

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

UNIVERSITE DE BLIDA

INSTITUT D'AERONAUTIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN AERONAUTIQUE



Option : propulsion

Thème :

*CONCEPTION ET REALISATION D'UN BANC D'ESSAI POUR UNE
TURBINE A GAZ (ARTOUST II)*



Promoteur :

Mr : BENTRAD Hocine

réalisé par :

Mr : MEGHZI Mohammed

Mr: SAIDOUN Mustapha

Année universitaire 2003/2004

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il nous est agréable d'exprimer notre profonde gratitude ainsi que le plus grand respect à tous ceux qui nous ont aidés ou soutenus de près ou de loin.

Nous tenons à remercier le bon dieu, le tout puissant de nous avoir attribué la faveur de réussir nos études.

Nous exprimons nos vifs remerciements à notre promoteur Monsieur BENTRADE HOCINE de nous avoir guidé à fin de réussir à réaliser notre PFE. Ainsi que Monsieur Mokhtari D pour ces conseils et son aide durant toute la réalisation.

Et nous tenons à remercier :

- MEGHZI D'Ahmed pour tout le matériel informatique qu'il a mis a notre disposition
- BENBELAID Samira, MOULOUDI Sabiha, et BENTRAD Meriem pour leur aide
- REMANA Sofiane (entreprise MED) pour son aide technique
- TROUDI El hadi pour tous les travaux de soudure qu'il nous a fait
- ARABI Abdallah pour son poste a soudé
- BERBIHA Adel et DEBI Mohammed pour sa perceuse
- TIGJILT FERJAT Omar et HEDDADI Aissa pour leurs schémas électronique
- M. SETTOUF, HAMIDI Tarek, BOURENNANI Mohammed, KALALA et tous les travailleurs de l'atelier de structure, et sans oublier tous ce qui nous ont aidés de près ou de loin

SAIDOUN Mustapha et MEGHZI Mohammed

DEDICACES

Je dédie ce travail

A mes parents

*Eux qui se sont sacrifié corps et âme pour m'offrir le repos et le bonheur.
Eux qui ont rendu chaque moment de ma vie un merveilleux passage dans le temps, pour
l'éducation qu'ils m'ont inculquée, pour leur soutien moral et matériel dont j'ai bénéficié à
chaque fois, pour l'amour, pour leur patience, pour leur énorme sacrifice, très chers parents je
ne vous remercierai*

J'aimais assez pour vos actes...

Continuez à me guider par vos prières et pensée.

A mes frères.

Abdelmounen, Smail et Fazia.

A toute ma famille.

Rabah, Youcef, Hamid

A mon binome.

MEGHZI Mohammed.

A mes amis

ARABI Abdellah, SERSOUR Mokran et HADJAB Mohammed.

A mes amis d'étude

*LAABASSI Mohammed, BOURENNANI Mohammed, BERBIHA
Adel, Issam, Wafid, Ali, Mokhtar, TIGHILT FARJAT Omar, HADDADI
Aissa, ALIOUA, Omar, CHANGRHA Karim, Farid, Houari, Hmed,
Massinissa, Imene, DEBBI, BEN BELAID Samira, Assia, Nassima,*

A toute personne et à celles que j'aurais pu oublier, je dédie ce modeste travail.

Mustapha

DEDICACES

Je dédie ce travail

A mes chers parents,

Eux qui ont usé de beaucoup de patience pour voir enfin l'aboutissement de leurs énormes sacrifices.

*Eux qui m'ont toujours répondu positivement à chaque fois où je les sollicitais,
Eux qui m'ont toujours soutenu et réconforté lorsque je craquais ou me laissais gagner par la fatigue.*

Chers parents, j'ose espérer que je serais à la hauteur de vos aspirations et vous prie de croire que je ne vous remercierais jamais assez.

A mes frères et sœurs,

Yayat, Fariza, Fatima, Slimane, Chawki, Soraya, Lylià.

A toute ma famille,

Mes oncles Amar et Saïd, mes cousins Samir, Rachid et Hacène.

A mon binôme,

Saidoun Mustapha

A mes amis,

La famille Bourennani à sa tête si Ali, Mouloudi, Soualah, Kamel, Kader, Lanqi, Djamel et Tahar.

A mes amis d'étude

*Laabassi, Berbiha, Debbi, Samira, Chebli, Touabi,
Issam, Walid, Chouaib, Nadir, Ali, Mokhtar, Omar, Aïssa, Alioua, Omar, Imene, Assia,
Nassima et Nassim*

*A tous mes camarades du bloc 2 et à toute personne que j'aurais pu oublier par inadvertance,
je dédie ce modeste travail.*

Mohammed

Liste des symboles

- T_0 : Température totale ambiante / (K°).
 T : Température totale / (K°).
 P_0 : Pression totale ambiante / (Pas).
 P : Pression totale / (Pas).
 γ : Coefficient de détente isentropique.
 Cp_c : Chaleur spécifique sous pression constante de compression / (J/Kg.K°).
 Cp_b : Chaleur spécifique de la combustion / (J/Kg.K°).
 Cp_t : Chaleur spécifique sous pression constante de la détente / (J/Kg.K°).
 R : Constante des gaz.
 η_c : Le rendement du compresseur.
 η_t : Le rendement de la turbine.
 η_b : Le rendement de la chambre de combustion.
 η_{pc} : Le rendement polytropique de compression.
 η_{pt} : Le rendement polytropique de détente.
 η_{th} : Le rendement théorique.
 η_r : Le rendement réel.
 π_c : Le taux de compression.
 π_t : Le taux de détente.
 W_c : Le travail spécifique du compresseur / (Kj/Kg).
 \dot{W}_c : La puissance spécifique du compresseur / (w).
 P_c : La puissance spécifique du compresseur / (w).
 \dot{m}_a : Débit d'air / (Kg/s).
 \dot{m}_f : Débit carburant / (Kg/s).
 P_{th} : La puissance thermique / (w).
 \dot{Q} : La puissance thermique / (w).
 P_{ca} : Le pouvoir calorifique / (Kg/Kj).
 W_t : Le travail spécifique de la turbine (Kg/Kj).
 \dot{W}_t : La puissance spécifique de la turbine / (w).
 P_t : La puissance spécifique de la turbine / (w).
 f : La richesse ou le dosage / [(Kg_{air}/s) / (Kg_{carb}/s)].
 q_c : La consommation horaire / (Kg/h).
 C_s : La consommation spécifique / (Kg/w.h).
 P_{nette} : La puissance nette du cycle / (w).
 \dot{W}_u : Le puissance utile / (w).

ΔH	: La chute d'enthalpie / (Kj/Kg).
\dot{Q}_1	: La puissance thermique de combustion / (w).
\dot{Q}_2	: La puissance thermique d'échappement des gaz / (w).
S	: L'entropie.
W_n	: Le travail net du cycle / (Kj/Kg).
n	: le coefficient polytropique.
T'_2	: La température totale sortie compresseur dans le cas du cycle réel / (K°).
T'_4	: La température totale entrée turbine dans le cas du cycle réel / (K°).
p'_k	: La pression totale sortie compresseur dans le cas du cycle réel / (bar).
h	: L'enthalpie statique / (Kj/Kg).
C	: La vitesse absolue / (m/s).
W	: La vitesse relative / (m/s).
h_{ra}	: L'enthalpie relative total / (Kj/Kg).
M	: Le nombre de mach.
U	: La vitesse entraînement / (m/s).
ρ	: La masse volumique / (Kg/m ³).
h_0	: Enthalpie total / (Kj/Kg).

Les stations de la turbine à gaz :

- Station (0) l'environnement ambiant.
- Station (1) entrée compresseur.
- Station (2) sortie compresseur.
- Station (3) sortie Chambre de combustion ou entrée turbine.
- Station (4) sortie turbine.

SOMMAIRE

Résumé

INTRUDUCTION

Chapitre 01 : Généralités sur la turbine à gaz

1/ INTRODUCTION	1
2/ ETUDE TECHNOLOGIQUE	2
2-1/ L'ENTREE D'AIR	3
2-2/ LE COMPRESSEUR.....	3
2-2-1/ Compresseur axial	4
2-2-2/ Compresseur centrifuge	5
2-2-3/ Notions de propriétés totales ou d'arrêt	5
2-2-4/ Rendement d'un étage compresseur	7
2-2-4/ Diagramme de vitesse	8
2-2-5/ Pompage	10
2-3/ CHAMBRE DE COMBUSTION	12
2-4/ LA TURBINE	15
2-4-1/ La turbine axiale	16
2-4-2/ Les turbines centripètes (radiales)	20
2-5/ CANALISATION D'ECHAPPEMENT	23
2-6/ CIRCUIT DE GRAISSAGE	24
2-7 / CIRCUIT CARBURANT	25

Chapitre 02 : Description du moteur ARTOUST II

1/ GENERALITES	27
1-2/ Présentation et définitions des variantes	27
1-3/ Performances	28

2/ REDUCTEUR ET COMMANDE DES ACCESSOIRES	30
2-1/ Généralités	30
2-2/ Réducteur	30
2-2-1/ Partie fixe	31
2-2-2/ Partie mobile	36
2-2-3/ Etanchéité de la prise de mouvement	38
2-2-4/ Réducteur de vitesse et prise de mouvement pour nateur l'alternateur	39
2-2-5/ Principe de la modification	39
2-3/ Commande des accessoires	40
2-3-1/ Chaîne supérieure	41
2-3-2/ Chaîne inférieure	42
3/ ENTEE D'AIR	43
4/ COMPRESSEUR	44
4-1/ Les parties fixes du compresseur	44
4-2/ Partie mobile du compresseur	45
5/ COMBUTION	46
5-1/ Carter de turbine	47
5-2/ Chambre de combustion	48
5-2-1/ partie extérieure	48
5-2-2/ partie intérieure	49
5-2-3/ labyrinthe	50
5-2-4/ fixation de la chambre de combustion	50
6/ TURBINE	50
6-1/ Partie fixe de la turbine	50
6-1-1/ Distributeur de turbine	50
6-2/ Parties mobiles de la turbine	51
6-3/ Ensemble tournant et assemblage de ses constituants	54
7/ DIFFUSEUR DE SORTIE	55
8/ CIRCUIT DE GRAISSAGE	56
8-1/ Fonctionnement du circuit	57
8-1-1/ Graissage du réducteur, de la commande des accessoires	58
8-1-2/ Graissage du palier arrière	60
8-2/ Pompes à huile	61
8-3/ Fonctionnement de la pompe à huile	62
8-4/ Soupape de surpression	64
8-5/ Filtre à huile	65
8-6/ Transmetteur de la pression d'huile	67
8-7/Manocontacteur pression d'huile	67
8-8/ Tuyauteries d'huile	68

9/ CIRCUIT CARBURANT	70
9-1/ Circuit de démarrage	70
9-1-1/ La micropompe	71
9-1-2/ Bougies à injection	73
9-1-3/ Tuyauteries du circuit de démarrage	75
9-2/ Circuit principale de carburant	76
9-2-1/ Fonctionnement du circuit	76
9-2-2/ Robinet électrique	78
9-2-3/ Pompe à carburant	81
9-2-4/ Régulateur de vitesse	83
10/ ALLUMAGE	84
10-1/ Bobine d'allumage et fils de bougie	84
11/ DEMARRAGE	86
11-1/ Organes de démarrage	86
11-1-1/ Dynamo-demarreur	86
11-2/ Manoccontacteur de démarrage	88
11-3/ Témoins lumineux	91
11-4/ Boîtier de commande automatique	91
11-5/ Contrôle de la vitesse de rotation	94
11-6/ Contrôle de la température des gaz	95

Chapitre 03 : Etude thermique de la turbine à gaz

1/ INTRODUCTION	96
2/ TURBINE A GAZ LIEE	97
3/ TURBINE A GAZ LIBRE	97
4/ ETUDE DU CYCLE IDEAL D'UNE TURBINE A GAZ	98
a) Compression isentropique	99
b) Combustion isobare	100
d) Détente isentropique dans la turbine	100
5/ DOSAGE CARBURANT	101
6/ RENDEMENT THERMIQUE DU CYCLE	102
7/ CYCLE REEL DU TURBOMOTEUR SIMPLE	106

Chapitre 04 : Conception et réalisation

1/ INTRODUCTION	115
2/ LE BANC D'ESSAI	115
2-1/ Le bâti principal	116
2-2/ Le support moteur	118
2-3/ Le support réservoir carburant	119
2-4/ Réservoir d'huile	120
2-5/ Support réservoir d'huile	121
2-6/ Le silencieux	122
2-7/ Le grillage	124
2-8/ Le pupitre de contrôle	125
2-8-1/ Indicateurs	126
2-8-2/ Les voyants	129
2-9/ Le moteur	133
2-10/ Montage du moteur sur le socle	135
2-11/ Les éléments adaptés	136
2-12/ Le circuit de graissage	139
2-13/ Circuit carburant	140
2-14/ Circuit électrique	142
3/ FONCTIONNEMENT AU SOL POINT FIXE DE CONTROLE	145
3-1/ Démarrage	145
A. Opérations préliminaires	145
B- Démarrage proprement dit	145
C. Accélération	147
3-2. Arrêt	147
3-3. Ventilation	147
A. But de l'opération	147
B. Mode opératoire	147
4/ PARTIE CALCULE	149
4-1/ Organigramme	151
4-2/ Application numérique	153
4-3/ Interprétation des graphes	158
<u>Conclusion</u>	159
<u>Annexe 1</u>	160
<u>Annexe 2</u>	174
<u>Bibliographie</u>	181

RESUME

La disponibilité d'un turbo moteur en état de fonctionnement comme outil didactique permet aux étudiants de voir de près le fonctionnement et de déterminer les états d'un cycle et ces performances moteur.

La disponibilité du moteur ARTOUST II au sein de l'atelier nous a permis de réaliser un banc d'essai assurant les objectifs précédents.

Après la réalisation des éléments qui sert à supportés, alimentés et contrôlés le moteur et les travaux d'entretien, le moteur est mis en état de fonctionnement.

The didactic engine in operating condition as tool's makes possible to the students to see various operation modes and determine the cycle states of a turbo machine and it's engine performances.

The availability of ARTOUST II engine within the workshop enabled us to carry out a test bench ensuring the preceding objectives.

After the realization of the elements which are used for supported, feeding engine controlled and maintenance works, the engine is set in operating conditions with succesful testing.

Introduction

INTRODUCTION

Les turbos moteurs ont pratiquement remplacé le moteur à explosion sur la quasi-totalité des hélicoptères construits actuellement, et certains constructeurs ont même procédé à un véritable rajeunissement des modèles anciens par le remplacement du groupe moteur d'origine par une ou deux turbines.

Pour la production nous retiendrons trois grandes catégories :

- Les moteurs destinés aux hélicoptères lourds.
- Ceux conçus pour des appareils cargos moyens.
- Enfin les turbos moteurs pour hélicoptère légers monomoteurs et bimoteurs.

Compte tenu de la disponibilité du moteur (ARTOUSTE II variante C) équipant l'hélicoptère Alouette II, nous avons pensé à concevoir et à réaliser un banc d'essai permettant de contenir ce type de moteur dans le but de pouvoir l'atelier de propulsion d'un turbo moteur en parfaite état de fonctionnement, nous souhaitons exploiter par les étudiants des promotions futures.

Nous avons entrepris le travail en deux étapes :

- La première consiste en la maintenance du turbo moteur mis à notre disposition, la compréhension de son fonctionnement et enfin sa mise en marche.
 - La deuxième étape concerne la réalisation du banc d'essai didactique permettant le contrôle du turbo moteur et les mesures des paramètres de fonctionnement.
-

Chapitre 01 :
Généralité sur la turbine à
gaz

1/ INTRODUCTION :

La turbine à gaz est un moteur thermique permettant de transformer l'énergie calorifique dégagée lors de la combustion d'un carburant en énergie mécanique suivant un cycle thermodynamique.

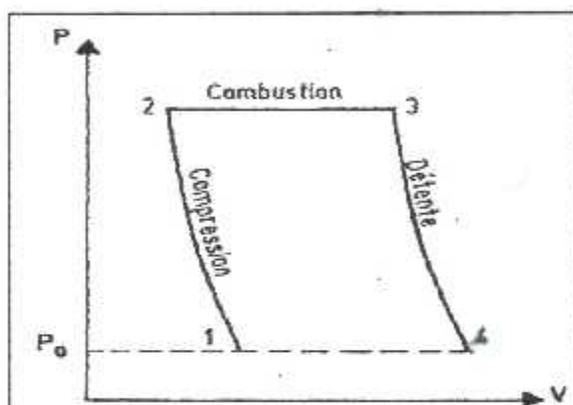


Figure 1-1 : Le cycle idéal d'une turbine à gaz simple, sur le plan P-V.

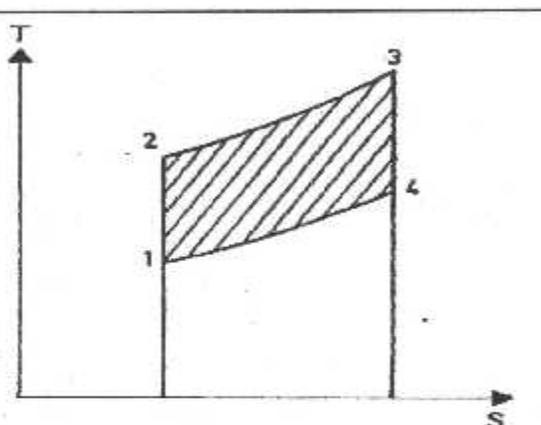


Figure 1-2 : Cycle d'une turbine à gaz simple, sur le plan T-S.

En réalité l'écoulement de l'air dans les organes de la turbine a révélé un gain relative au moteur classique alternatif qui de leurs part engendrent des pertes suite aux vibrations, pertes d'énergie et les pertes de chaleur. D'une manière simple une turbine à gaz fonctionne suivant le cycle suivant :

1-2 phase compression.

2-3 apport de chaleur.

3-4 phase détente.

2/ ETUDE TECHNOLOGIQUE :

Une turbine à gaz est généralement représenté par le schéma fig. (1-3). Elle se constitue essentiellement des éléments principaux ci-dessous :

- Une entrée d'air.
- Un compresseur.
- Une chambre de combustion.
- Une turbine.
- Une canalisation d'échappement.
- Des auxiliaires (réducteur, alternateur, pompe, hélice...).

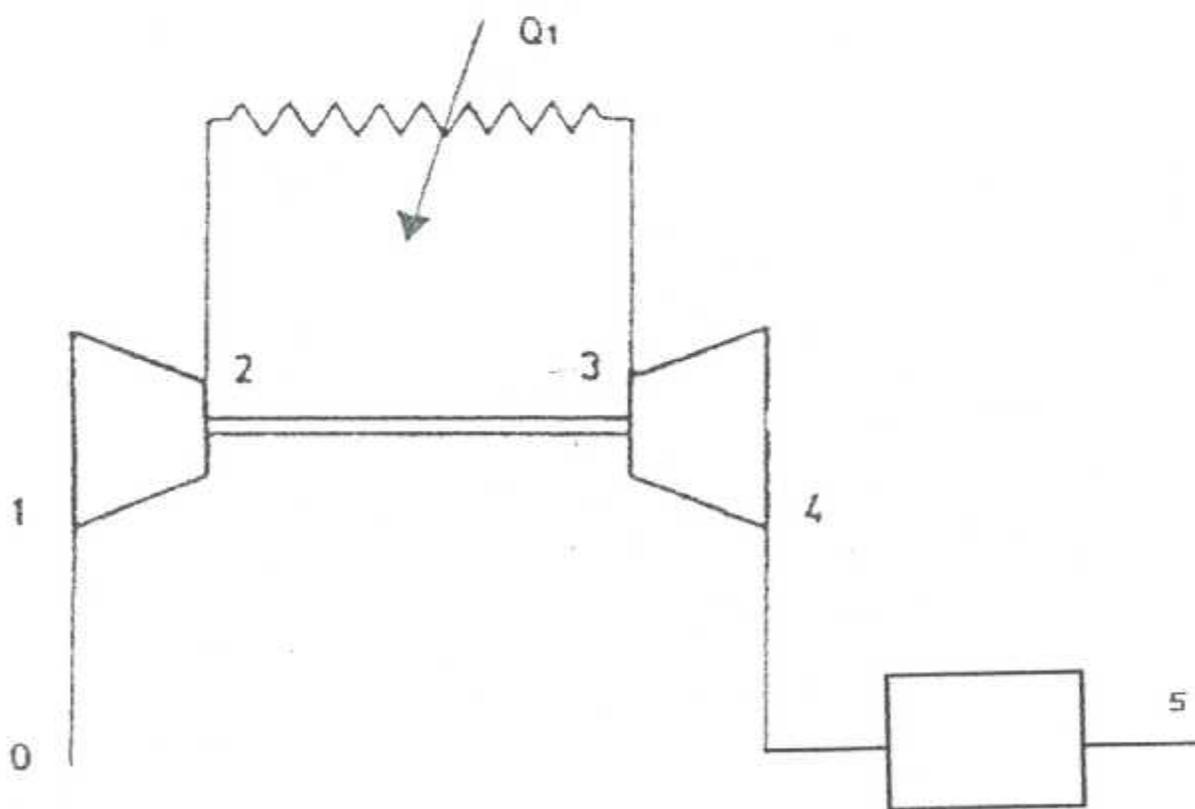


Figure 1-3 : Diagramme schématique d'une turbine à gaz

2-1/ L'ENTREE D'AIR :

L'entrée d'air est un organe qui se situe avant le compresseur sous forme d'une cloche <<bell mouth>> afin d'achever une accélération quasi-isentropique pour minimiser les pertes de pression totale à l'entrée.

