

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de SAAD DAHLEB BLIDA
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Aéronautique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DES
ÉTUDES UNIVERSITAIRE APPLIQUÉES EN AÉRONAUTIQUE

OPTION : PROPULSION

Thème

**Etude d'inspection et maintenance des
*injecteurs du moteur ALLISON 501-D22***

Présenté par :

KAHLA Fouad

IHADDADANE Samia

ENCADRE par :

BENNOUD Salim

Promoteur

Univ.Blida

MOKHTARI Mohamed

Co-promoteur

Air Algerie

PROMOTION: 2007 / 2008

Résumé

Le présent travail consiste à faire une étude générale sur l'injection et ces différents modes, afin de finaliser cette étude par une description et étude détaillée sur les opérations de l'inspection et de maintenances Effectuées sur les injecteurs du moteur **ALLISON 501-D22**.

Abstract

This work consists in making a general study on the injection and these various modes, in order to finalize this study by a description and study detailed on the operation of the inspection and maintenances carried out on the injectors of engine **ALLISON 501-D22**.

العمل المقترح يتضمن دراسة عامة حول المخااات و مختلف طرق استعمالها و في نهاية هذا

العمل قمنا بدراسة مختلف عمليات المراقبة و الصيانة لمخااات المحرك **ALLISON 501-D22**.

REMERCIEMENTS

Nous remercions DIEU ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience de finir cette étude.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre promoteur Mr BENOUD pour leur encadrement, leurs conseils et leurs encouragements.

Nous tenons aussi à remercier tous ceux qui ont contribué de près comme de loin pour que ce travail soit un travail de qualité.

Et finalement un grand merci à tous les enseignants de l'institut d'aéronautique de BLIDA qui ont assuré notre formation durant ces trois dernières années.

Fouad et Samia

DEDICACE

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

- Mes très chers parents qui m'ont encouragé et soutenus tout le long de mes études. que dieu les protège.*
- Mes chers frères: " Soufian, mouad, Hamza".*
- Ma chère sœur : " Khaoula".*
- Tous mes familles.*
- tous mes amis ferdjioua: " Adel, Riadh, Mourad....".*
- tous mes amis de Blida: " Akram, Bahi, Ahmed ,azza, Salim, Mahieddine, Ahmed, Abdallah, Habib, Abdelkader, Abdelghani, Hassen".*
- mon binôme et sa famille.*
- Et Tous les étudiants d'aéronautique.*

Hipi



Sommaire

Chapitre 1 : Généralité sur l'injection

1-1 Définition.....	2
1-2 L'évolution des injecteurs.....	2
1-3 Injection électronique.....	3
1-4 Avantages - Inconvénients.....	4
1-4-1 Consommation.....	4
1-4-2 Efficacité.....	4
1-4-3 Pollution.....	4
1-4-4 Complexité.....	5
1-5 Principe.....	5
1-6 Les modes d'injections	7
1-6-1 Injection pneumatique	7
1-6-2 Injection mécanique	7
1-6-3 Injection indirecte	7
1-6-4 Injection directe	8
1-6-5 Injection groupée.....	8
1-6-6 Injection séquentielle.....	9
1-7 Dosage	9

Chapitre II : Technologie des injecteurs et technique d'injection

II. 1 - Introduction	11
11.2- Systèmes d'injection de carburant et différents types d'injecteurs.....	13
II.2.1-Injection par "injecteur simple"	13
II.2.2- Injection par "injecteur double"	18
11.2.3-Injection à pré vaporisation	20
II.2.4-Injection centrifuge	22
II.2.5- Injection centrifuge, alimentation latérale.....	23
11.3- Chauffage du combustible.....	24
II.4-Effet d'un changement de combustible.....	24

11.5-Les combustibles de la turbine à gaz	25
IL 6- Spécification de combustible.....	H
IL7-Le bouclage et l'ébullition du vapeur	28
IL8-Contrôle de la contamination du fuel	29
11.9- La technologie LPP	29
II.9.1-Description des LPP (SNECMA).....	29
11.9,2-Problèmes liés aux LPP	31
11-10 Injecteur carburant du moteur ALLISON 501-D22A.....	36

Chapitre III : Inspection et Maintenance de l'injecteur d'ALLISON 501-D22

III-1 INSPECTION ET MAINTENANCE DE L'INJECTEUR	42
III-2 Désassemblage.....	42
III-2-Ī Généralité.....	42
I II-2-2 Procédures	42
III-2-3 Démontage des sous parties de l'Ensemble.....	42
III-2-4 Démontage des sous parties du gicleur (10)	42
III-2-5 Démontage final	43
III-3 Nettoyage chimique.....	43
III-3-1 Introduction.....	43
III-3-2 Nettoyage du support (15), corps (11) et le gicleur(10).....	43
III-3-3 Nettoyage du sélecteur (4), distributeur (9), bague d'extrémité d'air (16) et le filtre (13)	44
III-4 INSPECTION VISUELLE ET DIMENSIONNELLE	44
III-4-I Généralités.	44
III-5 Réparation.....	48
III-5-1 Rodage et grattage des surfaces de contact	48
III-5-2 Réparation de la bague d'extrémité d'air (16).....	48
III-5-3 Réparation des filetages	48
III-6 Assemblage et serrage	48
III-6-1 Généralité	48
III-6-2 Procédures.....	48
III-6-3 Assemblage des sous parties du gicleur (10).	49
111-7 test d'étalonnage	49
III-7-1 introduction	49
III-8 Contrôle d'hystérésis (plein à craquer).....	50
III-9 Recherche de panne	54

III-10 Test de fuite	57
III-10-1 Résultats et commentaires	60
III-11 Stockage.....	65

Liste Des Figures

Chapitre I : Généralité sur l'injection

Figure. I.1 Injecteur d'automobile.....	3
Figure. I.2 Schéma d'un injecteur.....	6
Figure. I.3 injection groupée.....	9
Figure. I.4 dosage carburant dans un injecteur.....	10

Chapitre II : Technologie des injecteurs et technique d'injection

Figure.II.1 injection simple.....	13
Figure. II.2 indications de degré d'atomisation.....	14
Figure. II.3 injecteur de type simplex.....	15.
Figure. II.4 injecteur de type Lubbock.....	16
Figure.II.5 injecteur de type atomiseur.....	18.
Figure. II.6 injection double.....	18
Figure. II.7 injecteur de type duplex.....	19
Figure. II.8. injection à pré-vaporisation.....	20
Figure, II.9 injecteur de type vaporisateur.....	21
Figure. II.10 distributeur de débit carburant.....	22
Figure. II.11 injection centrifuge.....	23
Figure. II.12 injection centrifuge avec alimentation latérale.....	24
Figure. II.13 relation entre la valeur calorifique et la densité.....	27
Figure II.14: Tube LPP BE01 (à droite) et BE03 (à gauche) développés par SNECMA- moteurs. Les longueurs des LPP sont de l'ordre de 5 cm.....	30
Figure. II.15: Schéma d'un LPP Snecma. La figure de droite montre la zone réactive stabilisée à la sortie de l'injecteur par la recirculation induite par le tourbillon.....	31
Figure. II.16: Photo d'un LPP en fonctionnement La zone claire est la flamme devant l'injecteur.....	31
Figure. II.17: Coupe d'un LPP Rolls-Royce.....	32

Figure. II.18: A gauche, coupe dans une chambre annulaire à deux têtes (Double Annular Combustor). A droite photo d'un secteur du fonds de chambre d'une chambre à 2

têtes33

Figure. II.19: Vue en perspective d'une section d'une chambre à deux têtes Snecma.

Deux injecteurs LPP (en haut) et un injecteur conventionnel (en bas) sont installés.....34

Figure. II.20: À gauche, schéma du phénomène de Flash-back, la flamme remonte dans l'injecteur. A droite, photo du résultat: un trou au niveau de la vrille interne du LPP

BE01 35

Figure. II.21 schéma éclaté de l'injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22.37

Figure.II.22 schéma réel éclaté du même injecteur..... 38

Figure. II.23 schéma opérationnel de l'injecteur 40

Figure. II.24 l'évolution de débit en fonction de la pression41

Chapitre III : Inspection et Maintenance de l'injecteur d'ALLISON 501-D22

Figure III-1 support 45

Figure III-2corps..... 46

Figure III-3bague d'extrémité d'air 46

Figure III-4distributeur 46

Figure III-5selecteur de débit , 47

Figure III-6 gicleur..... 47

Figure III-7 Mesure d'angle de jet..... 51

Figure III-8 Pulvérisation acceptable 52

Figure III-9 Pulvérisation non acceptable....., 52

Figure III-10	pulvérisation non acceptable-ange De jet non symétrique	.53
Figure III-11	pulvérisation non acceptable-densité De vaporisation non homogène..	53
Figure III.12	feuille de test injecteur ALLISON 501-D22A	58
Figure III.13	feuille de test d'un injecteur.....	59
Figure III-14	Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction De la pression d'entrée.....	60.
Figure III-15	graphe 2, représentant le Tableau 2.....	62
Figure III-16	graphe 3, représentant le Tableau 3	63
Figure III-17	graphe 4, représentant le Tableau 4	65

Introduction

L'injecteur possède la particularité d'être le seul accessoire carburant qui fait communiquer le carburant à l'ambient c'est à dire avec de l'air de la chambre de combustion.

L'influence de l'injecteur sur l'état du moteur est considérable, car un bon injecteur rallonge considérablement la vie de la partie chaude, tandis qu'un mauvais injecteur peut être la source de beaucoup de défaillances dont les plus graves, la dégradation des parois de la chambre de combustion et les aubes de guidage du stator turbine. Partant de ce constat, une inspection intermédiaire par intervalles réguliers de temps visant à contrôler le bon fonctionnement de l'injecteur s'impose. mais dès que l'injecteur atteint le fin potentiel c'est à dire après un nombre d'heures total de fonctionnement requis et fixé par le constructeur, alors chaque type d'injecteur passe par une visite générale spécifique, où il est systématiquement désassemblé puis nettoyé, inspecté visuellement et dimensionnellement puis éventuellement réparé pour être ensuite assemblé et finalement testé dans les conditions de test les plus sévères sur un banc d'essais reproduisant une pulvérisation réelle et similaire à celle de la chambre de combustion.

Pour faciliter le travail, on a le subdivisé en trois chapitres lesquels :

Le premier chapitre de ce mémoire, consiste à faire une généralité sur les injecteurs

Ensuite, dans le deuxième chapitre, on a présenté la technologie des injecteurs et la technique d'injection, ainsi que les types d'injecteurs avec leurs propriétés et leurs domaine d'utilisation, on a commencé par le plus simple "SIMPLEX" qui est utilisé dans les enceins moteurs, le LUBBOCK, l'ATOMISEUR, le SPILL, et le DUPLEX...etc., et on a terminé par la technologie moderne des LPP et ses avantages via la diminution des polluants ainsi les niveaux sonores.

Et enfin, dans le dernier chapitre, on a sélectionné un type d'injecteur, (l'injecteur de type DUPLEX du moteur ALLISON 50I-D22A. pour la maintenance sur le banc d'essai, dans ce chapitre on a décrit les différentes pannes que les on peut avoir sur ce type d'injecteur et les remèdes correspondantes (la réparation).

L'inspection et la maintenance de ces injecteurs est l'objet du troisième chapitre, où on a décrit les différentes méthodes et les procédures d'inspection, de nettoyage et de mise en état, à savoir le nettoyage chimique, inspection visuelle et dimensionnelle, la réparation et enfin, les tests d'étalonnage sur le banc d'essais injecteur où on a vérifié certains paramètres physiques assignés par le constructeur comme : la pression, le débit, l'angle, et l'homogénéité de jet. Ainsi que le test de craquage (d'hystérésis). Ce test est suivi par une série d'opérations et de réglage appelée recherche de panne dans le but de mise en état de l'injecteur. Puis, on a présenté les résultats de quelques types d'injecteurs, obtenues dans le test d'étalonnage au cours de notre stage pratique.

Finalement, on a terminé notre projet par une conclusion où on a rappelé l'intérêt de notre travail, quelques résultats obtenus durant notre stage pratique, et les perspectives de notre sujet.

I-1 définition :

L'injection (moteur) est un dispositif d'alimentation des moteurs à explosion, permettant d'acheminer le mélange air-carburant dans la chambre de combustion directement ou un peu en amont préfère au carburateur afin d'améliorer le rendement moteur, l'injection fut à l'origine mécanique puis améliorée par l'électronique en utilisant un calculateur électronique.

I-2 L'évolution des injecteurs :

Le coût, l'efficacité et le bruit de fonctionnement générés limitaient les premiers systèmes à être installés uniquement sur les points lourds. En 1987, fait réussit cependant à réaliser une injection directe qui résolvait ces problèmes et implanta la nouvelle technologie dans sa fait croma turbo-diesel, une automobile de série qui fut ainsi la plus performante du segment fort de ce succès, l'allemand Bosch acheta la technologie pour permettre à Volkswagen de développer la gamme TDI, laquelle allait faire de lui le champion européen du diesel et lui donner les moyens financiers d'acquérir plusieurs de ses petits concurrents (Seat, Skoda)

Sur les diesels d'abord, c'est la firme japonaise Mitsubishi qui fut la première à adapter la technologie aux moteurs essence. Son idée était que l'injection directe permettait une bien plus grande précision dans la vitesse, l'orientation, la force et la pression avec laquelle le mélange air-essence entre dans la cambre de combustion, il devenait possible de faire fonctionner le moteur en mélange pauvre. Apparue en 1997 sur la Mitsubishi Charisme GDI, cette technologie autorise en effet un dosage plus précis du carburant, une augmentation du taux de compression ainsi qu'une meilleur résistance au phénomène de cliquetis.

C'est pour améliorer le rendement des ses mécaniques que Volkswagen et Audi ont beaucoup investi dans l'injecteurs sur le moteur essence, en le nommant FSI, espérant avec cela refaire le coup marketing du TDI, L'injecteur directe est désormais associée à une électronique de contrôle octroyant une grand sobriété et de meilleures performances.



Fig. 1.1 injecteur d'automobile

1-3 Injection électronique :

L'injection électronique remplaça l'injection mécanique dans le but d'améliorer le rendement moteur, grâce à un calculateur électronique. Ce dernier décide de la durée l'injection, et donc la quantité de carburant injectée, pour doser parfaitement ou presque le mélange air/essence.

Le rapport théorique idéal air/essence pour le moteur à explosion est de 14,7:1 soit 14,7 parts d'air pour 1 part de carburant On parle alors de mélange stœchiométrique. En pratique, pour obtenir une combustion idéale et ainsi permettre une économie de carburant, on brûle une proportion air/essence d'environ 18:1.

La gestion de l'injection se fait à l'aide d'un E.C.U. (Electronic Control Unit) qui reçoit les informations des capteurs (sondes) tels que enfoncement de la pédale d'accélérateur, température du moteur, de l'air, le taux d'oxygène, etc. À partir de ces informations, il agit sur des actionneurs (injecteurs, volets d'admission d'air...)

1-4 Avantages — Inconvénients

1-4-1 Consommation :

La consommation de carburant, avec l'utilisation de système à injection, diminue en raison de l'amélioration de la carburation.

L'injection directe essence est intéressante car elle permet d'avoir des charges beaucoup plus stratifiées* que dans les moteurs à essence classiques. Cette stratification peut être provoquée par un début d'injection tardive durant la phase de compression ou bien par le dessin de l'injecteur combiné à l'aérodynamique du cylindre. L'utilisation de charges stratifiées permet ainsi de réduire la quantité de fuel nécessaire à la combustion ce qui entraîne une baisse de la consommation. Néanmoins, l'injection directe essence pose des problèmes de pollution.

1-4-2 Efficacité :

Les variations de puissance que subit le moteur sont contrôlées par la quantité de fuel injecté. Comme le mélange n'a pas nécessairement une richesse proche de 1, la quantité d'air injecté à chaque phase d'admission peut rester constante. Un avantage de l'injection directe apparaît ici : Le papillon présent dans la tubulure d'admission et destiné à réguler la quantité d'air admise devient superflu.

L'absence de papillon réduit les pertes de charges. De plus, un moteur à charge stratifiée et sans papillon produit la même quantité d'énergie qu'un moteur classique mais avec une plus grande masse de gaz. Ceci entraîne une augmentation de température moins importante et donc des pertes thermiques plus faibles.

1-4-3 Pollution :

Les systèmes à injection permettent de réaliser un dosage plus précis et permettent de diminuer la présence de produits toxiques et polluants dans les gaz d'échappement. Les émissions de CO₂ des moteurs essence sont généralement excessives. Comme les moteurs Diesel, ces moteurs produisent des particules à cause des différences de tailles de gouttelettes que contient le spray. En effet, les plus grosses gouttelettes présentes dans le cylindre n'ont pas le temps de s'évaporer et ne sont donc

que partiellement brûlées. L'injection permet d'homogénéiser le mélange limitant ainsi l'effet cité ci dessus.

Dans les moteurs à injection directe essence, la température locale des zones de réaction est élevée. La production de NO_x y est importante. Par conséquent, la production des oxydes d'azote des moteurs de ce type sans système de recirculation des gaz brûlés est semblable à celle des moteurs à essence classiques.

1-4-4 Complexité :

Ce type de système comporte un inconvénient majeur : sa complexité. A faible charge, les moteurs fonctionnent en injectant peu de fuel tard pendant la phase de compression et en maintenant le nuage d'essence séparé de la majorité de l'air. Le contrôle de l'écoulement de l'air dans le cylindre et l'optimisation de la forme de l'injecteur nécessitent alors une étude préalable. Lorsque la charge augmente, le début de l'injection se fait de plus en plus tôt durant la phase admission et le fuel se mélange de plus en plus avec l'air présent dans le cylindre jusqu'à obtenir une charge homogène à pleine charge. Le fait que le nuage d'essence n'occupe ni le même volume ni la même place dans le cylindre alors que la bougie d'allumage reste fixe, pose de nombreux problèmes.

1-5 Principe :

Caractéristiques propres :

a) Diesel :

Dans les moteurs Diesel, la qualité de la combustion dépendra de la pulvérisation du carburant et de l'homogénéité du mélange. Les moteurs devront être équipés de systèmes d'injection capables de réaliser le mélange air carburant ensemble et sous des pressions élevées, le moteur diesel fonctionne en effet par auto-allumage : l'allumage du mélange se fait spontanément en raison de la température élevée de l'air et des rapports volumétriques très élevés (de 16:1 à 22:1).

Le diagramme de Clapeyron d'un cycle théorique thermodynamique du moteur diesel prévoit une combustion à pression constante, assurée par le fait que le

combustible est injecté progressivement et brûle au fur et à mesure de son introduction dans la chambre de combustion. Dans la réalité cependant, la combustion ne peut s'effectuer à pression constante. En raison du délai d'inflammation*. Le carburant s'accumule lors de son injection augmentant la pression. On peut le réduire en donnant au jet une forte capacité de pénétration et en augmentant la turbulence.

Un jet puissant permet aux gouttelettes traversant l'air d'atteindre des températures suffisantes pour que l'évaporation se réalise et la turbulence) évite que les gaz brûlés séjournent à proximité de l'injecteur, empêchant le mélange de l'oxygène et le carburant.

b) Essence:

L'allumage dans les moteurs essence se fait par l'intermédiaire d'une bougie d'allumage qui provoque une étincelle et enflamme le mélange. Ce principe d'allumage nécessite donc une grande homogénéité du mélange au moment où l'étincelle se produit. Le mélange avec l'air est réalisé à l'extérieur de la chambre de combustion, en amont de la soupape d'admission.

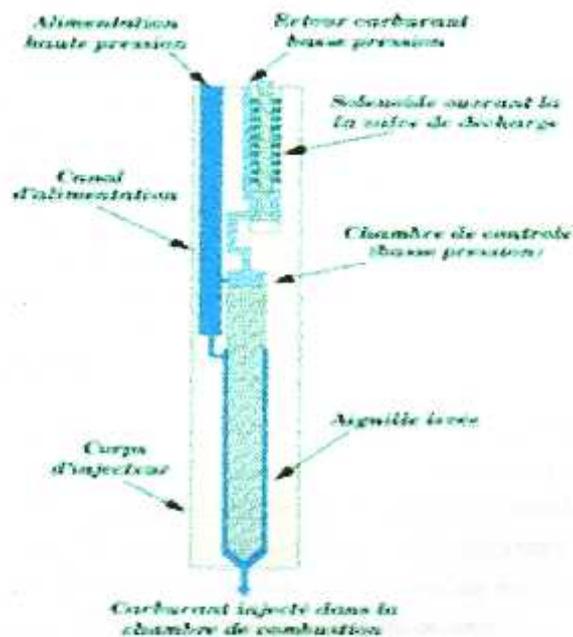


Fig.1.2 schéma d'un injecteur

I-6 Les modes d'injections :**I-6-1 Injection pneumatique :**

L'injection pneumatique, qui n'est actuellement plus utilisée, est basée sur le principe de propulsion du carburant par l'intermédiaire d'air comprimé. L'ensemble se compose d'une pompe à combustible, qui règle le débit d'un compresseur d'air et d'un injecteur- pulvérisateur, Son fonctionnement se divise en 2 étapes : la pompe dose dans un premier temps le combustible et l'envoie à l'injecteur puis dans un second temps, l'aiguille de ce dernier se soulève, le carburant est injecté dans le cylindre et pulvérisé par l'air sous pression engendré par le compresseur,

I-6-2 Injection mécanique :

Dans l'injection mécanique, le combustible est injecté et pulvérisé sous l'action de la pression hydraulique : une pompe fournit jusqu'à $1\ 000\ \text{kg/cm}^2$ de pression pour la pulvérisation. Les injecteurs peuvent être du type à buse ouverte ou à aiguille, celle-ci s'ouvrant automatiquement sous la pression du combustible.

