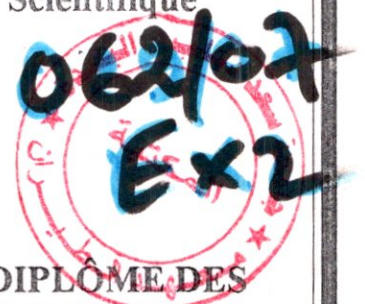


République Algérienne Démocratique et Populaire

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 DIPLOME DES
ÉTUDES UNIVERSITAIRE APPLIQUÉES EN AÉRONAUTIQUE

OPTION : PROPULSION

Thème

*Inspection et maintenance des injecteurs
aéronautique et techniques d'injection*

Présenté par :

Lakhlef Chouaib

Devant le jury :

Renane Rachid
Mokhtari Mohamed
Boudjalel Hayet
Allouche Rachid
Bouziane Mamar

Promoteur
Co-promoteur
président
examineur
examineur

Univ. Blida
Air Algerie
Univ. Blida
Univ. Blida
Univ. Blida

2006 / 2007

Remerciement

Avant tous, je remercie le bon dieu de m'avoir donné le courage, la patience et la capacité de mener ce travail à terme.

Pour débiter ce manuscrit je remercie les individus qui au cours de la thèse ont contribué à son déroulement.

Tout d'abord, je tiens à remercier mes promoteurs, monsieur **Renane Rachid** pour avoir accepté d'être mon encadreur, et je le remercie pour m'avoir bien conseillé et conduit à soutenir une thèse sur un sujet aussi riche, mon co-promoteur, monsieur **Mokhtari Mohamed** qui m'a suivi durant mes travaux au sein de la compagnie AIR ALGERIE.

Je remercie particulièrement Mademoiselle Boudjalel Hayet et messieurs, Allouche Rachid, Bouziane Manar pour m'avoir fait l'honneur d'être les examinateurs de mon mémoire.

Et bien sûr, de profonds remerciements sont destinés à monsieur Boudrae Elhachmi le chef de département (Accessoires Aero), qui m'a accompagné durant mon travail au sein de la compagnie AIR ALGERIE.

Je voudrais, également, présenter mes plus vifs remerciements à mes enseignants pour le savoir aussi précieux, qu'ils m'ont apporté durant mon cycle d'étude.

Parce qu'ils sont géniaux et inoubliables, je remercie les techniciens ; oncle Laraisia Abd Ellah et Laadjel Mohamed

Pour ceux que j'ai oublié qu'ils sachent qu'ils y ont droit eux aussi.
Encore une fois, un grand merci à tous.

A ma famille : Je ne remercierai jamais assez mes parents pour les sacrifices qu'ils ont fait pour moi, pour l'amour qu'il m'ont donné et pour tout ce qu'ils m'ont transmis.

Je remercie aussi mes frères, ma jolie sœur, mes grandes mères, et ma famille entière, mes oncles et mes tantes, mes cousins et cousines pour leur soutien.

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire à :

Mes parents pour leurs soutiens.

Mes frères ; Abd El Rahim, Restom et ma sœur Gouzlane.

Toute la famille que se soit de proche ou de loin.

Promoteur Renane Rachid.

Co-promoteur Mokhtari Mohamed

Messieurs ; Djebbar Hamou, Samir chenati, Aazi Rachide.

Mes collègues de la promotion, Smail, Said, Elkheir, Ishak, Fares,

Naouel, Khedaouedje, Nadia, Aicha, Fatima, Abd Elhak,

Mahmoud, Moad, Lazhar, Lahsen, Khaled, Mahfoudh, Badro, Amel,

Mohamed, Aziz, Kamel, Abd El Monaem et mon cher Oncle Mbarak.

Tous ceux et toutes celles qui occupent une place dans mon cœur.

Chouaib

Sommaire

INTRODUCTION.....	01
CHAPITRE I : périphérie du système d'injection.....	03
I.1- la chambre de combustion.....	03
I.1.1- Introduction	03
I.1.2- Processus de combustion.....	04
I.1.3- Systèmes d'injection de carburant.....	06
I.1.4- Pré-vaporisation.....	06
I.1.5- Types de chambre de combustion	06
I.1.5.1- Chambre de combustion tubulaire.....	07
I.1.5.2- Chambre de combustion Turbo-Annulaire.....	08
I.1.5.3- Chambre de combustion annulaire.....	08
I.1.5.4- Chambre de combustion de type TURBOMECA.....	09
I.1.6- Système d'accrochage de la flamme.....	11
I.1.7- Performances de la chambre de combustion.....	11
I.1.8- Intensité de la combustion	11
I.1.9- Efficacité de la combustion	11
I.1.10- Stabilité de la combustion	12
I.1.11- L'émission des polluants.....	13
I.1.12- La combustion instationnaire partiellement prémélangée.....	13
I.1.13- Matière.....	14
I.2- la turbine.....	15
I.2.1- Introduction.....	15
I.2.2- Transfère d'énergie à la turbine par l'écoulement des gaz.....	19
I.2.3- Construction.....	21
I.2.4- Aubes de guidage	21
I.2.5- Ailettes turbine.....	22
I.2.6- Turbine Contre-tournante.....	23
I.2.7- Disques double alliage.....	23
I.2.8- Assortiment Compresseur-turbine.....	24
I.2.9- Matériaux.....	24
I.2.10- Equilibrage	27
CHAPITRE II : Technologie des injecteurs et technique d'injection.....	28
II.1- Introduction.....	28
II.2- Systèmes d'injection de carburant et différents types d'injecteurs.....	29
II.2.1- Injection par "injecteur simple".....	29
II.2.2- Injection par "injecteur double".....	33
II.2.3- Injection à pré-vaporisation.....	34
II.2.4- Injection centrifuge.....	36
II.2.5- Injection centrifuge, alimentation latérale.....	37
II.3- Chauffage du combustible.....	37
II.4- Effet d'un changement de combustible.....	37
II.5- Les combustibles de la turbine à gaz.....	38
II.6- Spécification de combustible.....	38

II.7- Le bouclage et l'ébullition du vapeur	40
II.8- Contrôle de la contamination du fuel.....	40
II.9- La technologie LPP.....	40
II.9.1- Description des LPP.....	40
II.9.2- Problèmes liés aux LPP.....	41
CHAPITRE III : Présentation des injecteurs mises en teste.....	45
III.1- Circuit carburant du moteur ALLISON 501-D22A.....	45
III.1.1-Injecteur carburant du moteur ALLISON 501-D22A.....	46
III.1.2- Description.....	46
III.1.3- fonctionnement.....	47
III.2.- Circuit carburant du moteur JT8D.....	50
III.2.1- Injecteur carburant du moteur JT8D.....	50
III.2.2- Description.....	50
III.2.3- Opération.....	51
III.3- Circuit carburant du moteur CF6-80.....	54
III.3.1- Injecteur carburant du moteur CF6-80.....	55
III.3.2- Description.....	55
IV.3.3- Opération.....	57
CHAPITRE IV : Inspection et maintenance.....	59
IV.1- inspection et maintenance de l'injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A.....	59
IV.1.1- Désassemblage.....	59
IV.1.2- Nettoyage chimique.....	60
IV.1.3- Inspection visuelle et dimensionnelle.....	60
IV.1.4- Réparation.....	63
IV.1.5- Assemblage et serrage	63
IV.1.6- test d'étalonnage	64
IV.1.7- Contrôle d'hystérésis.....	64
IV.1.8- Recherche de panne	70
IV.1.9- Test de fuite.....	72
IV.1.10- Stockage.....	72
IV.1.11- Résultats	72
IV.2- Inspection et maintenance de l'injecteur équipant le moteur JT8D.....	73
IV.2.1- Désassemblage.....	73
IV.2.2- Nettoyage chimique.....	74
IV.2.3- Inspection visuelle et dimensionnelle.....	76
IV.2.4- Réparation.....	77
IV.2.5- Assemblage et serrage.....	79
IV.2.6- Test d'étalonnage.....	81
IV.2.7- Recherche de panne.....	83
IV.2.8- Test de fuite.....	84
IV.2.9- Stockage.....	84
IV.2.10- Résultats	86
IV.3- Inspection et maintenance de l'injecteur équipant le moteur CF6-80.....	88
IV.3.1- Test d'étalonnage.....	88
IV.3.2 - Test de débit à travers la bague d'extrémité d'air.....	89
IV.3.3- Test de fuite.....	91
IV.3.4- Stockage.....	92

E

CHAPITRE V : Résultats et commentaires.....	94
V.1- introduction	94
V.2- Résultats et commentaires.....	97
V.3- comparaison	109
V.4- Conclusion	110
CONCLUSION & PERSPECTIVES	111
BIBLIOGRAPHIE	112
ANNEXE - I	113
ANNEXE - II	
ANNEXE - III	126

Liste des figures :

INTRODUCTION :

Fig.1 Dégâts provoqués par un mauvais fonctionnement de l'injecteur.....	02
--	----

CHAPITRE I : Périphérie du système d'injection

Fig.I.1 Les premiers types de chambre de combustion.....	03
Fig.I.2 Répartition du flux d'air.....	04
Fig.I.3 Stabilisation de la flamme et modèle général de flux d'air.....	05
Fig.I.4 Méthodes de refroidissement de tube à flamme.....	05
Fig.I.5 Une chambre de pré-vaporisation.....	06
Fig.I.6 Le premier type de chambre de combustion (Whittle).....	07
Fig.I.7 Chambre de combustion multiple.....	07
Fig.I.8 Chambre de combustion tubo-annulaire.....	08
Fig.I.9 Chambre de combustion annulaire.....	09
Fig.I.10 Chambre de type TURBOMECA.....	10
Fig.I.11 L'efficacité de la combustion et le rapport air/carburant.....	12
Fig.I.12 Les limites de la stabilité de combustion.....	13
Fig.I.13 Injecteur de type LPP.....	14
Fig. I.15 Une turbine de trois étages avec un seul axe.....	16
Fig. I.16 Une turbine à deux axes.....	16
Fig.I.17 Une turbine de trois étages et trois axes.....	17
Fig. I.18 Exemple d'une turbine libre.....	18
Fig. I.19 Comparaison entre une turbine impulsion pure et une turbine pulse/réaction.....	19
Fig.I.20 Une apparence typique d'une ailette turbine tordu.....	20
Fig.I.21 L'allure d'écoulement d'un étage turbine.....	20
Fig.I.22 Forme et emplacement des aubes de guidage du stator.....	21
Fig.I.23 Différents méthodes d'attachement d'ailettes aux disques turbine.....	22
Fig.I.24 Turbine libre contre-tournante.....	23
Fig. I.25 Section d'un disque double alliage.....	24
Fig.I.27 Comparaison des propriétés de la vie d'une ailette turbine.....	25
Fig.I.26 Les différents structures des aubes.....	26
Fig.I.28 Exemple d'une ailette en céramique.....	27
Fig.I.29 Machine d'équilibrage.....	27

CHAPITRE II : Technologie des injecteurs et technique d'injection

Fig.II.1 Injection simple	29
Fig.II.2 Indications de degré d'atomisation	30
Fig.II.3. Injecteur de type simplex.....	31
Fig.II.4. Injecteur de type Lubbock.....	32
Fig.II.5. Injecteur de type atomiseur.....	33
Fig.II.6. Injection double.....	33
Fig.II.7. Injecteur de type duplex.....	34
Fig.II.8. Injection à pré-vaporisation.....	35
Fig.II.9. Injecteur de type vaporisateur.....	35
Fig.II.10. Distributeur de débit carburant	36
Fig.II.11. Injection centrifuge.....	36
Fig.II.12. Injection centrifuge avec alimentation latérale.....	37

Fig.II.13. Relation entre la valeur calorifique et la densité.....	39
Fig.II.14: Tube LPP BE01 (à droite) et BE03 (à gauche) développés par SNECMA.....	41
Fig.II.15 : Schéma d'un LPP Snecma.....	41
Fig.II.16 : Photo d'un LPP en fonctionnement.....	42
Fig.II.17 : Coupe d'un LPP Rolls-Royce.....	42
Fig.II.18 : Coupe dans une chambre annulaire à deux têtes.....	43
Fig.II.19 : Vue en perspective d'une section d'une chambre à deux têtes Snecma.....	43
Fig.II.20 : Schéma du phénomène de Flash-back.....	44

CHAPITRE III : Présentation des injecteurs mises en teste

Fig.III.1 : Schéma de système carburant.....	45
Fig.III.2 Schéma éclaté de l'injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A.....	46
Fig.III.2. Schéma réel éclaté du même injecteur.....	47
Fig.III.3 Schéma opérationnel de l'injecteur.....	48
Fig.III.4 L'évolution de débit en fonction de la pression.....	49
Fig.III.5 Circuit carburant du moteur JT8D.....	51
Fig.III.6 Composants externes de l'injecteur.....	52
Fig.III.7 Schéma éclaté de l'injecteur.....	53
Fig.III.8 Le fonctionnement de l'injecteur.....	54
Fig.III.9 Circuit carburant du moteur CF6-80.....	55
Fig.III.10 Injecteur à double débit.....	56
Fig.III.11 Injecteur à simple débit.....	58

CHAPITRE IV : Inspection et maintenance

Fig.IV.1 Mesure d'angle de jet.....	65
Fig.IV.2 Pulvérisation du carburant acceptable.....	66
Fig.IV.3 Pulvérisation du carburant non acceptable.....	67
Fig.IV.4 Pulvérisation du carburant non acceptable.....	68
Fig.IV.5. Pulvérisation du carburant non acceptable.....	69
Fig.IV.6: Graphe des résultats de l'injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A...	73
Fig.IV.7 L'outillage spécifique pour la maintenance des injecteurs.....	75
Fig.IV.8 Les sections de passage du calibre.....	80
Fig.IV.9 Capotage de l'injecteur.....	81
Fig.IV.10 Teste d'angle.....	82
Fig.IV.11 Fixation de l'injecteur.....	85
Fig.IV.12 Graphe des résultats de l'injecteur équipant le moteur JT8D.....	86
Fig.IV.13 Graphe des résultats de l'injecteur équipant le moteur JT8D.....	87
Fig.IV.14 Test d'angle.....	89
Fig.IV.15 Formes de jet.....	90
Fig.IV.16 Montage d'un teste de fuite externe.....	91
Fig.IV.17 Montage d'un teste de fuite interne.....	93

CHAPITRE V : Résultats et commentaires

Fig.V.1 Fiche de test injecteur JT8D.....	94
Fig.V.2 Tableau des valeurs vues sur banc d'essai de l'injecteur JT8D.....	95
Fig.V.3 Feuille de test injecteur ALLISON 501-D22A.....	96
Fig.V.4 Graphe 1, représentant le Tableau 1.....	97
Fig.V.5 Graphe 2, représentant le Tableau 2.....	98
Fig.V.6 Graphe 3, représentant le Tableau 3.....	99
Fig.V.7 Graphe 4, représentant le Tableau 4.....	100

Fig.V.8	Graphe 5, représentant le Tableau 5.....	101
Fig.V.9	Graphe 6, représentant le Tableau 6.....	102
Fig.V.10	Graphe 7, représentant le Tableau 7.....	103
Fig.V.11	Graphe 8, représentant le Tableau 8.....	104
Fig.V.12	Graphe 9, représentant le Tableau 9.....	105
Fig.V.13	Graphe 10, représentant le Tableau 10.....	106
Fig.V.14	Graphe 11, représentant le Tableau 11.....	107
Fig.V.15	Graphe 12, représentant le Tableau 12.....	108
Fig.V.16	Courbe inversée de débit du graphe 1	109
Fig.V.17	Courbe de débit idéal	109

ANNEXE – I : Description sur le Banc d’essais

Fig.I.1	Face 1 frontale du banc d’essai.....	114
Fig.I.2	Pupitre de commande.....	115
Fig.I.3	Pupitre d’affichage.....	115
Fig.I.4	Face 2 du banc d’essai.....	117
Fig.I.5	Pupitre de contrôle et de raccords.....	117
Fig.I.6	La tourelle.....	120
Fig.I.7	Le bac d’émersion du banc d’essais.....	121
Fig.I.6.A	Schéma électrique du banc.....	123
Fig.I.6.B	Schéma électrique du banc.....	123
Fig.I.6.C	Schéma électrique du banc.....	124

ملخص

يتركز عملنا على مراقبة وصيانة الحواقن المستعملة في مجال الطيران، لضمان الشروط المساعدة على المردود الجيد لغرفة الاحتراق. حيث إذا كان الحاقن جيد ويؤدي دوره على أكمل وجه فهذا ينعكس مباشرة على عمر المحرك.

ولهذا فإن صيانة الحاقن يجب أن تكون على قدر كبير من الحذر واليقظة لسلامة أمن الإنسان والتجهيزات بصفة عامة، وفي الأخير قصد إثبات وتقييم عملنا قمنا بتسجيل بعض النتائج من اختبار المعايرة لبعض أنواع الحواقن وقمنا بتحويلها إلى منحنيات بيانية والتي تسمح لنا بمراقبة الخصائص الفيزيائية للحاقن المختبر، ومنه التنبؤ بمميزات الاحتراق الناتج وكذا عمر غرفة الاحتراق وشفرات العنفة.

Résumé

Ce travail consiste l'inspection et la maintenance des injecteurs aéronautique 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.

Pour cela, la maintenance de l'injecteur doit être accomplir avec une vigilance particulière, afin d'assurer la sécurité de l'être humain et des installations.

Pour la validation de notre travail on a pris des résultats de quelques types d'injecteurs, obtenus dans le test d'étalonnage au cours de notre stage pratique. Ces résultats numériques sont convertis à des graphes bidimensionnels, qui permettent de voir l'évolution des différents paramètres physiques de contrôle du bon fonctionnement de l'injecteur mis sous test, et prédire les performances de la combustion produite, ainsi la durée de vie de la chambre de combustion et les aubes turbine.

Summary

This work consists the inspection and maintenance of the aeronautical injectors in order to ensure the best conditions of the good output of the engine's hot section (combustion chamber and turbine), because a good injector lengthens considerably the life of an engine.

For that, the maintenance of the injector must be achieved with a particular vigilance, in order to ensure the safety human being and installations.

For the validation of our work we have took results of some injectors, obtained in the test of calibration during our practical training course. These numerical results are converted with two-dimensional graphs, which make it possible to see the evolution of the various physical controls parameters in the correct operation of the injector put under test, and to predict the performances of produced combustion, thus the lifespan of the combustion chamber and turbine blades.

Introduction



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 montré sur la (Fig.1). 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.

Le premier chapitre de ce mémoire, consiste à faire une description détaillée sur les modules du turboréacteur qui ont une relation directe avec l'injecteur, autrement dit "les périphéries du système d'injection" à savoir la chambre de combustion et la turbine. Dans la première partie on présente les différents types de conception des chambres de combustion ainsi son processus de fonctionnement, et les techniques d'injection de fuel pour chaque type. Dans ce contexte, on fait une synthèse sur l'utilisation de nouvelle technologie (la technologie des LPP) pour l'amélioration des performances de combustion et la minimisation des instabilités de cette dernière. Tandis que, dans la deuxième partie du chapitre I, on présente le deuxième module concerné par le bon fonctionnement de l'injecteur, c'est "la turbine et ses organes", en commençant par sa définition, son fonctionnement, sa transformation de l'énergie et la production de poussée. En outre nous présentons les différents types de turbine, aussi les différents matériaux utilisés et quelques traitements thermiques pour le remède des problèmes encourus.

Dans le chapitre II on présente les différents systèmes d'injections utilisées dans les turbomachines et leurs processus de fonctionnement, ainsi, les types d'injecteurs avec leurs propriétés et leurs domaine d'utilisation, en commençant par le plus simple "SIMPLEX" qui est utilisé dans les enceintes moteurs, le LUBBOCK, l'ATOMISEUR, le SPILL, le DUPLEX... etc, et en terminant par la technologie moderne des LPP et ces avantages via la diminution des polluants ainsi les niveaux sonores.

Dans le chapitre III, on a sélectionné trois types d'injecteurs différents, (l'injecteur de type DUPLEX du moteur ALLISON 501-D22A, l'injecteur à double début du moteur JT8D et l'injecteur carburant du moteur CF6-80) pour la maintenance sur le banc d'essai, dans ce chapitre on présente les différents circuits de carburant de chaque moteur et le principe de fonctionnement de leurs injecteurs.

L'inspection et la maintenance de ces injecteurs est l'objet du chapitre IV, où on décrit les différents méthodes et 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 (voir annexe 1) où on vérifié certains paramètres physique 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'opération et de réglage appelée recherche de panne dans le but de mise en état de l'injecteur. Dans le dernier chapitre, on va présenter les résultats de quelques types d'injecteurs, obtenues dans le test d'étalonnage au cours de notre stage

pratique. Ces résultats numériques sont convertis à des graphes bidimensionnels, qui permettent de voir l'évolution des différents paramètres physiques de contrôle du bon fonctionnement de l'injecteur mis en test, ainsi, les courbes réalisés a partir des résultats obtenues par le banc d'essais, nous permettent de juger si l'injecteur est fonctionnel lorsque les paramètres mesurés sont dans les limites de l'intervalles de tolérances donné par le constructeur, ou on doit le mettre hors service dans le cas contraire.

Finalement, on termine ce mémoire par une conclusion où on va rappeler l'intérêt de notre travail, quelques résultats obtenus durant mon stage pratique, et les perspectives de notre sujet.

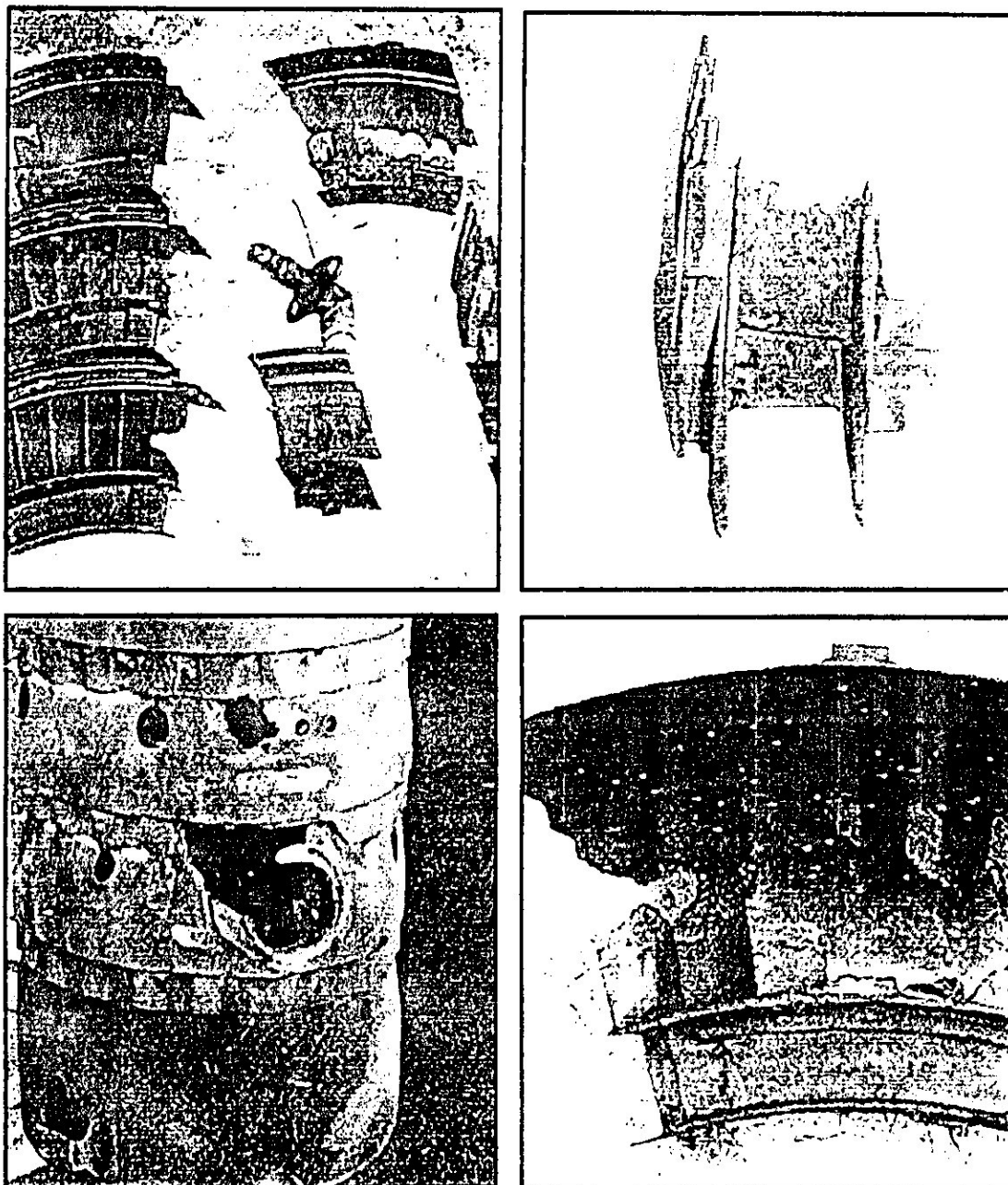


Fig.1 Dégâts provoqués par un mauvais fonctionnement de l'injecteur sur la chambre de combustion et les aubes turbine. [Photo réelle prise à l'unité de rénovation des aéronefs de transport de Boufarique, Moteur Allison C130].

Chapitre I

**Périphéries du système d'injection
(chambre de combustion et turbine)**

I- Périphéries du système d'injection

I.1- la chambre de combustion

I.1.1- Introduction

- Le rôle de la chambre de combustion est de brûler des grandes quantités de combustible fournis par les injecteurs, avec un volume étendu d'air délivré par le compresseur. La combustion efficace est devenue de plus en plus importante en raison de l'élévation rapide du trafic d'avion commercial et de l'augmentation conséquente de la pollution atmosphérique [10].

I.1.2- Processus de combustion

- L'air venant du compresseur pénètre dans la chambre de combustion avec une vitesse de près de 152.4 m/s, à cette vitesse la combustion ne peut être accomplie à cause du décrochage de la flamme, d'où l'utilité d'utiliser des techniques de réduire la vitesse de l'écoulement dans la chambre de combustion, et d'après les constructeurs cette vitesse est d'environ 24m/s.

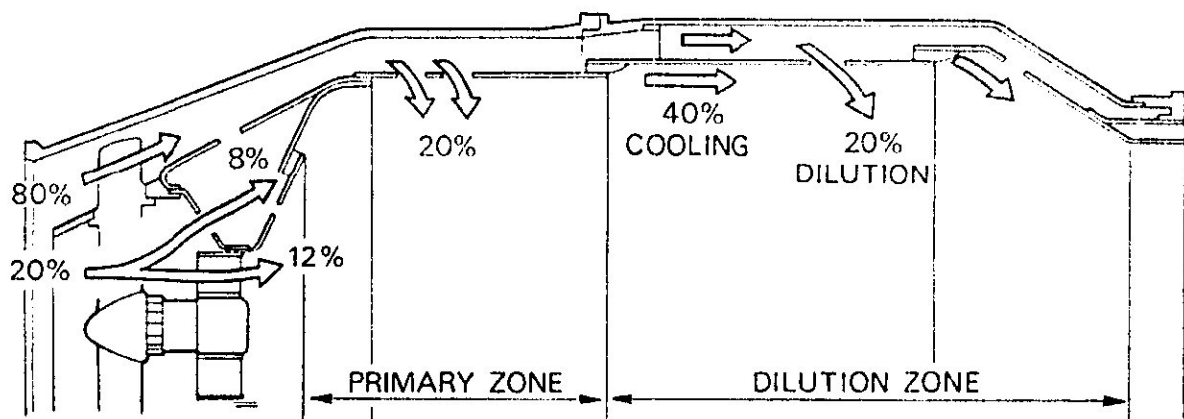


Fig.I.2 répartition du flux d'air

- En admettant que la forme conique du jet de carburant croise le tourbillon de recyclage vers son centre. Cette action, avec la turbulence générale dans la zone primaire, aide considérablement la décomposition de fuel et son brassage avec l'air frais.

- La température des gaz dégagée par la combustion est d'environ 1800 à 2000°C qui est trop chaude pour entrer aux aubes directrices de la turbine.

- Remarque

- La conception d'une chambre de combustion et la méthode d'introduire le carburant peuvent changer considérablement, mais la distribution de flux d'air employée pour effectuer et maintenir la combustion est toujours semblable.

I.1.3- Systèmes d'injection de carburant

- Les réactions d'oxydation constituant la combustion se produisent dans la phase gazeuse, il est nécessaire par conséquent d'injecter le combustible dans la chambre de combustion sous une forme aussi voisine que possible de l'état gazeux.

Deux méthodes sont employées injection directe et injection avec pré-vaporisation. En ce qui concerne l'injection directe, elle peut se faire dans le sens du courant ou bien à contre-courant (chapitre II) [6].

I.1.4-La pré-vaporisation

Certains constructeurs préfèrent employer la pulvérisation préalable ou pré-vaporisation.

L'injecteur dans ce cas pulvérise le combustible dans un ou plusieurs tubes où circule de l'air chaud venant du compresseur

Un tel système, s'il semble moins sensible aux variations rapides du débit d'air du compresseur (en accélération et surtout en décélération brusque) à cause de sa propre inertie, est certainement d'une mise au point plus délicate. En principe, il permet d'augmenter le rapport de combustion.

I.1.5- Types de chambre de combustion

- Il y a trois types principaux de chambre de combustion en service pour les turbomoteurs. Ce sont la chambre multiple ou tubulaire, la chambre tubo-annulaire et la chambre annulaire.

I.1.5.1- Chambre de combustion tubulaire

- Ce type de chambre de combustion est utilisé sur les moteurs équipés par des compresseurs centrifuges et les premiers types de moteurs à compresseur axial.

I.1.5.2- Chambre de combustion Tubo-Annulaire

- La chambre de combustion tubo-annulaire établit le lien évolutionnaire entre les types multiples et annulaires.

I.1.5.3- Chambre de combustion annulaire

- Ce type de chambre de combustion consiste un seul tube à flamme complètement annulaire dont sa forme est formée par les deux carters, interne et externe.

I.1.5.4- Chambre de combustion de type TURBOMECA

C'est une chambre annulaire à écoulement direct et injection centrifuge de carburant (Fig.I.10) [8].

- L'utilisation de l'injecteur à air comme étant un dispositif de pulvérisation du carburant dans ce type de chambre de combustion améliore considérablement la préparation du carburant pour la combustion, en aérant des poches trop riches de vapeurs de carburant près du gicleur ; ceci a comme avantage une grande réduction de formation initiale de carbone.

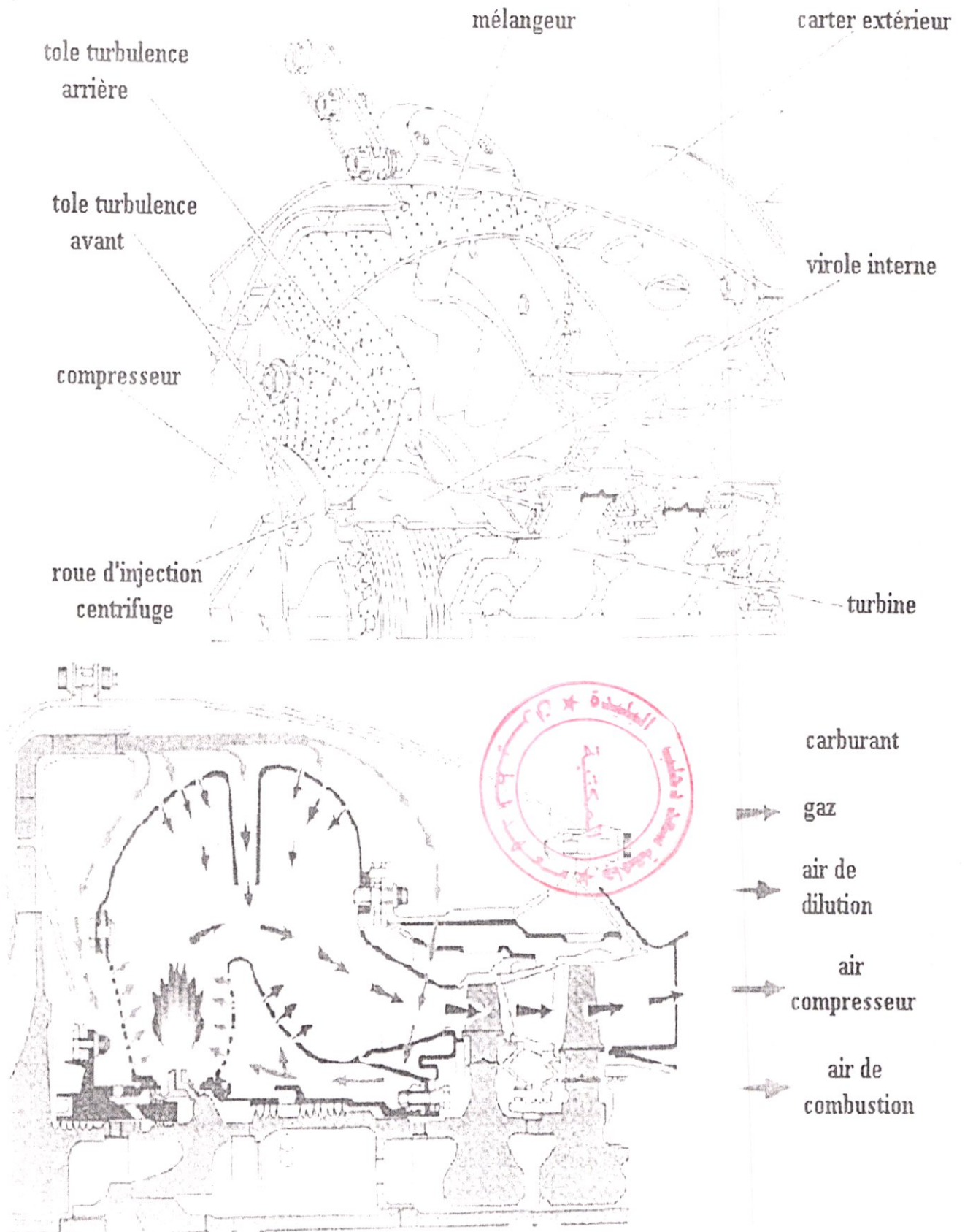


Fig.I.10 chambre de type TURBOMECA

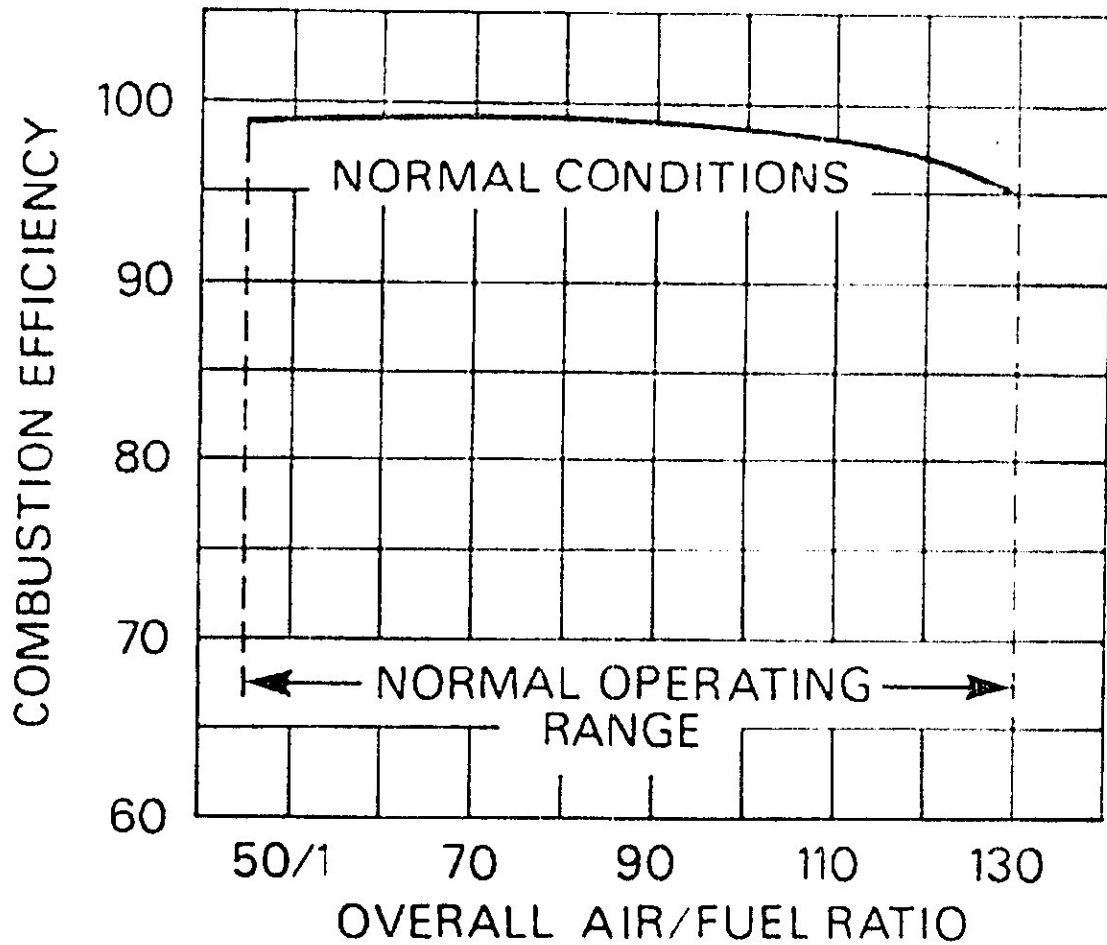


Fig.I.11 l'efficacité de la combustion en fonction du rapport air/carburant

I.1.10- Stabilité de la combustion

- La stabilité de la combustion est l'entraînement régulier de l'inflammation et la capacité de maintenir la flamme allumée sur une large gamme d'exploitation. Pour n'importe quel type particulier de chambre de combustion il y a une limite riche et pauvre au rapport air/carburant, au-delà de cette limite la flamme sera éteinte.