D'une manière générale, l'entrée d'air a pour objectifs de réaliser les fonctions suivantes :

- Fournir au turbomoteur avec la quantité demandée d'air, avec la moindre perte de charge et avec le maximum d'homogénéité de répartition de pression totale sur la section d'entrée.
- Filtrer l'air des contaminants solides ; tels que le sable, le sel, etc....
- Empêcher les objets étrangers solides d'entrée dans la turbine à gaz ce qui pourrait
- endommager le compresseur et la turbine.
- Participer à l'insonorisation du turbomoteur.
- Des fois, refroidissement de l'air par humidification.

2-2/ LE COMPRESSEUR

Le compresseur est un élément qui a pour rôle de comprimer l'air, afin d'assurer une stabilité de combustion et une possibilité d'extraire de l'énergie des produits de combustions a la turbine.

Dans la majorité des cas on rencontre des compresseurs de type axial sur des machines de grande unité de puissance, cependant, sur des unités de faibles et moyennes puissances on retrouve des compresseurs centrifuges ou éventuellement une combinaison de compresseur axial suivit d'un centrifuge.

2-2-1/ Compresseur axial:

Un compresseur axial est constitué d'un empilement de disques Rotor/Stator ou l'écoulement de l'air est dans la direction parallèle à l'axe de la machine. La compression se réalise par le phénomène de diffusion ou décélération de l'air. Au cours de laquelle l'énergie cinétique acquise se transforme en énergie de pression.

➤ Etage d'un compresseur axial :

Un étage de compresseur est composé d'un « ROTOR » suivit d'un « STATOR ». Comme le montre le schéma ci-dessous.

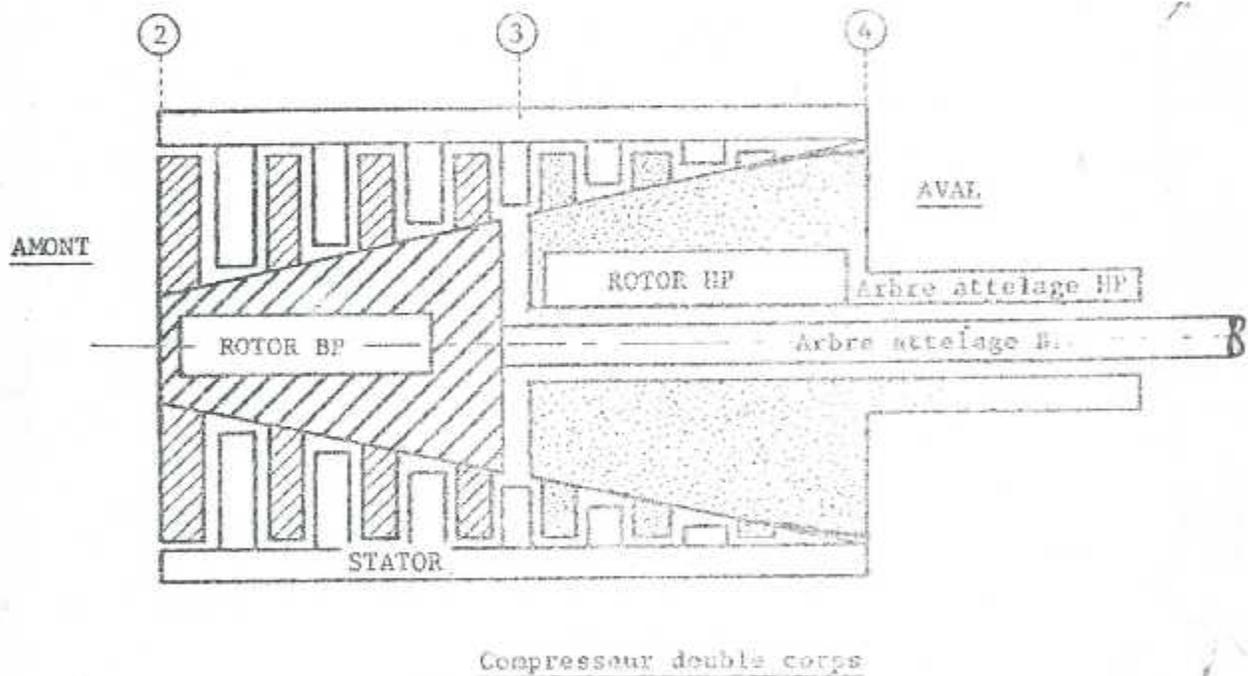


Figure 1-4 : Etage d'un compresseur axial.

Le rotor est composé d'un disque qui supporte un ensemble de grille d'aubes mobiles. Similairement le stator est par contre fixe ou les aubes se logent dans le carter du compresseur. D'autre part, on rencontre des compresseurs composés de deux blocs, basse et haute pression.

2-2-2/ Compresseur centrifuge :

Contrairement au compresseur axial, l'écoulement de l'air dans le compresseur centrifuge est perpendiculaire à l'axe de rotation de la machine.

D'autre part, la compression d'air dans les compresseurs centrifuges se fait par diffusion et centrifugation. Cette dernière, est le résultat direct d'augmentation du diamètre de sortie de la roue comparé à celui de l'entrée, toute fois, la centrifugation stabilise la couche limite ce qui fait retarder la séparation des filets d'air.

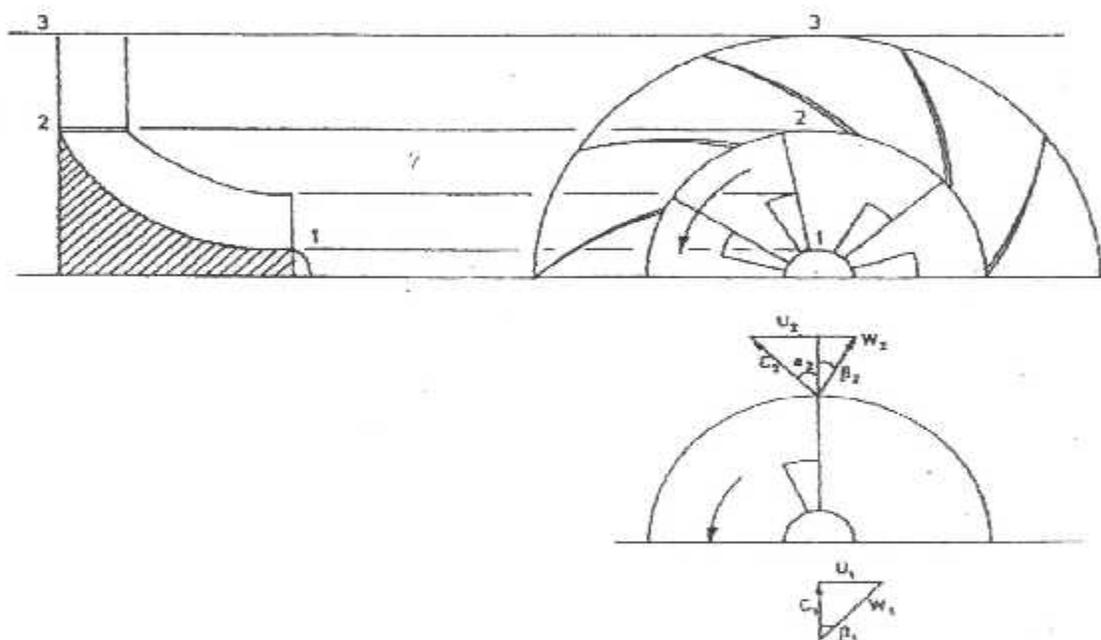


Figure 1-5 : Le compresseur centrifuge

2-2-3/ Notions de propriétés totales ou d'arrêt :

- l'enthalpie totale h_0 :

$$h_0 = h + \frac{C^2}{2} \quad \dots (1-1)$$

- l'enthalpie relative totale h_{r0} :

$$h_{r0} = h + \frac{w^2}{2} \quad \dots (1-2)$$

Où :

- C : vitesse du fluide dans un repère fixe (vitesse absolue).
- w : vitesse du fluide dans un repère mobile (vitesse relative).

- la température totale T_0 :

$$T_0 = T \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right) \quad \dots (1-3)$$

Où M est le nombre de mach défini comme suit :

$$M = \frac{C}{\sqrt{\gamma \cdot R \cdot T}} \quad \dots (1-4)$$

- la pression totale P_0 :

$$P_0 = P \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad \dots (1-5)$$

- le rendement statique - total η_{ST} :

$$\eta_{ST} = \frac{h_{3s} - h_1}{h_3 - h_1} \quad \dots (1-6)$$

2-2-5/ Diagramme de vitesse :

Si on réalise une coupe au plan A-A fig. (1-7) on distingue que les aubes présente des profils aérodynamiques classiques. L'espace entre aube réalise un espace divergeant.

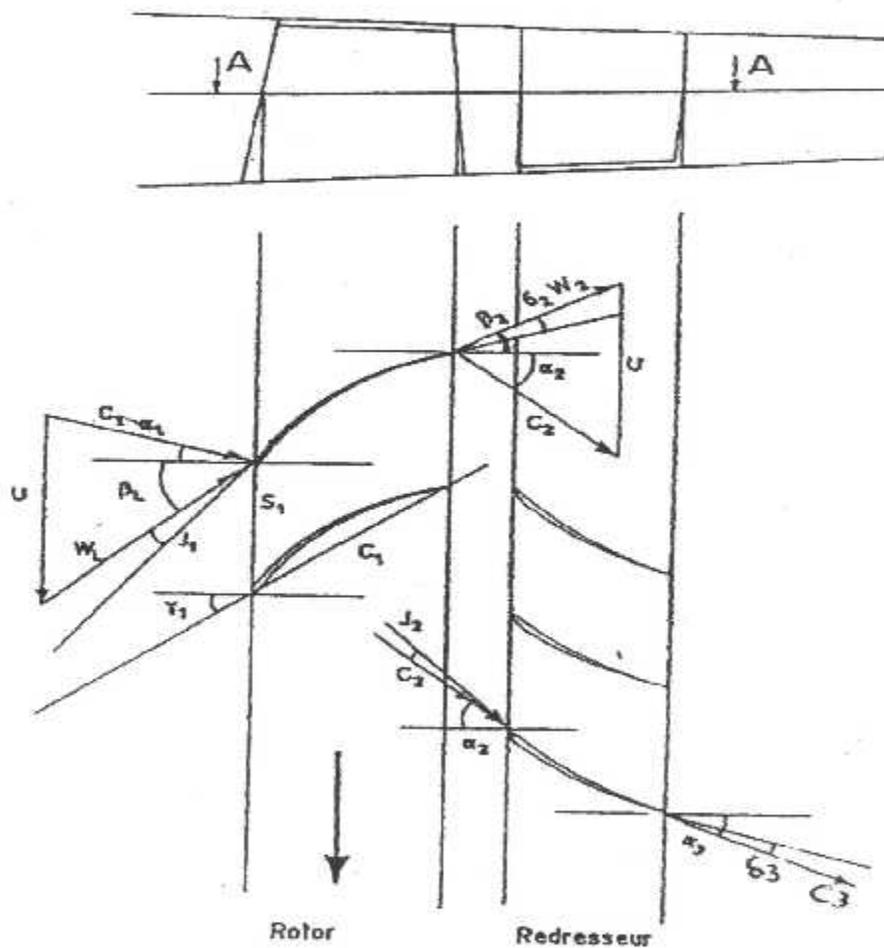


Figure 1-7 : Etage d'un compresseur axial

La figure 1-7 montre les angles géométriques de l'entrée à la sortie de l'étage ainsi que le diagramme de vitesse correspondant.

De la figure (1-8) en tire alors les relations de vitesses suivantes pour un compresseur.

$$\Delta W = U.(C_{\theta 2} - C_{\theta 1}) \quad \dots (1-7)$$

$$\Delta W = U.(w_{\theta 2} - w_{\theta 1}) \quad \dots (1-8)$$

Avec :

- U : vitesse d'entraînement.
- C : vitesse absolue.
- W : vitesse relative.
- W_{θ}, C_{θ} : respectivement vitesse relative radiale et vitesse absolue radial.

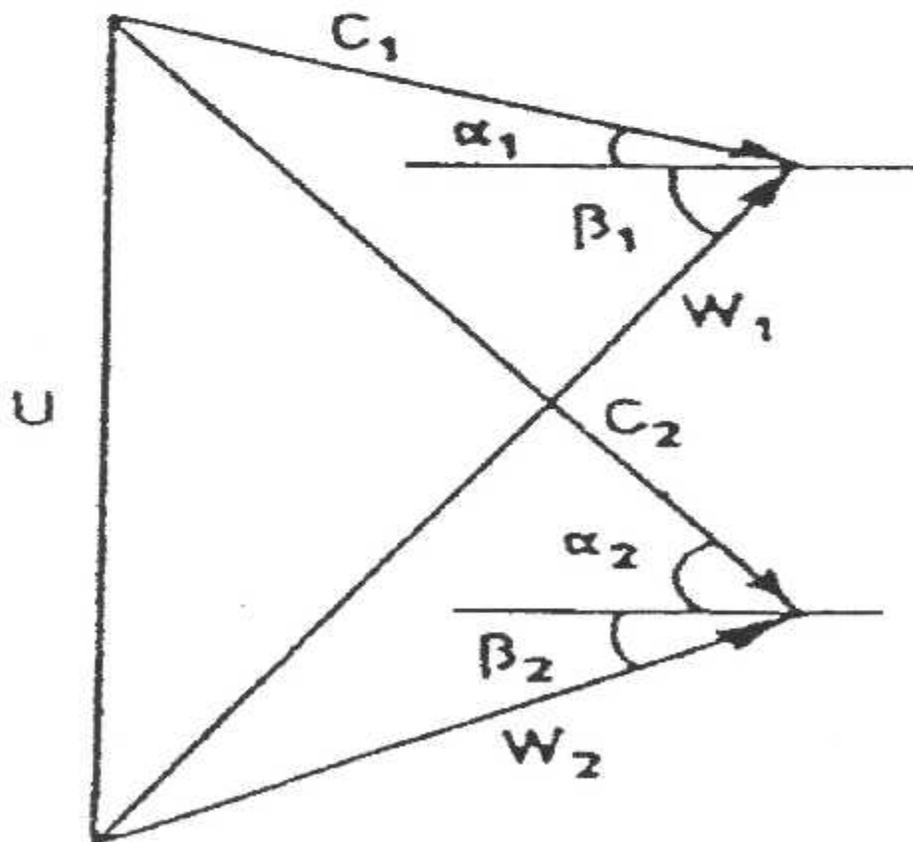


Figure 1-8: Le triangle des vitesses d'un compresseur axial.

La figure (1-9) montre le diagramme de vitesse pour un centrifuge ou en peut tiré alors :

$$\Delta W = U_2 C_{\theta 2} \quad \dots (1-9)$$

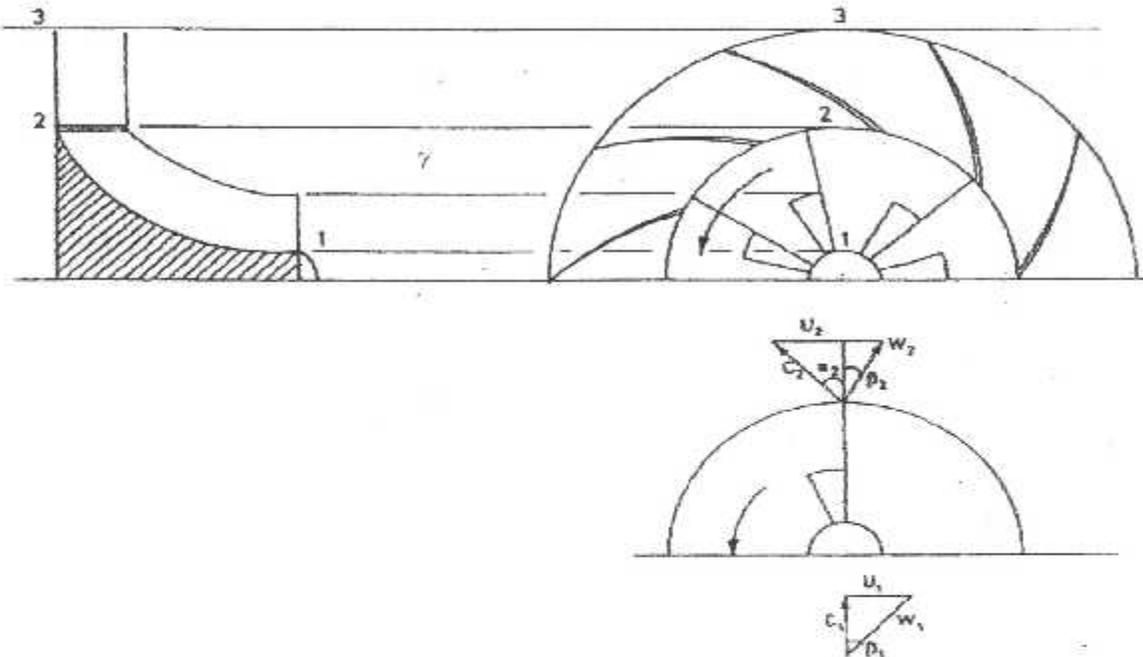


Figure 1-9: Le compresseur centrifuge.

2-2-6/ Pompage :

Le pompage est un phénomène aérodynamique rencontré sur le compresseur axial, et se caractérise par la rupture complète de l'écoulement continu à travers le compresseur en engendrant des larges oscillations de débit ce qui peut conduire à des endommagements d'ordre mécanique.

Du moment que le pompage affecte les performances du compresseur les turbomoteurs sont contraints de fonctionner à des débits d'air et des rapports de compression le plus loin possible de la limite de pompage. Cependant il existe une ligne de fonctionnement stable ou on rencontre un équilibre de puissance entre le compresseur et la turbine, cette ligne est dite ligne d'adaptation elle est en générale proche de la limite de pompage a voir la figure ci- dessous.

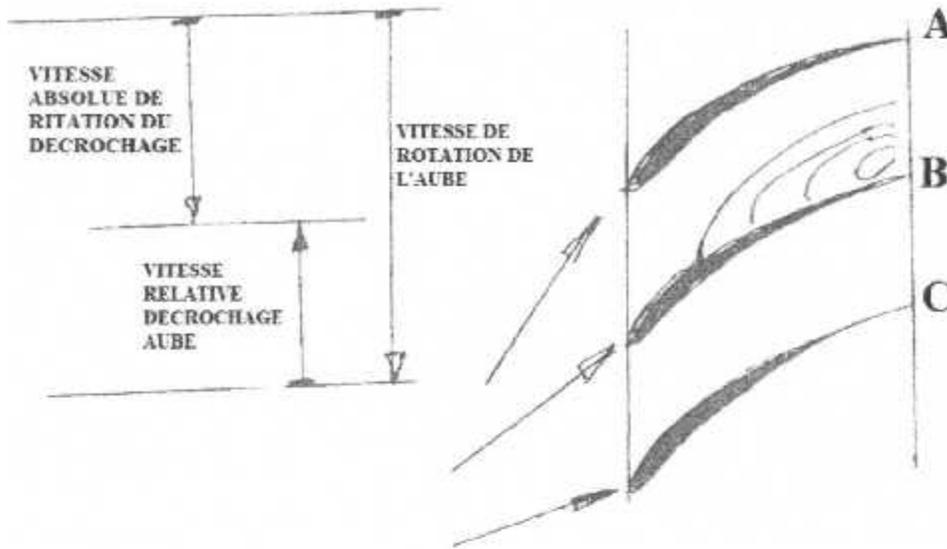


Figure 1-10: Mécanisme de décrochage tournant

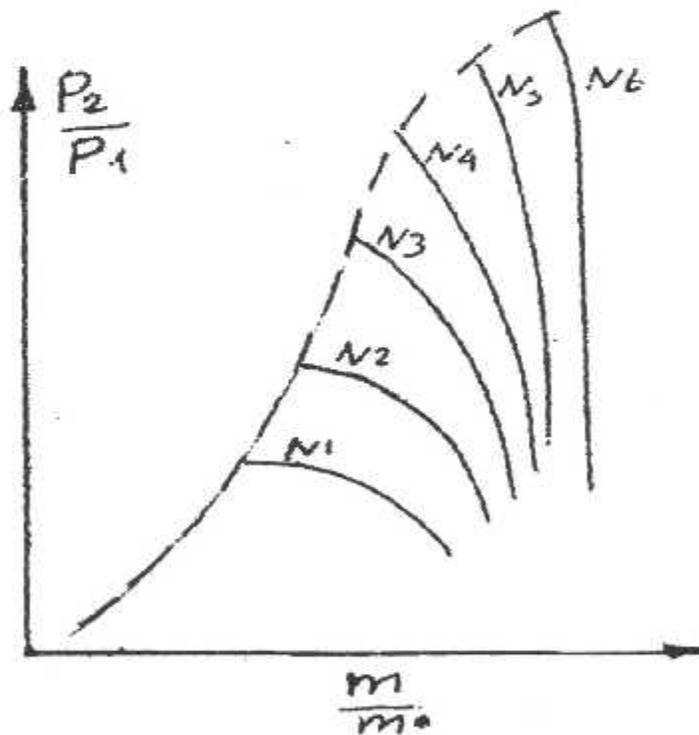


Figure 1-11: Le champ typique d'un compresseur axial.

