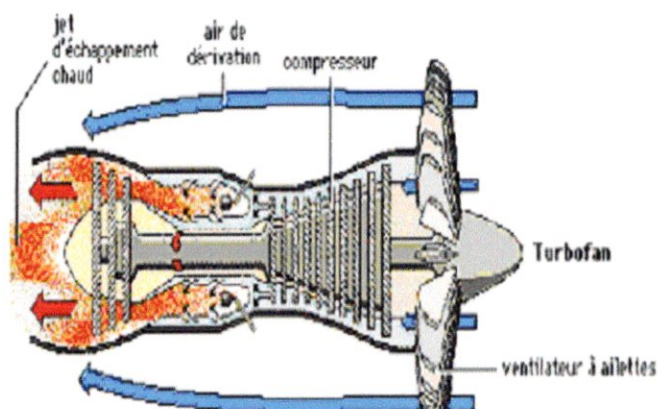


Figure (1-3) : une coupe d'un turbofan [6]

1.1 / TURBOREACTEUR

Les moteurs les plus utilisés sont : les turboréacteurs. Après l'admission de l'air dans le moteur, un ou plusieurs compresseurs, axiaux ou centrifuges, augmentent la pression de l'air, puis ce dernier pénètre dans la chambre de combustion (voir Compresseur), où il est mélangé avec le combustible vaporisé et ensuite brûlé. L'énergie nécessaire au fonctionnement du compresseur est fournie par une turbine placée entre la chambre de combustion et la tuyère.

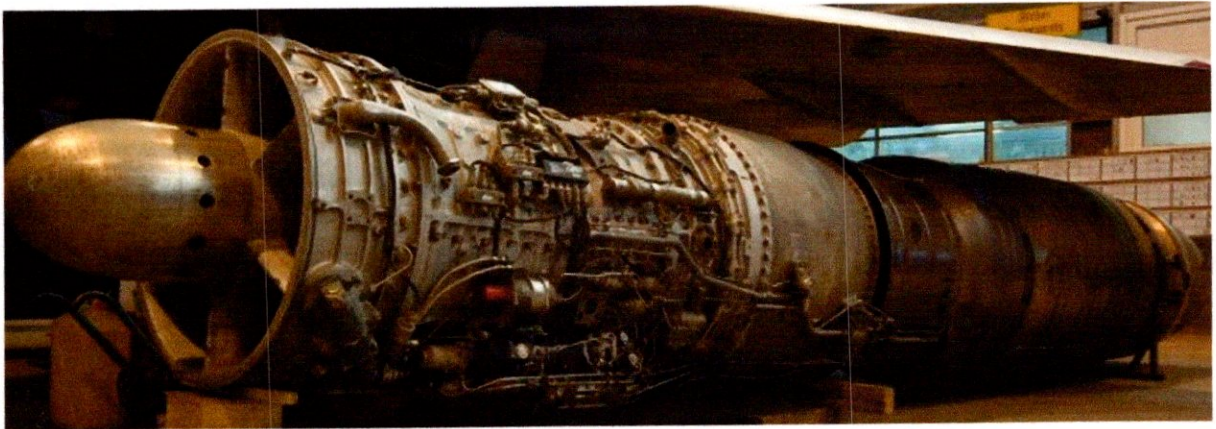


Figure (1-4) : photo réel d'un turboréacteur (ATAR)

En sortant de la chambre de combustion, les gaz atteignent les aubes d'une ou de plusieurs turbines et sont alors ralentis. Ils sont ensuite détendus essentiellement dans la tuyère, ce qui engendre une poussée.

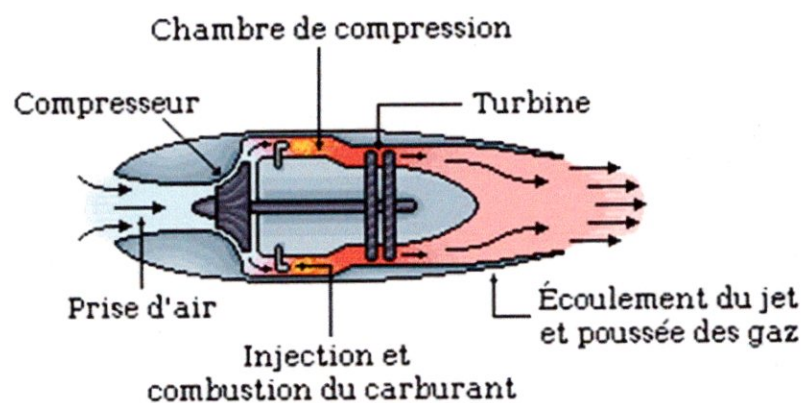


Figure (1-5) : les différents éléments qui constituent un turboréacteur

La température à l'entrée de la turbine limite actuellement les performances d'un turboréacteur. En effet, elle ne doit pas excéder 1100 °C en raison des caractéristiques thermiques des matériaux. Pour réduire cette température, seule une partie de l'air comprimé est brûlé, le volume d'air est donc fractionné à l'entrée de la chambre de combustion est mélangée avec le combustible puis enflammée ; le reste est utilisé pour le refroidissement.

Le turboréacteur à l'arrêt ne peut pas démarrer directement ; 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.

Lorsque la température de l'air ambiant augmente, la densité de l'air chaud et le flux massique dans le moteur diminuent. La poussée fournie par le réacteur décroît alors la poussée au décollage peut être augmentée en injectant de l'eau à l'entrée du compresseur, ce qui permet de refroidir l'air par évaporation de l'eau. Pour les avions militaires, dont les moteurs ont besoin plus de poussée on utilise la poste combustion qui consiste à ajouter du carburant au flux d'échappement pour brûler l'oxygène qui n'a pas été utilisé dans la chambre de combustion.

Ce procédé augmente à la fois le volume d'air et la vitesse du flux. La poste combustion a toutefois un faible rendement, ce qui restreint son utilisation à des situations qui nécessitent une brusque accélération.

1.2 / TURBOREACTEUR A DOUBLE FLUX

Les turbofans, sont une version améliorée du turboréacteur. Seule une partie de l'air qui pénètre dans le moteur est comprimée et ensuite détournée vers une enveloppe extérieure. Un turbofan est un moteur double flux à haut taux de délugations, il garantit une plus grande poussée pour le décollage et l'ascension, et un bon rendement ; le flux secondaire refroidit le moteur et diminue son niveau sonore.

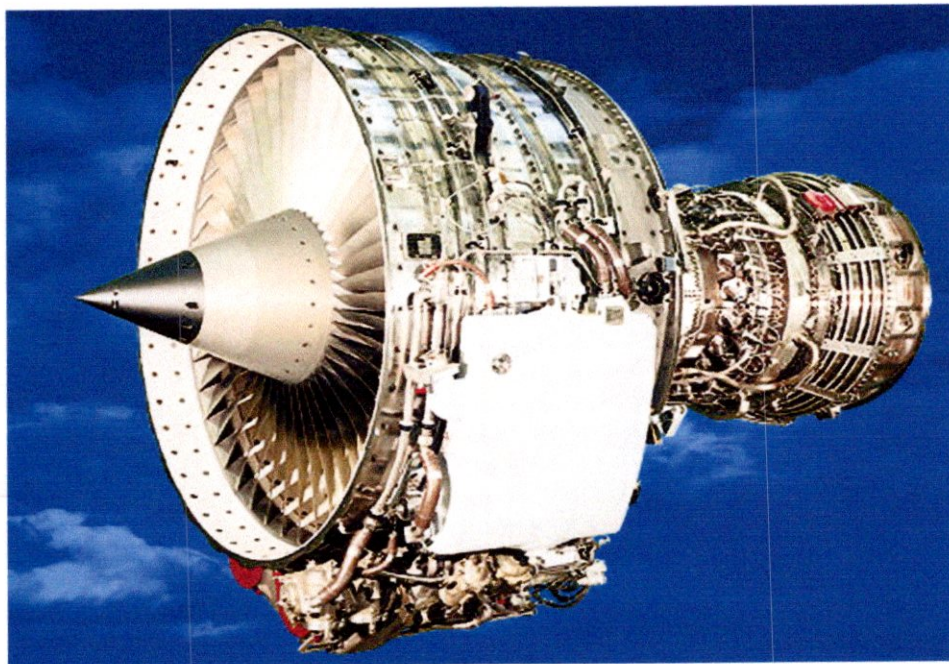


Figure (1-6) : photo réel d'un turbofan (CFM 56)

Dans ce type de moteur, seul $\frac{1}{6}$ de l'air utilisé passe dans le compresseur; les $\frac{5}{6}$ restants sont comprimés uniquement par le fan avant d'être expulsés. Des vitesses différentes de rotation sont requises pour les parties du cor à haute et à basse pression. On obtient cette différence en utilisant deux combinaisons séparées turbine- compresseur, qui fonctionnent avec deux poussées concentriques.

Deux étages de turbine à haute pression commandent les onze sections de compresseur à haute pression montée sur l'arbre extérieur. Quatre étages de turbine fournissent l'énergie pour le ventilateur.

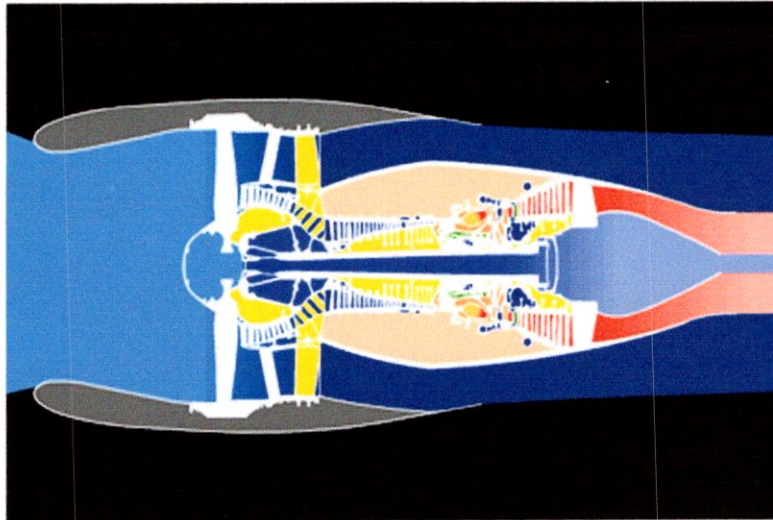


Figure (1-7) : les passages des flux dans turboréacteur

Les recherches actuelles sur les turboréacteurs à simple et à double flux est consacrée pour une grande part à l'application plus efficace des compresseurs et des turbines, à l'invention de systèmes spécifiques de refroidissement à aubes qui permettraient des températures plus élevées à l'entrée de la turbine, et à la réduction du bruit du réacteur.

1.3/ TURBOPROPULSEUR

Il a la même constitution que le turboréacteur. L'air subit à peu près le même cycle thermodynamique. Le turbopropulseur utilise cependant une hélice pour fournir l'énergie de propulsion.

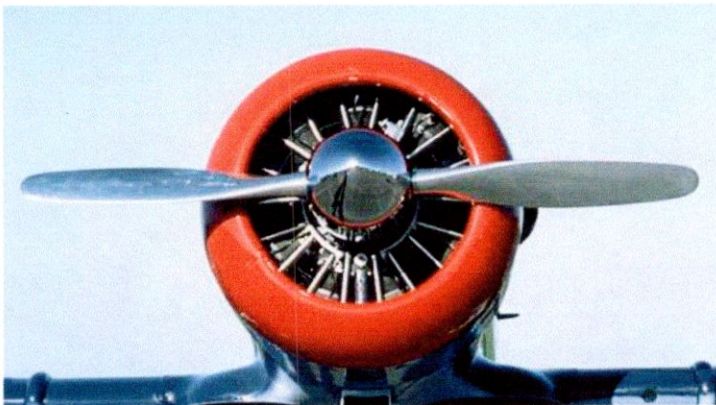


Figure (1-8) : photo réel d'un turbopropulseur

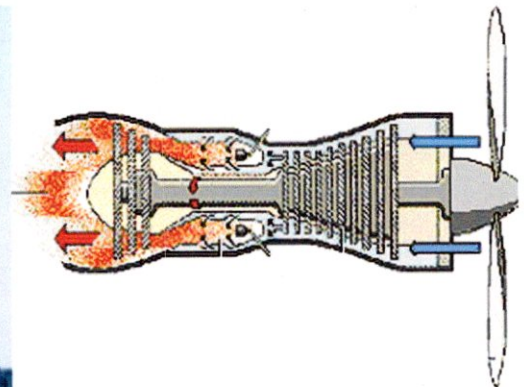


Figure (1-9) : une coupe d'un Turbopropulseur [6]

Environ **90 %** de l'énergie des gaz détendus est absorbée dans la partie de la turbine à gaz qui commande l'hélice ; **10 %** sont utilisés pour accélérer le flux d'éjection. Ce dernier contribue donc seulement pour une petite partie à la poussée globale de propulsion. Les turbopropulseurs sont efficaces pour les avions de petite taille et de taille moyenne qui volent à des vitesses inférieures à **750 Km/h**. Ces réacteurs ne peuvent toutefois pas rivaliser avec les turboréacteurs à simple ou à double flux pour les grands avions et pour les vitesses supérieures.

2/ LES PRINCIPAUX ELEMENTS CONSTITUANT UN MOTEUR

Les éléments de base d'un moteur a réaction sont :

- le compresseur
- la chambre de combustion
- la turbine
- la tuyère
- la Gear box

2.1 / 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 a une pression et température minimal d'inflammation.

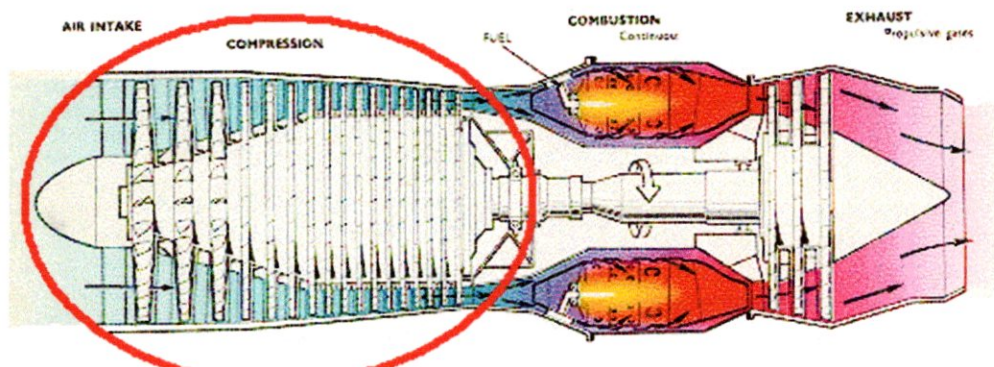


Figure (1-10) : le compresseur type axial

Il est constitué d'une partie mobile appelée **ROTOR** son rôle est de fournir de l'énergie cinétique au fluide, et d'une partie fixe appelée **STATOR** son rôle est de transformer l'énergie cinétique en énergie de pression. Il existe deux types de compresseur :

- compresseur centrifuge
- compresseur axial

2.2 / La chambre de combustion

Elle vient juste après le compresseur elle a pour rôle d'assurer le mélange air kérosène et permet la transformation la plus complète possible de l'énergie chimique du mélange en énergie calorifique. La chambre de combustion doit présenter une grande résistance thermique ainsi que d'être légère et occuper un espace minime.

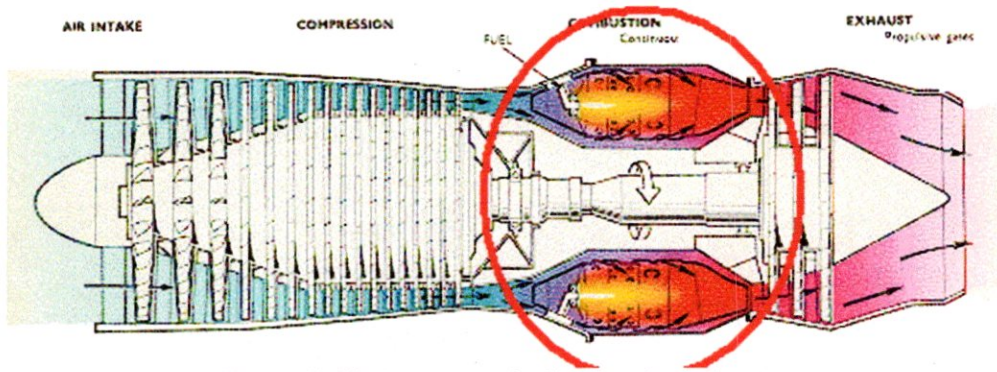


Figure (1-11) : une coupe de chambre de combustion

Il existe trois types de chambre de combustion :

- chambre annulaire
- chambre individuelle (séparées)
- chambre tubo-annulaire (mixte)

2.3/ La turbine

Elle a pour rôle d'entraîner le compresseur et ses accessoires ainsi que le réducteur, la turbine transforme l'énergie calorifique en énergie mécanique et cinétique, un étage de turbine se constitue d'un rotor et d'un stator et il existe des turbines de type centrifuge et des turbines de type axial.

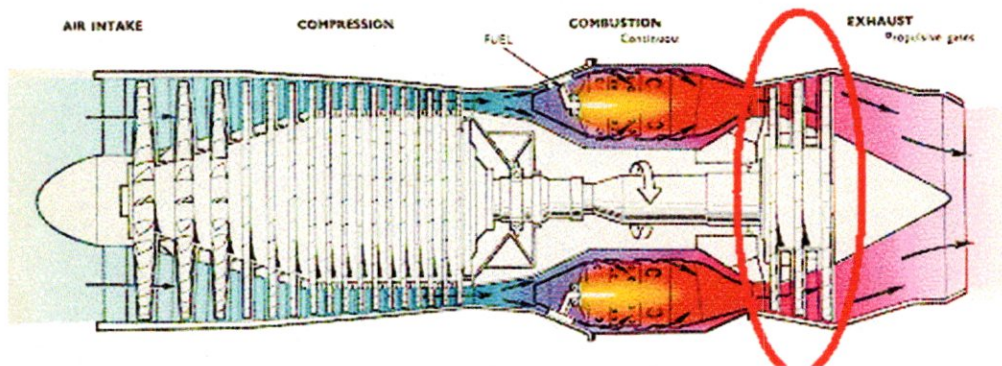


Figure (1-12) : les étage de turbine.

Il existe plusieurs types de turbine :

- Turbine liée et libre
- Turbine a action et a réaction

2.4 / La tuyère

Elle a pour rôle de réaliser la détente pour évacuer les gaz brûlés à l'extérieur par éjection tout en générant la poussée. La poussée est caractérisé, par la forme et la section de passage de l'échappement, la vitesse de l'éjection de l'écoulement, la pression et la température avant et après la détente.

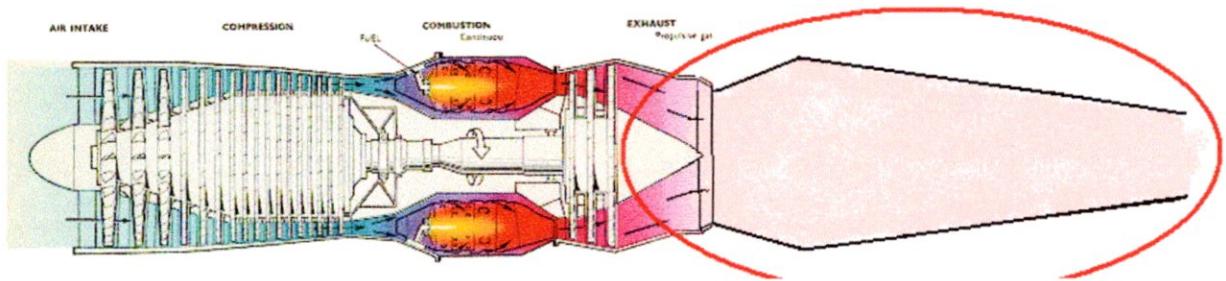


Figure (1-13) : la tuyère

Il existe plusieurs types de tuyère :

- **tuyère multi volets**
- **tuyère a paupière**
- **tuyère convergente divergente**
- **tuyère spéciale**

2.5 / La Gearbox

C'est une boîte qui reçoit le mouvement de rotation et le distribue a plusieurs accessoires comme les pompes de commande, le démarreur, le reniflard et le régulateur de vitesses. . . .

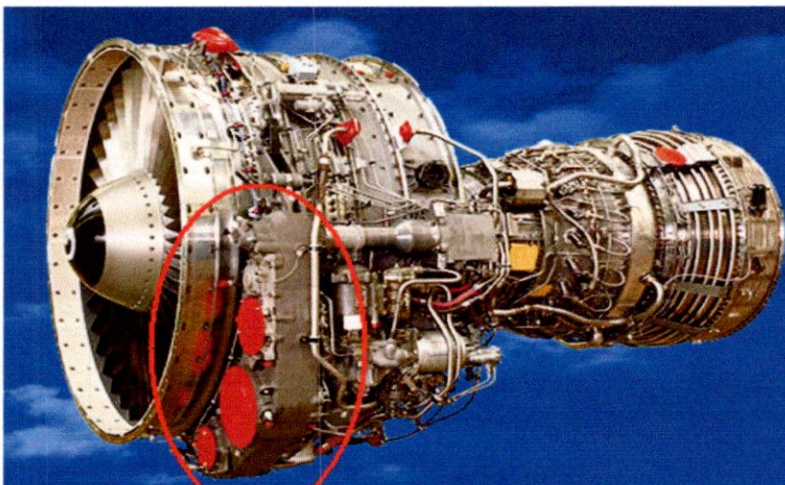


Figure (1-14) : la position de la gearbox sur le moteur

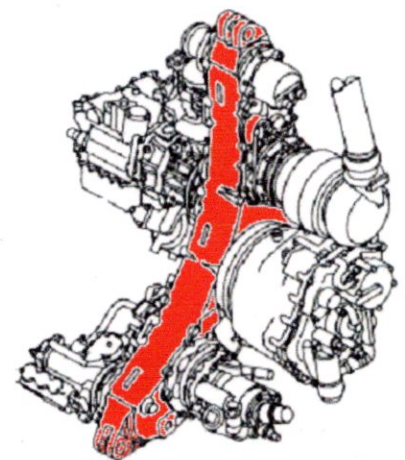


Figure (1-15) : la gearbox

3/ LA CHAMBRE DE COMBUSTION

3.1 Le Rôle

La chambre de combustion est un élément qui fournit de l'énergie calorifique à l'air provenant du compresseur à travers une combustion d'un combustible qui est assurée par un mélange kérosène-oxygène et à travers un allumeur qui crée la réaction dans le but de permettre la transformation de l'énergie chimique en énergie calorifique.

Les constructeurs cherchent la meilleure forme de la chambre de combustion pour :

- Avoir un encombrement minimal
- Assurer la combustion la plus complète possible
- Réduire les pertes de charge
- Éviter les déformations à des influences thermiques

3.2 Description

Elles se composent de façon générale de :

- un carter de raccordement à la veine d'air du compresseur (ce carter est souvent appelé carter intermédiaire) dans lequel se trouvent les éléments apportant le kérosène appelés injecteur
- un ou plusieurs tubes à flamme dans 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

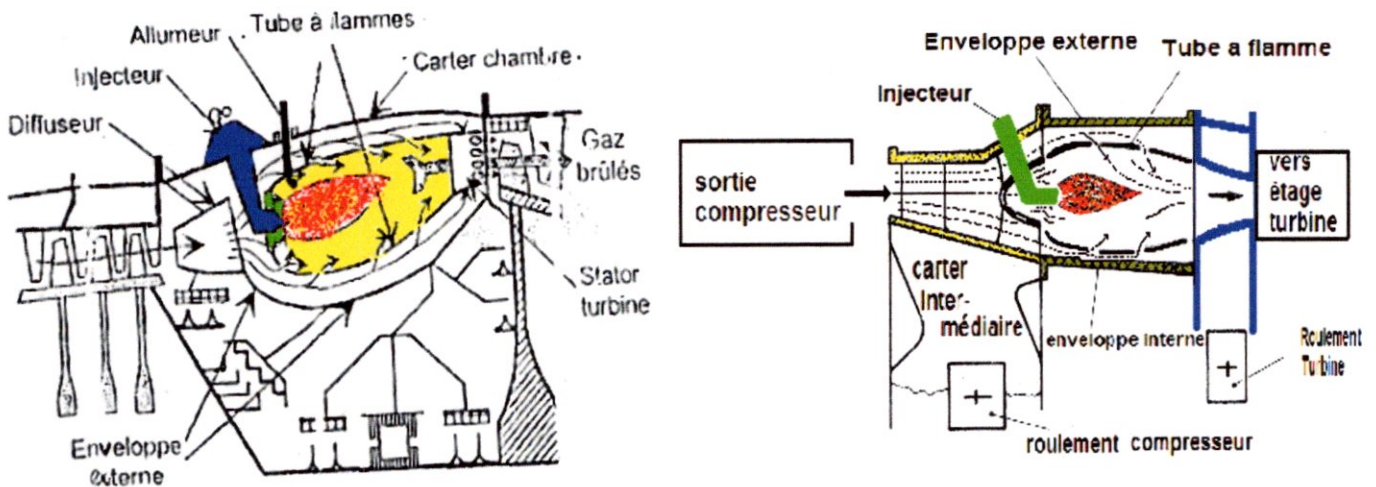


Figure (1-16) : les différents éléments qui constituent la chambre de combustion [1]

3.3 Le Fonctionnement

Phase 1

l'air sous pression venant du compresseur entre dans la chambre elle se partage en un air primaire flux qui constitue l'air de combustion dosé de manière à ce que le rapport **combustible/air** est situé au environs de **1/15** richesse idéale pour une combustion .

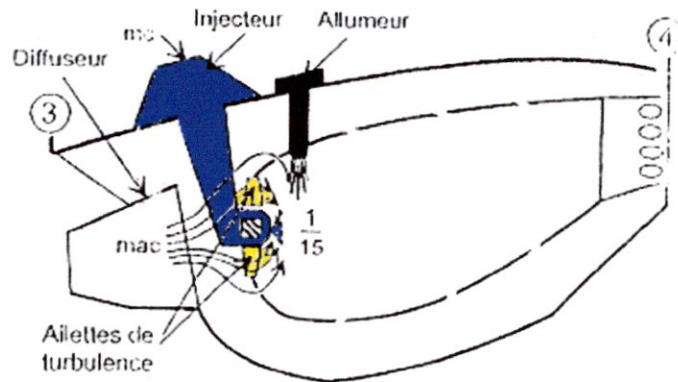


Figure (1-17) : l'entrée de l'air primaire [1]

Le carburant est injecté dans le tube par pulvérisation en fines gouttelettes ainsi pour un bon brassage air\carburant l'air primaire est entraîné dans un mouvement tourbillonnaire a travers des aubes de turbulences autour de l'injecteur ceci améliore la combustion et diminue la quantité des imbrûlés.

Phase 2

Le deuxième flux est trois a quatre fois supérieur au flux primaire qui circule entre l'enveloppe interne et le carter de la chambre cet air est mélangé au primaire dans la zone secondaire et la zone de dilution correspondant a la quantité d'air secondaire et tertiaire .

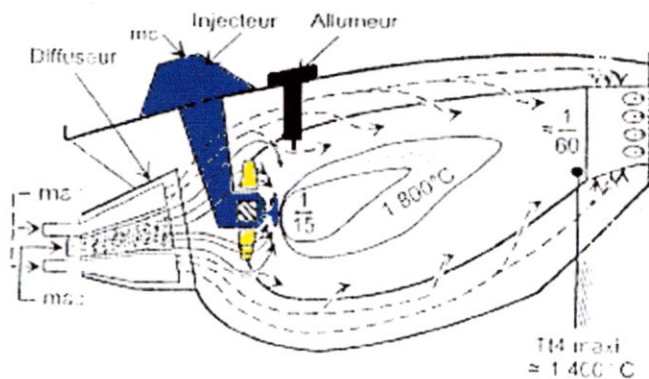


Figure (1-18) : l'entrée de l'air secondaire [1]

Les gaz en fin de combustion atteignent une température de **2200 °K** qui est trop élevée pour les aubes turbines il est donc nécessaire de refroidir les gaz ce qui est réalisé par les orifices d'air secondaire et tertiaire qui limitent la température a une valeur comprise entre **1100 et 1400°C**.