Les pompes, compte tenu des fortes pressions qu'elles doivent supporter, sont de type volumétrique, à pistons axiaux ou plongeants. Le dosage du combustible est obtenu par reflux, durant la phase de compression du piston, de la fraction excédentaire dans l'enceinte d'aspiration (pompes à soupape de reflex). Un autre système de dosage, largement utilisé (surtout sur les diesels rapides), prévoit une variation du reflux, obtenue par la rotation du piston, provoquée automatiquement par le régulateur.

I-6-3 Injection indirecte :

L'essence est pulvérisée dans la tubulure d'admission et le mélange se forme donc en amont de la soupape d'admission. Les moteurs des voitures de série sont en grande partie alimentés par des carburateurs; mais, à partir de 1960, on assiste aux progrès de l'injection. La tendance commence par s'affirmer sur les voitures de sport, où les hauts rendements exigés imposent l'élimination des insuffisances de carburation constatées par moment avec les carburateurs, du fait que le niveau de la cuve ne demeure pas constant, en particulier dans les courbes et les virages.

I-6-4 injection directe :

L'injection directe est une technologie utilisée dans les moteurs à combustion interne. Elle consiste à diffuser le carburant directement dans la chambre de combustion plutôt qu'en amont dans la tubulure d'admission pour les moteurs à allumage commandé, ou dans une préchambre pour les moteurs diesel. L'injection directe est apparue en grande série tout d'abord sur les moteurs diesel Elle est aujourd'hui très répandue sur ce type de motorisation.

Les systèmes d'injection directe diesel ou essence utilisent largement l'électronique pour piloter la quantité de carburant introduite dans la chambre de combustion. L'injection directe apporte une économie de carburant en n'injectant le carburant qu'aux endroits où la combustion aura une efficacité maximale.

En pratique l'économie ne se passe que pour un moteur en charge partielle. Dans ces conditions, le carburant est injecté de façon à obtenir un mélange idéalement riche (stœchiométrique) dans un volume où l'utilité est optimale, et se trouve en mélange pauvre dans le reste du cylindre. L'obtention de la forme idéale est favorisée par une pression intérieure supérieure à la pression atmosphérique, d'où la généralisation de l'utilisation conjointe d'un système de compression de gaz à l'admission et de l'injection directe. Cette combinaison n'a pas le même succès sur les moteurs à allumage commandé, en raison du besoin de gérer en sus des émissions de NOx.

I-6-5 Injection groupée :

L'injection groupée : le moteur possède un ou plusieurs injecteurs qui fonctionnent tous ensemble. Il y a une injection par tour de vilebrequin. Le but est de préparer un mélange combustible dans les tubulures d'admission. Finalement, ce système fonctionne comme un carburateur (le mélange admis dans le cylindre est prêt à brûler) mais le dosage est plus précis (dosage entre air et carburant) permettant ainsi l'utilisation d'un catalyseur. La vaporisation de l'essence se fait au contact des tubulures d'admission qui sont chaudes (circulation d'eau de réfrigération et/ou contact avec la culasse) quand le moteur est en fonctionnement normal. L'injecteur ou les injecteurs

sont présente sur les tubulures d'admission mais éloignés de la culasse. Les tubulures d'admission sont longues (le volume contenu dans la tubulure d'un cylindre doit correspondre au volume total du cylindre)



Fig.1.3 injection groupée

I-6-6 Injection séquentielle

L'injection séquentielle : il y a, dans ce cas, autant d'injecteurs que de cylindres, les injecteurs se trouvent souvent sur la culasse ou tout près. Les conduites d'admission sont courbes. Les injecteurs sont commandés individuellement par l'ECU. Un injecteur crache au moment où la bougie de son cylindre produit son étincelle. La soupape d'admission est donc fermée. L'essence injectée se vaporise au contact de la culasse créant une atmosphère très riche. Pendant ce temps, le cycle du cylindre se poursuit (laissant donc suffisamment de temps pour bien vaporiser le carburant). Quand la soupape d'admission s'ouvre, le bouchon de vapeur d'essence est aspiré dans le cylindre et, à la suite, de l'air. Comme la tubulure d'admission est courbe il y a un mouvement circulaire qui se crée dans la cylindre (tumbling) permettant la fin de la préparation du mélange (entre l'air et la vapeur d'essence) qui sera enflammé par la bougie le moment venu.

I-7 Dosage :

La quantité de combustible à injecter par cycle dépend de l'angle d'ouverture du papillon et de la vitesse du moteur. À partir des années 70, les dispositifs électroniques sont préférés aux systèmes mécaniques, ils sont constitués par une série de circuits

électroniques qui traitent les signaux provenant des dispositifs sensibles enregistrant les conditions de fonctionnement du moteur et des autres dispositifs de correction, sensibles aux conditions extérieures et aux phases transitoires de chaufilage du moteur. Chaque cylindre est équipé : -interrupteur électrique logé au voisinage de la soupape d'admission.

Le testeur, qui relève le stade d'évolution de chaque cylindre du moteur afin d'obtenir que l'ouverture des différents injecteurs électroniques se produise selon une séquence déterminée, est capital dans ce genre de système. L'essence est maintenue à pression constante par le régulateur de pression, passe dans le conduit d'admission du moteur à travers l'orifice de l'injecteur qu'une commande électromagnétique découvre le temps déterminé par un dispositif électronique.

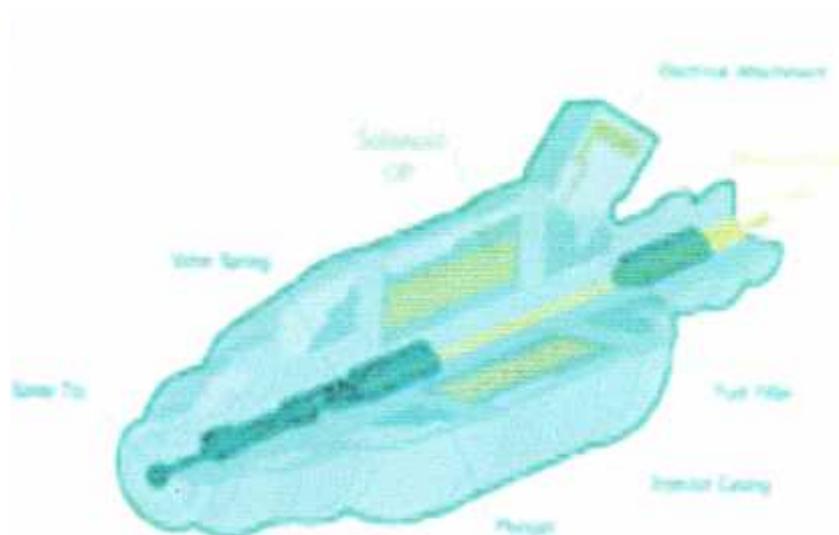


Fig.L4 dosage carburant dans un injecteur

II- 1- Introduction

Les parties finales du système carburant sont les injecteurs qui ont pour rôle essentiel de vaporiser ou d'atomiser le carburant afin de faciliter et d'accélérer la combustion de ce dernier, la difficulté principale pour réaliser cette opération vue la vitesse d'écoulement de l'air à l'intérieur de la chambre de combustion et la longueur réduite de celle-ci, il est primordial d'avoir un système capable de contourner ces deux problèmes. Et ceci durant tous les régimes du vol, aussi bien qu'aux basses pressions qu'aux plus élevées.

L'injecteur pulvérise le combustible directement dans la chambre de combustion; c'est le moyen le plus couramment employé. Le combustible à haute pression passe dans l'injecteur par une chambre de tourbillonnement et sort animé d'un mouvement de rotation, par un orifice de petit diamètre. Le jet soumis à des forces centrifuges, prend une forme conique et éclate en une pulvérisation plus ou moins fine, fonction de l'énergie cinétique des gouttelettes, on augmente ainsi la surface de contact entre le combustible et l'air, ce qui facilite et améliore les réactions de combustion.

En effet, si on considère une gouttelette sphérique de 1 mm, elle a un diamètre de 1,24 cm et une surface de 4,84 cm². En la brisant en 10 000 000 gouttelettes dont les diamètres s'étageront de 5 μ à 500 μ (cas de pulvérisation normale) leur surface sera d'environ 1 200 cm² c'est-à-dire 250 fois plus grande que celle d'une gouttelette unique.

Toutefois, il existe une limite à la finesse des gouttelettes qui est imposée par des questions de stabilité de la flamme. Si le combustible se vaporise trop rapidement on a localement un front de mélange trop riche et nous verrons que la combustion n'est stable qu'entre deux limites. Au contraire, si le combustible ne se vaporise pas assez rapidement, la flamme ne se forme qu'à une certaine distance en aval des brûleurs et la combustion peut se continuer dans la turbine.

La pression d'injection du combustible peut atteindre 80 kg/cm^2 au sol et descendre à quelques kg/cm^2 au ralenti en altitude. Et pourtant, la pulvérisation doit être toujours bonne.

Il est presque impossible à un injecteur simple de satisfaire à des extrêmes aussi éloignés. Aussi a-t-on le plus souvent recouru à des injecteurs doubles. Soit la régulation, soit l'injecteur lui-même séparent le combustible en deux débits en fonction de la pression d'injection.

Chacun des deux débits a sa chambre de tourbillonnement et l'un et l'autre sortent par le même orifice calibré. La proportion entre les deux débits varie suivant la pression de telle sorte que l'on conserve une bonne vaporisation même aux pressions très basses. Certains injecteurs comportent même une circulation d'air. Cet air emprunté au débit du compresseur pénétrant dans la chambre de tourbillonnement aide à l'éclatement du jet (Fig.n.2).

Habituellement l'injection de combustible se fait dans le sens du courant gazeux mais il arrive qu'elle se fasse à contre-courant, ce qui assure une meilleure pulvérisation du carburant par suite des chocs sur les molécules d'air.

D'autre part, l'injection à contre-courant présente les avantages suivants sur l'injection dans le sens du courant :

- pour la même intensité de combustion la chambre est plus courte, d'où réduction de la longueur du réacteur lui-même et gain de poids.

- pour la même longueur de la chambre l'intensité de combustion est plus grande. Il est à noter que chez BMW, à la fin de la deuxième guerre mondiale ils ont fait l'étude d'une chambre de combustion annulaire avec F injection à contre-courant. Avec ce système ils ont obtenu une amélioration considérable de rendement, mais la précipitation des événements n'a pas permis d'effectuer les essais de confirmation, d'autant plus que ces derniers auraient demandé le remplacement des premiers injecteurs, dont la résistance mécanique s'était révélée insuffisante, et une mise au point de nouveaux injecteurs.

Depuis, les essais d'injection à contre-courant ont été repris en France, afin de raccourcir la chambre. Lors de ces essais, les expérimentateurs ont rencontré de nombreuses difficultés et en particulier la tenue des corps d'injecteurs qui, avec ce système, se trouvent dans la flamme.

II.2- Systèmes d'injection de carburant et différents types d'injecteurs :

Le carburant doit être admis dans la chambre de combustion de façon à obtenir **une** homogénéisation rapide du mélange. L'injection de carburant conditionne donc le fonctionnement et la stabilité de la combustion. Il existe différents types d'injection que nous mentionnons ci-dessous.

II.2.1- Injection par "injecteur simple" (Fig II.-1)

Le carburant admis sous pression est pulvérisé par un orifice calibré ou gicleur. La qualité de la pulvérisation dépend de la section de passage du gicleur.

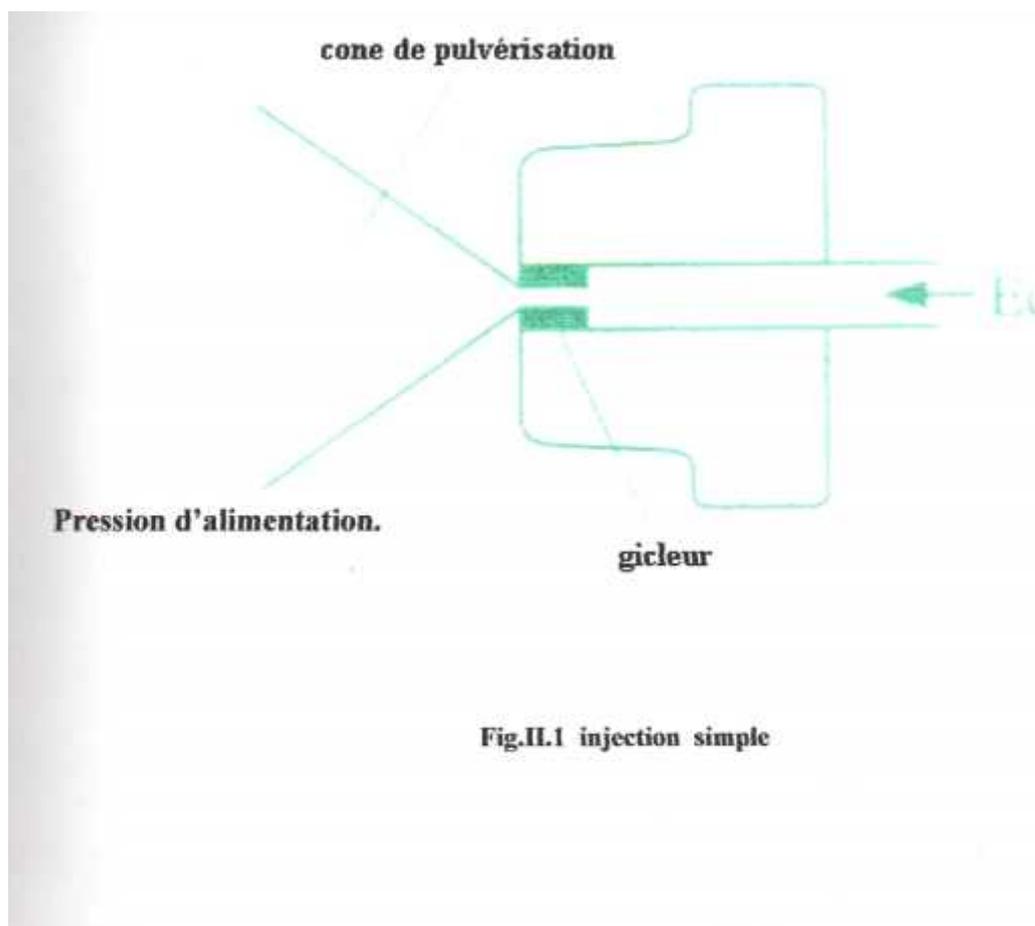
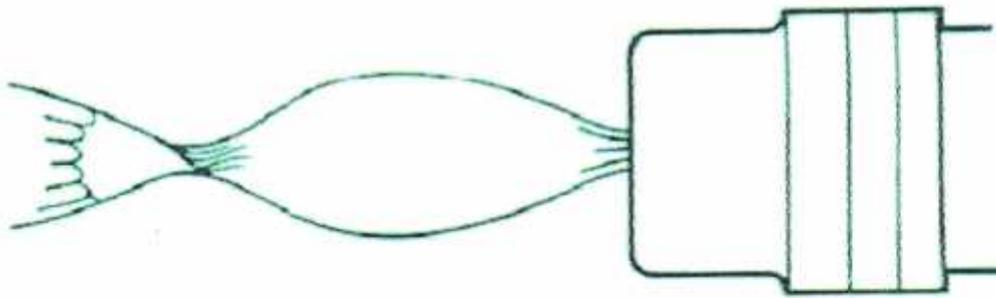
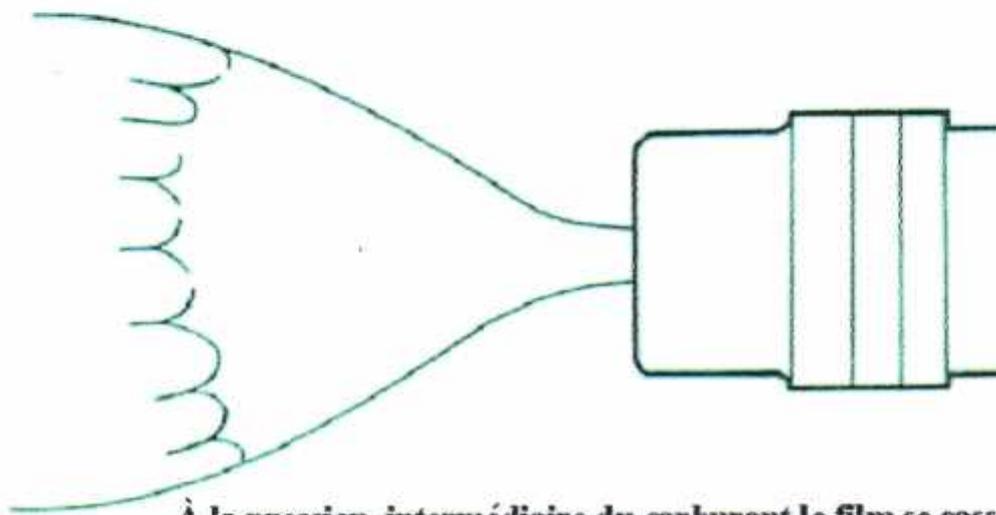


Fig.II.1 injection simple

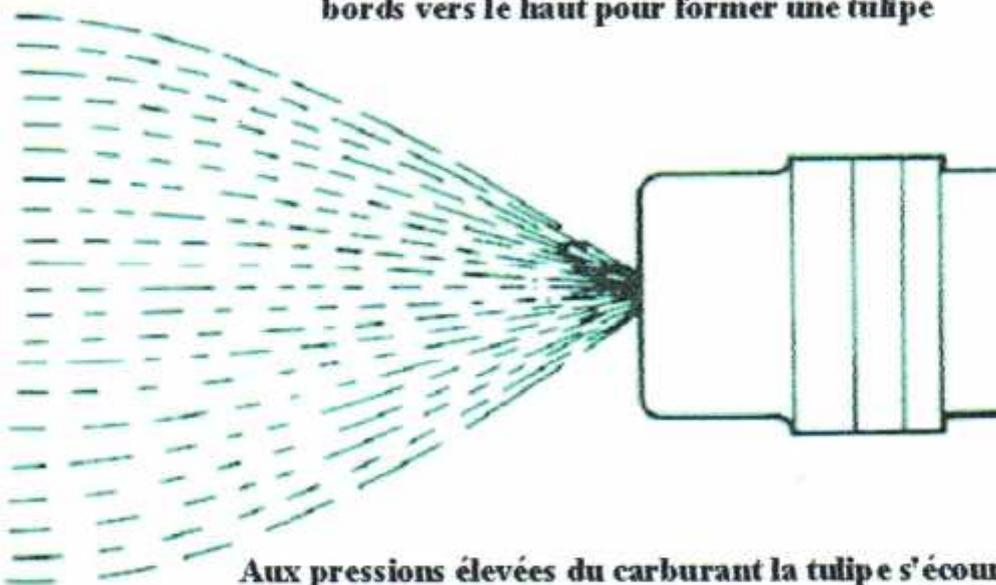
Fig II.1 Injection simple



À de basses pressions du carburant un film continu de carburant est formé connu sous le nom de bulle



À la pression intermédiaire du carburant le film se casse aux bords vers le haut pour former une tulipe



Aux pressions élevées du carburant la tulipe s'écourte vers l'orifice et forme un jet finement pulvérisé

Fig.II.2 indications de degré d'atomisation

1- Le simplex

L'injecteur Simplex montré par la (**fig.II.3**) est utilisé en premier lieu sur les anciens moteurs. Il consiste d'une chambre qui tourbillonne le combustible et une région fixe qui se termine par l'orifice d'atomisation. Ce type d'injecteur donne la bonne atomisation à un débits du combustible élevé, c'est à dire aux hautes pressions du combustible, mais il est très peu satisfaisant aux basses pressions exigées aux basses vitesses du moteur et surtout à haute altitude. La raison pour ceci est que le Simplex a par la nature de son design, une 'loi carrée', ($\text{débit} = \text{KS}^{\text{AP}} \text{AP}^{1/2}$). C'est le débit à travers le gicleur est proportionnel à la racine carrée de la différence de pression, avant et après sa section de sortie. Cela veut dire que si la pression minimum pour une atomisation efficace est 30 livres par pouce carré, la pression nécessaire pour un débit maximal, serait approximativement 3,000 livre par pouce carré. Les pompes à carburant disponibles à ce temps sont incapables de se débrouiller avec les telles hautes pressions, donc le type d'injecteur Lubbock a été développé dans un effort de vaincre l'effet de la loi carré.