Sur le moteur le control de performances se réalise par un système asservi qui ramène toujours le moteur en zone de fonctionnement stable durant toute les phases de vole et la gamme de régime moteur. On constate d'autre part que le moteur est susceptible au pompage le plus au bas régime.

2-3/ CHAMBRE DE COMBUSTION :

La chambre de combustion élève la température de l'air, par la combustion du carburant. Ou la température obtenue par les gaz doit être compatible avec la bonne tenue mécanique des matériaux de la turbine. On rencontre beaucoup de problèmes causés par la combustion qui sont très complexes dont il n'y a pas de théories complètement satisfaisantes pour les expliquer, c'est pourquoi l'expérimentation a une part prépondérante dans la mise au point d'une chambre de combustion, ou en distingue plusieurs types :

➤ **Chambre de combustion annulaire :**

La chambre de combustion annulaire est vraiment une solution très équilibrée. Car les tubes de flamme auront un diamètre relativement petit. Cela augmente la rigidité de la surface même avec une tôle mince qui résout le dilemme.

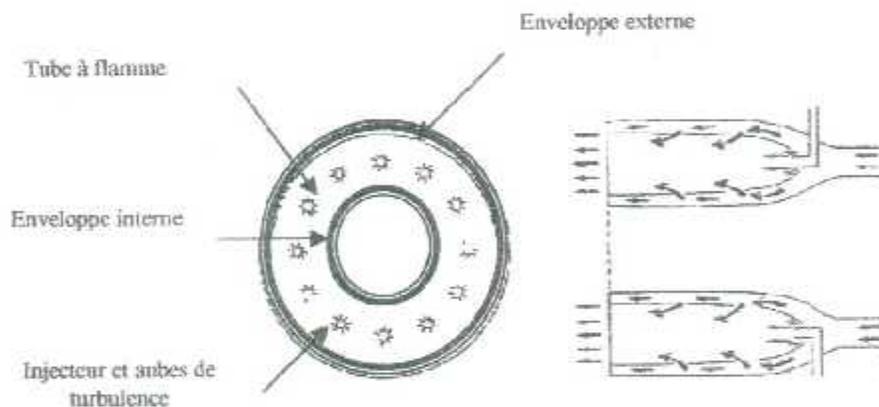


Figure 1-12 : chambre de combustion annulaire.

Ce type de chambre a un meilleur rendement ; mais d'une mise au point extrêmement délicate.

➤ **Chambre de combustion à contre-courant (inversée) :**

La chambre de combustion dans les séries GE de grosses turbines à gaz présentent une conception à contre courant (à écoulement inverse). Normalement on entoure le tube de flamme par une caisse tubulaire appelée pièce de protection qui représente une barrière thermique qui protège le carter contre le rayonnement de chaleur de la paroi du tube à flamme.

Les tubes à flammes sont répartis circonférentiellement et sont connectés entre eux par des tubes d'interconnexion. Ces derniers permettent la propagation des flammes du tube recevant l'allumeur aux tubes voisins.

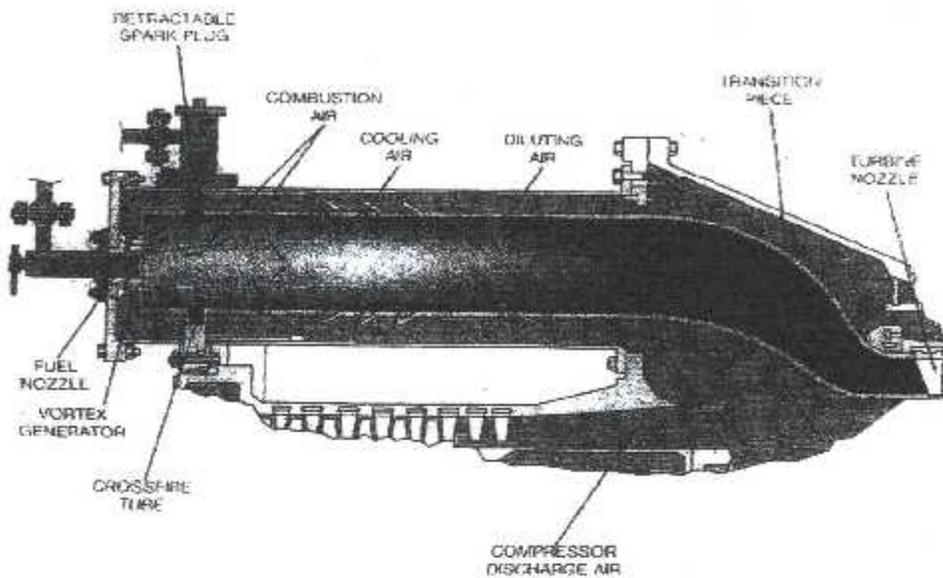


Figure 1-13 : Chambre de combustion à contre courant.

➤ Chambre de combustion tubulaire :

Elle est constituée d'un ensemble de tube à flamme disposé tout au tour d'un axe central de la machine, elle est reliée au compresseur par un carter divergent assurant une diminution de vitesse et une augmentation de pression.



Figure 1-14 : Chambre de combustion tubulaire.

Chaque chambre de combustion se constitue de deux enveloppes internes (alliage de titane) et externe (acier spéciale réfractaire).

➤ Chambre de combustion turbo annulaire :

Pour les grosses turbines à gaz la chambre de combustion est généralement du type turbo annulaire. Cette disposition présente les avantages de la chambre annulaire et inversée (mise au point plus facile, bonne utilisation du volume disponible)

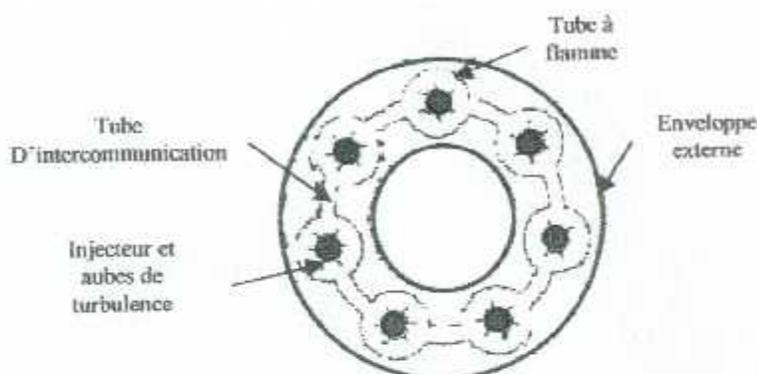


Figure 1-15 : Chambre de combustion turbo annulaire.

❖ Paramètres influençant sur la combustion :

La combustion est influencée principalement par la température d'entrée dans la chambre, la vitesse de l'écoulement, et la pression minimale d'inflammation.

➤ Influence de la température ambiante :

Quand la température ambiante augmente, il y aura les conséquences suivantes :

- la densité de l'air diminue, car on a en fait : $\rho = \frac{P}{R.T}$
- le débit massique de l'air admis dans le compresseur diminue.
- Le rapport de pression du compresseur diminue.
- La puissance de sortie de la turbine à gaz diminue.
- La consommation du carburant diminue mais la puissance de sortie diminue de plus. Par conséquent la consommation spécifique augmente.

➤ Influence de la pression ambiante :

L'altitude influe sur la pression ambiante. Plus l'altitude est haut, moins la pression ambiante.

Quand la pression ambiante est plus haute que la valeur nominale, on constate les effets suivants :

- La densité de l'air sera plus grande.
- Le débit massique de l'air augmente.
- Le rapport de pression du compresseur augmente.
- La sortie nette de la turbine augmente.
- La consommation du combustible augmente.

2-4/ LA TURBINE :

C'est la turbine qui entraîne le compresseur, en consommant environ les deux tiers de la puissance disponible de la turbine, tandis que le reste est fourni à la charge utile du turbomoteur et les équipements auxiliaires. La turbine peut se composer de plus qu'un étage. Chaque étage commence par des aubes fixes appelées distributeur ou aubes directrices. Elles ont pour but d'accélérer les gaz. C'est-à-dire d'augmenter la vitesse de l'écoulement. Cela a lieu au cours d'une chute de pression.

Le deuxième devoir est de créer une composante tangentielle de vitesse dans le sens de rotation du rotor. C'est cette composante tangentielle qui pousse les aubes rotor dans le sens de rotation. La vitesse absolue qui sort du rotor à une composante tangentielle plus petite.

Le changement de quantité de mouvement du gaz, en traversant le rotor est égal au produit du débit du gaz fois le changement de la composante tangentielle de la vitesse absolue. Ce changement de quantité de mouvement produit la force tangentielle dans l'étage rotor.

2-4-1/ La turbine axiale :

❖ L'étage d'une turbine axial :

L'ensemble turbine comprend un ou plusieurs étages, chaque étage étant constitué d'une rangée d'aubes fixes (distributeur) suivie d'une rangée d'aubes mobiles (roue de turbine).

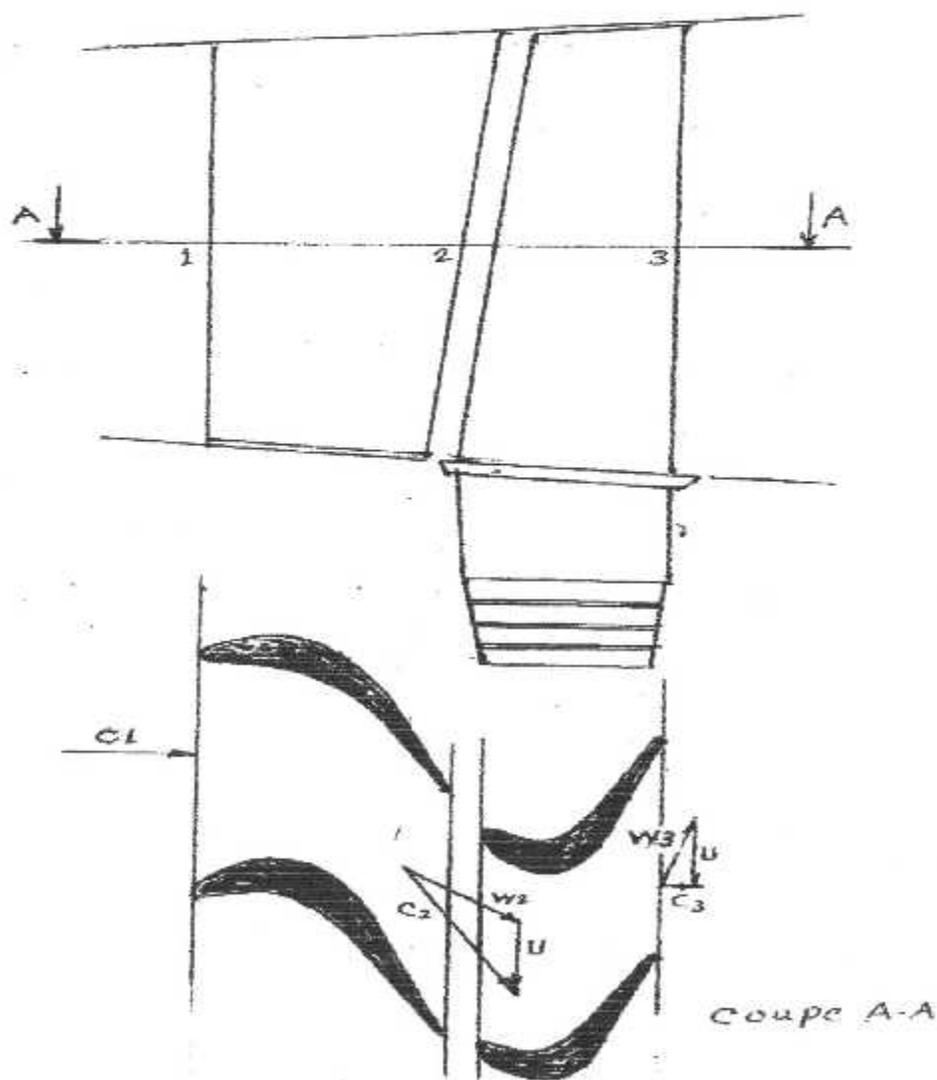


Figure 1-16 : L'étage d'une turbine axial.

➤ Le distributeur :

Les aubes fixes sont généralement montées entre deux anneaux cylindriques. L'anneau extérieur se monte dans le carter turbine et l'anneau intérieur enveloppe l'arbre liant la turbine au compresseur.

Les aubes distributeurs sont les plus souvent creuses pour permettre le passage d'air de refroidissement ou de pressurisation.

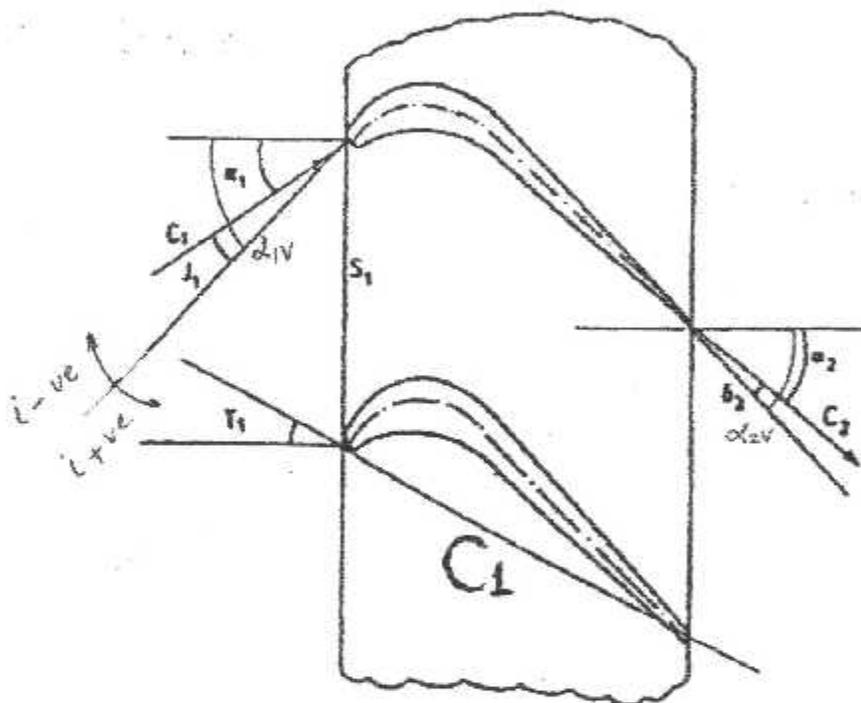


Figure 1-17 : Le distributeur d'un étage d'une turbine axiale.

c_1	: Vecteur vitesse absolue à l'entrée de la grille du distributeur.
α_1	: Angle que fait la vitesse c_1 avec la direction axiale.
c_2	: Vecteur vitesse absolue sortante de la grille.
α_2	: Angle que fait la vitesse c_2 avec l'axiale.
i_1	: Angle d'incidence ou angle que fait c_1 avec la tangente à la ligne moyenne de l'aube au bord d'attaque.
δ_2	: Angle de déviation, entre le vecteur c_2 et la tangente de la ligne moyenne de l'aube au bord de fuite.
C_1	: Corde de l'aube distributeur.
S_1	: Pas de la grille distributeur $S_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{z_1}$
R	: Rayon, distance radiale du segment d'aube à l'axe de la machine.
z_1	: Nombre d'aubes dans le distributeur. $S_1' = \text{Pas relatif} = S_1 / C_1$.
γ_1	: Angle de calage des aubes distributeur.

➤ Le rotor (grille d'aubes tournantes) :

La roue est constituée d'un disque, à la périphérie du quelle on trouve les pales. Le disque est solidaire de l'arbre.

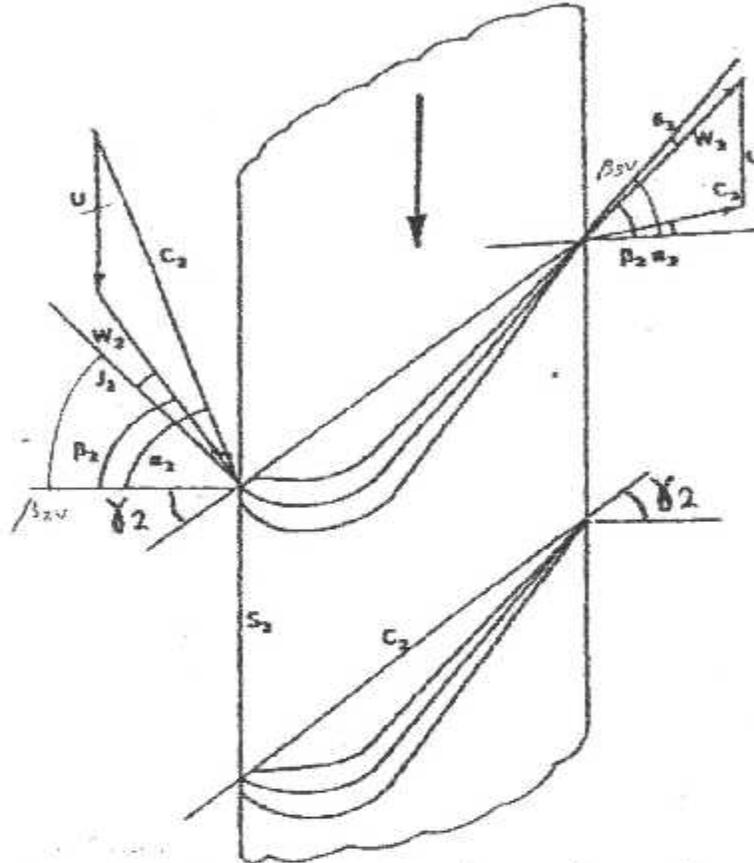


Figure 1-18 : Le rotor d'un étage d'une turbine axiale.

- w_2 : Vecteur vitesse relative de l'écoulement à l'entrée du rotor.
- β_2 : Angle que fait la vitesse relative w_2 avec la direction axiale.
- w_3 : Vecteur vitesse relative quittant le rotor.
- β_3 : Angle que fait la vitesse relative w_3 avec la direction axiale.
- c_3 : Vecteur vitesse absolue quittant le rotor.
- i_2 : Angle d'incidence rotor ou angle que fait w_2 avec la tangente à la ligne moyenne de l'aube au bord d'attaque.
- α_3 : Angle que fait la vitesse c_3 avec l'axiale.
- δ_3 : Angle de déviation, entre le vecteur w_3 et la tangente de la ligne moyenne de l'aube au bord de fuite.
- C_2 : Corde de l'aube rotor.
- S_2 : Pas de la grille rotor. $S_2 = 2.\pi r/z_2$
- r : Rayon, distance radiale de la section d'aube à l'axe de la machine.
- z_2 : Nombre d'aubes dans le disque. $S_2' = \text{Pas relatif} = S_2/C_2$.
- γ_2 : Angle de calage des aubes rotor. C'est l'angle entre la corde et l'axiale.

❖ Triangle de vitesse :

Le schéma représente un étage de turbine, mais il est évident qu'un moteur peut comporter plusieurs étages. Il faut aussi noter que le calage, le nombre, la longueur et la forme des pales varient d'un étage à un autre.

Le diagramme fait apparaître :

- \vec{U} : la vitesse de rotation de la roue.
- \vec{C} : la vitesse absolue de l'écoulement.
- \vec{W} : la vitesse relative de l'écoulement.