La disposition de ces orifices est très délicate et seul l'expérience peut mener à des bons résultats. Ces derniers créent un film d'air assurant la protection thermique des tôles constituant le tube à flamme. Cependant les orifices de grandes sections assurent la création de zones de circulations qui permet de stabiliser la flamme à proximité de l'injecteur favorisant son auto inflammation et évitant l'extinction par décrochage de la flamme.

3.4 Types de chambres

Suivant la forme de la chambre de combustion on distingue quatre types :

- **Chambre individuelle (séparer)**
- **Chambre annulaire**
- **Chambre tubo-annulaire (mixte)**
- **Chambre inversée**

a/ Chambre individuelle (séparée)

La chambre séparée est constituée d'un tube à flamme et d'un carter constituant l'enveloppe extérieure. Le tube à flamme reçoit un injecteur qui pulvérise le carburant à l'intérieur du tube.

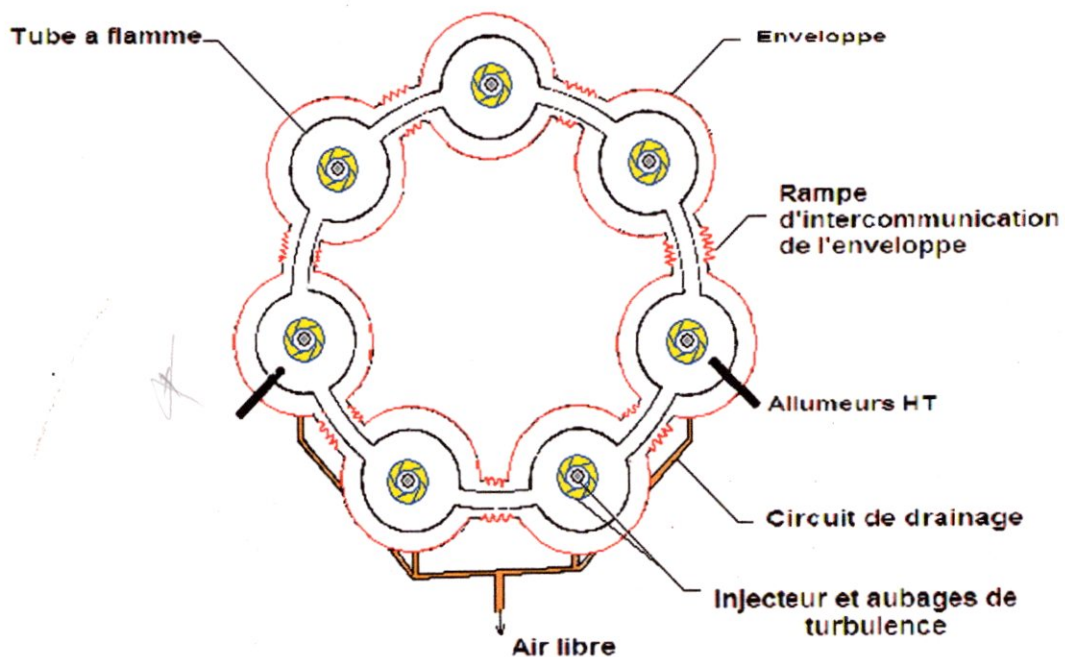


Figure (1-19) : coupe transversal des chambres individuelles [1]

Pour permettre la propagation de la flamme lors de l'allumage les tubes à flamme sont reliés entre eux par une rampe d'intercommunication. l'allumage est assuré par deux allumeurs disposés à la base dans deux chambres positionnées à 8h et 4h pour mieux réaliser un bon brassage air/carburant. Un tourbillonnaire est placé autour de l'injecteur.

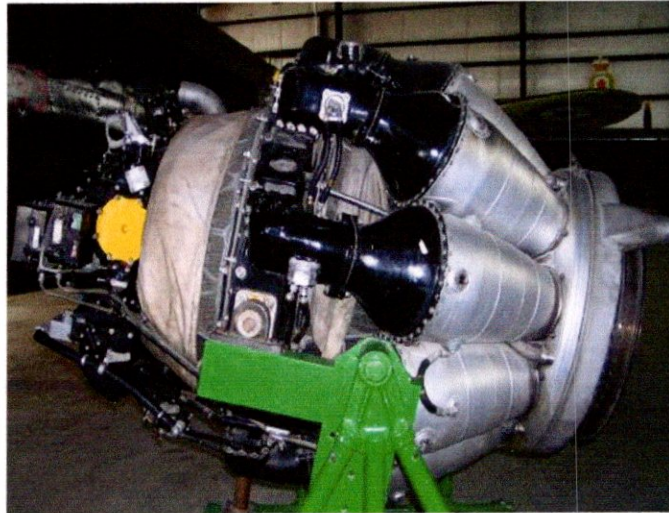


Figure (1-20) : turboréacteur à chambres de combustion individuelles (VK-1H)

Les chambres individuelles présentent une bonne facilité de maintenance dans le montage et le démontage en cas de problèmes mais ils possèdent un rendement de combustion moyen du fait qu'elles n'occupent pas au mieux le volume de combustion disponible dans la machine

b/ chambre de combustion annulaire

Une chambre de combustion annulaire est composée de deux tubes concentriques recevant dans l'espace annulaire formé par les deux enveloppes internes et externe du tube à flamme ou se présente les injecteurs disposés tous autour de la section d'entrée du tube à flamme.

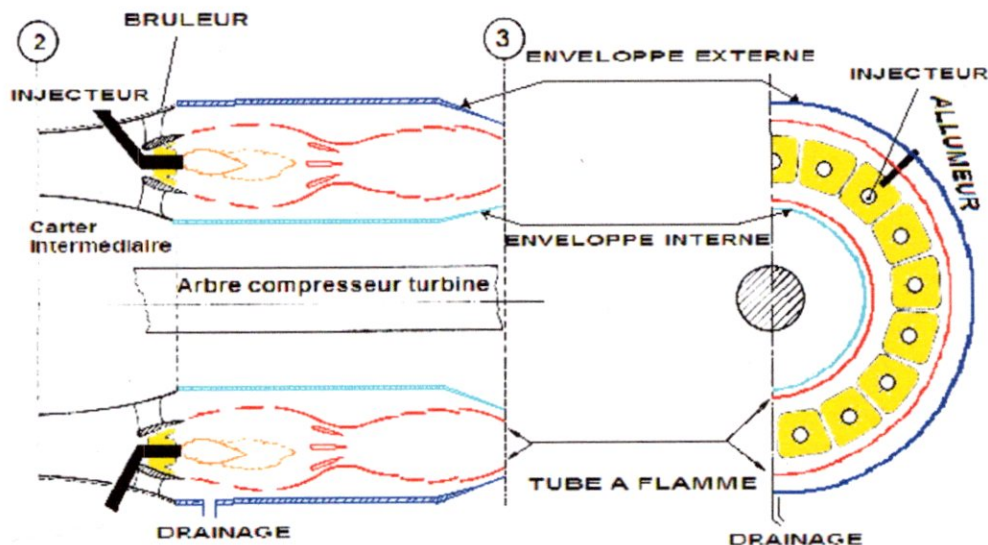


Figure (1-21) : coupe transversal et longitudinal de chambre annulaire [1]

Le tube à flamme est enveloppé par le carter interne et externe. Pour assurer l'allumage, deux allumeurs sont disposés à 11 h et 1 heure entre deux injecteurs consécutifs pour assurer l'allumage et former un anneau de flamme dans la chambre de combustion

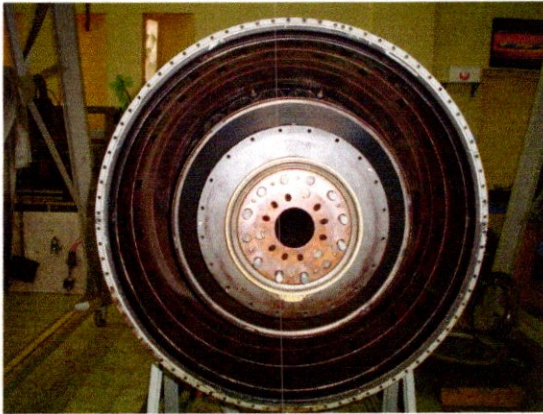


Figure (1-22) : photo transversal d'une chambre annulaire (CATAR).

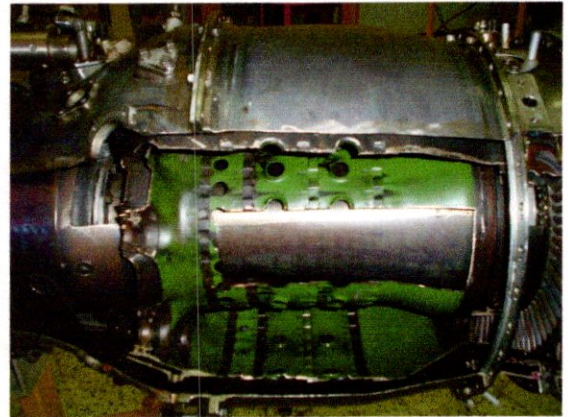


Figure (1-23) : photo d'une coupe longitudinal des chambres Annulaire

La chambre de combustion annulaire est très difficile à réaliser car elle demande trop de moyens techniques d'autre part elle exige un personnel qualifié pendant les opérations de remise en état et d'entretien. Cependant son rendement est meilleur que celui de la chambre tubulaire puisqu'elle occupe le plus d'espace alloué à la combustion par la machine.

c/ chambre de combustion tubo-annulaire (mixte)

La chambre de combustion mixte présente un arrangement adéquat et un mariage entre les deux types précédents regroupant l'avantage de l'une et l'inconvénient de l'autre.

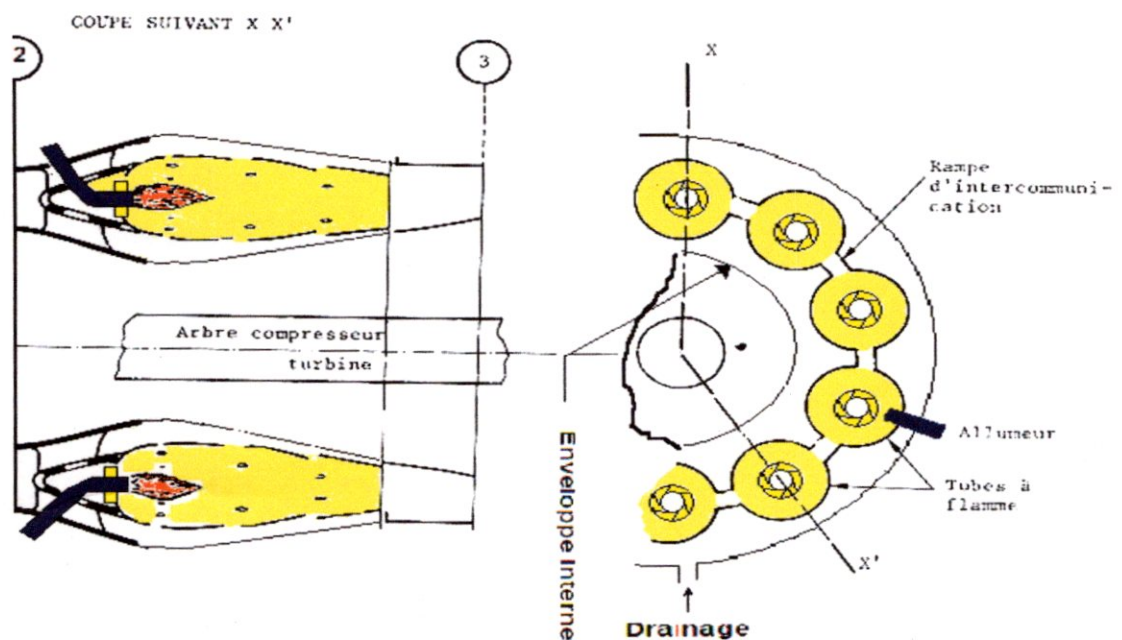


Figure (1-24) : coupe transversal et longitudinal de la chambre mixte [1]

Elle est constituée d'un ensemble de tubes à flammes entourée de deux enveloppes interne et externe formant un espace annulaire. Chaque tube reçoit un injecteur permettant de contrôler la combustion.

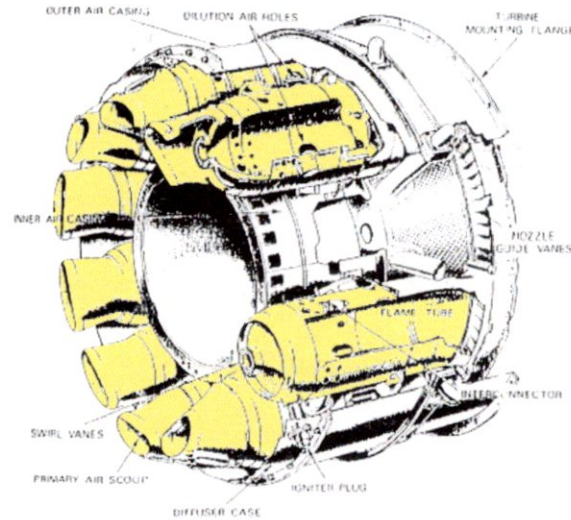


Figure (1-25) : chambre de combustion mixte [1]

d/ chambre de combustion inversée

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

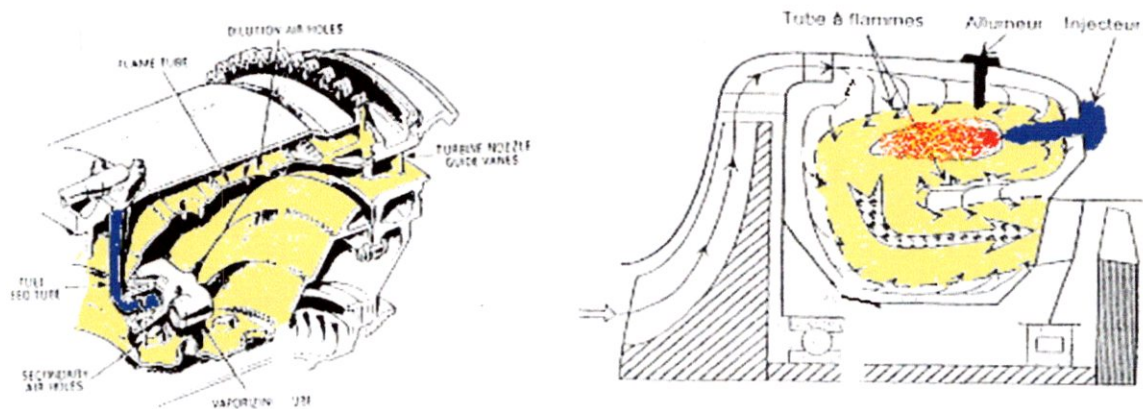


Figure (1-26) : chambres de combustion inversée [1]

Cette chambre est nommée à flux inverse car la combustion se déroule en sens inverse au débit d'air issue 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.

Cette configuration permet de réduire l'encombrement longitudinal de la chambre de combustion tout en favorisant l'échange thermique, assurant un refroidissement correct. Néanmoins de par sa forme la perte de charge est relativement importante .c'est pourquoi quand le débit est fort les autres types de chambre sont favorables.

4/ MATERIAUX UTILISES

Dans toutes les chambres de combustion les matériaux utilisés sont des 'réfractaires'. Ces matériaux doivent résister aux fortes températures ainsi qu'aux chocs thermiques et conserver des caractéristiques mécaniques aussi bien aux températures ambiantes qu'aux hautes températures (régime de décollage).

En générale les tubes à flamme sont en aciers spéciaux réfractaires composés essentiellement de nickel chrome, ceux-ci devant aussi résister aux fortes corrosions dues aux hautes températures. Les aciers employés sont généralement des aciers spéciaux de la classe Nimonic, ou alliage rené (78 ou 80). Nous donnons ci-dessous les matériaux constituant la chambre de combustion d'un moteur militaire

***Tube à flamme:**

Il est généralement fait avec un alliage de **chrome nickel (NC 22 Fe D)** qui résiste à de très hautes températures car le tube à flamme est le siège de la combustion

***Brûleurs :**

Le brûleur, l'ensemble de l'injecteur plus le tourbillonnaire, ils sont en **acier spécial, au chrome, nickel titane (Z 10 CNT 18)**

***Porte Brûleurs :**

Il est en **alliage d'aluminium (AU 5N)**

***Enveloppe externe :**

L'enveloppe externe est le carter qui couvre le tube à flamme de l'extérieur, lui aussi subit à de très hautes températures, il est en **acier spécial, nickel, chrome et titane (Z3 NCT 25)**

***Enveloppe interne :**

C'est celui qui couvre le tube à flamme de l'intérieur et dans lequel passe l'axe du compresseur, turbine il est en **titane (T50)**

***Carter intermédiaire :**

Il fait le raccordement entre le compresseur et la chambre de combustion, il résiste à des températures moyennes il est en **alliage, titane (ZTI)**

5/ POLLUTION

L'ors de la combustion les produits de combustion complète se limite aux dioxyde de carbone et l'eau mais à haute température l'azote contenue dans l'air forme des dioxyde d'azote rassembler en appellation unique NO_x . D'autre part aux faibles régimes le dioxyde de carbone CO_2 se décompose en $2 CO$ 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, ce qui est présenté dans le tableau ci-dessous [3].

Régime de rotation	polluants
Faibles	CO et HC_x
Forts	NO_x et fumées

Ces principaux polluants ont les effets suivants [3] :

polluants	effets
CO	Toxicité
HC_x	Toxicité, odeurs, brouillard.
NO_x	Toxicité, pluies acides, brouillard, diminution de la couche d'ozone
fumées	Visibilité

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

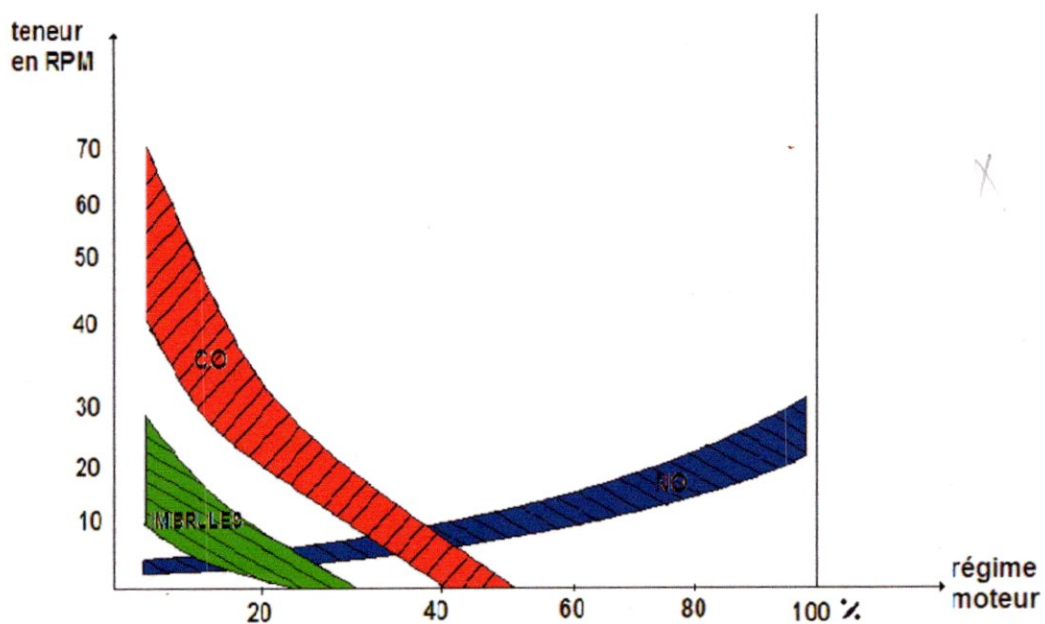


Figure (1-27) : graphe de la teneur de CO , IMBRULES et NO [3]

En examinant la répartition de ces différents polluants au cours d'un vol type (décollage, montée descente, approche) exceptée pour la descente et l'approche le moteur est utilisé au fort régimes de rotations et le NO_x représente environ 70% de la masse totale émise de polluants.

Toutefois la pollution émise par les avions ne représente que 5% des polluants total industriels mais les turbomoteurs restent la seule source de pollution en haute et moyennes altitude.

L'OACI a donc émis des recommandations en normes a partir du 01 /01/1996 pour réduire la masse des polluants émis pour un taux de 20% et de 40% de NO_x a partir de1999 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 spécial sont utilisés c'est pour ce concept propos é nécessite une double rampe d'injection ce qui se traduit par un coût de fabrication et une maintenance plus élevée d'environ 5% de plus par rapport a la chambre SAC classiques. Toute fois ça reste un arrangement incontournable lors des tractations commerciales liées à la vente des moteurs.

Exemple de moteurs équipé par un DAC

Le CFM56 -5B ou V2530-D5 (A320-321-319)

LE TRENT 800 sur B777

LE TRENT 772 et le PW 4168sur A330

Le constructeur cherche a minimiser au maximum ces polluants et des vastes programmes ont été lancés depuis une dizaine d'années dans beaucoup de payés.

Plus précisément, les constructeurs américain, en collaboration avec la NASA, ont effectué des essais qui ont aboutit aux constatations résumées dans un article publiés par M.ROBERT E.JONES (chef de la section « combustion expérimental » de la NASA) dans la revue : GAS ENGINE EMISSIONS.

Cet article examine les types de chambres « futures » comparés a celles existantes et analyse les améliorations apportées, pour trois constructeurs :

- GENERAL ELECTRIC
- PRATT AND WITHNEY
- GARRETT AIR RESEARCH

5.1 / SOLUTION ADOPTE PAR GENERAL ELECTRIC

Pour une chambre classique, l'alimentation de carburant est assurée par un injecteur, celui-ci délivre deux débits. Un débit de base pour le régime de ralenti, et un débit principal s'ajoutant au débit de base pour garantir toute la gamme de débit, du ralenti au plein gaz. Le constructeur est amené alors à optimiser la forme de ces brûleurs pour réduire l'une ou l'autre des principales pollutions (CO , NO) ; ce qui se traduit souvent par un compromis.

Afin d'essayer de reculer ce compromis et d'améliorer la combustion au ralentie et au plein gaz, GENERAL ELECTRIC propose les solution suivantes :

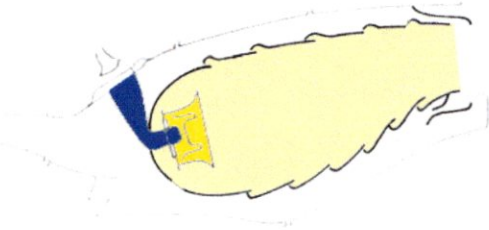


Figure (1-28) : chambres classique [1]

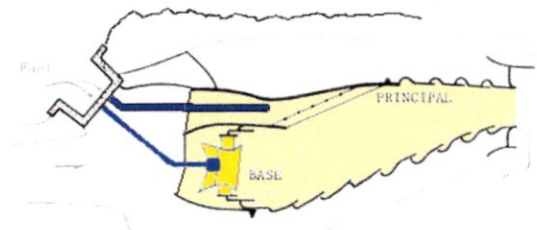


Figure (1-29) : chambres radiale/axiale [1]

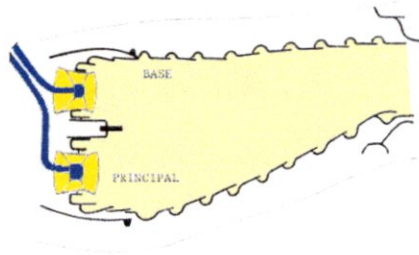


Figure (1-30) : double chambre annulaire [1]

Ces deux types de chambre radiales axiales et double annulaire sont des chambres annulaires dans lesquelles sont disposés deux injecteurs, le premier assurant le débit de base : la préchambre est optimisée pour la réduction de la production de CO et d'imbrûlés, alors que la partie de la chambre recevant le débit principal est étudiée pour minimiser l'émission de monoxyde d'azote.

La chambre (radiale, axiale) est basée sur une pré pulvérisation aérodynamique du débit principal, l'air passant par les aubages de turbulence de l'injecteur de base (débit carburant faible) étant relativement froid, vient refroidir les gaz chauds de la partie principale baissant leur température et retardant ainsi l'apparition du monoxyde d'azote. Injecteur principal délivre le carburant sous forte pression.

Sur la double chambre annulaire, le principe est le même, les injecteurs sont installés dans des générateurs de tourbillons dont le débit d'air est contrôlé. Avec ces types de chambres, les essais ont données les résultats suivants [1] :

Condition d'utilisation		CO	Imbrûlés	NO
Chambre classique	Ralenti	73	30	2,5
	Approche	4,3		10
	Montée			29,5
	décollage			35,5
Double annulaire	Ralenti	19,3	2,2	3
	Approche	3,1	-	12,8
	Montée	-	-	13,3
	décollage	-	-	16,9
	croisière	8,8	0,17	8
Radiale axiale	Ralenti	53,8	6,1	3,1
	Approche	1,3	0,2	9,2
	Montée	10,9	0,2	14,2
	décollage	8,5	0,1	16,1
	croisière	-	-	-

Les chiffres sont assez significatifs, entre la chambre classique et la chambre double annulaires, les valeurs manquantes n'ont pas été fournies. Ceux-ci représentent la teneur en PPM de carburant des diverses émissions. Sur la chambre double annulaire, radiale axiale en approche, seuls les débits de base fonctionnent.

5.2/ SOLUTION ADOPTE PAR PRATT AND WITHNEY

On a le schéma de la chambre de base du moteur JT 9D 7, ainsi que celui des deux autres types de chambres de développement.

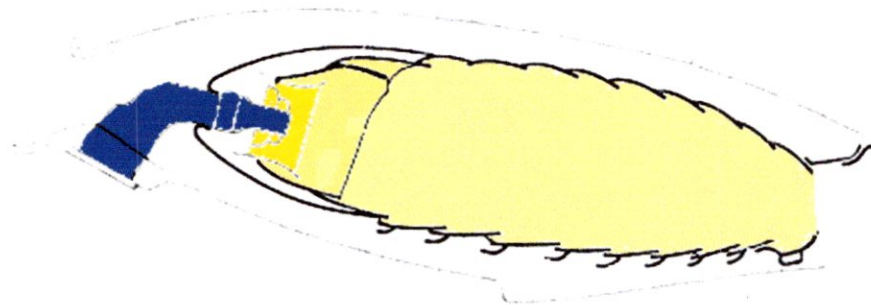


Figure (1-31) : chambres classique [1]

La chambre hybride (figure < 1-29>) à une conception identique à la conception radiale axiale de chez Général électrique. Le débit de base est optimisé par pré mélange aérodynamique pour réduire le taux de monoxyde de carbone et d'imbrûlés. Quand au débit principal, il est assuré au travers d'un brûleur équipé de générateur de tourbillons.

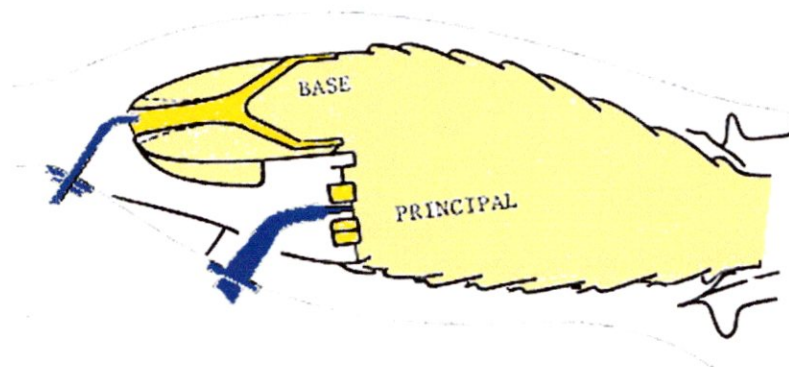


Figure (1-32) : chambres hybride [1]

La chambre types « VORBIX » reçoit quand a elle, des cannes de pulvérisation dans les deux préchambres. La chambre principale reçoit des vortex dont le but est d'augmenter le brassage air carburant, afin de diminuer la température permettant de reculer l'apparition du monoxyde d'azote.