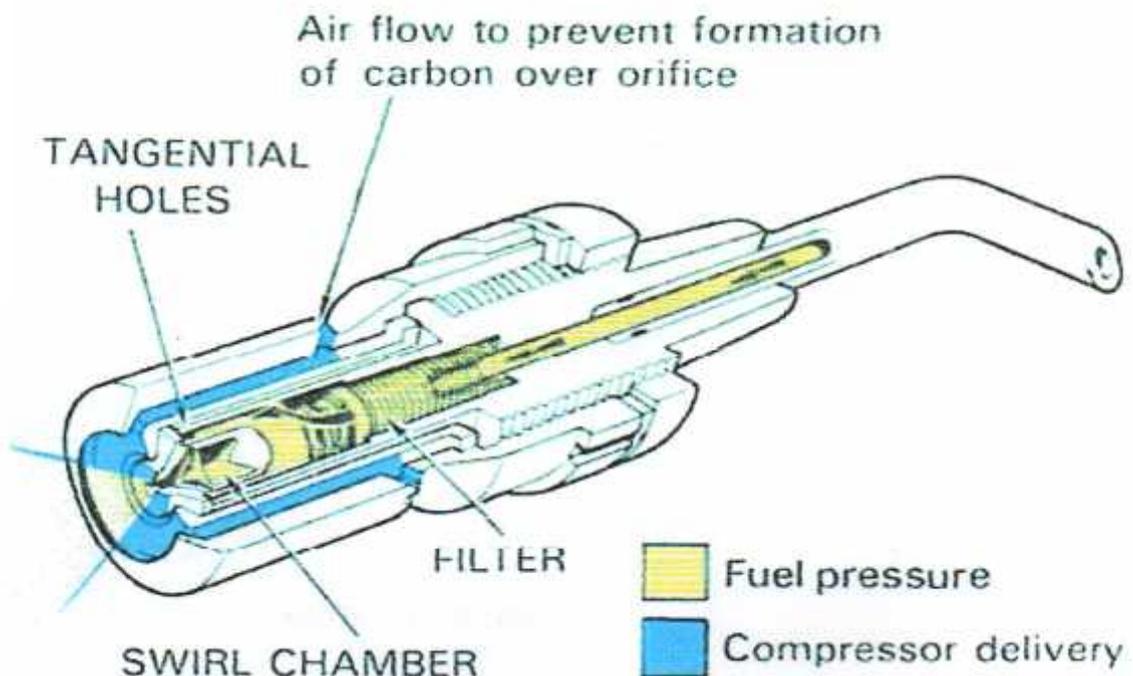


Fig.II.3 injecteur de type simplex

2- le Lubbock

Le Lubbock, montré par la (fig.II.4), utilise un piston sous pression du ressort, qui contrôle la région des portes d'entrée de la chambre de turbulence. À faible débit du combustible, les ports sont partiellement ouverts par le mouvement du piston; à haut débit, ils sont complètement ouverts. Par cette méthode, le rapport de la pression de la loi carré est vaincu principalement et une bonne atomisation est maintenue sur une large gamme de débit carburant. La mise en œuvre d'ensemble de l'injecteur et l'adhérence du piston glissant dû aux impuretés, étaient cependant, des difficultés inhérentes dans le design, et ce type est remplacé finalement par le Duplex.

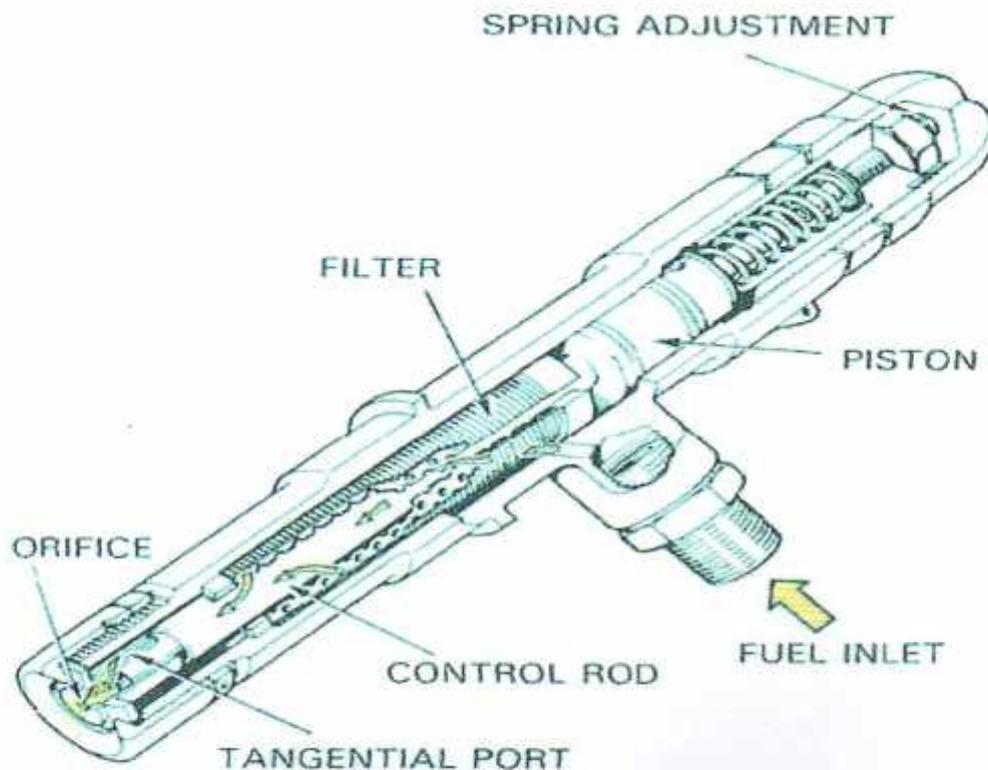


Fig.II.4 injecteur de type Lubbock

3- le spill

L'injecteur de type spill peut être décrit comme un injecteur Simplex avec un passage dans la chambre de turbulence pour évacuer le surplus du carburant. Avec cet arrangement, c'est possible d'alimenter la chambre de turbulence par une haute pression tout le temps. Comme la demande de fuel diminue avec l'altitude ou la réduction de la vitesse du moteur, plus de carburant est décanté de la Chambre de turbulence, en laissant moins à passer à travers l'orifice de l'atomisation. L'usage des injecteurs de type spill est constant, pour des hautes pressions et même au débit fuel extrêmement bas qui se produit à haute altitude, avec un tourbillon adéquat pour fournir une atomisation constante et effective du combustible. Cependant, le système d'injecteur spill comporte un type quelque peu modifié dans l'approvisionnement et le contrôle du fuel, ceci utilisé avec les types antérieurs. Un moyen doit être installé pour créer le jet et aussi pour le contrôler dans les différentes conditions d'exploitation du moteur. L'inconvénient de ce système est l'excès de la chaleur qui peut être produite quand un grand volume de combustible est remis en circulation à l'entrée. Aussi cette chaleur peut mener éventuellement à un changement des caractéristiques de fuel.

4- l'atomiseur ou (pulvérisateur)

L'injecteur aérodynamique ou l'atomiseur (fig.DL.5), porte une proportion de l'air de la combustion primaire avec le combustible injecté. En aérant l'atomiseur, les concentrations du fuel locales (les zones riches) produites par les autres types d'injecteurs sont évitées, ce qui résulte une réduction de la formation des dépôts de carbone et la fumée du gaz d'échappement. Un avantage supplémentaire de l'atomiseur est que les conditions exigées à l'atomisation aux basses pressions permettent légèrement l'usage de la pompe à engrenage [.

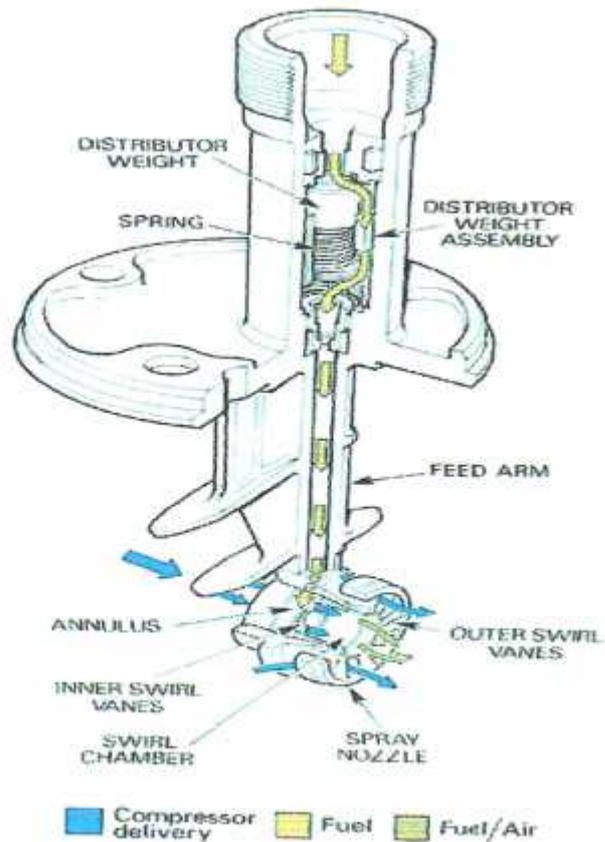
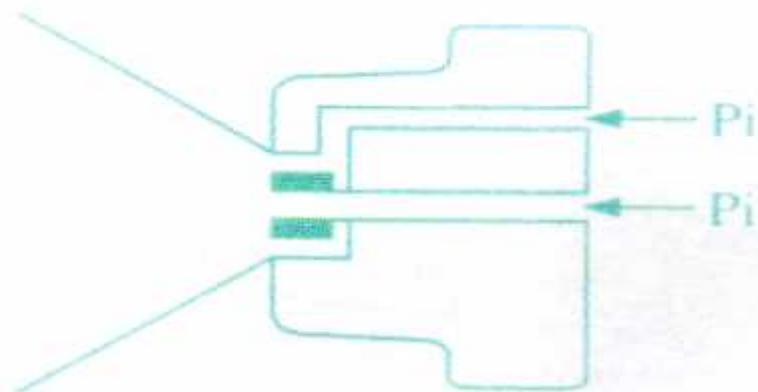


Fig.II.5 injecteur de type atomiseur

II.2.2- Injection par "injecteur double" (FigII.6)

- Ce type d'injecteur comprend deux gicleurs concentriques alimentés séparément sous des pressions différentes P_i' et P_i .



Cette disposition permet de maintenir la qualité de pulvérisation pour des débits variables.

Fig.II.6 injection double

1- le duplex

Le Duplex comporte deux débite de carburant, primaire et principal, avec deux orifices indépendants qui ont des sections différentes. Le plus petit orifice pulvérise aux faibles débits, et le grand orifice traite les plus hauts débits lors de l'augmentation de la pression du combustible. Une valve de pressurisation peut être employée avec ce type d'injecteur pour répartir le combustible vers les collecteurs des tubes (fig.H.7). Lorsque le débit fuel et la pression augmentent, la valve de pressurisation déplace pour admettre progressivement le carburant au collecteur de tube principal et les orifices principaux. Cela donne un débit combiné par les deux tubes de collecteur. Avec cette méthode. Le duplex est capable de donner une atomisation efficace sur une gamme du débit plus large que le Simplex, et pour la même pression maximale du fuel. Aussi, une atomisation efficace est obtenue au faible débit qui peut être exigé à haute altitude.

- dans le système de contrôle de vitesse et d'accélération combiné, le débit de carburant est réparti aux injecteurs par le F.F.R (fuel flow régulator).

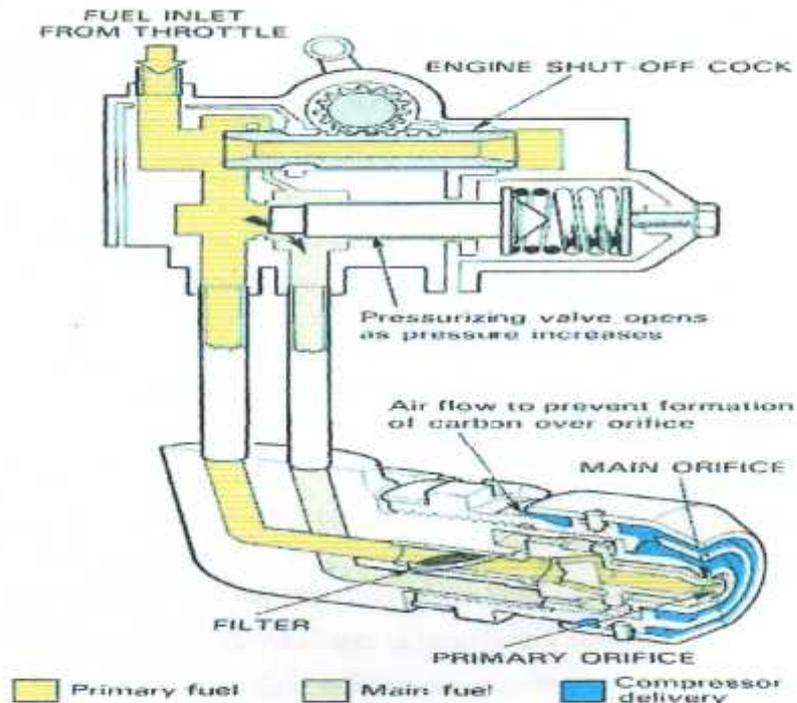


Fig.II.7 injecteur de type duplex

II.2.3- Injection à pré- vaporisation (Fig II.8)

Elle consiste à vaporiser le carburant avant l'injection. Par exemple, décharge du carburant dans des canes chauffées par rayonnement et par l'écoulement de l'air comprimé.

- Ce type d'injection ne nécessite pas de très hautes pressions et permet une bonne qualité de combustion. De plus, les injecteurs sont d'accès facile.

Néanmoins, il ne peut être utilisé qu'avec des pressions d'air élevées et la perte de charge imposée par l'absence de recirculation est assez élevée [8].

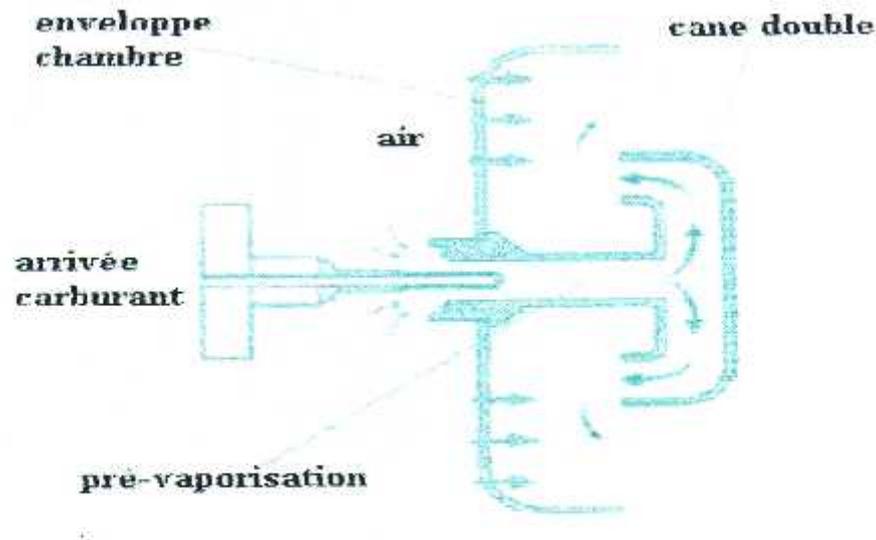


Fig.II.8. injection à pré-vaporisation

1- le vaporisateur

- Dans les précédents types d'injecteurs, on utilise pour la combustion de très fines gouttelettes du carburant (Fig. II.9). Alors que le vaporisateur transforme le carburant de l'état liquide à l'état vapeur à l'aide de la température de combustion et l'écoulement d'air venant du compresseur.

La combustion utilise de la vapeur du carburant, cette technique d'injection a été utilisée dans le propulseur de Concorde, OLYMPUS 593. Il donne des bonnes performances sur une large plage d'opération, cependant, il présente des inconvénients au démarrage et au réchauffage à haute altitude [10].

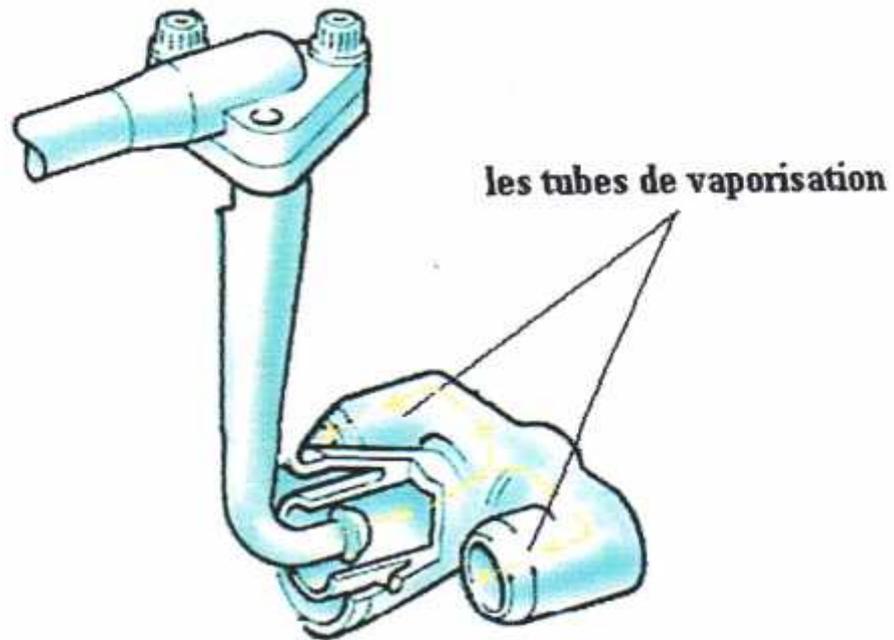


Fig.II.9 injecteur de type vaporisateur

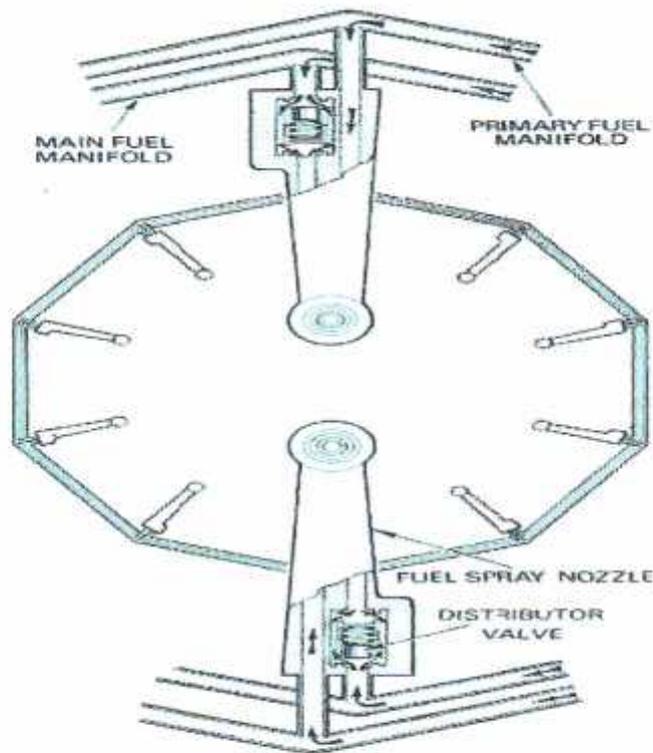


Fig.II.10 distributeur de débit carburant

Un distributeur de débit (fig.H.10) est souvent exigé pour compenser l'élévation de la gravité à travers le collecteur des tubes pendant les basses pressions du fuel et pour assurer que tous les injecteurs passent des quantités égales de combustible.