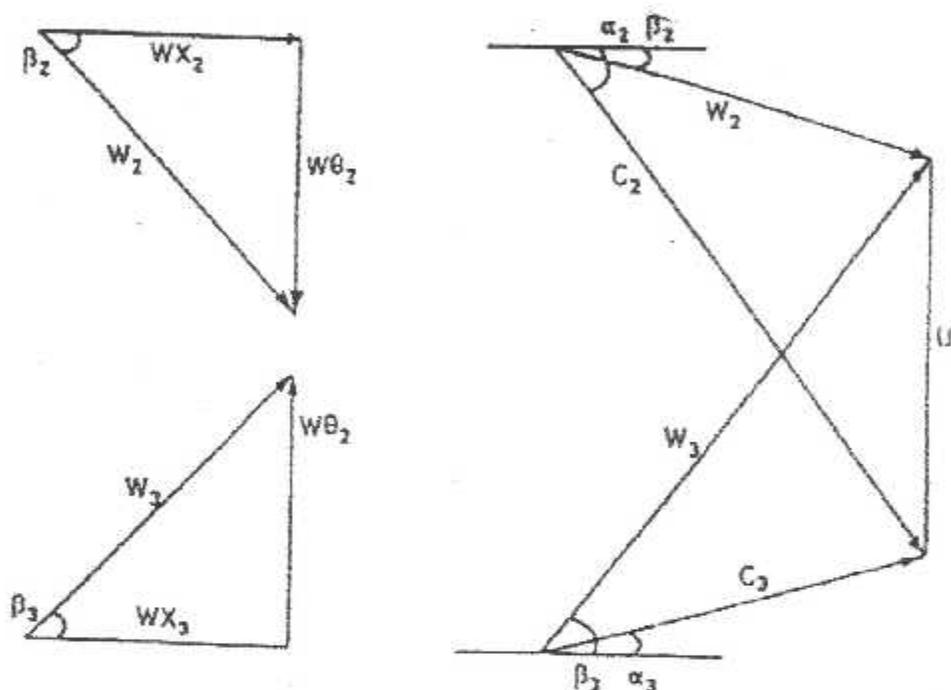


Figure 1-19 : Les triangles des vitesses.

❖ L'équation d'Euler :

$$\Delta W = U \cdot (w_{\theta 03} - w_{\theta 02}) \quad \dots (1-10)$$

$$\Delta W = U \cdot (c_{\theta 03} - c_{\theta 02}) \quad \dots (1-11)$$

Où :

- ΔW : Travail spécifique par unité de débit massique de l'écoulement.
- U : Vitesse tangentielle du rotor.

$$U = r \cdot \omega \quad \dots (1-12)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot N / 60 \quad \dots (1-13)$$

Où :

- r : Rayon moyen du segment considéré de l'aube rotor.
- N : Vitesse de rotation du rotor en tour / minute.
- ω : la pulsation. Rad/s

▪ la puissance de l'étage rotor P :

$$P = \dot{m} \cdot U \cdot (w_{\theta 3} - w_{\theta 2}) \quad \dots (1-14)$$

2-4-2/ Les turbines centripètes (radiales) :

La majorité des turbines sont axiales car la configuration centripète (radiale) à une efficacité moindre mais elle est simple et résistante et répondue beaucoup dans les turbo chargeurs des moteurs d'échange.

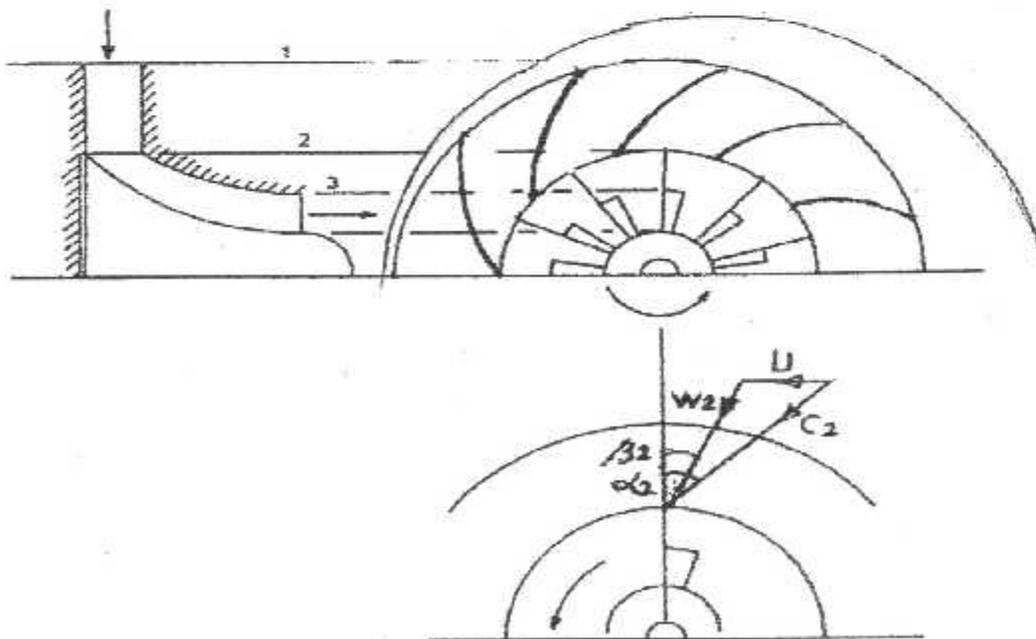


Figure 1-20 : Les turbines radiales.

➤ **Le rendement total – total η_{TT} :**

$$\eta_{TT} = \frac{h_{01} - h_{03}}{h_{01} - h_{03,ss}} \quad \dots (1-17)$$

➤ **Le rendement total - statique η_{TS}**

$$\eta_{TS} = \frac{h_{01} - h_{03}}{h_{01} - h_{3,ss}} \quad \dots (1-18)$$

La règle la plus générale c'est quand l'énergie cinétique à la sortie de la turbine (ou de l'étage considéré) est récupérée, soit dans l'étage turbine soit par un diffuseur efficace à la sortie de la turbine, on utilise η_{TT} pour juger le rendement. Par contre, si trop d'énergie est perdue à la sortie de la turbine (ou de l'étage selon le cas), on utilisera η_{TS} .

➤ **Degré de réaction d'un étage de turbine :**

Le degré de réaction est défini comme le rapport entre la chute d'enthalpie dans la roue mobile et la chute d'enthalpie dans tout l'étage.

$$\sigma = \frac{h_2 - h_3}{h_{02} - h_{03}} \quad \dots (1-19)$$

On note que :

$$h_{01} = h_{02}$$

En pratique $0 < \sigma < 0.7$.

2-5/ CANALISATION D'ÉCHAPPEMENT :

La canalisation d'échappement a pour but les fonctions suivantes :

- Réduire l'énergie perdue dans l'échappement. Cela revient à dire réduire l'énergie cinétique des gaz d'échappement.
- Participation à l'insonorisation du système. Des panneaux acoustiques sont montés dans la canalisation verticale d'échappement pour supprimer le bruit du turbomoteur dont une grande portion sort avec l'échappement.

Pour cela plusieurs formes sont mises au point suivant le type du moteur et son domaine d'évolution à savoir un canal d'éjection de turboréacteur simple qui contient un carter d'échappement, convergent, et un carter convergent-divergent.



Tuyère convergente



Tuyère convergente divergente

Figure 1-22 : différentes tuyères

Un canal d'éjection de turboréacteur équipé de la post-combustion (PC) est composé d'un carter d'échappement, d'un système de PC et d'une tuyère à section variable.

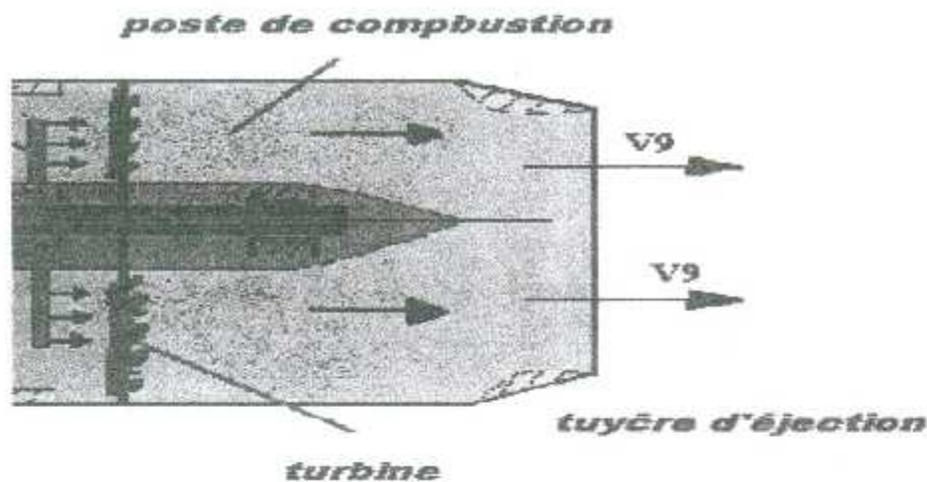


Figure 1-23 : Tuyère avec poste combustion

2-6/ CIRCUIT DE GRAISSAGE :

Ces fonctions sont :

- Lubrifier les paliers et les accouplements afin de réduire le frottement de contact. Cela réduira les pertes mécaniques et augmente le rendement global du système.
- Cela réduit aussi l'échauffement de ces éléments très sensibles à la haute température. Par exemple, le babbit qui couvre la surface des patins des paliers se fond à des températures relativement basses.
- La réduction de frottement réduit aussi l'usure des surfaces en contact de glissement ou de roulement et étend ainsi la vie de ces éléments.
- Refroidissement des surfaces de contact par une évacuation efficace de chaleur. Cela aide à garder la résistance mécanique des matériaux (du revêtement en babbit par exemple).
- Le nettoyage des éléments. L'huile emporte avec elle sorte de saleté, sable et débris, qui bloquent sur la barrière ou le filtre d'huile.
- La protection des surfaces contre l'oxydation et la corrosion. Cela aide à garder la qualité des surfaces de contact contre les piqués de corrosion. Cette protection étend le potentiel de vie aussi car elle protège contre la rupture par corrosion ou fatigue corrosive.

❖ Constitution du circuit de lubrification :

Les paliers et les accouplements de la turbine à gaz et de sa charge sont à lubrifier pour réaliser les fonctions déjà mentionnées. Le système de lubrification d'une turbine à gaz se constitue des éléments principaux suivants :

- Le réservoir d'huile,
- Les pompes d'huile de graissage,
 1. la pompe principale,
 2. la pompe auxiliaire,
 3. la pompe de secours.
- Filtre à huile de graissage,
- Commande de la température d'huile,
- Commande du niveau d'huile dans le réservoir,
- Régulateur de la pression d'huile dans le collecteur d'huile de graissage,
- Les tuyaux.

2-7 / CIRCUIT CARBURANT :

Le système carburant est sollicité pour démarrer et accélérer le moteur, qui doit être protégé contre les températures excessives des gaz d'échappement et les survitesses qui peuvent conduire au fracassement du compresseur.

❖ Les exigences du circuit carburant :

Les exigences fondamentales du système carburant sont :

- L'approvisionnement en combustible doit être adéquate et continue pendant le vol et le redémarrage en cas de nécessité.
- Contrôler exactement la vitesse du moteur et sa stabilité durant le fonctionnement et fournir le contrôle transitoire pour accomplir des changements rapides de puissance.

- Gérer le bon fonctionnement aérodynamique du compresseur (par action sur les stators à calage variable) pour lutter contre le pompage.
- Gérer le fonctionnement des valves.
- Effectuer des programmes de démarrage automatiques du niveau de la mer jusqu'à 20,000 pieds d'altitude.
- Protéger le moteur contre la destruction de sa chambre de combustion et survitesse de sa turbine.

Le système carburant du moteur délivre au système de régulation, du fuel, du moteur un débit constant à une pression propre et adéquate et la quantité nécessaire pour le fonctionnement du moteur. En dépit de la variation des conditions atmosphériques. Le combustible sert aussi comme lubrifiant pour la pompe à carburant.

❖ Les carburéacteurs (carburants) :

Un carburant est caractérisé par sa température de congélation (spécifié par le point de congélation) et la température d'inflammation en présence d'une étincelle, (spécifié par le point d'éclair).

➤ Les paramètres caractéristiques d'un mélange carburé :

- **Le dosage :**

C'est le rapport de masse de carburant à la masse d'air qui lui est mélangée pour effectuer la combustion. Lorsque tout l'oxygène de l'air est utilisé pour brûler complètement tout le kérosène du mélange, on dit qu'on a un dosage stoechiométrique qui est égale à 1/15.

- **La richesse :**

C'est le rapport du dosage réel au dosage stoechiométrique que l'on note par r .

- Si $r > 1$, on a un mélange riche, et tout le carburant ne peut pas brûler pour manque d'oxygène.
- Si $r < 1$, on a un mélange pauvre et tout le carburant peut brûler.

Chapitre 02 :
Description du moteur
ARTOUST II

1/ GENERALITES :

1-2/ Présentation et définitions des variantes :

L'ARTOUSTE II est un turbomoteur à turbine liée, spécialement conçue pour son installation sur hélicoptère figure (2-1). Il est équipé de tous les accessoires nécessaires à sa mise en marche, sa régulation et son fonctionnement.

Le turbomoteur ARTOUSTE II existe en deux variantes, identifiées par les lettres B et C. La variante C est obtenue à partir de la variante B par application des modifications :

- M 66 : nouvelle M.A.L. du labyrinthe du tube à carburant.
- M 111 : turbine améliorée.

NOTA :

Transformation de la variante B en C : modification M 123. Dans chacune de ces variantes, il peut exister plusieurs versions définies ci-après :

➤ Variante B :

Pratiquement tous les moteurs de la variante B ont été transformés en moteurs variante B version 1 (B1) par application de la modification M 76 nouvelle chambre de combustion.

➤ Variante C :

Les moteurs de la variante C se rencontrent sous quatre versions identifiées C1, C2, et C6 qui correspondent à l'application de certaines modifications comme indiqué ci-après.

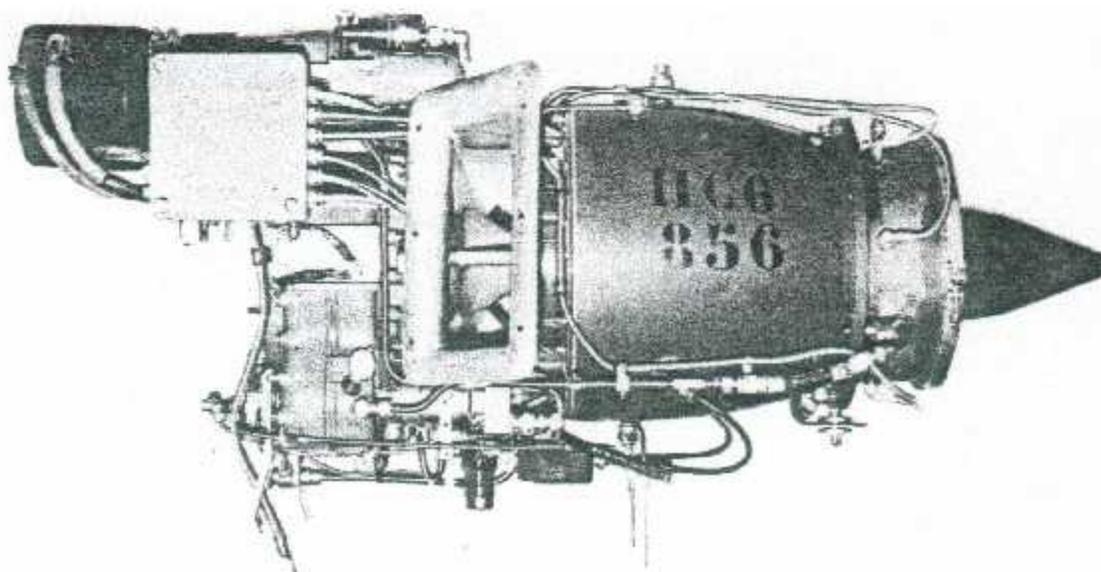


Figure 2-1 - ARTOUSTE II C - cote gauche -

- VERSION C1 – M76 - Nouvelle chambre de combustion
- VERSION C2 – M76
 M112 - Nouvelle chambre de combustion
 - Démontabilité du réducteur
- VERSION C5 – M121 - Roue d'entrée en acier (compresseur)
 M129 - Nouvelle partie extérieure (combustion)
 M133 - Rouet à double crabotage (entraînant)
- VERSION C6 – M112 - Démontabilité du réducteur
 M 121 - Nouvelle entrée en acier (compresseur)
 M129 - Nouvelle partie extérieure (combustion)
 M133 - Rouet à double crabotage (entraînant)

1-2/ Performances :

La puissance maximale au régime de décollage dans les conditions standards au sol est de :

- 406 ch pour L'ARTOUSTE II B.
- 480 ch pour L'ARTOUSTE II C.

Pour une vitesse de rotation de la turbine de 34 000 tr/mn. Les régimes de fonctionnement en atmosphère standard au sol (15° C et 760 mm de mercure) de L'ARTOUSTE II monte sur l'hélicoptère sont les suivants.

➤ ARTOUSTE II B.

Régime	Vitesse de Rotation en tr/mn	Puissance sur l'arbre		Consommation Carburant kg/h
		kw	ch	
Décollage	34 000	265	360	180
Croisière maximum	34 000	235,5	320	160
Ralenti sol	18 000	14,7	20	45

➤ ARTOUSTE II C.

Régime	Vitesse de Rotation en tr/mn	Puissance sur l'arbre		Consommation Carburant kg/h
		kw	ch	
Décollage	34 000	299	406	172
Croisière maximum	34 000	243	330	153
Ralenti sol	18 000	14,7	20	43

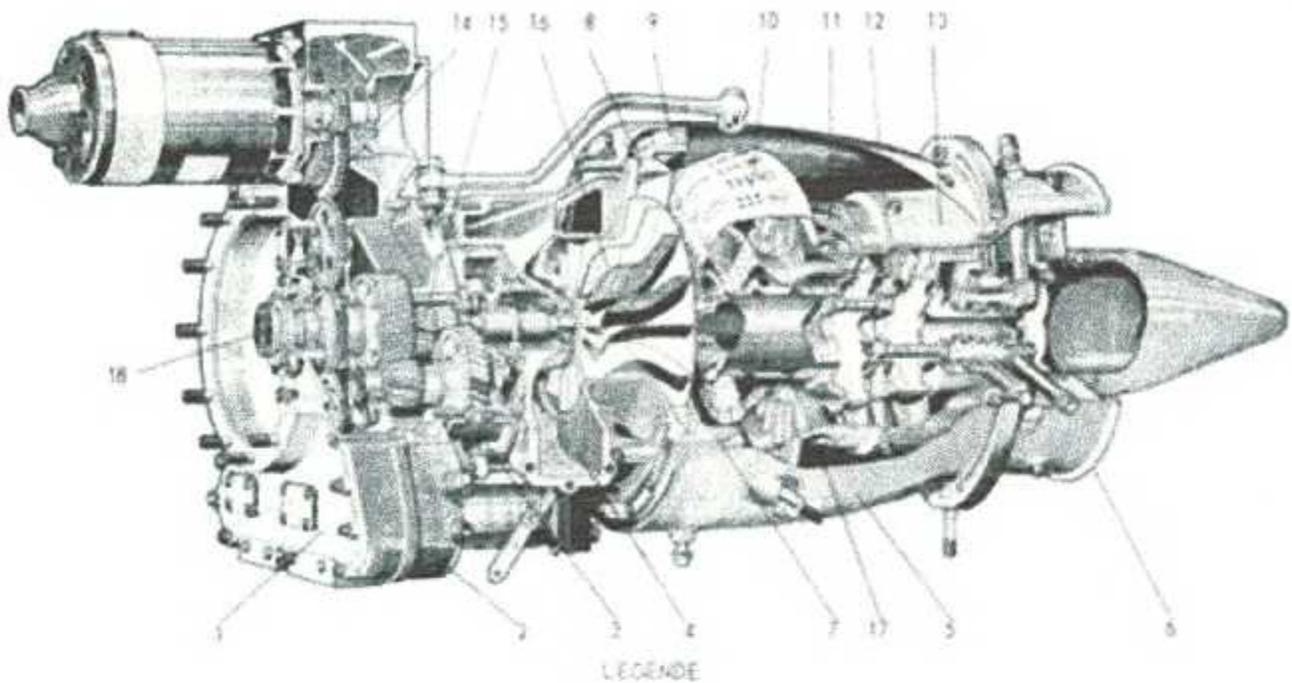


Figure 2-2 : Moteur ARTOUSTE II.

Parties fixes extérieurs

1- couvercle du carter d'accessoires

2- Carter d'accessoires

3- Carter réducteur

4- Carter compresseur

5- Carter turbine

6- Diffuseur de sortie

Parties fixes intérieurs

7- Couvercles des diffuseurs

8- Diffuseur radial

9- Diffuseur axial

10- Chambre de combustion

11- Distributeur 1^{er} étage

12- Distributeur 2^{ème} étage

13- Anneau de turbine

Parties mobiles

14- Chaîne des accessoires

15- Réducteur de vitesse

16- Compresseur centrifuge

17- Ensemble tournant

18- Prise de mouvement

2/ Réducteur et commande des accessoires :

2-1/ GENERALITES :

L'ensemble constitué par le réducteur et la commande des accessoires, enfermé dans les carters, et monté à l'avant du turbo moteur.

➤ Réducteur :

C'est un ensemble constitué par des parties fixes et des parties mobiles. Les parties fixes, constituées par des carters et leurs équipements, il renferme également les deux chaînes de commande des accessoires. Il réduit la vitesse de rotation de la turbine à $N/5,8025$ (N étant la vitesse de la turbine).

Son arbre de sortie constitue la prise de mouvement principale et tourne, suivant la norme NF-8°.019, dans le sens inverse de celui de la marche des aiguilles d'une horloge(SIH) c'est à dire pour un observateur placé derrière le moteur et regardant le diffuseur de sortie.