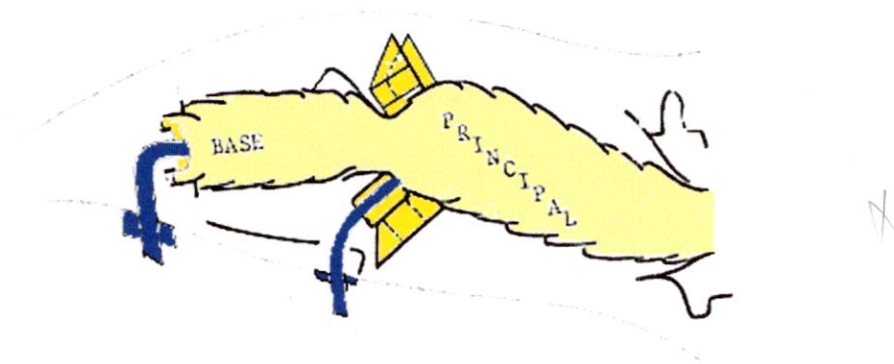


Figure (1-33) : chambres VORBIX [1]

Le tableau similaire au précédent permet de rassembler les résultats d'essais [1].

Condition d'utilisation		CO	Imbrûlés	NO
Chambre de base	Ralenti	77	29,8	3,3
	Approche	9,6	1	8,4
	Montée	-	-	23
	décollage	-	-	31,5
Chambre « VORBIX »	Ralenti	18,5	0,5	3,2
	Approche	30,9	1,9	4,3
	Montée	8,8	0,9	8,5
	décollage	4,5	0,4	10,8
	croisière	10,8	4	4,5
Chambre hybride	Ralenti	3,5	28	2,8
	Approche	-	0,2	15,2
	Montée	21,6	1,5	11,6
	décollage	8,9	1,1	16,4
	croisière	3,4	6,02	7,5

En lisant le tableau, il apparaît que la chambre hybride donne de meilleurs résultats aux faibles régimes que la chambre « vorbix », les résultats s'inversent pour les forts régimes (Décollage), ceci montre la complexité des phénomènes intervenants dans la réalisation des chambres et la difficulté d'optimiser celle-ci dans toute la gamme de débit.

5.3/ Chambre inverse

Sur les moteurs de plus faibles poussées (leur dimension ne permettant pas l'introduction de deux injecteurs) d'autres conceptions sont envisagées. Cette recherche a été menée en collaboration par Garret Air Research et des trois diesel Allison.

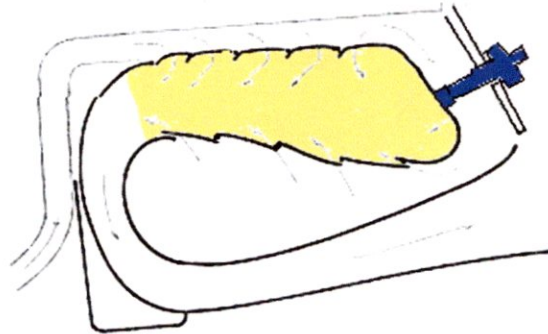


Figure (1-34) : chambres de base [1]

Nous trouvons ci-dessous trois types de chambres :

La chambre de base qui modifiée de la façon suivante :

- au ralenti, le nombre d'injecteurs actifs est réduit de moitié **6/12**.
- augmentation du débit d'air utilisé pour générer le mélange.
- remplacement de l'injecteur normal par un injecteur à pilotage de débit et utilisation d'un débit d'air haute pression au ralenti.

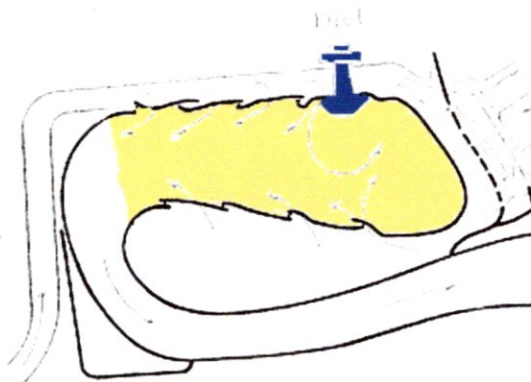


Figure (1-35) : modification de la chambres de base [1]

L'injecteur reprend sa place à la partie extrême de la chambre de combustion, mais celui-ci reçoit à sa périphérie, un générateur de tourbillons à géométrie variable. Au ralenti, celui-ci offre une section de passage minimale, tandis que celle-ci augmente pour les forts débits et ainsi diminue la production de monoxyde d'azote.

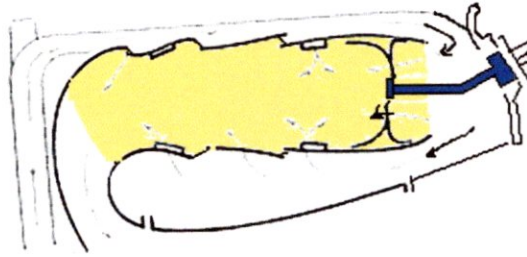


Figure (1-36) : conception débit d'air pilote [1]

Ce type de conception se rapproche de celle vue sur les gros moteurs. La zone principale reçoit quarante prévaporisateurs répartis équitablement sous l'enveloppe de la chambre. Ces vaporisateurs sont alimentés en carburant pour tout les régime sauf au ralenti. Le débit de base est assuré par vingt buses.

Ce type de chambre porte aussi le nom de chambre inverse ou chambre forcée. Des études plus poussées ont montré que le taux de monoxyde d'azote ne pouvait être réduit au- dessous d'un certain seuil.

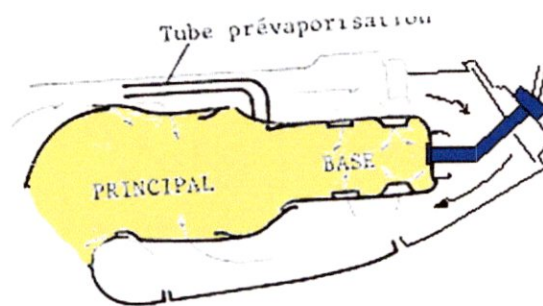


Figure (1-37) : pré- mélange, pré- vaporisation [1]

On a donc essayé un autre type de combustion en particulier la combustion catalytique. Toutes les chambres de combustion précédentes sont de conception annulaire

6/ COMBUSTION CATALYTIQUE

En utilisant un catalyseur, il est possible de maintenir la combustion à la température où virtuellement, le monoxyde d'azote n'apparaît pas. Et de rendre la combustion par catalyse possible à ces températures. Une fois la combustion amorcée, il serait possible de consommer tout le combustible et de conduire le processus de combustion complète jusqu'à **1400°K** (ou NO est négligeable). Des études sur la réaction catalytique ont été réalisées par la NASA. Certains problèmes se sont posés, mais une fois l'air préchauffé à la température ou catalyseur entre en réaction avec le combustible, la réaction s'amorce.

L'accroissement de la température dépend beaucoup de la vitesse d'entrée de l'air. En augmentant celle-ci, la puissance de combustion croît, mais il faut alors augmenter la surface de contact catalyseur/mélange. Malheureusement, l'accroissement de surface se traduit par une baisse de pression comparable aux pertes de charge enregistrées sur chambre de combustion classique (6%). D'autre part, aux grandes vitesses, le temps de séjour n'est pas suffisant pour que tout le fuel diffuse sur toute la surface du catalyseur, cela s'accompagne par la formation d'imbrûlés.

Beaucoup de problèmes doivent être résolus avant que l'on puisse appliquer ce genre de combustion. Les principaux sont :

- Préparation et distribution du carburant sur le catalyseur
- Démarrage a froid
- Préchauffage du catalyseur
- Duré de vie des substrats limitant le niveau de température

7/ Circuit carburant

Dans le turboréacteur le carburant n'est pas seulement utilisé dans la combustion mais il est utilisé dans d'autres fonctions, il assure le rôle de fluide utilisé pour le refroidissement et dans des vérins hydrauliques à travers tout un circuit de carburant.

Les circuits se défaire d'un moteur a un autre, en général ils sont constitués de certaine éléments de stockage, d'alimentation et de distribution ainsi que d'autre pour la protection et le contrôle du circuit.

On trouve dans un circuit de carburant les éléments suivants [4] :

- Un réservoir
- Des convexions
- des pompes
- des filtres
- des systèmes de régulation
- des transmetteurs
- des injecteurs

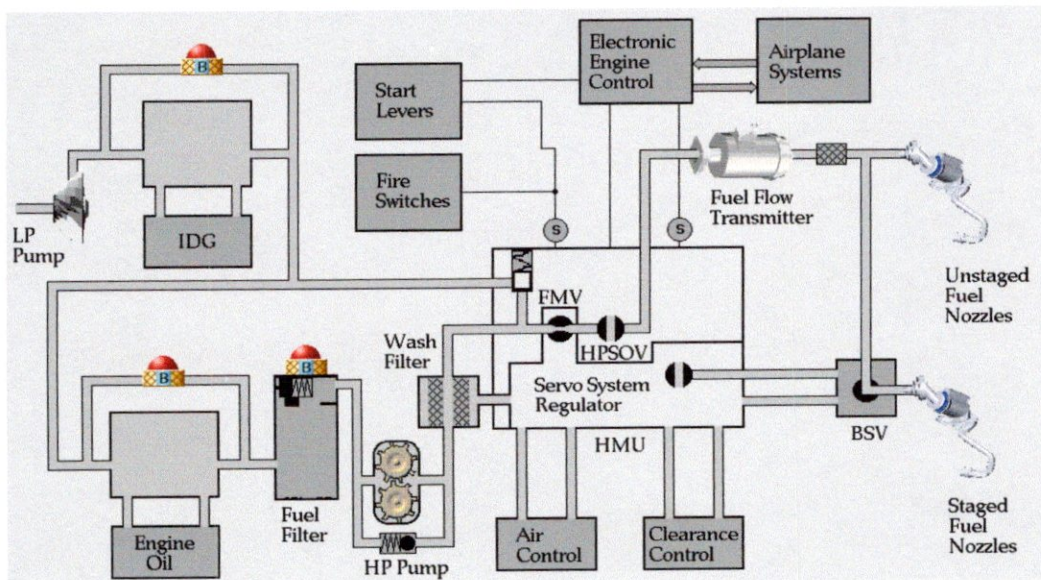


Figure (1-38) : circuit carburant d'un moteur

Rôle du circuit carburant

- 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 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).

8/ L'injecteur

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 polluant.

Il existe plusieurs type d'injecteur, on rencontre alors l'injecteur simplex et duplex. Le premier type injecte un seul débit en une seule section. Tandis que le deuxième présente deux sections d'injection concentriques de section différentes.

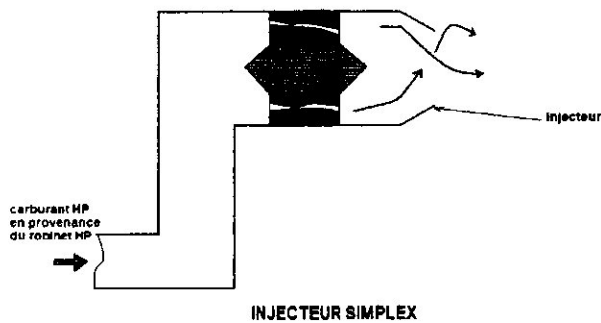
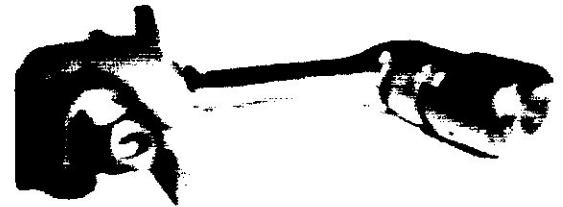


Figure 11.10 - Injecteur simplex



Aux faibles régimes seul l'injecteur central (la 1^{ère} section) débite, tandis que l'admission de l'injection de la 2^{ème} section est obtenue par un clapet de distribution. Aux grands régimes la pression carburant est élevée, elle est proportionnelle au régime, il repousse le ressort de maintien et ouvre le clapet a ce moment il obtient en même temps et ouvre toute la gamme de débit.

Dans les turbo réacteur, de forts débit de masse d'air sont dotés de chambre annulaire ce qui permet d'installer des injecteurs spécialisé non concentriques ces dernier peuvent être alimentés, soit par une rampe via le clapet distributeur. Soit par une seule rampe ou chaque injecteurs est équipé par un clapet de distribution dont le tarage est apporté à la gamme de débit.

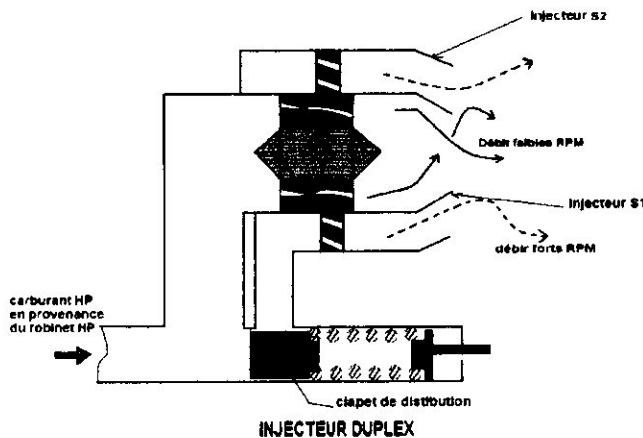
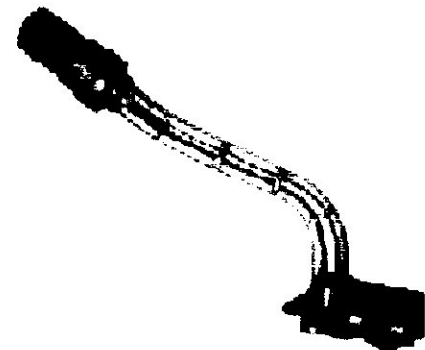


Figure 11.11 - Injecteur duplex



Au point bas, tout type de chambre de combustion est installé un circuit de drainage carburant, dont le rôle est d'évacuer le carburant lors d'une tentative de démarrage infructueuse après ouverture du robinet haute pression, où en général pour évacuer le carburant non brûlé.

9/ Amélioration de la pulvérisation

Pour améliorer la pulvérisation et par voie de conséquence de diminuer l'émission des polluants, les injecteurs sont placés dans un support d'ailettes de turbulence dont l'enveloppe externe définit un convergeant 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.

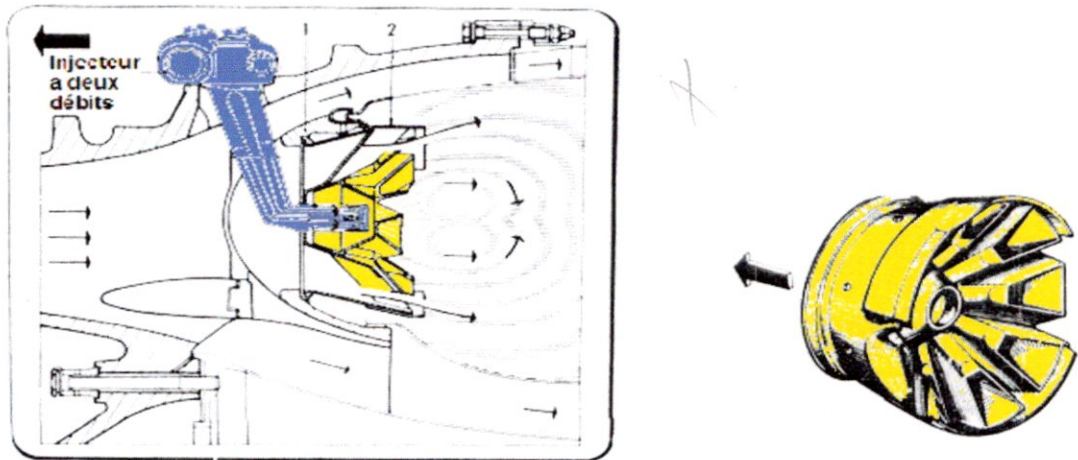


Figure (1-41) : coupe longitudinale du tourbillonnaire [1]

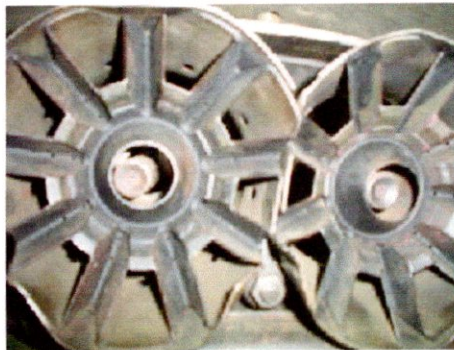


Figure (1-42) : photo du tourbillonnaire

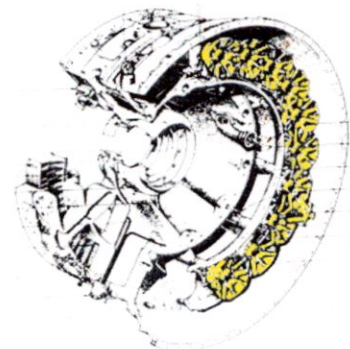


Figure (1-43) : photo d'ensemble des tourbillonnaires



chapitre II :

Vue d'ensemble sur la combustion

5 6 2006

1/ LES REACTIFS

La combustion est une réaction chimique d'oxydoréduction. Qui met en jeu deux espèces, le comburant comme oxydant et le combustible comme réducteur, l'ensemble met en contacte constitue le milieu réactionnel.

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

Généralement, l'ensemble combustible, comburant sont des espèces distinctes qu'il faut amener en contact ou mélanger pour préparer la combustion. Cependant, il n'est pas toujours de même, que précédant, car dans certaines substances chimiques les deux espèces co-existent en même temps, comme la nitroglycérine et l'hydrazine.

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 monergol pour une substance contenant simultanément les deux espèces.

Lorsque la combustion vive démarre spontanément dès que les deux constituants sont mis en contacte 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.

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. Pour les combustibles usuels, qui sont en général des produits carbonés d'origine organique, la combustion correspond à une réaction chimique avec l'oxygène atmosphérique et conduit à la formation de dioxyde et de monoxyde de carbone, d'eau, ainsi que de composés comme le dioxyde de soufre se formant à partir d'impuretés minoritaires présentes dans le combustible.

Le terme combustion comprend également les oxydations au sens chimique large, les oxydants pouvant être, chlore et le fluor, l'acide nitrique ou même certains perchlorates.

De ce fait la réaction comprend en réalité un grand nombre de réactions dites élémentaires, les unes consommant de la chaleur, les autres dégageant de la chaleur qui est dominante sur la consommation.

Les travaux effectués depuis de nombreuses années permettant maintenant de classer d'une manière particulièrement précise les phénomènes complexes rencontrés. Ce qui nous conduit à considérer la combustion sur le plan phénoménologique comme étant l'emballage d'une réaction

Chimique exothermique qui est rendu possible du fait de certaines conditions adéquates (pression, température, composition des réactifs, éventuellement confinement); et contrôlé par certains phénomènes physiques (transfert de chaleur et de masse) qui lui imposent, des modalités précises et des apparences diverses.

Toutefois la combustion comprend deux phénomènes essentiels qui se caractérisent par **l'auto inflammation** et la **propagation**. Ce dernier s'il existe n'est autre qu'une conséquence du premier.

3 / L'AUTO INFLAMMATION

L'auto- inflammation ou ensemble d'une réaction chimique, est dite aussi **explosion** représente la première manifestation de la combustion qui peut être localisée ou non.

En effet, si la pression, la température et la concentration atteignent ou dépassent un seuil critique on a alors une auto- inflammation à que l'oxydation lente, exothermique, s'est auto- accélérée jusqu'à l'emballement.

Toutefois, la cinématique chimique nous révèle que le mécanisme réactionnel d'auto - inflammation se déroule par l'intermédiaire de réaction en chaîne qui provoquent la multiplication d'espèces actives appelées radicaux libres, qui lorsque leur concentration atteint une certaine valeur critique l'auto - inflammations se produisent.

4/ 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**.

Quand, pour une pression donnée, le mélange (réactif) est porté à la température d'auto- inflammation, celle-ci intervient dans tout le volume concerné. Cependant il ne se produit qu'un certain temps après l'instant où la température limite est atteinte. Ce laps de temps est appelé **délai d'auto- inflammation**.

Ce dernier peut être exprimé par une relation empirique faisant intervenir la pression et la température pour la relation suivante [5] :

$$\delta_{ms} = K \left(\frac{P}{P_0} \right)^{-0,5} \text{EXP} \left(\frac{E}{RT} \right) \quad (2-1)$$

Avec :

- E** : Energie d'activation
- R** : Constante molaire universelle des gaz parfait (8,314 J/mol .K)
- K** : Constante de vitesse (s)
- T** : Température du milieu réactionnel (K)
- P/P₀** : pression absolue du mélange rapportée à la pression atmosphérique normale.

Cependant, la température d'inflammabilité varie peut avec la proportion relative du mélange combustible/comburant, aussi que sur la nature du comburant.

On peut citer quelques exemples pris sur des combustibles classiques à la pression atmosphérique [5]

Combustible	Température d'inflammation	
	Dans l'Air	Dans l'oxygène
Hydrogène H ₂	570	560
Méthane CH ₄	580	555
Propane C ₃ H ₈	480	470
Butane C ₄ H ₁₀	420-480	285-320
n-Heptane C ₇ H ₁₆	285	-
n-Octane C ₈ H ₁₈	220	-
Ethanol C ₂ H ₅ -OH	490	-

5/ LA PROPAGATION DE LA FLAMME

L'auto - inflammation ayant été déclenchée, il peut y'avoir ou non propagation de la réaction de combustion dans le reste du mélange. En effet si le milieu réactionnel dans le quel on a pu provoquer une auto - inflammation localisée présente des caractéristiques physique et des conditions de confinement adéquats, la réaction de combustion peut s' y propager.

Les conditions régissant la propagation sont d'ordre interne Au mélange et externe en d'autre termes la propagation ne peut avoir lieu que si les paramètres physique de pression, température et concentration dans le mélange dépassent un seuil critique.

D'autre part, aucune propagation ne se produit au voisinage d'une paroi et si les parois sont trop rapprocher il n y a pas également propagation on parlons d'effet de coincement dans ce cas, qui se traduit par une extinction et ou il faut définir la distance minimale de coincement.

Cependant, celons la vitesse avec laquelle se propage la réaction de combustion dans le milieu réactionnelle on parle de déflagration si elle est subsonique ou de détonation si la vitesse de propagation est supersonique.

La déflagration ou la flamme se propage sous la forme d'une onde de combustion appelée front de flamme ou se réalise la réaction de combustion et où elle sépare les réactifs d'une part et les produits de combustion d'autre part.

6/ VITESSE DE PROPAGATION

La vitesse de propagation définit la vitesse avec laquelle le front de flamme qui est le siège de la réaction chimique va se déplacer pour consommer le mélange frais disponible. Bien entendu il faut que la composition soit comprise dans les limites d'inflammabilité.

En effet, cette grandeur physique qui n'a aucun rapport avec la vitesse réactionnelle qui caractérise la variation dans le temps de concentration de l'un des réactifs ne représente un intérêt pratique évident en matière de combustion du fait qu'elle conduit à la stabilisation du front de flamme.

Une condition nécessaire à la stabilisation de la flamme en un point, est donc en ce point la vitesse débitante et de propagation du front de flamme soit égale et opposées.

D'une manière générale, la stabilisation de flamme doit vérifier de plus que :

- la concentration en combustible est dans les limites d'inflammabilités.
- l'énergie disponible est suffisante pour déclencher le mécanisme d'allumage.

7/ LE COMBUSTIBLE

Un combustible conventionnel est un mélange complexe de composés organiques dans lesquels on retrouve les éléments chimiques essentiels comme le carbone, hydrogène, oxygène, azote et le soufre et qui ont comme formule généralisée



Outre les hydrocarbures pour des types $C_n H_m$ les combustibles sont connus plutôt par leur composition pondérale pour les liquides ou volumiques pour les gaz.

Les produits issus des hydrocarbures sont obtenus suite à une récupération de la colonne de distillation. Généralement dans le domaine de l'aviation le jet A1 est le plus couramment utilisé.

D'une manière générale le combustible est suivi d'une fiche technique permettant l'identification et comprenant sa densité, son point éclair, la température de congélation et sa composition.

8/ REACTION DE COMBUSTION

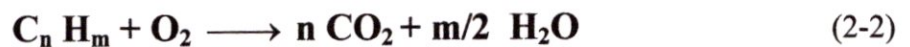
La réaction de combustion est un phénomène physicochimique qui met en jeu les réactifs d'une part et les produit d'autre part a des quantités relatives de combustible et de comburant en présence, définit par le rapport de dosage (combustible / comburant).

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

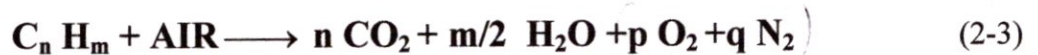
- si la **richesse** = 1 le mélange est stoechiométrique
- si la **richesse** > 1 le mélange est riche en combustible et pauvre en air
- si la **richesse** < 1 le mélange est pauvre en combustible et un excès air

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

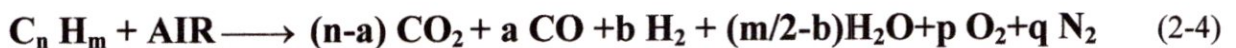
Reaction complète



Reaction oxydante



Reaction reductrice /incomplete



Pour le kérosène qui a pour composition chimique proche de l'heptane, la combustion théorique complète consomme **15g** d'air pour **1g** de combustible, ce qui caractérise le dosage théorique pour un dosage réel d'un rapport de richesse **r** donnée par :

$$r = \frac{\text{dosage}_{\text{réel}}}{\text{dosage}_{\text{théorique}}} \quad (2-5)$$

Exemple n° 1 :

$$\text{Dosage réel} = 1/20$$

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

Exemple n° 2 :

$$\text{Dosage réel} = 1/10$$

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

La courbe ci-dessous montre l'évolution de la zone de combustion pour une pression d'entre et un dosage donné.

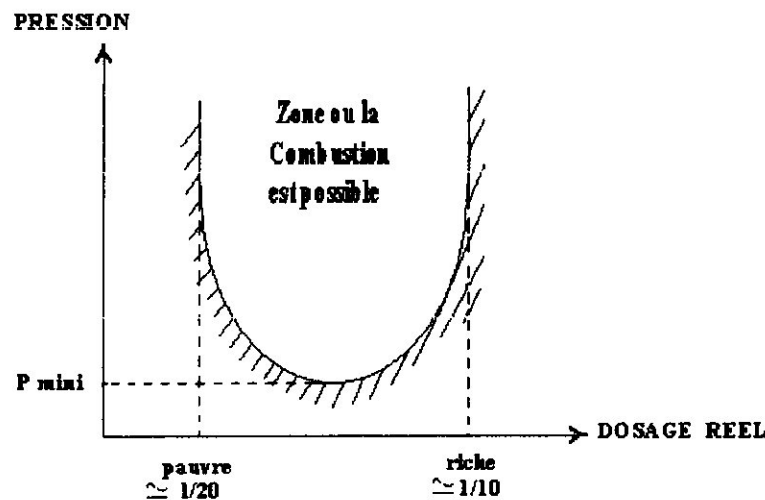


Figure (2-1) : courbe de pression minimal en fonction du dosage réel [1]

En effet, cette courbe montre qu'il n'est pas possible d'enflammer le mélange qu'au dessus d'une pression minimale à l'intérieur d'une plage de dosage réel compris entre $1/20 - 1/10$, cette pression correspond à la pression sortie compresseur.