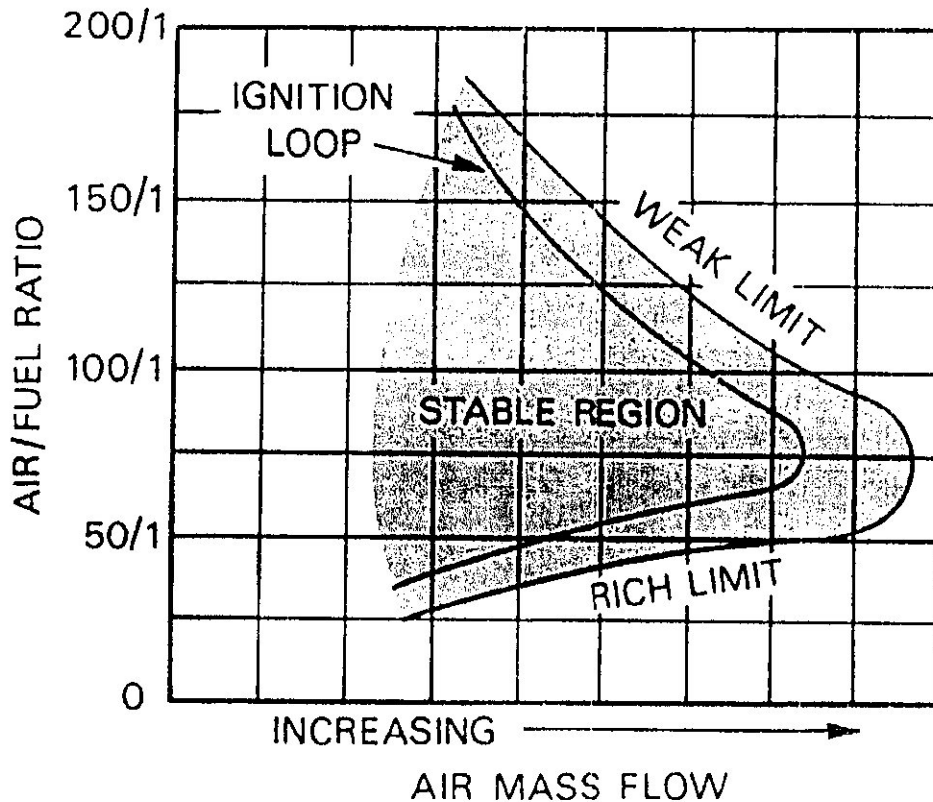


Fig.I.12 les limites de la stabilité de combustion

I.1.11- L'émission des polluants

- Les polluants non désirés qui sont trouvés dans les gaz d'échappement sont créés dans la chambre de combustion. Il y a quatre polluants principaux qui sont contrôlés législativement; hydrocarbure non brûlé (fuel non brûlé), fumée (particules du carbone), oxyde de carbone et oxydes d'azote. Les principales conditions qui affectent la formation de polluants sont la pression, la température et le temps [10].

I.1.12- La combustion instationnaire partiellement prémélangée

- Avec l'augmentation continue du trafic aérien, les normes en matière de pollution sont de plus en plus strictes: les rejets d'oxyde d'azote (NOx) et de monoxyde de carbone (CO) doivent diminuer pour que les réacteurs d'avions puissent être certifiés. De plus pour rester compétitif, le rendement des réacteurs doit être amélioré et le niveau des nuisances sonores doit diminuer.

Les objectifs précédents ont guidé la conception de nouveaux injecteurs de carburant liquide: les injecteurs LPP.

La mise au point des injecteurs LPP passe par la résolution de nouveaux problèmes pour ce type de systèmes. Il s'agit de phénomènes instationnaires complexes comme les instabilités de combustion, les remontés de flamme et les extinctions.

- Principe des LPP

- La majeure partie des oxydes d'azote (NOx) se forme lorsque les températures de fin de combustion sont élevées. Ces hautes températures sont produites par les flammes de prémélange stoechiométrique et de diffusion. Dans un foyer aéronautique le combustible liquide et l'oxydant

gazeux sont injectés séparément. Un des moyens pour réduire la formation de NOx est de prévaporer le combustible et de le mélanger à l'air en amont de la zone réactive:

- En prévaporisant le combustible, on évite la formation de 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 de 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 (**Fig.I.13**) (LPP signifie Lean Premixed Prevaporised: Pauvre Prémélangé Prévaporisé). L'objectif principal des LPP est donc d'alimenter la zone de flamme par un mélange air/combustible le plus homogène et le plus pauvre possible [1.2.3]. Plus le mélange sera proche de la limite pauvre d'inflammabilité plus la formation de NOx sera faible.

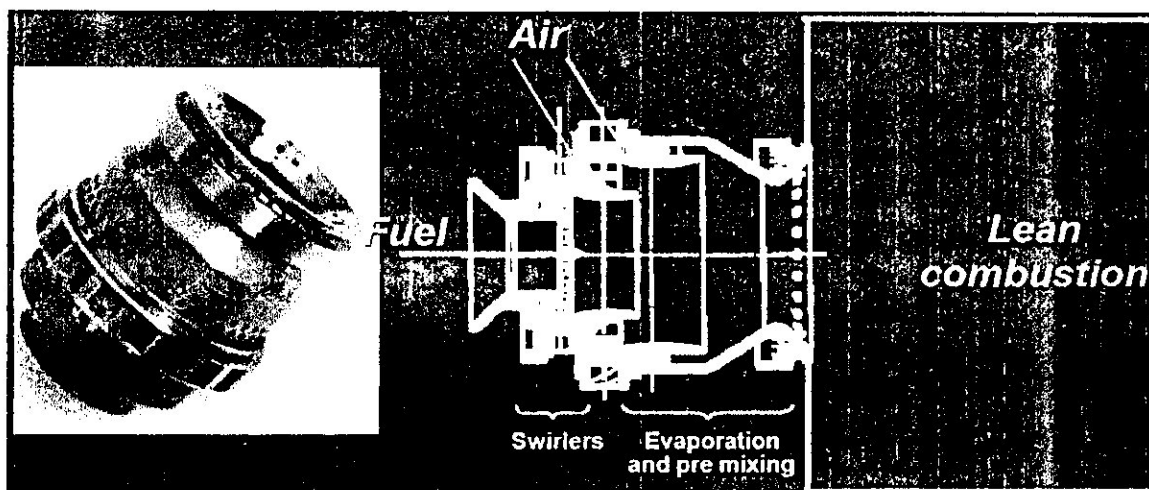


Fig.I.13 injecteur de type LPP

I.1.13- Matière

- La chambre de combustion ainsi que les turbines sont des secteurs stratégiques, car ils sont à l'origine de la limitation de puissance des moteurs. La température d'entrée de la chambre de combustion est de 850°C. Si on pouvait l'augmenter jusqu'à 1250°C on obtiendrait 20% de gain sur la poussée du moteur. Il est donc très important d'avoir des matériaux particulièrement résistants aux hautes températures. Développer de tels matériaux permettrait non seulement d'améliorer les performances du moteur, mais aussi de simplifier les systèmes de refroidissement. Ceux qui sont utilisés en aéronautique sont les superalliages à base de nickel et de chrome. Ils satisfont plus ou moins les exigences suivantes :

- Une bonne résistance au fluage (c'est-à-dire le fait pour un matériau de se déformer à chaud sous l'action d'une contrainte constante) à température aussi élevée que possible ;
- Une bonne résistance à la corrosion par les gaz de combustion ;

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

1.2- la turbine

1.2.1- Introduction

- La turbine est un organe qui assure l'entraînement du compresseur et les accessoires, en prélevant une part d'énergie au jet des gaz sortant de la chambre de combustion. Le reste sert à fournir la poussée, et dans le cas des turbopropulseurs, à fournir la puissance de l'arbre, pour une hélice ou un rotor [10].

Le nombre d'arbres et de turbines, change avec le type du moteur ; Les moteurs à haut rapport de compression ont habituellement deux axes, tournant des compresseurs de double étage, haute et basse pression (fig. I.16).

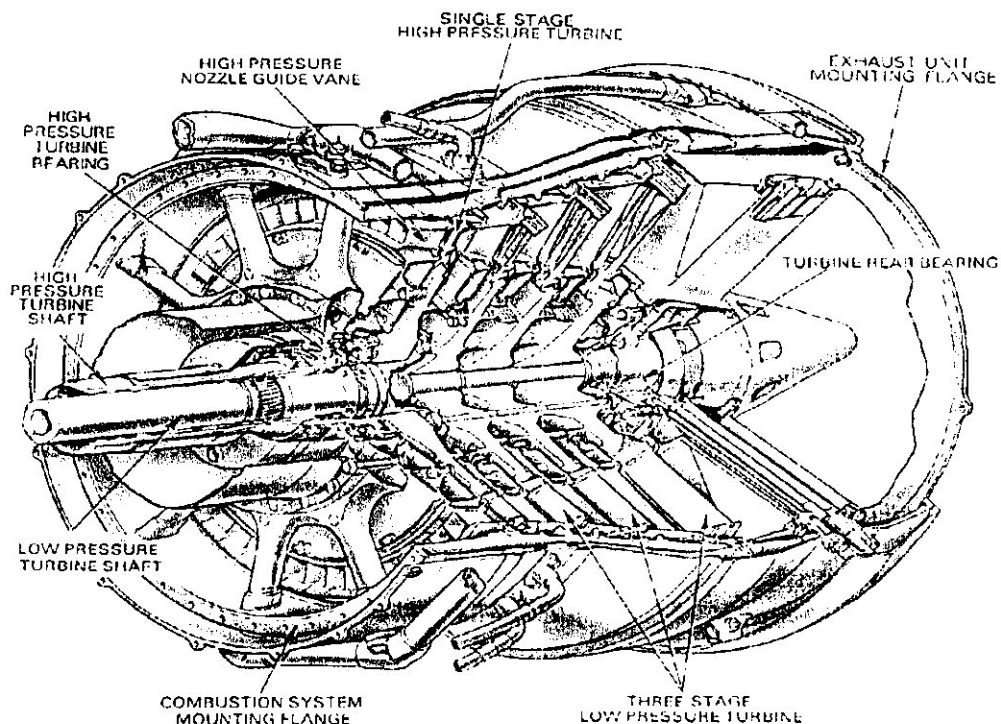


Fig. I.16 une turbine à deux axes

- Sur les moteurs de haut taux de dilution comportent un système intermédiaire de pression, une autre turbine peut être interposée entre les deux turbines, de ce fait formant un système de triple-bobine.

- Sur quelques moteurs, le couple-moteur est dérivé d'une turbine de puissance libre. Cette méthode permet à la turbine de fonctionner à sa vitesse optimum parce qu'elle est mécaniquement indépendante.

- La vitesse moyenne d'une ailette turbine, a l'effet considérable sur l'efficacité maximum d'un étage donné.
- pour obtenir l'efficacité optimum, compatible avec le compresseur et la forme de la chambre de combustion, la conception des aubes de guidage et les ailettes turbine, est basée sur des considérations aérodynamique.
- Dans le type à réaction les aubes de guidage du stator sont conçues pour changer le sens d'écoulement des gaz sans changer la pression. Les passages convergents des aubes, éprouvent une force de réaction résultant de l'expansion et de l'accélération des gaz.
- Généralement dans les turbomoteurs on ne trouve pas le type action seul ou réaction seul, mais on trouve la combinaison impulsion-réaction (fig.I.19). La proportion de la conception d'une turbine, dépend en grande partie de type du moteur dans lequel la turbine doit fonctionner, mais en général, elle est environ de 50% par action et de 50% par réaction. Les turbines de type action sont employées pour des démarreurs pneumatiques et des missiles [10].

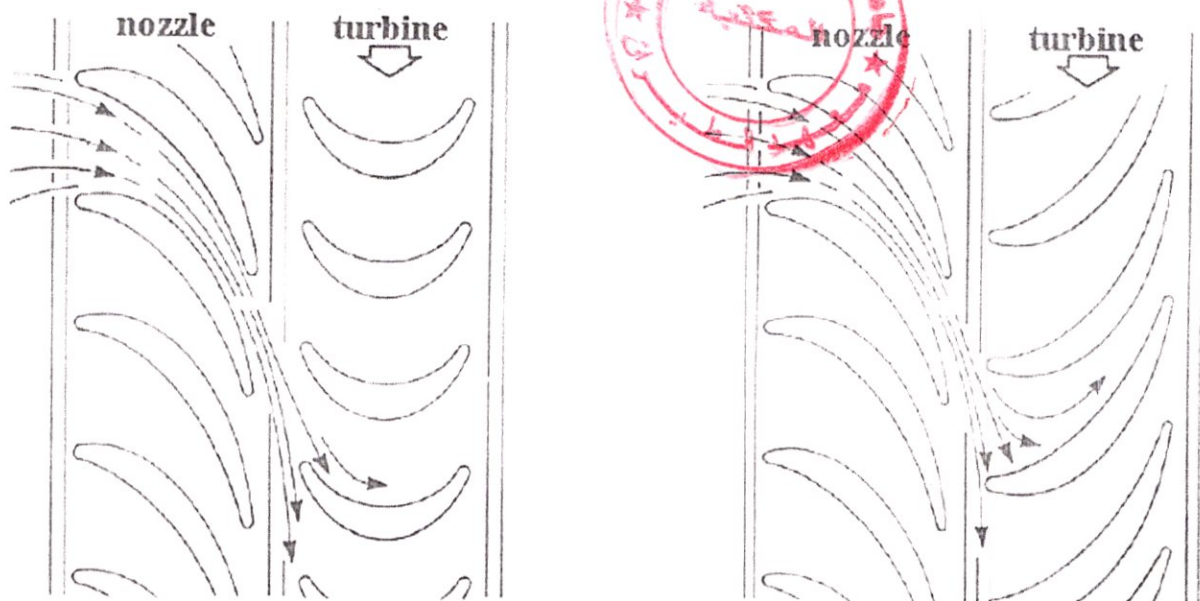


Fig. I.19 Comparaison entre une turbine impulsion pure et une turbine impulsion/réaction.

I.2.2- Transfère d'énergie à la turbine par l'écoulement des gaz

- la turbine dépend pour son opération, du transfert d'énergie entre les gaz de la combustion et elle même [7].
- Sur l'impact avec les aubes, et pendant la réaction suivante par ces dernières, de l'énergie est absorbée, faisant tourner la turbine à la grande vitesse et ainsi fournir la puissance pour tourner l'arbre de turbine et de compresseur.
- La raison de la torsion est d'obliger les gaz décollés du système de combustion, de faire égalier le travail à toutes les positions sur la longueur d'aube, et s'assurer que l'écoulement pénètre le dispositif d'échappement avec une vitesse axiale uniforme (fig.I.21) [10].

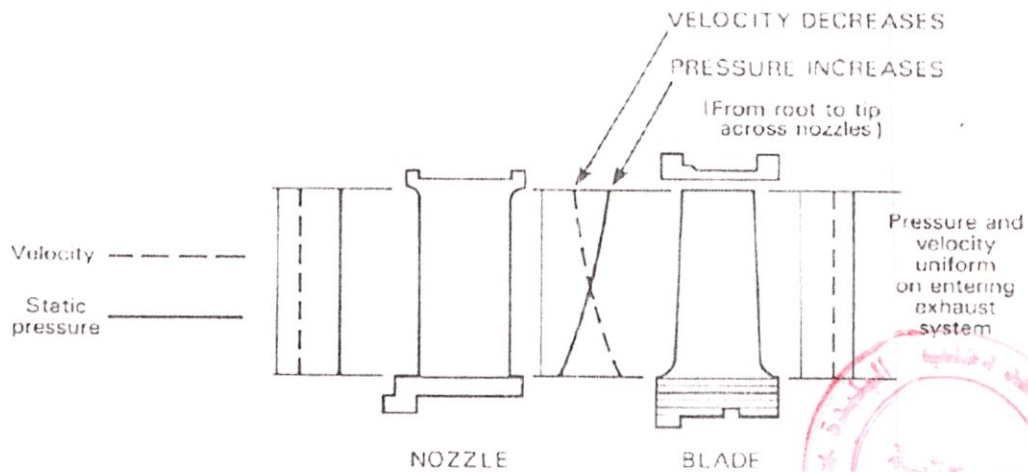


Fig.I.21 l'allure d'écoulement d'un étage turbine

I.2.3- Construction

- Les composants de base de la turbine sont les veines de décharge de combustion, les aubes de guidage du stator, les disques turbine et les ailettes turbine. L'ensemble tourne sur les roulements qui sont montés dans le carter turbine et l'axe de turbine qui peut être commun avec l'arbre de compresseur ou être relié avec lui par un accouplement auto-aligneur.

I.2.4- Aubes de guidage

- Les aubes de guidage du stator ont une forme de profil aérodynamique, avec le passage entre les aubes adjacentes formant une canalisation convergente. Les aubes sont situées dans le carter turbine.

I.2.5- Ailettes turbine

- Les ailettes turbine sont d'une forme de profil aérodynamique, conçues pour fournir des passages entre les aubes adjacentes, qui donnent une accélération régulière de l'écoulement jusqu'au col, où l'aire est plus petit et des extensions de vitesse sont exigées à la sortie, pour produire le degré de réaction demandé. L'aire effectif de chaque coupe transversale d'aube, est fixé par l'effort autorisé sur la matière employée, et par la taille de tous les orifices de refroidissement.

- L'ailette est libre dans les dentelures quand la turbine est stationnaire, et elle sera raidie dans la racine par le chargement centrifuge, quand la turbine tourne [10].

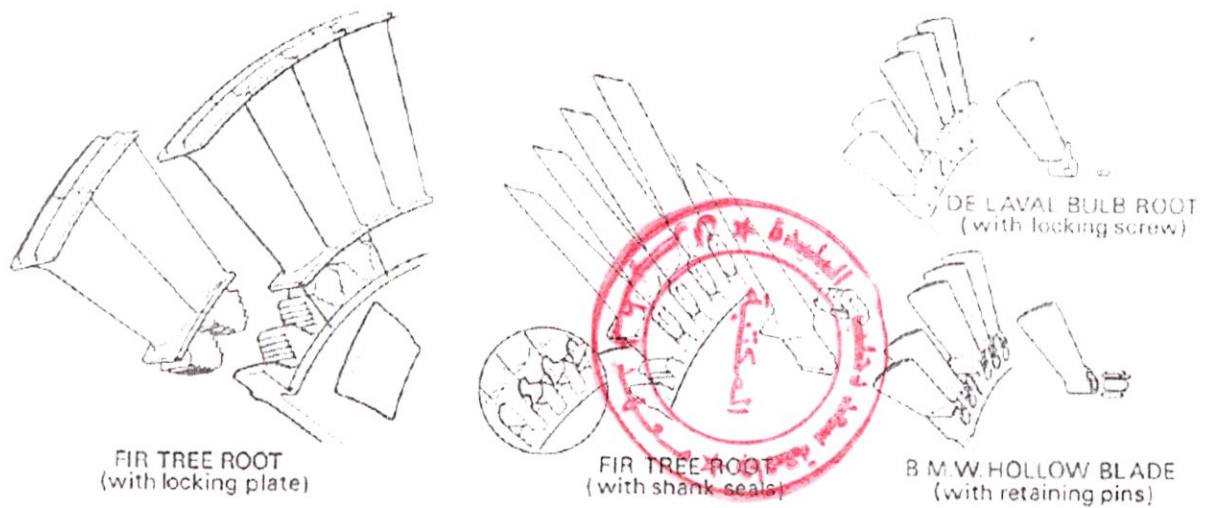


Fig.I.23 Différents méthodes d'attachement d'ailettes aux disques turbine.

- De diverses méthodes d'attachement des aubes sont montrées dans la (fig.I.23); actuellement, l'aube creuse de B.M.W. et les types de racine d'ampoule de la fixation Laval ne sont pas employés sur les turbomoteurs.

I.2.6- Turbine Contre-tournante

- La (fig.I.24) montre un étage contre-tournant d'une turbine libre conduisant un fan arrière contre-tournant. Cette conception a une seule rangée d'aubes de guidage. Les autres aubes de guidage sont en effet des aubes turbine attachées à une enveloppe tournante, et qui tourne dans la direction opposée d'un tambour rotatif. Puisque tout sauf une rangée de profil aérodynamique extrait l'énergie à partir du jet des gaz, les turbines contre-tournantes sont capables de fonctionner avec des charges et nombre d'étages beaucoup plus élevés que les turbines conventionnelles, et les rendent attractifs pour des applications d'entraînement direct [10].

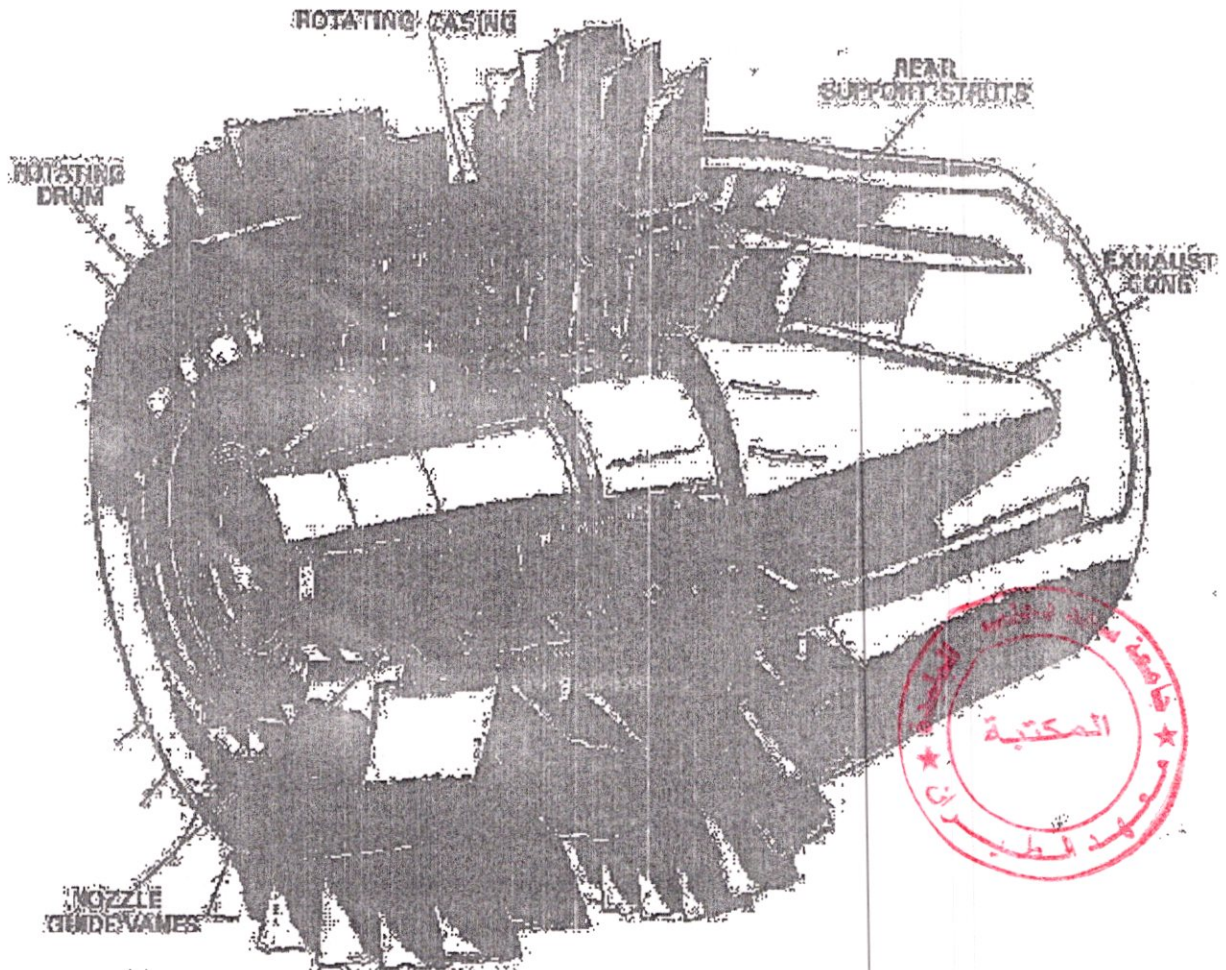


Fig.I.24 turbine libre contre-tournante

I.2.7- Disques double alliage

- Des efforts importants sont imposés sur les racine de fixation des aubes turbine, et ont un taux de travail élevé, qui rendent des méthodes conventionnelles d'attachement des ailettes impraticables. Un disque double alliage, ou blisk comme montre la (fig.I.25), a un anneau des aubes turbine moulées et collées sur le disque. Ce type de turbine convient aux petits moteurs d'hélicoptère de puissance élevée.

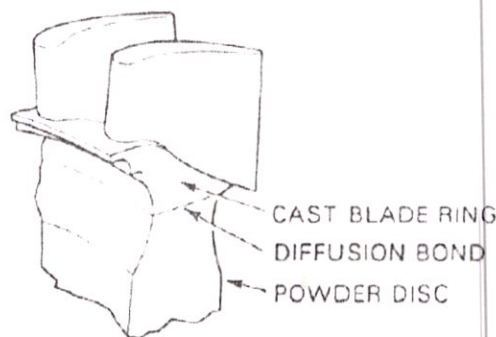


Fig. I.25 section d'un disque double alliage

1.2.8- Assortiment Compresseur-turbine

- Les caractéristiques d'écoulement de la turbine doivent être très soigneusement assorties avec ceux du compresseur pour obtenir l'efficacité et l'exécution maximum du moteur. Si par exemple, les aubes de guidage du stator permettent un écoulement maximum trop faible, alors une contre-pression accumulera et faire traîner le compresseur; un écoulement trop élevé conduit le compresseur à l'étouffement ou au pompage. Dans les deux cas une perte d'efficacité se produit rapidement.

1.2.9- Matériaux

- Parmi les obstacles qui empêchent l'usage des températures plus élevées à l'entrée du turbine, ont toujours été les effets de ces températures sur les aubes de guidage du stator et les ailettes turbine, la grande vitesse de rotation qui transmette une contrainte de traction au disque turbine et les aubes, est également un facteur limiteur.

1- Aubes de guidage du stator

- En raison de leur condition statique, les aubes de guidage du stator ne supportent pas les mêmes efforts de rotation que les ailettes turbine. Par conséquent, la résistance thermique est la propriété la plus exigée.

2- Disques de turbine

- Un disque de turbine doit tourner à une grande vitesse dans un environnement refroidit et il est soumis à des grands efforts de rotation.

3- Les aubes turbine

- Les aubes doivent être assez fortes pour supporter les charges centrifuges dues à la rotation à la grande vitesse [7], et elle doit résister aux efforts de flexion appliquées par les gaz, pour produire des puissances de turbine nécessaires à conduire le compresseur.

- L'examen étroit d'une ailette turbine conventionnelle indique une myriade de cristaux qui se situent dans toutes les directions (equi-axed). La durée de vie améliorée peut être obtenue en alignant les cristaux pour former des colonnes sur la longueur d'aube produite par une méthode connue sous le nom de 'solidification directionnelle'. Une autre avance de cette technique doit fabriquer l'aube à partir d'un cristal simple, exemples de ces structures sont montrées dans la (Fig.I.27) [10].



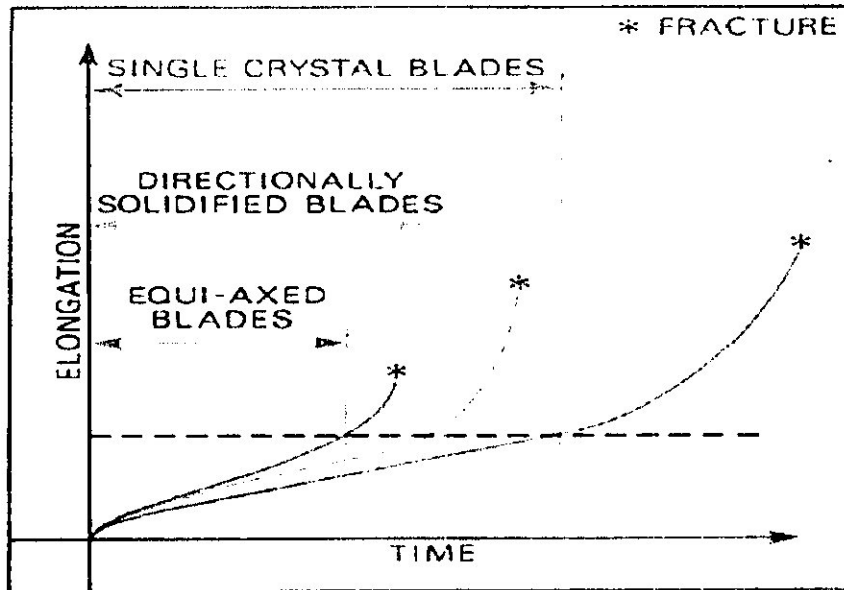


Fig.I.26 Comparaison des propriétés de la vie d'une ailette turbine.

Une ailette turbine basée d'un non-métal peut être manufacturée en céramique renforcée. Leur application initiale de production est susceptible d'être pour les petites turbines à grande vitesse, qui ont les températures très élevées à l'entrée de la turbine. Un exemple d'une ailette en céramique est montré dans la (fig.I.28) [10].



Fig.I.28 exemple d'une ailette en céramique

I.2.10- Equilibrage

L'équilibrage d'une turbine est une opération extrêmement importante dans son assemblé. En raison des vitesses de rotation élevées et de la masse des matériaux, n'importe quel déséquilibre peut affecter les roulements d'assemblé et l'opération tournante du moteur. L'équilibrage s'effectue sur une machine d'équilibrage spéciale (Fig.I.29) [10].

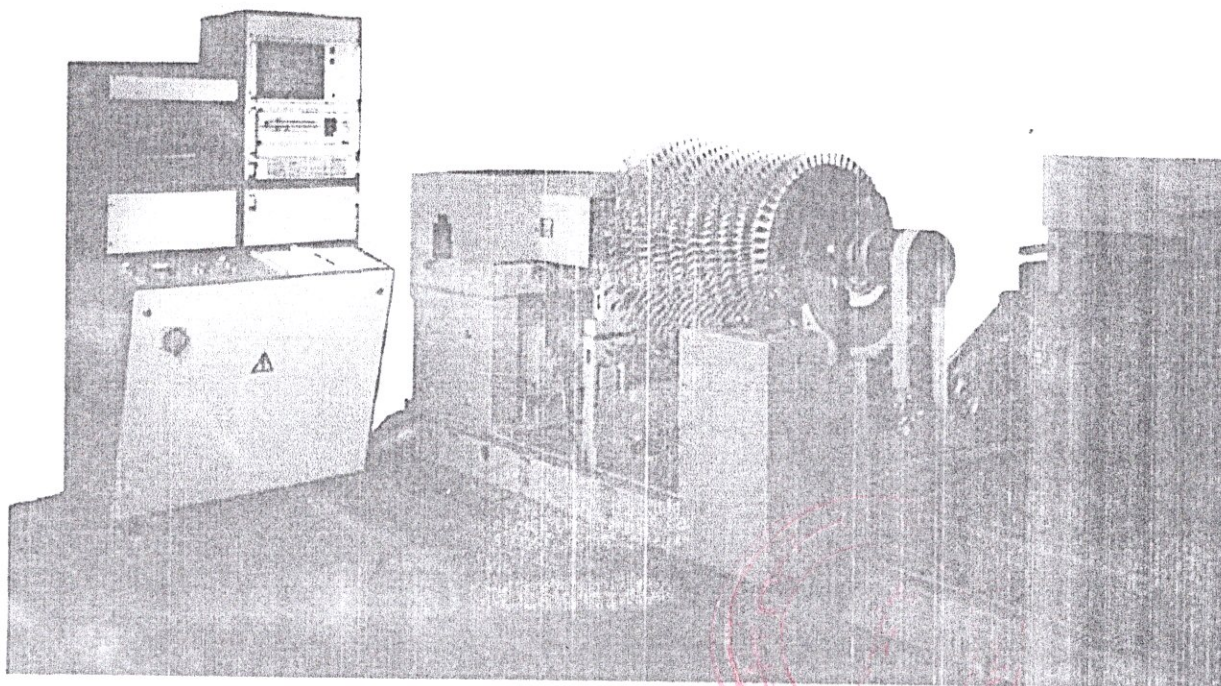


Fig.I.29 machine d'équilibrage

II.2.5- Injection centrifuge, alimentation latérale (Fig.II.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 labyrinthés 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) [8].

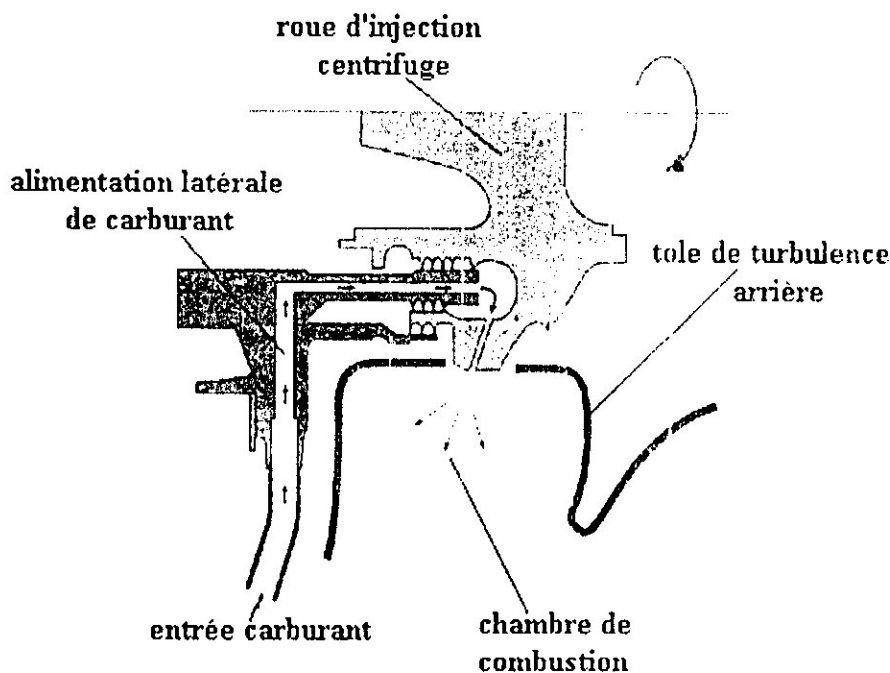


Fig.II.12 injection centrifuge avec alimentation latérale

II.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.

II.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 [10].

II.5- Les combustibles de la turbine à gaz

- Les carburants des turboréacteurs doivent répondre aux exigences strictes de donner l'optimum performance du moteur, l'économie, 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.

- 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.

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

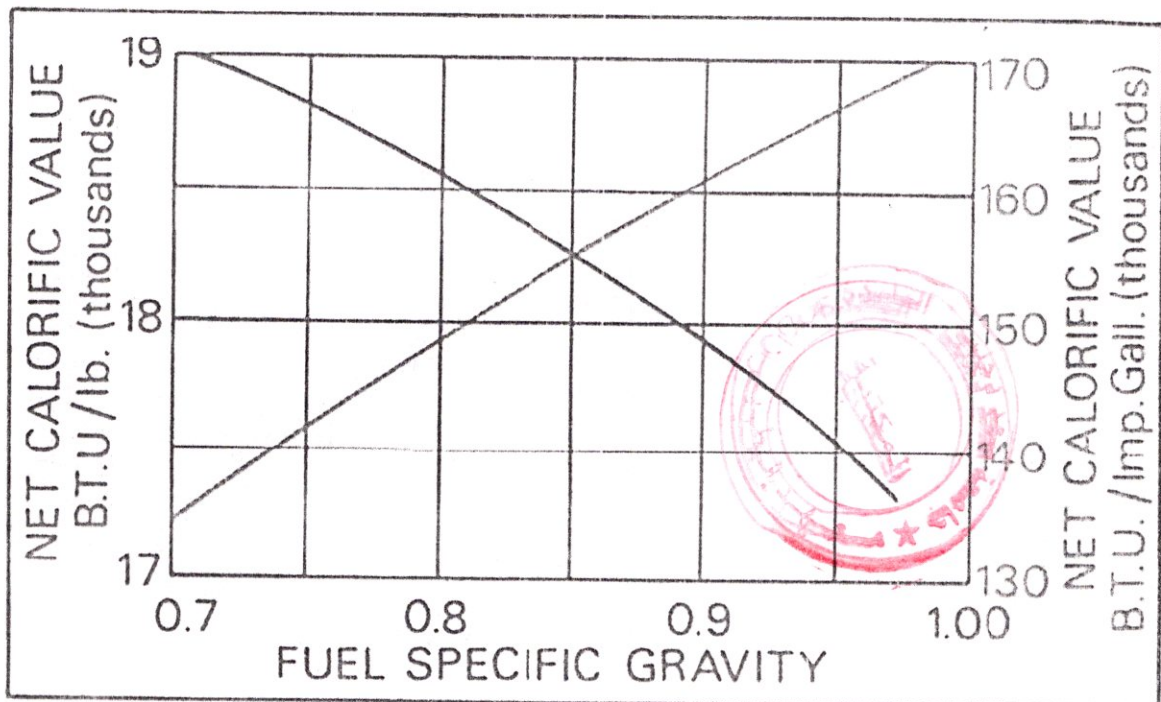


Fig.II.13 relation entre la valeur calorifique et la densité.

- Les combustibles de la turbine à gaz et par leurs composants chimique ont la tendance de corroder principalement les composants 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. Lorsque on brûle le soufre dans l'air, il forme le bioxyde de soufre ; et lorsque 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 observés.

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 [5].