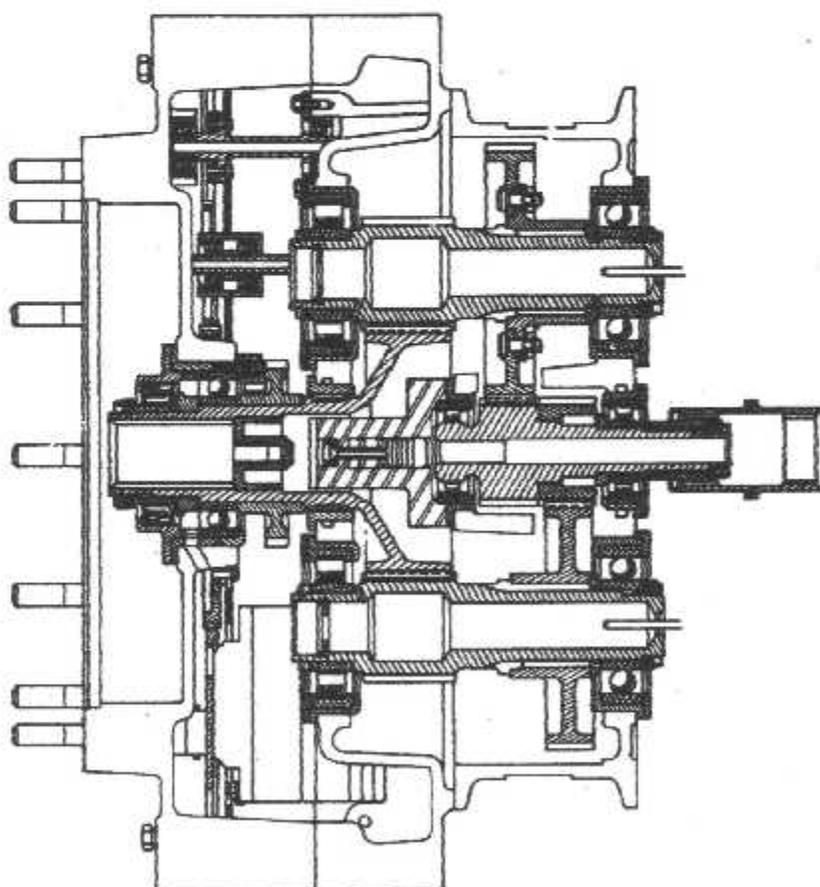


Figure 2-3 : Coupe du réducteur de vitesse.

➤ La commande des accessoires :

Elle est entraînée par l'arbre de sortie du réducteur et comprend deux chaînes distinctes placées l'une au dessus, l'autre au dessous de la prise de mouvement principale. La chaîne supérieure entraîne la dynamo-demarreur alors que la chaîne inférieure commande les pompes à huile, la pompe à carburant, le régulateur de vitesse et la génératrice tachymétrique.

2-2/ REDUCTEUR :

2-2-1/ Partie fixe :

Elles sont constituées par l'assemblage, au moyen de vis du carter du réducteur (1), du carter d'accessoires (2) et du couvercle du carter d'accessoires (3).

L'ensemble de ces trois carters est fixé sur la partie avant du carter du compresseur. Equipés de cages de roulement, les carters supportent les différents arbres du réducteur et des pignons de la commande des accessoires.

Des canaux sont percés dans leur épaisseur pour la circulation d'huile de graissage, d'air et de carburant. Certains d'entre eux débouchent à la périphérie du carter du réducteur et carter d'accessoires, et constituent :

- L'arrivée (4) de l'air comprimé au labyrinthe.
- La mise à l'air libre (5) du labyrinthe (pour les moteurs ayant reçu la modification M112).
- l'entrée (6) du carburant dans la machine.
- L'arrivée (7) d'huile de graissage provenant du réservoir.
- Le retour (8) d'huile au réservoir.

Le carter d'accessoires renferme les pompes à l'huile. Tan disque son couvercle comporte une bride circulaire (9), goujonnée, sur laquelle se fixe l'organe entraîné.

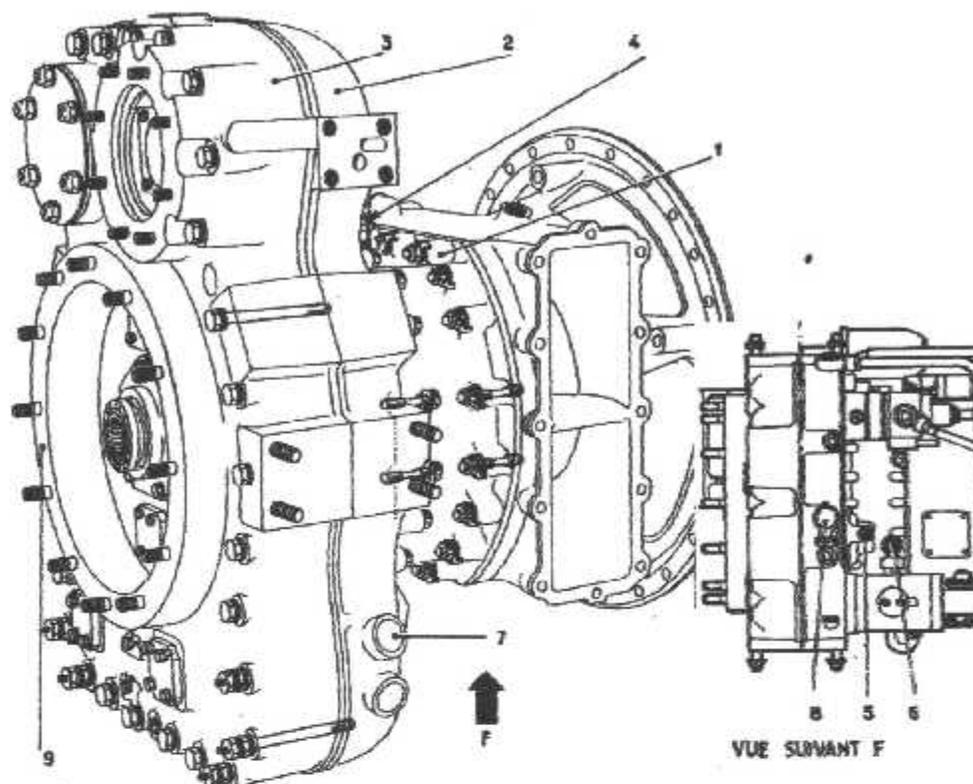


Figure 2-4 : Parties fixes du réducteur.

a) Carter du réducteur :

Réalisé en alliage léger, il est fixé sur la face avant du carter du compresseur. Il est équipé de cages de roulement qui supportent l'arbre menant et la partie arrière des arbres intermédiaires.

Un moyeu central (1) sur la face avant duquel le labyrinthe (2) est fixé.

Extérieurement il présente :

- deux méplats symétriques (3) et (4),
- deux brides (5) et (6) pour son assemblage d'une part avec le carter du compresseur et d'autre part avec le carter d'accessoires.

Ce mode d'assemblage permet de séparer, sans autre démontage, l'ensemble constitué par le réducteur et la commande des accessoires, de la partie turbine du moteur. Un canal (7) est percé dans l'épaisseur du carter, il débouche sur le méplat (3). Son orifice est équipé d'un raccord (8) qui constitue l'arrivée d'air comprimé pour l'étanchéité du labyrinthe (2).

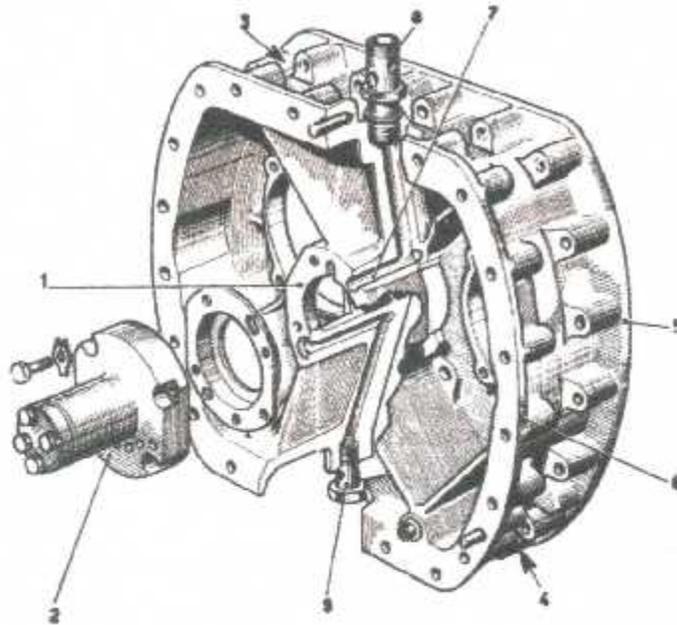


Figure 2-5 : Perspective du carter du réducteur des moteurs.

Deux autres canaux, également percés dans l'épaisseur du carter et dont les orifices sont équipés de raccords (9) et (10) débouchent sur le méplat inférieur (4). Le raccord (9) constitue l'entrée de carburant dans la machine et le raccord (10) constitue la mise à l'air libre du labyrinthe (2).

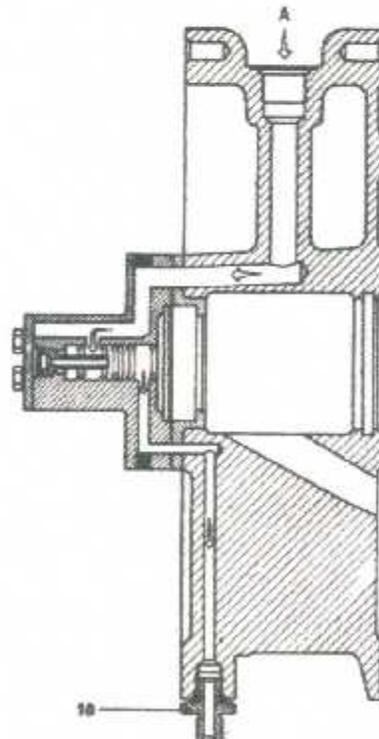


Figure 2-6 : Coupe technique du carter du réducteur.

b) Carter d'accessoires :

En alliage léger, il est fixé sur la face du réducteur. Il comporte des alésages équipés de cages de roulements qui supportent la partie avant des arbres intermédiaires, la partie arrière de l'arbre de sortie et la partie arrière des axes des pignons de la commande des accessoires.

Des canaux percés dans son épaisseur permettent la circulation d'huile de graissage. Extérieurement il présente des platines qui ont les utilisations suivantes :

- Deux platines (1), goujonnées qui reçoivent les équerres de fixation avant du turbo moteur.
- à la partie supérieure gauche, une platine (2) qui reçoit le filtre à huile.

La partie inférieure de sa face arrière présente les bossages surfacés (3), (4) et (5) sur lesquels se montent respectivement :

- La pompe à carburant et le clapet surpression de la pompe à l'huile.
- Le transmetteur tachymétrique.
- Le régulateur de vitesse.

Sur la partie inférieure gauche sont montés deux raccords (6) et (7) constituant, l'un (6), l'arrivée d'huile venant du réservoir avion, l'autre (7), le retour au carter de l'huile ayant graissé le palier arrière.

Sa face inférieure est équipée d'un raccord (8), avec bouchon magnétique si TU 3 (M 172) est équipée pour le retour au radiateur et au réservoir de l'huile de graissage et d'un bouchon (9) de vidange de l'ensemble des carters.

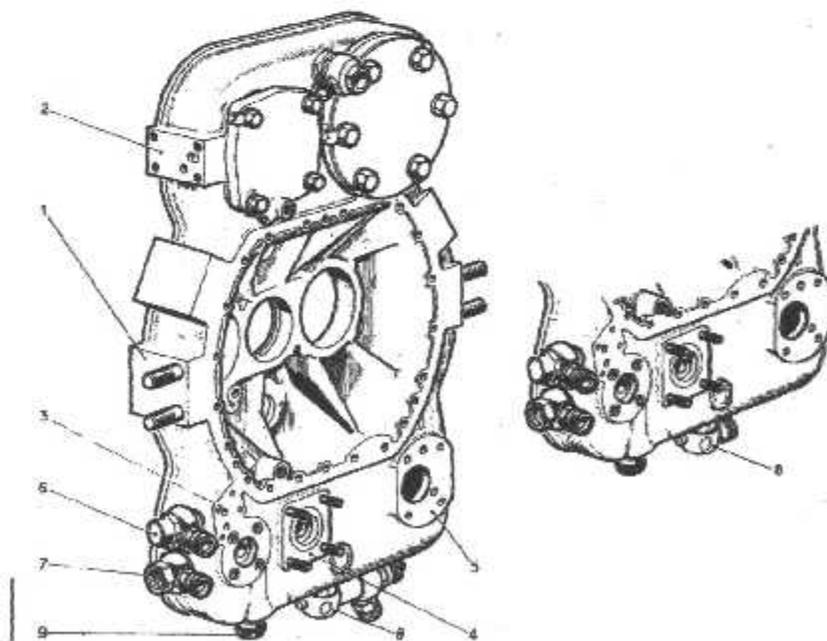


Figure 2-7 : Perspective du carter d'accessoires.

c) Couvercle du carter d'accessoires

Réalisé en alliage léger, il ferme la partie avant du carter d'accessoires. Il comporte des alésages équipés de cages de roulement qui supportent la partie avant de l'arbre de sortie du réducteur et la partie avant des axes des pignons de la commande des accessoires.

Sa partie centrale comporte une bride circulaire (1), goujonnée au centre de laquelle débouche l'arbre de sortie.

Les couvercles d'accessoires des moteurs qui n'ont pas reçu la modification M112 sont équipés, à leur partie supérieure, d'une plaque goujonnée (2) sur laquelle se fixe le dynamo-démareur. De plus, sa partie inférieure de leur face avant qui est équipée de deux plaques carrées (4) qui obturent des cages de roulement.

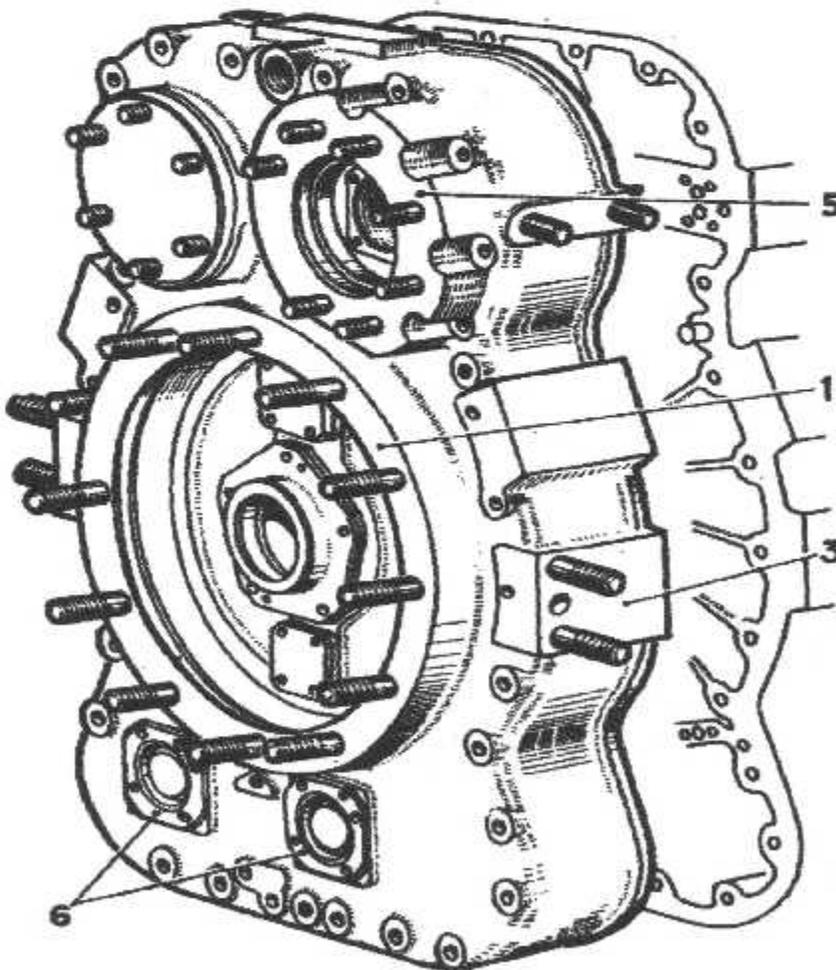


Figure 2-8 : Couverture du carter d'accessoires.

2-2-2/ Partie mobile :

Elles sont constituées par :

- un arbre d'entrée (1) ou arbre menant,
- deux arbres intermédiaires (2) et (3),
- un arbre de sortie (4)

Tournant sur des roulements.

a) Arbre d'entrée :

Alésé sur toute sa longueur pour permettre le passage du tube à carburant, il est porté par deux roulements à rouleaux (5), montés dans le moyeu du carter du réducteur. Il reçoit son mouvement de l'arbre de turbine par l'intermédiaire d'un manchon d'entraînement (6) et d'un manchon d'accouplement (7).

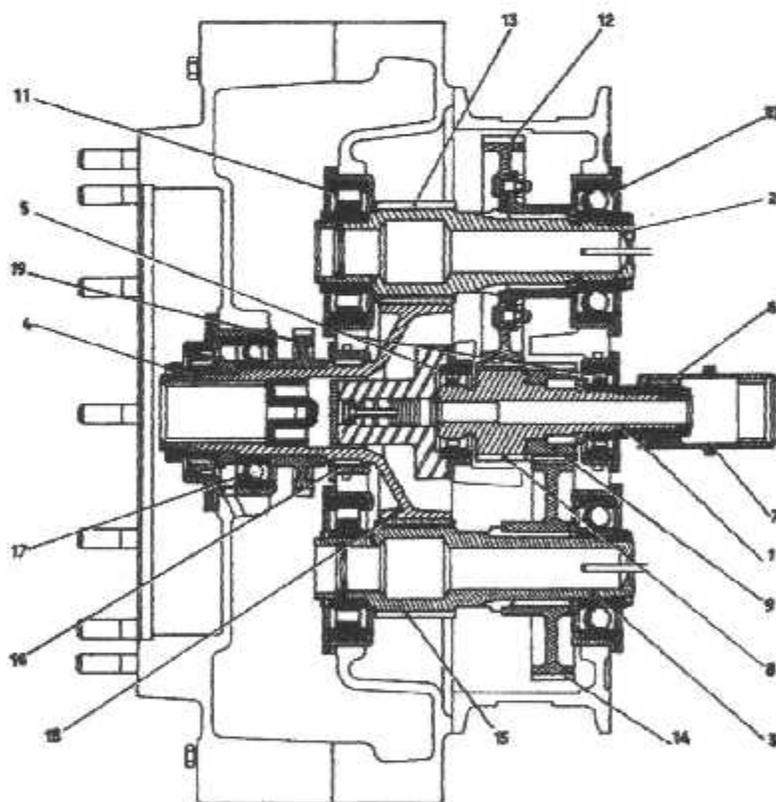


Figure 2-9 : Coupe du réducteur de vitesse.

Sa partie avant comporte une denture hélicoïdale (8) taillée dans sa masse, en arrière dans laquelle est monté un deuxième pignon hélicoïdale (9), d'hélice opposée à celle du précédent, maintenu sur l'arbre (1) au moyen de pieds de centrage. Les dentures (8) et (9) constituent les pignons menant du réducteur.

b) Arbres intermédiaires :

La partie arrière de l'arbre intermédiaires (2), porté à l'arrière par un roulement à billes (10) et à l'avant par un roulement à rouleaux (11) présente des cannelures sur lesquelles est monté un pignon (12) à denture hélicoïdale qui engrène avec le pignon (8) de l'arbre d'entrée (1), et constitue le premier étage de réduction. La partie avant de l'arbre (2) comporte une denture hélicoïdale (13) qui constitue le pignon menant du deuxième étage de réduction.

Le second arbre intermédiaire (3), de construction analogue à celle de l'arbre (2), porte un pignon (14) qui engrène avec le pignon (9) de l'arbre d'entrée, et une denture hélicoïdale (15) analogue à celle (13) de l'arbre (2).