Du faite que la **vitesse de l'écoulement** doit être $<$ **Vitesse de propagation** le constructeur raccorde la veine d'air compresseur a la chambre de combustion par un conduit a section divergente pour toute la gamme de fonctionnement

9/ FACTEURS REGISSANT LA COMBUSTION

• 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 complet possible.

• la température

Pendant la première phase : 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 particule de carbone qui portées a incandescence donnent a la flamme une couleur jaune. Les constructeur se trouvent a nouveau devant un compromis

En effet, plus la richesse du mélange est élevée, plus la production d'imbrûlés est importante. D'importantes recherches sont en cours nuisances est conduisent a des études langue et coûteuses d'où sont issues des formes de chambres particulières.

- la turbulence

Afin d'homogénéiser au maximum le mélange, les constructeurs ont recours à des aubages de turbulence. Ces dernières mettent en mouvement l'air permettant un meilleur brassage, 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 traduisent par de légères pertes de charge.

Nous retiendrons en général que la combustion doit être aussi complète que possible aussi bien au décollage qu'au ralentie, au sol qu'en altitude et dans toute la gamme de vitesse.

Le problème soulevés par la mise au point des chambres de combustions sont très complexes et expliquent, en partie, le fait qu'il faille compter une huitaine d'années entre le début des études et l'homologation d'un moteur.

- la vitesse.

10 / L'ETUDE THERMOENERGITIQUE DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION

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

A/ 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 :

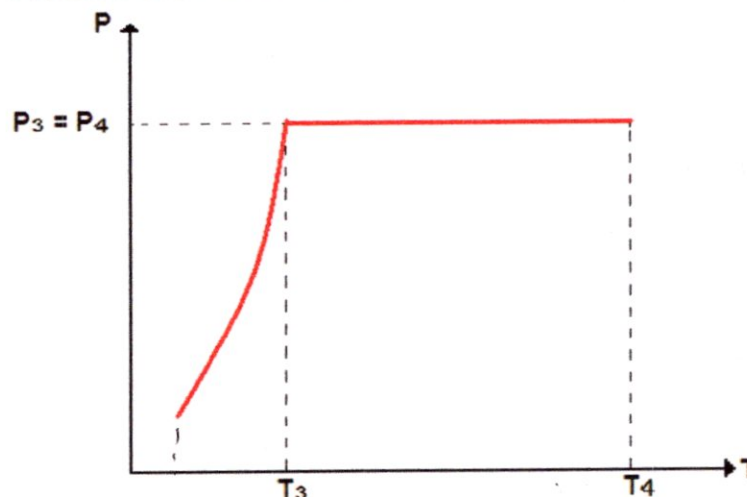


Figure (2-3) : courbe qui montre l'évolution théorique de la pression en fonction de la température

B / 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 a celle de l'entrée, en générale les pertes de charges sont voisines de 4% à 5%.

La représentation de l'évolution sera la suivante

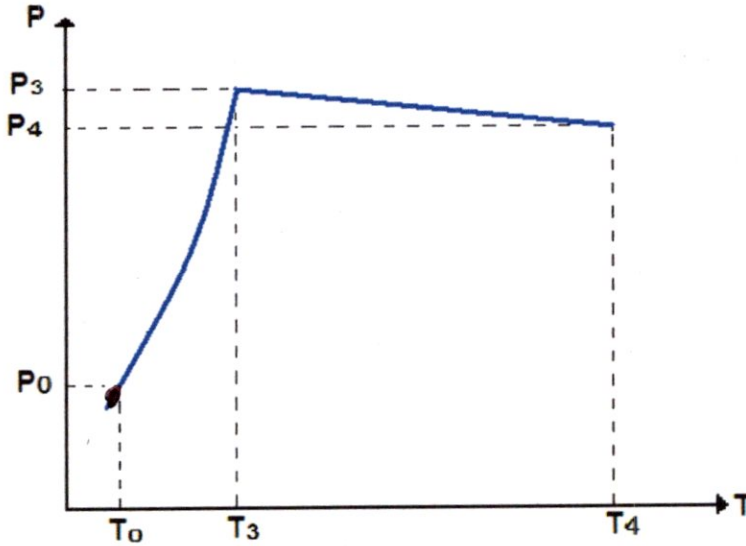


Figure (2-4) : courbe qui montre l'évolution réelle De la pression en fonction de la température

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

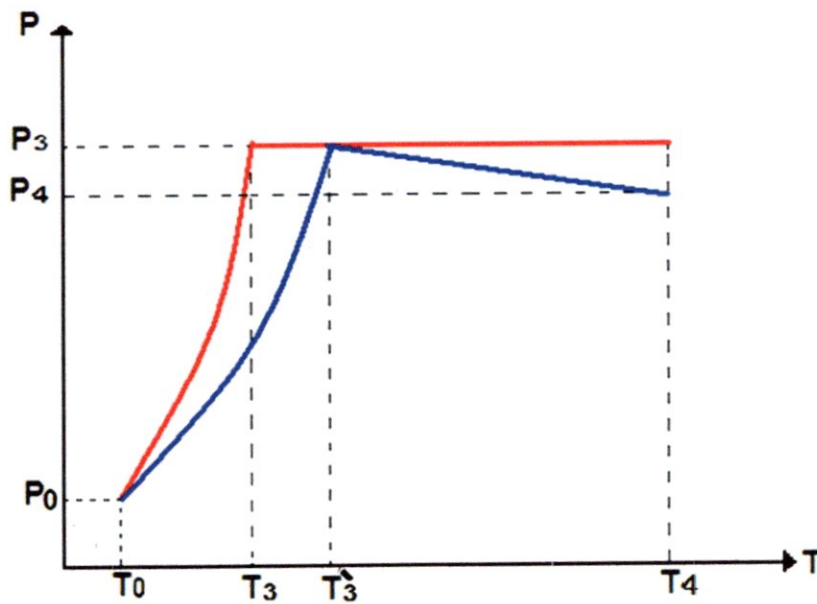
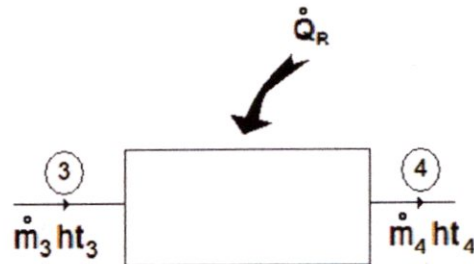


Figure (2-5) : courbe qui montre L'évolution réelle et théorique du fluide dans le compresseur

11/ BILAN ENERGETIQUE

Considérons un volume d'une chambre de combustion décrit par la figure ci-dessous



Le bilan énergétique appliqué au volume précédent nous permet de déduire l'expression ci-dessous

$$\dot{m}_4 h_{t4} - \dot{m}_3 h_{t3} = \dot{Q}_R \leftarrow \text{puissance réel.} \quad (2-6)$$

$$\text{Où} \quad \dot{m}_4 = \dot{m}_0 + \dot{m}_{fuel} \quad \text{et} \quad \dot{m}_3 = \dot{m}_0 \quad (2-7)$$

Si on considère que le gaz est parfait alors (2-6) devient :

$$(\dot{m}_0 + \dot{m}_{fuel}) c_{p_t} \cdot T_{t4} - \dot{m}_0 c_{p_c} T_{t3} = \dot{Q}_R \quad (2-8)$$

On définit le rendement de combustion comme étant le rapport de la puissance réel échangé avec le fluide à celle contenue dans le carburant (théorique).

$$\text{D'où :} \quad \eta_b = \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_{th}} \quad (2-9)$$

$$\text{Autrement} \quad \eta_b = \frac{(\dot{m}_0 + \dot{m}_{fuel}) c_{p_t} \cdot T_{t4} - \dot{m}_0 c_{p_c} T_{t3}}{\dot{m}_{fuel} \cdot P_{ci}} \quad (2-10)$$

Où - P_{ci} : représente le pouvoir calorifique inférieur du combustible

- \dot{m}_{fuel} : représente le débit carburant

Si on néglige le débit de carburant devant le débit de mass d'air et on supposant que les constantes physique 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 :

$$T_{t4} = T_{t2} \cdot (\pi_c)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} + \frac{\eta_b P_{ci}}{C_p} \frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{m}_o} \quad (2-11)$$

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

$$T_{t4} = f\left(\frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{m}_o}\right) \quad (2-12)$$

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 gaz température)

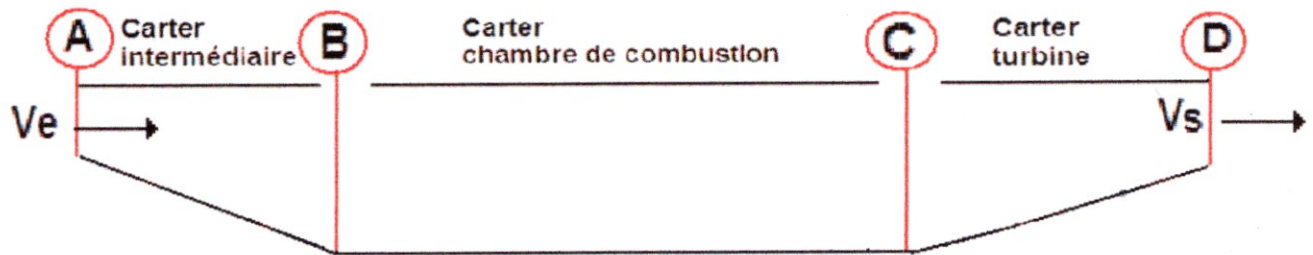
$$\text{D'où :} \quad EGT = f\left(\frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{m}_o}\right) \quad (2-13)$$

Comme pour les régimes de rotation, il existe une **EGTMTO** (exhaust gaz température max take off)

Une **EGTMCT** (exhaust gaz température maxi continu), est une température 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 **EGTMTO** correspond a une température entrée turbine TIT ou T_{t4} maximal qui actuellement sur les **GTR** modernes est voisine de 1400 à 1500°C.

12/ EVOLUTION DES PARAMETRES, PRESSION, TEMPERATURES, VITESSES, DANS UNE CHAMBRE DE COMBUSTION

Dans une chambre de combustion on passe par plusieurs section, se qui fait changer la pression et la vitesse d'écoulement, et d'autre facteur qui font changée la température.



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

Figure (2-6) : Evolution des paramètres, pression Températures, vitesses, dans une chambre de combustion [1]



chapitre III :
Le banc d'essais

5 6 2006

INTRODUCTION

Vue la disponibilité dans notre atelier propulsion d'un moteur type turboréacteur où les étudiants de 2eme année technicien effectue des travaux de pratique d'ordre pédagogique de démontage et montage qui a pour but de découvrir et comprendre le fonctionnement d'une chambre individuelle ainsi que le système d'alimentation en carburant et de pulvérisation à l'intérieur du tube a flamme.

Nous avons eu l'idée d'entreprendre un élément de chambre séparé et de lui compléter tous les équipements nécessaires à son fonctionnement dans l'intérêt de réaliser un banc didactique de simulation de fonctionnement pour compléter la phase de demontage et de montage.

Dans ce qui suit nous présenterons une vue d'ensemble sur le moteur puis sur le banc de simulation et ces accessoires.

1/ L'historique du moteur

Pour les Russes les turboréacteurs allemands n'étaient qu'une solution de transition pour équiper les premiers jets soviétiques et acquérir à bon compte cette technologie en attendant que les constructeurs nationaux prennent le relais.

En effet, les turboréacteurs allemands et leurs dérivés russes n'offraient qu'une durée de vie limitée, une consommation élevée et une masse élevée par rapport à leur puissance. De plus, le système de démarrage utilisait de l'essence ce qui imposait l'installation de petits réservoirs spécifiques puisque le turboréacteur consommait du kérosène. Le seul avantage de ces moteurs était leur conception à compresseur axial qui offrait une section frontale plus petite que les modèles à compresseur centrifuge.

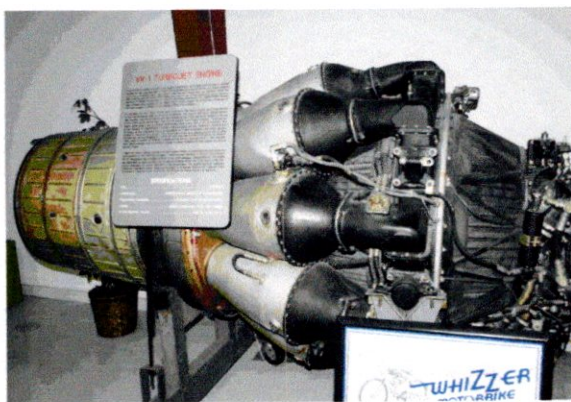


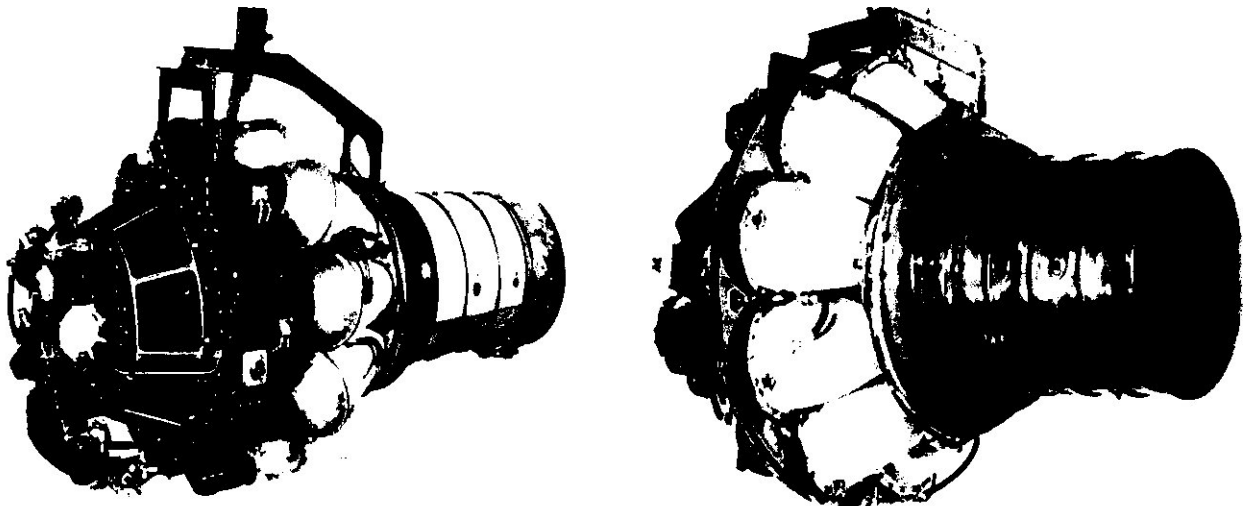
Figure (3-1) : le moteur VK-1H

Le 6 avril 1946, Staline présidait une réunion au Kremlin pour étudier ce problème avec les principaux responsables politiques et constructeurs du pays. D'après les renseignements russes, les moteurs britanniques Rolls-Royce Derwent 5 et Nene 1 commençaient à entrer en production pour

Équiper les chasseurs à réaction Gloster Meteor et De Havilland Vampire. Les moteurs britanniques n'avaient pas les défauts des moteurs allemands, une durée de vie plus longue, une puissance supérieure pour le Nene 1 et un système de démarrage électrique.

Puis les relations entre Russes et Britanniques commençaient déjà à se refroidir (la guerre froide n'était plus très loin) mais les deux pays étaient encore des alliés au sortir de la seconde guerre mondiale.

Le 17 juin 1946, le conseil des ministres soviétiques ordonna la commande de dix Nene et dix Derwent et autorisa le développement de deux prototypes de chasseur motorisé par ces turboréacteurs. Au salon du Bourget suivant, une délégation Russe put examiner en détail les moteurs de Rolls-Royce qui y étaient exposés. D'autres visites suivirent en Angleterre dans les usines de Rolls-Royce, Gloster, Vickers et d'autres, par exemple le 3 décembre 1946, Mikoyan et Klimov purent rencontrer les responsables des firmes britanniques et assister à des démonstrations en vol des plus récents jets britanniques.



Le premier moteur fut en fait livré en mars 1947 tandis que le conseil des ministres soviétique signait un décret secret pour la construction en masse de copie des moteurs Rolls-Royce, cette décision étant, bien sûr, hors licence et donc illégale. Le gouvernement russe commanda quelque temps après 20 Derwent et 15 Nene dont 5 du modèle Nene 2 qui venait de rentrer en production. Ces Nene 2 furent livré en novembre 1947.

Après les moteurs allemands, les Russes purent faire ainsi un nouveau bond qualitatif dans le domaine de la propulsion par réaction. Lavotchkine équipa le La-174D, le compétiteur malheureux du MiG-15, avec un Derwent puis avec des RD-500, copie locale du Derwent 5.

Bien sûr, les russes entreprirent rapidement d'améliorer leurs copies des Nene et Derwent. Klimov construisit ainsi le VK-1 de 2700 kgp, une version améliorée du RD-45, lui-même une copie du Nene, puis d'autres moteurs plus évolués comme le VK-1A, VK-5 et VK-7 tous dérivés du Nene

2 / Les systèmes constituent le banc d'essai

Un banc d'essai se constitue de plusieurs systèmes qui permettent le fonctionnement normal de la chambre de combustion et ces systèmes sont dépendants

2.1 / Le ventilateur

Le ventilateur est une turbomachine réceptrice, permettant de transférer une puissance mécanique au fluide pour obtenir un écoulement continu et une élévation de pression

2.1.1 / Les éléments constituant un ventilateur

Généralement, les ventilateurs sont constitués par les éléments suivants :

- Une bride d'aspiration,
- Une volute,
- Un redresseur suivi d'un divergent,
- La roue,
- L'arbre,
- Les garnitures d'étanchéité,
- Le socle,
- Le moteur d'entraînement.

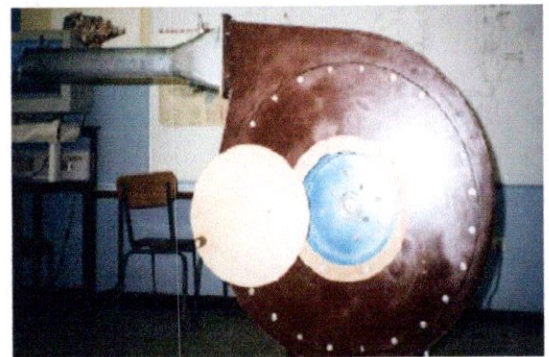
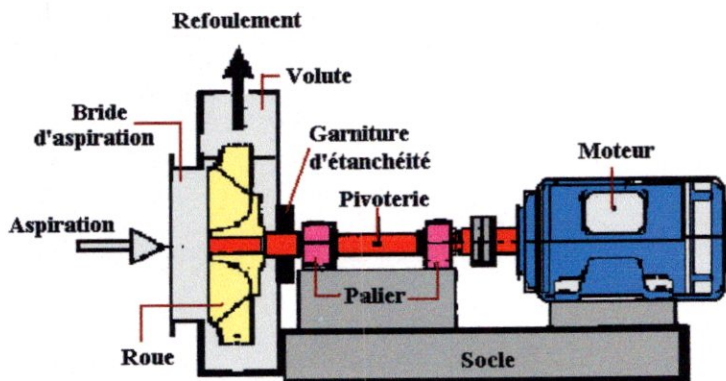


Figure (3-4) : ventilateur

2.1.2 / Les caractéristiques d'un ventilateur

Pour choisir un ventilateur il faut d'abord savoir ces caractéristiques qui sont données par le constructeur.

a) Le débit d'un ventilateur

Le débit est le quotient de la quantité de fluide qui traverse une section droite de la conduite par la durée de cet écoulement.

- Le débit massique Q_m

Il représente la masse volumique d'air qui traverse le ventilateur par unité de temps [7]

$$Q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad \text{L'unité est : (Kg/S) ou (Kg/ h).} \quad (3-1)$$

D'ou :

- Δm : La masse de fluide.
- Δt : Le temps.

- Le débit volumique moyen $Q_{v.m}$

Il représente le volume d'air qui traverse le ventilateur par unité de temps. On l'exprime par mètre cube par seconde ou par heure. Le débit volumique moyen $Q_{v.m}$ est donné par la relation suivante[7].

$$Q_{v.m} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{m}^3/\text{S}) \text{ ou } (\text{m}^3/\text{h}) \quad (3-2)$$

Ou :

- Δv : Le volume de fluide.
- Δt : le temps.

- La relation entre Q_m et $Q_{v.m}$

$$Q_m = \rho \times Q_{v.m} \quad (3-3)$$

Ou :

ρ : La masse volumique moyenne de fluide.

b) La pression d'un ventilateur

C'est la différence algébrique entre les pressions totales moyennes à la bride de refoulement, et à la bride d'aspiration d'un ventilateur.

$$\Delta P = P_{t2} - P_{t1} \quad (\text{Pascal}) \quad (3-4)$$

On peut aussi l'exprimée sous la forme d'une hauteur (h) de colonne d'eau. A l'aide d'un manomètre a colonne d'eau.

$$\text{D'où :} \quad \Delta P = \rho g h \quad (\text{mm d'eau}) \quad (3-5)$$

Elle est mesurée par un manomètre en U avec un tube de Pitot.

c) La vitesse de rotation (ω)

La vitesse angulaire du ventilateur s'exprime en fonction du nombre de tour N de la roue par la relation si dessus

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (\text{rd /S}) \quad (3-6)$$

La vitesse périphérique tangentielle U_t est :

$$U_t = \omega \times R \quad (\text{m/s}) \quad (3-7)$$

Ou : R est le rayon de la roue du ventilateur.

d) La puissance d'un ventilateur

Elle se devise en :

- Puissance fournie par le moteur d'entraînement, et qui s'exprime en Watt ou en cheval W (w) ou (ch).
- La puissance utile ou la puissance disponible à la sortie du ventilateur W_u et qui est donnée par la relation suivante :

$$W_u = \Delta P \times Q_{v.m} \quad (\text{w}) \quad (3-8)$$

e) Le rendement d'un ventilateur

Le rendement du ventilateur est le rapport entre la puissance utile, et la puissance fournie par le moteur d'entraînement :

$$\eta = \frac{W_u}{W} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{\Delta P \times Q_{v.m}}{W} \quad (3-9)$$

2.1.3 / la roue du ventilateur

Le ventilateur est du type centrifuge a pale inclinée vers l'arrière et de moyen puissance, Le ventilateur est entraîné par un moteur électrique très puissant, Le type de montage triphasé est en triangle (Δ).

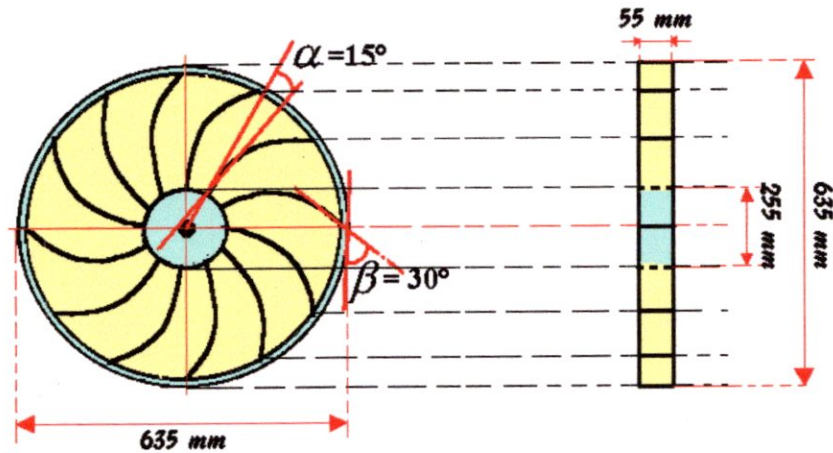


Figure (3-5) : la roue du ventilateur [7]

Les aubes de la roue du ventilateur sont de type inclinés en arrière, présentant les valeurs d'angles respectives à l'aspiration (α) et au refoulement (β), comme indiquée sur la figure ci-dessus

2.2 / Le socle

La conception du socle à été parmi les étapes les plus importantes à réaliser et déterminante pour la suite de l'expérimentation, car le socle devrait contenir les éléments ci-dessous :

- La chambre de combustion
- Le circuit d'alimentation en carburant.
- Le circuit d'allumage électrique.
- Le système d'indication et de commande.
- Le réservoir
- La pompe de refoulement
- Le moteur.

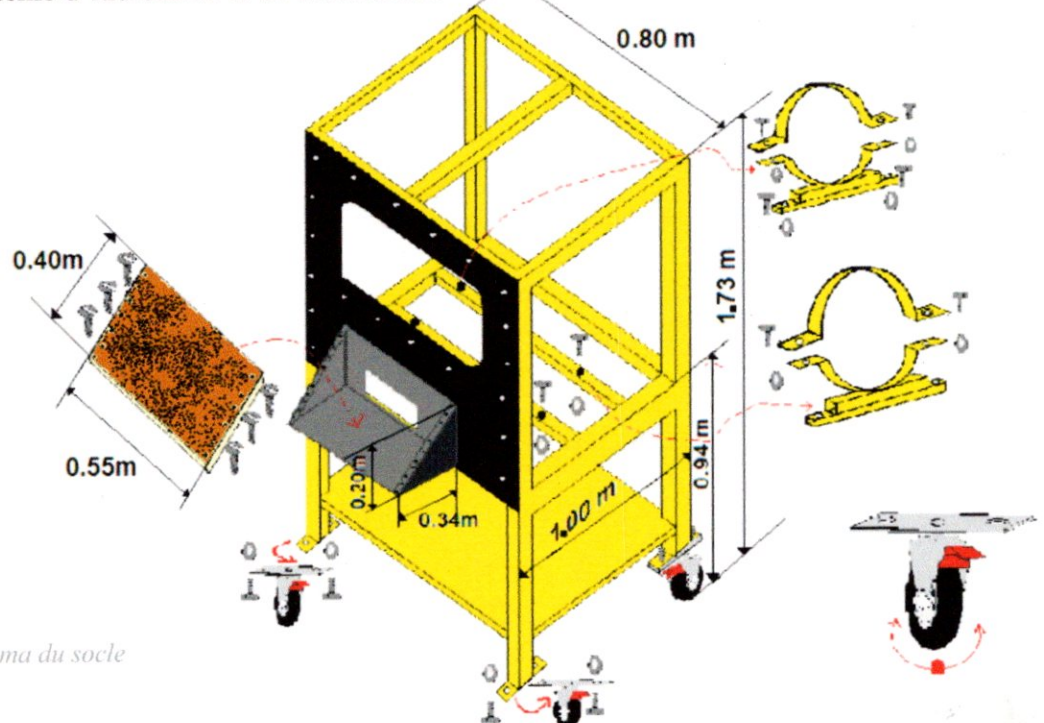


Figure (3-6) : schéma du socle

Pour la construction du socle, on a utilisés des tubes en fer a section carrés de 4cm suffisamment résistants pour supporter les systèmes du banc d'essais et protéger l'opérateur. Le travail de réalisation du socle a été entrepris au niveau de l'atelier de propulsion, ou des opérations de soudages et d'assemblages on eu lieux.