II.8- Contrôle de la contamination du fuel

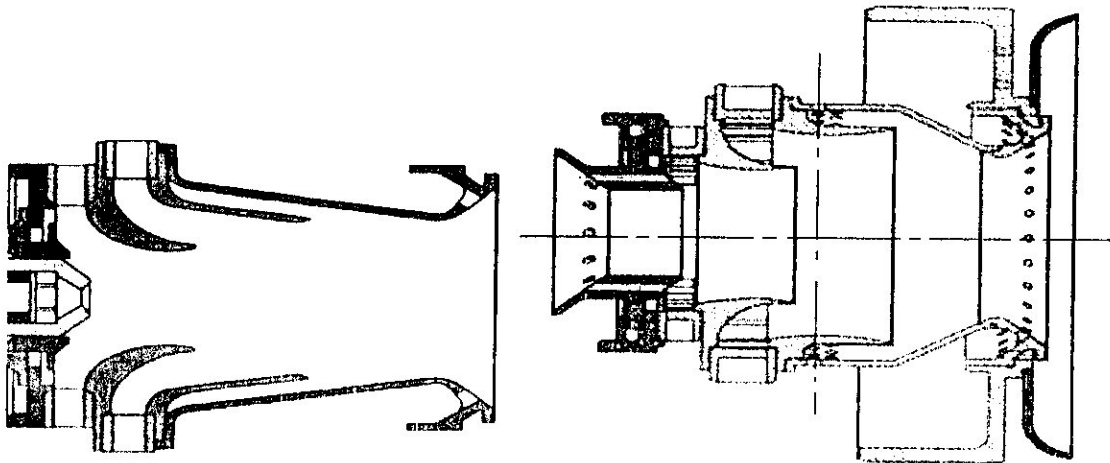
- Le combustible peut être maintenu en bonne condition par le stockage bien organisé et en faisant des contrôles habituels sur le système de vidange du réservoir d'avion. L'usage convenable des filtres, les séparateurs fuel/eau et des additifs sélectionnés restreindront le niveau de la contamination,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

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 III" (fig.II.14) [2]. 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'injecteur 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 l'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 II. 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 (fig.II.17) montre une coupe d'un LPP développé par Rolls-Royce [4].

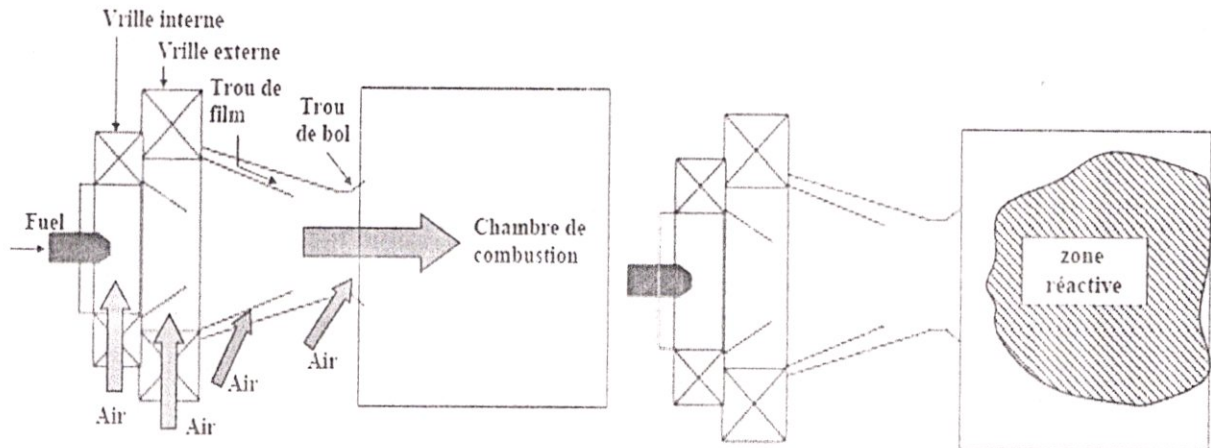
- Les LPP Snecma ont été conçus pour être utilisés dans des chambres annulaires DAC (Double Annular Combustor) comportant deux couronnes d'injecteur (fig.II.18). Les couronnes peuvent être constituées d'injecteurs différents. Chaque type d'injecteur est alors utilisé au régime pour lequel il est le plus 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 [1.3].



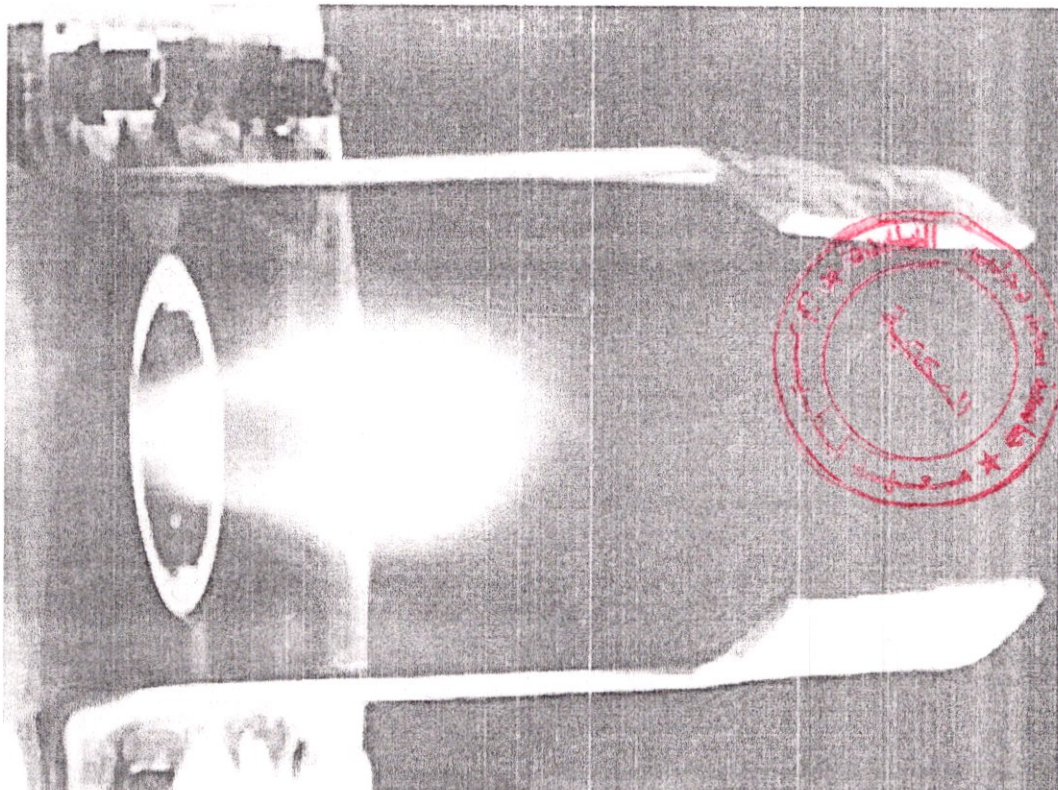
- Figure II.14: Tube LPP BE01 (à droite) et BE03 (à gauche) développés par SNECMA-moteurs. Les longueurs des LPP sont de l'ordre de 5 cm.

II.9.2- Problèmes liés aux LPP

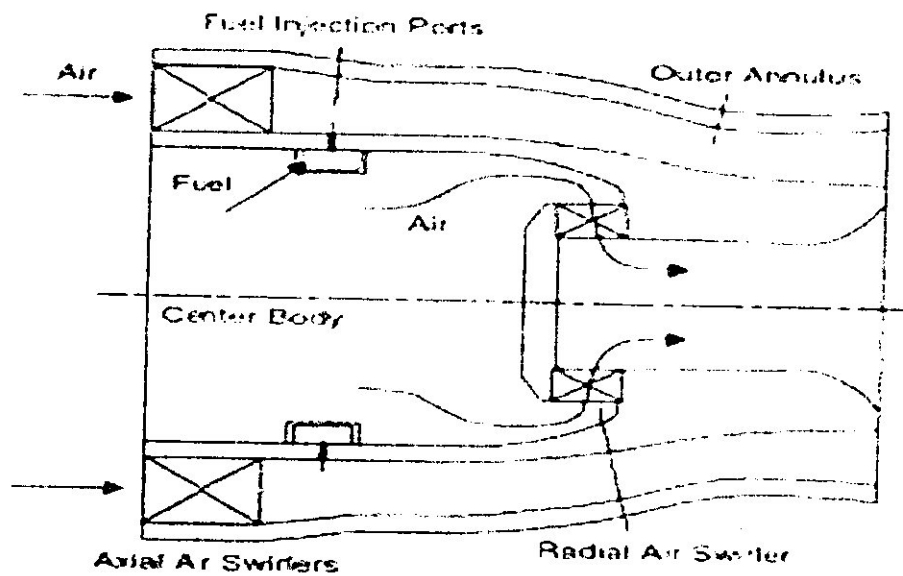
La conception et la mise au point des LPP passent par la résolution de problèmes liés à la stabilisation de la flamme:



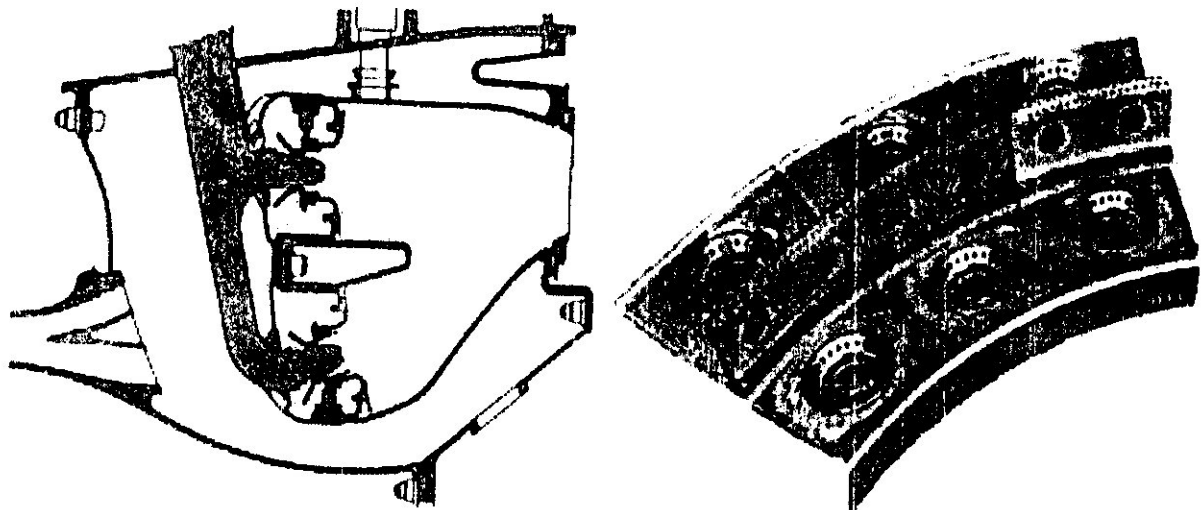
- Figure II.15: Schéma d'un LPP Snecma. La figure de droite montre la zone réactive stabilisée à la sortie de l'injecteur par la recirculation induite par le tourbillon.



- 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 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 têtes.

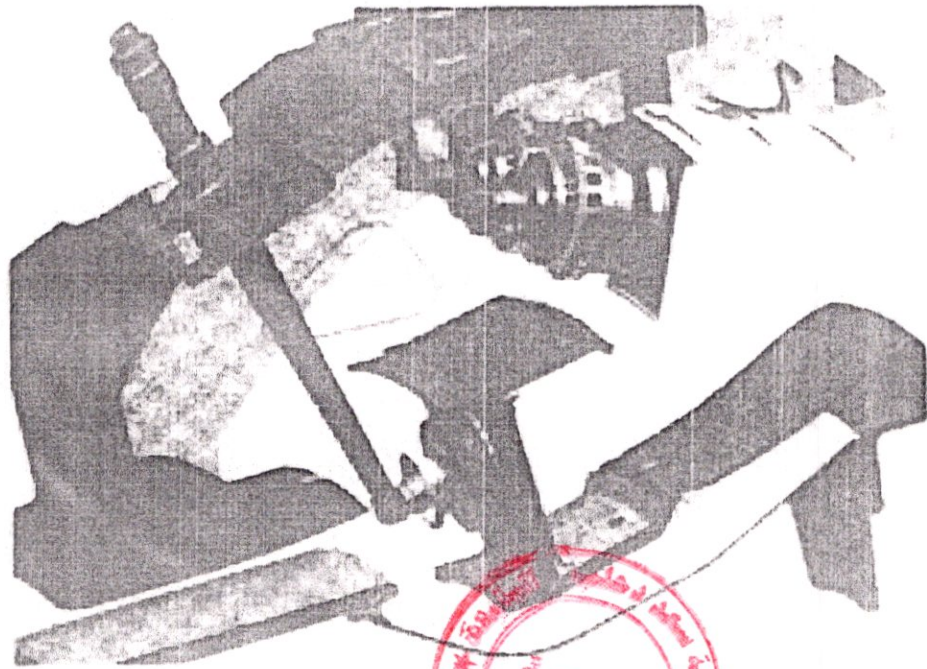


Figure II.19: Vue en perspective d'une section d'une chambre à deux têtes Snecma. Deux injecteurs LPP (en haut) et un injecteur conventionnel (en bas) sont installés.

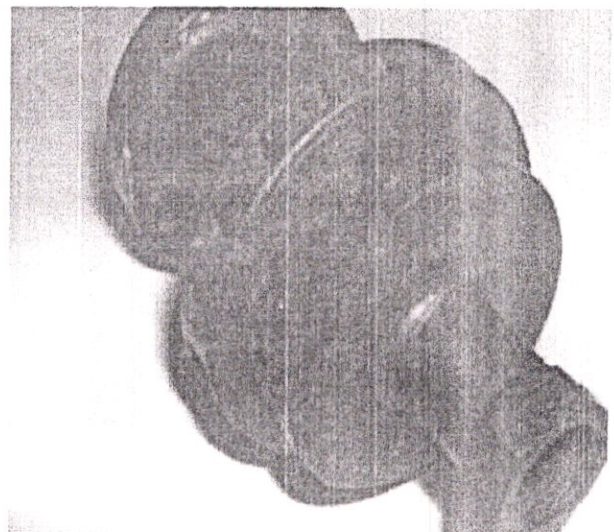
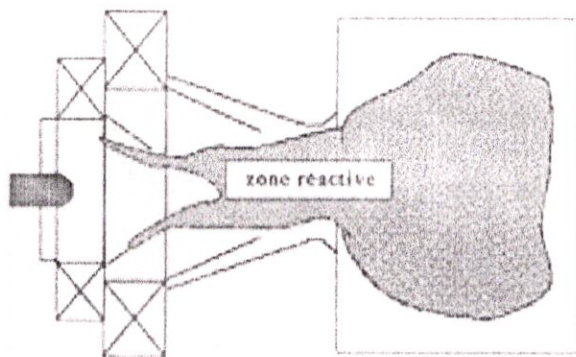


Figure II.20: À gauche, schéma du phénomène de Flash-back, la flamme remonte dans l'injecteur. A droite, photo du résultat: un trou au niveau de la vrille interne du LPP BE01.

Chapitre III

Présentation des injecteurs mises en teste

III- Présentation des injecteurs mises en teste

III.1- Circuit carburant du moteur ALLISON 50I-D22A (Fig.III-1)

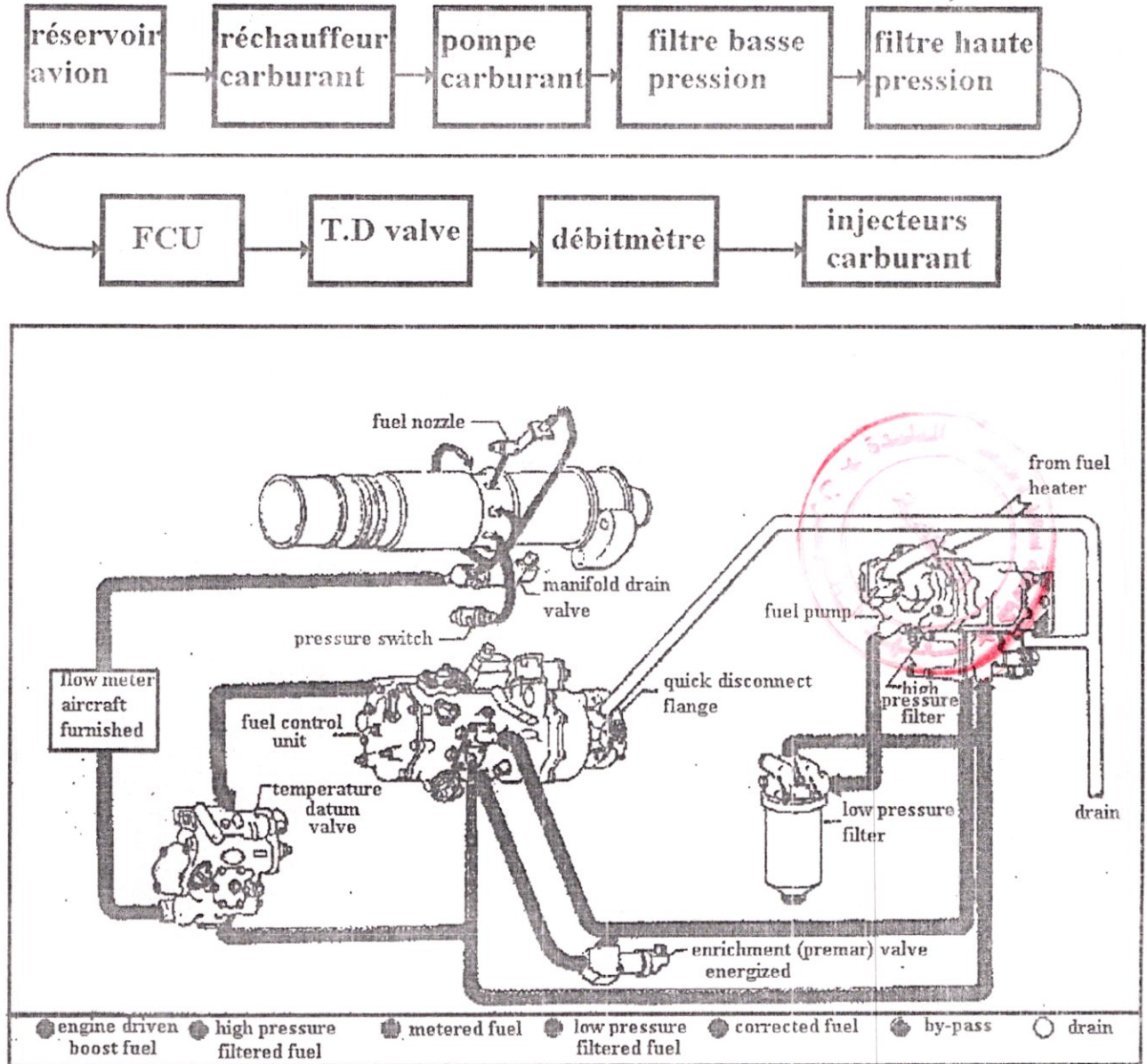


Fig.III.1 : schéma de système carburant.

- Le carburant circule du réservoir jusqu'au réchauffeur, puis passe à travers la pompe carburant et le filtre basse pression (B.P) pour entrer ensuite dans le filtre haute pression (HP). Ensuite, il est envoyé au régulateur de débit carburant (FCU) où la quantité de carburant nécessaire est envoyée au T.D valve (Temperature Datum valve), qui a pour rôle l'asservissement de la température d'entrée à la turbine (T. E. T), puis de ce dernier le carburant traverse un débitmètre et il termine enfin sa course dans les injecteurs et sort pulvérisé.

- Dans ce circuit seul l'injecteur est pris en considération en vue d'étude plus détaillée ci-dessous:

III.1.1-Injecteur carburant du moteur ALLISON 501-D22A

III.1.2- Description (Fig.III.2)

fabricant	Norme ATA 100	Nombre d'injecteur par moteur	Fin potentiel	Intervalle d'inspection
ALLISON	73-6	6	5000 HDV	1200 HDV

- 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 débits 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 SCHRUD, 16) qui joue le rôle de bouclier thermique pour l'injecteur [9].

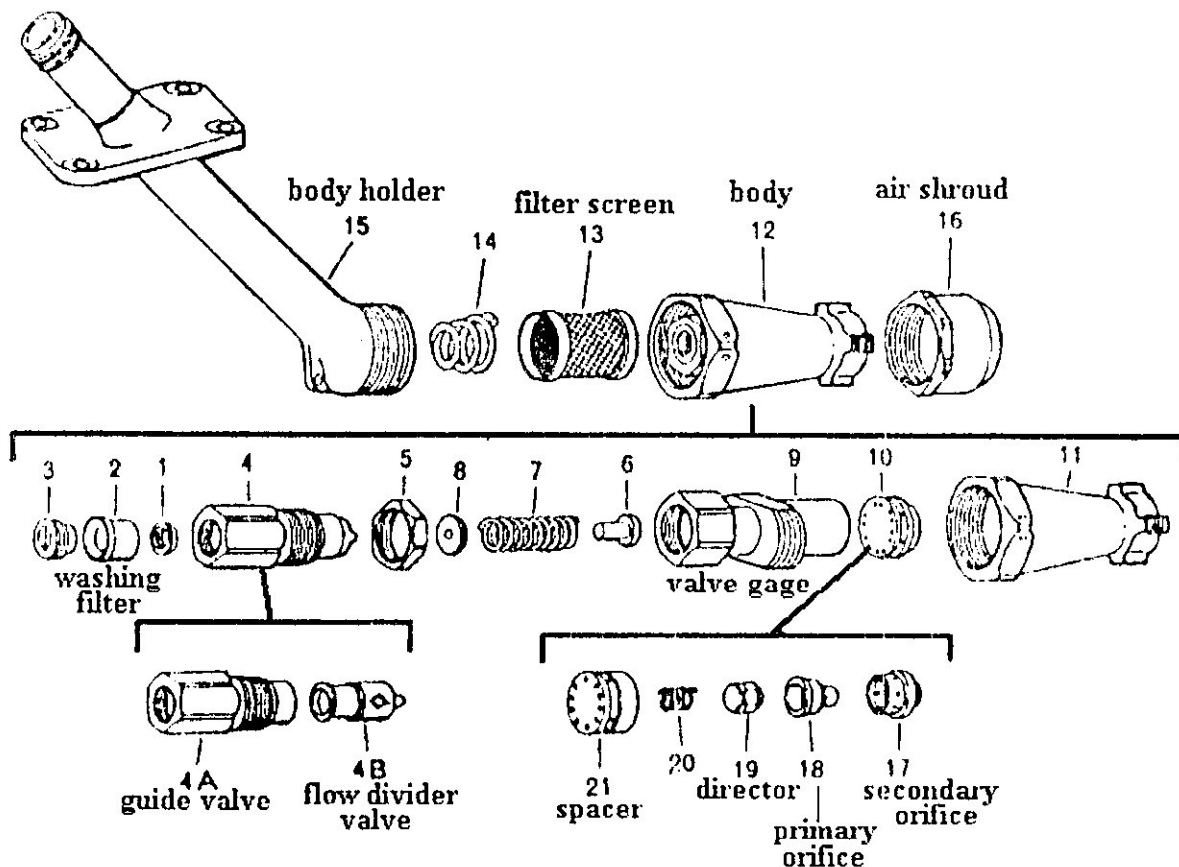


Fig.III.2 schéma éclaté de l'injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A

III.1.3- fonctionnement (Fig.III.3-A et Fig.III.3-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 TIP, 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 1100 pour ne pas brûler les parois de la chambre de combustion [9].

- Remarque

- La courbe (Fig.III-4) 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 des débits correspondants plus élevés.

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

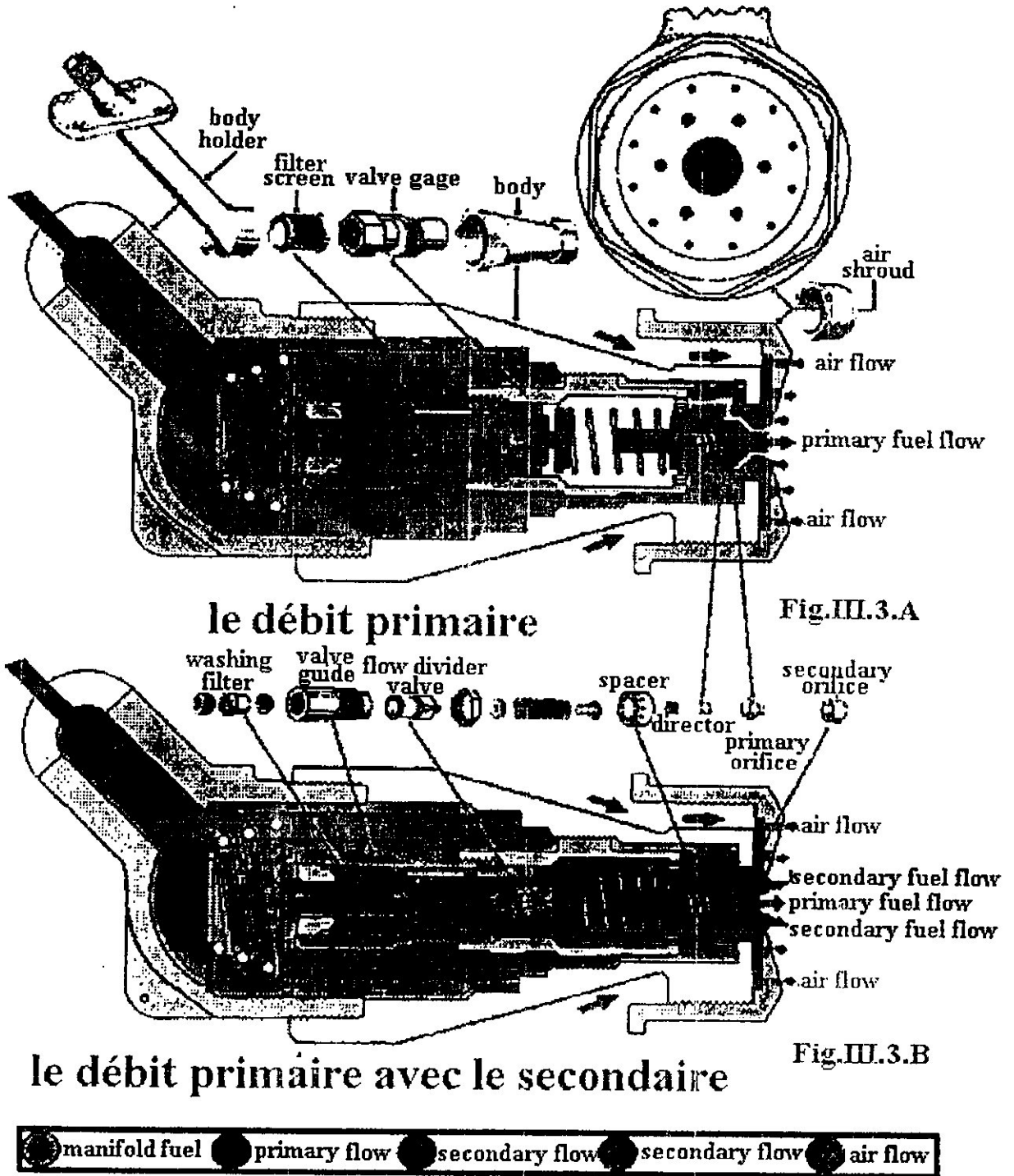
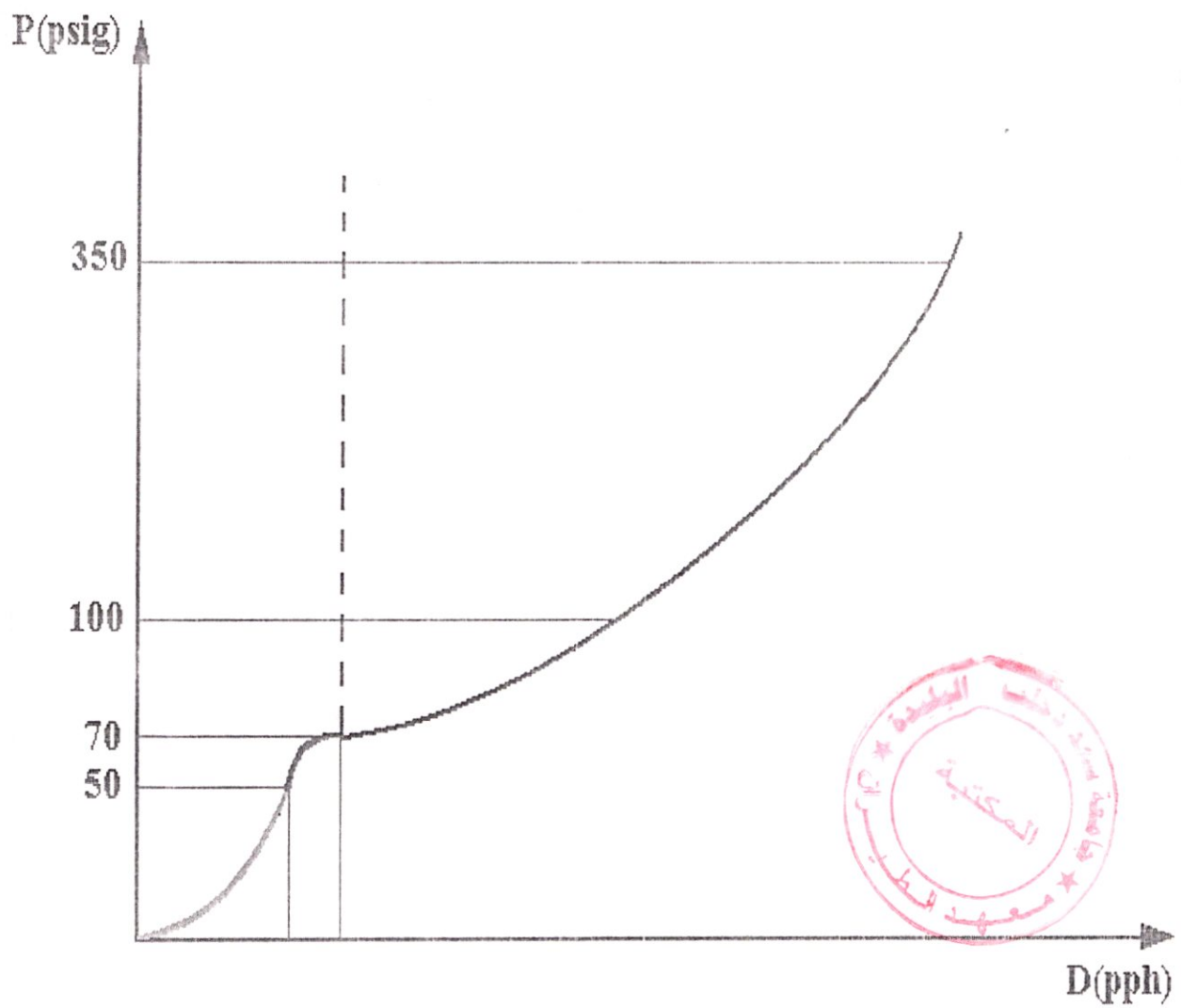


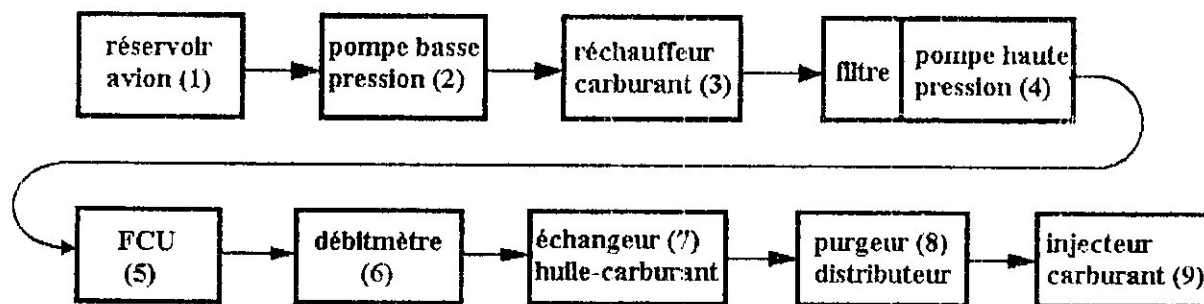
Fig.III.3 schéma opérationnel de l'injecteur



- courbe de débit primaire et secondaire avec le sélecteur de débit fonctionne
- courbe de débit primaire
- - - courbe de débit si le sélecteur de débit est constamment fermé (no fonctionnel).
- débit intermédiaire

Fig.III.4 l'évolution de débit en fonction de la pression.

III.2.- Circuit carburant du moteur JT8D (Voir Fig.III.5)



- Le circuit carburant du réacteur se compose des parties citées à la (Fig.III.5), qui sont nécessaires pour le fonctionnement du réacteur à différents régimes.

- Le carburant du réservoir entre dans la pompe carburant au niveau de l'étage primaire, puis passe à travers le réchauffeur et le filtre pour entrer ensuite dans l'étage secondaire de la pompe carburant. Il est alors envoyé au régulateur carburant ou FCU, où la quantité de carburant nécessaire est envoyée au débitmètre puis, de ce dernier, le carburant traverse un échangeur huile-carburant et se dirige ensuite vers un purgeur distributeur où il sera divisé en deux débits (primaire et secondaire). Enfin, il termine sa course dans les injecteurs qui vont le pulvériser dans les chambres de combustion.

- Dans ce circuit seul l'injecteur est pris en considération en vue d'étude plus détaillée ci-dessous.

III.2.1- Injecteur carburant du moteur JT8D

III.2.2- Description (Voir Fig.III.6, Fig.III.7)

Fabricant	Norme ATA100	Nombre d'injecteur par moteur	Fin potentielle	Intervalle d'inspection	Matériaux de construction
PRATT & WHITNEY	73-13-01	9	12000 HDV	5000 HDV	- Alliage à base de nickel. - alliage à base de fer.

- Le turboréacteur JT8D possède neuf injecteurs installés dans neuf chambres tubulaires. Chaque injecteur comporte deux entrées, l'une pour le débit primaire, l'autre pour le débit secondaire, un guide (PRIMARY STRAINER BODY, 70) pour conduire le débit primaire, un disque le joint d'étanchéité (SEAL, 15) et le distributeur (MAIN INSERT, 45) conduisent le débit secondaire et un corps du gicleur (NOZZLE BODY, 25) pour fixer l'ensemble, un filtre primaire (85) et filtre secondaire (55) qui sont deux filtres de dernière chance pour purifier respectivement le débit primaire et secondaire contre d'éventuelle impuretés qui peuvent se produire au cours de l'opération et enfin une bague d'extrémité d'air (NUT, 100) qui représente un bouclier thermique pour l'injecteur [9].

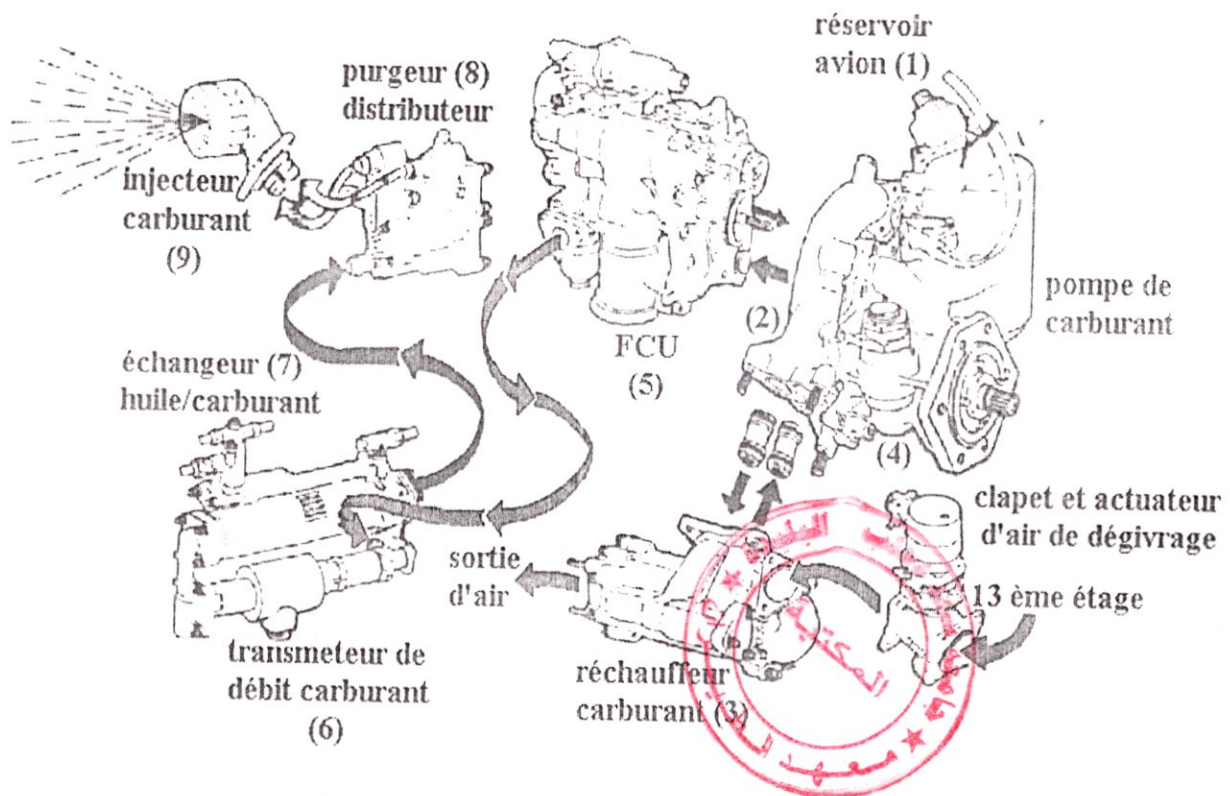


Fig.III.5 circuit carburant du moteur JT8D

III.2.3- Opération (Voir Fig.III.8)

- Les neuf injecteurs ont pour rôle de pulvériser le carburant dans les chambres de combustion, pour avoir un bon mélange avec la plus grande partie de l'air et une bonne combustion.

- Avant d'atteindre les injecteurs, le carburant traverse le purgeur distributeur (PRESSURIZING AND DUMP VALVE), qui filtre d'abord le carburant et sélectionne ensuite les débits lors du démarrage et pendant la phase d'accélération du réacteur. En effet quand la pression du carburant atteint 25 PSIG le clapet de drainage (DUMP VALVE) s'ouvre progressivement et permet au débit primaire d'atteindre les neuf injecteurs, alors le carburant pénètre par l'entrée primaire et traverse les trous périphériques contenus dans le guide (70) et contourne le calibre primaire (PRIMARY METERING PLUG, 50) et pénètre à l'intérieur du distributeur (45) et sort pulvérisé et tourbillonné par le petit orifice primaire du distributeur [9].

- Remarques

- Le calibre secondaire (40) provoque par sa forme géométrique un mouvement tourbillonnaire au jet secondaire.

- La division de débit en primaire et secondaire se passe à l'extérieur de l'injecteur contrairement aux injecteurs des APU'S B727/B737/LOCKHEED L-100, et les injecteurs des moteurs ALLISON 501-D22A ET CF6-80.