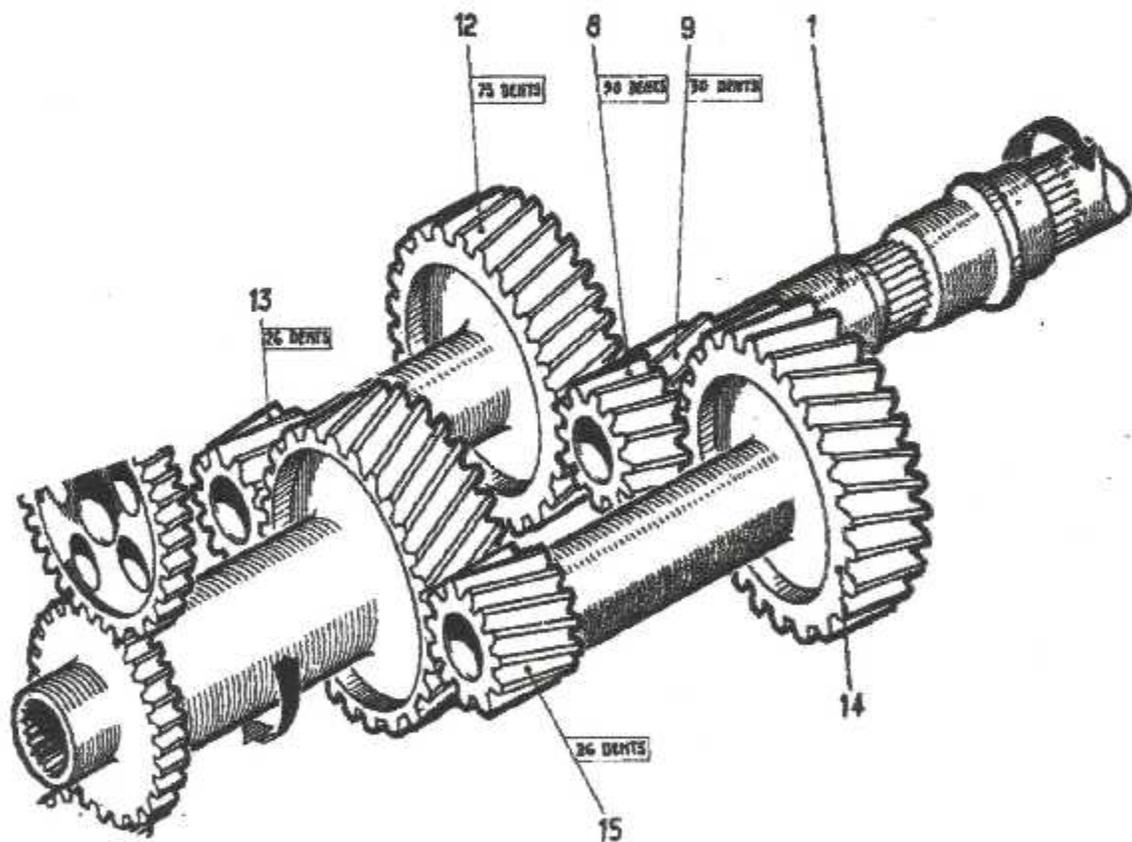


Figure 2-10 : Perspective schématique du réducteur.

c) Arbre de sortie :

Il est supporté à l'arrière par un roulement à aiguilles (16) monté dans l'alésage central du carter d'accessoires, et à l'avant par un roulement à billes (17) monté dans le couvercle du carter d'accessoires.

Sa partie avant est cannelée intérieurement et reçoit l'arbre de commande de l'organe entraîné par le turbomoteur.

Sa partie arrière, épanouie, porte une denture hélicoïdale (18), qui engène avec les dentures (13) et (15) des arbres intermédiaires.

Un pignon (19) à denture droite, destiné à l'entraînement de la commande des accessoires, est monté à la partie avant de l'arbre de sortie (4)

2-2-3/ Etanchéité de la prise de mouvement :

L'étanchéité à l'huile est assurée au niveau de l'arbre de sortie (1) du réducteur par un joint en graphite (2) qui s'appuie axialement sur une bague de frottement (3). Le joint (2) est emmanché dans un support (4) lui même monté dans la cage (5) du roulement à billes (6) de l'arbre de sortie (1).

Les cages (4) et (5) sont fixées ensemble sur la face avant du couvercle d'accessoires (7) au moyen de vis (8). La bague de frottement (3), montée sur l'arbre (1), et serrée au moyen d'un écrou freine (9) entre le roulement (6) et une entretoise (10).

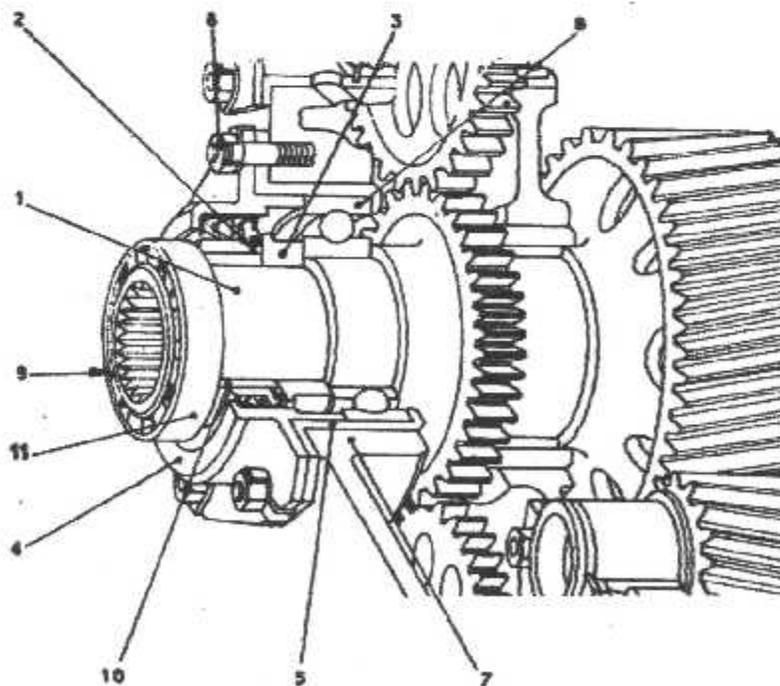


Figure 2-11 : Etanchéité de la prise de mouvement.

2-2-4/ Réducteur de vitesse et prise de mouvement pour l'alternateur :

La prise de mouvement (1) pour l'alternateur étant inutilisée, cette dernière est supprimée lors d'un retour du moteur en atelier pour révision ou réparation. Cette modification est effectuée à la demande de l'utilisateur pour les moteurs prives (TU5).

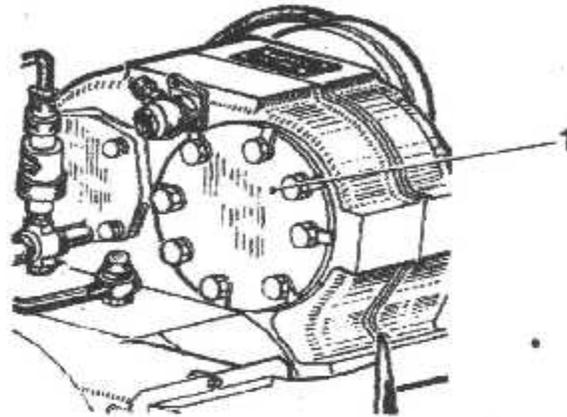


Figure 2-12 : Alternateur (prise de mouvement).

2-2-5/ Principe de la modification :

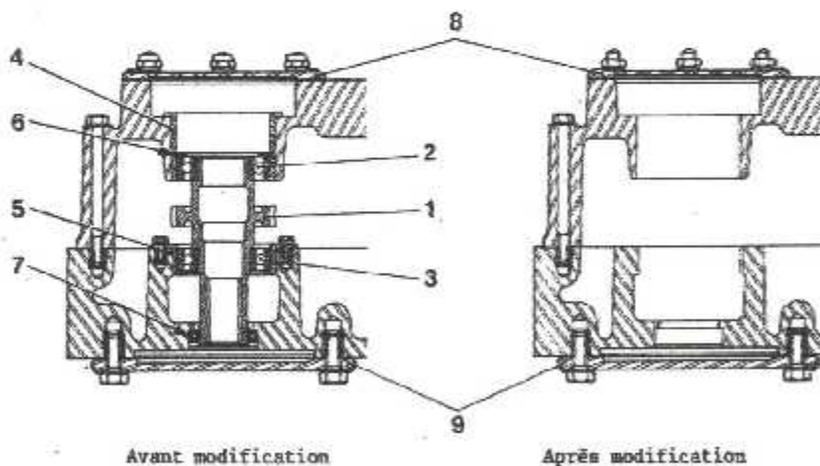


Figure 2-13 : Prise de mouvement (avant et après M 186 - TU5)

La modification est effectuée par la suppression des constituants internes de la prise de mouvement, qui sont :

- Le pignon d'entraînement (1)
- Les deux roulements (2) et (3).
- Les deux cages (4) et (5) avec leurs vis et freins.
- La bague d'étanchéité (7).

2-3/ Commande des accessoires :

La commande des accessoires est enfermée entre le carter d'accessoires et son couvercle. Elle est commandée par l'arbre de sortie du réducteur et entraîne :

- la dynamo-démarrreur,
- la génératrice tachymétrique,
- les pompes à huile et la pompe à carburant,
- le régulateur.

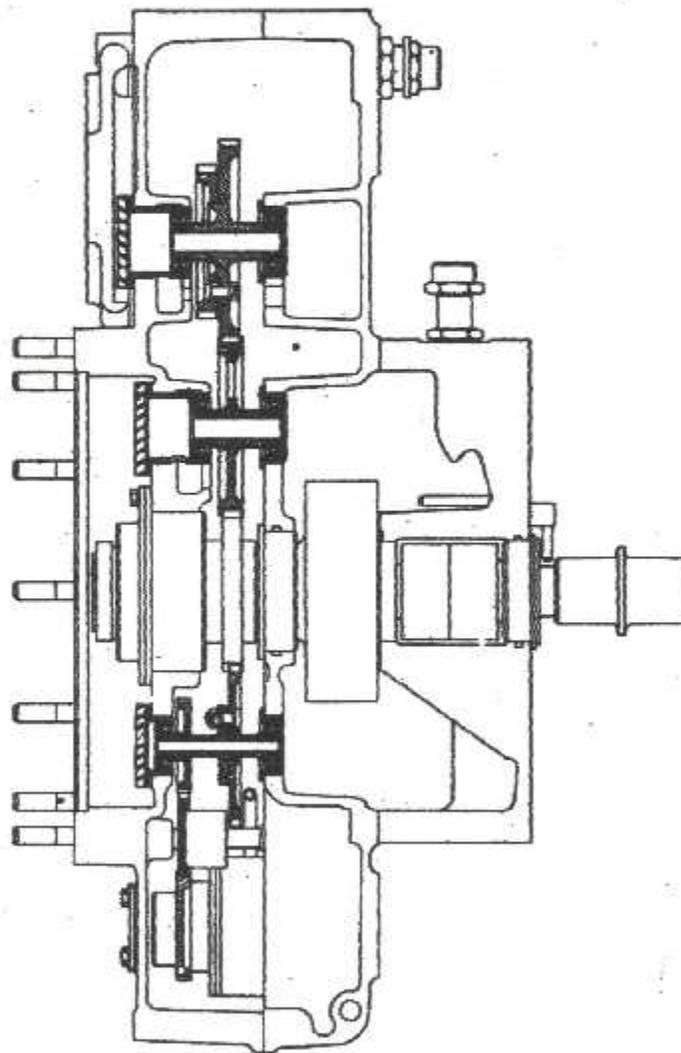


Figure 2-14 : Coupe schématique de l'entraînement des accessoires.

Elle est composée de deux chaînes de pignon, la chaîne supérieure et la chaîne inférieure.

2-3-1/ Chaîne supérieure :

Le pignon menant (1), monté sur l'arbre de sortie (2) du réducteur, engrène avec un pignon intermédiaire (3) qui engrène à son tour avec un pignon double (4) dont la petite roue (5) entraîne le pignon (6) de l'arbre (7) d'entraînement de la dynamo-démarrreur.

La grande roue (8) du pignon double (4) engrène avec le pignon (9) dont l'extrémité arrière comporte des dentelures qui reçoivent une prise de compte -tours lors du réglage butées du régulateur.

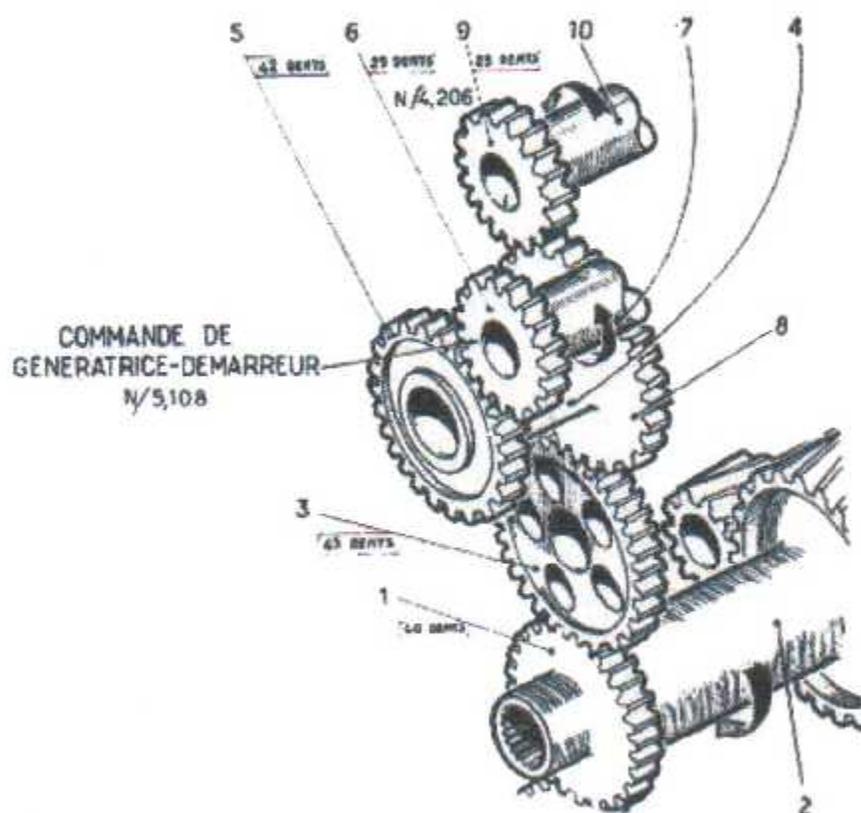


Figure 2-15 : Chaîne supérieure de l'entraînement des accessoires.

Organe entraîné	Sens de rotation	Vitesse de rotation
Dynamo-démarrreur	SIH	N/5, 108
Prise pour compte-tours	SH	N/4,206

2-3-2/ Chaîne inférieure :**a) Entraînement de la génératrice tachymétrique :**

Le pignon menant (1), monté sur l'arbre de sortie (2) du réducteur, engrène avec la grande roue (3) d'un pignon intermédiaire double (4) dont la petite roue (5) engrène avec un pignon fou (6) qui entraîne la roue (7) dont l'arbre (8) constitue l'entraînement de la génératrice tachymétrique.

b) Entraînement des pompes à huiles et de la pompe à carburant :

La roue (7) engrène à son tour avec le pignon (9) dont l'arbre (10) commande les pompes à huile et la pompe à carburant.

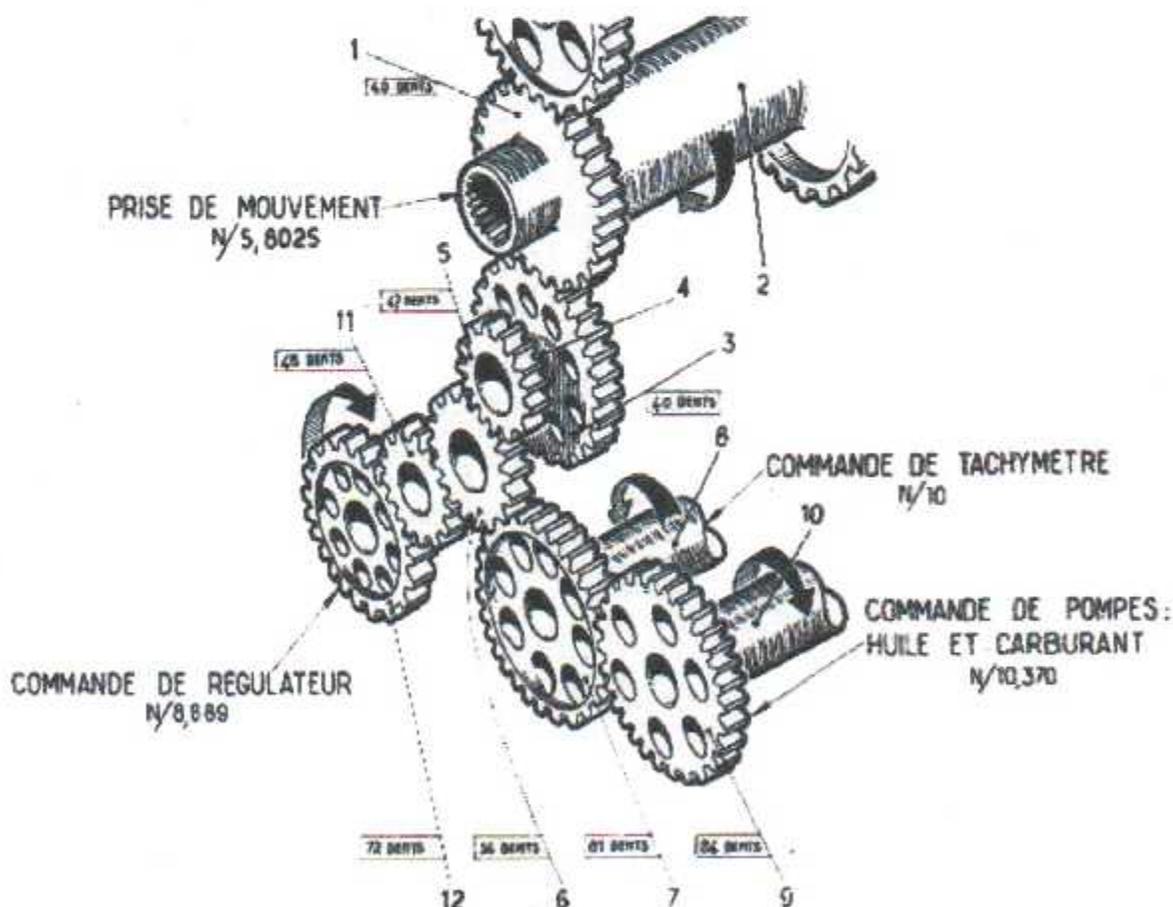


Figure 2-16 : Chaîne inférieure de l'entraînement des accessoires.

c) Entraînement du régulateur de vitesse :

Le pignon fou (6) engrène avec le pignon intermédiaire (11) qui entraîne le pignon (12) dont le moyeu reçoit l'arbre du régulateur de vitesse.

La vitesse et sens de rotation des arbres (8) et (10) ainsi que du pignon (12) sont données par le tableau ci-après pour un observateur regardant les prises de mouvement.

Organe entraîné	Repères des arbres ou pignons	Sens de rotation	Vitesse de rotation
Génératrice tachymétrique	(8)	SH	N/10
Pompes à huile Pompes à carburant	(10)	SIH	N/10, 370
Régulateur De vitesse	(12)	SIH	N/8, 889

3/ ENTEE D'AIR :

L'entrée d'air dans la machine se fait par deux manches, en tôle d'alliage léger, placées symétriquement de part et d'autre du carter du compresseur centrifuge et fixé sur celui-ci par vis.

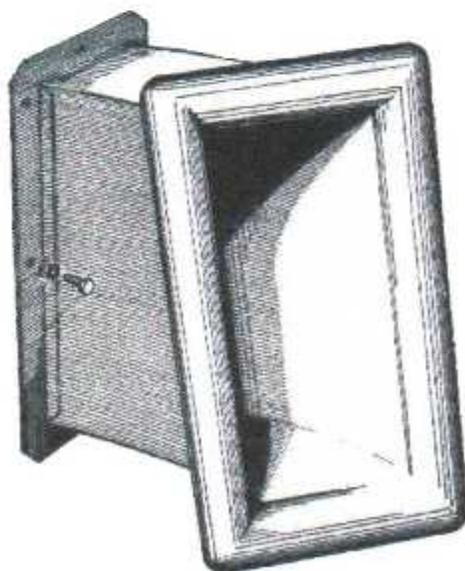


Figure 2-17 : Entrée d'air coté gauche.

4/ COMPRESSEUR :

C'est un compresseur centrifuge à un seul étage. Il comprend des parties fixes et des parties mobiles. Il tourne dans le sens des aiguilles d'une montre pour un observateur faisant face à la machine.

Au régime de décollage, dans les conditions standard au sol, les caractéristiques du compresseur sont les suivantes :

- A. Débit d'air:
Variante C: 3,25 kg/s .
- B. Rapport de pression :
Variante C : 3,85/1.

4-1/ Les parties fixes du compresseur :

Les parties fixes du compresseur son constituées par :

- le carter du compresseur (1)
- le couvercle des diffuseurs (2)
- le diffuseur premier étage (3)
- le diffuseur deuxième étage (4).