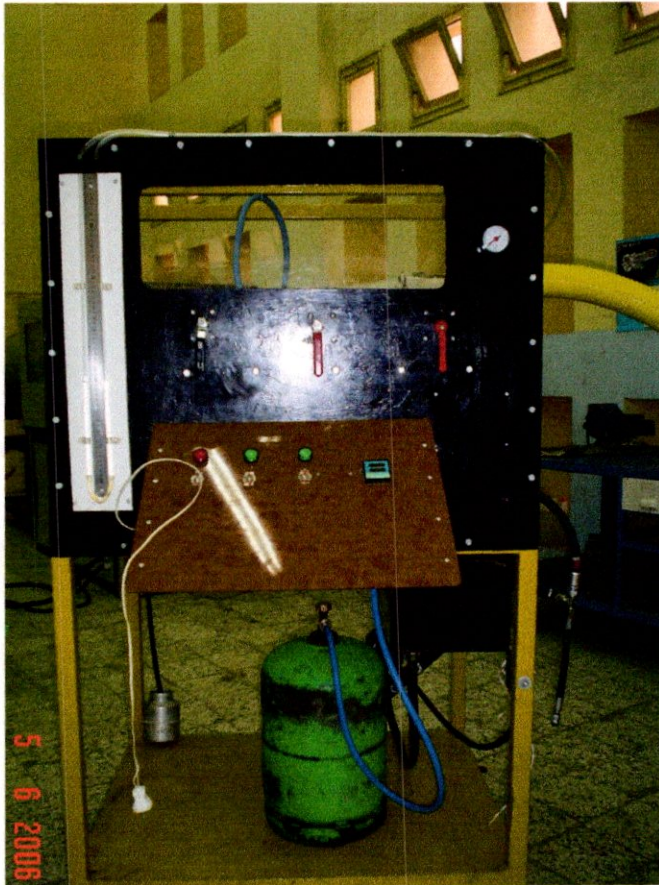


Figure (3-7) : photo du socle

Une épaisse plaque métallique de (2mm) d'épaisseur est fixée sur la face avant par boulonnerie servant de support aux instruments de contrôles et de mesures d'une part et d'une autre part de barrière de protection contre d'éventuelle retour de flamme sur l'opérateur une petite lunette est installé pour permettre à l'observateur de mieux voir la chambre.

2.3/ La chambre de combustion

La chambre de combustion doit pouvoir assurer le mélange kérosène et oxygène, et permettre la transformation la plus complète possible de l'énergie chimique en énergie calorifique et tout cela dans toute la gamme du régime.

Notre chambre de combustion a été prie d'un ancien moteur de l'atelier de propulsion, et on lui a fait quelque adaptation pour pouvoir la mettre en fonctionnement elle.

Elle comporte alors les éléments suivants :

a. Le carter intermédiaire

C'est un élément intermédiaire qui permet le raccordement du ventilateur avec la chambre de combustion.



Figure (3-8) : photo du carter intermédiaire

Cette pièce a été fabriquée avec des tôles de fer soudées formant un canal divergent à section carrée, avec une entrée cylindrique suivant la forme de la sortie du ventilateur, en permettant le raccordement avec la chambre de combustion et le ventilateur.

b. Le redresseur

En réalité c'est le carter intermédiaire qui fait le raccordement entre le compresseur et la chambre de combustion, mais comme notre banc d'essai ne s'assemble pas avec le compresseur on a été obligé de faire le connecteur, et ce carter intermédiaire est appelé aussi le redresseur, il est fait en alliage d'aluminium.



Figure (3-9) : photo du redresseur

On voit que le carter intermédiaire comprend des aubes directrices qui dirigent l'air vers le tube à flamme.

c. L'enveloppe externe

C'est le carter qui couvre le tube a flamme de l'extérieur et permettre de le refroidie d'une manière simple qui fonctionne avec un film protecteur, lui aussi doit être fait avec une matière résistante a la température, en générale c'est de l'acier spéciale, nickel, chrome.

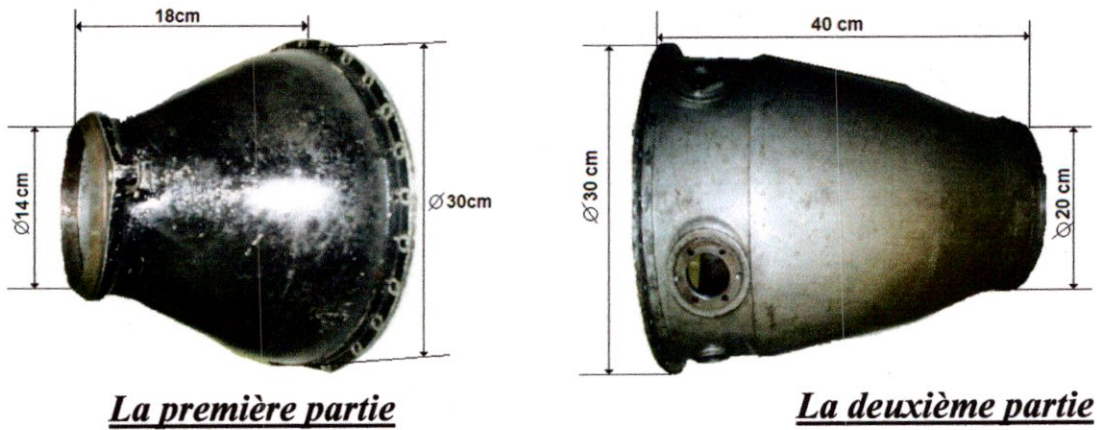


Figure (3-10) : photo de l'enveloppe externe

Dans le cas d'une chambre de combustion séparée comme dans notre cas on trouve l'enveloppe externe se divise en deux partie, ces deux partie nous permettre d'accéder au tube a flamme pour faciliter le montage et le demontage.

d. Le tube a flamme

C'est le siège de la flamme car la combustion se fait dans ce tube et pour ce la il est fait avec des matériaux résistant a de très grande température.

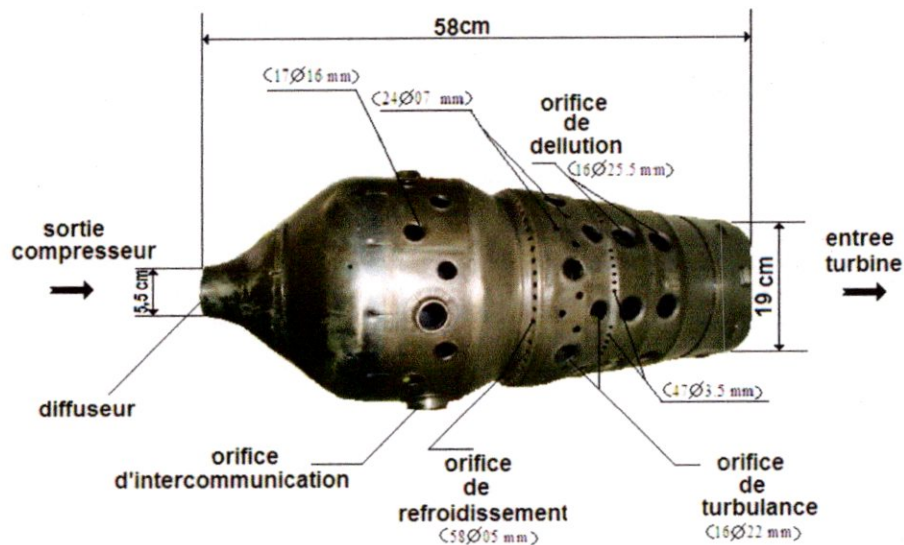


Figure (3-11) : photo de tube a flamme

Il contient aussi des orifices d'alimentation en air et d'autre pour le refroidissement comme on trouve un tourbillonner qui aide à faire le bon brassage air/combustible et avec un tourbillonnement autour de l'injecteur permettant l'accrochage de la flamme.

e. La fixation de tube a flamme

Dans le moteur le tube a flamme est maintenue dans le carter avec un ou plusieurs éléments de forme cylindrique qui peuvent centrée le tube a flamme correctement, et le maintenir pour une bonne circulation de l'air.



Figure (3-12) : photo de bouchon de fixation

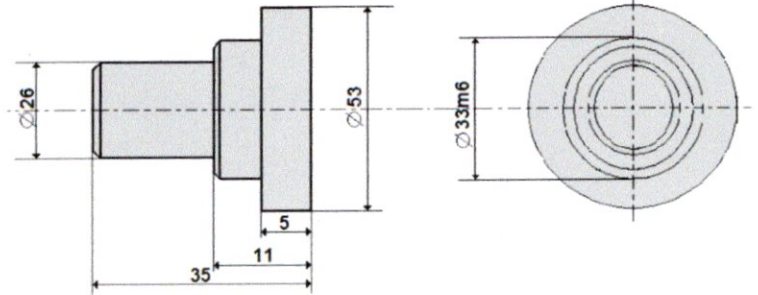


Figure (3-13) : dimensionnement de la pièce

Dans le cas de notre chambre le tube a flamme est fixer avec un seul bouchon de fixation et deux autre pour l'intercommunication avec les chambres voisines. Cependant dans le banc d'essai on va juste tester une seule chambre, alors on n'aura pas besoin des orifices d'intercommunications.



Figure (3-14) : photo du guide de tube a flamme

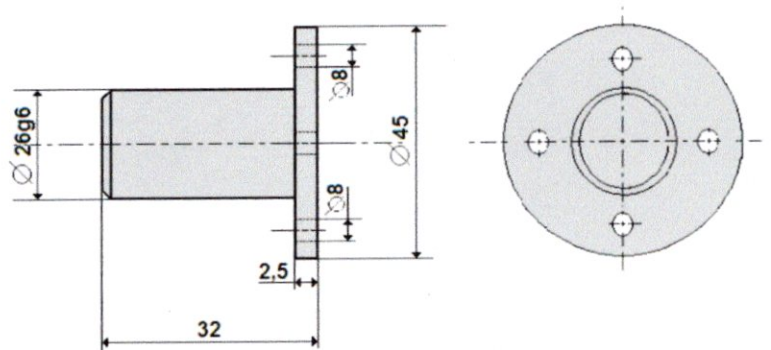


Figure (3-15) : dimensionnement de la pièce

C'est pourquoi deux petits bouchons sont fabriqués en tournage avec des cotes bien précises pour un montage avec serrage. L'un est pour la fixation pour éviter le jeu, et le guidage du tube a flamme. Similairement au premier on a ajouté a l'autre des orifices pour permettre le drainage du carburant résiduel.

f. *Le système de drainage*

Dans chaque chambre de combustion on trouve des systèmes de drainage pour évacuer le carburant imbrûlé, où des fois est utilisé pour le drainage du carburant dans le cas d'un démarrage raté.

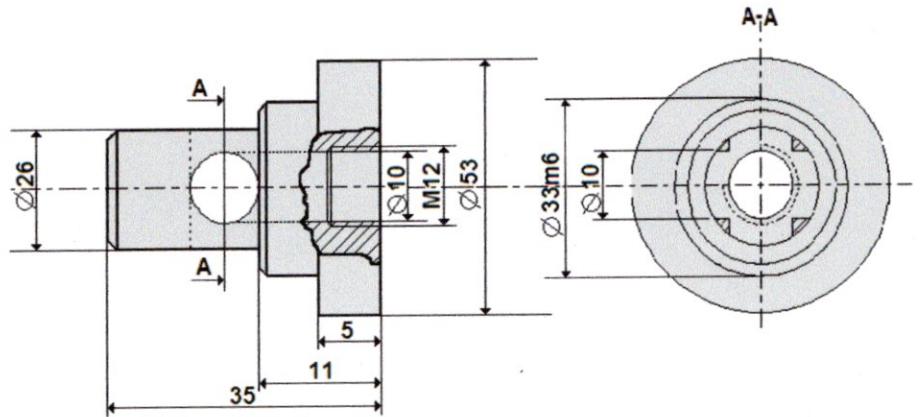


Figure (3-16) : photo du bouchon de drainage

Figure (3-17) : dimensionnement de la pièce

Ce carburant sera récupéré dans le réservoir, et dans notre cas le carburant qui est drainé est plein d'impuretés donc on ne peut pas le renvoyer au réservoir.

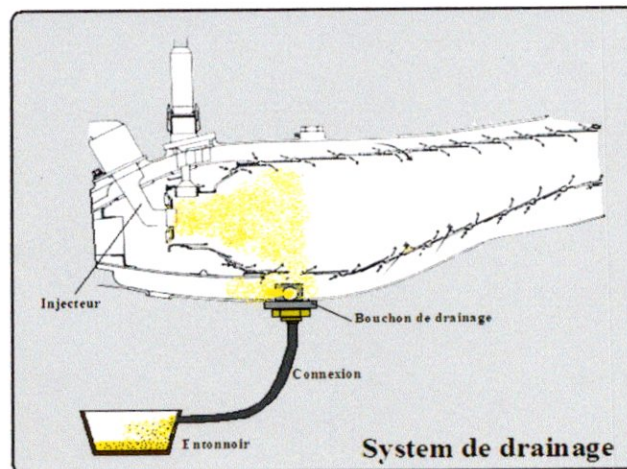


Figure (3-18) : system de drainage

Donc comme nous montre la figure (3-24) on a connecté le bouchon de drainage vers un entonnoir.

g. L'injecteur

Son rôle est d'assurer la pulvérisation correcte du carburant dans toute la gamme de débit carburant, de pression et température sortie compresseur et de minimiser la production de polluants.

On rencontre plusieurs types d'injecteurs le simplex et le duplex. Le premier type injecte un seul débit en une seule section. Tandis que le deuxième cas présente deux sections d'injection concentriques de section différentes.



Figure (3-19) : photo de l'injecteur utiliser

Et dans notre cas on a un injecteur de types duplex qui équipe déjà la chambre de combustion (c'est l'injecteur d'origine de la chambre de combustion), cet injecteur fonctionne aux faibles régime par une seule section, tandis que l'admission de l'injection de la deuxième section est obtenue par un clapet de distribution. Au grand régime la pression carburant augmente donc on aura la pulvérisation de la deuxième section.

h. L'allumeur

L'allumeur est le dispositif qui permet l'allumage de la chambre de combustion, et ce la avec une petite flamme torche dans le tube à flamme qui permet l'allumage du kérosène pulvérisé à travers l'injecteur.

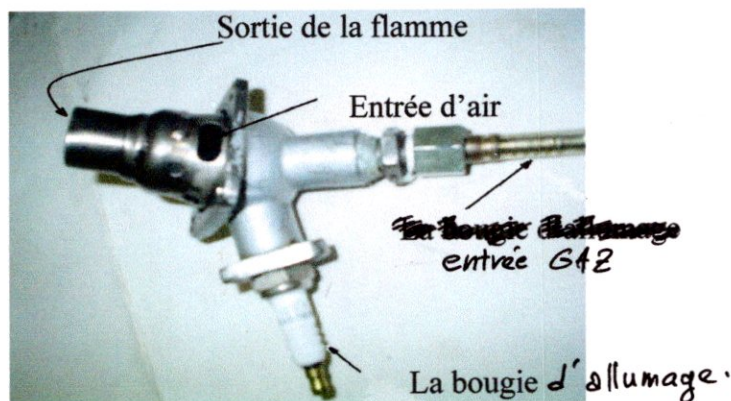


Figure (3-20) : photo de l'allumeur utiliser

L'allumeur qui a été utilisé dans notre chambre de combustion est un ancien allumeur d'un moteur d'hélicoptère, qui a été récupéré et modifié pour l'adapter à notre chambre de combustion, on a fait fixer une bougie d'allumage sur l'allumeur puis on lui a mis un dispositif pour l'alimenter en gaz pour éviter l'extinction de la bougie d'allumage par le kérosène, et pour ça fixation on a réalisé un perçage de deux petit trou tarauder sur le carter de la chambre de combustion.

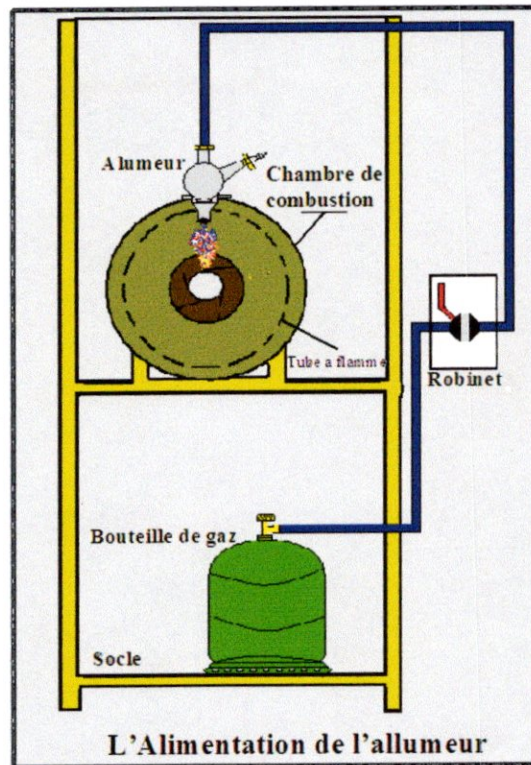


Figure (3-21) : circuit d'alimentation de l'allumeur

Le circuit d'alimentation de l'allumeur par gaz est constitué d'une bouteille de gaz butane qui est connectée à un robinet de commande d'allumage qui se connecte à son tour à l'allumeur.

i. Le thermocouple de température

Pour la détermination de la température on a utilisé des sondes thermocouple à la sortie de la chambre de combustion permettant de réaliser la mesure.



Figure (3-22) : photo de la sonde de température

En effet Un thermocouple est un capteur thermique qui se compose de deux conducteurs de métaux différents. Quand ces deux conducteurs sont soudés à leur extrémité et que celles-ci sont portées à des températures différentes, une force électromotrice apparaît et un courant s'établit (en l'absence de tout générateur). Cette f.e.m thermoélectrique est fonction de la nature des métaux et proportionnelle à la variation de la température.

Le circuit de mesure est donc constitué de deux jonctions l'une appelées jonction de soudure chaude, c'est la jonction de mesure qui sera située dans le milieu dont on veut mesurer la température, l'autre appelée jonction de soudure froide, c'est la jonction de référence (théoriquement à 0°C, pratiquement mesurer).

Deux conditions sont nécessaires pour qu'il y ait formation d'une f.e.m :

- La présence au moins de deux conducteurs de nature différente.
- Une différence de température entre les deux jonctions.

L'ensemble des thermocouples aujourd'hui couramment utilisés permet de couvrir un large domaine de température allant de - 250°C à 2600° C.

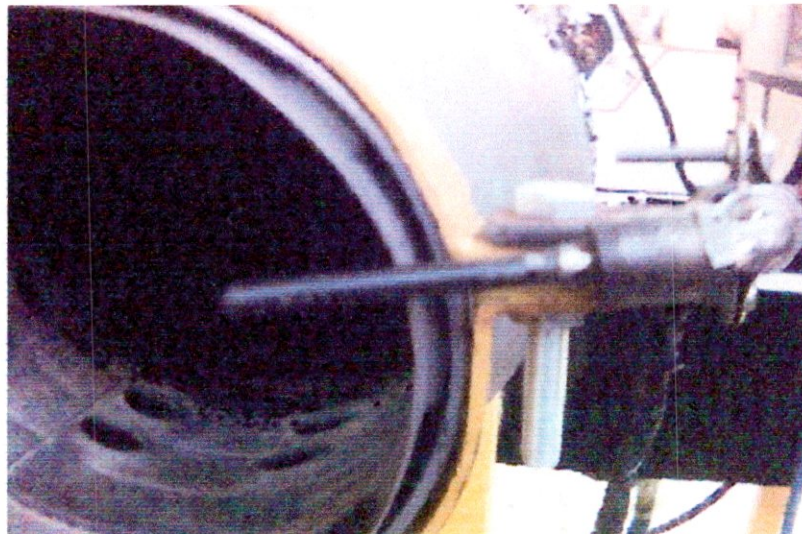


Figure (3-23) : photo de la sonde utiliser

Sur le banc d'essai on a utiliser un thermocouple récupérer d'un turboréacteur relié a un afficheur digital qui nous indique une température qui peut y aller jusqu'à 1100°C.

A travers ce thermocouple on peut évaluer la température total Tt_4 de la sortie de la chambre de combustion.

j. Montage d'ensemble de la chambre de combustion

Une chambre de combustion individuelle contient essentiellement le carter intermédiaire, le carter ou l'enveloppe externe, le tube à flamme et l'injecteur.

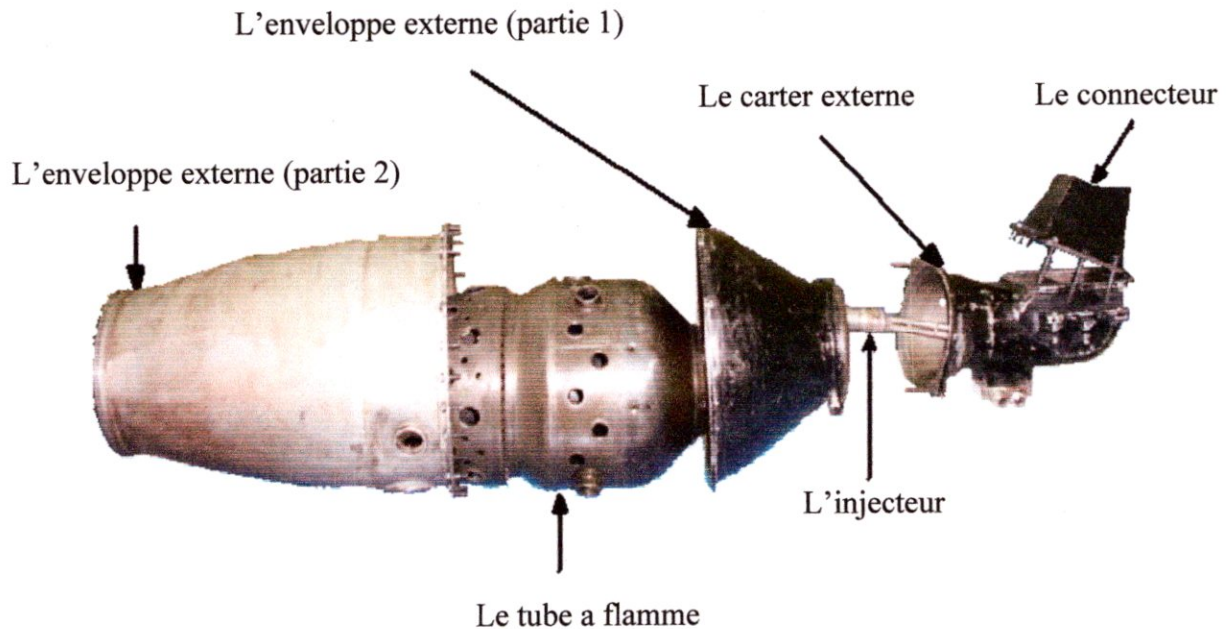


Figure (3-24) : photo du montage de la chambre de combustion

Ces éléments précédents sont reliés entre eux par boulonnerie et entre chaque deux pièces on a un joint, ces joints sont de type thermique qui résiste à des grandes températures.

2.4 / Système d'alimentation

C'est le système le plus important dans le banc d'essai, car il assure l'alimentation continue du carburant avec une pression et un débit bien déterminés et c'est ce qu'il assure la continuité de la combustion, et ce système doit être constitué de plusieurs éléments qui permettent la régulation du carburant, le stockage, le refoulement et l'indication.

2.4.1 / Le réservoir

Le stockage est assuré dans un réservoir fait en tôle de fer d'une capacité de 35 litres, le rôle du réservoir est de délivrer le carburant à la chambre de combustion et de le stocker après l'arrêt de la chambre de combustion.

Le réservoir contient :

- un bouchon de remplissage
- un orifice de retour
- une jauge manuelle
- un bouchon de drainage
- un robinet de distribution

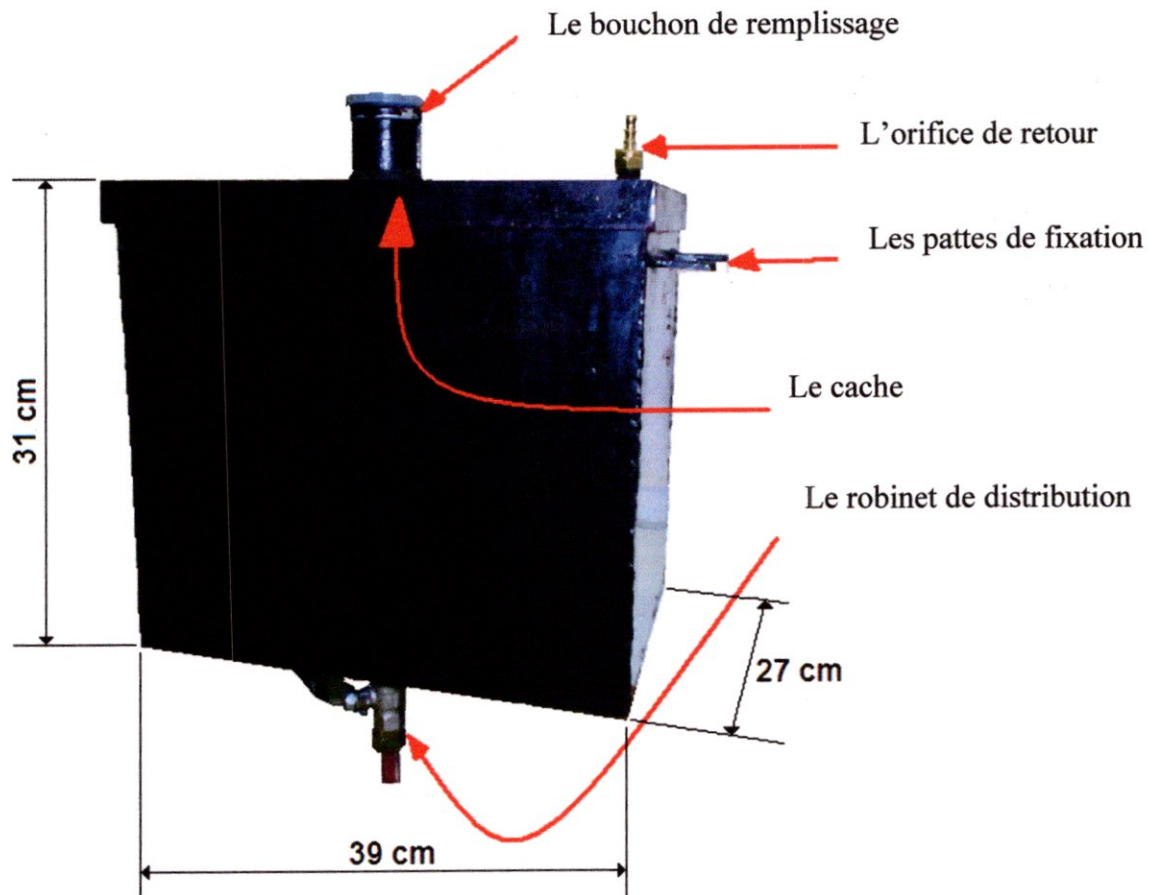


Figure (3-25) : photo du réservoir

La réalisation du réservoir a été faite dans un atelier de soudage, il est fait en tôle inoxydable de 2mm d'épaisseur plier en quatre et souder en bas et d'un coté, en plus il y a un cache de réservoir qui contient le bouchon de remplissage, la jauge et l'orifice de retour. Le réservoir est fixé au socle par des pattes de fixation qui permettent de pauser le réservoir sur les longerons du socle

2.4.2 / Le moteur et la pompe a carburant

Pour le refoulement du carburant nous avons besoin d'une pompe de refoulement et cette qui doit être mise en rotation par un moteur.

Cette dernière a été récupéré d'un system hydraulique utilisant de l'huile comme fluide de servitude, sur l'axe de la pompe on a fixé une poulie d'un diamètre plus grand que celui de l'arbre assemblé avec une bague et une vis CHC.

La poulie est entraînée à travers une courroie par un moteur, lui aussi est équipé d'une poulie plus petite que celle de la pompe. Donc on a une réduction des nombres de tour.

Ce moteur, quand a lui une source électrique alternative d'une valeur de 220V. Pour mieux commencer le démarrage un condensateur de 20 µf est monté dans le circuit de façon à assurer le bon fonctionnement de la pompe.