II.2.4- Injection centrifuge (Fig.II. 11)

Elle s'effectue par une roue munie de gicleurs. La roue est entraînée à grande vitesse par l'arbre du générateur de gaz et l'injection de carburant dans la chambre est ainsi réalisée par centrifugation. L'alimentation de la roue s'effectue par un tube central situé à l'intérieur de l'arbre et tournant avec lui. Le transfert entre l'alimentation statique et le tube tournant est réalisé par un porte-gicleur comportant des joints.

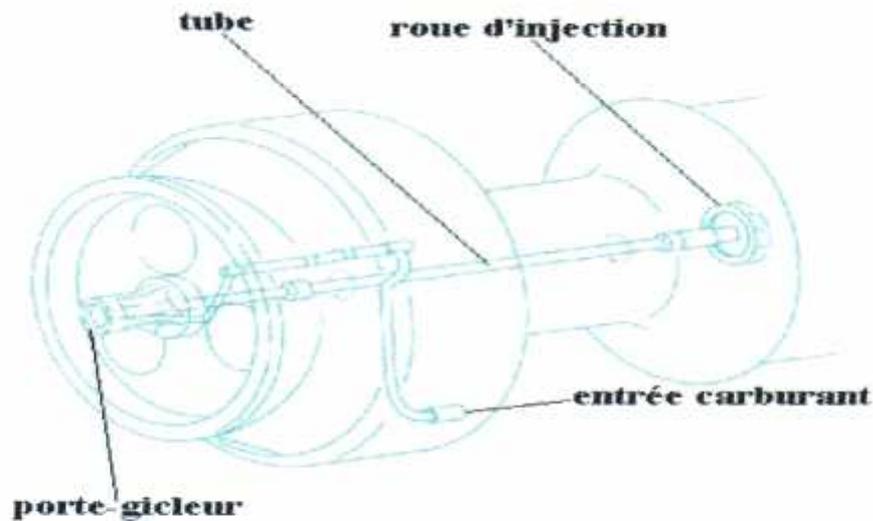


Fig.II.11 injection centrifuge

II.2.5- Injection centrifuge, alimentation latérale (FigII.12)

L'alimentation peut aussi se faire latéralement (schéma ci-dessous). Le conduit latéral débouche dans la zone de la roue. L'étanchéité est assurée par des joints labyrinthes pressurisés. Le cas de passage de carburant dans l'huile par défaut d'étanchéité du porte-gicleur est ainsi évité.

L'injection centrifuge possède les avantages suivants :

- Pas de nécessité de circuit carburant haute pression étant donné que la pression d'injection est fournie par la force centrifuge
- Qualité de pulvérisation pratiquement indépendante du débit carburant sans pour cela avoir besoin d'une alimentation à pression variable comme pour les Injecteurs: par ailleurs l'injection à grande vitesse facilite la recirculation.

- Moins de risques de colmatage étant donné que le diamètre des gicleurs est relativement grand (supérieur au diamètre d'un gicleur classique) .

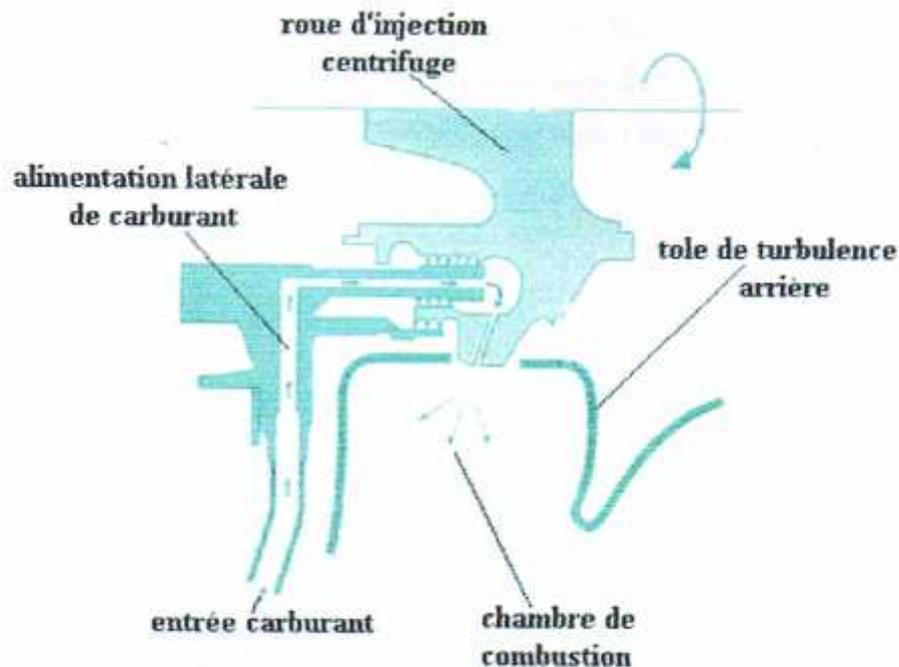


Fig.II.12 injection centrifuge avec alimentation latérale

11.3- Chauffage du combustible

Sur plusieurs moteurs, un refroidisseur d'huile est localisé entre la pompe B.P. de carburant et l'entrée du filtre, ceci est profité pour transférer la chaleur d'huile au combustible et donc prévient l'obstruction du filtre par les particules de la glace. Lorsque le chauffage par ces moyens est insuffisant, le combustible traverse un deuxième échangeur de chaleur, d'où il absorbe la chaleur d'un écoulement d'air contrôlé thermostatiquement qui est pris du compresseur.

11.4- Effet d'un changement de combustible

L'effet principal d'un changement de combustible sur le moteur, survient de la variation du poids spécifique et le nombre d'unités de la chaleur libérée d'un gallon de combustible.

Lorsque le nombre d'unités de la chaleur par livre est pratiquement le même pour tous les combustibles approuvés de la turbine à gaz, une comparaison des valeurs de chaleur par gallon peut être obtenu en comparant des densités spécifiques,

Les changements de la densité spécifique, ont un effet défini sur le type de la pression centrifuge d'un régulateur de vitesse du moteur, pour une augmentation du densité spécifique, la pression centrifuge qui agit sur la membrane du régulateur est plus grande. Donc la vitesse à laquelle les contrôles du régulateur sont réduits, et en conséquence le régulateur doit être réinitialisé,

Avec une diminution de densité, la pression centrifuge sur la membrane est moins et la vitesse auxquels les commandes de régulateur sont augmentées, en conséquence, le pilote doit piloter en régime max et en manuel, pour empêcher le dépassement de la limitation de vitesse du moteur jusqu'à la remise à zéro du régulateur. Le régulateur hydromécanique est moins sensible aux changements de la densité que le régulateur centrifuge, il est donc préféré sur plusieurs installations du système carburant.

Les changements à un caractère inférieur de carburant peuvent mener à la production du carbone, donnant une plus grande luminosité et une élévation de température de la flamme, menant à une haute température du métal de la chambre de combustion et réduit la vie de cette dernière ainsi que la turbine.

II,5- Les combustibles de la turbine à gaz

Les carburante des turboréacteurs doivent répondre aux exigences strictes de donner l'optimum performance du moteur, Féconomie, la sécurité et la vie de révision. Les combustibles sont classés sous deux titres ; kérosène, et carburant de large coupe.

II-6- Spécification de combustible

En général, un combustible d'une turbine à gaz devrait avoir les qualités suivantes:

- (1) être ' pompable ' et coule facilement sous toutes les conditions d'exploitation.
- (2) permettre le démarrage du moteur dans toutes les conditions au sol et donne la satisfaction du vol qui rallume les caractéristiques.
- (3) donner la combustion effective dans toutes les conditions.
- (4) donner la plus haute puissance calorifique possible.
- (5) produire le minimum possible de l'effet nocif sur le système de combustion et les aubes turbine.
- (6) produire le minimum possible de l'effet corrosif sur les composants du système carburant.
- (7) fournir la lubrification adéquate pour les parties en mouvement du système carburant.
- (8) réduire les risques d'incendie à un minimum.

Les qualités de pompage du combustible comptent sur sa viscosité ou sa nature qui est reliées à la température du fuel, le Combustible doit être satisfaisante jusqu'à approximativement $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Comme la température du fuel diminue, les cristaux de la glace peuvent se former pour causer l'obstruction du filtre carburant ou les orifices du système carburant Le réchauffeur de carburant et les additifs d'anti-congélation sont disponibles pour alléger ce problème.

Pour un démarrage facile, l'allumage du turboréacteur dépend de la satisfaction du jet de pulvérisation des injecteurs carburant, supposant que le moteur tourne à une vitesse exigée et à peu près celle de la voiture. La satisfaction d'allumage dépend de la qualité du carburant de deux manières :

- (1) la volatilité du combustible; c'est, sa capacité de vaporiser facilement, surtout à basse températures.
- (2) le degré d'atomisation qui est relié à la viscosité du combustible, la pression appliquée au combustible et la conception de l'atomiseur.

La puissance calorifique (fig.II.13) d'un combustible est une expression de chaleur ou un contenu d'énergie en livre ou gallon qui est délivré pendant la combustion. Cette valeur qui est exprimée habituellement dans les unités thermiques anglais, influe sur la gamme d'exploitation d'avion.

Lorsque le facteur limitant est la capacité des réservoirs d'avion, la puissance calorifique du volume unitaire devrait être aussi élevée que possible, donc permettre plus d'énergie, et une amélioration de la gamme d'exploitation d'avion doit être obtenue par un volume donné de fuel. Quand le facteur limitant est la charge utile, la puissance calorifique unitaire de poids devrait être aussi élevée que possible, parce que plus d'énergie peut être obtenu à partir d'un poids minimum de fuel.

Autres facteurs qui affectent le choix de chaleur unitaire de volume ou de poids, doit aussi être pris en considération; ceux-ci comportent le type d'avion, la durée de vol, et la balance exigée entre le poids du combustible et la charge utile.

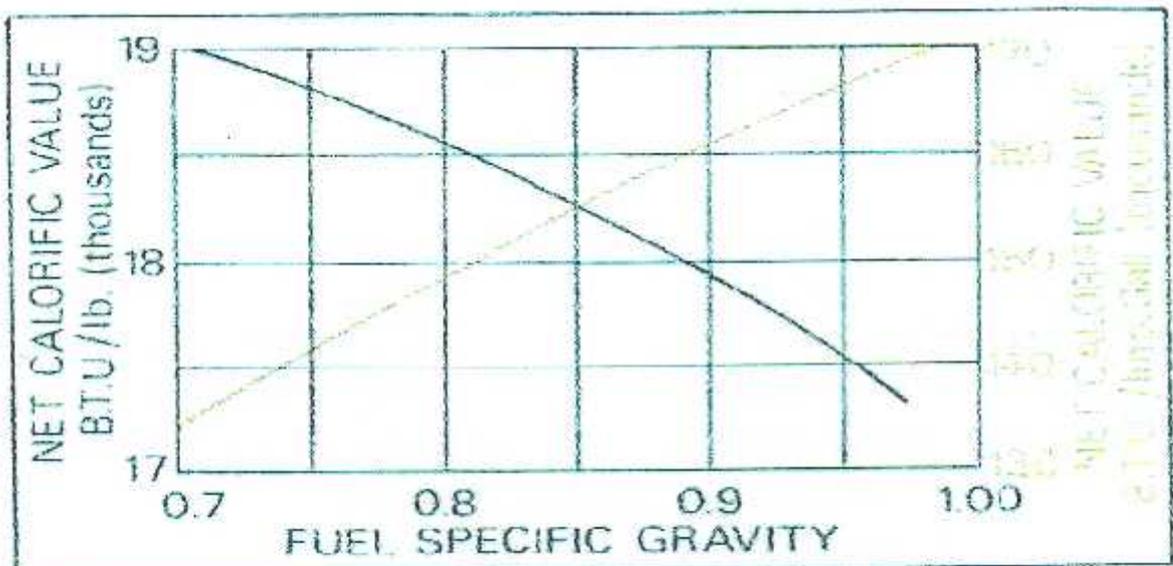


Fig.II.13 relation entre la valeur calorifique et la densité.

Les combustibles de la turbine à gaz et par leurs composants chimique ont la tendance de corroder principalement les composante du système de combustion et de corroder le fuel lui-même, ce la est causé par la présence du soufre ainsi que l'eau dans le combustible. Lorsqu'on brûle le soufre dans l'air, il forme le bioxyde de soufre ; et lorsqu'on mélange ce dernier avec l'eau cela forme de l'acide sulfureux qu'est très corrosif et en particulier sur le cuivre.

Tous les carburants de turbine à gaz sont potentiellement dangereux, donc, les précautions de manipulation et de stockage doivent être strictement observées.

II.7- Le bouclage et l'ébullition du vapeur

La différence physique principale entre le kérosène et les carburants de large coupe est leur degré de volatilité, le dernier type de combustible a une plus haute volatilité, donc augmente le problème de bouclage et l'ébullition de vapeur. Avec un combustibles du type kérosène, la volatilité est contrôlée par distillation et point d'inflammation, mais avec les combustibles de large coupe est contrôlé par distillation et l'épreuve de la (R.V.P.) Pression de vapeur de Reid . Dans cette épreuve, la pression absolue du combustible est enregistrée par un appareil spécial avec la température du combustible à 37.8 °C. (100 °F). Le kérosène a une basse pression de vapeur et bouillira seulement à haute altitudes ou à haute température, alors qu'un combustible de large coupe, bouillira rapidement à une altitude plus inférieure.

La température du combustible pendant le vol dépend de l'altitude, taux de montée, durée de croisière et réchauffement cinétique dû à la vitesse d'avancement. Quand l'ébullition se produit, la perte de vapeur peut être très haute, surtout avec les combustibles de large coupe, et cela peut causer le bouclage ou l'emprisonnement de vapeur, qui résulte un fonctionnement défectueux sur le système carburant du moteur, et l'équipement doseur. Éviter ou réduire le risque de l'ébullition, c'est habituel de pressuriser les réservoirs du combustible. Cela implique de maintenir une pression absolue au-dessus du combustible en excès de son vapeur contraint à toute température spécifique. Cela peut être accompli en utilisant un gaz inerte ou

en utilisant la vapeur du combustible avec un système de décharge contrôlé.

Pour un vol supersonique soutenu, quelque mesure d'isolement des réservoirs, est nécessaire à réduire les effets de réchauffement cinétiques, même si les combustibles qui sont utilisés ont une volatilité inférieure.

II.8- Contrôle de la contamination du fuel

Le combustible peut être maintenu en bonne condition par le stockage bien organisé et en faisant des contrôles habituels sur le système de vidange du réservoir d'avion. L'usage convenable des filtres, les séparateurs fuel/eau et des additifs sélectionnés restreindront le niveau de la contamination, par exemple eau résiduelle et matière solide renouvelée ou contrôlée.

Maintenir le carburant libre de l'eau non dissout empêchera les grands problèmes de glaçage, et réduire l'augmentation microbiologique ainsi la corrosion. La réduction de la matière solide empêchera l'usure excessive dans les pompes à carburant, réduira la corrosion et diminuera la possibilité de blocage qui se produit dans le système carburant.

II.9- La technologie LPP

II.9.1- Description des LPP (SNECMA)

Le motoriste SNECMA a développé plusieurs LPP dans le cadre du programme de recherche européen "Brite Euram Low-NOx" (fig.H.14). La (fig.II.15) montre une vue schématique d'un LPP SNECMA. La géométrie est de révolution. Sur l'axe dans la partie amont du tube LPP se trouve l'éjecteur de combustible, puis immédiatement en aval les deux vrilles (internes et externes) séparées par un premier venturi. Les vrilles mettent l'écoulement d'air en rotation. Cette rotation (swirl) crée de la turbulence favorisant l'évaporation et le mélange, elle induit aussi une dépression au niveau de l'axe de injecteur. Lorsque l'écoulement débouche dans la chambre, la dépression crée une zone de recirculation au niveau de l'axe en face de l'injecteur. Cette recirculation contient des gaz chauds permettant de stabiliser la flamme (fig.II, 15 et TL 16). Un venturi

sépare la vrille externe et les trous de film en amont. L'écoulement d'air qu'ils provoquent est dirigé vers l'aval et entraîne le mélange vers la zone réactive. Les trous de bol en partie aval du tube de prémélange ont pour but de refroidir les parois les plus proches de la zone réactive. D'autres LPP ont été développés pour des turbines industrielles et aéronautiques. La (figJL17) montre une coupe d'un LPP développé par Rolls-Royce.

Les LPP Snecma ont été conçus pour être utilisés dans des chambres annulaires DAC (Double Annular Combustor) comportant deux couronnes d'injecteur (figII.18). Les couronnes peuvent être constituées d'injecteurs différents. Chaque type d'injecteur est alors utilisé au régime pour lequel il est le plus performant: La (fig.II.19) montre deux LPP (couronne extérieure) utilisés pour les phases de plein régime (décollage, montée, . . .), associés à un injecteur RQL utilisé pour les phases de ralenti.

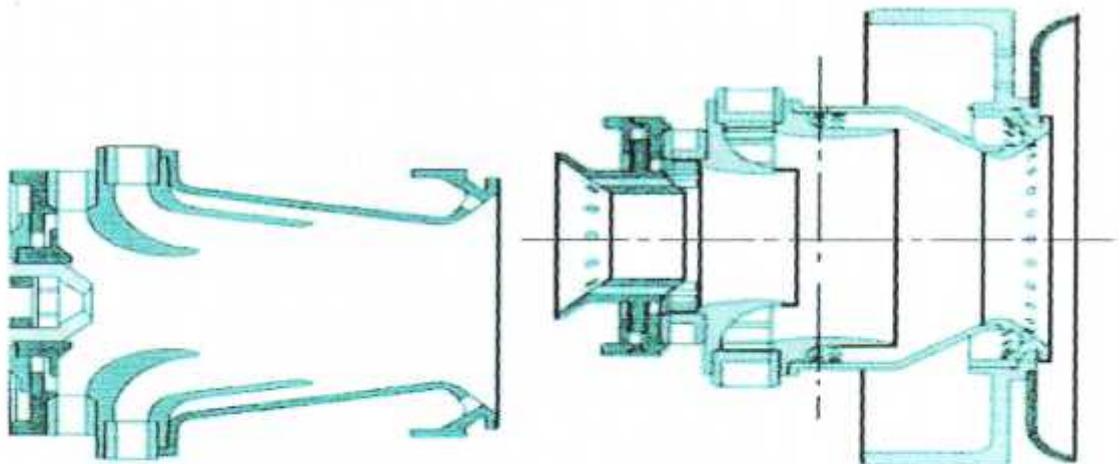


Figure II.14: Tube LPP BE01 (à droite) et BE03 (à gauche) développés par SNECMA-moteurs. Les longueurs des LPP sont de l'ordre de 5 cm.

II.9.2- Problèmes liés aux LPP

La conception et la mise au point des LPP passent par la résolution de problèmes liés à la stabilisation de la flamme:

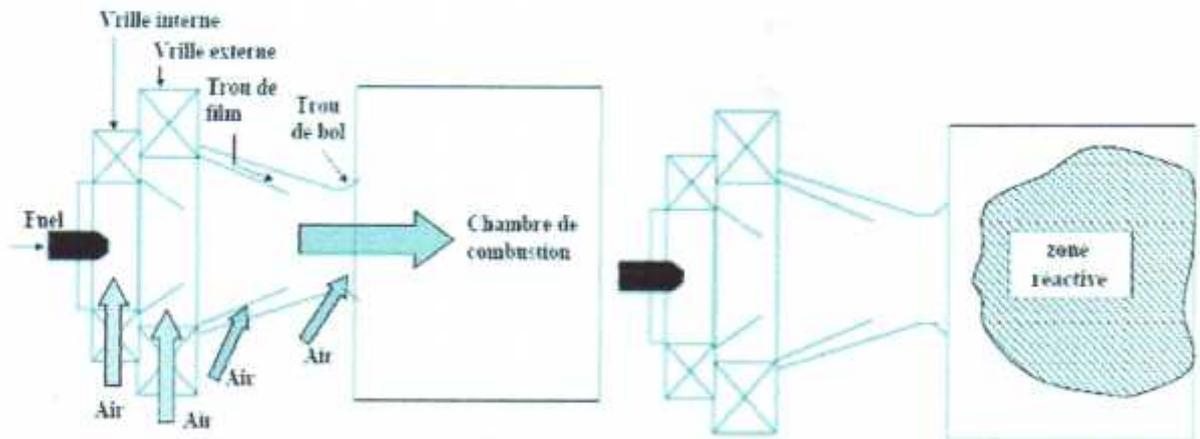


Figure II.15: Schéma d'un LPP Snecma. La figure de droite montre la zone réactive stabilisée à la sortie de l'injecteur par la recirculation induite par le tourbillon.