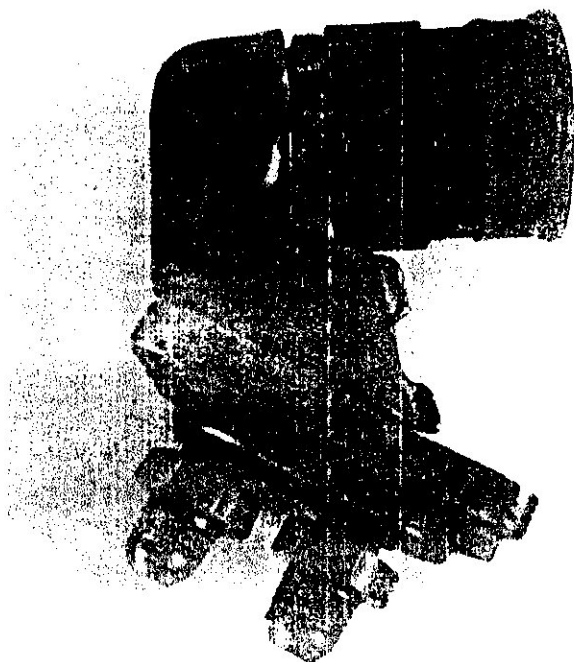
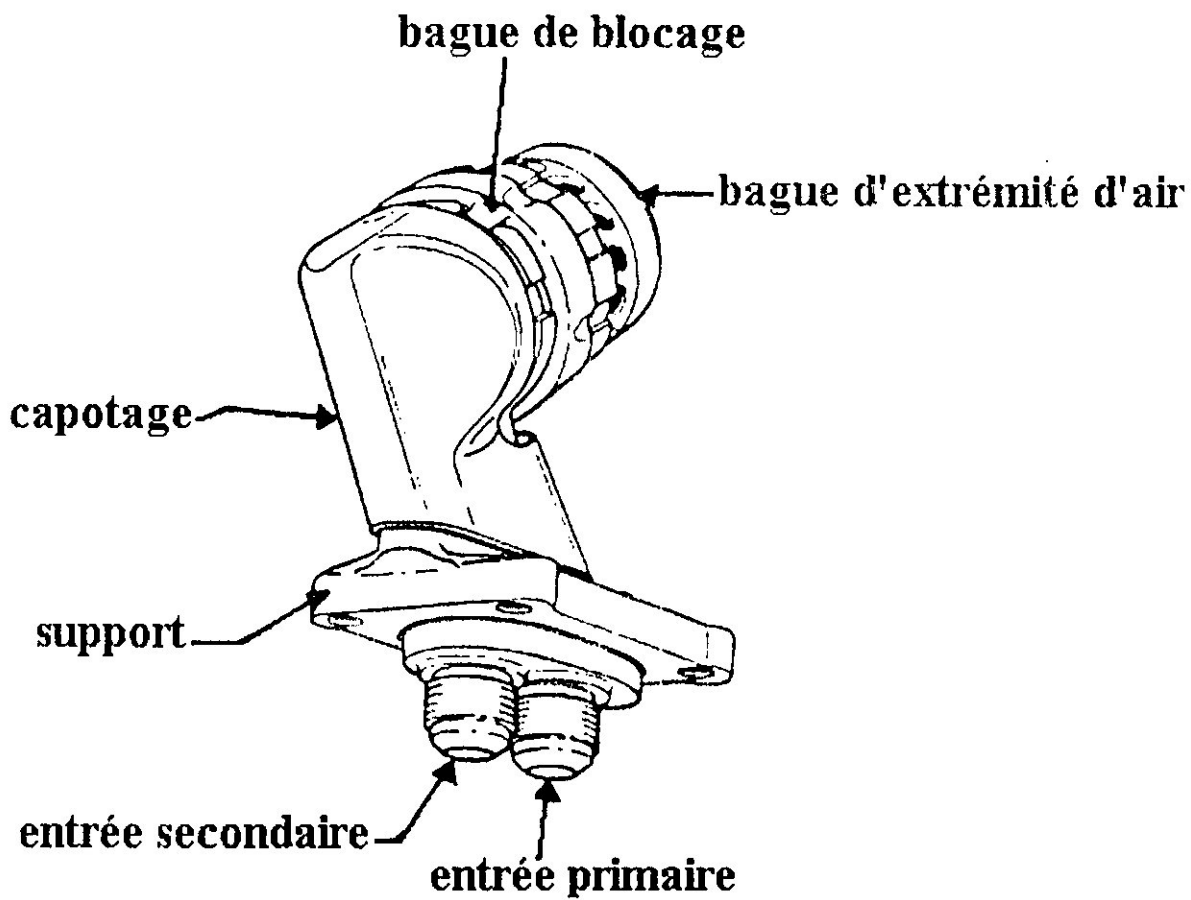


Fig.III.6 composants externes de l'injecteur

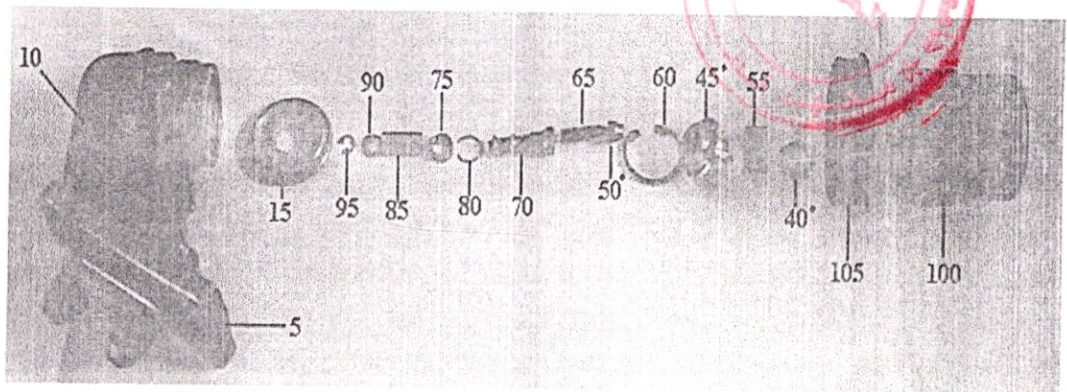
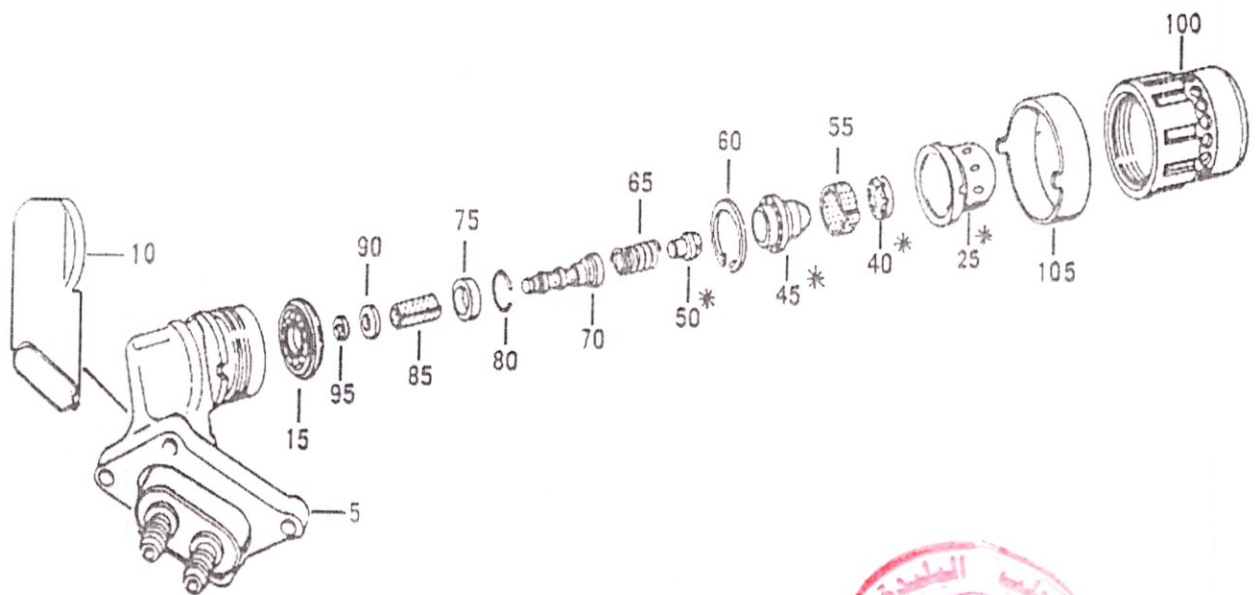


Fig.III.7 schéma éclaté de l'injecteur

- l'air provenant du compresseur passe à travers les orifices de la bague d'extrémité d'air (100) et le corps du gicleur (25) pour créer une circulation d'air autour du cône de pulvérisation afin de favoriser la vaporisation du carburant, accélérer son tourbillonnement, éviter le dépôt de carbone de s'installer sur l'orifice de décharge secondaire et limiter la propagation de l'angle de pulvérisation de ne pas dépasser la valeur de 89° pour ne pas brûler les parois de la chambre de combustion.

- Dès que l'injecteur aura atteint le fin potentiel (**12000 HDV**) il est aussitôt pris en charge pour effectuer une série d'opérations afin de le remettre de nouveau en état de fonctionnement.

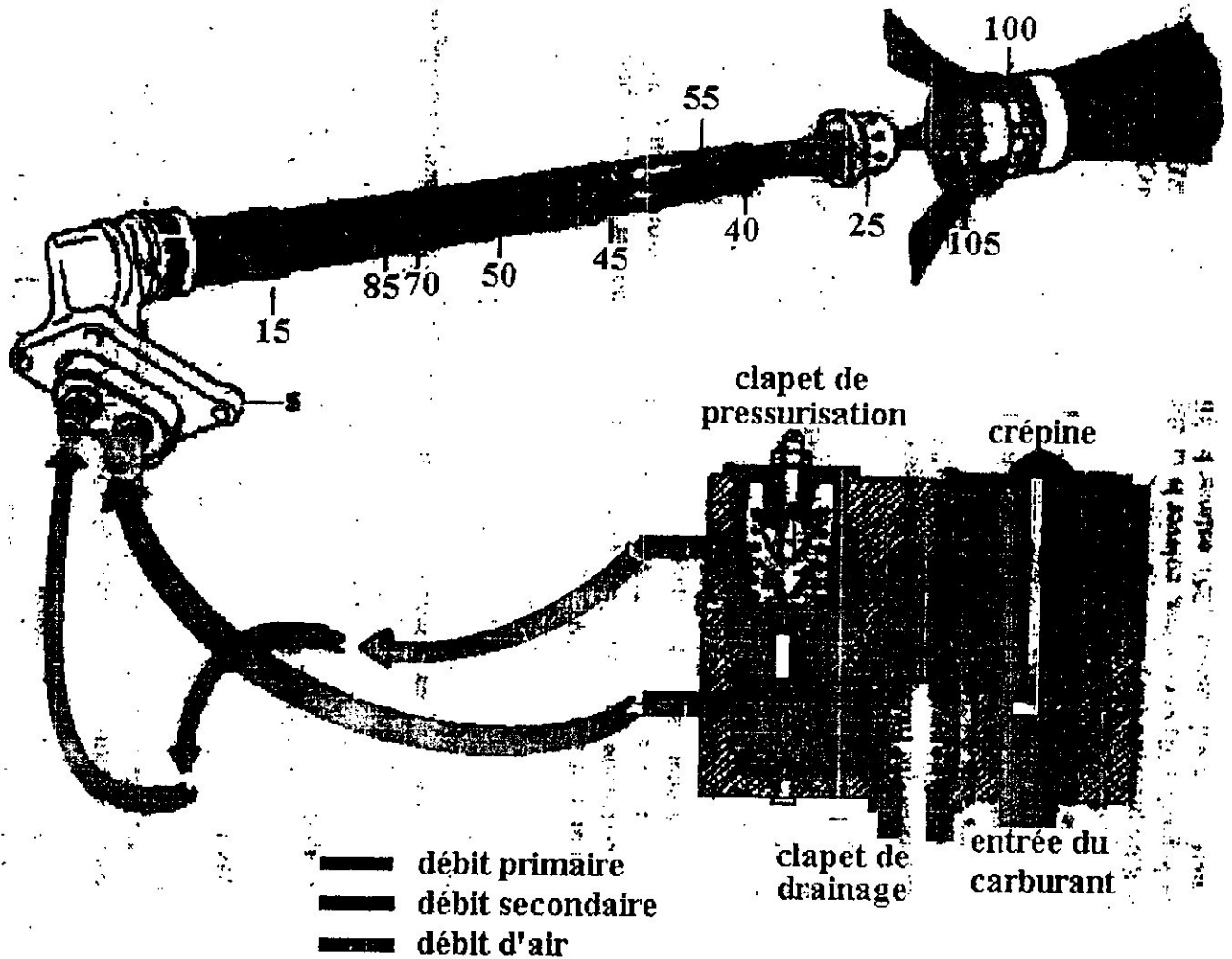
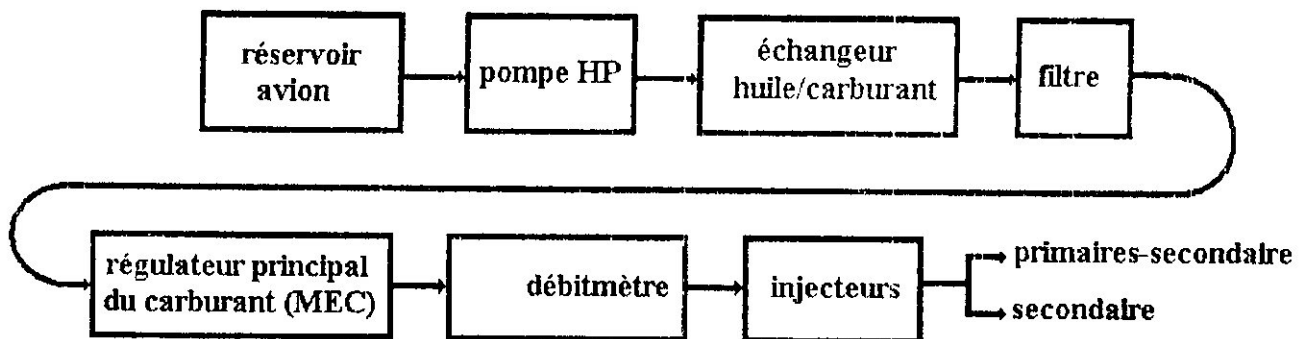


Fig.III.8 le fonctionnement de l'injecteur

III.3- Circuit carburant du moteur CF6-80 : (Voir Fig.III.9)



- Le carburant du réservoir entre dans la pompe haute pression (HP), puis passe à travers l'échangeur huile-carburant et le filtre. Il est alors envoyé au régulateur principal du carburant (MEC), où la quantité de carburant nécessaire est envoyée au débitmètre. Enfin, le carburant termine sa course dans les injecteurs qui vont le pulvériser dans la chambre de combustion.

- Dans ce circuit, seul l'injecteur est pris en considération en vue d'étude plus détaillée ci-dessous.

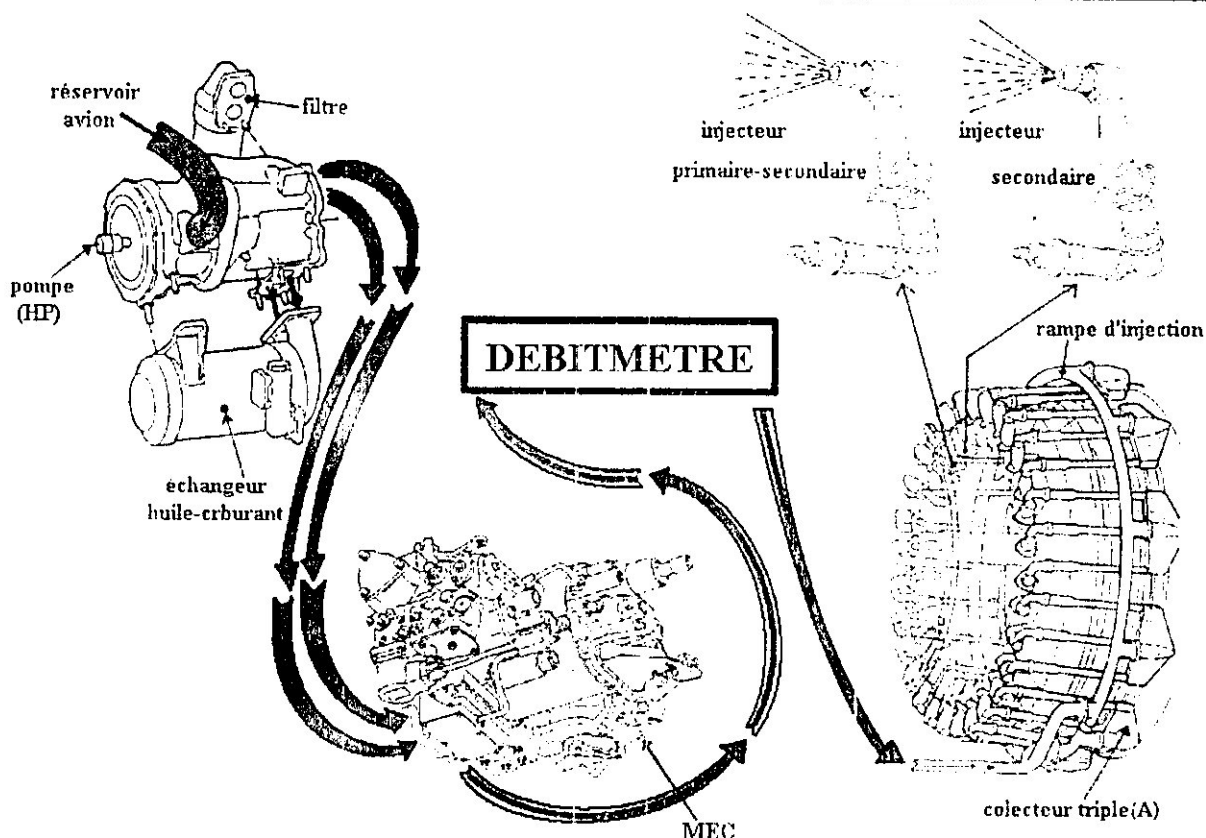


Fig.III.9 circuit carburant du moteur CF6-80

III.3.1- Injecteur carburant du moteur CF6-80

III.3.2- Description (Voir Fig.III.10, Fig.III.11)

Fabricant	Norme ATA100	Nombre d'injecteurs par moteur	Fin potentiel	Matériaux de construction
PARKER HANNIFIN	73-11-41	30	selon état	Alliage de cobalt

- L'injecteur double orifice (primaire - secondaire) et l'injecteur secondaire sont deux types d'injecteur physiquement similaires à l'extérieur, mais intérieurement différents. Les parties extérieures composant les injecteurs sont assemblées par des cordons de soudures.

- L'injecteur double orifice consiste un connecteur (CONNECTOR), un filtre (STRAINER), une valve de contrôle (CARTRIDGE CHECK VALVE), un sélecteur de débit (CAR TRIDGE VALVE), un protecteur d'orifice (ORIFICE CUP), un support et le gicleur (METERING SET).

- L'injecteur secondaire est composé par les mêmes parties sauf qu'il est dépourvu de la valve de contrôle. Les filtres dans les deux injecteurs jouent le même rôle, mais physiquement différents. La valve de contrôle dans l'injecteur double orifice joue le rôle d'une soupape qui ne s'ouvre qu'à une pression donnée, tandis que l'injecteur secondaire est dépourvu de cette soupape. Les sélecteurs de débit des deux injecteurs sont physiquement similaires, mais leurs pressions d'ouverture sont différentes.

- L'injecteur double orifice est muni de deux passages pour conduire séparément les deux débits primaire et secondaire tandis que l'injecteur secondaire ne possède qu'un seul passage.

- L'injecteur double orifice possède deux orifices de décharge, tandis que l'injecteur secondaire n'en possède qu'un seul [9].

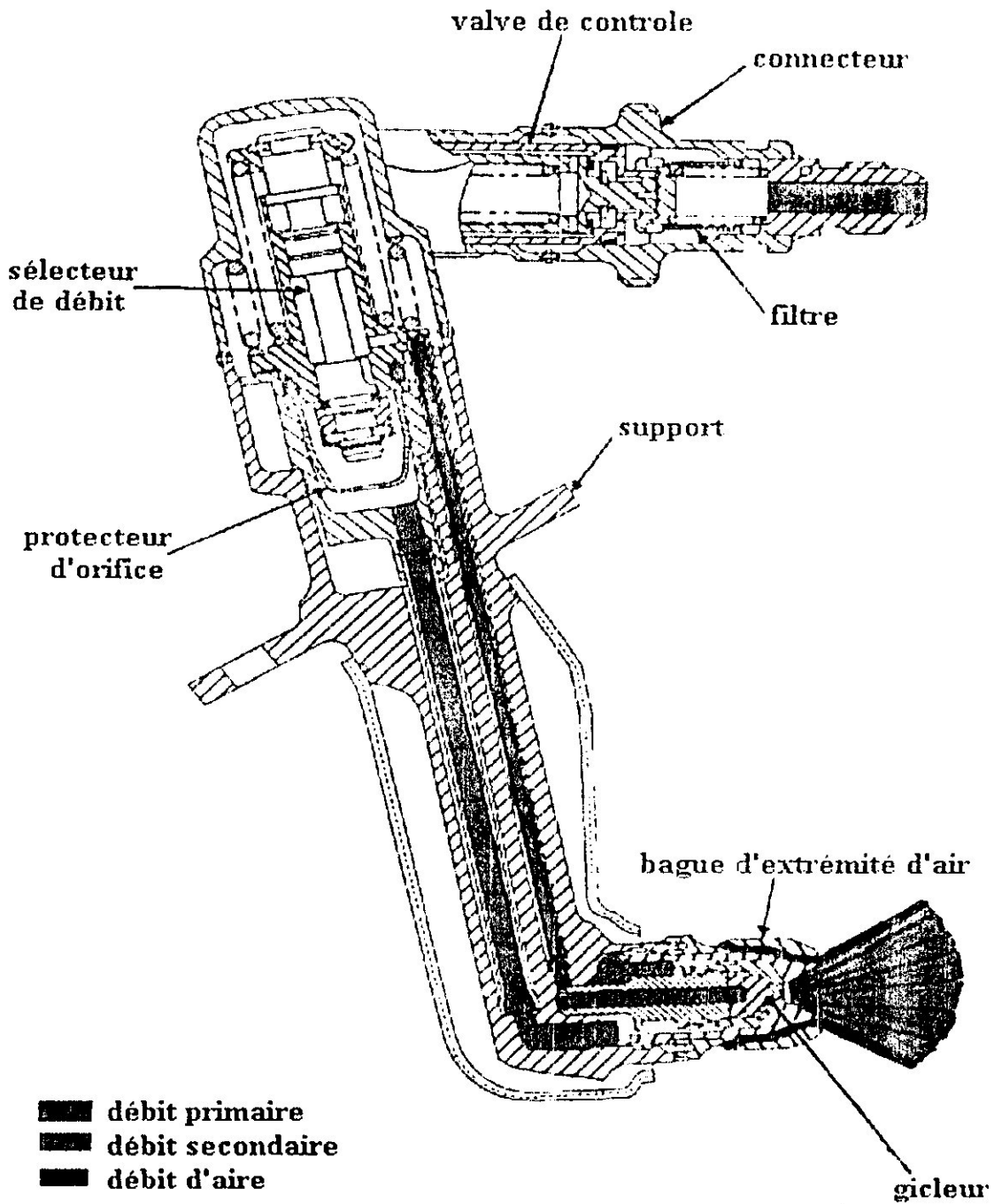


Fig.III.10 injecteur à double débit

IV.3.3- Opération:

- Introduction: (Voir Fig.III.9-A)

- Le carburant est acheminé vers les injecteurs par une seule rampe constituée de deux demi-anneaux. Ils sont fixés à la périphérie du carter diffuseur du réacteur. La rampe alimente les trente (30) injecteurs par l'intermédiaire de dix (10) collecteurs triples (**TRIBONE**). La rampe d'injection, les collecteurs triples, ainsi que toutes les tuyauteries du carburant qui cheminent autour du générateur de gaz, sont munies d'une gaine métallique d'étanchéité.

- L'espace compris entre la canalisation carburant et la gaine d'étanchéité est en communication avec le mât de drainage extérieur. Cette disposition évite tout risque d'incendie en cas de fuite carburant au voisinage du générateur des gaz.

- Chaque injecteur peut assurer un débit maximum de 326 Kg/H. Afin d'éviter tout problème d'étanchéité, les parties principales du corps de l'injecteur sont soudées. Une protection thermique isole le corps de l'injecteur à l'intérieur du carter diffuseur. Afin d'assurer une bonne pulvérisation du carburant à tous les régimes, notamment à faible débit, le réacteur est équipé de vingt et un (21) injecteurs à double débit et de neuf (9) injecteurs à simple débit.

A- Injecteur à double débit: (Voir Fig.III.10)

- Ce type d'injecteur est muni d'une valve de contrôle qui se ferme lorsque la pression du carburant est inférieure à 10 PSIG. Le rôle de cette valve est de diminuer la quantité de carburant drainé lors de l'arrêt du réacteur.

Pendant le démarrage du réacteur, le carburant traverse la valve de contrôle dès son ouverture et circule librement par le circuit primaire vers le petit orifice central de l'injecteur. Lorsque la pression dépasse sensiblement 260 PSIG, le sélecteur de débit s'ouvre et autorise le passage du carburant vers le circuit secondaire, puis le grand orifice circulaire de l'injecteur. Ce débit correspond approximativement à la valeur maxi du ralenti minimum ($Z=0$). Pour toutes valeurs supérieures de débit, les deux circuits débitent simultanément.

B- Injecteur à simple débit: (Voir Fig.III.11)

- Ces injecteurs ne comportent ni la valve de contrôle ni le circuit primaire. Ils sont repérés par une bague anodisée de couleur verte.

- Ces injecteurs ne fonctionnent pas à faible débit. Le sélecteur de débit ne s'ouvre que lorsque la pression d'injection carburant atteint 270 PSIG, c'est à dire pour un régime égal ou supérieur au ralenti minimum. L'embout d'injection (gicleur) des deux types d'injecteurs comporte une bague d'extrémité (**AIR SHROUD**) qui crée une circulation d'air autour du cône de pulvérisation afin de favoriser la vaporisation du carburant.

- Dès que l'injecteur aura atteint le fin potentiel (selon état) il est aussitôt pris en charge pour effectuer une série d'opérations afin de le remettre de nouveau en état de fonctionnement.

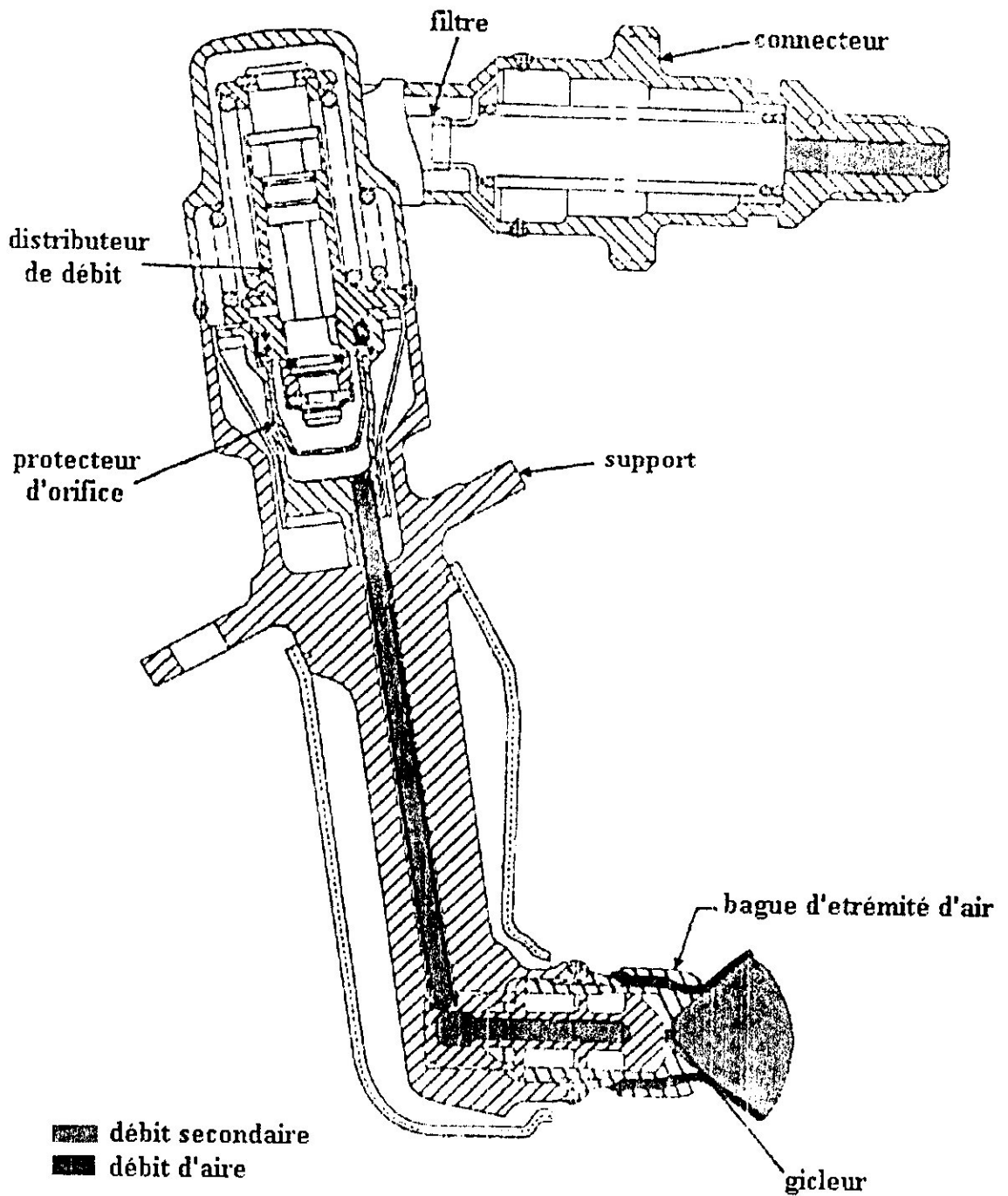


Fig.III.11 injecteur à simple débit

Chapitre IV

Inspection et maintenance

IV- Inspection et maintenance

IV.1- inspection et maintenance de l'injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A

IV.1.1- Désassemblage

1- Généralité

- Avant d'entamer chacune des opérations, il faut réunir tous les ingrédients, outillages et matériels nécessaires.

- Pour toutes les opérations de démontage il faudra se référer à la (Fig.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) du support (BODYHOLDER, 15), enlever ensuite le ressort (14) et le filtre (13).

3- Démontage des sous-parties de l'ensemble (12)

- Dévisser le distributeur (9) du corps (11), le gicleur (10) sortira de lui même après l'opération précédente.

4- Démontage des sous-parties du gicleur (10)

Le démontage du gicleur (10) est simple. Il faut utiliser l'outil et un jet d'air.

- Remarque

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

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), le ressort (7) et le siège d'arrêt (VALVE SPRING SEAT STOP, 6) de l'intérieur du distributeur (9).

- Enlever doucement le calibre (4B) du guide (4A).

- Enlever l'écrou (FILTER LOCKSCREW, 3) du guide (4A) et pousser le filtre (2) et l'orifice (1) avec un outil plastique. [9]

- Remarque

- Garder toutes les pièces ensemble durant la révision.

- Le but de cette opération est de préparer l'étape suivante (Nettoyage); car l'injecteur est composé des pièces de différents matériaux qui nécessitent des solutions différentes de nettoyage.

IV.1.2- Nettoyage chimique

- Introduction

- L'injecteur ainsi désassemblé est immergé dans une solution dégraissante pour enlever toute trace de graisse, la solution classique la plus utilisée est le WHITE SPIRIT, le temps de séjour est de quelques heures.

1- Nettoyage du support (15), corps (11) et le gicleur (10):

- Procédures

- Préparer une solution de décalaminage en ajoutant 200g D'ARDROX 185 à 1L 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 nécessaire.

2- Nettoyage du sélecteur (4), distributeur (9), bague d'extrémité d'air (16) et le filtre (13)

- Procédures

- Préparer une solution de décalaminage en ajoutant 1 L D'ARDROX 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 l'air comprimé et propre à 30 PSIG.
- d- Vérifier que le filtre (13) est bien nettoyé. Renettoyer si nécessaire.

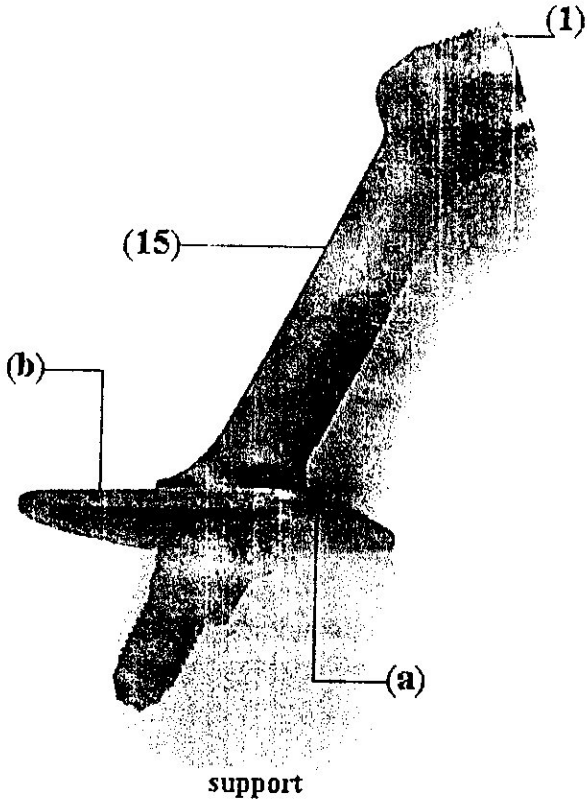
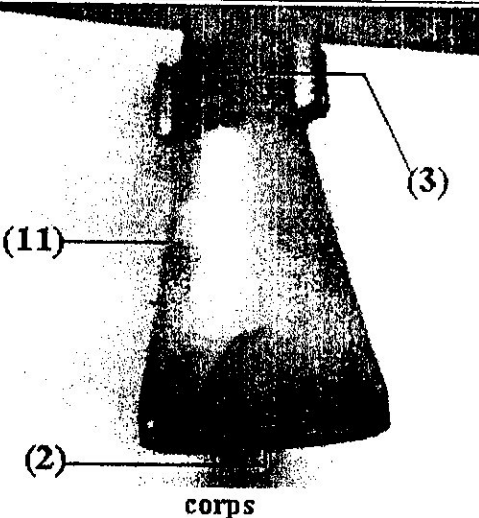
- Le but de cette opération est de donner un teint plus brillant et clair aux pièces de l'injecteur pour faciliter l'inspection visuelle et aussi leurs restituer les côtes d'origine pour favoriser l'inspection dimensionnelle.

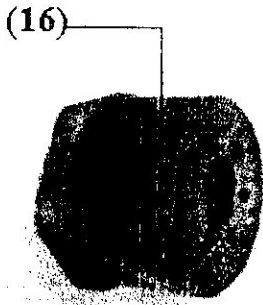
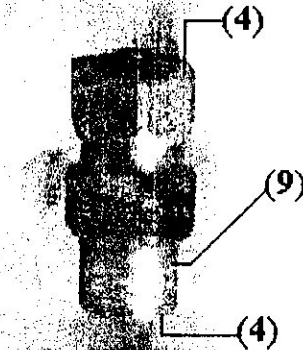
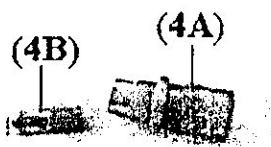
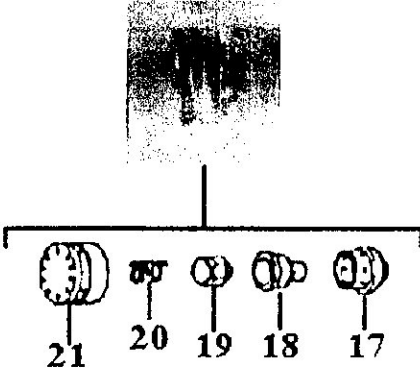
IV.1.3- Inspection visuelle et dimensionnelle

- 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.

Observer l'état général des pièces à inspecter suivant le tableau ci-dessous :

Désignations	Remèdes et Tolérances
 <p style="text-align: center;">support</p>	<p>1- Pas de criques dans le corps du support, sinon remplacer le support. 2- Contrôler le joint de surface (1) à cause de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ecorchures - Arrachement - Piqûres <p>3- Examiner l'état des filets. 4- Examiner le rebord du support</p> <p>a- Partie inférieure (A):</p> <ul style="list-style-type: none"> - La profondeur des surfaces piquées se trouvant à 0,100 INCH des perçages ne dépasse pas 0,010 INCH. <p>b- Partie supérieure (B) et les cotés:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les surfaces piquées se trouvant à 0,100 INCH des perçages ne doivent 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.
 <p style="text-align: center;">corps</p>	<p>1- Pas de criques dans le corps, sinon remplacer le corps. 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) à cause de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arrachement <p>4- Examiner l'état des filets.</p>

 <p>(16)</p> <p>bague d'extrémité d'air</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1- Contrôler l'état d'usure du revêtement. 2- Pas d'endommagement du trou central. 3- Pas de criques entre les trous. 4- Examiner l'état des filets.
 <p>(4)</p> <p>(9)</p> <p>(4)</p> <p>distributeur</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1- Pas d'écorchures sur les deux joints de surfaces (4).
 <p>(4B)</p> <p>(4A)</p> <p>sélecteur de débit</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1- Pas d'écorchures sur la surface extérieure du calibre (4B) et la surface intérieure du guide (4A). 2- L'état de surface dans ses parties ne dépasse pas 10 micro-inches.
 <p>21</p> <p>20</p> <p>19</p> <p>18</p> <p>17</p> <p>gicleur</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1- Pas de criques ou écorchures ou corrosions sur les pièces: Embout externe (17), Embout interne (18), Directeur (19), Cale d'écartement (21). 2- Utiliser le magnaflux ou une loupe pour détecter les criques.