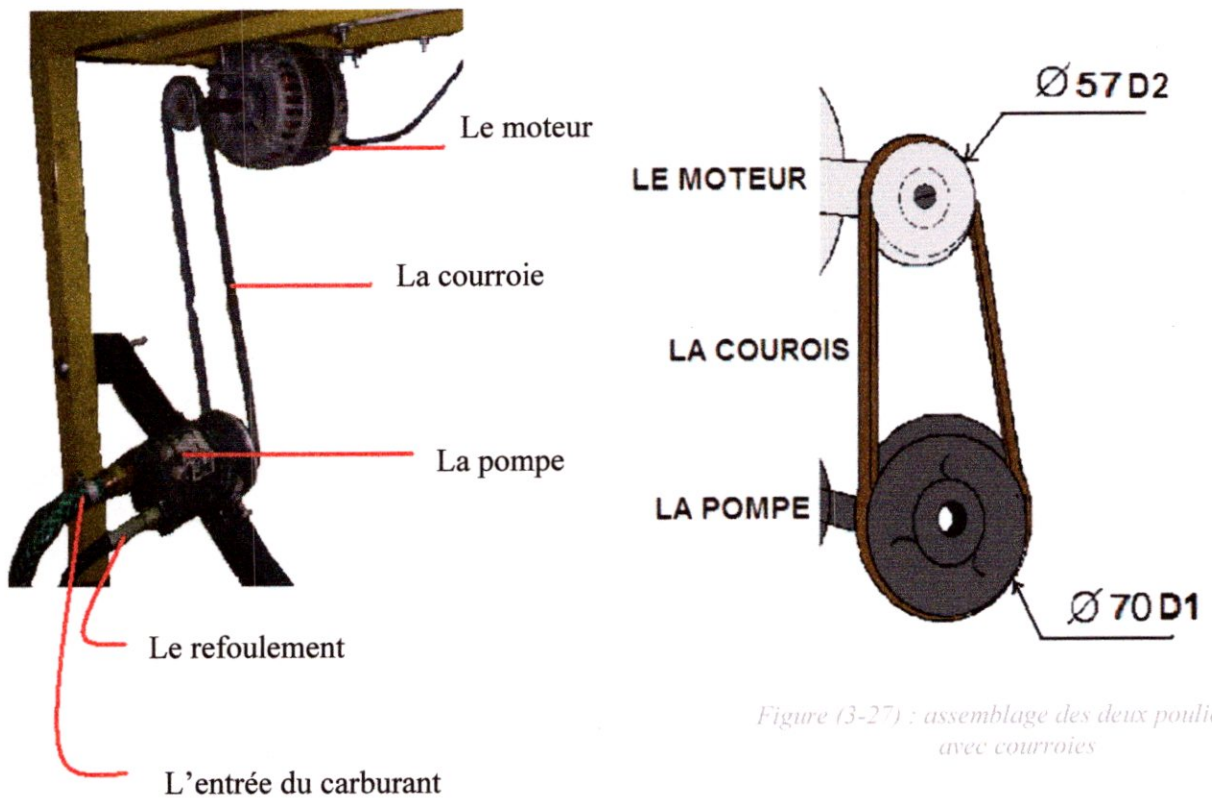


Figure (3-27) : assemblage des deux poulies avec courroies

Figure (3-26) : photo du montage pompe avec moteur

Si on observe l'image précédente on voit que le diamètre de la pompe est plus important que celui du moteur, alors on aura une diminution de nombre de tours. On peut calculer le rapport par :

$$\frac{D1}{D2} = \frac{N2}{N1} \Leftrightarrow N2 = \frac{D1 \times N1}{D2} \quad (3-10)$$

$$N2 = \frac{57 \times 3000}{70} = 2443 \text{tr / min}$$

- Avec :
- N1 : nombre de tour du moteur
 - N2 : nombre de tour de la pompe
 - D1 : diamètre de la poulie du moteur
 - D2 : diamètre de la poulie de la pompe

2.4.3 / Le filtre

Dans un système de carburant on trouve toujours un élément de filtration, qui est très importants pour le bon fonctionnement du système et sa protection. Car un filtre protège la pompe contre l'endommagement de ces engrenages à cause débris dans le réservoir, et aussi pour protège l'injecteur contre des petites particules qui sortent de la pompe et qui peuvent boucher l'injecteur. Un filtre a une durée de vie bien déterminer, en cas de colmatage du filtre une indication est afficher comme alarme et le carburant peut circuler dans un circuit de by-pass sans être filtrer.

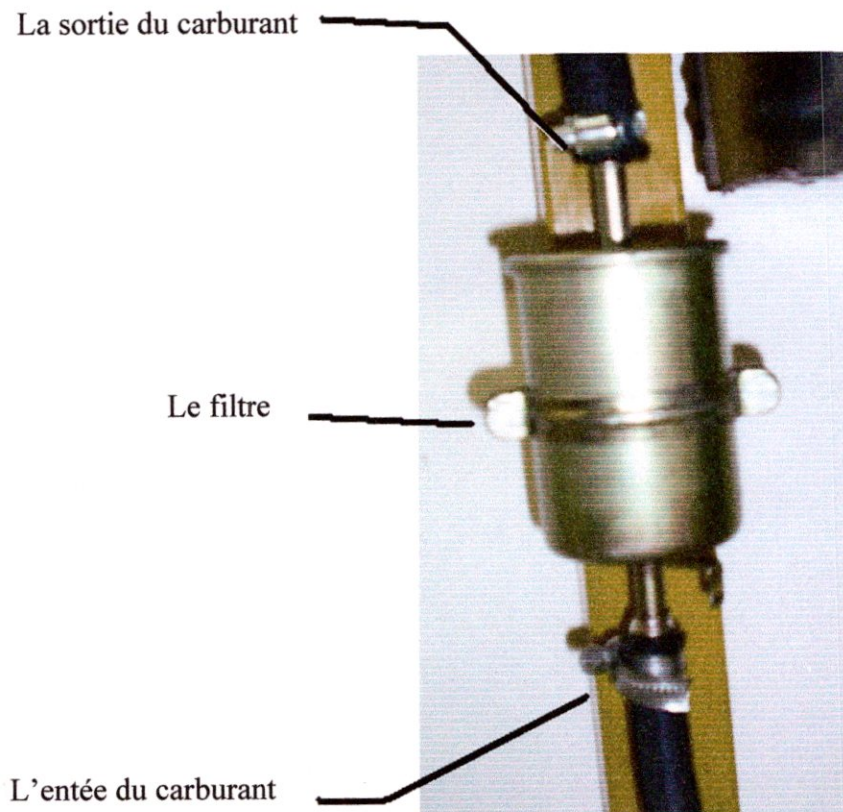


Figure (3-28) : le filtre a carburant

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

Dans notre réalisation on a équipé notre circuit de carburant avec un filtre à essence utiliser 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.

2.4.4 / Les robinets de régulation

Dans tout les avions on trouve la manette des gaz, cette manette permet de commandé l'accélération et la décélération. Elle est reliev directement au moteur et connecter avec le système de régulation de carburant qui réalise la régulation automatique du carburant suivent la position commander par la manette, l'altitude et les paramètres du vol.

Généralement suivant le type de pompe équipant le circuit carburant, le système de régulation va jouer le rôle dans le dosage de la quantité qui va être brûlée et celle qui va by passer. D'autre part il maintiendra le régime par la servitude.

On se basant sur ce principe nous nous sommes inspirer a faire un petit circuit de régulation manuelle a l'aide de deux robinets et dont le principe de fonctionnement est ci-dessous :

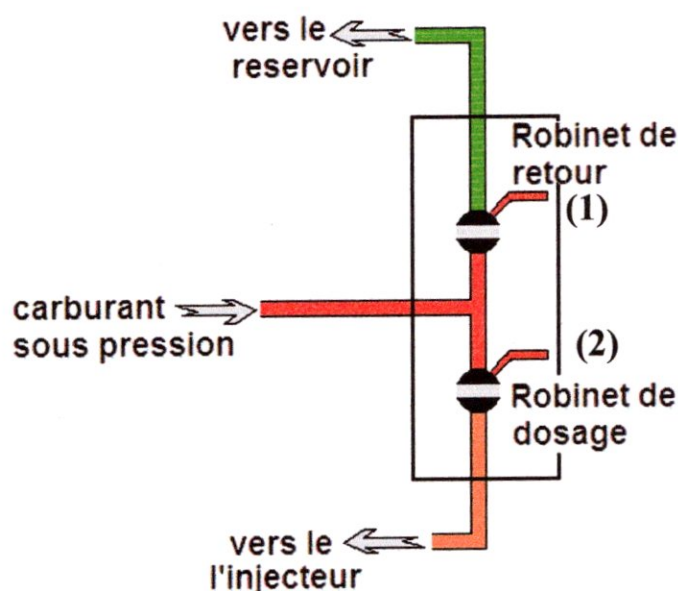


Figure (3-29) : les robinets de régulation

En effet, le carburant sous pression venant de la pompe a carburant a un débit constant sera contrôler en by-pass par le robinet (1) de vidange qui lui permet de garder le fluide en circulation ver le réservoir.

Cependant, l'injection du carburant ver la chambre sera commencer par l'ouverture graduel du robinet (2) de dosage et une diminution de la quantité du by-pass respectivement et d'une manière simultané.

Ce qui fera augmenter la valeur du débit et la pression dans le dosage et ainsi la température de la chambre a la sortie.

2.4.5 / Les indicateurs de pression

Chaque circuit a carburant contiens des plusieurs instruments de contrôle, d'indication et de régulation, et dans le système d'indication on trouve l'indicateur de pression qui nous donne la

pression de carburant dans le circuit et a travers cette indication on peut aussi contrôler le circuit par l'observation d'une pression anormale qui peut nous donner une idée de la cause, comme on trouve l'indicateur de température du carburant pour intervenir en cas d'un dépassement dangereux, et d'autre indicateurs comme celui de colmatage des filtres

- **Mesure de pression**

Pour les mesures de pressions plusieurs instruments sont utiliser les plus réponsus sont les tubes de Pitot et les manomètres de pression

- **Les manomètres**

Le manomètre est un instrument de mesure autonome, qui fournit la valeur de la pression grâce à un dispositif indicateur ou de lecture.

En générale les manomètres les plus utiliser sont Les manomètres à déformation de solide. Ils existent sous différents types, les plus réponsus sont :

- Manomètre à membrane.
- Manomètre à capsule,
- Manomètre à soufflet,
- Manomètre à tube de bourdon,

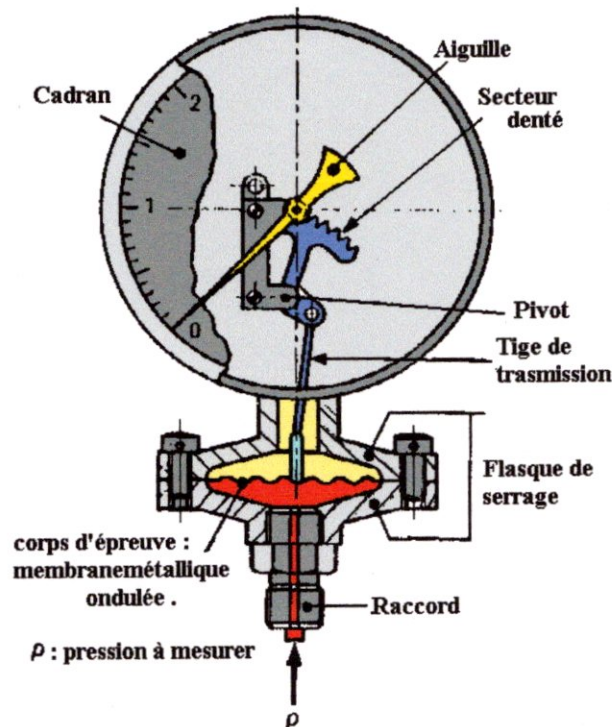


Figure (3-30) : le manomètre

Dans le circuit du banc d'essai on a mis un indicateurs de pression a membrane placer juste après le filtre a carburant pour donner la pression de refoulement.

- Les manomètres à colonne d'eau

Pour la mesure de la pression de sortie du compresseur on utilise le manomètre à liquide. Ces systèmes utilisent un tube en U, dont le principe de mesure dépend de la dénivellation de liquide dans les deux branches de tube en U.

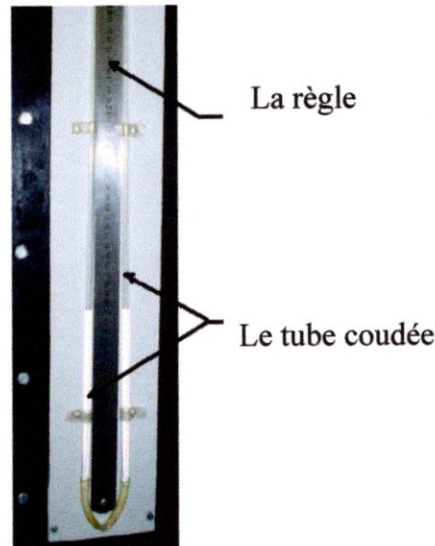


Figure (3-31) : le manomètre à liquide

Ce genre des manomètres est le plus utilisé pour les mesures des pressions des fluides (pour nos mesures, on a utilisé un manomètre en U)

Principe de mesure

Le tube en U conduit par principe à la mesure d'une différence de niveau ; il faut donc à chaque mesure lire le niveau de deux branches et faire la différence entre eux, cette différence est mesurée à l'aide d'une réglette millimétrée coulissante dont on ajuste à chaque fois le zéro sur le niveau le plus bas.

Mesure de la pression statique P_s

On peut calculer la pression à partir de la formule suivante :

$$p - p_{am} = \rho g h$$

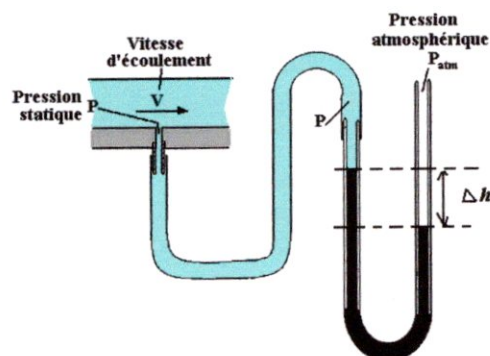


Figure (3-32) : mesure de la pression statique

2.5 /système d'allumage électrique

L'allumage a pour rôle de provoquer la combustion du mélange gazeux dans l'allumeur de la chambre de combustion. Dans un système d'allumage classique, un faible 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'allumeur. 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 électronique d'allumage commandée.

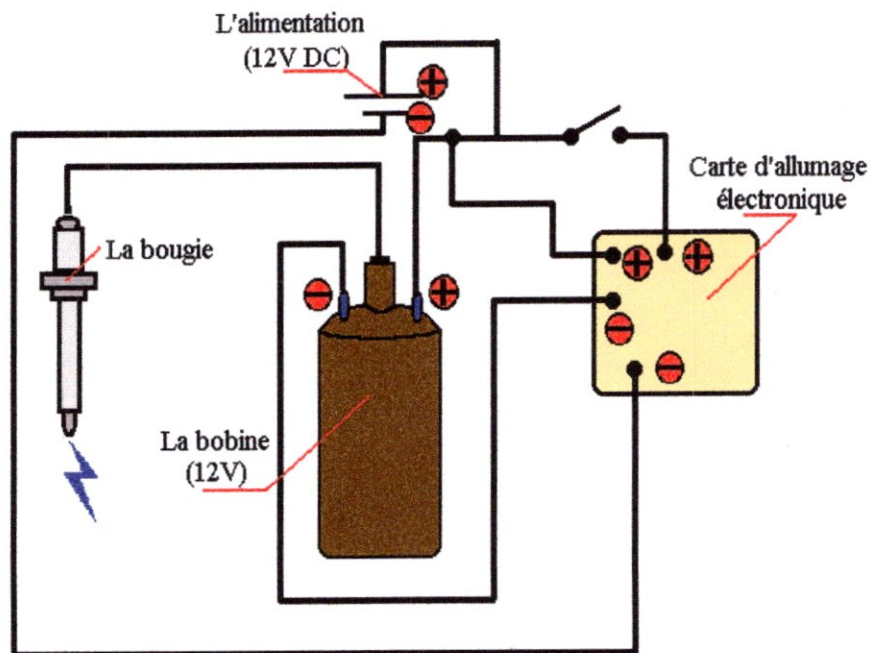


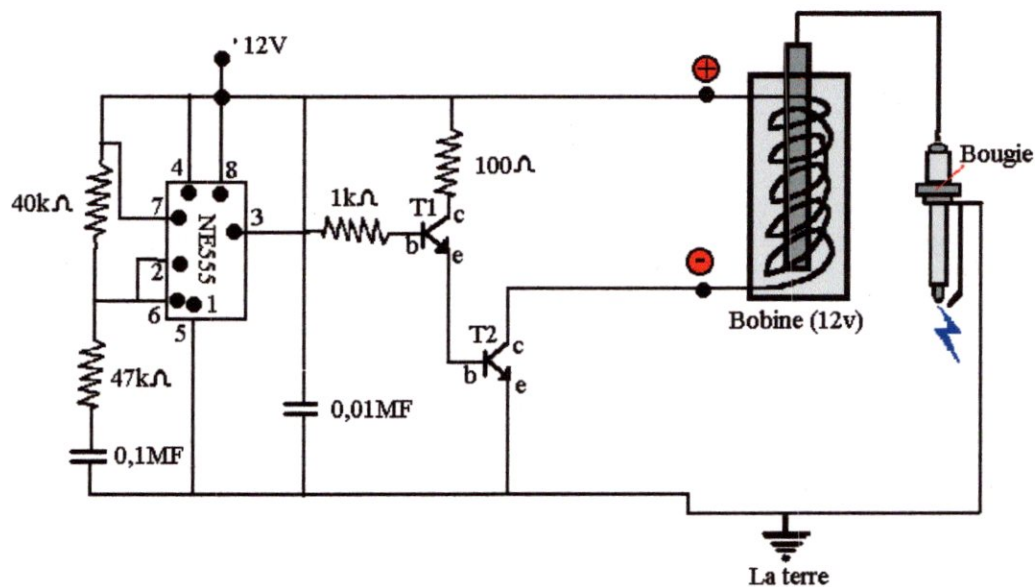
Figure (3-33) : le système d'allumage

- le transformateur

Dans un moteur on utilise l'électricité du générateur qui est de 28V avec celle la on alimente la boîte d'excitation qui donne la haute tension a la bougie, sur le banc d'essais nous n'avons pas un générateur donc on a utilisé un transformateur de 12V et 0.06A a courant continue, ce transformateur alimente une carte électronique

- [la carte électronique](#)

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



T1=2N2222

T2=2N3055

Figure (3-34) : Schéma électronique de la plaque d'allumage.

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

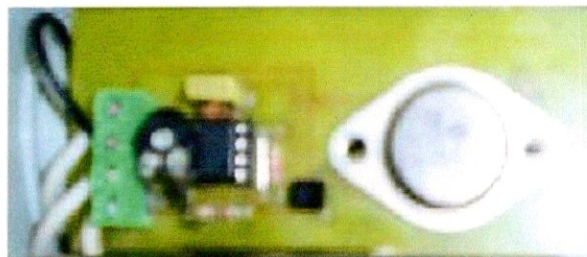


Figure (3-35) : la plaque d'allumage.

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

2.6 /Le système de commande et d'indication

Pour la mise en marche d'un banc d'essai ou pour augmenté le régime ou le diminué et aussi pour l'allumage de la bougie ou du moteur électrique on a fait deux systèmes tais important dans le banc d'essai qui sont le système hydraulique et le système électrique

- Le circuit hydraulique

Pour l'alimentation de la chambre de combustion en carburant, il nous faut tout un circuit de carburant, qui permet l'alimentation, la régulation, le stockage et l'indication.

Ce circuit contient :

- le réservoir
- la pompe a carburant
- le filtre a carburant
- les robinets de régulation
- l'indicateur de pression
- l'injecteur
- la tuyauterie

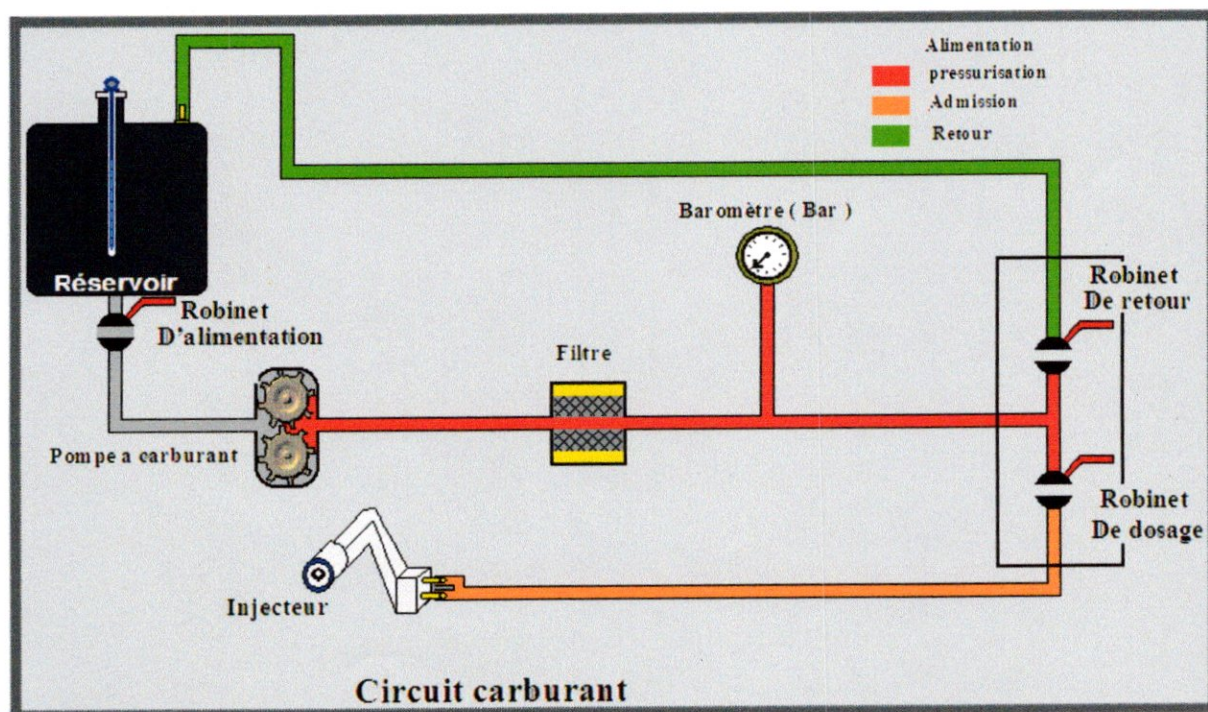


Figure (3-36) : le circuit carburant

On a utilisé les robinets comme solution de régulation pour faciliter le système et minimiser les frais, car un système réel de régulation demande plusieurs équipements qui coûtent beaucoup plus chère

- Le circuit électrique

Pour la commande de l'allumage de la bougie et du moteur électrique et aussi l'indicateur de température on utilisé un circuit de commande électrique qui permet la commande a travers plusieurs équipement qui sont :

- un générateur d'électricité (réseau)
- des interrupteurs
- des lampes d'indication
- un indicateur de température
- un moteur électrique
- la boîte d'excitation
- des fils électrique

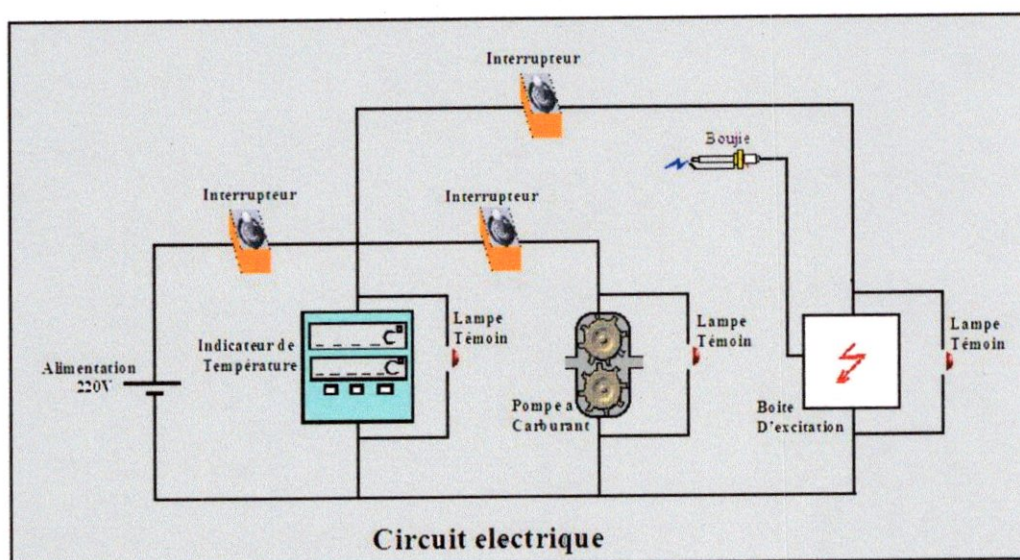


Figure (3-37) : le circuit électrique

Ce circuit contient trois éléments principaux qui sont commandée par des interrupteurs, et pour confirmé la mise en marche d'un équipement on a mis des lampes témoin qui sont placée en parallèles avec chaque équipement.

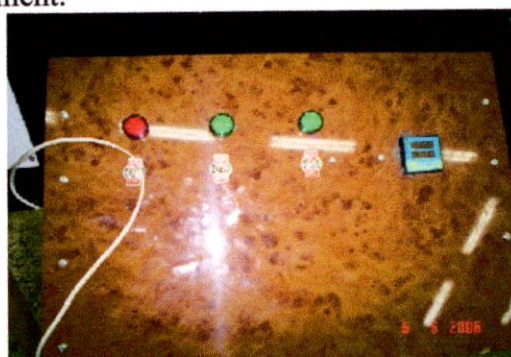


Figure (3-38) : table de commande

L'ensemble interrupteur, lampes témoin et l'indicateur de température son monté sur une petite table de commande placée au dessous des robinets



chapitre IV :

Essais de fonctionnement

5 6 2008

1 / Introduction

Le but principale de notre réalisation est de permettre a l'étudiant technicien moteur avion d'effectuée 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.