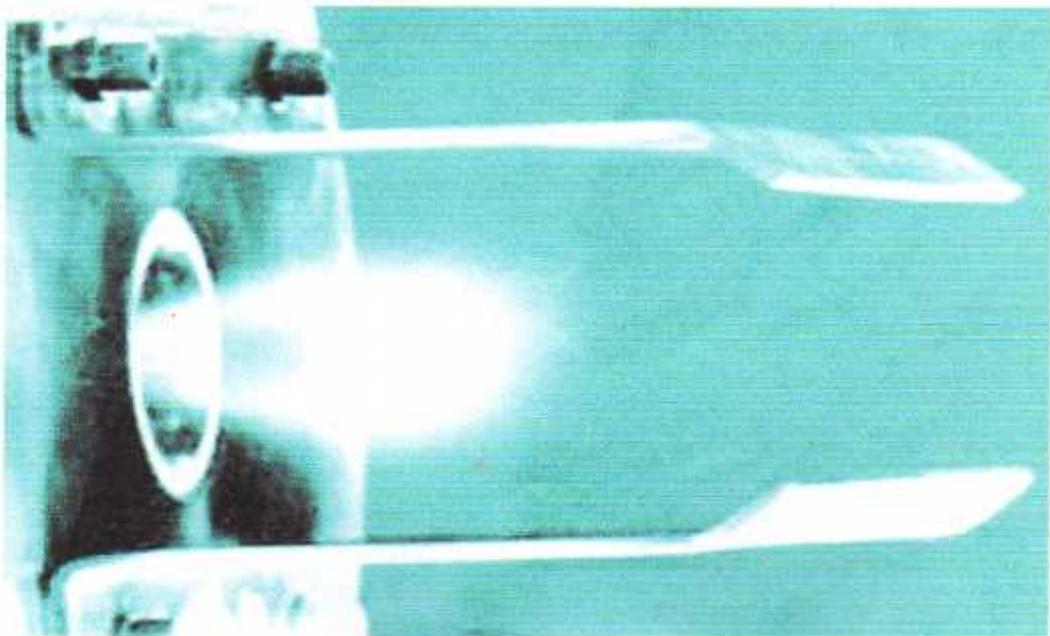


Figure II.16: Photo d'un LPP en fonctionnement. La zone claire est la flamme devant l'injecteur.

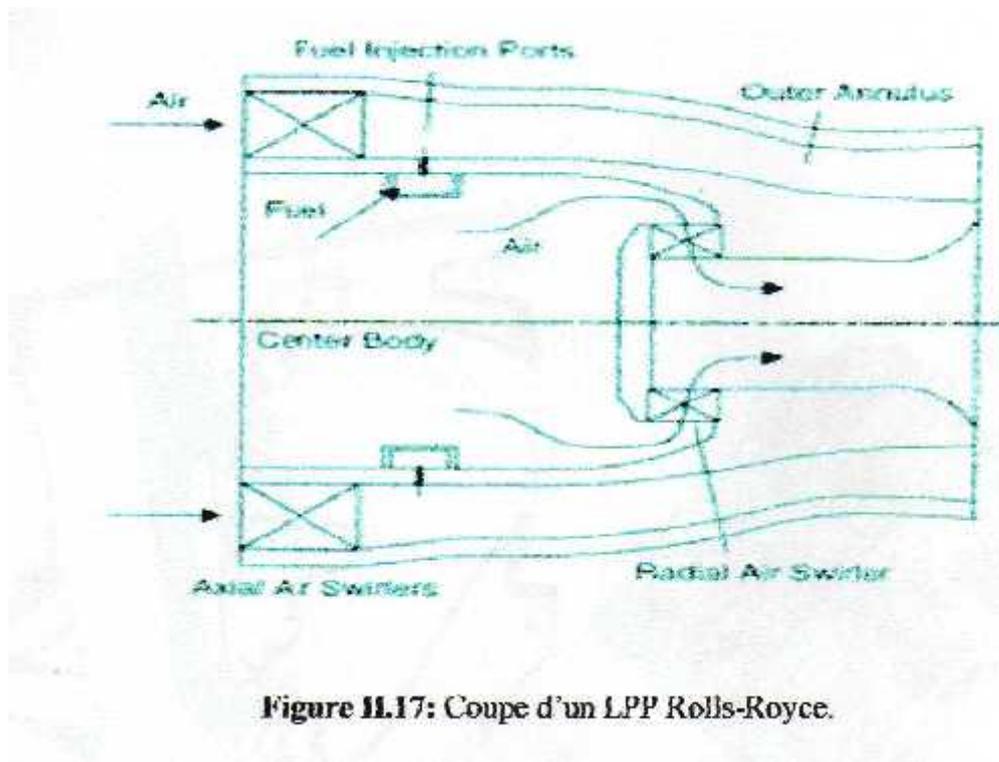


Figure II.17: Coupe d'un LPP Rolls-Royce.

Le dessin est très différent des injecteurs Snecma. Notamment l'injection de combustible n'est plus en fond de chambre. Mais le principe reste le même: prémélanger et prévaporer le combustible avant la flamme. Ce LPP comporte aussi deux vrilles pour créer le tourbillon.

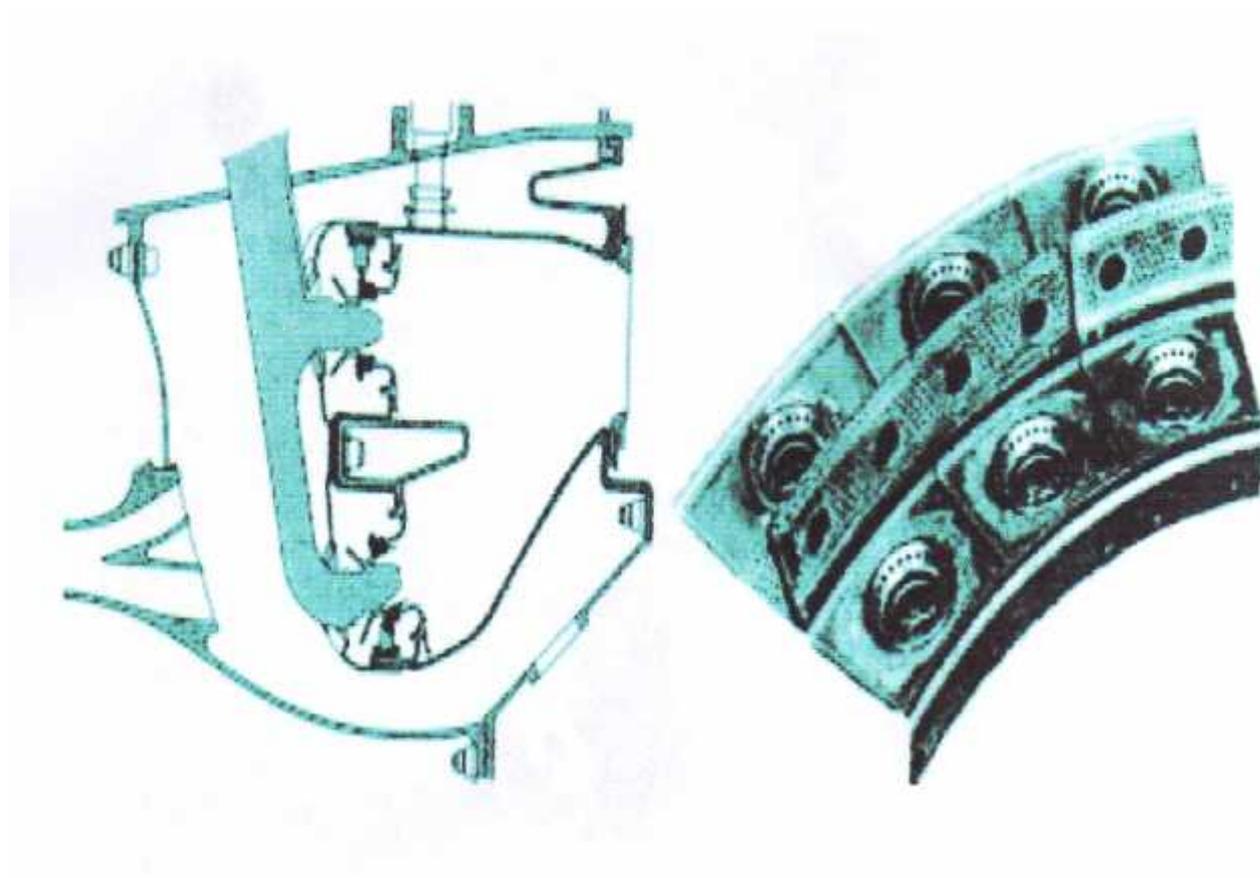


Figure IL18: A gauche, coupe dans une chambre annulaire à deux têtes (Double Annular Combustor). A droite photo d'un secteur du fonds de chambre d'une chambre à 2 têtes.

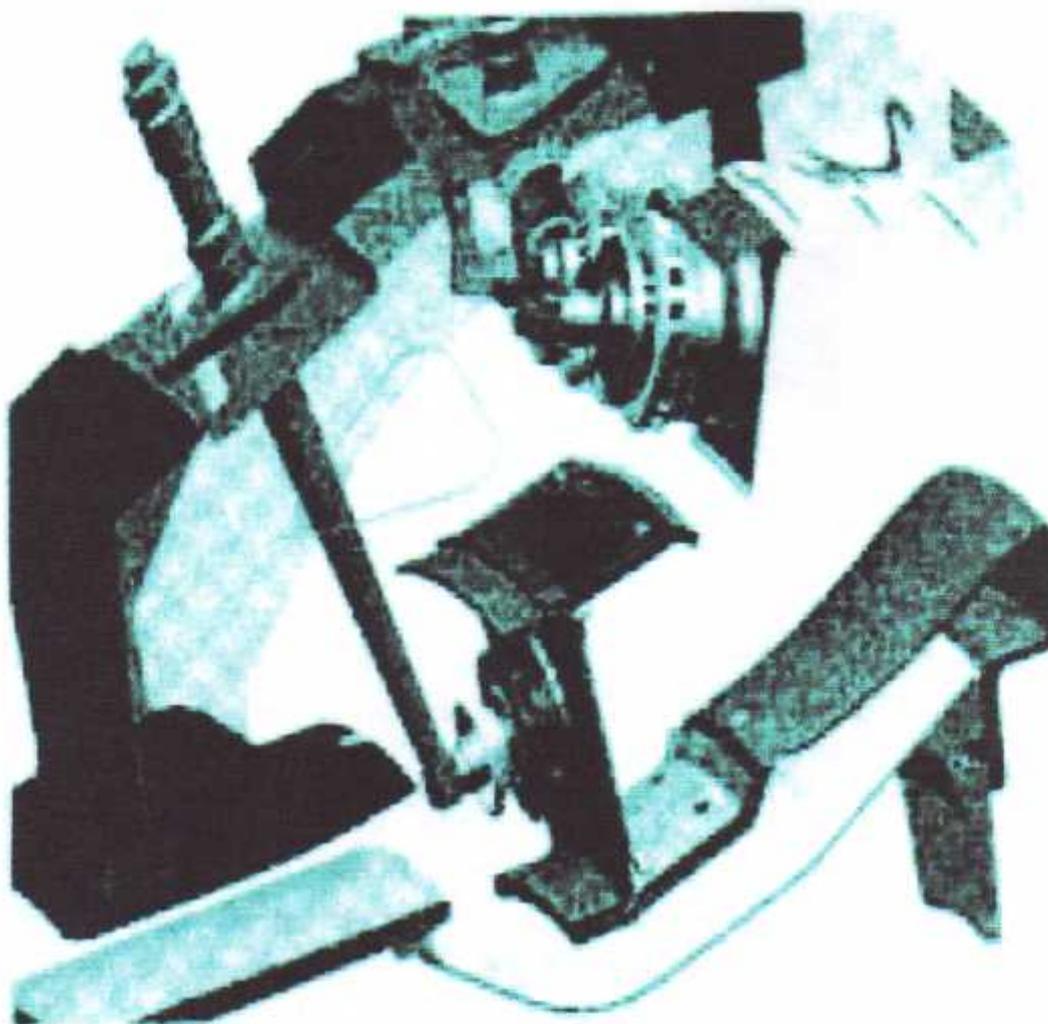


Figure II.19: Vue en perspective d'une section d'une chambre à deux têtes Snecma. Deux injecteurs LPP (en haut) et un injecteur conventionnel (en bas) sont installés.

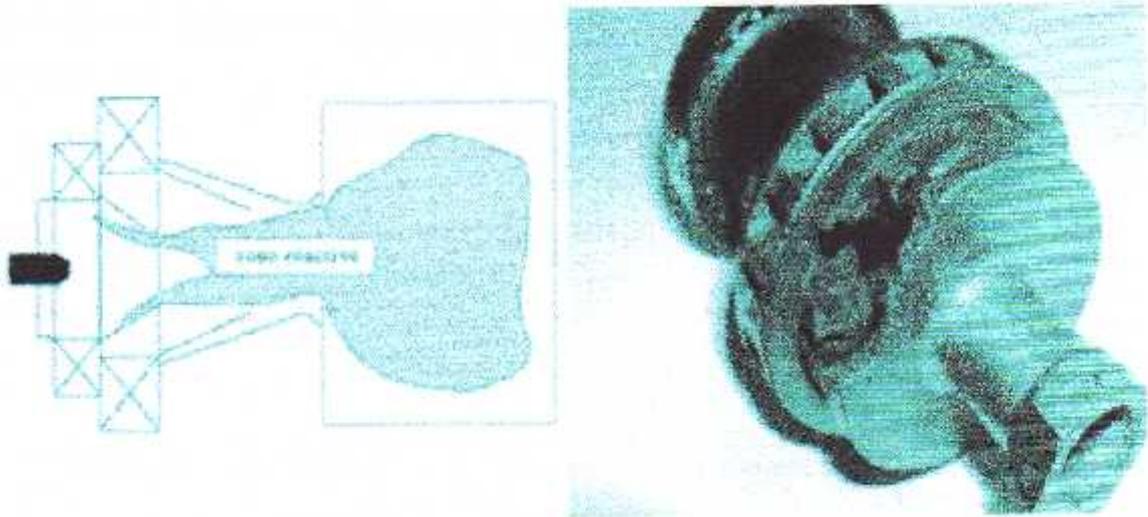


Figure II.20: À gauche, schéma du phénomène de Flash-back, la flamme remonte dans l'injecteur. A droite, photo du résultat: un trou au niveau de la vrille interne du LPP BE01.

1-Les LPP ont pour but de vaporiser et de prémélanger le combustible et l'air. Un long temps de résidence des produits dans l'injecteur favorise ce processus. Par contre comme les chambres fonctionnent à des températures et des pressions d'entrées de plus en plus élevées, les risques d'auto-inflammation des réactifs dans l'injecteur sont d'autant plus importants que le temps de résidence est long. Un compromis doit être trouvé pour éviter tout risque d'auto-inflammation, et obtenir un mélange le plus homogène possible.

2-Comme F auto-inflammation, le flash-back est un phénomène destructif pour l'injecteur. La flamme est stabilisée devant l'injecteur par une recirculation induite par le tourbillon. Si les conditions amont changent, (diminution du débit d'air par exemple), la

zone de recirculation peut remonter dans le LPP entraînant la flamme avec elle: phénomène de Flash-back (l'injecteur peut être endommagé, fig.II.20). À contrario, la flamme peut être soufflée si la zone de gaz chauds recirculant est déstabilisée.

3- Enfin, comme le type de flammes (riche, pauvre ou de diffusion) dépend du mélange créé par la turbulence dans le LPP, la réaction est très sensible aux grandes structures tourbillonnaires, responsables du mélange et elles mêmes sensibles aux perturbations des conditions d'entrée de chambre, par exemple acoustique. Il en résulte un couplage entre la dynamique de l'écoulement, l'acoustique et la réaction qui peut mener à des instabilités de combustion.

II-10.1-Injecteur carburant du moteur ALLISON 501-D22A a)- Description (Fig,n.21)

fabricant	Norme ATA 100	Nombre d'injecte par	Fin	Intervalle d'inspecti
ALLISO	73-6	6	5000	1200

Le turbo propulseur DETROIT DIESEL ALLISON 501-D22A comporte six injecteurs installés dans six chambres de combustion tubo-annulaire.

Chaque injecteur est constitué d'un sélecteur de débit (VALVE GUIDE ASSY, 4) qui a pour rôle de diviser le débit de carburant en deux débite primaire et secondaire, d'un distributeur (VALVE CAGE, 9) qui permet de conduire séparément les deux débits ainsi divisés, d'un gicleur (SPRAY TIF ASSY, 10) formé de cinq sous parties (17, 18, 19, 20, 21) qui assurent la pulvérisation du carburant dans la chambre de combustion, d'un corps (BODY, 11) qui fixe le gicleur (10) contre le distributeur (9), d'un filtre (13) qui est le filtre de dernière chance pour purifier le carburant contre d'éventuelles impuretés qui peuvent se produire au cours de l'opération, et enfin d'une bague d'extrémité d'air (AIR SCHRÖUD, 16) qui joue le rôle de bouclier thermique pour l'éjecteur [9].

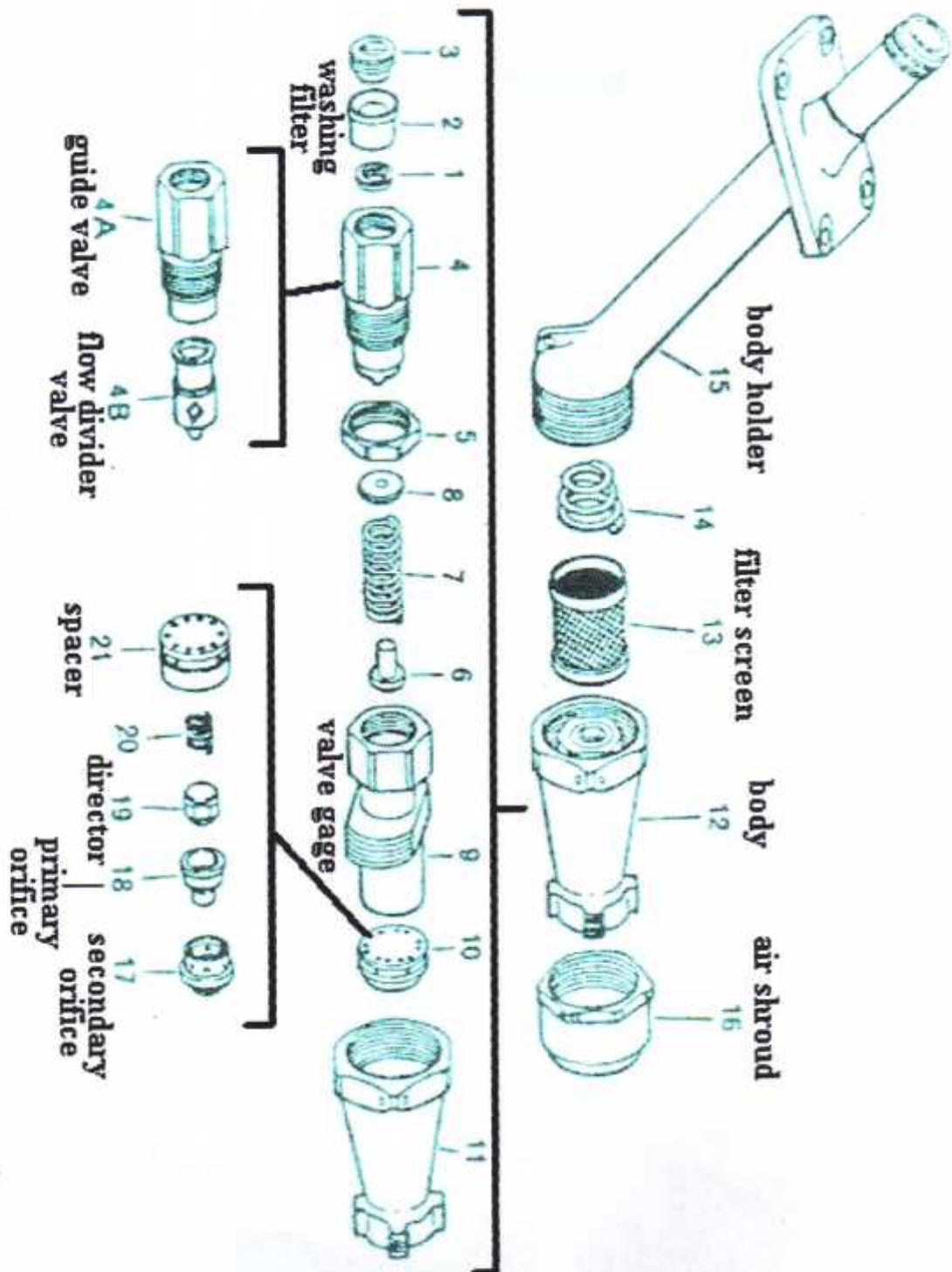


Fig.II.21 schéma éclaté de l'injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A