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

IV.1.4- Réparation

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.

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 1,105 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).

3- Réparation des filetages

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

IV.1.5- Assemblage et serrage

1- Généralité

- Avant d'entamer chacune des opérations réunir tous les ingrédients, outillages et matériels nécessaires.

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.

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 IN.LBS.

- 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]

IV.1.6- test d'étalonnage

1- Introduction

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

Pression différentielle à travers l'injecteur (PSIG)	Limite taux de débit (PPH).	Limites angle de pulvérisation (°) (Voir Fig6)	Etat de pulvérisation (*)
50	32,4-35,7	75-95	(Voir Fig.6, Fig.7, Fig.8 et Fig.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.

IV.1.7- 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 a 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 tests 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]

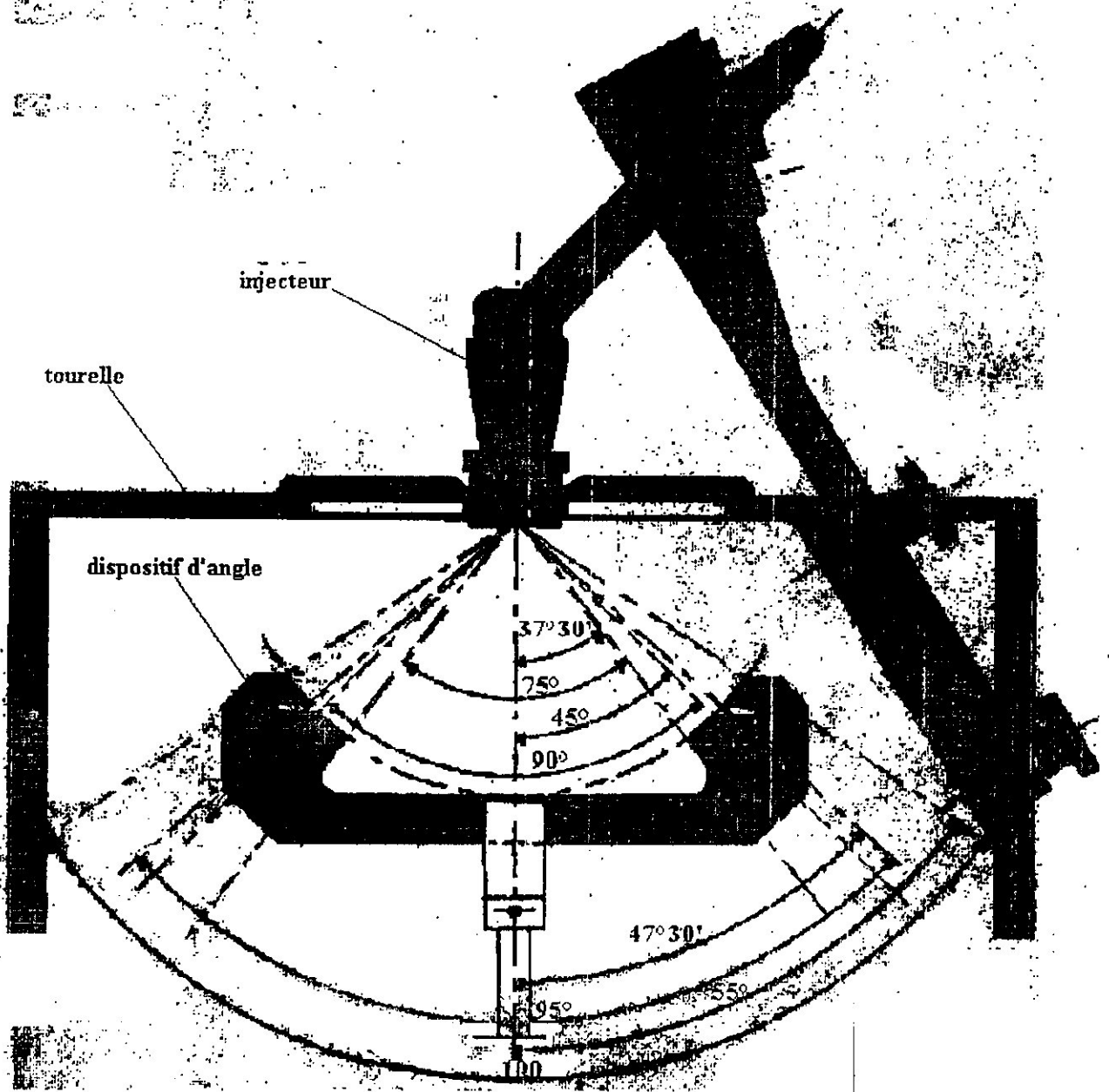


Fig.IV.1 : mesure d'angle de jet.

Les figures ci-dessous montrent quelques états de pulvérisation.



Fig.IV.2. pulvérisation acceptable

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



Fig.IV.3 pulvérisation non acceptable

- présence des traits et de vides



Fig.IV.4 pulvérisation non acceptable

- angle de jet non symétrique



Fig.IV.5 pulvérisation non acceptable

- densité de vaporisation non homogène

IV.1.8- Recherche de panne

problèmes	Cause(s) probable	Remède(s)
1-débit faible à 50 PSIG.	<p>a- Les rainures du directeur (19) obturés, b- orifices de la cale d'écartement (21) obturés.</p>	<p>a- Contrôler le gicleur (10) sous une lentille grossissante et nettoyer si nécessaire. b- Fuite 1 a.</p>
2- Débit fort et/ou traits à 50 PSIG.	<p>a- Jeu excessive entre le guide (4A) et le calibreur (4B). b- Le calibreur (4B) coincé ou ouverture bloquée, c- Le distributeur de débit (9) serré en dessous de la valeur propre. d- Fuite entre le distributeur (9) et le gicleur (10) et/ou entre le gicleur (10) et le corps (11). 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). f- Fuite interne dans le gicleur (10). g- L'orifice d'évacuation de l'embout interne (18) calaminé. h- L'orifice d'évacuation de l'embout interne (18) usé.</p>	<p>a- Remplacer le sélecteur (4). b- Nettoyer le sélecteur de débit (4). Contrôler les surfaces à cause de l'engrasse ou rayures remplacer le sélecteur (4) si nécessaire. c- Rotorquer (9) à la valeur propre. 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. 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. f- Remplacer le gicleur (10). g- Nettoyer avec un chiffon doux imbibé avec solvant pour enlever les calamines. h- Contrôler l'état de l'embout interne (18) s'il est usé, remplacer le gicleur.</p>
3- Débit élevé à 70 PSIG tous les autres débits satisfaisants.	<p>a- Le calibreur (4B) s'ouvre assez fort. b- Le ressort (7) défectueux.</p>	<p>a- Régler l'ouverture de (4B) pour une pression de 70 PSIG donne un débit approprié (7). b- Remplacer le ressort (7).</p>

<p>4- débit faible à 350 PSIG Tous les autres débits satisfaisants.</p>	<p>a- L'embout externe (17) obturé. b- La cale d'écartement (21) obturée. c- Le calibreur (4B) ne s'ouvre pas complètement. d- Filtre (13) colmaté.</p>	<p>a- Faire 1 a. b- Faire 1 a. c- Faire 2 b. d- Nettoyer le filtre.</p>
<p>5- débit élevé et/ou dard à 350 PSIG.</p>	<p>a- Les orifices tangentiels de l'embout externe (17) corrodés et/ou criqués. 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,</p>	<p>a- Comparer l'embout externe (17) avec un autre qui soit neuf Remplacer le gicleur (10) si une crique ou usure est détectée. b- Faire 2d. e- Faire 2g. d- Faire 2h. e- Installer alors l'orifice.</p>
<p>6- Débit faible à 50 PSIG et 350 PSIG.</p>	<p>a- Filtre (13) colmaté.</p>	<p>a- Nettoyer le filtre.</p>
<p>7- Pas de changement après ajustement.</p>	<p>a- Ressort cassé.</p>	<p>a- Remplacer le ressort.</p>
<p>8- Débit irrégulier après l'ouverture du calibreur (4B).</p>	<p>a- Le siège d'appui (8) installé à l'envers,</p>	<p>a- Inverser la position du siège d'appui (8).</p>
<p>9- Hystérésis (plein à craquer)</p>	<p>a- Le sélecteur de débit (4) encrassé, endommagé ou strié.</p>	<p>a- Faire 2b.</p>
<p>10- Traits persistant, tous les débits et les angles de pulvérisation sont bons</p>	<p>a- Fuite interne dans le calibreur (4B) [Cause probable 2a, 2d et 2f].</p>	<p>a- Un léger trait est acceptable, mais s'il est significatif, faire 2a, 2d et 2f.</p>
<p>11- Les angles de pulvérisation hors tolérance et/ou non symétrique.</p>	<p>a- Les composants du gicleur (10) mal nettoyés ou endommagés (Directeur (19), embout externe (17)).</p>	<p>a- Faire 2c, 2g, 2h, 5a, 5c et 5d.</p>

- Remarque

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

- Démonter l'injecteur
- Relâcher 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.

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

IV.1.9- Test 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.

IV.1.10- Stockage

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

IV.1.11- Résultats et interprétation

Durant notre test sur le banc d'essai on a pris un exemple des résultats suivant :

Moteur ALLISON 501 WD22A		
Pression (psig)	Débit (pph)	Angle (°)
50	36.72	75
70	55.70	78
90	133.5	85
100	156.00	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

Tableau IV.2 : Résultats du test d'étalonnage d'in injecteur ALLISON 501-D22A.

Cet exemple nous a donné le graphe suivant :

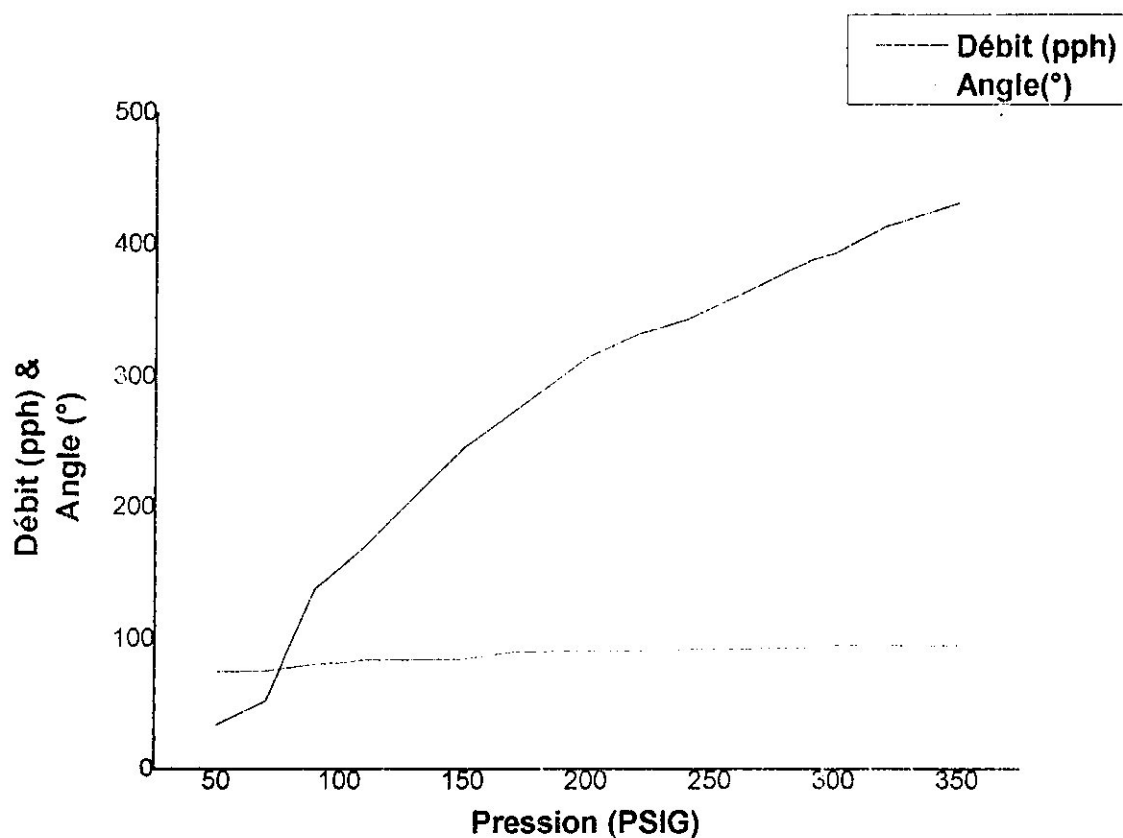


Fig.IV.6 Graphe des résultats de l'injecteur équipant le moteur ALLISON 501-D22A

IV.2- Inspection et maintenance de l'injecteur équipant le moteur JT8D

IV.2.1- Désassemblage (Voir Fig.III.7, Fig.IV.6)

A- Généralité

- Avant d'entamer chacune des opérations il faut réunir tous les ingrédients, outillages et matériels nécessaires.

B- Procédure

- 1- Installer l'injecteur dans le socle (PWA-32015).
- 2- Utiliser la chasse-clavette (PWA-32016) et à l'aide d'un marteau donner des coups pour séparer la bague de blocage (LOCK RING, 105) de la bague d'extrémité d'air (100). Répéter l'opération pour les autres serrages.
- 3- Enlever l'ensemble du socle (PWA-32015).
- 4- Fixer l'ensemble dans le bâti (PWA-12665).
- 5- Desserrer la bague d'extrémité d'air (100) par la clef (PWA-14514).
- 6- Enlever le gicleur, et jeter le joint d'étanchéité (15) et la bague de blocage (105).
- 7- Enlever le support (5) du bâti.
- 8- Démontage du capotage (FAIRING, 10):
 - a- Meuler les soudures qui fixent le capotage au support.
 Ecarter le capotage (10) pour enlever le support (5).

9- Désassemblage des sous-parties du gicleur:

a- Installer l'ensemble distributeur (45) dans le support du gicleur T-105513 (PWA-49008)

b- Enlever la bague de retenue (RETAINING RING, 95).

c- Enlever le siège de filtre (STRAINER SEAT, 90).

d- Enlever le filtre primaire (85) et la bague d'espacement (SLEEVE SPACER, 75).

e- Presser sur le guide (70) vers le bas, enlever le circlips (RETAINING RING, 80) de son logement dans le corps du gicleur (25), enlever le guide (70).

f- Enlever le ressort (65).

g- Enlever le calibre primaire (50).

h- Enlever le circlips (60).

i- Enlever le distributeur (45), filtre secondaire (55) et le calibre secondaire (40) du corps du gicleur (25).

- Remarques:

- Jeter les circlips et les filtres.

- Les éléments: calibre primaire (50), calibre secondaire (40) le distributeur (45) et le corps du gicleur (25) de chaque injecteur doivent être gardés ensemble et séparément.

- Le but de cette opération, est de préparer l'étape suivante (NETTOYAGE): car l'injecteur est composé des pièces de différents matériaux qui nécessitent des solutions différentes de nettoyage.

IV.2.2- Nettoyage chimique

- L'injecteur ainsi désassemblé est immergé dans une solution dégraissante pour enlever toute trace de graisse, la solution classique la plus utilisée est LE WHITE SPIRIT, le temps de séjour est de quelques heures.

Après le dégraissage, l'injecteur est nettoyé comme suit:

1- Placer les composants de l'injecteur dans un panier a grille en fil inox, garder chaque groupe de composant de chaque injecteur séparément.

2- Imbiber les composants de l'injecteur dans deux pounds de TURCO 4181 par gallon d'eau à 80°-200° F pour une durée d'une heure ou d'une demi heure.

3- Rincer les composants par pulvérisation d'eau fraîche.

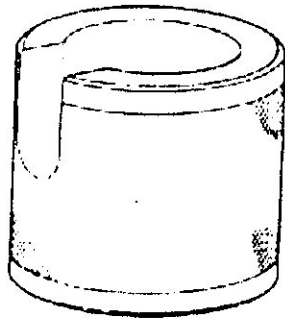
4- Rincer les composants de 2 à 3 minutes avec de l'eau à 180°F.

5- Sécher les composants avec de l'air comprimé à 30 PSIG.

6- Enlever toute trace qui reste du carbone sur les surfaces en utilisant une brosse non métallique à poils durs.

7- Inspecter les composants nettoyés. Renettoyer si nécessaire.

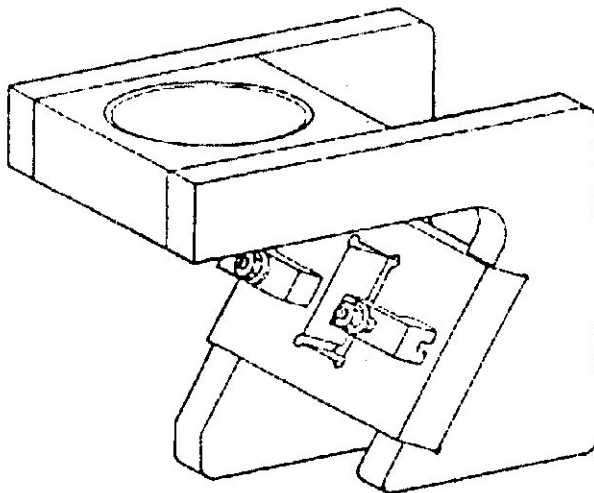
- Le but de cette opération est de donner un teint plus brillant et clair aux pièces de l'injecteur pour faciliter l'inspection visuelle et aussi leurs restituer les côtes d'origine pour favoriser l'inspection dimensionnelle.



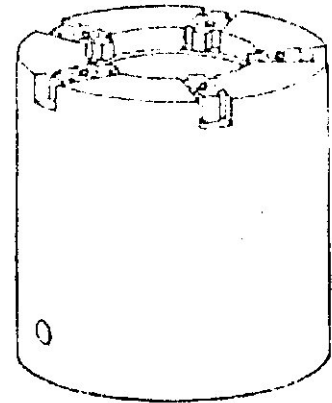
PWA 32015 base



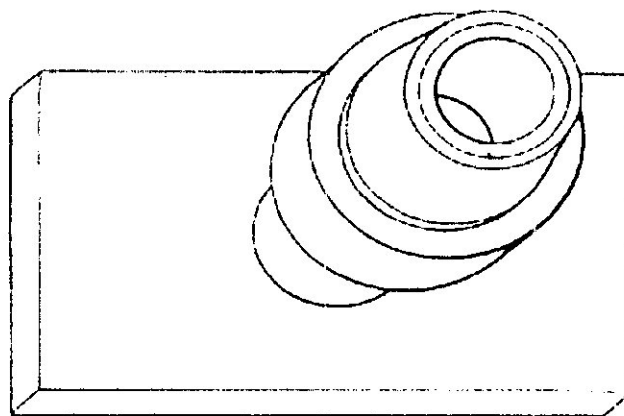
PWA 32016 drift



PWA 12665 fixture



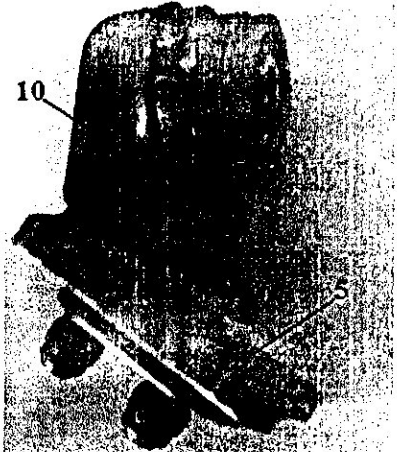
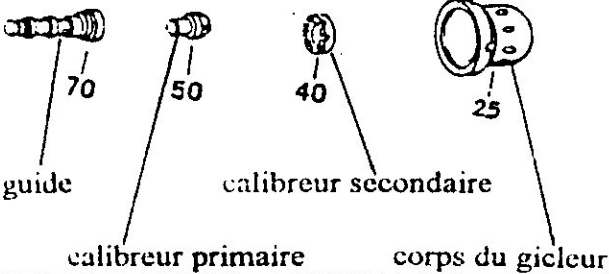
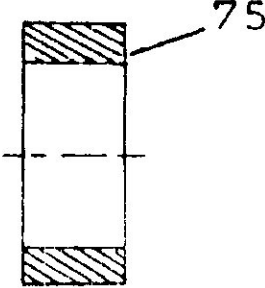
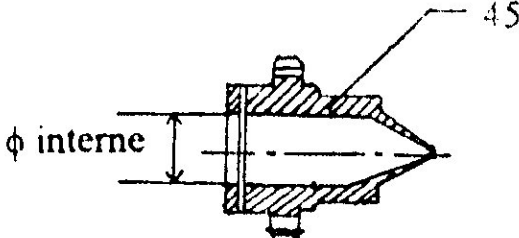
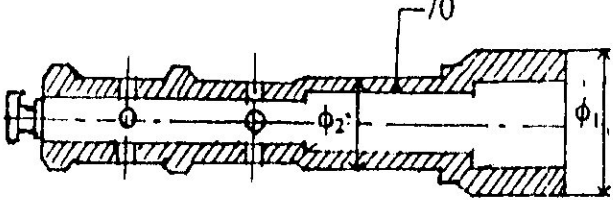
PWA 14514 wrench

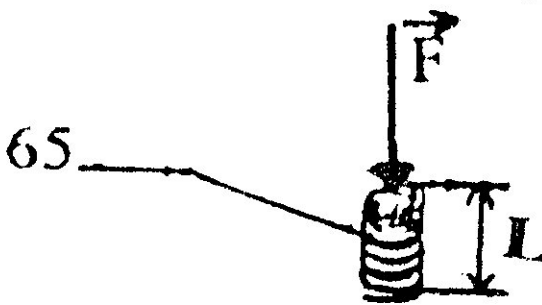
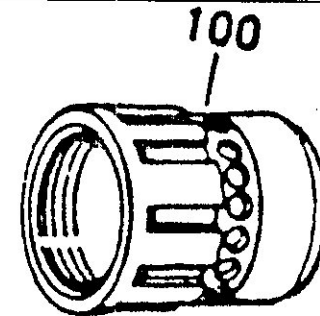
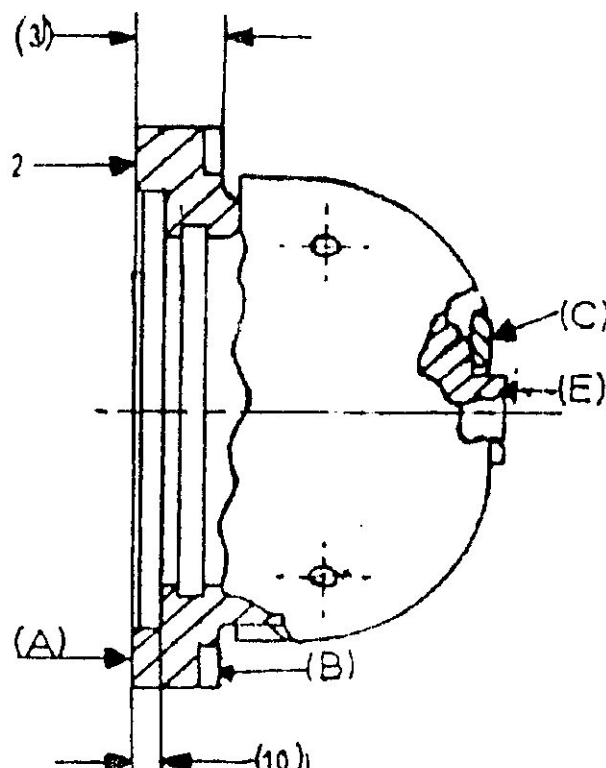


T-105513 (PWA 49008) nozzle holding fixture

Fig.IV.7 Poutillage spécifique pour la maintenance des injecteurs

IV.2.3- Inspection visuelle et dimensionnelle

Désignations	Tolérances
	<p>1- Pas d'usure ou égratignures.</p> <p>2- Contrôler l'état des filets.</p> <p>3- Inspecter les criques par PENETRANT FLUORESCENT.</p> <p>4- Contrôler l'état du capotage (10), si le capotage est usé, voir alors la partie Réparation.</p>
	<p>1- Pas d'usure, ou érosion, ou endommagement mécanique ou criques, sinon remplacer.</p>
	<p>1- Diamètre externe: 0,3590-0,3615 INCH.</p> <p>2- Diamètre interne: 0,256-0,269 INCH</p>
	<p>1- Diamètre interne: 0,362-0,365 INCH</p>
	<p>1- Diamètre 1: 0,3595 - 0,3615 INCH.</p> <p>2- Diamètre 2: 0,265 - 0,269 INCH.</p>

	<p>1- La longueur $L = 0,475$ INCH quand (F) la charge appliquée est de 2 à 2,5 Lbs</p>
	<p>1- Inspecter les criques.</p>
	<p>1- Côte (3): 0,170 INCH minimum. 2- Surface (C) et (E) coplanaire de 0,01 INCH maximum. 3- Côte (10): 0,055 INCH minimum. 4- Surface (A) et (B) parallèle à 0,02 INCH maximum. 5- Contrôler état de surface (2). 6- Inspecter le diamètre interne à cause des criques.</p>

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

IV.2.4- Réparation: (Voir Fig.IV.7)

1) Correction des passages au niveau du calibre principal (50):

A- Augmentation de la section de passage du calibre principal (50)

- Remarque:

- Il existe trois sections de passage au niveau du calibre principal (50), choisir l'une quelconque des trois sections.

- Procédure:

- a- Limer dans la direction de l'écoulement le côté (1) de façon à augmenter la section de passage, on obtient la forme montrée dans le schéma (A).
- b- Nettoyer le calibre principal (50).

B- Diminution de la section de passage du calibre principal (50)

- Procédures:

- a- Limer dans la direction de l'écoulement le côté (2) de façon à diminuer la section de passage, on obtient la forme montrée dans le schéma (B).
- b- Nettoyer le calibre principal (50).

- Remarque:

Si la 1ère correction n'apporte pas d'amélioration pendant le test de calibrage alors répéter la même opération pour les autres sections.

2) Correction des passages au niveau du calibre secondaire (40) : (Voir Fig.IV.7-C)

A- Augmentation des sections de passage du calibre secondaire (40)

- Remarque:

- Il existe plusieurs sections de passage au niveau du calibre secondaire (40), choisir l'une quelconque des rainures.

- Procédures:

- a- Limer dans la direction de l'écoulement le côté (1) de façon à augmenter la section de passage.
- b- Limer ensuite dans la direction de l'écoulement le côté (1') qui se trouve à 180° par rapport au centre.
- c- Nettoyer le calibre secondaire (40).

B- Diminution de la section de passage du calibre secondaire (40):

- Procédures:

- a- Réduire l'épaisseur du calibre secondaire (40) au niveau du côté (2) la section de contact avec le distributeur (45) par une pâte à roder.
- b- Nettoyer le calibre secondaire (40).

- Remarque:

- Si la correction n'apporte pas d'amélioration pendant le test de calibrage, répéter alors l'opération pour les autres sections.

3) Réparation du capotage (10): (Voir Fig.IV.8)

- a- Faire un préchauffage du support (5) de 350 à 450° F.
- b- Positionner le nouveau capotage sur le support.
- c- Souder le capotage au niveau de W, pendant en utilisant les baguettes de soudure (AMS5680 ou AMS5 786).
- d- Par FLUORESCENT PENETRANT. Inspecter les surfaces de soudures
- e- Faire un STRESS-RELIEVE à 1600° ± 25°F (*).
- f- Nettoyer le support (5) (Voir nettoyage).

IV.2.5- Assemblage et serrage (Voir Fig.III.7, Fig.IV.6)**A- Généralité**

Avant d'entamer chacune des opérations réunir tous ingrédients, outillages et matériels nécessaires.

B- Procédures**1- Assemblage des sous-parties du gicleur:**

- a- Installer le corps du gicleur (25) dans le support du gicleur (PWA-49008).
 - b- Installer le calibre secondaire (40) au fond du corps du gicleur (25).
 - c- Insérer le filtre secondaire (55) à l'intérieur du corps du gicleur (25) de façon qu'il contourne bien le calibre secondaire (40).
 - d- Insérer le distributeur (45) dans le calibre secondaire (40), s'assurer que le distributeur est bien mis en place.
 - e- insérer le circlips (60) dans son logement dans le corps du gicleur (25).
 - f- Installer le calibre primaire (50) dans le distributeur (45).
 - g- Installer le ressort (65) dans le calibre primaire (50),
 - h- Placer le guide (70), presser son extrémité de façon à mettre en évidence le logement du circlips (80) dans le distributeur (45).
 - i- Installer le circlips (80) à l'intérieur du logement du distributeur (45).
 - j- Installer la bague d'espacement (75).
 - k- Installer le filtre primaire (85).
 - l- Installer le siège de filtre (90).
 - m- Installer la bague de retenue (95) dans la gorge du guide (70).
- 2- Soudage du capotage (10) au support (Voir réparation).
- 3- Installer le support (5) dans le bâti (PWA-12665),
- 4- Placer le joint d'étanchéité (15) et la bague de blocage (105), s'assurer que les pattes de la bague de blocage s'engagent dans leurs logements.
- 5- Installer l'ensemble gicleur au dessus du joint d'étanchéité (15) dans le support (5).
- 6- Raccorder le corps du gicleur (25) au support, en utilisant la clef (PWA-14514), serrer la bague d'extrémité d'air (100) de 550 à 600 IN.LBS.

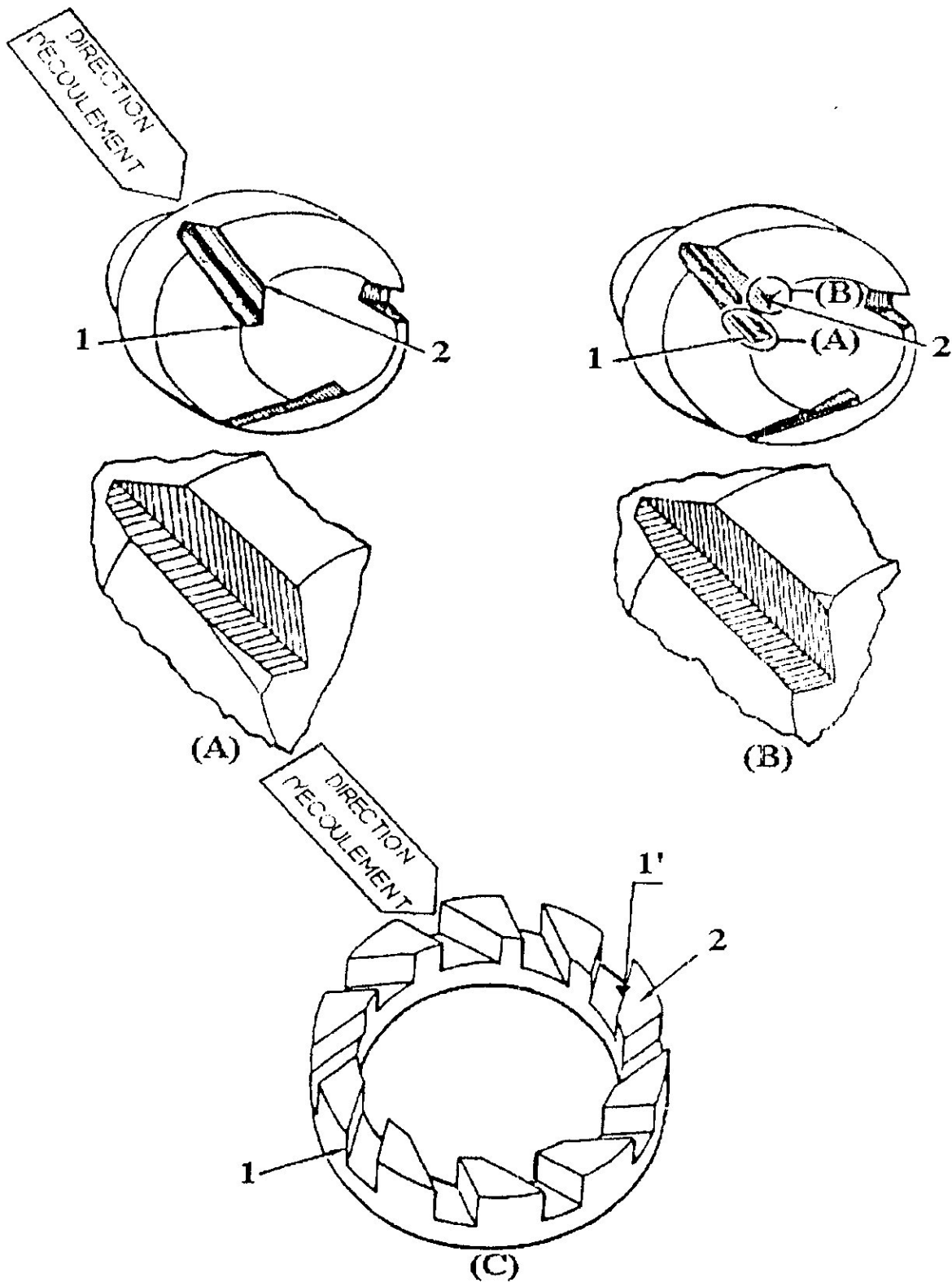


Fig.IV.8 les sections de passage du calibre

A la fin de cette opération passer l'injecteur aux banc d'essais pour le tester.

- Remarques

- (*) Utiliser la lecture directe pour mesurer le cône angulaire dans le plan à travers l'axe de l'injecteur à deux positions décalées de 90°. Le cône de pulvérisation doit être symétrique par rapport à l'axe de l'injecteur avec 5° de battement de part et d'autre de l'axe.

- (***) Visuellement inspecter la forme du cône en faisant des rotations de l'injecteur autour de son axe. Il ne doit pas y avoir des traits visibles, les traits peuvent être éliminés par un nettoyage extérieur des orifices de décharge. L'injecteur est considéré bon pour le service, que s'il répond parfaitement aux exigences de test d'étalonnage; mais si les valeurs de test 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.

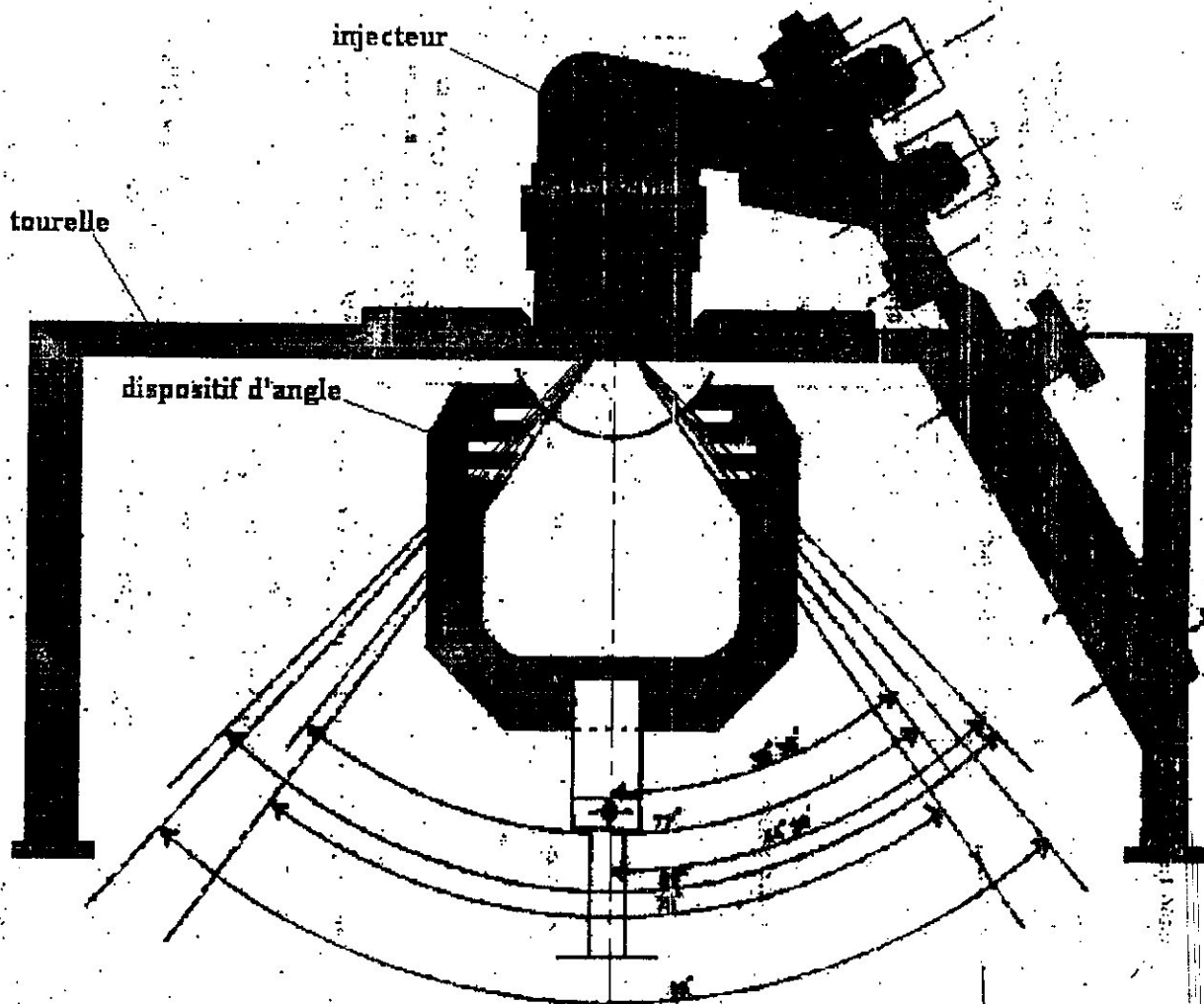


Fig.IV.10 test d'angle

Problèmes	Cause(s) probable(s)	Remède(s)
1-Traits.	1- Le calibreur primaire (50). 2- Le distributeur (45). 3-Le calibreur secondaire (40). 4- Corps du gicleur (25).	- Nettoyer les parties concernés (Voir nettoyage).
2- Débit primaire faible.	1- Le calibreur primaire (50).	- Augmenter les sections de passage du calibreur primaire (50) pour accroître le débit primaire (Voir la partie réparation).
3- Débit primaire élevé.	1- Le calibreur primaire (50).	- Diminuer les sections de passage du calibreur primaire (50) pour décroître le débit primaire (Voir la partie réparation).
4-Débit secondaire faible.	1-Le calibreur secondaire (40).	- Augmenter les sections de passage du calibreur secondaire (40) pour accroître le débit secondaire (Voir la partie réparation).
5- Débit secondaire élevé.	1-Le calibreur secondaire (40).	- Réduire l'épaisseur du calibreur secondaire pour décroître le débit secondaire (Voir réparation).