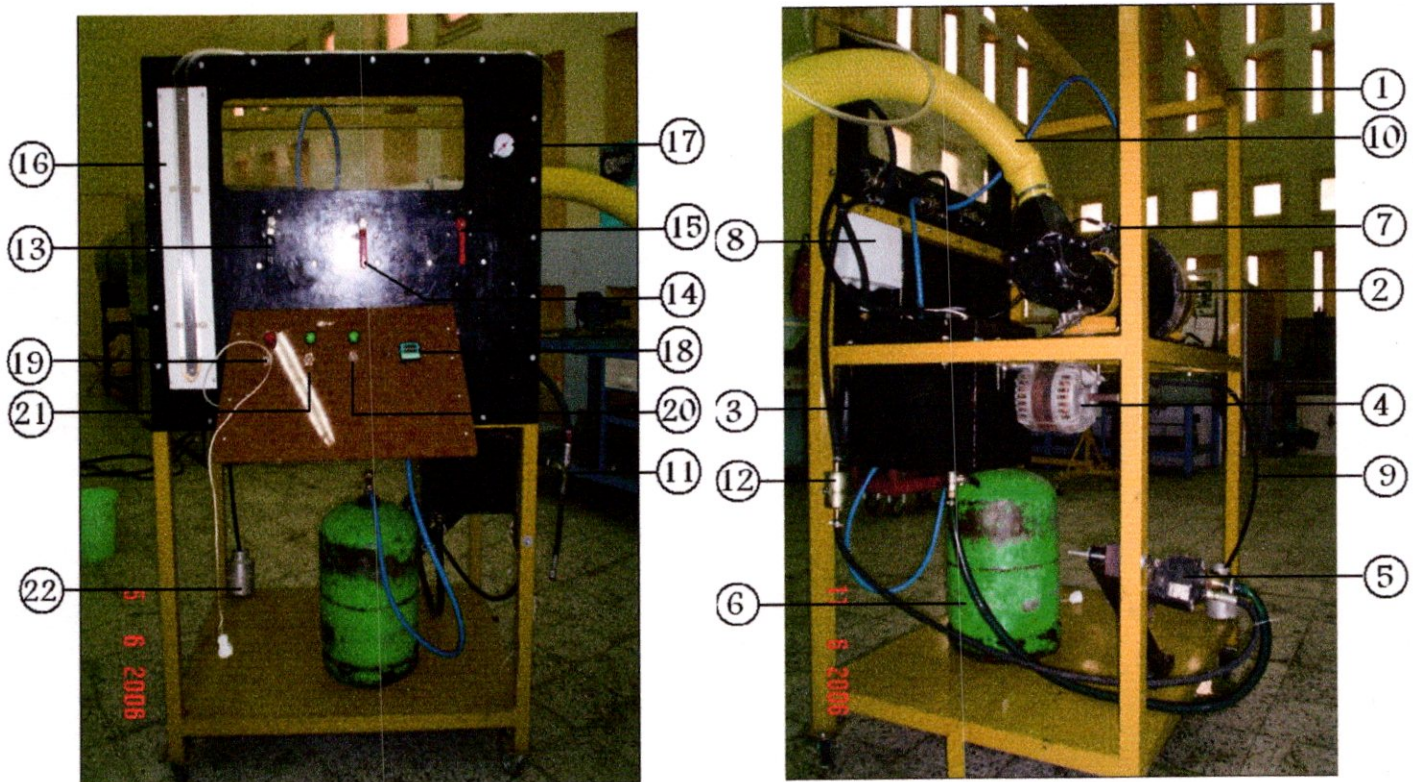


Figure (4-1) : les éléments constituant du banc de simulation

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

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

2 / Les Mesures de sécurité

Dans toute pratique expérimentale il faut prendre les mesures de sécurité nécessaires pour garantir la sécurité maximale de l'opérateur, c'est pourquoi on présente ci-dessous les consignes suivantes

a) À l'arrêt

- ☞ S'assurer que l'allumage est off.
- ☞ Ventilateur à l'arrêt.
- ☞ L'extincteur dégoupiller et prêt à l'utilisation.
- ☞ Robinet gaz fermé.
- ☞ Robinet d'alimentation carburant fermé.
- ☞ Robinet de retour carburant ouvert.
- ☞ Les interrupteurs en position off.
- ☞ Vérifier la tension de la courroie la fixation de la pompe.
- ☞ Assurez-vous qu'il n'y a pas de fuites.

b) En fonctionnement

- ☞ Ne jamais se placer près de la bouche d'aspiration du ventilateur, risque d'entraînement par la roue ventilateur.
- ☞ Attention à la haute tension 380 V pour le démarrage du ventilateur.
- ☞ Ne pas se placer dans l'axe d'éjection des gaz chaud.
- ☞ Attention au circuit électrique de commande en 220V
- ☞ Ne pas toucher le fil de la bobine en fonctionnement ni à l'arrêt pour risque de décharge.
- ☞ Ne pas ouvrir le robinet carburant brusquement risque de soufflage de flamme.
- ☞ S'assurer de la bonne étanchéité du système de carburant pendant le fonctionnement de la pompe à carburant.
- ☞ Ne jamais rallumer après avoir effectué un soufflage d'air (ventilateur), après un démarrage raté.

3 / Les manipulations

Manipulation N°1 : fonctionnement d'un débitmètre à turbine

- le but :

Le but de cette manipulation est de permettre à l'étudiant de savoir étalonner un débitmètre à turbine ou un autre équipement de même spécification, la procédure à suivre pour l'étalonnage d'un débitmètre sera présentée par la suite.

- La théorie du débitmètre à turbine :

Le principe de fonctionnement :

Quand on a un moulinet hélicoïdal qui est disposé dans l'axe d'une conduite où circule un liquide sous pression, son hélice tourne à une vitesse qui dépend directement du débit du liquide.

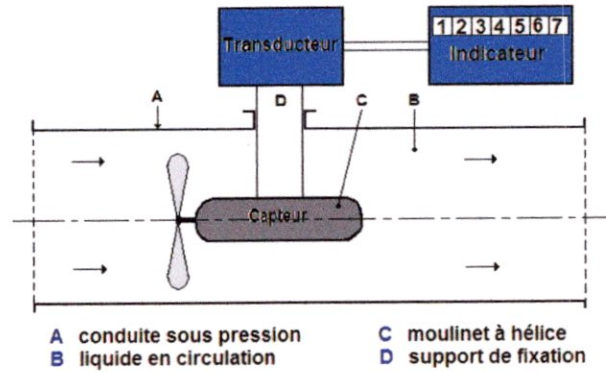


Figure (4-2) : organes du débitmètre [2]

L'expérience montre que, sous certaines conditions et dans des limites définies la vitesse angulaire de l'hélice est directement proportionnelle à la vitesse moyenne de l'écoulement. autrement dit, proportionnel au débit volumique

On peut exprimer alors dans ce cas le débit par la relation suivante [2] :

$$Q = k \cdot \omega \quad \text{①}$$

Et le volume de liquide total :

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad \text{②} \quad (4-1)$$

$$\text{① et ②} \Rightarrow V = K \int_{t_1}^{t_2} \omega dt$$

Q : le débit (m³/s)

V : le volume de liquide pendant un intervalle de temps Δt (m³)

ω : la vitesse angulaire de l'hélice à l'instant t (rad/s)

k : une constante de proportionnalité

t : le temps (s)

Il est donc possible de construire sur ce principe des débitmètres ou des compteurs de volume pour des liquides en circulation dans une conduite fermée.

Les caractères communs pour les débitmètres :

Ces appareils se compose toujours des trois organes principaux suivants :

- **un capteur** (souvent appelé mesureur) : il se constitue essentiellement par un rotor à pales hélicoïdales placé à l'intérieur d'un corps cylindrique parcouru par le liquide.
- **Un transducteur** (souvent appelé sortie ou émetteur) : il fait transformer la rotation du rotor en un signal exploitable par l'indicateur.
- **Un indicateur** : il indique le débit ou le volume d'écoulement du liquide en circulation

Un même capteur peut être utilisé indifféremment pour déterminer un débit ou un volume. Selon les cas, le rotor peut avoir une forme d'hélice, de roue de turbine ou de moulinet. Dans la plupart des réalisations, les éléments moteurs sont de forme hélicoïdale.

Un schéma simplifié est présenté ci-dessous pour montrer les différents constituants d'un débitmètre à turbine.

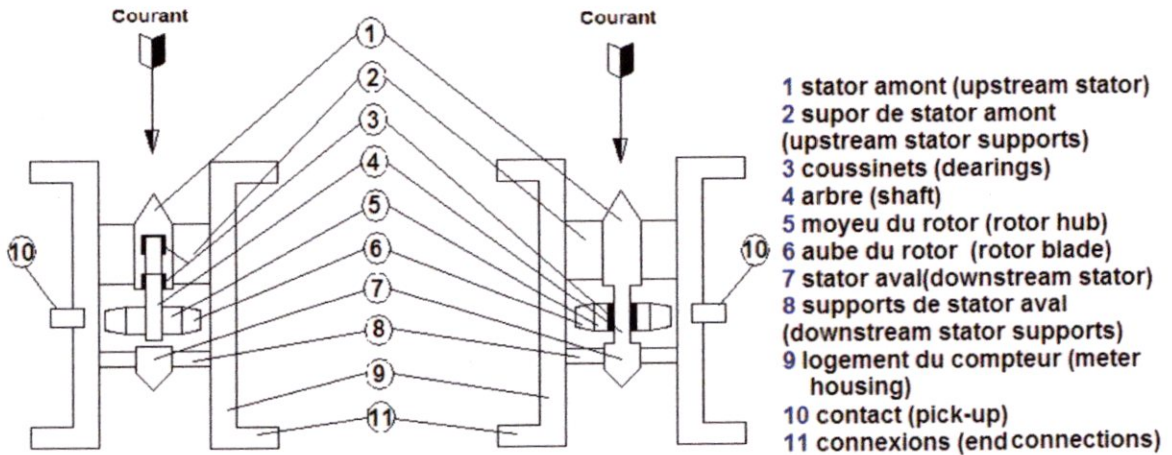


Figure (4-3) : les éléments du débitmètre [2]

- la manipulation :

Pour l'étalonnage du débitmètre, on a utilisé une simple méthode classique qui consiste à utiliser un récipient d'un litre de volume, un chronomètre et un fréquencemètre. Les étapes suivantes définissent la procédure à suivre pour mieux entamer cette expérience.

- 1- on fait brancher un fréquencemètre avec la connexion du débitmètre.
- 2- on démonte la conduite de connexion avec l'injecteur et on le met dans un récipient.
- 3- on met en marche la pompe à carburant.
- 4- on choisit un régime de fonctionnement par le robinet à carburant.
- 5- au déclenchement du chronomètre on met l'injecteur dans le récipient de 1 litre.
- 6- on note la fréquence donnée par le fréquencemètre.
- 7- on attend le remplissage et on arrête le chronomètre, une fois le niveau est atteint on note le temps écoulé.
- 8- on calcule le débit pour cette position du robinet.

Remarque :

On peut refaire les mêmes étapes pour plusieurs positions du robinet de retour définissant l'ouverture complète ou partiel de ce dernier, cette expérience nous permet d'évaluer et de déterminer le débit.

Un exemple des relevés effectués est présenté dans le tableau ci-dessous

Tableau (4-2) : Relevés des débits et fréquences

Expérience	Temps (s)	Quantité (l)	Fréquence (kHz)	Débit (l/min)
1	75	1	0.11	0.8
2	37.7	1	0.25	1.59
3	27	1	0.35	2.22
4	20	1	0.46	3
5	17	1	0.55	3.52
6	16	1	0.56	3.75

Le graphe :

On peut donc tracer une courbe qui donne l'évolution du débit carburant en fonction de la pulsation ω , valable dans une plage de fonctionnement. Sachant que le débit est une fonction linéaire avec ω , et que cette dernière est exprimé en terme de fréquence par $\omega=2\pi f$.

On peut représenter la distribution du débit en fonction de la pulsation sur un graphe et l'interpoler par une droite passant par l'origine de la forme $Y=aX$ ($Q=K\omega$) ou a représente la constante K et ou on peut estimer la constante de proportionnalité $K=0.001$ et x la fréquence ω .

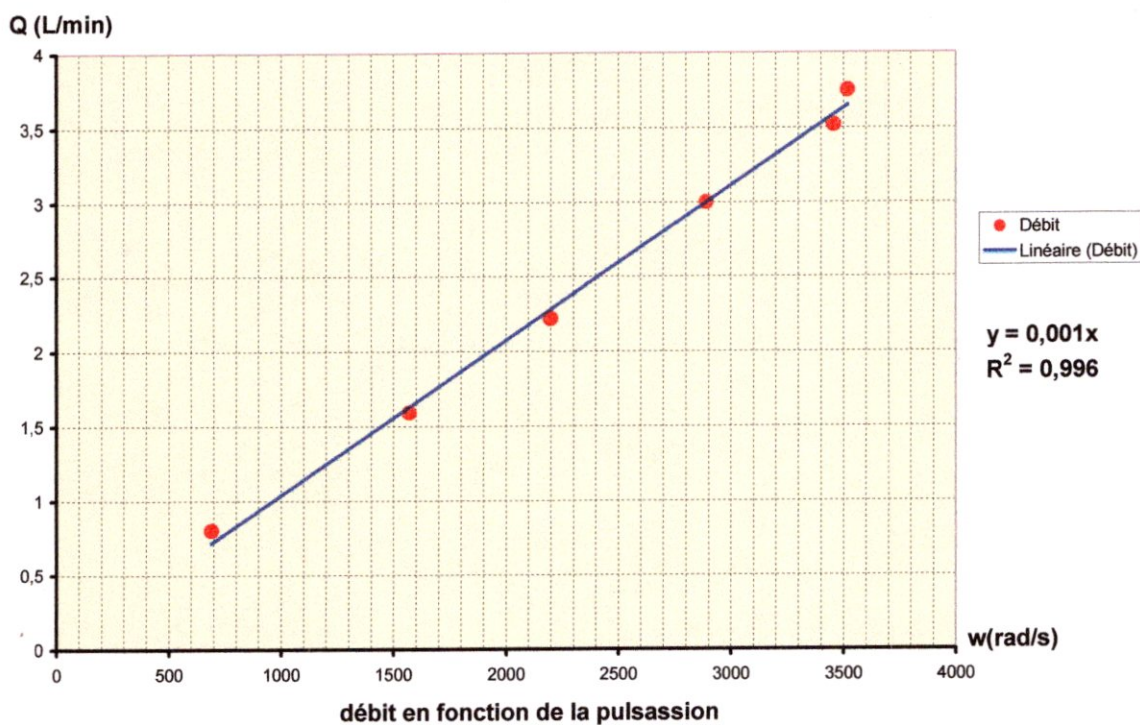


Figure (4-4) : la variation du débit en fonction de la pulsation

La connaissance de la fréquence nous permettra de déterminer le débit. Donc il suffit de connecter le débitmètre a un dispositif de comptage de fréquence ou a un oscilloscope ou on peut suivre le signal émis et estime sa période pour évaluer la pulsation.

Cependant durant l'expérience nous avons constaté que lorsque on remonte l'injecteur la fréquence étant trop faible et que le transmetteur ne peut plus nous garantir une lecture directe. C'est pourquoi on a recours maintenant a une mesure directe du débit pour chaque position et un calibrage sera donc utile pour déterminer le débit.

Manipulation N°2 : Calibrage du robinet de retour.

Dans cette expérience nous allons faire un calibrage du débit contrôlé par le robinet de retour en fonction de la position de la manette.

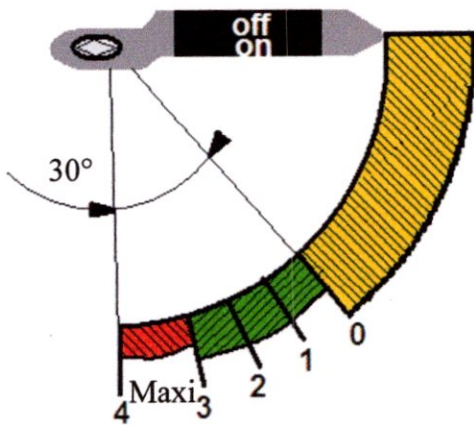


Figure (4-5) : Le robinet de retour

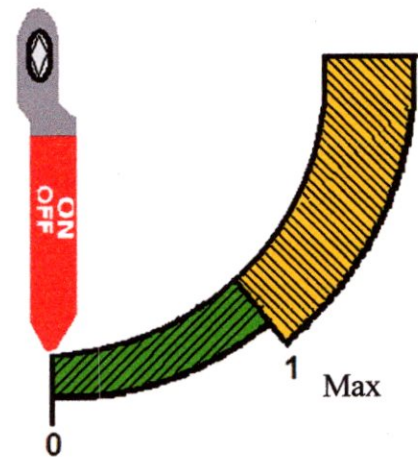


Figure (4-6) : Le robinet de dosage

En effet, un arc coloré est utilisé pour déterminer les zones où le robinet est fermé partiellement ou complètement ouvert. En réalité le secteur vert rouge correspond à une ouverture graduel de zéro débit au maximum.

Ce secteur est caractérisé par un angle de 30° que nous avons partagé en quatre zones distinctes définissant comme indiqué sur la figure (4-6), la position de la manette est relative au débit, pour correspondre le débit à la position choisie nous avons une série de mesure directe du débit relative à la position.

On répétera l'expérience précédente en gardant l'injecteur installé et en réalisant la mesure du temps pour un réceptacle d'un litre, les résultats de l'expérience pour une gamme de mesure relative à la position de la manette de robinet de retour de 1 à 4 et celle de dosage sur la position 1 sont indiqués sur le tableau de correspondance ci-dessous.

Tableau (4-3) : correspondance du débit et la position

Position	1	2	3	4
Q (l/min)	0.24	0.65	1.06	1.47

Le calibrage effectué ici nous permettra de lire directement la quantité de carburant qui est consommé dans la chambre de combustion

Remarque

Pour éviter les erreurs dans la manipulation nous avons proposé de fixer le robinet de retour dans la position maxi, et varier le débit par le robinet de dosage

Manipulation N°3 : Fonctionnement de la chambre de combustion**a / 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 a :

- 1) Connecter le circuit au réseau 220V.
- 2) Ouvrir la bouteille a gaz et vérifier le circuit des fuites.
- 3) Allumer la pompe a carburant.
- 4) Vérifier la pression dans le circuit a carburant.
- 5) Vérifier qu'il n'y a pas des fuites dans le circuit a carburant.
- 6) Régler la trappe du ventilateur à une ouverture réduite enverrant 1 cm 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) Ouvrez le robinet a gaz progressivement.
- 10) Mettez vous hors de 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 du retour un peu proche de zéro, jusqu'à apparition de la flamme, au début elle auras une couleur rouge.
- 13) Arrêter l'allumage.
- 14) Fermé le robinet a gaz.
- 15) Ouvrir progressivement la trappe d'aspiration du ventilateur jusqu'à ce que la flamme devient bleu jaunâtre.
- 16) Laissez le temps pour la stabilisation de la flamme
- 17) A se moment la flamme est accrocher et la combustion s'accroît.

Pour arrêter la flamme il suffit de fermer le robinet de dosage et ouvrir celui du 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 cinq minutes au maximum

b / Les mesures à prendre

Après la stabilisation de la flamme on peut prendre les différentes valeurs de la température de la combustion T_{14} , la pression du carburant et la différence de pression du manomètre Δh pour plusieurs régime.

Les résultats pour trois positions de la manette sont notés dans le tableau suivant.

Tableau (4-4) : mesure prises du banc en fonctionnement

Expérience	Δh (m)	T_{14} (°K)	Q_{fuel} (l/min)
1	0,175	598	0.24
2	0,190	925	0.65
3	0,210	1021	1.06

Les différents étapes de calcule sont expliquer en détaille pour tout ce qui suit :

1- Mesure du débit d'air :

Pour la mesure du débit il suffit d'appliquer la loi de Bernoulli entre la station 1 et 2 de la veine de soufflage comme il est indiqué sur la figure ci-dessous :

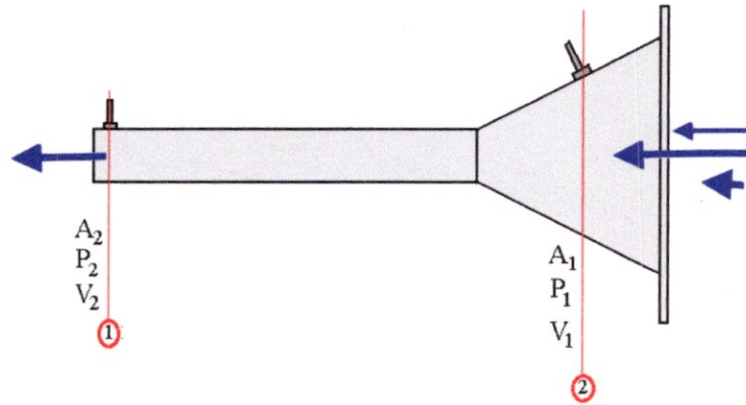


Figure (4-7) : les positions manométrique

En effet la différence algébrique entre les pressions statiques dans les deux stations engendre une dénivellation de hauteur dans une colonne d'eau d'un manomètre en U.

En exprime alors la différence de pression sous la forme suivante

$$\Delta P = \rho_{eau} g \Delta h \quad (\text{Pa}) \tag{4-7}$$

La dénivellation enregistré sur un manomètre en U d'ouverture de la trappe d'aspiration équivalente aux expériences de fonctionnement de la chambre de combustion est indiqué sur le tableau suivant.

Tableau (4-5) : pression différentielle de la veine de soufflage (ventilateur)

Expérience	Δh (m)	ΔP (pa)
1	0,175	1716.75
2	0,190	1863.9
3	0,210	2060.1

D'autre part la masse d'air qui traverse le ventilateur par unité de temps est représentée par l'expression suivante

$$Q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (\text{Kg/S}) \text{ ou } (\text{Kg/ h}). \tag{4-8}$$

D'ou :

- Δm : La masse de fluide.
- Δt : Le temps.

On applique La conservation du débit entre la station 1 et 2 nous avons :

$$\begin{aligned}\dot{m}_0 &= \rho_2 v_2 A_2 = \rho_1 V_1 A_1 \\ \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} &= \frac{A_1}{A_2} = \zeta\end{aligned}$$

$$A_1 = 112 \cdot 112 \cdot 10^{-6} = 13,924 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (4-10)$$

$$A_2 = \pi \frac{d^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{76 \cdot 10^{-3}}{4} = 4,53 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\zeta = \frac{A_1}{A_2} = 3,07$$

$$\bullet \quad \frac{p_2}{\rho_{air}} + \frac{1}{2} V_2^2 = \frac{p_1}{\rho_{air}} + \frac{1}{2} V_1^2 \quad ; \quad \frac{p_1 - p_2}{\rho_{air}} = \frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) \quad (4-11)$$

Et d'autre terme

$$\frac{2\Delta p}{\rho_{air}} = V_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right) \quad \text{Ou ;} \quad \frac{\Delta p}{\rho_{air}} = V_1^2 \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right) \quad (4-12)$$

Finalement on aura :

$$V_1 = \sqrt{\left(\frac{2\Delta p}{\rho(\zeta^2 - 1)} \right)} \quad \Rightarrow \quad V_1 = 18,514 \text{ m/s} \quad (4-13)$$

$$\dot{m}_0 = \rho V_1 A_1 \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_0 = 0,3325 \text{ Kg/s} \quad (4-14)$$

Les résultats globaux de la détermination du débit pour les trois expériences sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau (4-6) : récapitulatifs de calcul de débit

Expérience	Δh (m)	ΔP (pa)	\dot{m}_0 (kg/s)
1	0,175	1716.75	0.3180
2	0,190	1863.9	0.3312
3	0,210	2060.1	0.3325

On constate que d'autant que la trappe est ouverte d'autant que le débit est important, toutefois le débit d'air maximum qu'on peut réaliser par cette machine a une pression de travail un peu plus d'un bar est d'environ 0,33 kg/s.

Calcul du dosage :

Le dosage comme il a été défini précédemment exprime la quantité du carburant a la quantité d'air admis dans la chambre de combustion, autrement dit c'est :

$$f = \frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{m}_{air}} \left[\frac{kg_{fuel}}{kg_{air}} \right] \quad (4-15)$$

Pour illustrer notre calcul on choisit un exemple dont la manette est a la position 2, le débit enregistré est de $\dot{m}_{fuel} = 0,65$ l/min. une conversion d'unité nous permet de passer a la valeur du débit massique, c a dire ;

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{Q_{fuel} \cdot \rho_k}{60 \cdot 1000} \quad (4-16)$$

Avec, $\rho_{kérozène} = 750 \text{ kg} / \text{m}^3$

Finalement pour la manipulation 2 on a :

$$\dot{m}_{fuel} = 8,125 \cdot 10^{-3} \text{ kg} / \text{m}^3$$

Un tableau récapitulatif est dressé pour représenter les débits fuel et air ainsi que le dosage correspondant pour l'expérience mener en fonctionnement de la chambre

Tableau (4-7) : résumé de calcul des dosages

Expérience	Q (l/min)	\dot{m}_{fuel} (kg/s)	\dot{m}_{air} (kg/s)	$f \frac{kg_{fuel}}{kg_{air}}$
1	0.24	$3 \cdot 10^{-3}$	0.3325	0,00902
2	0.65	$8,125 \cdot 10^{-3}$	0.3325	0,02443
3	1.06	$13,25 \cdot 10^{-3}$	0.3325	0,03984

La valeur théorique du dosage pour le kérosène (C_8H_{18}) pour une combustion complète est donnée comme suit

$$f_{sto} = \frac{(M_{CnHm} / 22,4)}{(n + \frac{m}{4}) \cdot 4,76 \cdot \rho_k} \quad (4-17)$$

- M_{CnHm} : la masse molaire du carburant
- ρ_{carb} : la masse volumique du carburant
- ρ_{air} : la masse volumique de l'air

L'application numérique pour le cas du kérosène pris comme étant du C_8H_{18} est :

$$f_{stoch} = \frac{114,5,08}{\left(8 + \frac{18}{4}\right) \cdot 4,76 \cdot 1,29} \Rightarrow f_{stoch} = 0,066 \text{ kg}_{fuel} / \text{kg}_{air}$$

La comparaison des valeurs obtenues dans l'expérience est présentée dans le tableau précédent, montre que l'expérience se réalise dans des conditions d'excès de carburant et pauvre en air.

On remarque que la température augmente aussi au fur et à mesure que l'on se rapproche du dosage théorique équivalent à une réaction complète

Manipulation N°4 :

Dans cette étape nous allons étudier théoriquement la réaction de combustion en utilisant un logiciel de calcul d'équilibre chimique et qui nous permet de retrouver la température adiabatique de fin de combustion, les propriétés physique et les espèces chimiques dans les produits.