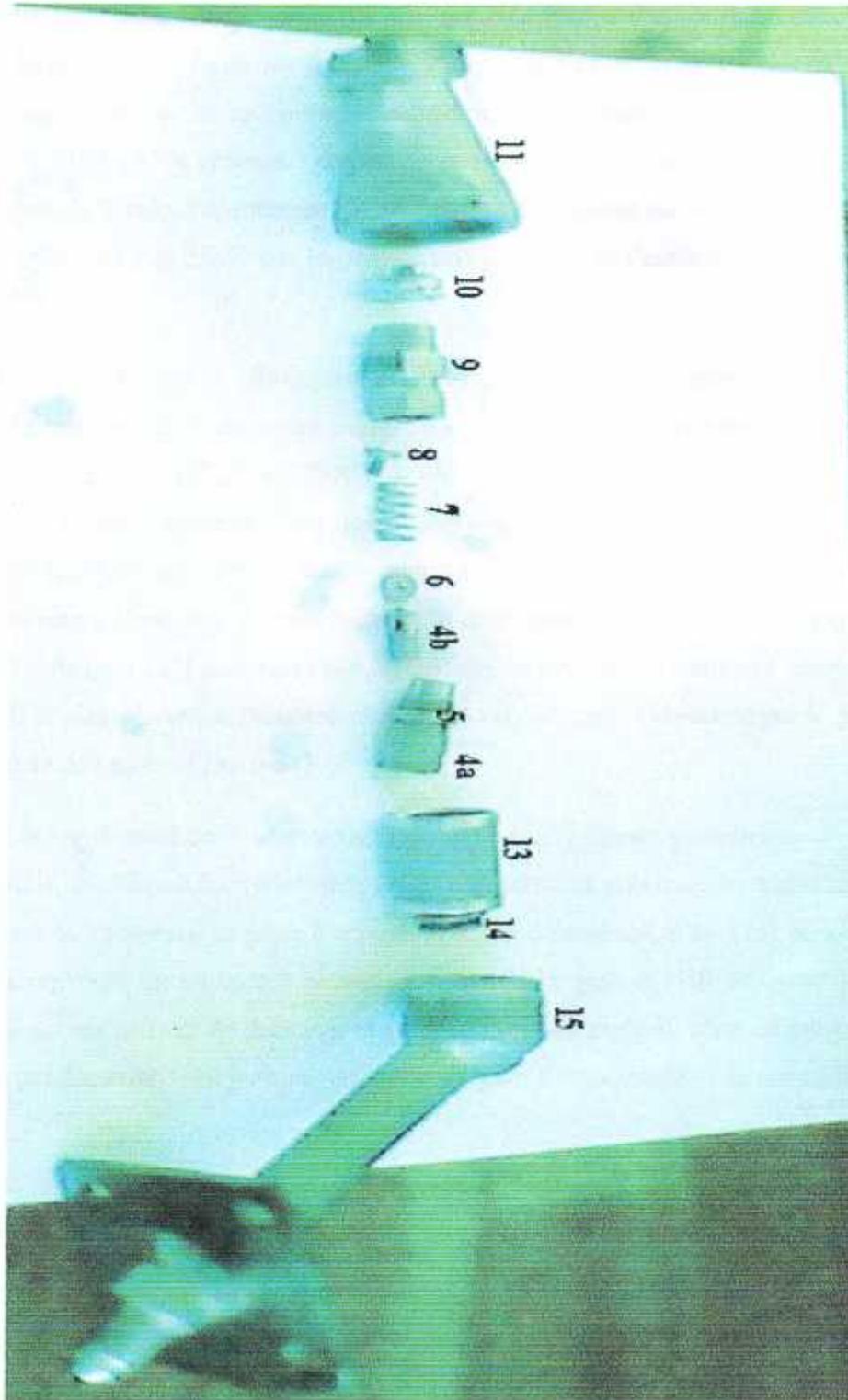


Fig.II.22. schéma réel éclaté du même injecteur

b)- fonctionnement (Fig.JL23-A et Fig.H.23-B)

Les six injecteurs ont pour rôle de pulvériser le carburant dans les chambres de combustion sous une forme de fines gouttelettes pour avoir un bon mélange avec la plus grande partie de l'air et une bonne combustion. Aux faibles pressions ($P < 70$ PSIG) une partie du débit (débit primaire) contourne le distributeur (9) et pénètre dans les orifices tangentiels de la cale d'écartement (SPACER, 21). Puis glisse sur le directeur (DIRECTOR, 19) et enfin sort pulvérisée par le petit orifice primaire de l'embout interne (INNER TIP, 18).

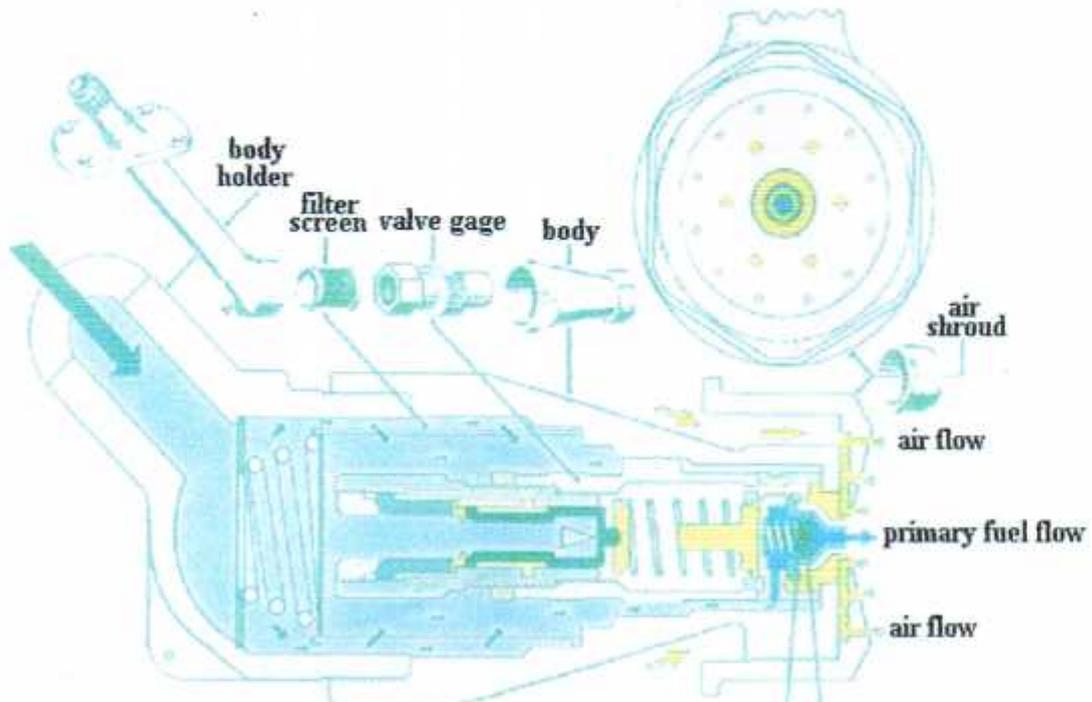
Il est noté que le directeur (19) donne par sa forme géométrique, une forme tourbillonnaire au jet du carburant pulvérisé du primaire. Au fur et à mesure que la pression croît le calibreur (NOZZLE METERING VALVE, 4B) s'ouvre progressivement pour céder le passage à l'autre partie de débit (secondaire) qui était prisonnière dans le guide calibreur (VALVE GUIDE, 4A) sous l'effet du ressort (7) qui fermait l'ouverture du calibreur (4B), et se déverse à l'intérieur du distributeur (9) et pénètre à travers les orifices radiaux de la cale d'écartement (21) puis entre par les orifices tangentiels de l'embout externe (OUTER TTP, 17) et ainsi glisse sur l'embout interne (18) et enfin sort pulvérisée par le grand orifice secondaire de l'embout externe (17).

Il est noté que l'embout externe (17) donne par sa forme géométrique de ses orifices tangentiels, une forme tourbillonnaire au jet du carburant pulvérisé du secondaire. De l'air prévenant du compresseur passe à travers la bague d'extrémité d'air (16) pour accélérer le tourbillonnement du carburant pulvérisé, refroidir le gicleur (10) et éviter le dépôt de carbone sur ses orifices de décharge et aussi de limiter l'angle au cône de pulvérisation qui ne doit pas dépasser 110° pour ne pas brûler les parois de la chambre de combustion [9].

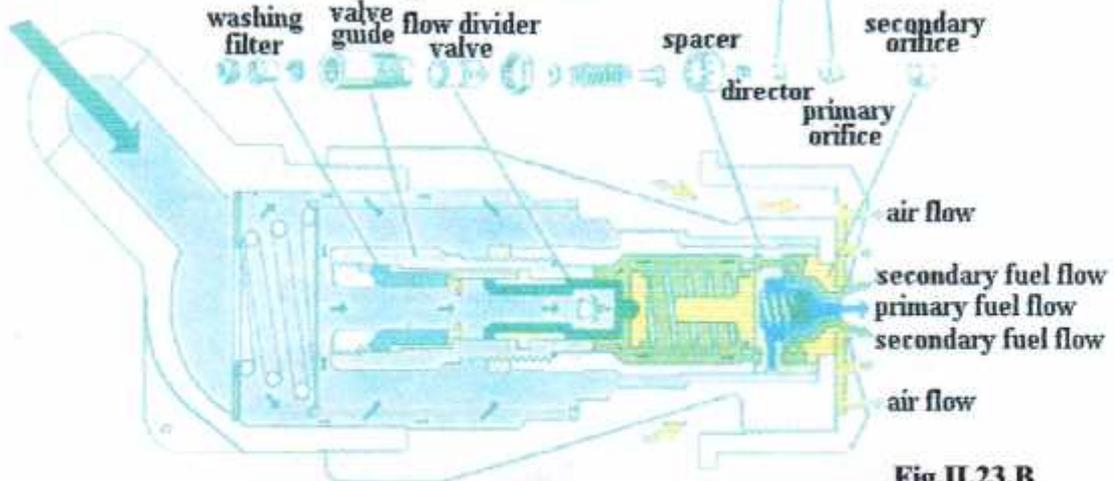
Remarque

La courbe (Fig.11-24) représente l'évolution de débit en fonction de la pression à travers l'injecteur, montrant ainsi le rôle important du sélecteur de débit (4) qui permet en cas de fonctionnement de donner pour des faibles pressions débits correspondants plus élevés.

Dès que l'injecteur aura atteint la fin potentielle, il est aussitôt pris en charge pour effectuer une série d'opérations afin de le remettre de nouveau en état de fonctionnement.



le débit primaire



le débit primaire avec le secondaire

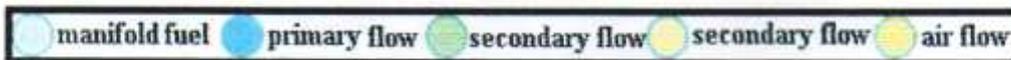


Fig.II.23 schéma opérationnel de l'injecteur

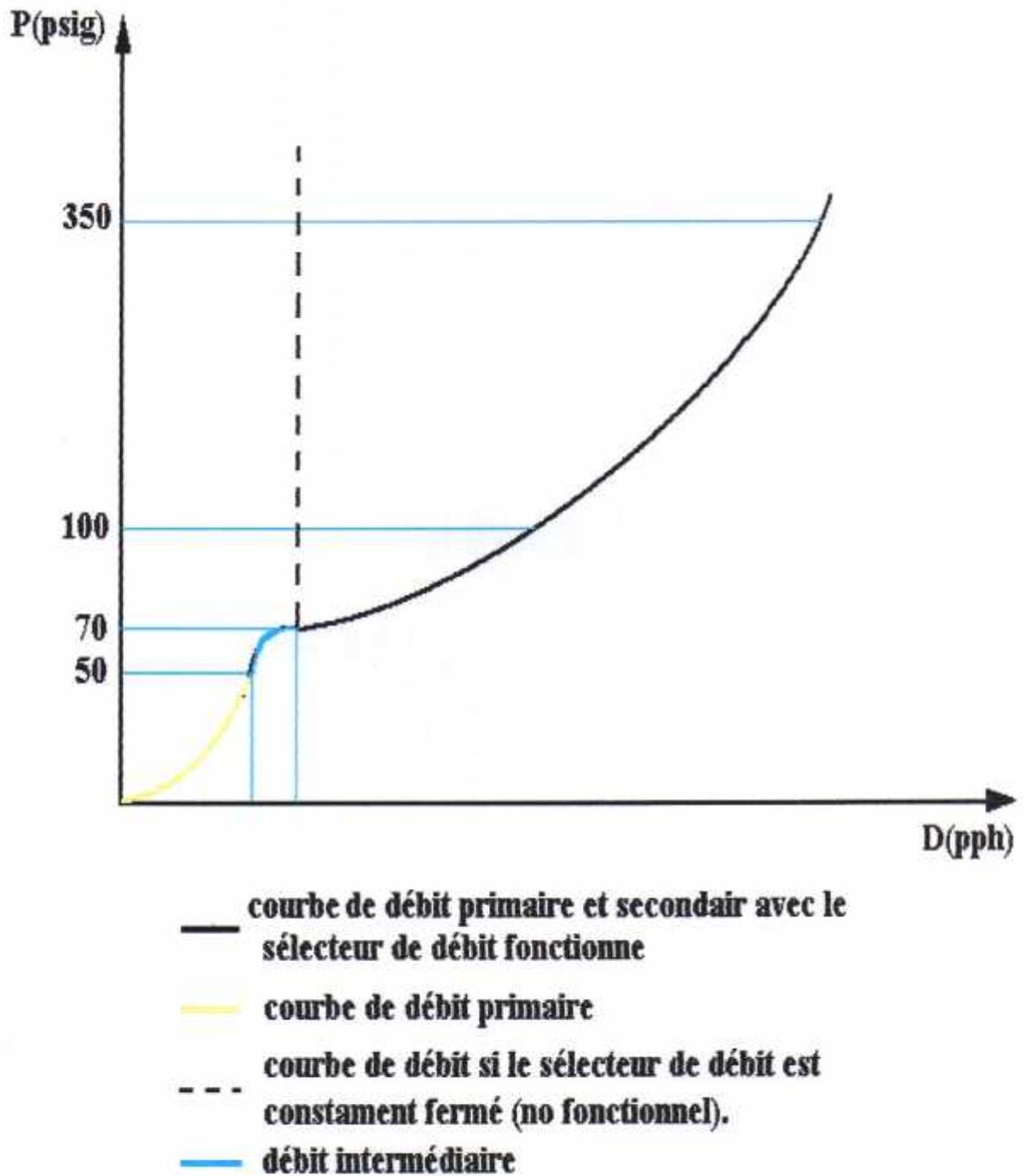


Fig.II.24 l'évolution de débit en fonction de la pression.

III-1 INSPECTION ET MAINTENANCE DE L'INJECTEUR

La méthode adaptée pour l'inspection et la maintenance d'un injecteur est une opération délicate, surtout quand on ne peut s'appuyer sur l'expérience acquise sur des utilisations peu différentes des moteurs.

Après avoir rappelé l'importance de l'injecteur et son rôle essentiel dans la notion du rendement et les facteurs qui influent sur celui-ci.

Nous allons essayer dans ce chapitre de bien détailler la manière qui se fait dans les ateliers de maintenance d'aéronautique pour une bonne inspection d'un injecteur équipant le moteur ALLISON 501-d22a.

Suivant une fiche technique appelée (job card) fournie par le constructeur où il mentionne les étapes à suivre.

Dans ce qui suit, on doit se référer aux schémas présentés dans les pages 37-38

III-2 Désassemblage

III-2-1 Généralité

Avant d'entamer chacune des opérations de désassemblage, il faut réunir tous les ingrédients, outillages et matériels nécessaires pour toutes les opérations de démontage.

III-2-2 Procédures

Installer l'injecteur sur un outil pour le fixer correctement et dévisser la bague d'extrémité d'air (16) de l'ensemble (BODY ASSY, 12) puis l'ensemble (12) de ce dernier du support (BODY HOLDER, 15) enlever ensuite le ressort (14) et le filtre (13).

III-2-3 Démontage des sous-parties de l'ensemble

Dévisser le distributeur (9) du corps (11), puis le gicleur (10) sortira de lui-même après l'opération citée précédemment III-2-4 Démontage des sous-parties du gicleur (10) Le démontage du gicleur (10) est simple. Il faut utiliser l'outil adéquat et un jet d'air.

Remarque : Les pièces du gicleur (10) ne sont pas interchangeables.

III-2-5 Démontage final

Pour le démontage final en suit les étapes suivantes :

- * Dévisser le sélecteur (4) du distributeur (9) après avoir desserrer le contre écrou (LOCKNUT, 5).
- * Enlever le siège d'appui (VALVE SPRING SEAL, 8) et le ressort (7) suivit du siège d'arrêt (VALVE SPRING SEAT STOPt 6) de l'intérieur du distributeur (9).
- * Enlever doucement le calibreur (4B) du guide (4A).
- * Enlever l'écrou (FILTER LOCKSCREW, 3) du guide (4A) et pousser vers l'extérieur le filtre (2) et Y orifice (1) avec un outil en plastique. [9]

Remarque

- Garder toutes les pièces ensemble durant la révision.
- Le but de cette opération est de préparer rétape suivante (le nettoyage); car l'injecteur est composé des pièces de différents matériaux qui nécessitent des solutions différentes de nettoyage.

III-3 Nettoyage chimique

III-3-1 Introduction

Le nettoyage chimique est une procédure qui se fait par immersion de l'injecteur ainsi désassemblé dans une solution dégraissante pour enlever toute trace de graisse, la solution classique la plus utilisée est le WRITE SPIRIT, le temps de séjour est de quelques heures.

Après l'immersion de l'injecteur on continu le nettoyage avec les parties restantes.

III-3-2 Nettoyage du support (15), corps (11) et le gkk«r (10) :

Procédures : Préparer une solution de décalaminage en ajoutant 200g D'ARDROX 185 à IL d'eau.

- a- Mettez les pièces dans la solution de décalaminage chauffée à 80°C pour une durée d'une heure avec agitation.
- b- Rincer les pièces avec de l'eau chaude à 80°C.
- c- Sécher les pièces avec de l'air comprimé et propre à 30 PSIG.

- d- Enlever toute trace du carbone qui reste avec une brosse non métallique à poils durs.
- e- renettoyer si c'est nécessaire.

III-3-3 Nettoyage du sélecteur (4), distributeur (9), bague d'extrémité d'air (16) et ie filtre (13)

Procédures : Préparer une solution de décalaminage en ajoutant 1 L D'ÀRDROX 6333 à 10 L d'eau.

- a- Mettez les pièces dans la solution de décalaminage chauffée à 60°C pendant une durée de 30 mn.
- b- Rincer les pièces avec de l'eau chaude à 80°C.
- c- Sécher les pièces avec de faire comprimé et propre à 30 PSIG.
- d- Vérifier que le filtre (13) est bien nettoyé.
- e- Renettoyer si c'est nécessaire.

Remarque : Le but de cette opération est de donner un aspect plus brillant et clair aux pièces de l'injecteur pour faciliter l'inspection visuelle et aussi leurs restituer les côtes d'origine pour favoriser l'inspection dimensionnelle.

III-4 INSPECTION VISUELLE ET DIMENSIONNELLE

III-4-1 Généralités

L'inspection visuelle et dimensionnelle représente l'une des opérations les plus importante dans une remise en état de l'injecteur; car elle permet de détecter tout défaut ou usure et par suite de sélectionner les bons éléments des mauvais.