Après le réglage final, l'injecteur est soumis à un test de fuite de la façon suivante:

IV.2.8- Test de fuite: (Voir Fig.IV.10)

- Procédures

- 1- Installer le serre-joint (PWA 33893) (Voir Fig.IV.2.10-A) dans les orifices de décharge du primaire et du secondaire (Voir Fig.IV.2.10-B).
- 2- Appliquer une pression d'azote de 10 PSIG au secondaire et au primaire en même temps, ou bien le primaire avant le secondaire.
- 3- Immerger l'ensemble dans l'eau.
- 4- Augmenter la pression d'azote à 300 PSIG.
- 5- Contrôler visuellement la fuite pour une période d'une minute, toute fuite est mise en évidence par la présence de bulles d'air au niveau des surfaces, joints et connections.
- 6- Abaisser la pression du secondaire, ensuite du primaire.
- 7- Enlever l'ensemble de l'eau et déconnecter l'azote.
- 8- Avec le secondaire ouvert, et le serre-joint installé, appliquer une pression de 10 PSIG au primaire et immerger l'ensemble dans l'eau.
- 9- Augmenter la pression de l'azote de 300 PSIG et contrôler la fuite au niveau de l'entrée du secondaire pendant une minute. Toute fuite est mise en évidence par la présence de bulles.
- 10- Abaisser la pression du primaire et enlever l'ensemble de l'eau.
- 11- déconnecter le primaire et enlever le serre-joint.

IV.2.9- Stockage:

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

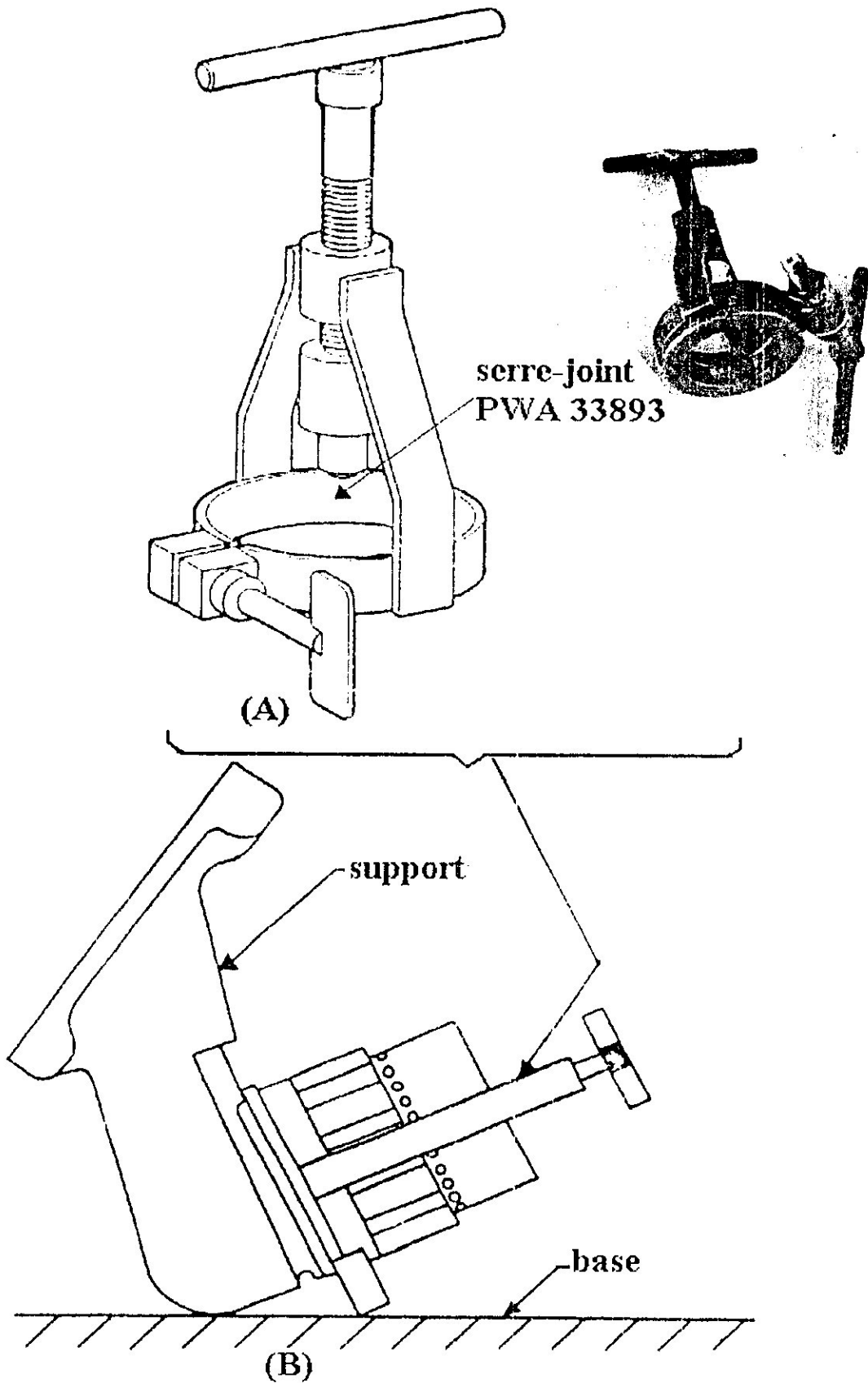


Fig.IV.11 fixation de l'injecteur

IV.2.10- Résultats et interprétation

Durant notre test sur le banc d'essai on a pris un exemple des résultats suivant :
 Pour le débit primaire

Moteur JT8D				
Pression primaire (psig)	Débit primaire (pph)	Angle (°)	Pression secondaire (psig)	Débit secondaire (pph)
25	62.5	73	0	0
70	76.1	73	0	0
90	80.4	73	0	0
100	82	73	0	0
110	82.9	73	0	0
150	95.31	73	0	0
170	103	73	0	0
200	115.6	73	0	0
220	125.03	73	0	0
240	135.2	74	0	0
270	180	74	0	0
290	205.8	75	0	0
300	219.3	75	0	0

Tableau IV.2 : Résultats du test d'étalonnage d'in injecteur JT8D (débit primaire).
 Cet exemple nous a donné le graphe suivant :

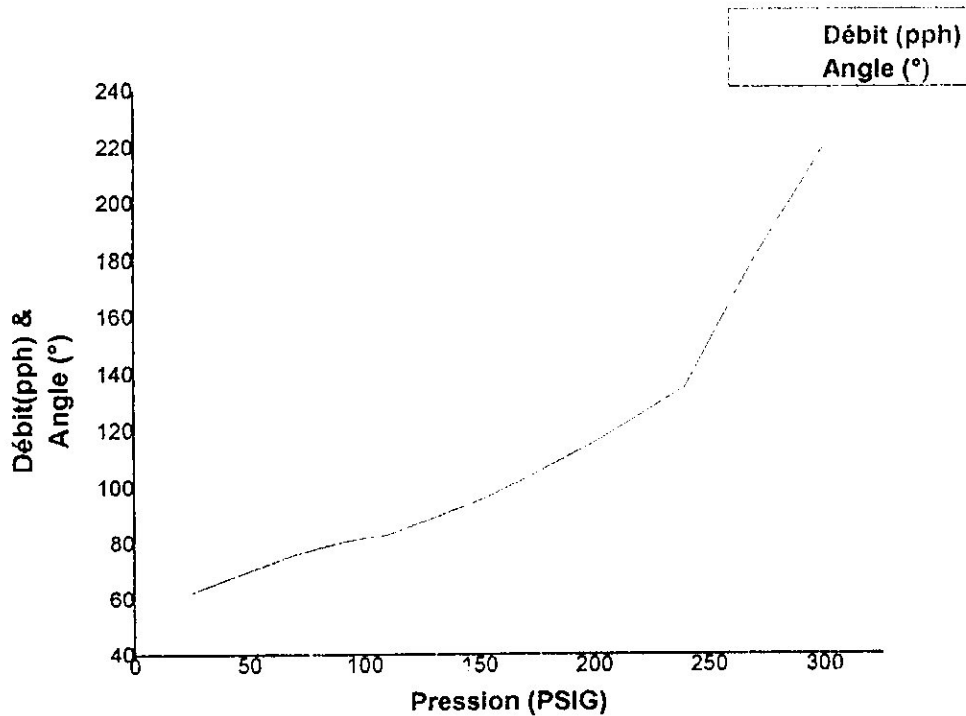


Fig.IV.12 Graphe des résultats de l'injecteur équipant le moteur JT8D

Pour le débit primaire-secondaire

Moteur JT8D			
Pression primaire (psig)	Pression secondaire (psig)	Débit primaire-secondaire (pph)	Angle (°)
275	25	250.4	75
275	40	310.5	75
275	55	480.07	76
275	65	600.2	76
275	70	750.9	78
275	80	805.04	79
275	90	840.6	80
275	100	856.2	80

Tableau IV.2 : Résultats du test d'étalonnage d'in injecteur JT8D (débit primaire-secondaire).

Cet exemple nous a donné le graphe suivant :

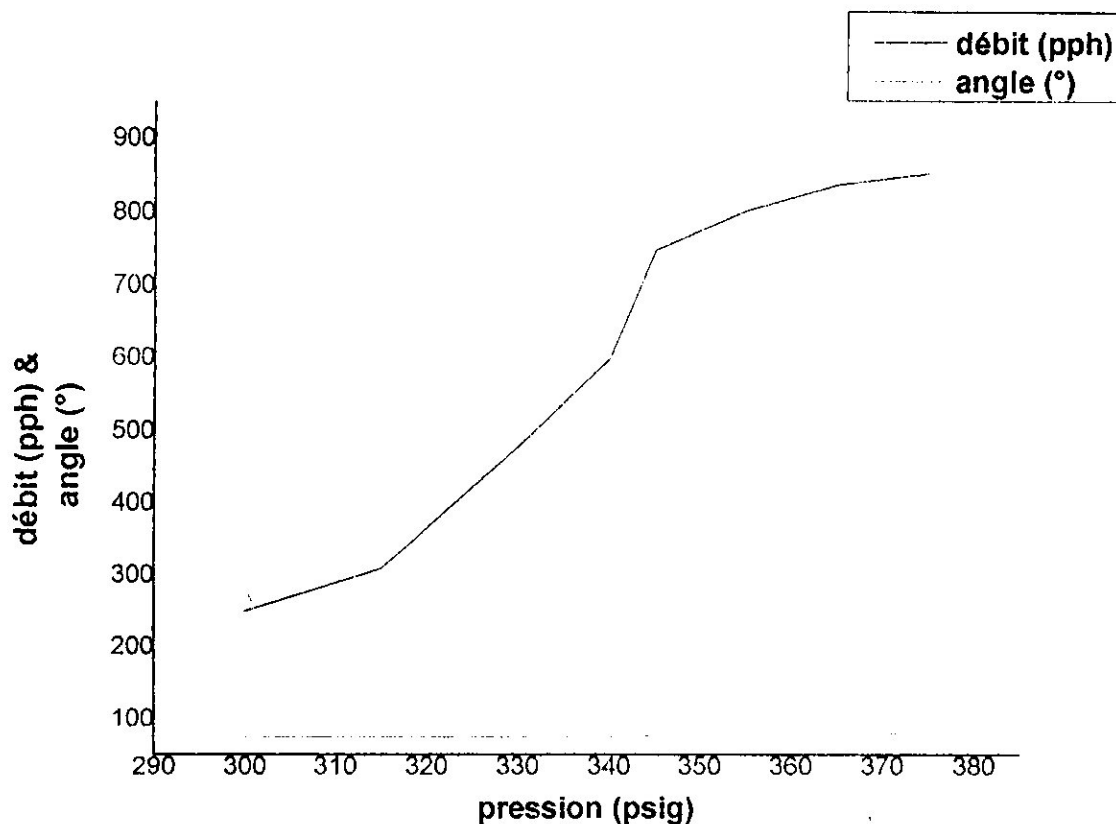


Fig.IV.13 Graphe des résultats de l'injecteur équipant le moteur JT8D

IV.3- Inspection et maintenance de l'injecteur équipant le moteur CF6-80

IV.3.1- Test d'étalonnage.

1)- Introduction (voir Fig.IV.11)

- Le test d'étalonnage permet de vérifier les débits de carburant et les angles de pulvérisation qui doivent être dans les limites spécifiques à chaque pression sous forme de tableaux ci-dessous.

2) Injecteur double orifice:

Pression (PSIG)	Débit de carburant (PPH)	Angle de pulvérisation (°) (Voir Fig4)	Etat de pulvérisation
52	24-32	-	Voir Fig5
185	-	68-81	
335	127,0-165,0	-	
472	611,0-669,0	-	
545	831,0-919	-	

3) Injecteur secondaire:

Pression (PSIG)	Débit de carburant (PPH)	Etat de pulvérisation
335	127,0-165,0	Voir Fig5
472	611,0-669,0	
545	831,0-919,0	

Contrôle d'hystérésis (plein a craquer) (injecteur double orifice et secondaire)

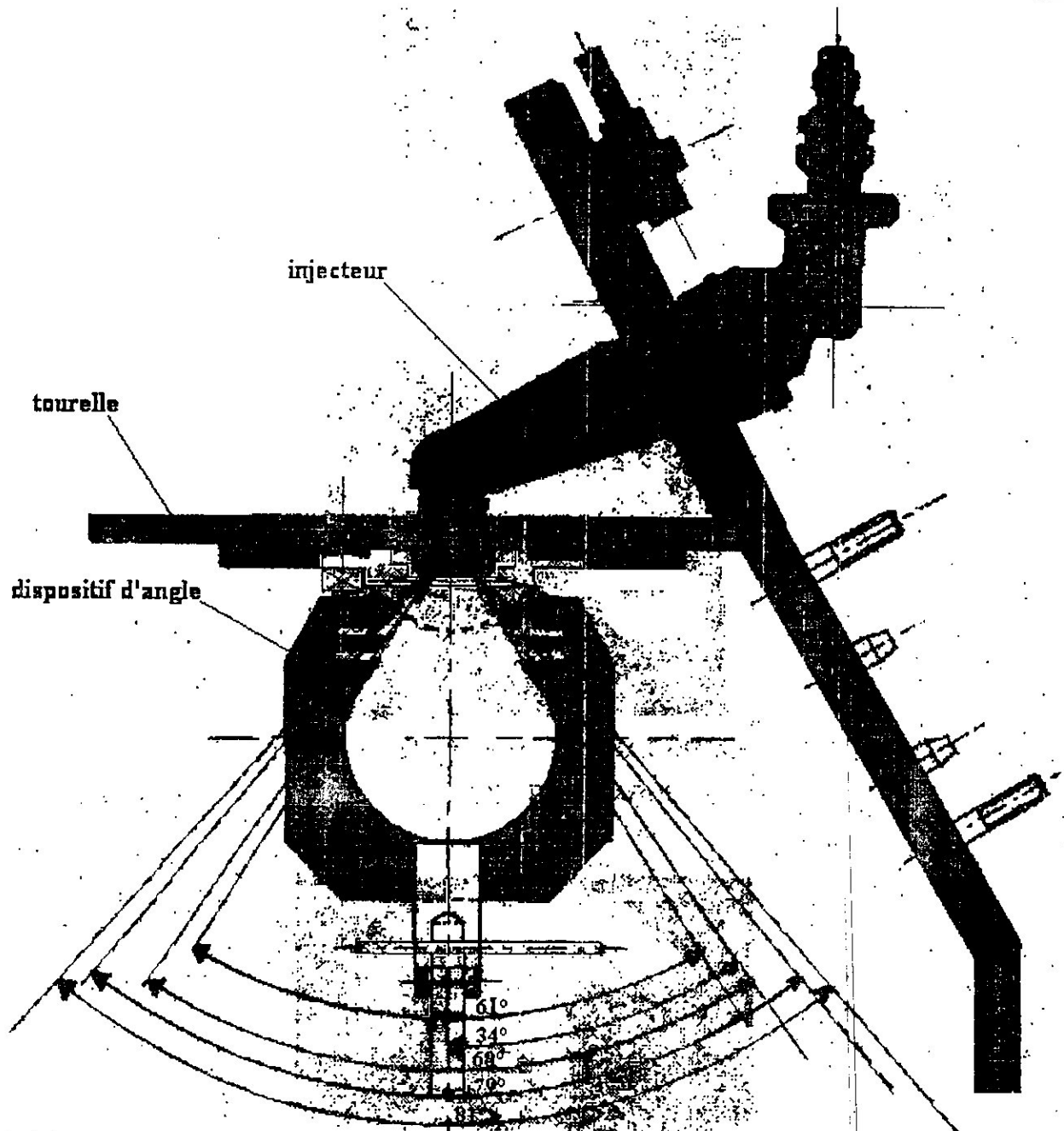
Suite au test de calibration, faire décroître la pression différentielle de 545 à 335 PSIG. La valeur de débit obtenue doit être à plus ou moins 21 PPH de la valeur de débit obtenue durant le test d'étalonnage à la même pression.

4) Injecteur double orifice et Injecteur secondaire:

Pression du carburant (PSIG)	Pression de l'air (PSIG)	Angle de pulvérisation (°)
472	1,6	61-79

IV.3.2 - Test de débit à travers la bague d'extrémité d'air

Pression de l'air (mm H ₂ O)	Débit de l'air (m ³ /mn)
254	3,6 à 4,4

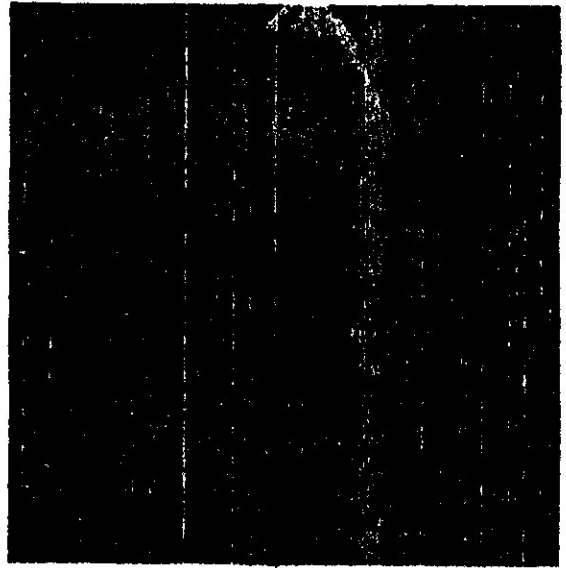


L'injecteur n'est considéré bon pour le service que s'il répond parfaitement aux exigences du test d'étalonnage.

Fig.IV.14 test d'angle



acceptable



non acceptable
- vides ou des stries lourdes
dans le cône de jet



non acceptable
- le jet des deux débit est
décentré

Fig.IV.15 formes de jet

IV.3.3- Test de fuite:

1)- Test de fuite externe:

a- Test de pression avec l'azote:

- 1- Purger l'injecteur du carburant résiduel avec l'azote comprimé de 250 à 300 PSIG.
- 2- Réaliser le montage de la (Fig.IV.13).
- 3- Submerger l'injecteur dans un réservoir de carburant et ouvrir toutes les vannes de l'ensemble des tuyaux de test (TEST HOSE ASSEMBLY), puis appliquer une pression d'azote de 350 PSIG pendant une minute et contrôler toute fuite. La fuite est mise en évidence par la présence des bulles dans la solution du réservoir.
- 4- Réduire la pression jusqu'à zéro et retirer l'injecteur submergé.

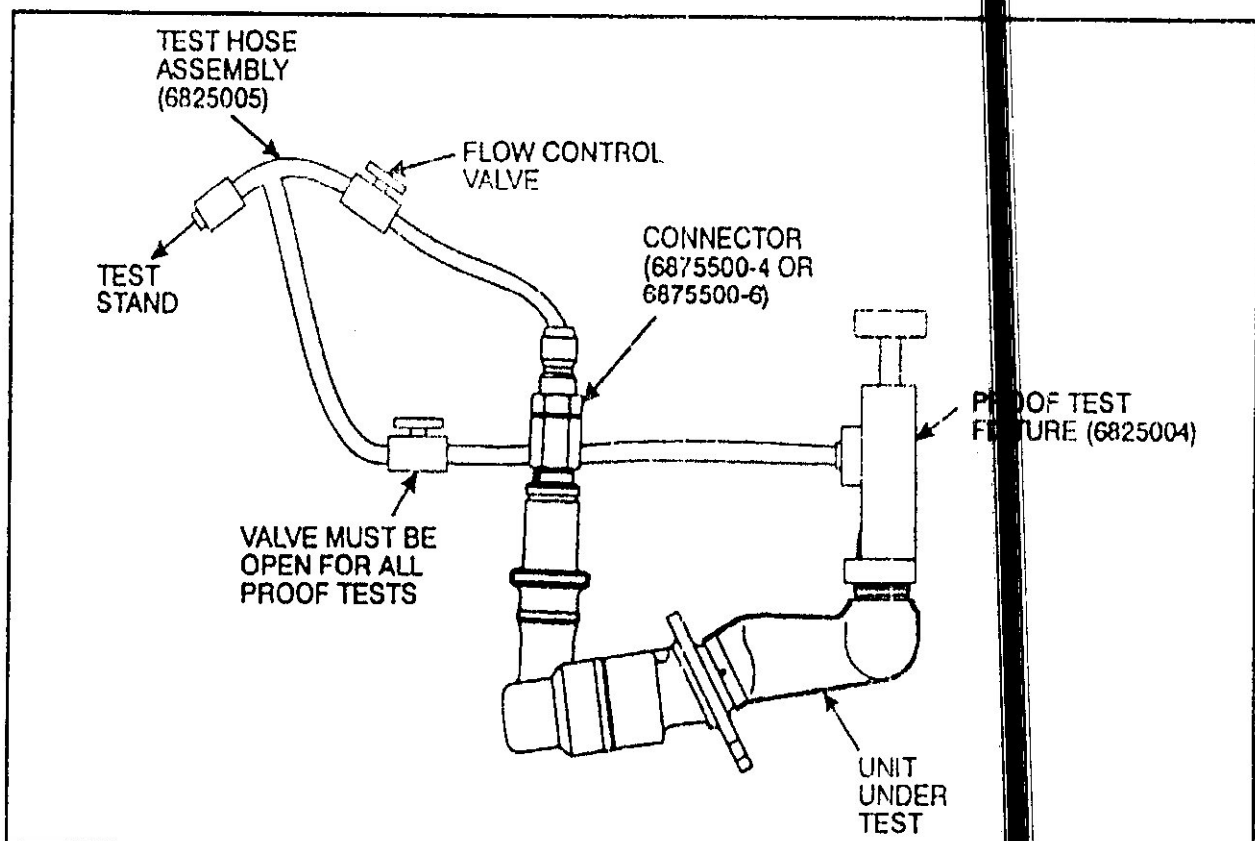


Fig.IV.16 montage d'un test de fuite externe

b- Test de pression avec du carburant

- 1- Garder le montage de la (Fig.IV.13).
- 2- Desserrer le robinet d'arrêt d'outillage de fixation (6825004) et appliquer une pression de carburant de 250 à 300 PSIG et purger l'injecteur de tout l'azote résiduel. Fermer le robinet d'arrêt et sécher l'injecteur extérieurement avec de l'air.
- 3- Augmenter la pression du carburant entre 1200 et 1225 PSIG pendant une minute et contrôler toute fuite. La fuite est mise en évidence par le mouillage de la surface externe de l'injecteur.
- 4- Réduire la pression du carburant à zéro.

2)- Test de fuite interne:**2.1- Test de fuite du sélecteur de débit:****a- Injecteur double orifice (primaire - secondaire)**

- 1- Installer le serre-joint 6825008 pour obturer le petit orifice primaire de l'injecteur.
- 2- Purger l'injecteur du carburant résiduel avec de l'azote comprimé de 250 à 300 PSIG.
- 3- Réduire la pression à zéro.
- 4- Submerger l'injecteur dans un réservoir de carburant et appliquer une pression d'azote de 165 PSIG pendant une minute et contrôler la fuite par le grand orifice secondaire. La fuite est mise en évidence par la présence de bulles dans la solution du réservoir.
- 5- Réduire la pression d'azote à zéro et retirer l'injecteur submergé.

b- Injecteur secondaire:

- 1- Purger l'injecteur du carburant résiduel avec de l'azote comprimé de 250 à 300 PSIG.
- 2- Submerger l'injecteur dans un réservoir de carburant et appliquer une pression d'azote de 185 PSIG pendant une minute et contrôler la fuite par le grand orifice secondaire. La fuite est mise en évidence par la présence de bulles dans la solution du réservoir.
- 3- Réduire la pression d'azote à zéro et retirer l'injecteur submergé.

2.2- Test de fuite de la valve de contrôle:

Uniquement l'injecteur double orifice:

- 1- Réaliser le montage de la (Fig.IV.14).
 - 2- Appliquer une pression de carburant de 30 ± 2 PSIG et fermer le robinet d'arrêt du DECAY TEST FIXTURE et puis fermer l'alimentation carburant.
 - 3- Après 30 secondes contrôler la pression dans le manomètre, la pression indiquée ne doit pas être au dessous de 15 PSIG.
 - 4- Après 3 minutes supplémentaires, reconstrôler la pression dans le manomètre, la pression indiquée doit être au moins de 10 PSIG.
- Cette pression correspond à la pression d'ouverture de la valve de contrôle.

IV.3.4- Stockage:

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

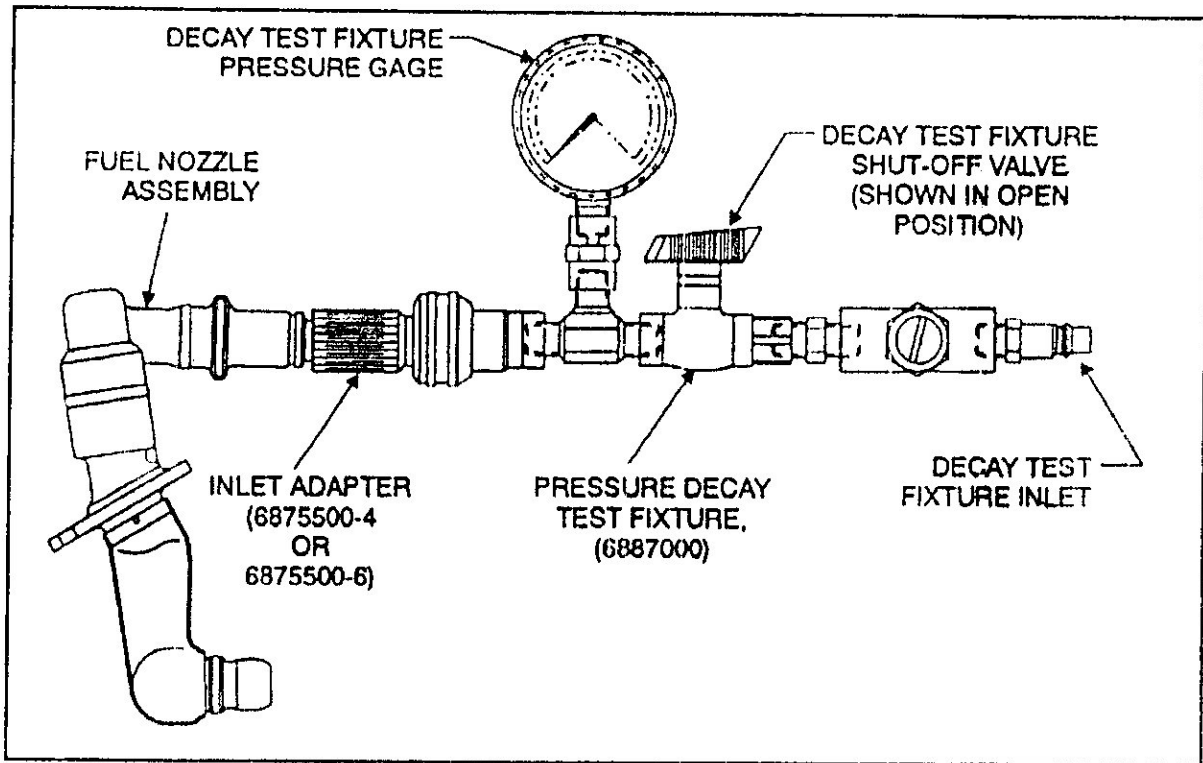


Fig.IV.17 montage d'un test de fuite interne

Chapitre V

Résultats et commentaires

V- Résultats et commentaires

V.1- introduction

Dans ce chapitre, on va présenter les résultats de quelques types d'injecteurs, obtenus dans le test d'étalonnage au cours de notre stage pratique. Ces résultats numériques sont convertis à des graphes bidimensionnels, qui permettent de voir l'évolution des différents paramètres physiques de contrôle du bon fonctionnement de l'injecteur mis sous test, et prédire les performances de la combustion produite, ainsi la durée de vie de la chambre de combustion et les aubes turbine. Ceci est réalisable à l'aide des fiches de test comme référence.

AIR ALGERIE		FICHE DE TEST		P/N		
DIRECTION TECHNIQUE		INJECTEUR		Date Dep		
S/D REVISION MOTEURS		JT8D		Date Test		
MOTIF DE DEPOSE						
<p>PROCEDURE DE TEST SUR BANC D'ESSAI POUR INJECTEURS</p> <p>MOTEURS P & W JT8D</p>						
<p>1-Procéder au préalable à l'identification du groupe de l'injecteur à tester en se referant au classement des differants P/N etabli sur les tables 1 et 2.</p> <p>2-Procéder au test sur banc .</p> <p>Trois mesure sont necessaires pour le test.</p> <ul style="list-style-type: none"> *- Fixer les valeurs des pressions primaire et secondaire à appliquer à l'injecteur *- Lire sur le banc les valeurs correspondantes du debit carburant et de l'angle de pulverisation. *- Voir ensuite si les valeurs obtenues au banc sont conformes à celles fournies par le constructeur <p>3-Inspecter visuellement la forme du cone de pulveration,en donnant des petites rotations autour de l'axe de l'injecteur .</p> <p>IL n'est pas toleré l'apparition de rayures au niveau du cone de pulverisation.</p> <p>La mesure de l'angle de pulverisationse fait à 2 positions, 90° l'une de l'autre , à travers l'axe de l'injecteur (la deuxieme valeur lue est obtenue en donnant une rotation de 90° à l'injecteur dans la direction de l'axe et le sens de la premiere position).</p> <p>Le cone de pulverisation doit etre symetrique par rapport à l'axe de l'injecteur , avec une tolerance de 5° de fluctuation angulaire du cone .</p>						
LIMITES DE CALIBRATION						
JT8D			Pression primaire	Pression secondaire	Debit pph	Spray angle
POUR LES GROUPES VOIR IDENTIFICAT ⁿ . P/N SUR LES TABLES 1 & 2	Groupe 1	1	25	0	41-45	73°-85°
		2	300	0	141-147	-----
		3	275	100	848-865	77°-89°
	Groupe 2	1	25	0	63,3-65,5	-----
		2	300	0	222-227	77°-89°
		3	275	100	848-865	-----
	Groupe 3	1	25	0	41-45	73°-85°
		2	300	0	141-147	-----
		3	275	100	1045-1061	77°-89°

Fig.V.1 fiche de test injecteur JT8D

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; padding: 2px;">*** Mettre une croix sur la case correspondante***</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">TEST PRELIMINAIRE</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">TEST FINAL</td> </tr> </table>				*** Mettre une croix sur la case correspondante***		TEST PRELIMINAIRE	TEST FINAL		
*** Mettre une croix sur la case correspondante***									
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								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; padding: 2px;">VISA ENGINEERING</td> <td style="width: 33%; padding: 2px;">VISA EXECUTANT</td> <td style="width: 33%; padding: 2px;">VISA CONTROLE</td> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			VISA ENGINEERING	VISA EXECUTANT	VISA CONTROLE				
VISA ENGINEERING	VISA EXECUTANT	VISA CONTROLE							

Fig.V.2 tableau des valeurs vues sur banc d'essai de l'injecteur JT8D

AIR ALGERIE DIRECTION TECHNIQUE S/D REV MOTEURS		FEUILLE DE TEST INJECTEUR ALLISON 501-D22A			
P.N:.....		DATE:.....199...			
S.N:.....					
MOTIF DE DEPOSE:					
1-MESURE DE DEBIT:					
Pres. dif. (inj. (psid))	Limites taux de debit (lbm / hr)	RELEVE	Limites angle de pulverisation (°)	RELEVE	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 : Contrôler visuellement le modèle de pulverisateur en parallèle avec le débit et les mesures d'angle de pulverisation					
2-CONTROLE D'HYSTERESIS:					
Suite au test de calibration , faire décroître la pression différentielle de 350 à 50 psid ²					
Press. dif. (psid)		RELEVE	OBSERVATION		
70		.....		
NOTE : La valeur de débit obtenue doit être à 10 % près de la valeur de débit obtenue durant le test de calibration à la même pression.					
3-TEST DE PRESSION (TEST DE FUITE):					
Appliquer une pression statique intérieur de 600 psid pendant 30 à 60 secondes .					
RESULTAT:.....					
OBSERVATIONS:.....					
VISA ENGINEERING		VISA EXCUTANT		VISA CONTROLE	

Fig.V.3 feuille de test injecteur ALLISON 501-D22A

V.2- 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

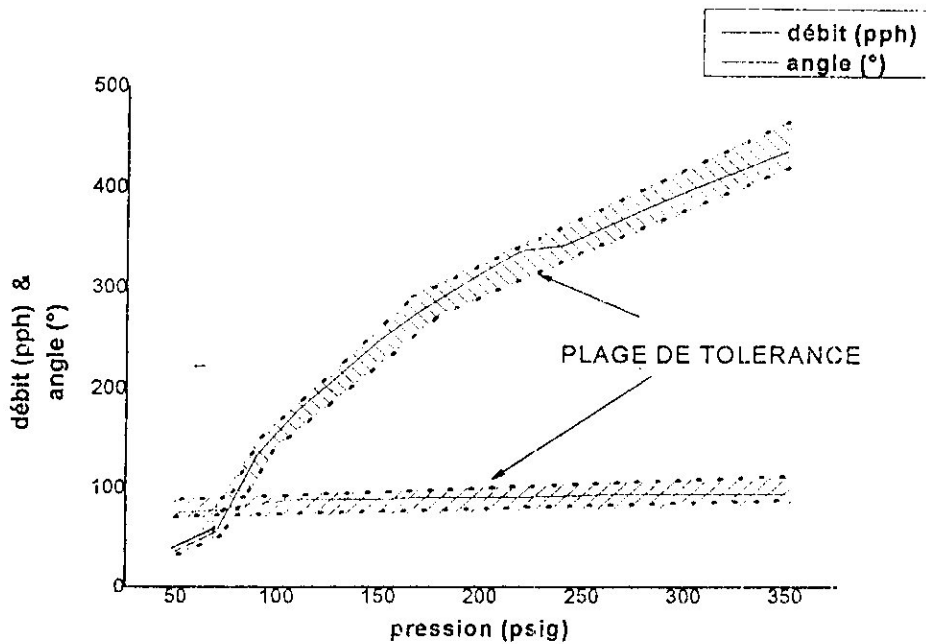


Fig.V.4 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

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

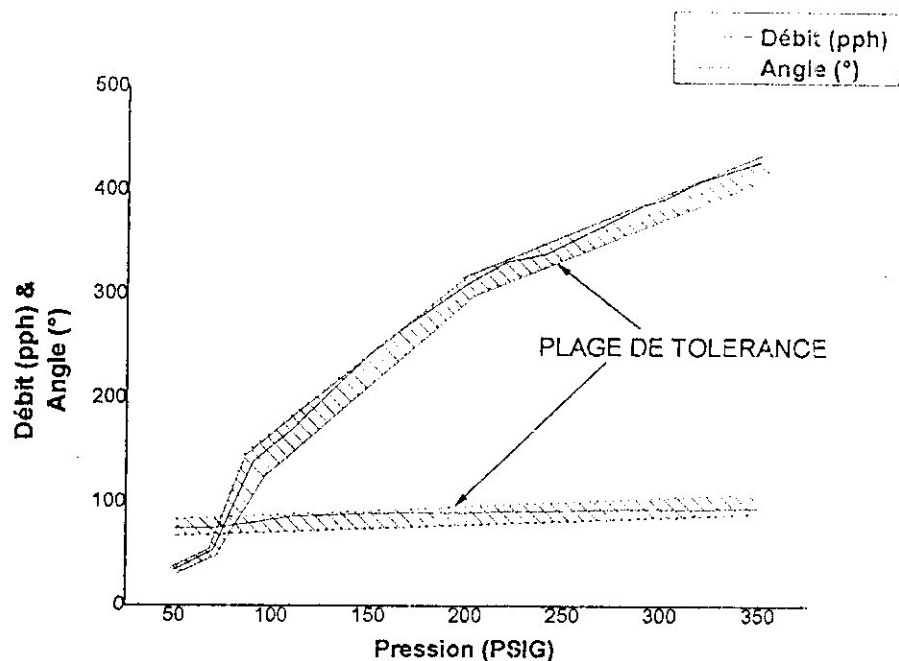


Fig.V.5 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

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)].