Le calcul se déroule en injectant le dosage f et en choisissant le carburant et la quantité d'air comme indique dans l'interface ci-dessous [8]:

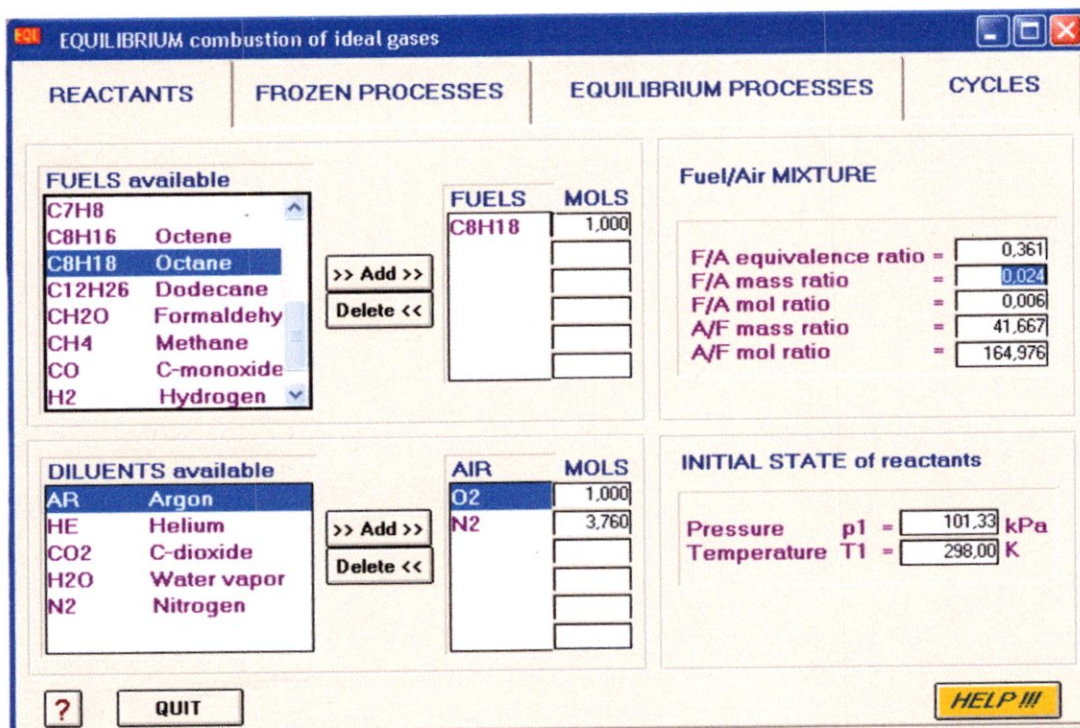


Figure (4-8) : interface EQL du logiciel de calcul d'équilibre chimique

Le programme sera alors exécuter pour différents valeurs de dosage correspondant à un rapport équivalent de ϕ allons de [0,2 à 1, 8]

Les produits de combustion :

Les espèces chimiques retrouver dans les produits de combustion ainsi que la température adiabatique de la flamme sont représentées dans le tableau ci-dessous pour différentes valeurs de dosage

Tableau (4-8) : teneurs des espèces chimique, température et dosage

Expérience	1	2	3	4	5	6
f	0,009	0,024	0,039	0,067	0,087	0,106
ϕ	0,135	0,361	0,58	1	1,3	1,6
H %	-	$1,53 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$4,706 \cdot 10^{-2}$	$6,809 \cdot 10^{-2}$	$2,401 \cdot 10^{-2}$
HO ₂ %	$1,23 \cdot 10^{-10}$	$2,43 \cdot 10^{-6}$	$6,01 \cdot 10^{-5}$	$1,105 \cdot 10^{-4}$	$7,01 \cdot 10^{-7}$	$4,549 \cdot 10^{-9}$
H ₂ %	-	$2,83 \cdot 10^{-7}$	$4,85 \cdot 10^{-4}$	$3,078 \cdot 10^{-1}$	3,011	7,6
H ₂ O %	2,025	5,31	8,47	13,43	13,86	11,79
H ₂ O ₂ %	$5,32 \cdot 10^{-12}$	$5,32 \cdot 10^{-8}$	$1,29 \cdot 10^{-6}$	$4,579 \cdot 10^{-6}$	$1,445 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$
O %	-	$1,38 \cdot 10^{-6}$	$1,039 \cdot 10^{-3}$	$3,376 \cdot 10^{-2}$	$6,377 \cdot 10^{-4}$	$7,43 \cdot 10^{-6}$
OH %	$4,68 \cdot 10^{-10}$	$2,52 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$3,208 \cdot 10^{-1}$	$3,976 \cdot 10^{-2}$	$3,133 \cdot 10^{-3}$
O ₂ %	17,9	13,07	8,233	$6,244 \cdot 10^{-1}$	$1,259 \cdot 10^{-3}$	$5,06 \cdot 10^{-6}$
HCO %	-	-	$3,127 \cdot 10^{-13}$	$1,301 \cdot 10^{-7}$	$1,386 \cdot 10^{-6}$	$1,289 \cdot 10^{-6}$
CO %	-	$3,63 \cdot 10^{-7}$	$1,42 \cdot 10^{-3}$	1,372	7,834	12,6
CO ₂ %	1,8	4,72	7,54	11,01	7,208	4,64
N ₂ %	0,781	76,8	75,5	72,59	67,97	63,33
N %	-	-	$3,29 \cdot 10^{-10}$	$2,53 \cdot 10^{-6}$	$4,817 \cdot 10^{-7}$	$1,925 \cdot 10^{-8}$
N ₂ O %	$2,01 \cdot 10^{-9}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$	$9,07 \cdot 10^{-6}$	$1,24 \cdot 10^{-5}$	$3,876 \cdot 10^{-7}$	$1,273 \cdot 10^{-8}$
NO %	$1,876 \cdot 10^{-5}$	$1,96 \cdot 10^{-2}$	$1,77 \cdot 10^{-1}$	$2,599 \cdot 10^{-1}$	$8,314 \cdot 10^{-3}$	$2,795 \cdot 10^{-4}$
NO ₂ %	$2,57 \cdot 10^{-5}$	$2,29 \cdot 10^{-4}$	$3,44 \cdot 10^{-4}$	$4,753 \cdot 10^{-5}$	$8,288 \cdot 10^{-8}$	$2,587 \cdot 10^{-10}$
CH ₂ O %	-	-	-	$2,573 \cdot 10^{-9}$	$2,924 \cdot 10^{-11}$	-
CH ₄ %	-	-	-	-	-	$3,97 \cdot 10^{-9}$
CH ₂ %	-	-	-	-	-	$1,491 \cdot 10^{-12}$
CH ₂ O %	-	-	-	-	-	$6,419 \cdot 10^{-7}$
C ₂ H ₂ %	-	-	-	-	-	$6,975 \cdot 10^{-13}$
T _{4(adiabatique)}	678,4	1220,71	1681,163	2275	2138	1913,44

En fait injecter le dosage f dans le logiciel, on retrouve les produits physiques des gaz de fumée et la nature des espèces chimique des produits.

Le tableau ci-dessus regroupe les teneurs des espèces par rapport a un volume de fumées humide ainsi que la température adiabatique de la combustion correspondante à chaque dosage réalisé.

Le graphe (4-10) représente l'évaluation de la teneur des espèces chimiques contenue dans les fumées en fonction du dosage.

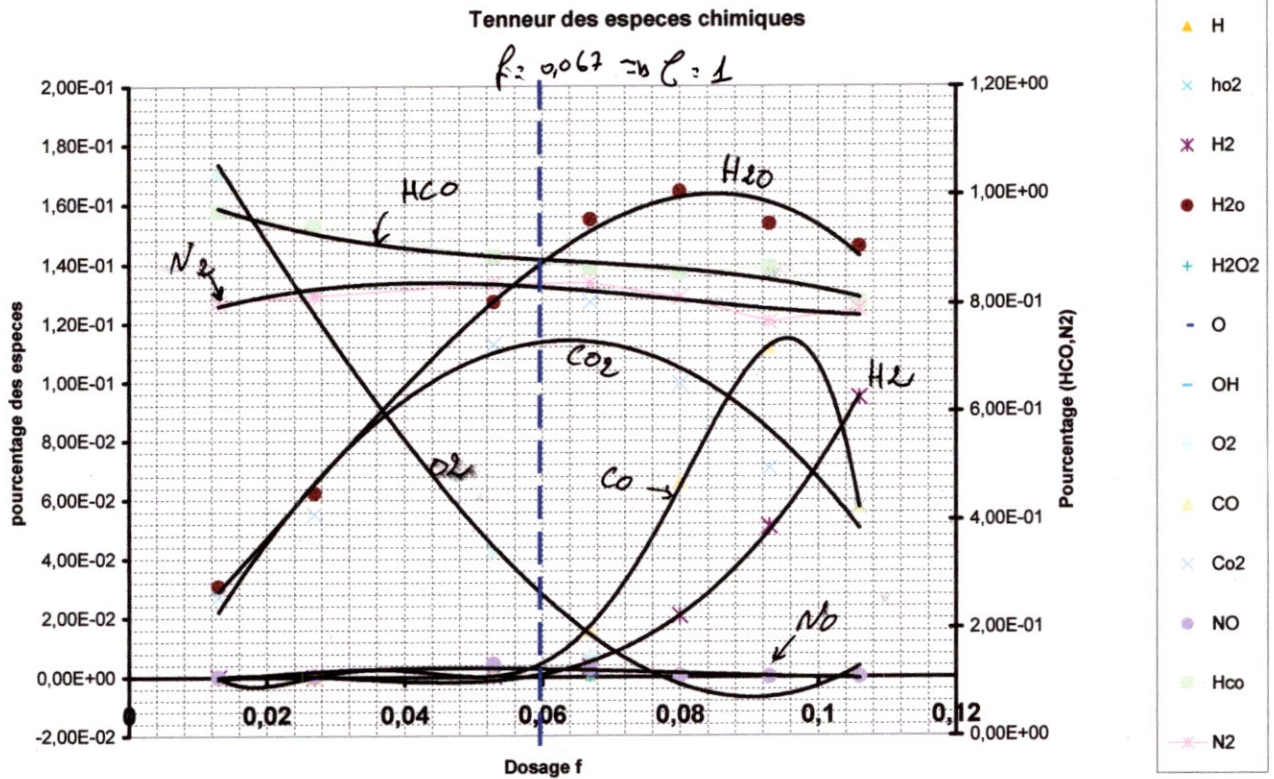


Figure (4-9) : teneurs des espèces chimique en fonction du dosage

L'analyse qualitative de ces dernières montre que pour des dosages inférieurs à la valeur $f = 0,067$ qui est le dosage stoechiométrique, les espèces chimiques NO, N, NO₂ sont pratiquement absentes pour des faibles dosages et réapparaissent graduellement en se rapprochant du dosage stoechiométrique.

Toutefois, on note que les espèces chimiques H₂, CO, OH sont en augmentation graduelle avec le dosage. Cependant, le CO₂, O et N₂ augmentent graduellement avec le dosage puis diminuent après la valeur stoechiométrique du dosage.

En globalité, les espèces à base de carbone se dissocient plus quand le mélange est riche en oxygène, donc en présence d'un excès d'air. Mais les espèces en hydrogène et imbrûlées apparaissent pour des mélanges pauvres en oxygène ou riches en carburant.

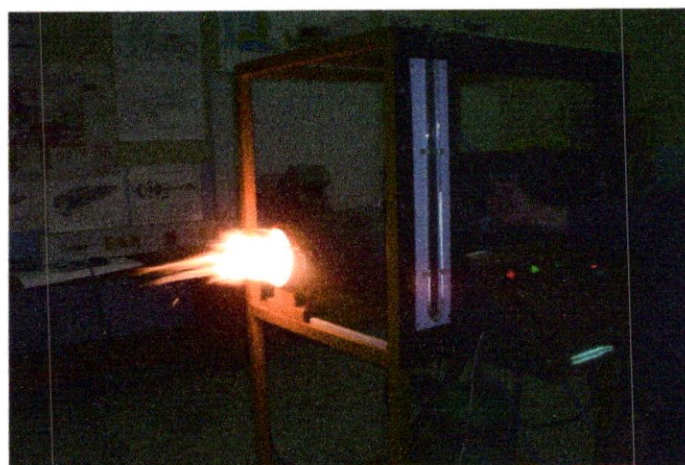


Figure (4-10) : photo de la flamme

Le graphe (4-12) illustre l'évaluation de la température adiabatique en fonction du dosage on constate que la température augmente au fur et a mesure que le mélange s'enrichi en oxygène et que le maximum est atteint au voisinage de la valeur stoechiométrique qui est de **14,93 g d'air pour 1g de Kérosène**.

Cependant, une fois cette valeur est dépassé, le mélange présente plus de **15g d'air** et il devient riche en oxygène , la température alors diminue graduellement de sa valeur maximale avec le dosage réaliser.

Cette évaluation présente une concordance qualitative de comportement avec celle de la référence [5] qui est réalisé pour une combustion du gaz naturel avec l'air.

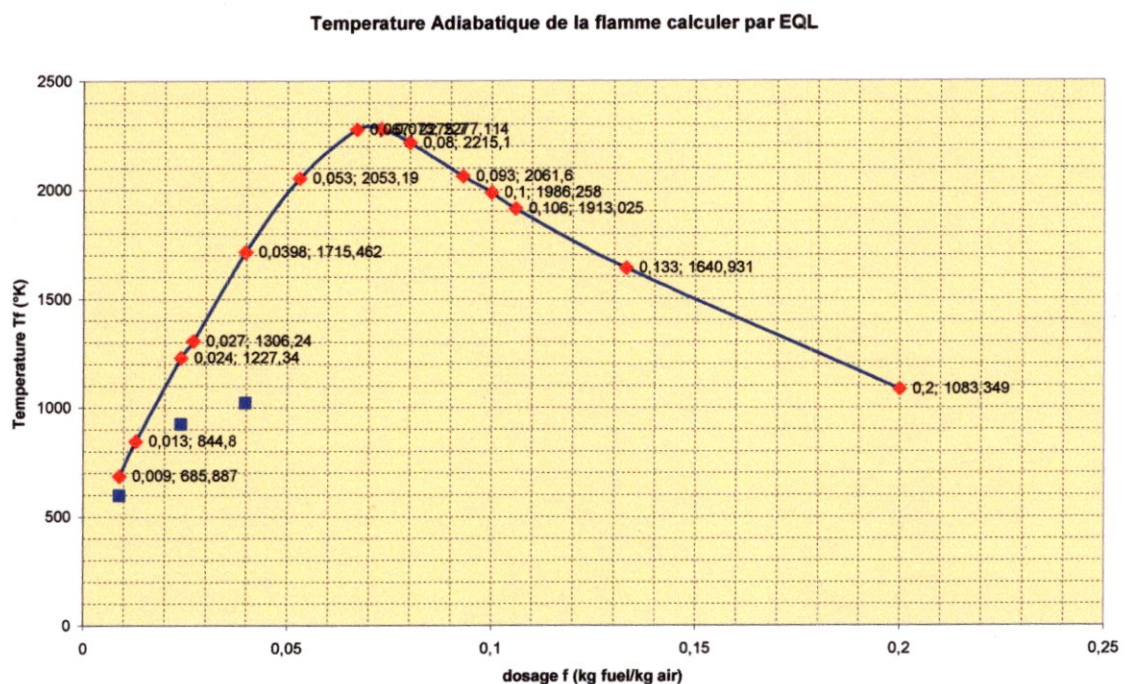


Figure (4-11) : évaluation de la température adiabatique en fonction du dosage

Les températures enregistrés l'ors des trois expériences sont représenté sur le même graphe (4-12) montre qu'il y a une correspondance et qu'il se rapproche de la théorie.

Néanmoins pour garantir une bonne combustion et une flamme bleuâtre nous somme obligé d'oxygéner de plus la chambre en augmentant le débit et la pression d'entrée de la chambre.

En conclusion, on constate que la température adiabatique de la flamme est maximale pour une valeur de dosage proche de la valeur stoechiométrique et que les espèces valorisant la réaction de combustion sont d'autant plus important quand le dosage est pauvre en air. Ce qui fait baisser la température des gaz et créé beaucoup de pollution dans l'air. Toute fois un dosage en excès d'air garantis une meilleure distribution d'espèces chimiques non polluantes et une température contrôlée.

Bilan énergétique de la chambre de combustion :

Pour évaluer le bilan énergétique défini par le rendement énergétique il suffit de calculer la puissance théorique et la puissance réel puis faire le rapport entre eux, pour cela on aura besoin des données suivantes : C_{p_c} , C_{p_t} , T_{t3} , P_{ci}

- **la puissance théorique :**

$$P_{th} = \dot{m}_{fuel} \times P_{ci} \quad (4-18)$$

Avec : $P_{ci} = 42800 \text{ (Kj/Kg)}$

- **la puissance réelle :**

$$P_{réel} = \left[(1 + f_c) C_{p_t} \cdot T_{t4} - C_{p_c} \cdot T_{t3} \right] \dot{m}_0 \quad (4-19)$$

- **le rendement :**

$$\eta_b = \frac{P_{réel}}{P_{th}} \quad (4-20)$$

Le calcul réalisé pour les trois expériences est représenté dans le tableau suivant :

Tableau (4-9) : Les résultats des calculs réalisés pour les trois expériences :

EXPE	$\dot{m}_{fuel} \text{ (Kg/s)}$	$\dot{m}_0 \text{ (Kg/s)}$	$T_{t4} \text{ (°K)}$	$T_{t3} \text{ (°K)}$	$C_{p_t} \text{ (J/Kg°K)}$	$C_{p_c} \text{ (J/Kg°K)}$	$P_{th} \text{ (Mw)}$	$P_{réel} \text{ (Mw)}$	η_b
1	$3 \cdot 10^{-3}$	0,3325	598	306	1070	1014	0,128	0,111	86,72%
2	$8,125 \cdot 10^{-3}$	0,3325	898	306	1172	1028	0,347	0,253	72,91%
3	$13,25 \cdot 10^{-3}$	0,3325	1021	306	1190	1054	0,567	0,312	55,03%

Dans le graphe (4-13) nous présentons l'évolution du rendement énergétique par rapport au dosage réalisé.

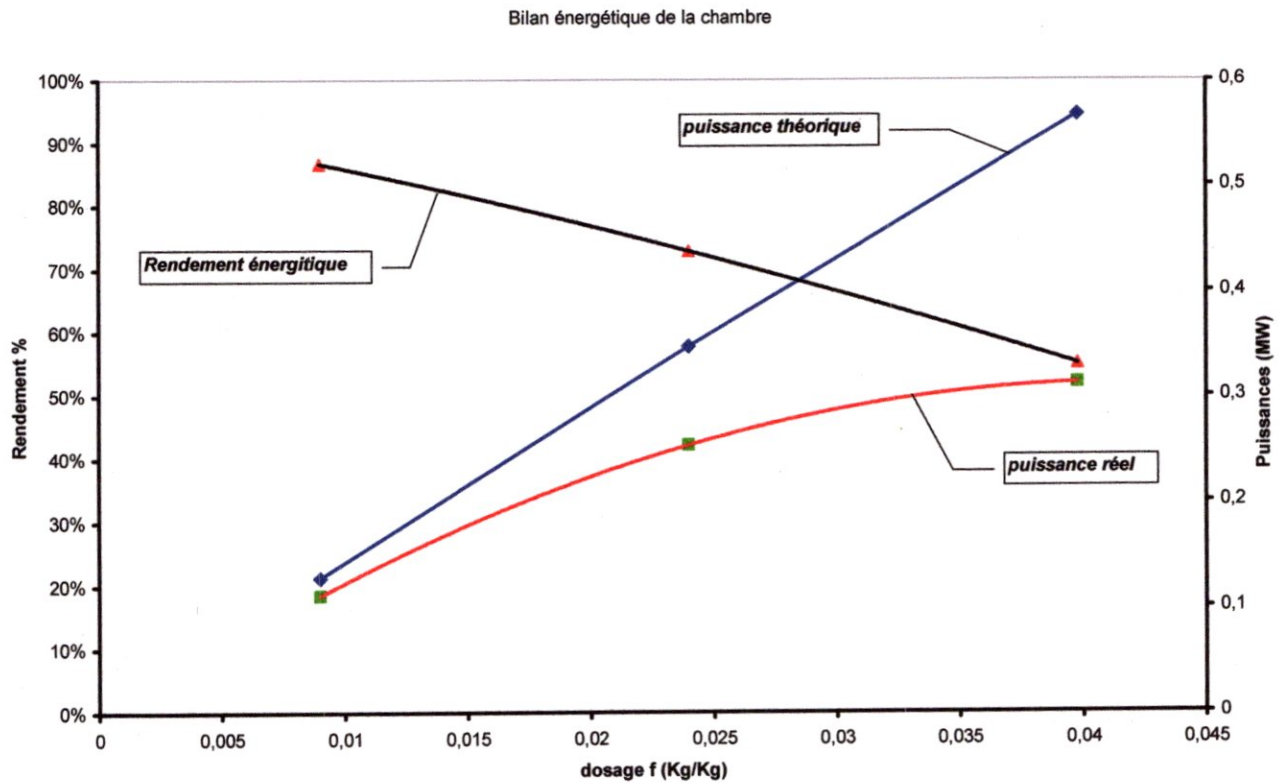


Figure (4-12) : le bilan énergétique de la chambre

On constate alors que la puissance théorique augmente proportionnellement avec le débit fuel. Cependant la puissance réel récupérée s'éloigne graduellement de la puissance théorique au fur et à mesure que le débit fuel augmente. Ceci va se manifester sur le rendement énergétique qui diminuera à son tour une fois le dosage augmente.

En réalité, nous devrions revenir un peu à la théorie et aux conditions d'expérience pour pouvoir expliquer pour quoi cet écart. Car en pratique le rendement devait être mieux du moment que nous donnons plus de carburant au fluide. En effet, le dosage a été réalisé dans l'expérience à trappe ventilateur constante à débit d'air unique puis nous avons varié la quantité de carburant consommé.

Pour la première expérience le dosage ici se trouve faible et nous donne une situation où le mélange est trop pauvre en carburant, à ce moment il sera brûlé et donne relativement une puissance réel au fluide non loin de celle fournie.

On voit sur cette photo comment la flamme est à l'intérieur de la chambre et le carburant est bien tout consommé.

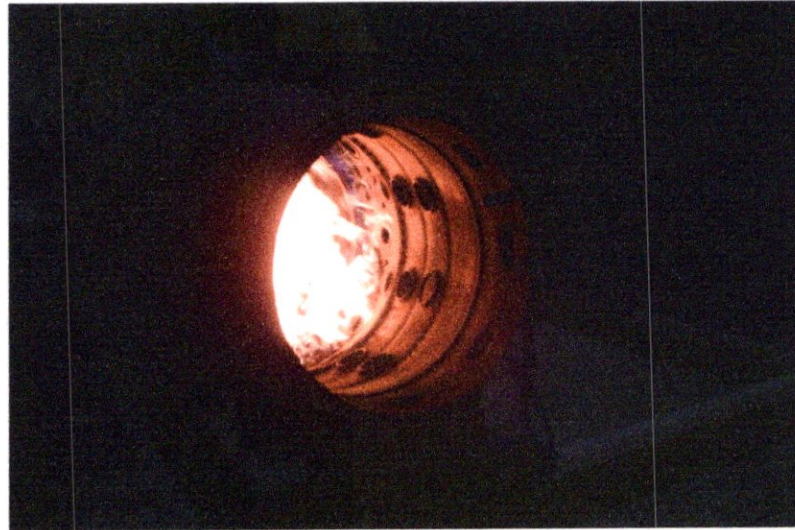


Figure (4-13) : photo de la flamme à l'intérieur

Dans le deuxième cas d'expérimentation la flamme se retrouve plus importante mais déplacée à l'extérieur. Le débit fuel augmente et engendre une puissance fournie théorique plus importante mais en réalité on a constaté que le mélange se trouve riche en carburant qui a participé partiellement à la combustion du au mauvais contrôle de la flamme qui se trouve à l'extérieur et la quantité d'imbrûlé retrouvé sur le sol ainsi que le niveau de pollution élevé.

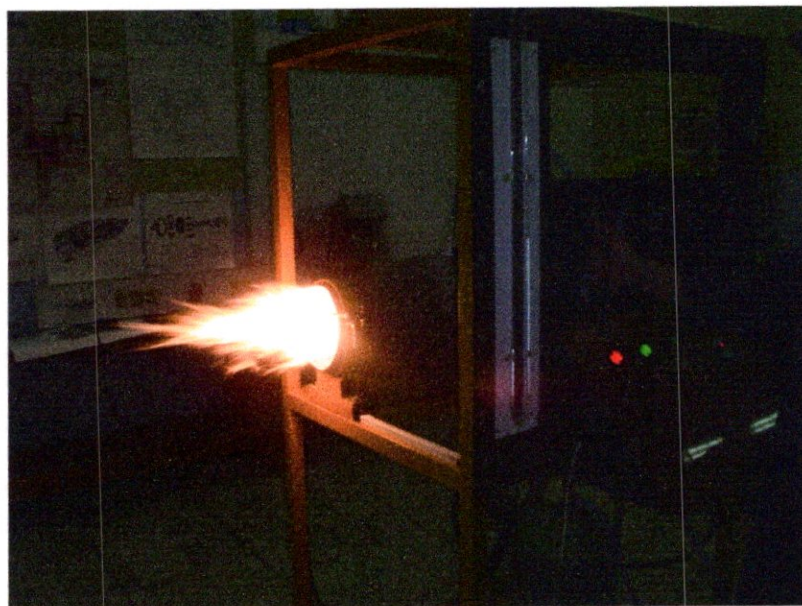


Figure (4-14) : photo de la flamme déplacée vers l'extérieur

Encore une fois se phénomène s'amplifie si on passe au débit maximum engendre par la manette de contrôle voir la photo (4-16).

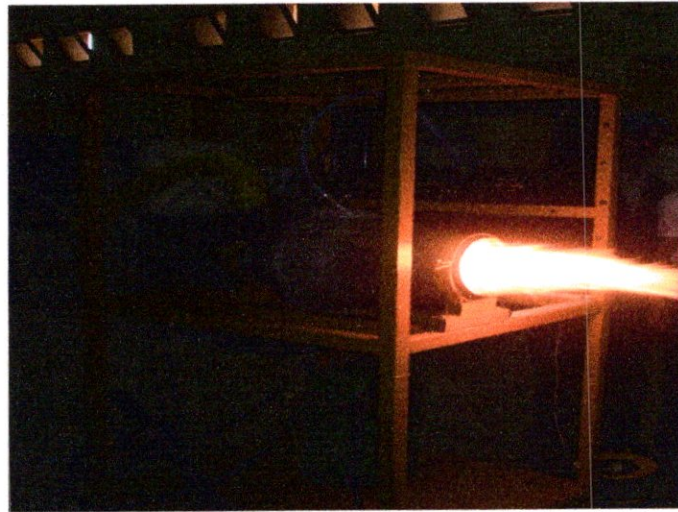


Figure (4-15) : photo de l'état de la flamme au débit maximum

Pour remédier à cela, il faut que l'air soit comprimé plus pour pouvoir créer un tourbillon autour de l'injecteur qui au moment de la pulvérisation déclenche une zone de tourbillonnement permettant la création de la zone d'encrage de la flamme, assurant un bon brassage avec les molécules d'oxygène ce qui améliore la combustion et augmente la puissance réelle vis-à-vis de celle qui a été fournie, en conséquence ramène le rendement énergétique à une valeur proche de l'unité environ (0,98).

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de ce rapprocher de près du fonctionnement d'une chambre de combustion et d'enrichir nos connaissances théoriques d'une part et pratique d'autre part.

Nous espérons que le banc d'essais de simulation de fonctionnement de la chambre de combustion servira d'outil pédagogique pour les futurs techniciens de propulsion et leur donnent le moyen de réaliser des travaux pratiques beaucoup plus fructueux.

Toutefois, nous suggérons au futur candidats de prendre en considération la partie alimentation d'air (compresseur) en intégrant un compresseur plus puissant et un système de régulation carburant afin de garantir une gamme étendu de dosage.

Ainsi qu'un dispositif d'analyse de gaz de fumée permettra aussi d'évaluer le niveau de pollution.

BIBLIOGRAPHIE :



- ⊕ - [1] « TECHNOLOGIE DES TURBOREACTEURS ». ENAC - DAB.
- ⊕ - [2] « THCHNIQUE DE L'INGENIEUR » .Vol II, Vol III - DAB.
- ⊕ - [3] Mr BENTRADE HOCINE « COURS ET TD DE TECHNOLOGIES DES MOTEURS ET DE ROPULSION ET»
2005/2006.
- ⊕ - [4] « COMPONENT IDENTIFICATION ANSWERBOOK- CFM 56 – 7B- JAN 1999 »
- ⊕ - [5] EDMOND PERTHUIS « LA COMBUSTION INDUSTRIELLE> 1983 »
- ⊕ - [6] CD « ENCARTA 2005 »
- ⊕ - [7] Mr HAMIDI TAREK ET Melle MENSOURI ASMA « ELABORATION D'UN BANC D'ESSAIS POUR SATOREACTEUR ET PULSOREACTEUR »
REALISE EN 2002
- ⊕ - [8] Logiciel « EQUILIBRIUM COMBUSTION OF IDEAL GASES»

SITE WEB :

- [www. geae . com](http://www.geae.com)
 - [www. Crns.fr](http://www.Crns.fr)
 - [www. Grc.nasa.gor](http://www.Grc.nasa.gor)
 - www.nbaa.org
 - www.Thai trchnics.com
 - www.aviation militaire.com
-

RESUME DU TRAVAIL

Notre travail consiste de concevoir et réaliser un banc d'essais de simulation de fonctionnement a caractères didactiques d'une chambre de combustion séparé d'un turbo réacteur. Ce dernier permettra de mieux comprendre le phénomène énergétique et chimique de la combustion en réalisant des manipulations expérimentals.

تقدمت هذه الدراسة بتصميم و إنجاز وحدة اختبار لغرفة احتراق منفصلة لمحرك نفاث. حيثما تتيح لنا هذه المبادرة لفهم الطاهرة الطاقوية و الكيميائية للاحتراق و هذا عن طريق القيام باختبارات تجريبية مباشرة.

In this study, we present the design and built of a separate jet combustor. In order to simulate the behaves and the element functional by the way, the student can make a experimental operating test and analysed the results.