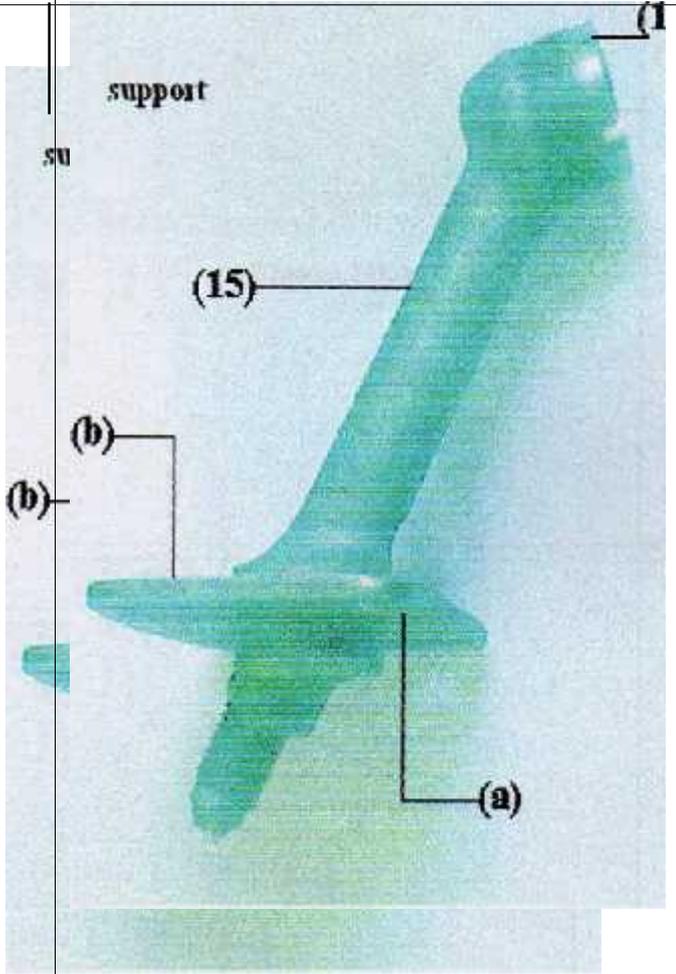
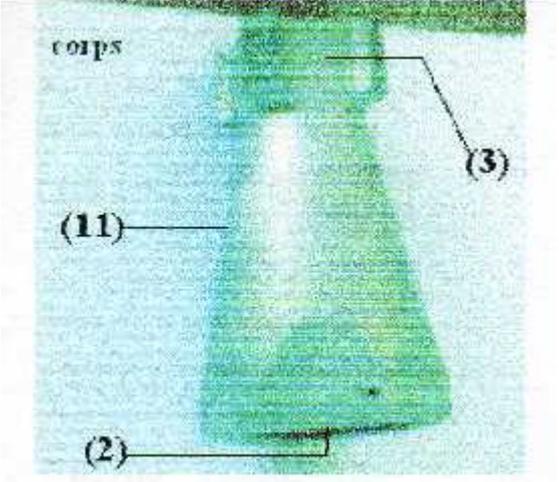
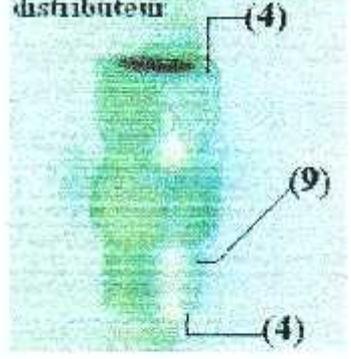
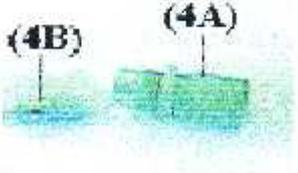
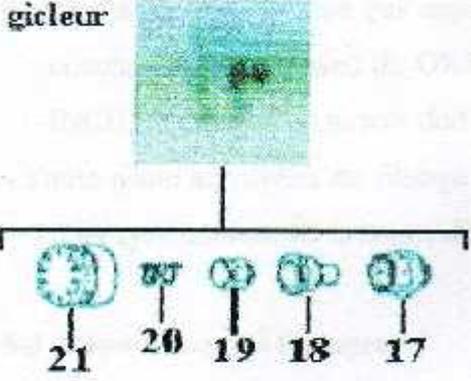
Désignation	Remèdes et Tolérances
	<p>1- Pas de criques (usures) dans le corps du support, sinon remplacer le support.</p> <p>2- Contrôler le joint de surface () à cause de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ecorchures • Arrachement • Piqûres <p>3- Examiner l'état des filets</p> <p>4- Examiner le rebord du support</p> <p>a- Partie inférieure (a):</p> <p>- La profondeur des surfaces piquées se trouvant à 0,100 INCH des perçages ne dépasse pas 0,010 INCH.</p> <p>b- Partie supérieure (h) et les cotés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les surfaces piquées se trouvant à 0,100 INCH des perçages ne doit pas être adjacentes et la profondeur des piqûres ne dépasse pas 0,005 INCH. • - Les surfaces piquées ne doivent pas former une chaîne entre deux perçages et la profondeur ne dépasse pas 0.010 INCH.

Figure III-1

 <p>Figure III-2</p>	<p>1- Pas de criques (usures) dans le corps, sinon remplacer le corps_</p> <p>2- Contrôler le joint de surface (2), à cause de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ecorchures • Arrachements • Piqûre • Distorsion <p>3- Contrôler le joint de surface intérieur (3) cause de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrachement <p>4 – Examiner l'état des filets</p>
 <p>Figure III-3</p>	<p>1-Contrôler l'état d'usure du revêtement,</p> <p>2- Pas d'endommagement du trou central.</p> <p>3- Pas de criques entre les trous.</p> <p>4- Examiner l'état des filets_</p>
 <p>Figure III-4</p>	<p>1- Pas d'écorchures sur les deux joints de surfaces (4).</p>

<p>selecteur de débit</p>  <p>Figure III-5</p>	<p>1-Pas d'écorchures sur la surface extérieure du calibreur (4B) et la surface intérieure du guide (4A).</p> <p>2-L'état de surface dans ses parties ne dépasse pas 10 micro-inches.</p>
<p>gicleur</p>  <p>Figure III-6</p>	<p>1- Pas de criques ou écorchures ou corrosions sur les pièces:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Embout externe (17). • Embout interne (18). • Directeur (19). • Cale d'écartement (21)_ <p>2- Utiliser le magna flux ou une loupe pour détecter les criques.</p>

Note : À la fin de l'inspection, les pièces de l'injecteur sont réunies de nouveau (neuves, réparées. Réutilisées) pour entamer la phase d'assemblage.

III-5 Réparation

III-5-1 Rodage et grattage des surfaces de contact

Il est à signaler qu'après rodage ou grattage l'état de surface ne dépasse pas 32 MICROINCHES,

- Un parallélisme parfait ou presque doit être obtenu.
- Les bords de ces surfaces doivent être traités avec une attention particulière.
- Après réparation, nettoyer correctement les pièces.
- On peut appliquer un « DYE-CHECK » pour confirmer le contact correct entre deux pièces.

III-5-2 Réparation de la bague d'extrémité d'air (16)

- Inspecter l'état général de la bague d'extrémité d'air.
- Le métal de base ne doit pas apparaître à travers le revêtement Si c'est le cas, restituer la couche protectrice avec du OXYDE D'ALUMINIUM d'une épaisseur de 0,003 à 0,005 INCH, le diamètre extérieur doit être de 1J05 à 1,095 INCHS après le revêtement.
- Toute usure au niveau du filetage ou le trou central ou les trous périphériques implique le rejet systématique de la bague d'extrémité d'air (16).

III-5-3 Réparation des filetages

Réparer les filetages du corps (11) et le support (15) avec une méthode de réparation approuvée.

III-6 Assemblage et serrage

III-6-1 Généralité

À la fin de l'inspection, les pièces de l'injecteur sont réunies de nouveau (neuves, réparées. Réutilisées) pour entamer la phase d'assemblage.

III-6-2 Procédures

- Placer l'orifice (1) et le filtre (2) dans le guide (4A), installer l'écrou (3) et serrer de 35 à 45

IN.LBS.

- Monter le calibre (4B) dans le guide (4A) et pour cela il faut:

a- Nettoyer ces deux pièces avec du TRICHLORETHYLENE ou équivalent pour enlever

l'huile qui pourrait rester sur les surfaces.

b- Ramener ces pièces à la température ambiante avant le montage.

Remarques :

Il faut s'assurer que les deux pièces n'ont pas été contaminées par l'huile pendant le remontage.

- Placer le siège d'arrêt (6), le ressort (7), et le siège d'appui (8) dans le distributeur (9).
- Visser le contre-écrou (5) dans le sélecteur (4), puis visser le sélecteur dans le distributeur, et enfin serrer le sélecteur de 40 à 45 IN.LBS.

III-6-3 Assemblage des sous-parties du gicleur (10)

- Empiler l'embout externe (17), l'embout interne (18), directeur (19) et le ressort (20) ensemble et placer le tout dans la cale d'écartement (21) et presser l'ensemble.
- Placer le gicleur (10) dans le corps (11), s'assurer que le gicleur est bien en place avant de monter le distributeur (9), visser le distributeur dans le corps (11) et serrer à la main jusqu'à ce que le distributeur puisse s'appuyer sur le gicleur (10) et le tourner avec une clef d'un angle de 40° à 50° ce qui devrait donner un serrage de 180 IN.LBS. si ce n'est pas le cas, démonter et inspecter les pièces, puis remonter encore une fois.
- Installer le filtre (13) dans l'ensemble (12), placer le ressort (14) au bout du filtre, visser le support (15) dans l'ensemble (12) et serrer de 540 à 660 JNLBS.
- Installer la bague d'extrémité d'air (16), dans l'ensemble (12) et torquer de 180 à 240 IN.LBS.
- Freiner le tout avec un fil à freinage de diamètre 0,80 mm à la fin de cette opération passer l'injecteur au banc d'essai pour le tester. [9]

III-7 test d'étalonnage HI-7-1 Introduction

Le test d'étalonnage permet de vérifier les débite du carburant, les angles de pulvérisation qui doivent être dans les limites spécifiques en chaque pression.

Pression différentielle à travers l'injecteur (PSIG)	Limite tans de débit (PPH).	Limites angle de pulvérisation (°) (Voir Figé)	Etat de pulvérisation (*>
50	32,4-35,7	75-95	(VoirFig.6,Fig.7, Fig.8etFig.9)
70	55,1-62,0	75-95	
100	149,0-163,0	75-95	
350	426,0-470,0	90-110	

Remarque :

(*) Contrôler visuellement le modèle de pulvérisation en parallèle avec les débits et les mesures des angles de pulvérisation.

III- 8 Contrôle d'hystérésis (plein à craquer)

Suite au test d'étalonnage, faire décroître la pression de 350 à 70 PSIG, La valeur de débit obtenue doit être à 10% près de la valeur de débit obtenue durant le test d'étalonnage à la même pression,

L'injecteur n'est considéré bon pour le service, que s'il répond parfaitement aux exigences 'du test d'étalonnage, mais si les valeurs de teste ne sont pas dans les limites spécifiques, alors l'injecteur subira une série d'opérations de réglage pour ramener les valeurs dans les limites de test. Cette série d'opération de réglage s'appelle recherche de panne dont un tableau récapitulatif est mentionné ci-dessous. [9]

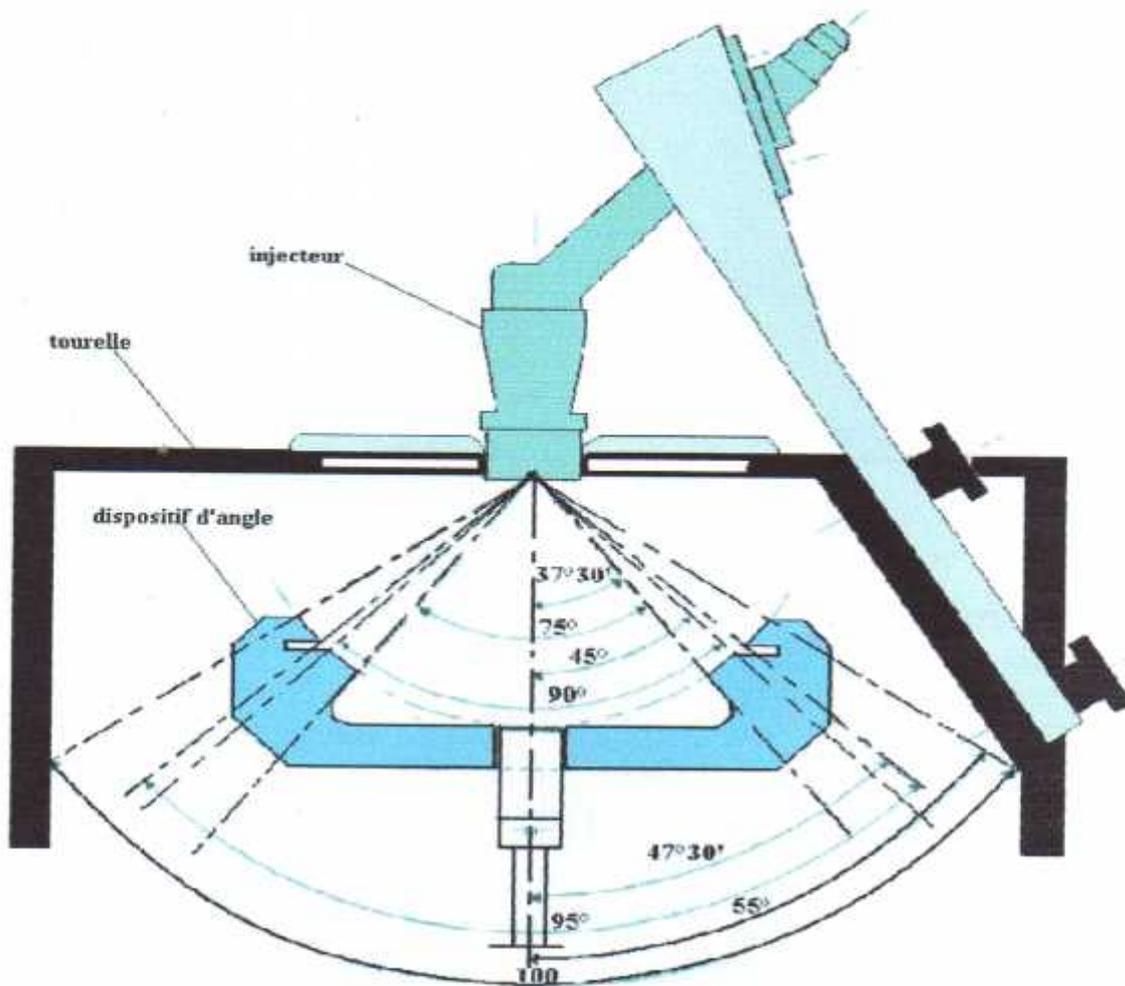


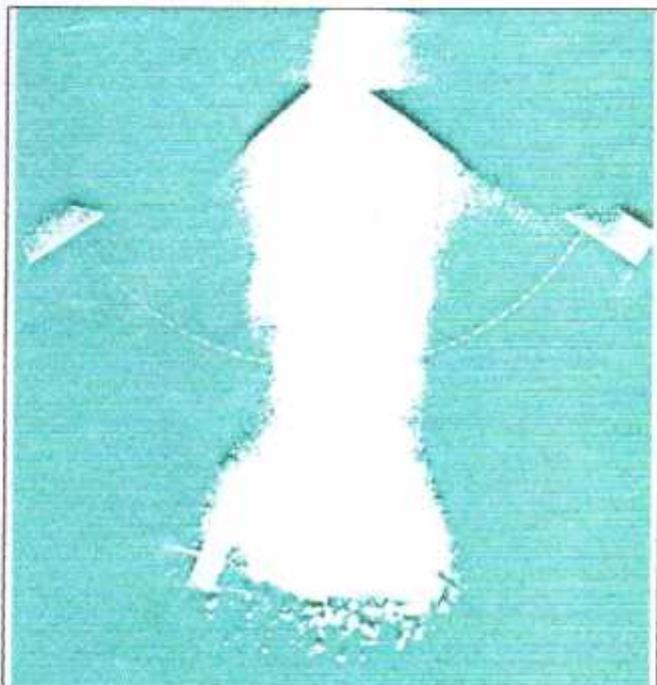
Figure III-7: mesure d'angle de jet.

Les figures ci-dessous montrent quelques états de pulvérisation.



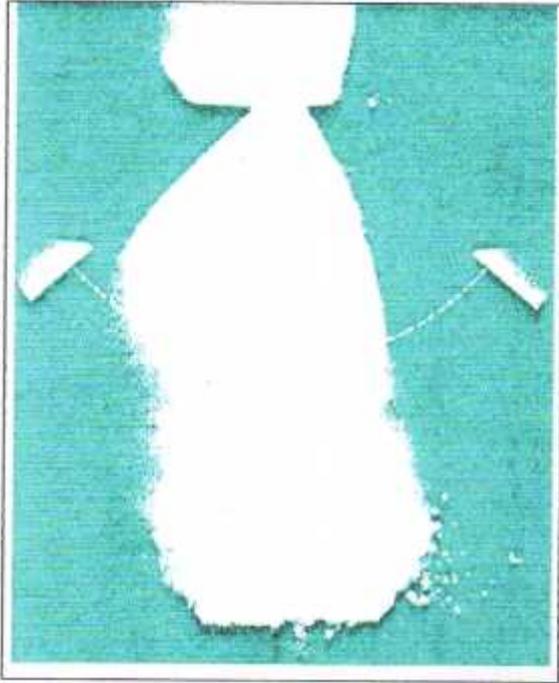
- angle de jet symétrique
- densité de vaporisation homogène
- pas de traits et pas de vides

Figure III-8 pulvérisation acceptable

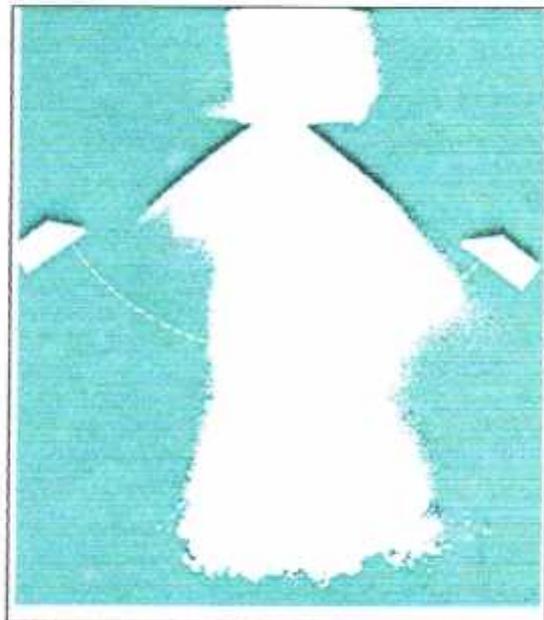


- Présence des traits et vides

Figure III-9 pulvérisation non acceptable



**Figure III-10 pulvérisation non acceptable-ange
De jet non symétrique**



**Figure III-11 pulvérisation non acceptable-densité
De vaporisation non homogène**

Problèmes	Causes (s) probable	Remède (s)
1-débit faible à 50 PSIG	<p>a- Les rainures du directeur (19) obturés,</p> <p>b- orifices de la cale d'écartement (21) obturés.</p>	<p>a- Contrôler le gicleur (10) sous une lentille grossissante et nettoyer si nécessaire.</p> <p>Faite 1 a.</p>
2- Débit fort et/ou traits à 50 PSIG.	<p>a- Jeu excessif entre le guide (4A) et le calibreur (4B).</p> <p>b- Le calibreur (4B) coincé ou ouverture bloquée,</p> <p>c- Le distributeur de débit (9) serré en dessous de la valeur propre.</p> <p>d- Fuite entre le distributeur (9) et le gicleur (10) et/ou entre le gicleur (10) et le corps (1 l).</p> <p>e- Les rainures du directeur (19) corrodées et/ou le directeur (19) n'est pas bien placé à l'intérieur de l'embout interne (18).</p> <p>f- Fuite interne dans le gicleur (10).</p> <p>g- L'orifice d'évacuation de l'embout interne (18) calaminé</p>	<p>a- Remplacer le sélecteur (4),</p> <p>b- Nettoyer le sélecteur de débit (4). Contrôler les surfaces à cause de l'encrasse ou rayures remplacer le sélecteur (4) si nécessaire.</p> <p>c- Rétorquer (9) à la valeur propre.</p> <p>d- Contrôler les surfaces de joint concernées à cause de: distorsion, planéité et usure. - Remplacer les parties affectées si l'étanchéité n'est pas établie.</p> <p>e- Comparer le directeur (19) avec un autre qui soit neuf et contrôler sous une lentille si rien n'est à signaler, remonter le directeur, sinon remplacer le gicleur.</p> <p>f- Remplacer le gicleur (10).</p> <p>g- Nettoyer avec un chiffon doux imbibé avec solvant pour enlever les calamines</p>

	b- L'orifice d'évacuation de l'embout interne (18) usé.	Contrôler l'état l'embout interne (18) s'il est usé, remplacer gicleur
3-débit faible à 50 PSIG. 2- Débit fort et/ou traits à 50 PSIG	a- Le calibreur (4B) s'ouvre assez fort. b- Le ressort (7) défectueux.	a- Régler l'ouverture de (4B) pour une pression de 70 PSIG donne un débit approprié (*). Remplacer le ressort (7)
4- débit faible à 350 PSIG Tous les autres débits satisfaisants.	a- L'embout externe (17) obturé. b- La cale d'écartement (21) obturée. e- Le calibreur (4B) ne s'ouvre pas complètement. d- Filtre (13) colmaté	a- Faite 1 a. b- Faite 1 a. e- Faite 2 b_ d- Nettoyer le filtre.
5- débit élevé et/ou dard à 350 PSIG.	a- Les orifices tangentiels de l'embout externe (17) corrodés et/ou criques. b- Une fuite externe entre le corps (11) et le support (15) et/ou le gicleur (10) et le corps (11). c- L'orifice d'évacuation de l'embout externe (17) calaminé. d- l'orifice d'évacuation du l'embout externe (17) strié. e- L'orifice (1) non installé	Remplacer le gicleur si une crique ou usure est détectée a- Faite 2d. e- Faite 2g. Faite 2h Installer alors l'orifice

6- Débit faible à 50 PSIG et 350 PSIG.	a- Filtre (13) colmaté	a- Nettoyer le filtre.
7- Pas de changement après ajustement.	a- Ressort cassé.	a- Remplacer le ressort.
8- Débit irrégulier après l'ouverture du calibre (4B).	a- Le siège d'appui (8) installé à l'envers	a- Inverser la position du siège d'appui (8)
9- Hystérésis (plein à craquer)	a- Le sélecteur de débit (4) encrassé, endommagé ou strié.	a- Faire 2b
10- Traits persistant, tous les débits et les angles de pulvérisation sont bons	a- Fuite interne dans le calibre (4B) [Cause probable 2a, 2d et 2q]	a- Un léger trait est acceptable, mais s'il est significatif, faire 2a, 2d et 2f
11- Les angles de pulvérisation hors tolérance et fou non symétrique	a- Les composants du gicleur (10) mal nettoyés ou endommagés (Directeur (19), embout externe (17))	Faire 2e, 2g, 2h, 5a, 5c et 5d

Note :

(*) Réglage de calibre (4B) se fait de la manière suivante:

- Démontez l'injecteur

Relâchez le contre-écrou (5) du distributeur (9) sans enlever le distributeur de l'ensemble (12)

- Faire tourner le sélecteur (4) dans le sens horaire pour diminuer le débit et l'inverse pour l'augmenter.