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

Pression (psig)	Débit (pph)	Angle (°)
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

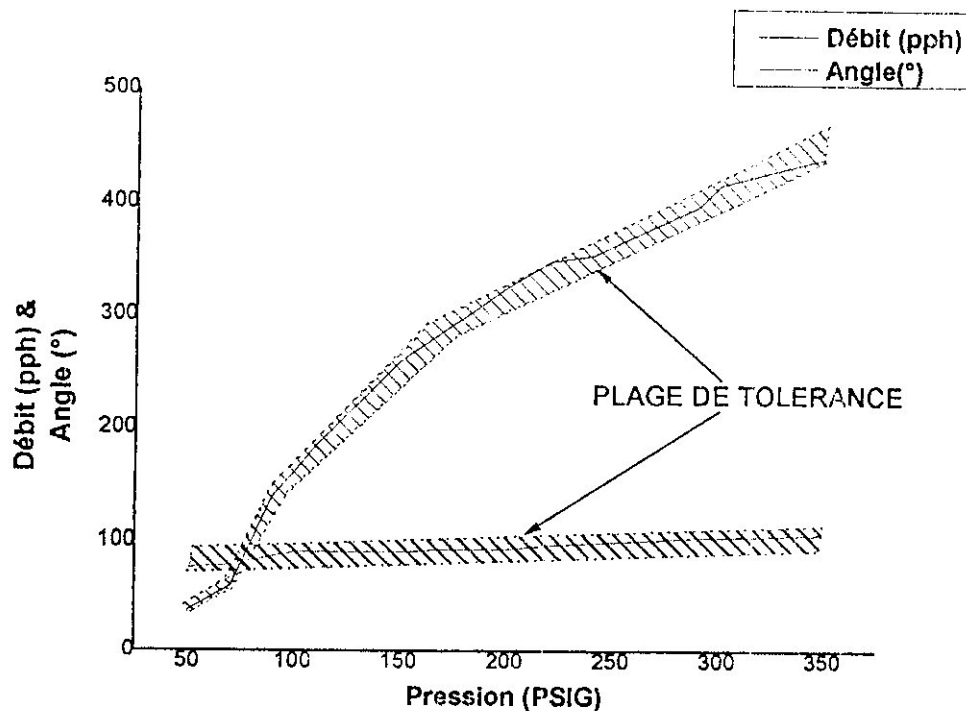


Fig.V.6 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

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 pph)], cette perturbation, et avec le temps, peut créer une hétérogénéité de la flamme, si le moteur fonctionne longtemps dans cette plage, conduisant à une dégradation des parois de la chambre de combustion.

Tableau 4 : résultats d'un injecteur équipant le moteur ALLISON 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

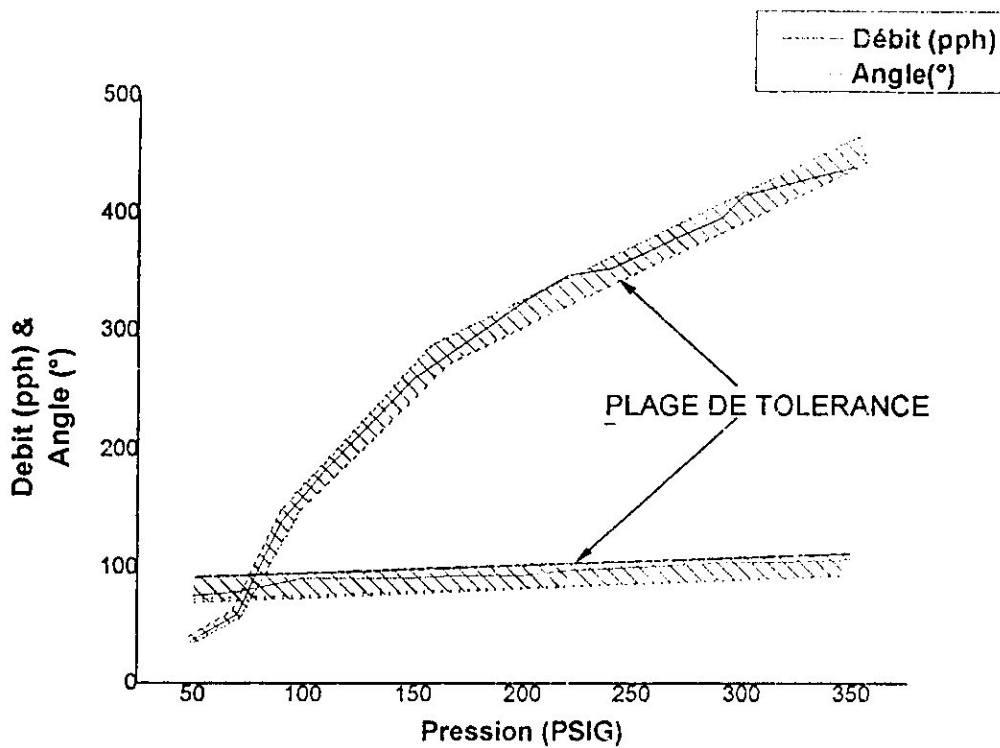


Fig.V.7 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

Commentaire graphe 4 : l'injecteur ne fonctionne pas correctement, car la courbe de débit a dépassée la limite supérieur 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.

Tableau 5 : résultats d'un injecteur équipant le moteur JT8D.

pression primaire (psig)	débit primaire (pph)	Angle (°)
25	62,5	73
70	76,1	73
90	80,4	73
100	82	73
110	82,9	73
150	95,31	73
170	103	73
200	115,6	73
220	125,03	73
240	135,2	74
270	180	74
290	205,8	75
300	219,3	75

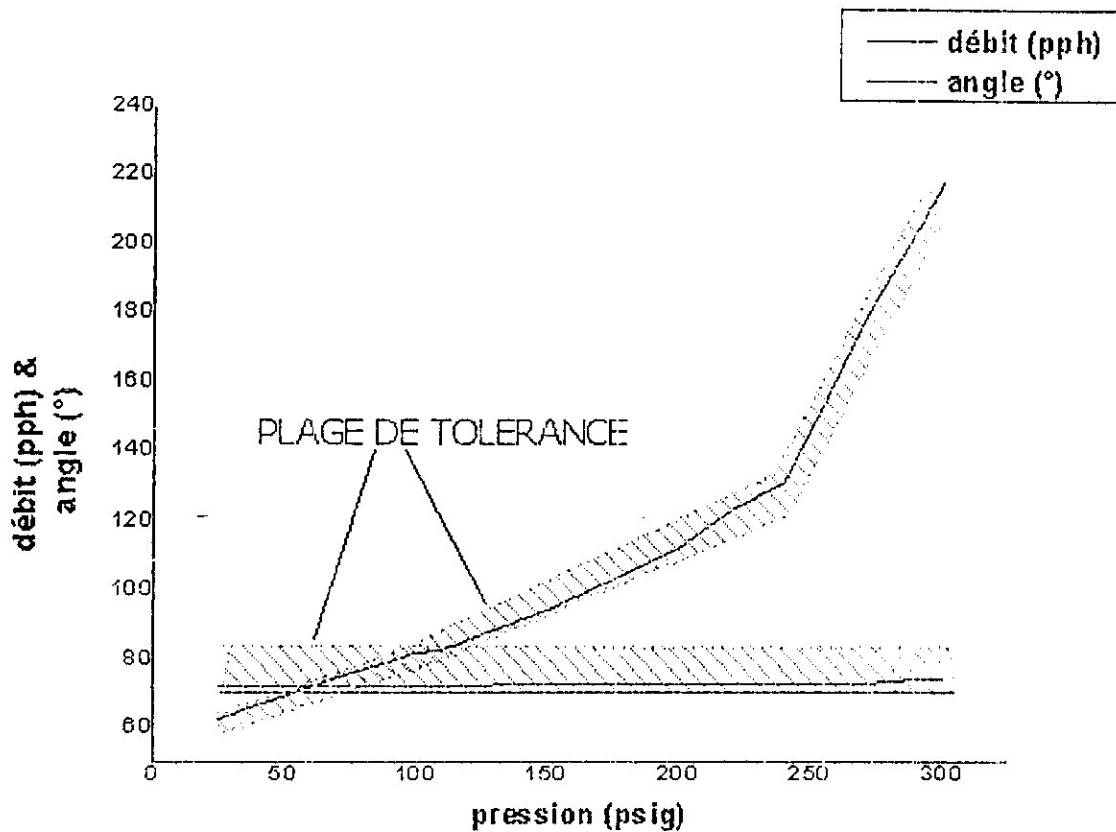


Fig.V.8 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

Commentaire graphe 5 : d'après les résultats, les performances de l'injecteur sont acceptables et l'injecteur peut fonctionner normalement, et ceci est très claire dans le graphe.

Tableau 6 : résultats d'un injecteur équipant le moteur JF8D.

pression primaire (psig)	débit primaire (pph)	Angle (°)
25	63,2	73
70	78,2	74
90	83,1	74
100	84	74
110	85	74
150	96	74
170	105	75
200	118,4	75
220	129,1	75
240	140	75
270	189,6	76
290	217,3	76
300	228	76

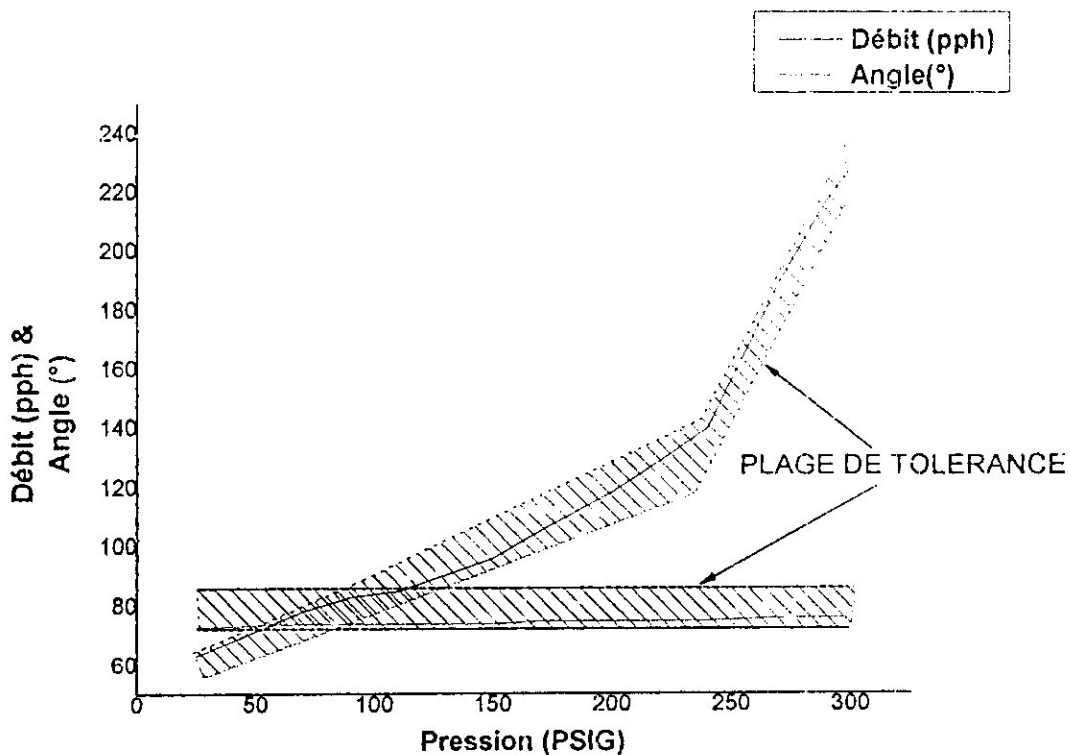


Fig.V.9 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

Commentaire graphe 6 : d'après les résultats, les performances de l'injecteur sont acceptables et l'injecteur peut fonctionner normalement, et d'après le graphe, il y a une légère perturbation de la courbe de débit dans la plage [pression (50,150 psig), débit (80,100 pph)].

Tableau 7 : résultats d'un injecteur équipant le moteur JT8D.

pression primaire (psig)	débit primaire (pph)	Angle (°)
25	62,7	72
70	75	72
90	79	72
100	82	72
110	82,4	72
150	94,2	73
170	100,7	73
200	111,6	73
220	122,8	73
240	131,3	73
270	178	73
290	204,5	74
300	218,9	74

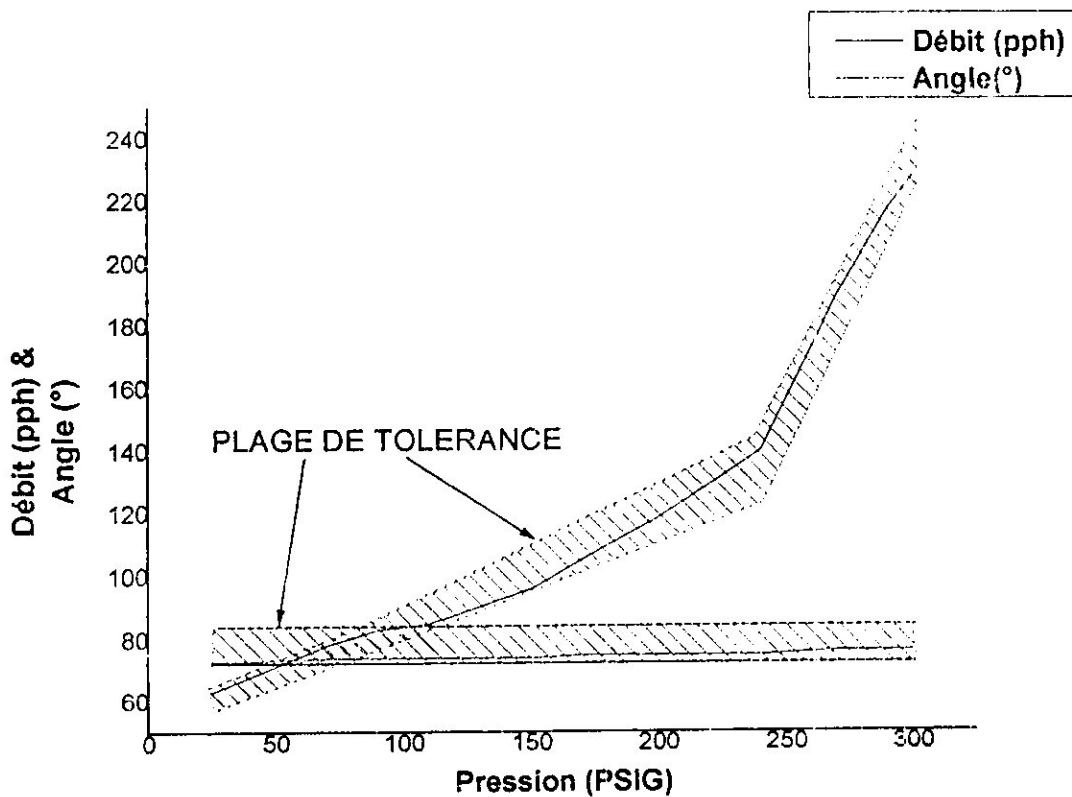


Fig.V.10 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

Commentaire graphe 7 : d'après les résultats, les performances de l'injecteur sont acceptables et l'injecteur peut fonctionner normalement, mais on a constaté que la courbe de débit a touchée la limite inférieure dans la plage [pression (130, 170 psig), débit (80, 100 pph)]. Et cela peut diminuer les performances de la combustion.

Tableau 8 : résultats d'un injecteur équipant le moteur JT8D.

pression primaire (psig)	débit primaire (pph)	Angle (°)
25	64	74
70	79,8	74
90	85,3	74
100	88	74
110	95	75
150	100	76
170	111	76
200	125,2	76
220	135	76
240	148	76
270	199	76
290	230	76
300	245	76

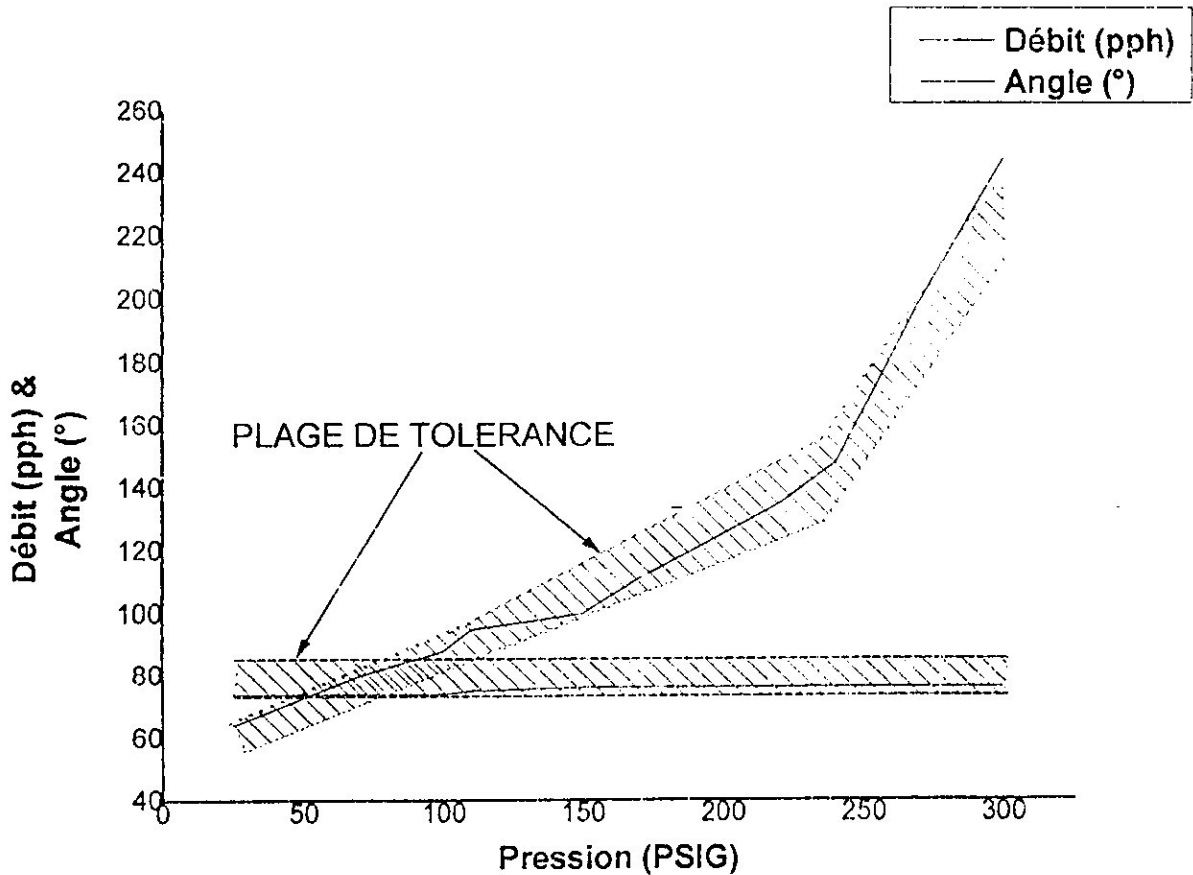


Fig.V.11 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

Commentaire graphe 8 : d'après les résultats, l'injecteur ne fonctionne pas correctement, et d'après le graphe, la courbe de débit a dépassée la limite supérieur dans la plage [pression (250,300 psig), débit (200,230 pph)], il est donc, soit à réparer ou à rejeter.

Tableau 9 : résultats d'un injecteur équipant le moteur JT8D.

pression primaire-secondaire (psig)	débit mixte (pph)	Angle (°)
300	250,4	75
315	310,5	75
330	480,07	76
340	600,2	76
345	750,9	78
355	805,04	79
365	840,6	80
375	866,2	80

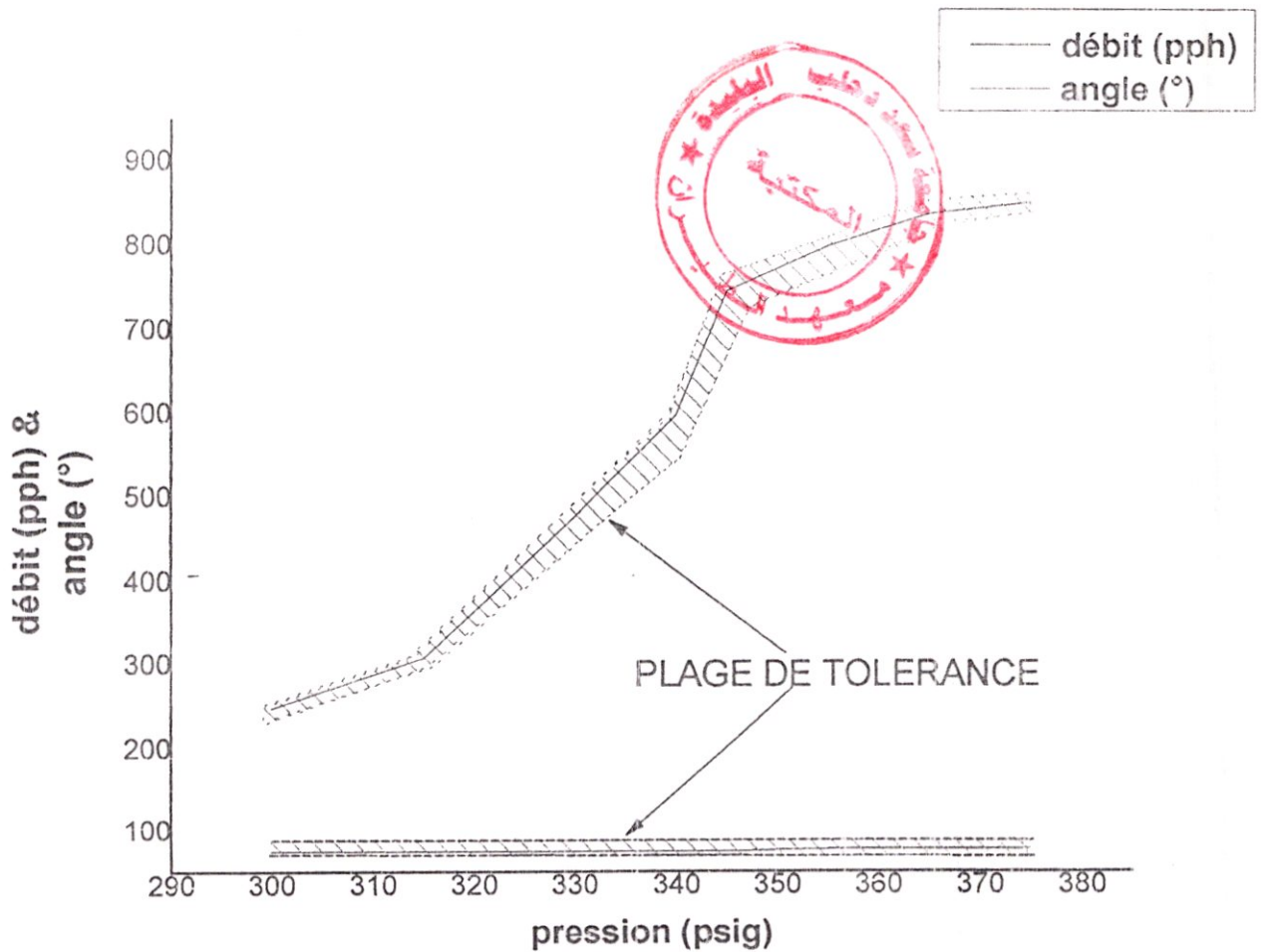


Fig.V.12 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

Commentaire graphe 9 : d'après les résultats, les performances de l'injecteur sont acceptables et l'injecteur peut fonctionner correctement, et d'après le graphe, l'injecteur est en bon état.

Tableau 10 : résultats d'un injecteur équipant le moteur JT8D.

pression primaire-secondaire (psig)	débit mixte (pph)	Angle (°)
300	252	75
315	317,9	75
330	489,7	76
340	620	77
345	775	79
355	820,6	80
365	839,1	80
375	866	80

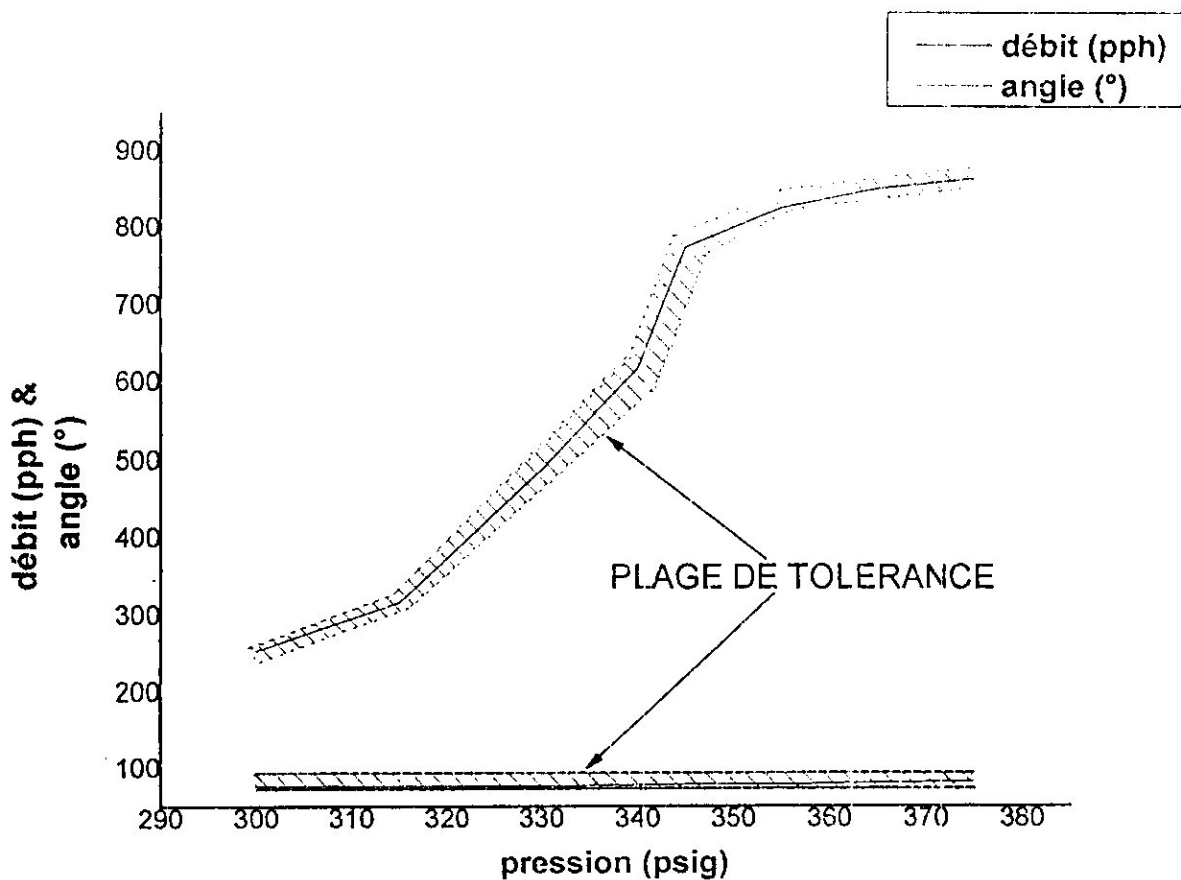


Fig.V.13 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

Commentaire graphe 10 : d'après les résultats, les performances de l'injecteur sont acceptables et l'injecteur peut fonctionner correctement, et d'après le graphe, on observe que la courbe de débit touche la limite inférieure dans la plage [pression (355,365 psig), débit (800,850 pph)], ce qui peut diminuer un peu les performances de la combustion.

Tableau 11 : résultats d'un injecteur équipant le moteur JT8D.

pression primaire-secondaire (psig)	débit mixte (pph)	Angle (°)
300	249	75
315	308,7	75
330	477	75
340	598,7	75
345	747	75
355	800	77
365	839	77
375	862,4	78

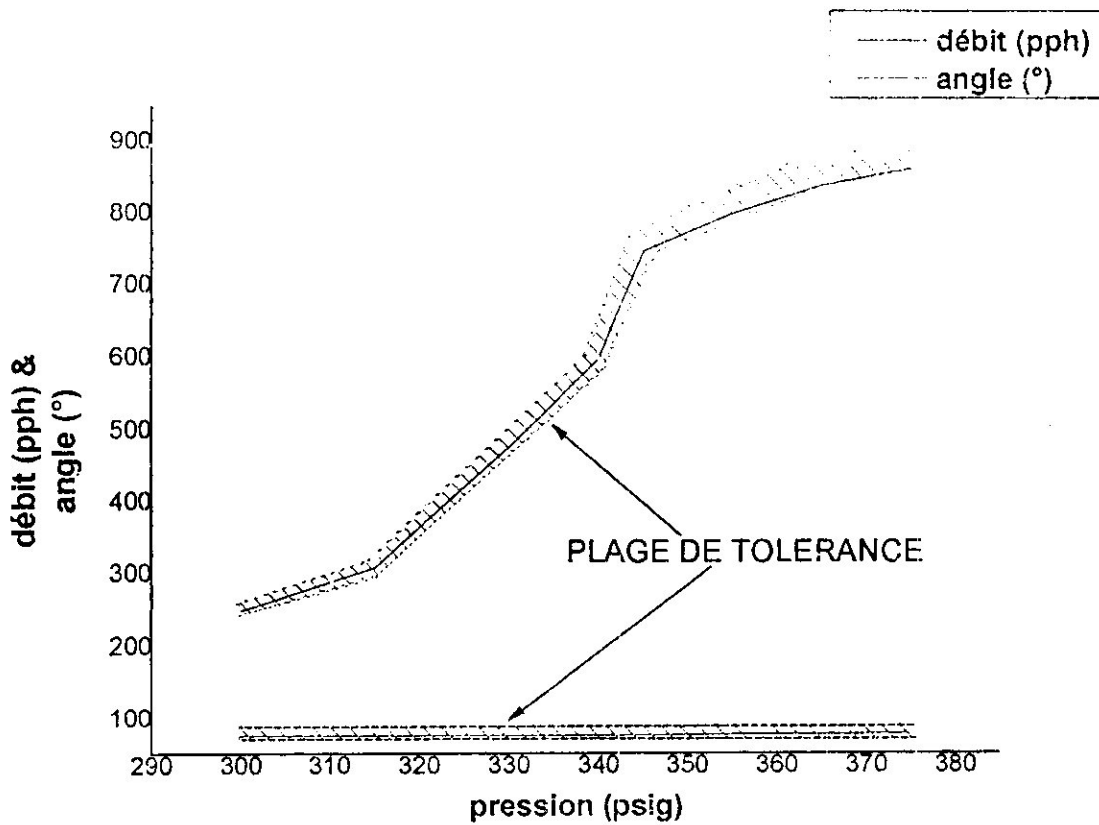


Fig.V.14 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

Commentaire graphe 11 : d'après les résultats, les performances de l'injecteur sont acceptables et l'injecteur peut fonctionner correctement, mes d'après le graphe, on constate une diminution de débit avec l'élévation de pression à partir [pression (665 psig), débit (800 pph)]. Avec le temps, ceci peut dégrader la qualité de la combustion, et il peut causer des vides dans le jet de pulvérisation conduisant à une hétérogénéité et la non symétrie de flamme.

Tableau 12 : résultats d'un injecteur équipant le moteur JT8D.

pression primaire-secondaire (psig)	débit mixte (pph)	Angle (°)
300	254	77
315	318,2	77
330	490	77
340	619,3	78
345	777,2	79
355	829,1	79
365	854,9	81
375	878,1	82

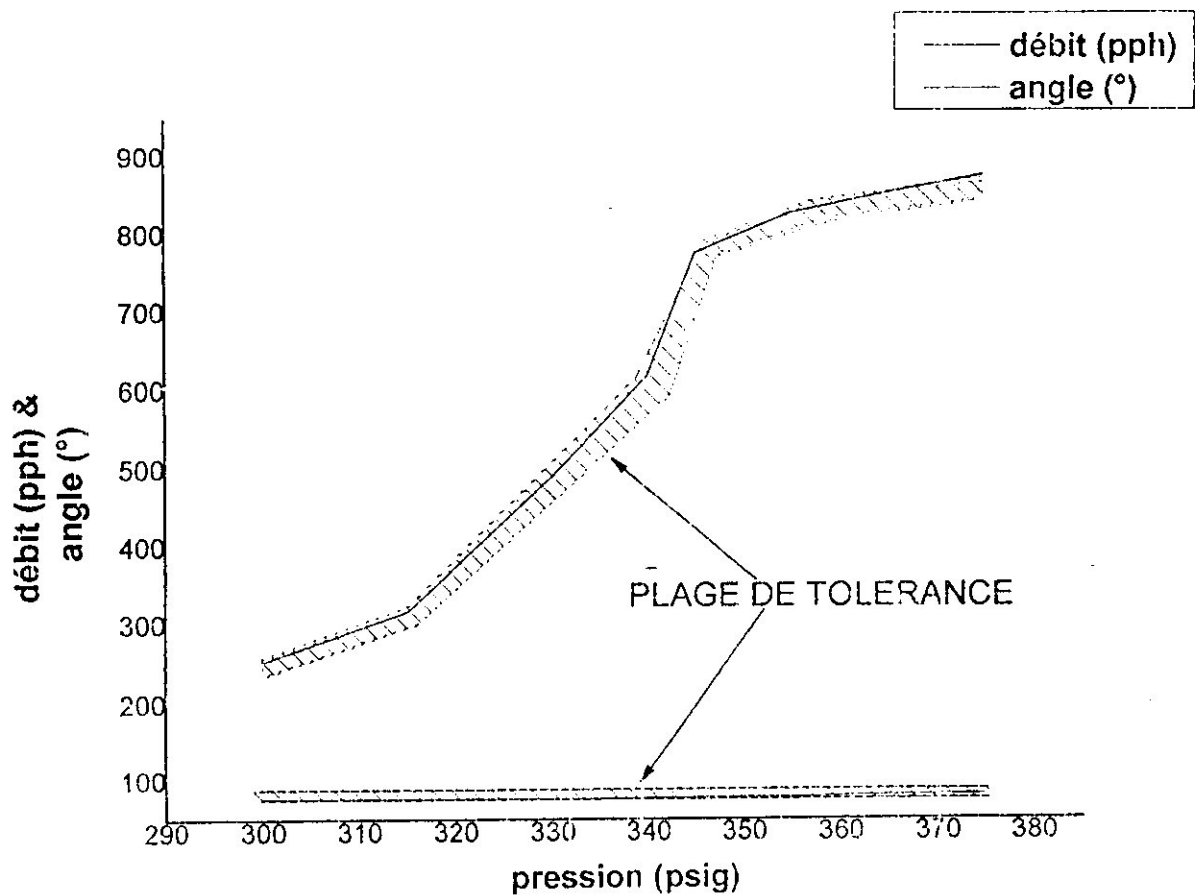


Fig.V.15 Evolution de débit carburant et l'angle de jet en fonction de la pression d'entrée

Commentaire graphe 12 : d'après les résultats, l'injecteur ne fonctionne pas correctement, et d'après le graphe, on note que la courbe de débit a débordé la limite supérieur dans la plage [pression (345,355 psig), débit (700,800 pph)] et aussi à partir de [pression (850 psig), débit (365 pph)]. Donc l'injecteur est, soit à réparer ou à rejeter.

V.3- comparaison :

- lorsque on veut comparer la (Fig.V.17) qui représente la courbe idéale avec les courbes obtenues dans notre test d'étalonnage, il faut d'abord inverser les axes des X (pression (psig)) avec les axes des Y (débit (pph)), pour avoir distinguer la différence entre les deux courbes, ainsi l'intervalle du problème encouru dans l'injecteur mis en test.

- Si par exemple, la comparaison est entre la courbe de la (Fig.V.16) et la courbe de la (Fig.V.17), nous pouvons constater facilement la différence entre les deux courbes, et aussi l'intervalle du problème imposé dans l'injecteur de la (Fig.V.16), et il est entre les pressions [200,250] (psig) et les débits [300,400] (pph).

L'injecteur est réformé si la différence entre les courbes s'accroître au de là d'une certaine limite.

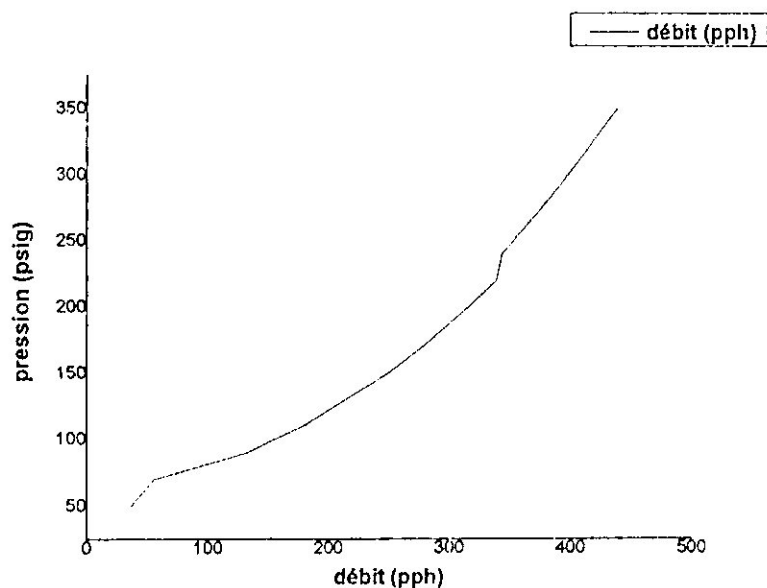


Fig.V.16 courbe inversée de débit du graphe 1

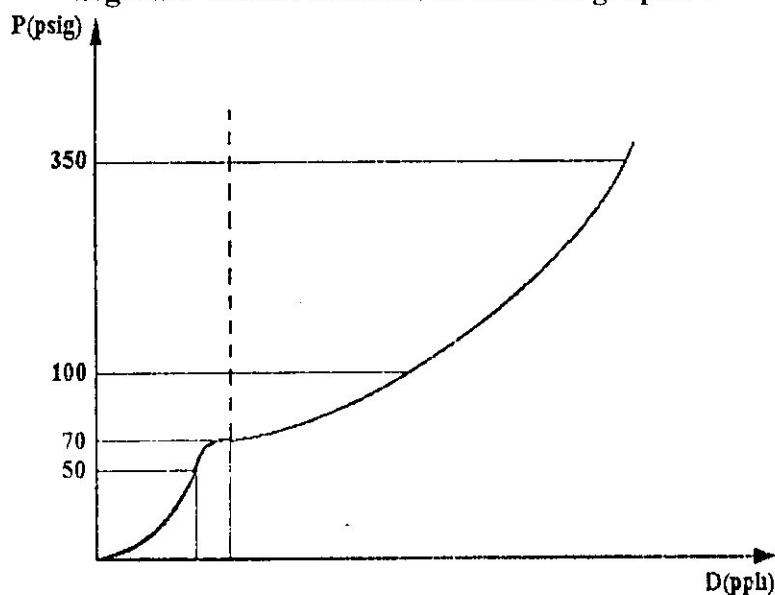


Fig.V.17 courbe de débit idéal

V.4- Conclusion

Ce travail, nous a permis d'une part de manipuler sur le banc d'essai et de maîtriser la maintenance des injecteurs, dans ce qui concerne le montage, le démontage et le réglage. Et d'une autre part, de bien comprendre le fonctionnement de l'injecteur, ainsi d'avoir commenté et analysé le graphe obtenu par les résultats de test. Ceci va nous permettre de configurer les performances de l'injecteur et déceler les plages de dysfonctionnement et leurs origines, puis nous prédisons la durée de vie de l'injecteur s'il est encore en fonction.