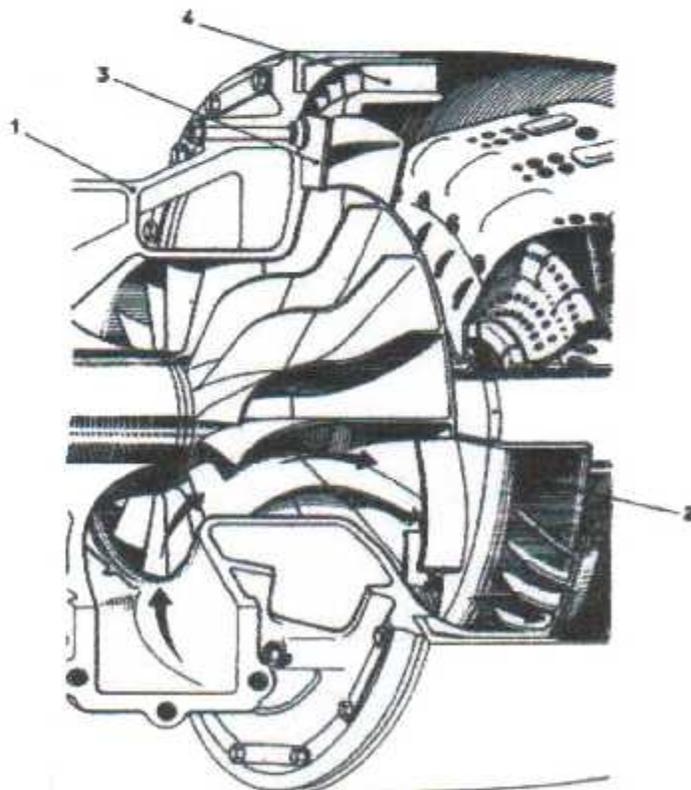


Figure 2-18 : Coupe perspective du compresseur.

Elles sont assemblées à l'avant avec le carter du réducteur et à l'arrière avec le carter de turbine.

Des canaux pour la circulation du fluide, huile, carburant et air, sont forés dans son épaisseur.

4-2/ Partie mobile du compresseur :

Les parties mobiles du compresseur sont constituées par : la roue d'entrée (1) et le rouet centrifuge (2) emmanchés sur le nez d'arbre (3) après mise en place de la bague labyrinthe (4).

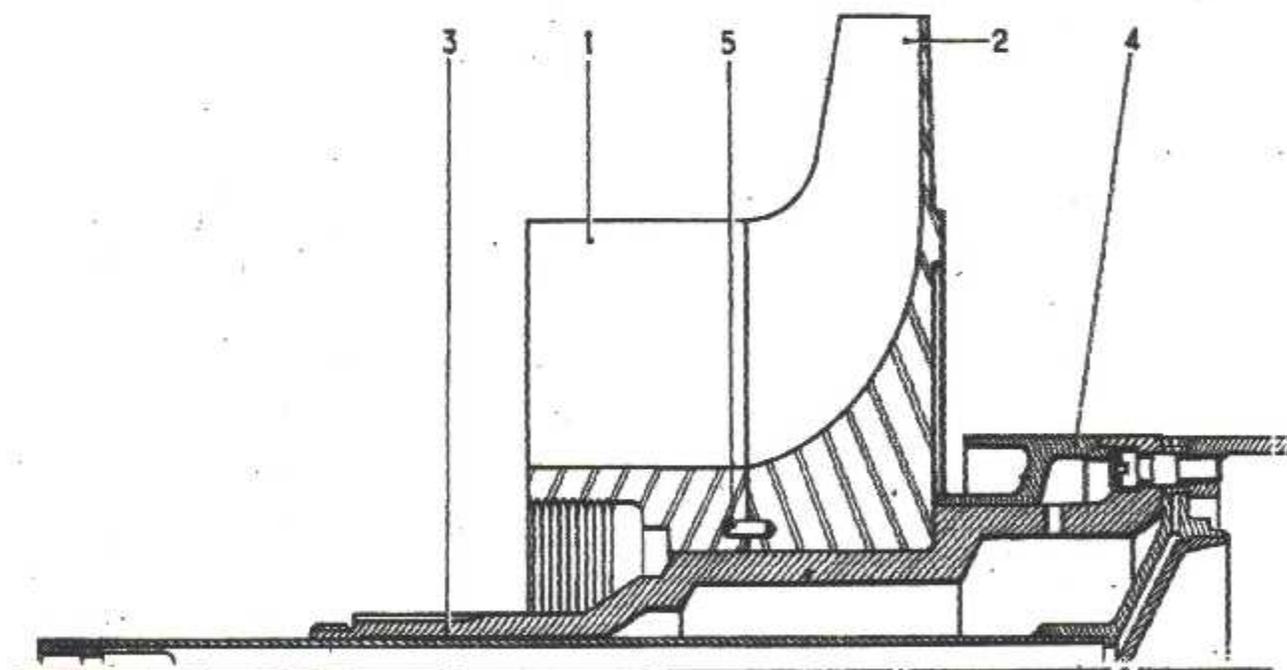


Figure 2-19 : Demi-coupe technique du compresseur.

La roue d'entrée (1) et le rouet centrifuge (2), qui constituent le rotor du compresseur, sont maintenus en place sur le nez d'arbre au moyen d'un écrou, des pions (5) assure le positionnement respectif de la roue d'entrée et du rouet.

5/ COMBUSTION :

La combustion du mélange de l'air provenant du compresseur et du carburant centrifugé par la roue d'injection se fait à l'intérieur d'une chambre constitué par :

- une partie extérieure (1)
- une partie intérieure (2)
- un labyrinthe (3),

Qui entourent l'arbre de turbine (4).

Cet ensemble, purement fonctionnel est enfermé dans le carter de turbine (5). La partie arrière de ses constituants est assemblée avec le distributeur de turbine (6).

L'espace délimité par le carter de turbine (5) et la partie extérieure (1) de la chambre est parcourue par l'air provenant du compresseur.

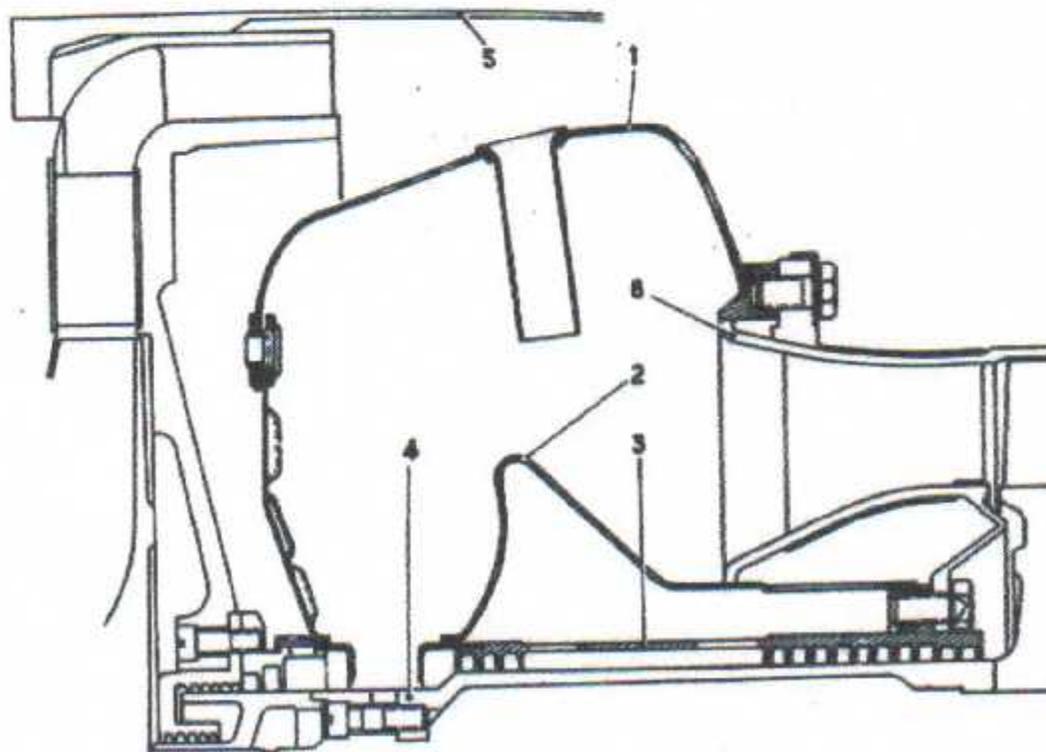


Figure 2-20 : Demi-coupe de la chambre de combustion et du carter de turbine.

5-1/ Carter de turbine :

Réalisé en tôle d'acier, ses deux extrémités sont terminées chacune par une bride pour son assemblage avec le carter du compresseur d'une part et avec le diffuseur de sortie et le distributeur de turbine d'autre part. sa bride avant reçoit le diffuseur deuxième étage. Sa partie centrale porte les bossages ci-après :

- En bas deux bossages (1) symétriques pour le montage des bougies d'allumage,
- En haut et à l'avant, un bossage (2) constituant la prise d'air sous pression pour l'étanchéité du labyrinthe,
- A gauche, un bossage (3) pour l'alimentation du manocontacteur de P_2 ,
- A l'arrière deux bossages (4) pouvant constituer des prises éventuelles d'air sous pression P_2 .
- En bas et a l'avant, un bossage (5) équipé d'un raccord pour le drainage du carter de turbine.

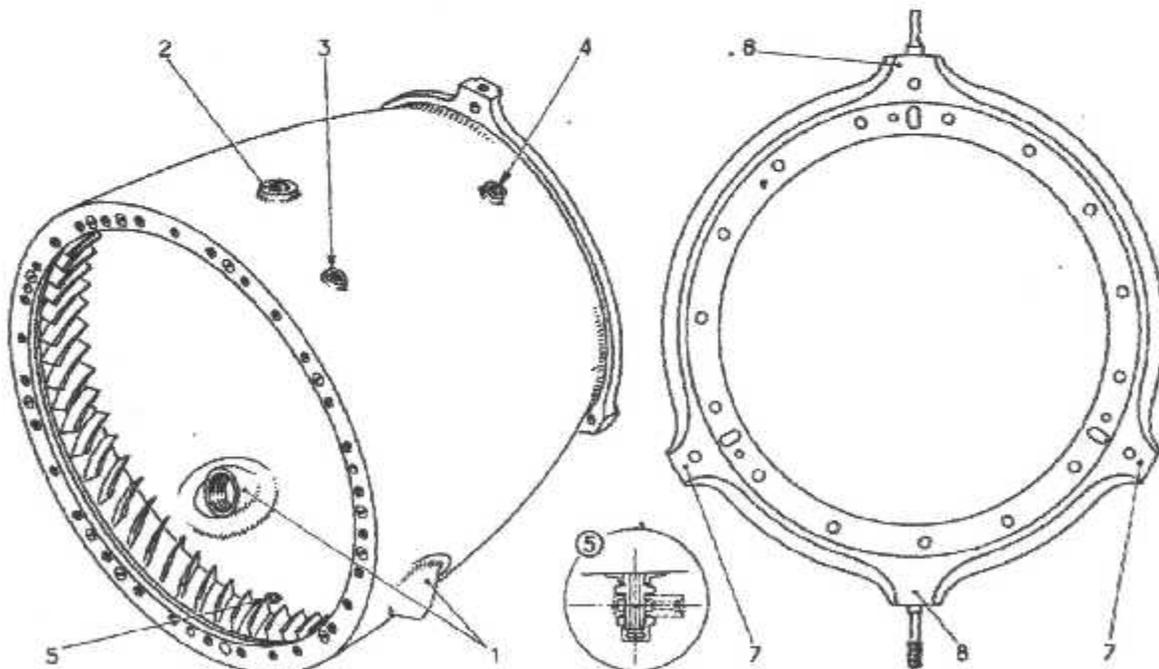


Figure 2-21 : Carter de turbine variance B.

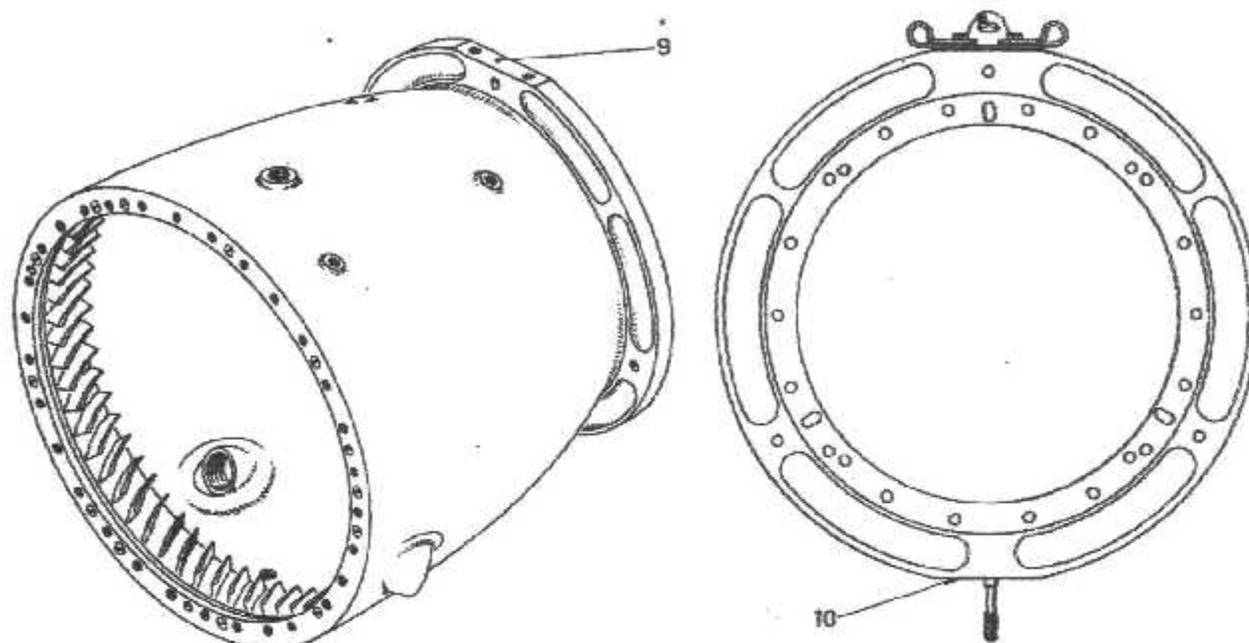


Figure 2-22 : Carter de turbine variante C.

5-2/ Chambre de combustion :

La chambre de combustion est en ensemble fonctionnel qui comprend une partie extérieure, une partie intérieure, entre lesquelles se fait l'injection de carburant et un labyrinthe.

5-2-1/ partie extérieure :

La partie extérieure est constitué par une tôle de turbulence (1) et un mélangeur (2) assemblés comme suit.

La tôle de turbulence (1) comporte a sa périphérie des ouvertures oblongues en regard dans lesquelles des perçages sont effectués dans le mélangeur (2). Des pieds (3), sur la tête dans lesquelles des plaquettes (4) sont soudées, sont introduits dans les ouvertures du mélangeur et de la tôle de turbulence après interposition de rondelles(5) entre ces deux constituants. L'extrémité de chaque pied (3) reçoit deux rondelles ressort (6) et un écrou (7), soudé sur le pied après serrage des rondelles (6). Ce mode d'assemblage permet le libre jeu des dilatations en fonctionnement.

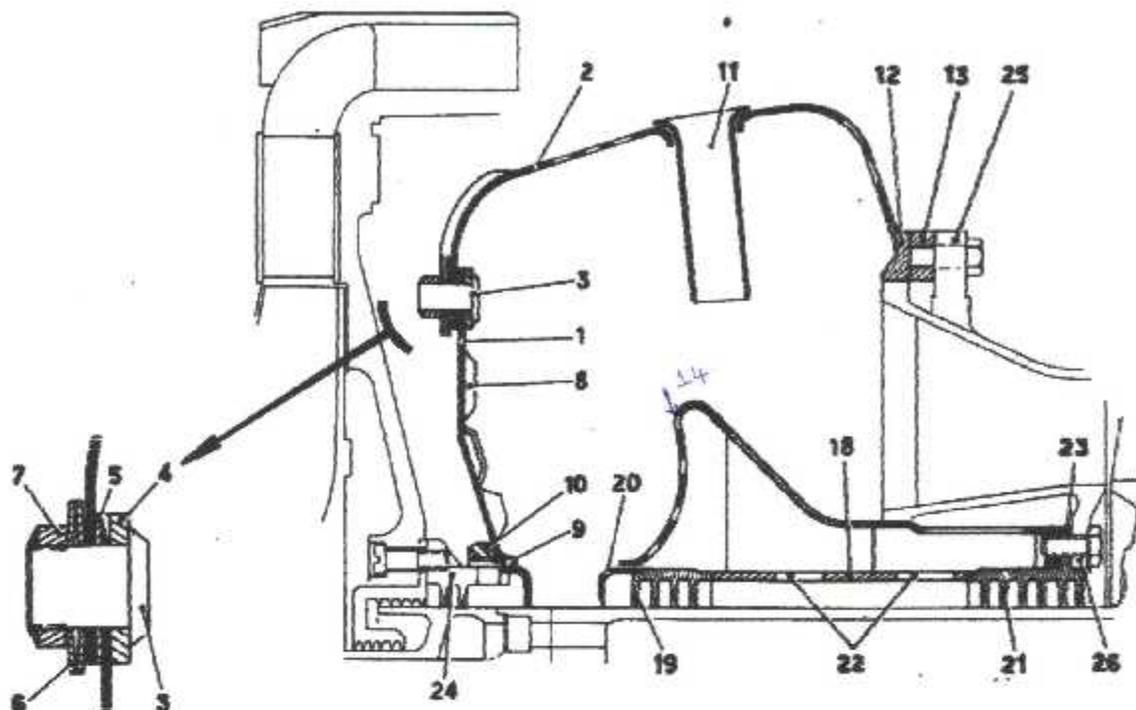


Figure 2-23 : Demi-coupe de la chambre de combustion.

La tôle de turbulence (1) comporte trois rangées de fentes calibrées (8). Sa partie centrale est équipée de l'anneau de guidage (9) fixé par soudure. Un anneau (10), en cuivre, destiné à absorber et à dissiper les calories qui s'accumulent dans la partie centrale de la tôle de turbulence et l'anneau de guidage est brasé sur ces constituants.

Le mélangeur (2) percé de trou, est équipé de tube ovale (11) soudés et dirigés radialement. Sa partie arrière porte un anneau de centrage (12) sur lequel cinq bossage (13) perce et taraudés sont soudés pour permettre l'assemblage de la partie extérieure de la chambre avec le distributeur de turbine.

5-2-2/ partie intérieure :

La partie intérieure est un ensemble soudé constitué des quatre éléments ci-après :

- une tôle de turbulence (14) percé de trou et de fentes,
- un cone (15),
- une virole (16) percée de fenêtres rectangulaire,
- une bride de fixation (17) percée de trous taraudés.

5-2-3/ labyrinthe :

Le labyrinthe (18) entoure l'arbre de turbine et permet son refroidissement. Sa partie avant sert de centrage à la partie intérieure de la chambre de combustion.

Le labyrinthe présente, à l'avant, des chicane (19), protégées par une lèvre (20) en acier réfractaire, et à l'arrière des chicane (21). Des perçages (22), percés entre les deux groupes de chicane, permettent la circulation de l'air de refroidissement le long de l'arbre de turbine tandis que la partie arrière présente une collerette (23) percée de trous lisses pour son assemblage avec la partie intérieure de la chambre et avec le distributeur de turbine.

5-2-4/ fixation de la chambre de combustion :

La partie extérieure de la chambre de combustion est centrée à l'avant sur le labyrinthe (24) du couvercle des diffuseurs alors que sa partie arrière est assemblée par vis avec l'anneau extérieure (25) du distributeur de turbine.

La partie intérieure de la chambre de combustion est centrée à l'avant sur la lèvre de protection du labyrinthe alors que sa partie arrière est assemblée par vis, en même temps que le labyrinthe, sur l'anneau intérieure (26) du distributeur de turbine.

6/ TURBINE :

6-1/ Partie fixe de la turbine :

Les parties fixes sont constituées par les distributeurs premier et deuxième étage. Les aubes du premier étage sont creuses et refroidies par une partie de l'air provenant du compresseur.

6-1-1/ Distributeur de turbine :

▪ distributeur premier étage :

Le distributeur premier étage est constitué par deux anneaux (1) et (2) entre lesquelles les aubes creuses sont soudées.

L'anneau extérieure (1) est équipé de cinq pattes (4) pour son assemblage avec la partie extérieure de la chambre de combustion. Sa partie arrière présente une bride (5) pour son assemblage avec le carter de turbine. Sa partie médiane est équipée de bossage (6) percée et taraudée pour les vis de fixation du distributeur deuxième étage.

L'anneau intérieur (2) présente une collerette souple dont la partie centrale constitue la bride (7) qui permet son assemblage avec la partie intérieure de la chambre de combustion et le labyrinthe.

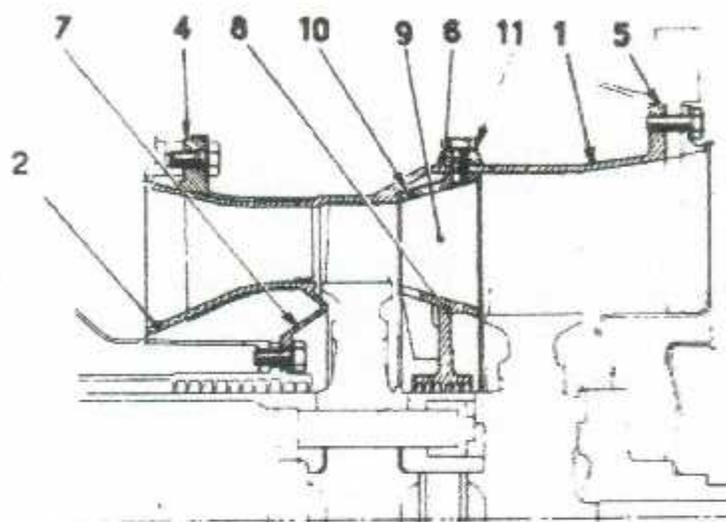


Figure 2-24 : Distributeur de la turbine.