Remarque : Après le réglage final, l'injecteur est soumis à un test de fuite.

III-10 Teste de fuite

Obturer les orifices de pulvérisation de l'injecteur, appliquer une pression de 600 PSIG pendant 30 à 60S, il ne doit y avoir aucune fuite externe, et pour cela observer attentivement l'injecteur durant le test.

Et voici la feuille ou l'injecteur va passer sur des testes pour prouver sa fiabilité.

AIR ALGERIE DIRECTION TECHNIQUE S/D REV MOTEURS	FEUILLE DE TEST INJECTEUR ALLISON 501-D22A				
P.N. S.N.		DATE 199...			
MOTIF DE DEPOSE:					
<u>1-MESURE DE DEBIT:</u>					
Press. diff. (inj. (psid))	Limites taux de debit (lbm / hr)	RELEVÉ	Limites angle de pulverisation (°)	RELEVÉ	Etat de pulve (°)
50	32,4 – 35,7	.....	75 – 95	.....	.....
70	55,1 – 62,0	.....	—	.....	.....
100	149,0 – 163,0	.....	—	.....	.....
350	426,0 – 470,0	.....	90 – 110	.....	.....
(*) Voir fig 9 a 15 (overhaul manuel section 73-6).					
NOTE Controler visuellement le modele de pulverisateur en parallele avec le debit et les mesures d'angle de pulverisation					
<u>2-CONTROLE D'HYSTERESIS:</u>					
Suite au test de calibration , faire decroitre la pression differentielle de 350 à 50 psid ²					
Press. diff. (psid)	RELEVÉ	OBSERVATION			
70	.....			
NOTE La valeur de debit obtenue doit etre à 10 % pres de la valeur de debit obtenue durant le test de calibration a la meme pression.					
<u>3-TEST DE PRESSION (TEST DE FUITE):</u>					
Appliquer une pression statique interieur de 600 psid pendant 30 a 190 secondes					
RESULTAT					
OBSERVATIONS:					
VISA ENGINEERING	VISA EXCUTANT	VISA CONTROLE			

Figure III.12 feuille de test injecteur ALLISON 501-D22A

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">*** Mettre une croix sur la case correspondante ***</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border: 1px solid black; text-align: center;">TEST PRELIMINAIRE</td> <td style="width: 50%; border: 1px solid black; text-align: center;">TEST FINAL</td> </tr> </table> </div>				TEST PRELIMINAIRE	TEST FINAL
TEST PRELIMINAIRE	TEST FINAL				
TABLAU DES VALEURS LUES SUR BANC D'ESSAI					
SERIAL N°	DEBIT PPh	SPRAY ANGLE	OBSERVATIONS		
1	1				
	2				
	3				
2	1				
	2				
	3				
3	1				
	2				
	3				
4	1				
	2				
	3				
5	1				
	2				
	3				
6	1				
	2				
	3				
7	1				
	2				
	3				
8	1				
	2				
	3				
9	1				
	2				
	3				
VISA ENGINEERING		VISA EXECUTANT	VISA CONTROLE		

Figure III.13 feuille de test d'un injecteur

III-10-1 Résultats et commentaires

Tableau 1 : résultats d'un injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A

Pression (psig)	Débit (pph)	Angle (°)
50	36,72	75
70	55,7	78
90	133,5	85
100	156	87
110	179,1	89
150	249,6	90
170	278,1	92
200	315,9	92
220	339	92
240	343,4	93
270	371,3	95
290	389,1	95
300	397,7	95
320	414,4	95
350	438,4	95

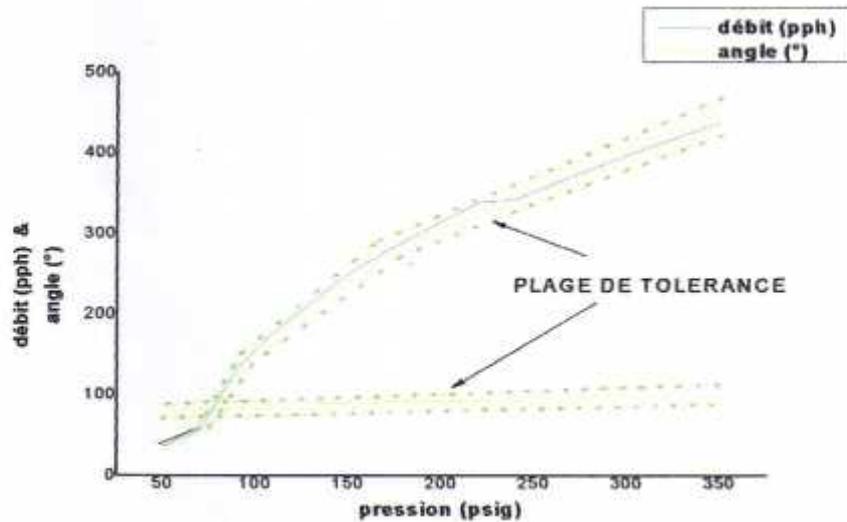


Figure III-14 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction De la pression d'entrée

Commentaire de graphe 1 :

D'après les résultats, les performances de l'injecteur sont acceptables et l'injecteur peut fonctionner normalement, et dans le graphe, on a remarqué une petite perturbation de débit dans la plage [pression (200,250 psig). Débit (300,400 pph)].

Tableau 2 : résultats d'un injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A

Pression (psig)	Débit (pph)	Angle (°)
50	34,1	75
70	52,9	75
90	139	80
100	155,22	83
110	170	86
150	244	89
170	272,3	90
200	310,3	90
220	332,1	92
240	340	92
270	368	93
290	386,9	94
300	392,7	94
320	411,6	94
350	430	95

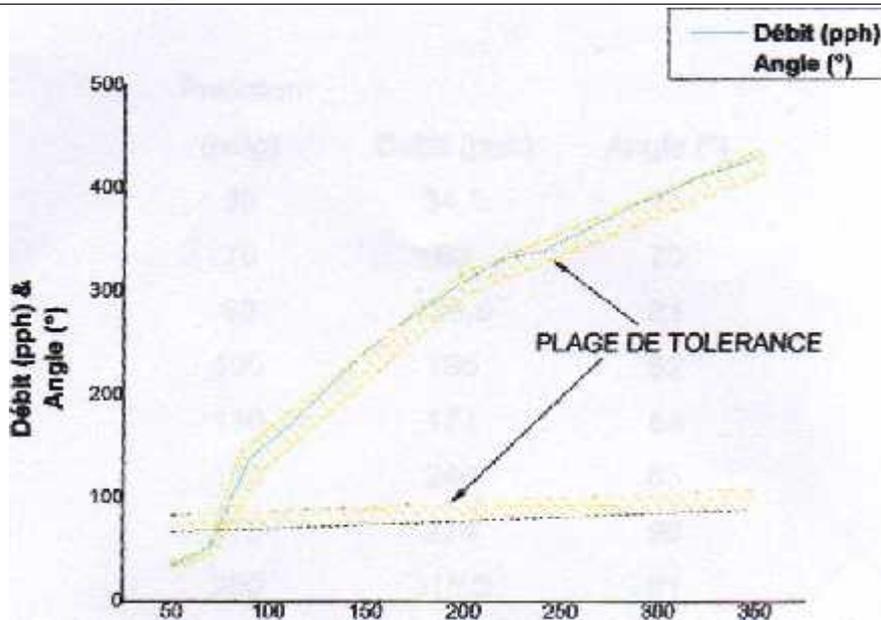


Figure ITI-15 graphe 2, représentant le Tableau 2

Commentaire de graphe 2 :

D'après les résultats, les performances de l'injecteur sont acceptables et l'injecteur peut fonctionner normalement, mais dans le graphe, on constate une perturbation de débit à partir de [pression (150 psig). Débit (200 pph)], et la courbe de débit touche la limite supérieure, ainsi la courbe d'angle dans la plage [pression (100,150 psig). Débit (83,89 pph)]1.

Tableau 3 : résultats d'un injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A

Pression (psig)	Débit (pph)	Angle (1)
50	34,5	75
70	53	76
90	138,9	81
100	155	82
110	171	84
150	246	85
170	274	90
200	315,2	91
220	333	91
240	344,1	92
270	370,2	93
290	388,4	94
300	393,9	95
320	413,5	95
350	431,8	95

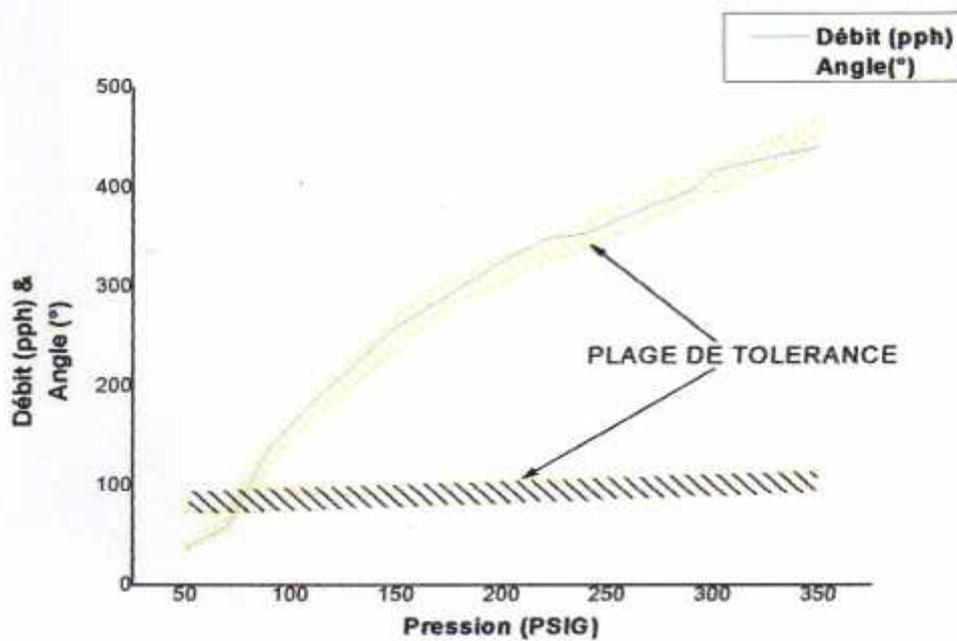


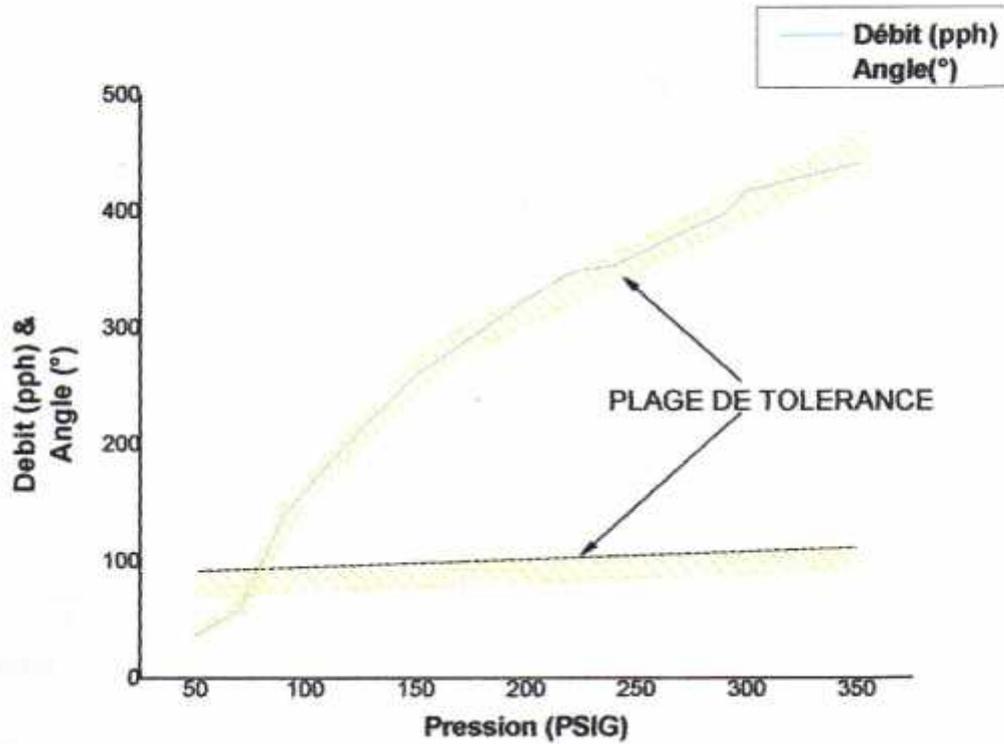
Figure III-16 graphe 3, représentant le Tableau 3

Commentaire graphe 3 :

D'après les résultats, les performances de l'injecteur sont acceptables et l'injecteur peut fonctionner normalement, mais à travers le graphe, on constate une très grande perturbation de débit du jet ainsi la forme de ce dernier, à partir de [pression (200 psig). Débit (300 pi** cette perturbation, et avec le temps, peut créer une hétérogénéité de la flamme, si le moteur fonctionne lentement dans cette plage, conduisant à une dégradation des parois de la chambre de combustion.

Tableau 4 : résultats d'un injecteur équipant le moteur MAISON 501-D22A

Pression (psig)	Débit (pph)	Angle (°)
50	37	76
70	59,3	79
90	139,2	87
100	161,3	91
110	184,1	91
150	260	91
170	286,1	93
200	325,3	93
220	348,2	97
240	354	99
270	380,9	102
290	398	104
300	416,7	104
320	427,2	105
350	441,1	107



Figurera-17 graphe 4., représentant le Tableau 4

Commentaire graphe 4 :

L'injecteur ne fonctionne pas correctement, car la courbe de débit a dépassée la limite supérieure dans la plage [pression (200,250 psig), débit (300.400 pph)}. Comme on a observé des traits dans le jet de pulvérisation, donc il est, soit à réparer ou à rejeter

III 11 Stockage

Drainer l'injecteur du carburant résiduel, obturer toutes les ouvertures et envelopper l'injecteur dans du papier de pH neutre.

Conclusion

Ce modeste travail est le fruit de plus de six mois de stage pratique continue au sein de la compagnie Air Algérie, dans l'atelier accessoires, il s'avère être stratégique et indispensable pour tout technicien ou ingénieur en aéronautique.

L'objet de ce travail est l'inspection et la maintenance des injecteurs aéronautiques afin d'assurer les meilleures conditions du bon rendement de la partie chaude du moteur (chambre de combustion et turbine), car un bon injecteur rallonge considérablement la vie d'un moteur, tandis qu'un mauvais fonctionnement de l'injecteur peut être la source de beaucoup de défaillances dont les plus graves, la dégradation de la chambre de combustion et la turbine, et par la suite le moteur. Partant de ce constat, la maintenance de l'injecteur doit être traitée avec une attention particulière, afin d'assurer la sécurité de l'être humain et des installations.

Notre contribution dans ce sujet était ; après un rappel détaillé sur les périphéries du système d'injection (chambre de combustion et turbine) et les différents types d'injecteurs et leurs fonctionnements, on a préparé les différentes étapes et les procédures de maintenance pour un type d'injecteur (Allison 501-D22) tel que, chaque injecteur doit passer par une visite générale spécifique, ou il est systématiquement désassemblé puis nettoyé, inspecté visuellement et dimensionnellement, puis éventuellement réparer pour être ensuite assemblé et finalement testé sur un banc d'essai reproduisant une pulvérisation réelle et simulée à celle de la chambre de combustion.

Parmi les résultats numériques qui ont été élaborés à partir du banc d'essai et traduits en courbes, l'influence de la pression du carburant sur : le débit, l'angle, et l'homogénéité du jet.

Parmi les conclusions tirées :

- En pré vaporisant le combustible, on évite la formation des flammes de diffusion autour des gouttes lorsqu'elles arrivent dans la zone réactive.
- En pré mélangeant le combustible gazeux avec l'air, on évite la formation des flammes de diffusion (entre l'air et le combustible gazeux).
- Enfin si le prémélange formé est pauvre, on évite les flammes de prémélange stoechiométrique, (on évite aussi la formation d'imbrûlés (meilleur rendement) et la formation de suies).

Les trois règles ci-dessus constituent le principe des injecteurs LPP (Lean Premixed Prevaporised: Pauvre Prémélangé Prévaporisé). Dont l'objectif principal est donc d'alimenter la zone de flamme par un mélange air/combustible le plus homogène et le plus pauvre possible. Plus le mélange sera proche de la limite pauvre d'inflammabilité plus la formation de NOx sera faible.

Et comme perspectives, ce sujet peut être étendu à de nombreux travaux scientifiques, en utilisant l'outil numérique et les résultats obtenus pour la modélisation des injecteurs, la simulation de jet diphasique dans les chambres de combustion par la méthode inverse et recalage, l'utilisation de la vélocimétrie laser pour le calcul de la vitesse de jet, la technique de projection pour l'angle, et la forme de jet.

Bibliographie

- [1] A. Lefebvre. *Gas turbines combustion*. Taylor & Francis, 1998.
- [2] O. Mahias, F. Bastin, F. Ravet, and C. François. *Lean premixed combustor emissions performance modeling using 3d cfd codes*. *AIAA Papers*, 2000-3199, 2000.
- [3] J. Mattingly. *Elements of gas turbine propulsion*. Mc Graw-Hill, 1996.
- [4] G. Bittlinger and N. Brehm. *High pressure combustion test of LPP modules in an axially staged combustor using a multisector rig*. *AIAA Journal*, IS-007, 1999.
- [5] Dr. Suad Al Beely – Dr. Mohamed Debs - Dr. Anwar Abd Elwaheb. *dictionary of chemical engineering english-french-arabic*. ACADEMIA. Beirut.Lebanon. 1996.
- [6] A. Klnin - M. Laborie – M. Ddesbruéres. *Le turbo réacteur et autres moteurs à réaction*. DUNOD. direction générale de la SNECMA. Paris 1958.
- [7] J.P. Thevenon. *Cours sur les turbomoteurs*. Document GPNER.52. centre d'essai en vol. 1^{ère} édition 1984.
- [8] Centre d'instruction TURBOMECA. *Les turbines à gaz*. Notice d'instruction- 1993.
- [9] CFML.INC – CFML.SA - G E. *Component maintenance manual with illustrated parts list fuel nozzle assembly*. Kenn Ainswerth Technical Publications Parker Hannifin GTFSD.
- [10] The Technical Publications Department, Rolls-Royce PL, Derby and England. *The jet engine*. *Rolls-Royce plc 1986*. Cinquième édition réimpressionnée 1996.