Conclusion
&
Perspectives

Conclusion & Perspectives

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 aéronautique 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 procédures de maintenance pour trois types d'injecteurs différents (Allison, JT8D et CF6-80) 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 en suite assemblé et finalement testé sur un banc d'essais 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'essais et convertis en courbes, l'influence de la pression du carburant sur le débit, sur l'angle et sur l'homogénéité du jet, et parmi les conclusions tirées :

- En pré vaporisant le combustible, on évite la formation de 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 de 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 (LPP signifie Lean Premixed Pre vaporised: Pauvre Prémélangé Pré vaporisé). L'objectif principal des LPP 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 combustions par la méthode inverse et recalage, l'utilisation de la vélocimétrie laser pour le calcul de la vitesse de jet et 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. Klinin - M. Laborie – M. Ddesbruères. *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] CFMI.INC – CFMI.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.

Les Annexes

Annexe - I : Description sur le Banc d'essais

I.1- introduction

L'objet de notre travail au sein de la compagnie Air Algérie au niveau de l'atelier Accessoire est d'effectuer des tests des différents types d'injecteurs qui permis leur rénovation et la mise en état, en utilisant un banc d'essais injecteurs carburant semi automatique de type TUK 2643, de marque 'AMS' (Appareillage et Matériels de Servitude) construction française. Dans ce qui suit on présente les principaux composants permettant l'utilisation correcte du banc qui est une machine conçue pour les essais complets des injecteurs suivants:

Tab.I.1 Différents types d'injecteurs

Injecteur équipant moteur	le avion	fabriquant	pays
GTCP85-98	B 727	GARETT	USA
GTCP 85-129	B 737	GARETT	USA
GTCP 85-185 L	LOKHEED L-100	GARETT	USA
GTCP 331-200	B 767	GARETT	USA
GTCP 331-250 F	A 310	GARETT	USA
ALLISON 501-D22A	LOKHEED L-100	DETROIT Diesel	USA
JT8D	B 727 B 737	PRATT & WHITNEY	USA
CF6-80	B 767 A 330 A310	PRATT & WHITNEY	USA

I.2- Type d'essais prévus

- Contrôle de la caractéristique débit/pression.
- Essai d'étanchéité à l'air et au carburant.
- Contrôle de la qualité du jet.
- Contrôle de l'angle du jet primaire et secondaire sur toute la périphérie.
- Contrôle des sous ensembles de l'injecteur grâce au lot d'outillage spécifiques.

I.3- Présentation du banc d'essai

Le banc forme un ensemble monobloc monté sur un châssis.

Un coffret électrique séparé regroupe les composants de commande (contacteur, relais, etc ...) il est situé dans une salle sans risque d'explosion.

- La face arrière du banc comporte une porte à double battant qui permet d'accéder aux composants intérieurs.

- A l'avant gauche, est placée la tourelle d'essais ou sera placé l'injecteur.

- A l'avant, le pupitre frontal regroupe les commandes pression et débit carburant.

- Sur la face latérale gauche est placé:

* le pupitre latéral qui regroupe les commandes et manomètre pneumatique.

* la pompe à main.

* le bac d'immersion qui permet les essais d'étanchéité

- Au dessus du pupitre latéral un coffret pressurisé mobile monté sur potence regroupe:

* les afficheurs numériques:

... débit (748)

... Pression (745) et (746)

... température (759) et (760)

* le régulateur de température (751)

* les voyants de défauts:

... colmatage filtre (741)

... niveau réservoir (742)

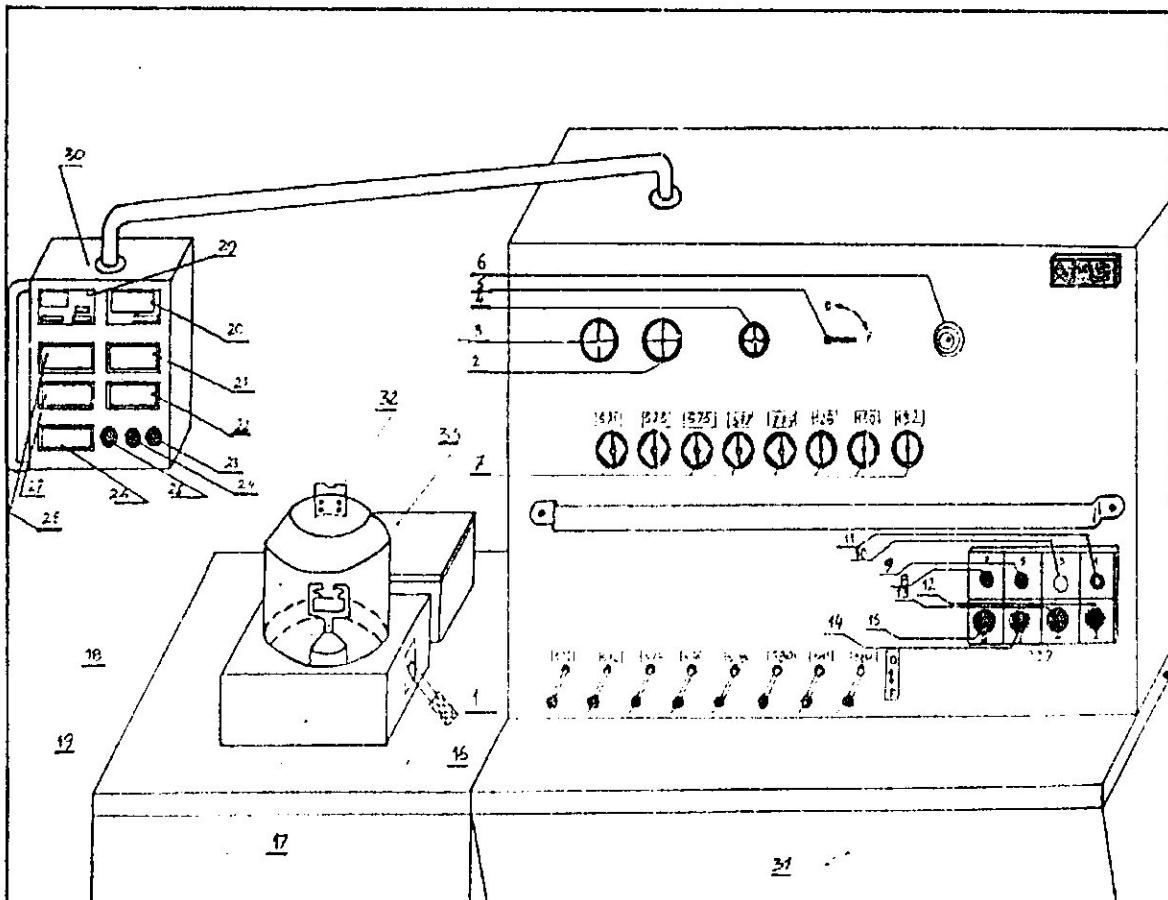


Fig.I.1 face 1 frontale du banc d'essai

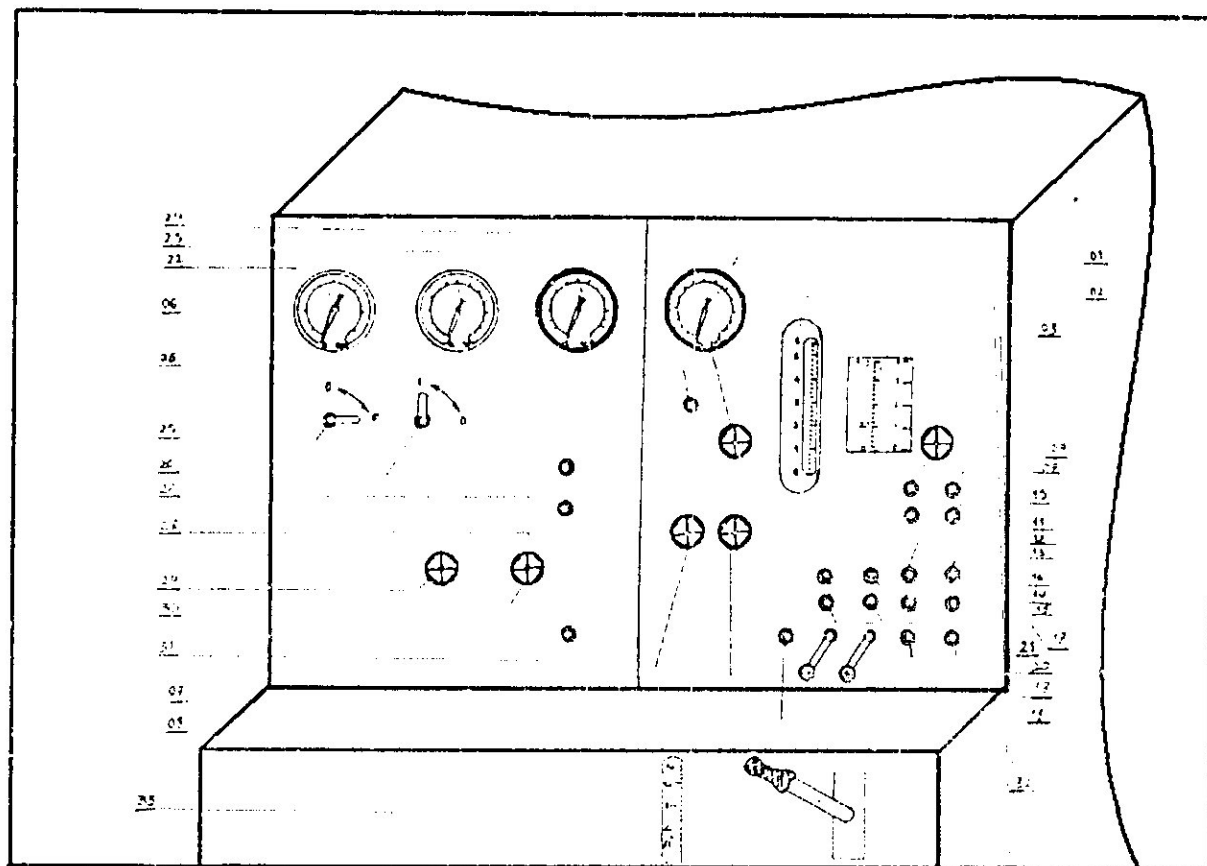


Fig.I.4 face 2 du banc d'essai

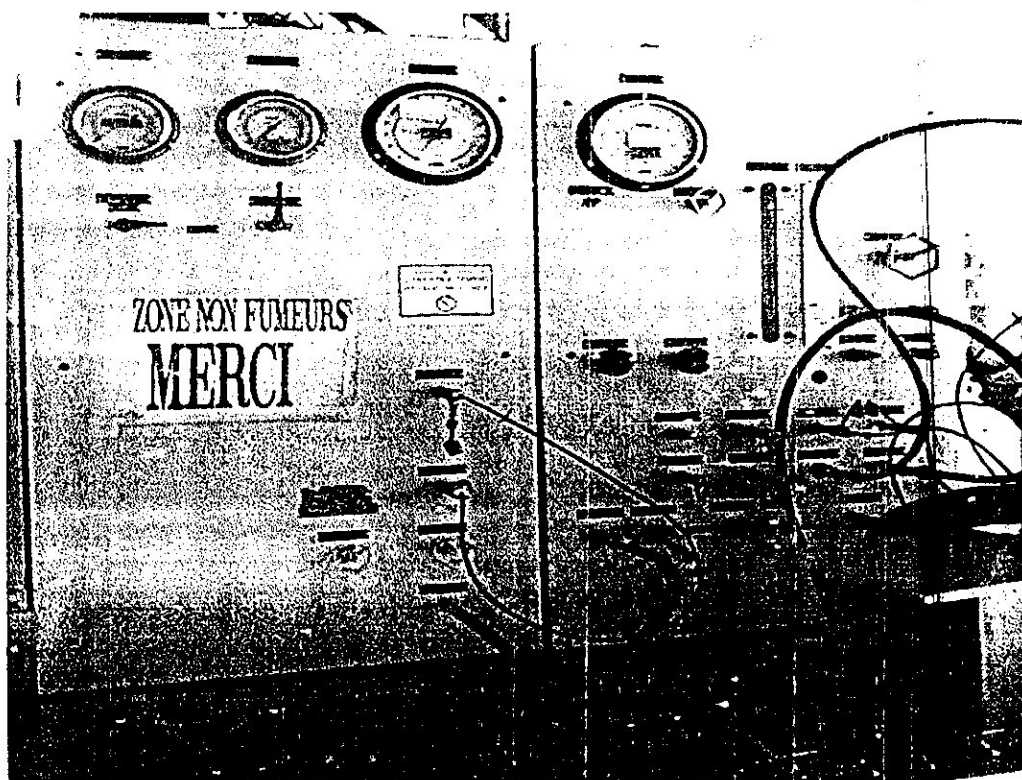


Fig.I.5 pupitre de contrôle et de raccordements

Désignations

<u>Réf</u>	<u>Désignation Pupitre latérale du Banc</u>
1	- Manomètre de pression utilisation circuit azote
2	- Débitmètre à air.....plage à 12 Nm ³ /h
3	- Manomètre à pression différentielle "Air" .....Plage O à 4 psi.
4	- Robinet de réglage débit air
5	- Prise détalonnage du manomètre
6	- Robinet d'isolement manomètre
7	- Détendeur de réglage pression circuit azote
8	- Manodétendeur réglage pression circuit air.
9	-Prise
10	- Prise pression Hp manomètre
11	- Prise de pression Bp manomètre
12	- Prise de pression de capteur "144" Plage0à 1000 psi
13	- Prise de pression du capteur "139" à "141"
14	- Raccord utilisation "circuit secondaire"
15	- Raccord utilisation "Circuit primaire"
16	- Prise de pression "Circuit primaire"
17	- Prise de pression "Circuit secondaire"
18	- Raccord utilisation circuit azote
19	- Distributeur mise à vide azote
20	- Distributeur isolement circuit air
21	- Raccords utilisation circuit air
22	- Manomètre de pression alimentation circuit azote
23	- Manomètre de pression Circuit air.
24	- Manomètre de pression circuit épreuve
25	- Vanne d'isolement circuit azote
26	- Vanne d'isolement circuit air
27	- Prise de pression manomètre Plage de O à 2000 psi
28	- Prise de pression circuit épreuve
29	- Robinet de compression circuit épreuve
30	- Robinet d'isolement circuit épreuve
31	- Raccord d'utilisation circuit épreuve
32	- Pompe à main
33	- Niveau visuel du réservoir

I.4- Caractéristiques techniques

I.4.1- Génération carburant

Pression : Réglable de 10 à 600 p sig

Débit : maximum 1100 pph

Pression statique maxi 1000 psig

I.4.2- Circuit d'azote

Pression : Réglable de 3 à 300 psig

I.4.3- Température de fonctionnement

La température du carburant est réglée à $80^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ F}$ ($26,7^{\circ}\text{C}$) à une pression donnée en régime stabilisé pour une température d'eau $\leq 68^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ F}$ ($20^{\circ}\text{C} \pm 2,5^{\circ}\text{C}$).

I.5- Fluide utilisé : Carburant (JET Ai)**I.5.1- Caractéristiques du carburant (JET Ai)**

Densité	0,79
Pouvoir calorifique	42,8 (M1/Kg)
Indice d'octane	70
Point d'éclaire	+ 38°C
Point de congélation	- 47°C
Teneur en soufre	0,3
Tension du vapeur	Faible

I.6- Caractéristiques physiques**I.6.1- Banc**

Longueur : 1900 mm

Largeur : 1650 mm

Hauteur : 2000 mm

I.6.2- Coffret de recyclage

Hauteur : 1000 mm

Longueur : 800 mm

Largeur : 300 mm

I.7- Alimentation à prévoir pour le Banc**I.7.1- Alimentations électriques**

Tension : Triphasé 380 V entre phases

Fréquence : 50 Hz

Puissance : 5 KW (6 KVA)

I.7.2- Alimentation en eau de refroidissement

Température : $\leq 20^{\circ}\text{C}$

Débit = 1 m³/h à 20°C (0,5 m³/h à 10°C)

Pression : 2 à 4 bars

I.7.3- Alimentation pneumatique

Air propre et sec

Pression : 7 bars (100 psig)

Débit 10 m³/h environ

Azote propre et sec

Pression : 35 bars (500 psi)

I.7.4- Aspiration de vapeurs

- Circuit d'extraction de vapeurs à prévoir pour raccordement sur le toit du banc. (Réseau d'extraction atelier).

I.8- Outillages d'essai

I.8.1- Tourelle

- La Tourelle d'essai est destinée à recevoir l'injecteur en essai que l'on vient fixer par l'intermédiaire d'un outillage.

La chambre d'essai de diamètre antérieure 280 mm est réalisée en plexiglas pour permettre la visualisation du jet et de contrôle d'angle. Cette chambre pivote autour de son axe par l'intermédiaire d'un roulement de grand diamètre pour permettre le contrôle du jet sur toute sa périphérie.

Une lampe anti-déflagrante de 100W placée en partie basse éclaire le jet de carburant pour vérifier sa qualité. Pour protéger la lampe des projections de liquides, un globe en verre la coiffe. Une circulation d'air entre la lampe et le globe évite tout risque d'échauffement. Afin d'éliminer au mieux le brouillard de carburant, une gaine permet d'aspirer les vapeurs à l'intérieur de l'enceinte et de l'évacuer vers les extracteurs de l'atelier.

Le contrôle d'angle de jet est réalisé par un ensemble de piges dont le support se dirige vers le bas lorsqu'on ne l'utilise pas. Les piges sont manoeuvrées manuellement et sont maintenues en position haute ou basse par un ressort pneumatique.

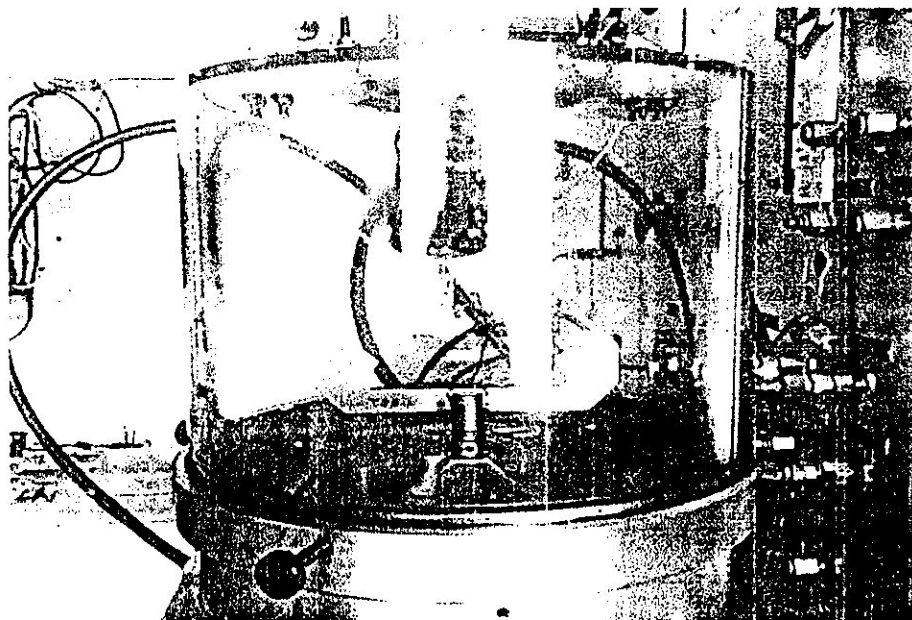


Fig.I.6 la tourelle

1.8.2- Le bac d'immersion

Le bac d'immersion est placé derrière la Tourelle d'essais. Il comporte un couvercle et une vanne de vidange. Il est utilisé pour immerger l'injecteur lors des essais d'étanchéité.

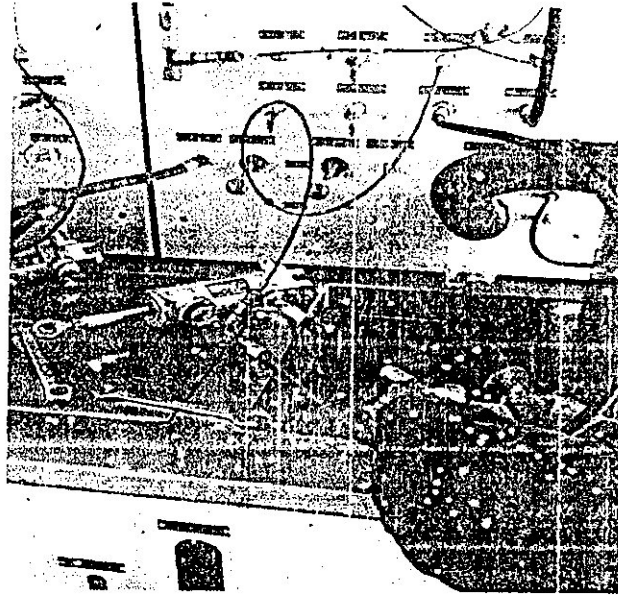


Fig.I.7 le bac d'émersion du banc d'essais

1.9- Installation

1.9.1- Conditions générales d'installation

Le banc lui-même est protégé contre les risques d'explosion. Il doit donc être installé dans une salle également protégée.

En revanche, le coffret électrique séparé doit être installé en dehors de cette salle, dans un local sans risques d'explosion.

1.9.2- Mise en place

Le banc doit être installé dans un local suffisamment ventilé, Il sera calé sur un sol lisse et plat pour assurer une parfaite horizontalité de celui-ci.

On veillera à conserver autour du banc assez de dégagement pour en assurer l'interaction (ouverture des portes, démontage du groupe moto-groupe, de l'échangeur).

1.10- Utilisation (voir Fig.III.6.A, B, C)

1.10.1- Règle de mise en service

Lors de la première mise en service journalière ou après une opération de maintenance, suivre les indications:

- * Enclencher le sectionneur général (700) de l'armoire électrique du Banc.
- * Vérifier que les coups de poing d'arrêt d'urgence (708) et (739-8) sont verrouillés.
- * Vérifier que le niveau du réservoir (100) est suffisant.
- * Vérifier l'ouverture de la vanne d'alimentation (107).
- * Ouvrir la vanne d'alimentation d'air (551).

- * Vérifier que le distributeur 3 positions de mise à vide du circuit azote (506) soit en position intermédiaire.
- * Vérifier les distributeurs de pré-sélection de pression (570), (572), (574), (576), (578), (580), (581) et (582), soient en position basse (position repos).
- * Ouvrir la vanne d'alimentation du circuit d'azote (501).
- * Vérifier que l'état des ampoules du Banc en appuyant sur le poussoir test-lampes (739-8), elles doivent toutes s'allumer.

I.10.2- Vérification en cours d'essais

- * Vérifier que le niveau du Réservoir reste entre les deux valeurs MINI-MAXI.
- * Vérifier que la pression d'utilisation correspond bien à la plage inscrite au dessus du distributeur sélectionné.
- * Vérifier que la température de régulation reste identique à la consigne.
- * Vérifier que l'indicateur de colmatage du filtre (115) n'est pas enclenché.

I.10.3- Règle de mise à l'arrêt

Pour arrêter le banc, il suffit d'enfoncer le bouton poussoir (arrêt (739-4) du groupe en fonctionnement, le voyant correspondant (739,5) s'éteindra.

Important: En aucun cas, on ne doit se servir des arrêts d'urgence pour arrêter le banc. L'utilisation de cette fonction doit rester exceptionnelle.

Après chaque journée de travail couper le sectionneur général (700) de l'armoire.

I.11- Mesures

I.11.1- Mesure de Débit

La mesure du débit couvre la plage de 0,5 à 1 100pph.

Elle est réalisée par deux (02) turbines (123) et (124) couvrant respectivement les plages 0,5 à 30 pph et 20 à 1000 pph.

Le signal de l'une ou l'autre turbine est transmis à l'afficheur (748) qui est programmé avec les deux (02) courbes de linéarisation des turbines.

La commutation de turbines est automatique. Lorsqu'on commande les bas niveaux de pression pré-réglé par (571) et (573), on utilise la turbine petit débit (124) (122 est fermée).

Pour les autres niveaux de pression (574 à 582), (122) s'ouvre et la turbine (573) donne l'ordre à l'afficheur (748) de choisir la courbe de calibration de la turbine correspondante.

I.11.2- Mesure de température

Les mesures de température s'effectuent:

- * Sur le thermomètre numérique (751) à partir de la sonde (116) Ce thermomètre numérique assure en même temps la régulation de température.

- * Sur les indicateurs de température (759) et (760) à partir des sondes de température (156) et (157) placées au niveau des orifices d'utilisation "primaire" et "secondaire".

I.11.3- Mesure de pression

Les mesures de pression sont assurées par des manomètres et par 3 capteurs de pression (139) et (144) (plage 0 à 1015 psi) et (141) (plage 0 à 100 psi).

Le capteur (141) est protégé par un protecteur de manomètre (140).

I.11.4- Précision des appareils de mesure

Chaînes débitométriques (123), (124), (748)	$\pm 0,5\%$ de la mesure.
Chaînes débitométriques (123), (124), (748)	$\pm 1\%$ de l'échelle totale
Captteur de pression (139) (141) et (162)	$\pm 0,1\%$ de l'échelle totale.
Thermomètre numérique (759) et (760)	$\pm 0,2^\circ\text{C}$
Débitmètre à air (562)	$\pm 2\%$ de l'échelle totale.
Manomètres (502) et (552)	$\pm 1\%$ de l'échelle totale

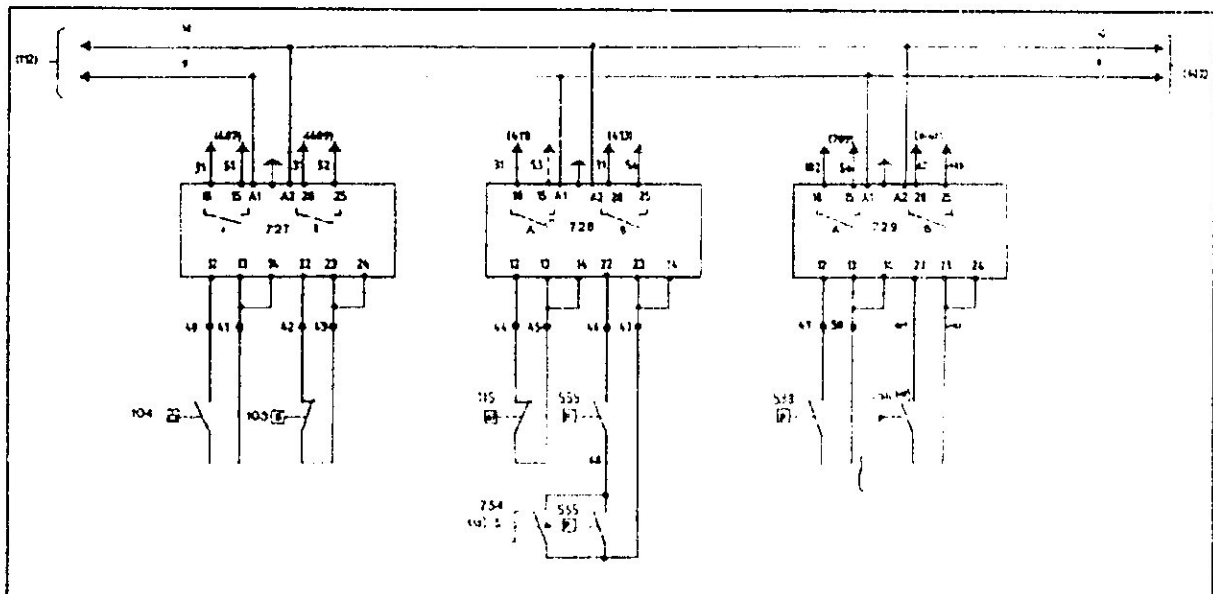


Fig.I.6.A schéma électrique du banc

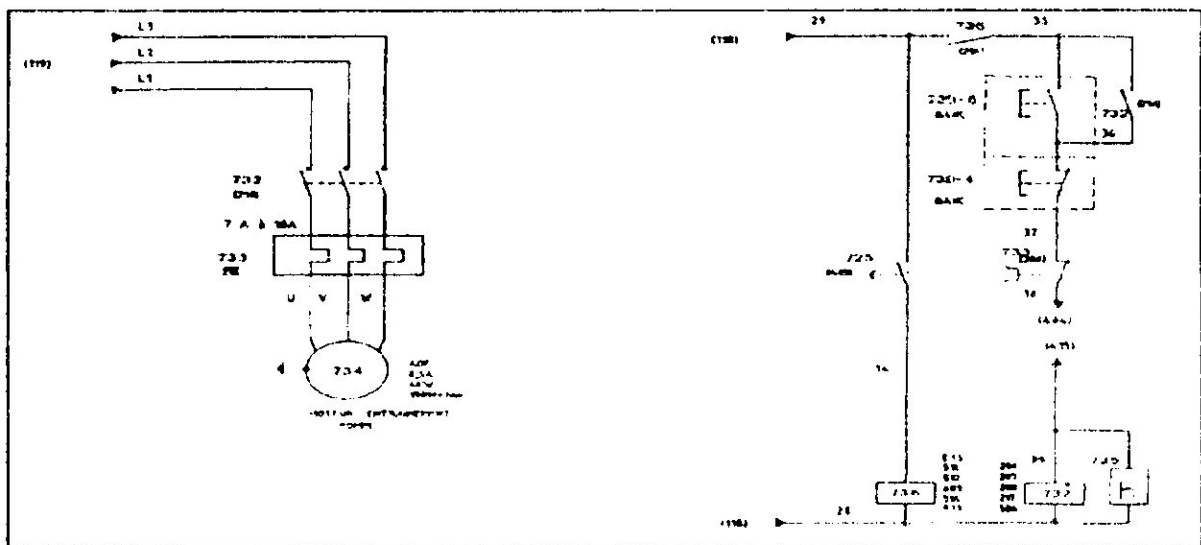


Fig.I.6.B schéma électrique du banc

Annexe II - *Tableau de conversion*

Multiplieur	Par	Pour obtenir
British Thermal Unit (BTU)	0.251	Kcal
Cubic foot (Cu.ft)	0.0283	m ³
Cubic inch (Cu.in)	16.387	Cm ³
Foot (ft)	0.3048	m
Foot per minute (ft/mn)	0.005	m/s
Foot pound (ft.lb)	0.135	m.daN
	0.138	m.Kg
Gallon (US GAL)	3.785	l
Horse-power (hp)	1.013	Ch
Inch (in)	25.4	mm
	0.0254	m
Inch of mercury (in.Hg)	25.40	mm.Hg
	33.86	mb
Inch pound (in.lb)	0.112	m.N
	0.011	m.Kg
Knot (Kt)	1.852	Km/h
Nautical mile (NM)	1.852	Km/h
Pound (lb)	0.4536	Kg
Pound per horse-power (lb/hp)	0.4473	Kg/ch
Pound per square foot (lb/sq.ft)	4.882	Kg/m ²
Pound per square inch (psi ou lb/sq.in)	0.068	bar
Quart (US) (USqt)	0.946	l
Square foot (sq.ft)	0.092	m ²
Square inch (sq.in)	6.451	Cm ²
Yard (yd)	0.914	m

Annexe III- *Glossaire*

	A
Accessory gear box	Boîte de transmission d'accessoires.
Accessory gear box diaphragm	Diaphragme de la boîte de transmission d'accessoires.
Accessory section	Section d'accessoires.
Adapter	adaptateur.
Adjusting	ajusteur.
Air bleed link	Anneau de prélèvement d'air.
Air inlet screen	Grille d'entrée d'air.
Air seal	Étanchéité d'air.
Air speed	Vitesse d'air.
Arm	Bras.
Auxiliary pump	Pompe auxiliaire.
	B
Ball bearing	Roulement à billes.
Ball lock	Broche à billes.
Bearing	Roulement, palier.
Bellows	Soufflet.
Beta rod	Bêta tige.
Bevel gear	Pignon conique.
Blade	Aube, pale, ailette.
Bleed valve	Vanne de décharge.
Body	Corps.
Bolt	Boulon.
Booster pump	Pompe de gavage.
Bracket	Ferrure de support.
Breather tube	Tube de purgation.
Bus-bar	Conducteur.
Bypass	Dérivation.
Bypass valve	Valve de dérivation.
	C
Cam	Came.
Carbon block	Plaque de carbone.
Case	Carter.
Casing	Revêtement.
Cavity drain	Cavité de drainage (d'évacuation).
Centre tube	Tube centrale.

Centrifugal breather impeller	Reniflard centrifuge.
Centrifugal impeller	Roue à aubes centrifuges
Cheek valve	Valve anti-retour
Chip detector	Détecteur de limaille.
Combustion chamber inlet	Entrée de la chambre de combustion.
Compressor	Compresseur.
Compressor blades	Aubes du compresseur.
Compressor bleed valve	Vanne de décharge de compresseur.
Compressor inlet	Entrée compresseur.
Compressor inlet case	Carter d'entrée du compresseur.
Compressor rear hub	Moyeu arrière du compresseur.
Compressor section	Section de compresseur
Compressor turbine	Turbine compresseur turbine.
Compressor turbine	Inlet: entrée du turbine compresseur.
Compressor turbine shroud housing	Enveloppe de revêtement de la turbine compresseur.
Cooling	Refroidissement.
Cooling ring	Anneau de refroidissement.
Counter weight	Contre poids, Masselotte.
Corregated strip	languette ondulée.
Coupling shaft	Arbre d'accouplement.

Dipstick
 Drain valve
 Drive gear shift

D
 Jauge.
 Valve de drainage.
 Arbre d'entraînement.

Exhaust
 Exhaust duct
 Exhaust outlet

E
 Echappement.
 Canal d'échappement.
 Sortie des gaz d'échappement.

Filler cap
 Flame tube
 Flange
 Flare
 Flow
 Front
 Front fuel drain valve
 Front stub shaft
 Fuel manifold

F
 Capsule, remplisseur.
 tube à flamme
 Bride.
 Colletterette
 Débit, écoulement.
 Avant.
 Valve de drainage avant.
 Moyeu avant.
 Collecteur.

Fuel nozzle	Injecteur.
	G
Gear	Engrenage, pignon, transmission.
Governor	Régulateur.
Guide vane ring	Aubage distributeur.
	H
Helical spline	Ergot hélicoïdale.
Housing	Enveloppe, logement, carter.
Hub	Moyeu
	I
Idele	Ralenti.
Inlet case	Carter d'entrée.
Inlet oil screen	Filtre d'entrée d'huile.
Inner exit duct	Canal d'échappement intérieure.
Input shaft	Arbre d'entrée.
Insulation blanket	Couvercle isolant.
	L
Labyrinth oil seal	Joint d'huile à labyrinthe.
Lever	Levier.
Link	Bielle, liaison.
Linkage	Embiellage, timonerie, tringlerie.
Locking bolt	Boulon de blocage.
	M
Main	Principal.
Main pressure pump	Pompe principale de pression.
Manifold	Collecteur, tuyauterie, tubulure.
Metering	Orifice de dosage
Mounting bolts	Boulon de fixation.
	N
Nut	Ecrou.
	O
Oil cooler	Radiateur d'huile.
Oil scavenge	Récupération d'huile.
Oil seal	Étanchéité d'huile.

Oil suply

Huile d'alimentation.

Packing

P

Garnissage.

Pad

Bourrelet, rondelle, coussinet.

Part

Partie.

Path

Trajectoire.

Pin

Broche.

Power

Puissance.

Pressure relief valve

Valve de surpression.

Propeller

Hélice.

Push pull

Système va et vient.

Rear

R

Arrière.

Rear fuel drain valve

Valve de drainage arrière.

Rear bearing

Roulement arrière.

Retaining ring

Rondelle de retenue.

Roller bearing

Roulement à rouleaux.

Scavenge oil

S

Huile récupérée.

Scavenge pump

Pompe de récupération.

Seqling ring

segment d'étanchéité

Shaft

Arbre.

Shroud

Revêtement, enveloppe, carénage.

Snout

Diffuseur d'entrée

Splash

nappe

Spring

Ressort.

Stage

Etage.

Stage spacer

Entretoise d'étage.

Swirl vane

aube de turbulence, déflecteur

Swith

Interrupteur.

Take off

T

Décollage.

Thrust

Poussée, traction.

Tie rod

Barre d'accouplement.

Torquemeter

Couplemètre, torquemètre.

Turbine nozzle guide vane

les aubes de guidage du stator.

Liste des abréviations

QAT	.....	Température de l'air extérieur
PSIG	.....	Livres par pouce carré instrument
PSIA	.....	Livres par pouce carré absolu
SHP	.....	Puissance en chevaux sur l'arbre
Wf	.....	Débit carburant
pph	.....	Pound per hour
BTU	.....	British Thermal Unit
Cu.ft	.....	Cubic foot
FCU	.....	Régulateur carburant
Tq	.....	Couple
In	.....	inch
ft	.....	foot
yd	.....	yard
oz	.....	ounce
lb	.....	pound
cwt	.....	hundredweight
Btu	.....	British thermal unit
hp	.....	horsepower
Hg	.....	mercury
s	.....	second
NOx	.....	oxyde d'azote
LPP	.....	Lean Premixed Prevaporised
Λ.C.C	.....	Active Clearance Control
min	.....	minute
h	.....	Heur
f	.....	Force
w	.....	watt
kW	.....	Kilowatt (Wx1000)
mm	.....	millimetre (mx0.001)
m	.....	metre
g	.....	Gramme
kg	.....	kilogramme
N	.....	newton
Cu.in	.....	Cubic inch
in.lb	.....	Inch pound
lb/hp	.....	Pound per horse-power
lb/sq.ft	.....	Pound per square foot
psi ou	.....	Pound per square inch
lb/sq.in	.....
H ₂ O	.....	l'eau
co	.....	monoxyde de carbone
RQL	.....	Rich quick lean
DAC	.....	Double annular combustor