▪ Distributeur deuxième étage :

Le distributeur deuxième étage est constitué par un anneau (8) en deux parties, à la périphérie duquel les pales (9) sont soudées. Après soudure une frette (10) elle-même en deux parties, est emmanchée et soudée sur la tête des pales. Des vis (1) maintiennent le distributeur deuxième étage à l'intérieure de l'anneau (1).

6-2/ Parties mobiles de la turbine :

Les parties mobiles de la turbine sont essentiellement constituées par :

- l'arbre de turbine (1),
- les roues de turbine (2) et (3),
- l'anneau entretoise (4) et l'arbre bride (5).

a) Arbre de turbine :

- Son diamètre est grand,
- sa partie avant présente une partie conique (8) pour son raccordement au diamètre de la roue d'injection (9).

b) Roues de turbine :

Le galet (10) de la roue premier étage présente un double centrage sur chacune de ses faces pour :

- son positionnement par rapport à l'arbre de turbine (1),
- le centrage de l'anneau entretoise (4) sur sa face arrière.

Le galet (11) de la roue deuxième étage présente :

- à l'avant un double centrage qui le positionne par rapport à l'anneau entretoise (4),
- à l'arrière un téton (12) sur lequel l'alésage de l'arbre bride (5) est emmanché.

c) Anneau entretoise :

L'anneau entretoise (4) sépare les roues de turbine dans les centrages dans lesquelles il est emmanché.

Il comporte huit perçages chambrés pour le passage des vis d'assemblage des parties mobiles de la turbine.

Les quatre chambrages de sa face arrière servent de logement aux écrous de fixation de la roue premier étage sur l'arbre de turbine.

Les quatre chambrages de sa face avant reçoivent la tête des vis de fixation de la roue deuxième étage et de l'arbre bride ; des pions (12) emmanchés dans l'anneau empêchent la rotation de ces vis.

d) Arbre bride :

L'arbre bride (5) constitue la partie terminale de l'ensemble tournant, il est de conception différentes suivant le type de palier arrière qui équipe le moteur.

En fait deux modèles d'arbre bride, différents par leurs longueurs peuvent se rencontrer sur les moteurs.

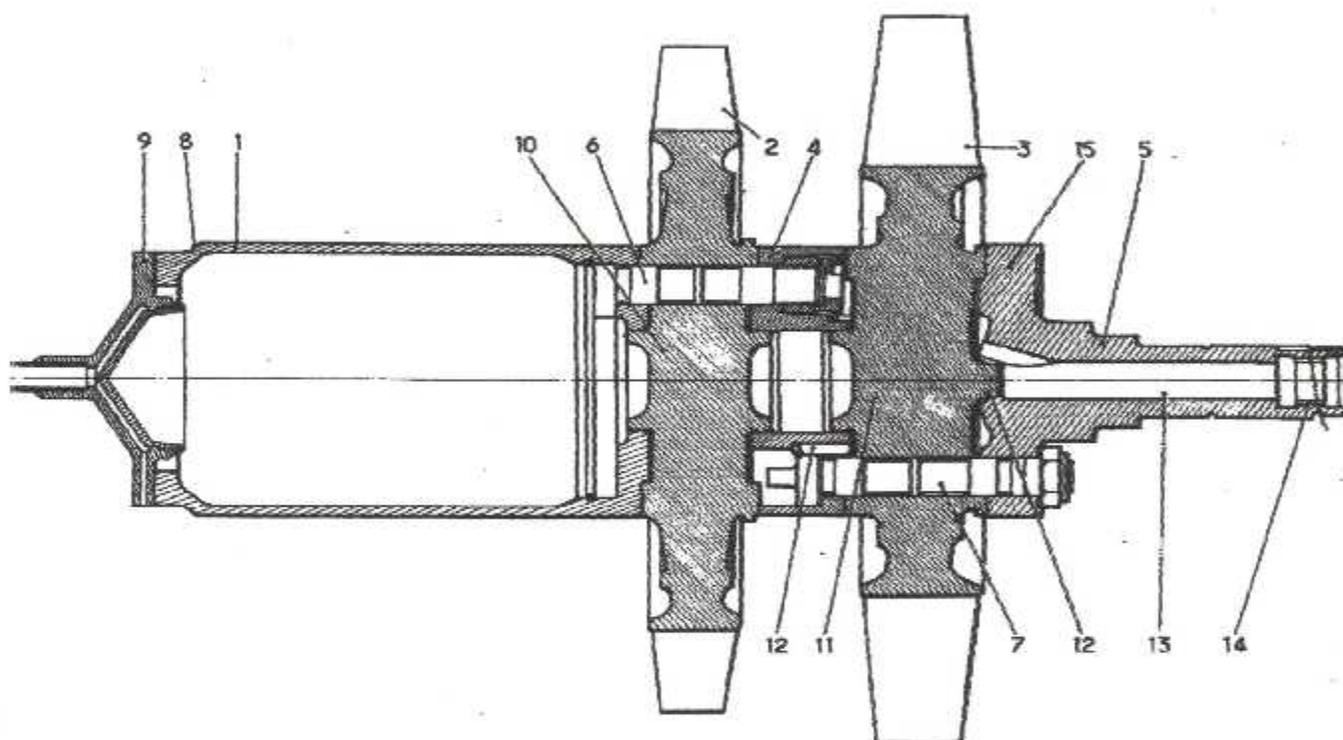


Figure 2-25 : Parties mobiles de la turbine.

➤ Arbre bride long :

L'arbre bride long, il comporte un alésage axial (13) à l'extrémité arrière dans lequel des cannelures (14), sont utilisées pour le blocage de l'écrou du palier arrière, sont taillées. sa partie avant constitue un large bride (15) percée de quatre trous lisses pour les vis d'assemblage (7), comme dans le cas de la variante B, la bride comporte des fraisages et des perçages qui débouchent à sa périphérie d'une part et à l'intérieur de l'alésage (13) d'autre part.

➤ **Arbre bride court :**

L'arbre bride court diffère du précédent par sa longueur réduite d'une part, et d'autre part :

- par le fait que son alésage central (1) n'est pas débouchant,
- par la présence à son extrémité arrière d'un six pans (2) utilisé lors du blocage et de déblocage de l'écrou du palier arrière.

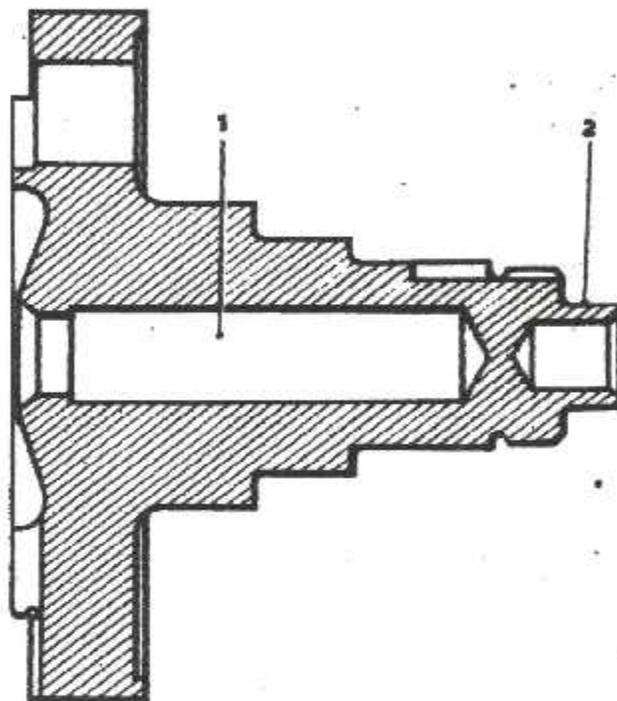


Figure 2-26 : Arbre-bride court.

6-3/ Ensemble tournant et assemblage de ses constituants :

L'assemblage des constituants de l'ensemble tournant est réalisé comme suit : la roue d'entrée (2) et le rouet (4) sont emmanchés à chaud sur le nez d'arbre (1). Des pions (13) assurent le positionnement de la roue d'entrée et du rouet. Une bague à double crabotage (14) (crabots extérieurs et crabots intérieurs) assure la transmission du couple du nez d'arbre au rotor du compresseur.

Le nez d'arbre (1) est assemblé au moyen de vis (15) avec l'arbre de turbine (7) après interposition de la roue d'injection (6).

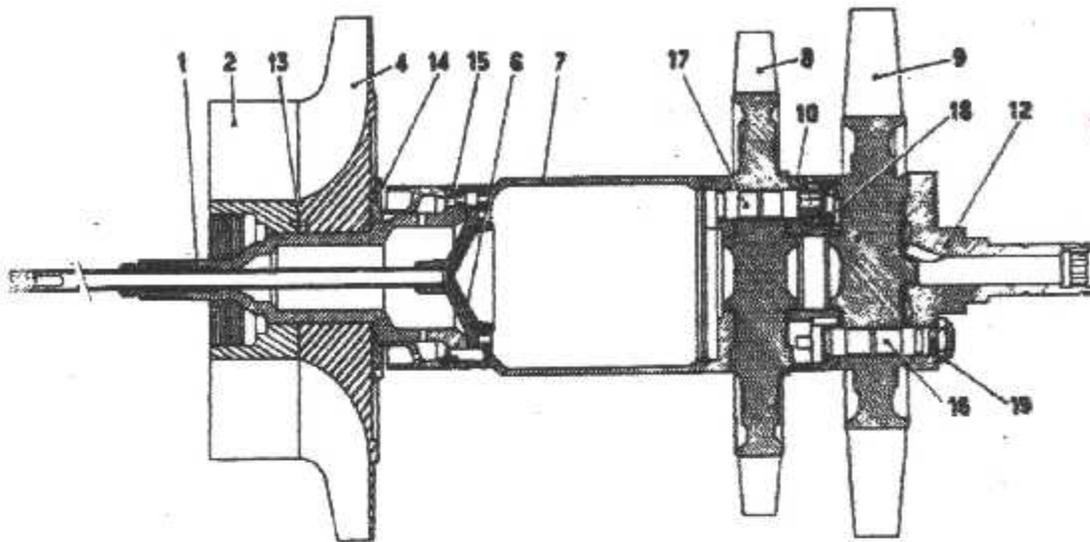


Figure 2-27 : Assemblage des constituants de l'ensemble tournant.

La roue de turbine premier étage (8) ainsi que l'anneau entretoise (10), préalablement équipé des vis spéciales (16), sont assemblés avec l'arbre de turbine (7) au moyen des vis (17) avec écrous cylindriques (18).

La roue de turbine deuxième étage (9) ainsi que l'arbre bride (12) sont fixés sur l'anneau entretoise (10) au moyen des vis (16) avec écrous (19).

7/ DIFFUSEUR DE SORTIE :

Le diffuseur de sortie est un ensemble en tôle soudée qui assure la liaison entre le carter de turbine, sur lequel il est fixé par vis et positionné par pieds de centrage, et la tuyère d'éjection.

Il assure les deux fonctions ci-après :

- ralentir d'une façon suffisante, jusqu'à l'entrée dans la tuyère, les gaz sortant de la turbine avec une grande vitesse,
- contenir les paliers arrière de l'ensemble tournant et contribuer le cas échéant à son refroidissement.

Il est constitué de trois éléments coaxiaux, l'enveloppe extérieure (1), la paroi intermédiaire (2) et la boîte intérieure (3) qui constituent un conduit annulaire parcouru par les gaz sortant de la turbine et le logement du palier arrière.

L'enveloppe extérieur (1) est reliée à la paroi intermédiaire (2) par trois bras (4) creux à l'intérieur desquels passent les cheminées (5) qui relient la boîte intérieure (3) à l'enveloppe extérieur (1). A cet effet, les cheminées (5) sont pourvues de pattes (11) ou (12) soudées sur l'enveloppe extérieur (1).

Les cheminées (5) servent de passage aux bras de suspension du palier arrière et aux conduits d'huile. Elles constituent également les entrées d'air de refroidissement du palier arrière.

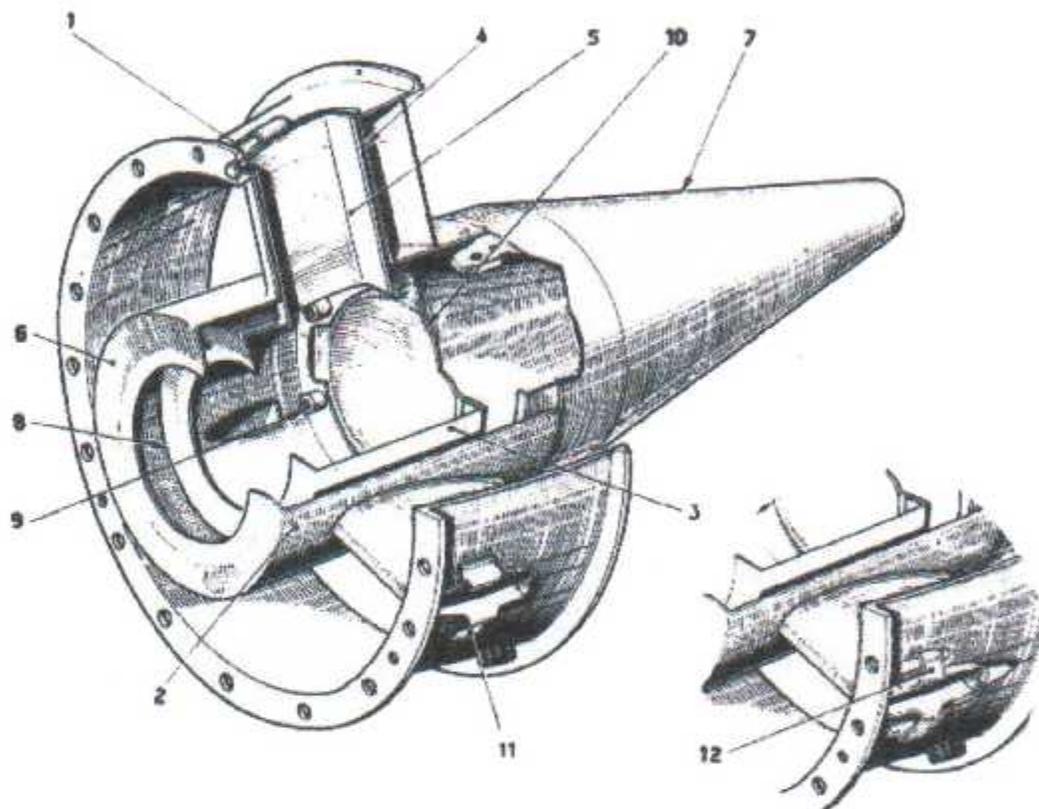


Figure 2-28 : Diffuseur de sortie.

L'enveloppe extérieure (1) est terminée à l'avant par une bride pour son assemblage par vis avec le carter de turbine et à l'arrière par une bride trapézoïdale pour l'assemblage du diffuseur de sortie avec la tuyère au moyen d'un collier MARMAN.

La paroi intermédiaire (2) porte à l'avant une tôle d'étanchéité (6) alors que sa partie arrière est percée de trois groupes de deux trous pour le montage du cône (7). Un téton assure le positionnement des deux pièces.

La boîte intérieure (3) porte à l'avant une tôle d'étanchéité (8). Sa partie arrière est équipée de bossages (9) percés et taraudés pour la fixation par vis du couvercle (10).

8/ CIRCUIT DE GRAISSAGE :

Les principaux points lubrifiés en partant de l'avant sont :

- Le roulement avant de l'arbre de sortie du réducteur,
- Les pignons et roulements du réducteur et de la chaîne supérieure de commande des accessoires,
- Le palier avant,
- Le palier arrière.

Les pignons et roulements de la chaîne inférieure de commande des accessoires sont graissés par projection.

8-1/ FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT :

L'huile provenant du réservoir avion est aspirée, depuis le raccord (1) par la pompe de pression (2) puis, à sa sortie de la pompe (2), l'huile passe devant la soupape de surpression (3) ensuite, par une tuyauterie rigide (4), enfermée dans les carters, elle est conduite au filtre (5), équipé d'un clapet (6) destiné à permettre le graissage en cas de colmatage de l'élément filtrant.

A sa sortie du filtre, l'huile est dirigée :

- Par une tuyauterie rigide (7) enfermée dans les carters, vers la partie basse du carter d'accessoires d'où elle est acheminée, par des canaux forés dans l'épaisseur des carters, vers le réducteur, la commande des accessoires et le palier avant,
- Par une tuyauterie extérieure (8) vers le palier arrière.

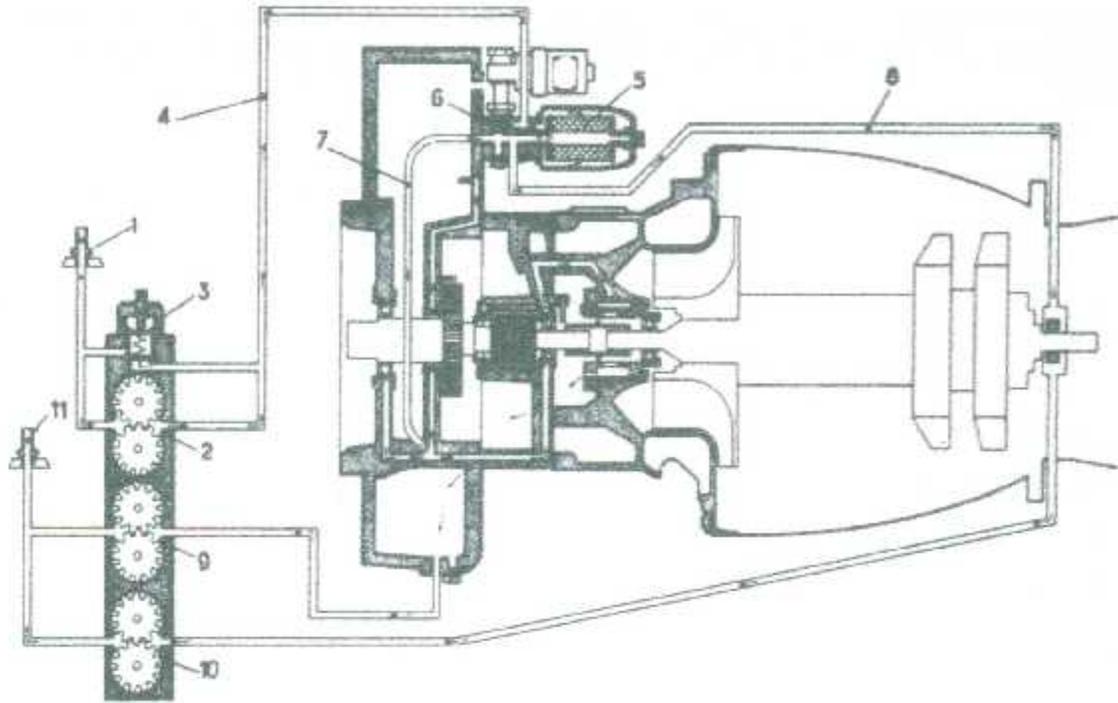


Figure 2-29 : Schéma de principe du circuit de graissage.

Après lubrification des organes, l'huile retombe par gravité à la partie inférieure du carter d'accessoires et du palier arrière, d'où elle est reprise par les pompes de vidange (9) et (10), ensuite refoulée vers le réservoir par le raccord (11).

8-1-1/ Graissage du réducteur, de la commande des accessoires et du palier avant de l'ensemble tournant :

L'huile provenant du filtre entre dans le carter d'accessoires par le canal (1) d'où elle est répartie dans trois dérives (2), (3) et (4).

La dérivation (2) amène l'huile dans la gorge (5), usinée dans la cage du roulement arrière (6) de l'arbre menant du réducteur. De cette gorge (5) l'huile est d'une part projetée par deux gicleurs (7) sur les pignons du premier étage de réduction et d'autre part, par la canalisation (8) vers le gicleur (9), pour le graissage du manchon d'accouplement du nez d'arbre avec le réduction, et dans la gorge (10) pour la lubrification du roulement (11) du palier avant de l'ensemble tournant. De la gorge (10) l'huile est également dirigée vers les gicleurs (12) pour le graissage des roulements (13) et (14) des arbres intermédiaires.

La dérivation (3) amène l'huile dans la gorge (15) de la cage du roulement à aiguilles de l'arbre de sortie du réducteur d'où elle est envoyée dans trois gicleurs (16) pour assurer la lubrification du deuxième étage du réducteur et de la chaîne supérieure de commande des accessoires.

Enfin la dérivation (4) assure la lubrification du roulement à billes (17).
Après lubrification de tous ces organes l'huile retombe par gravité dans le fond du carter d'accessoires d'où elle est reprise par une pompe de vidange.

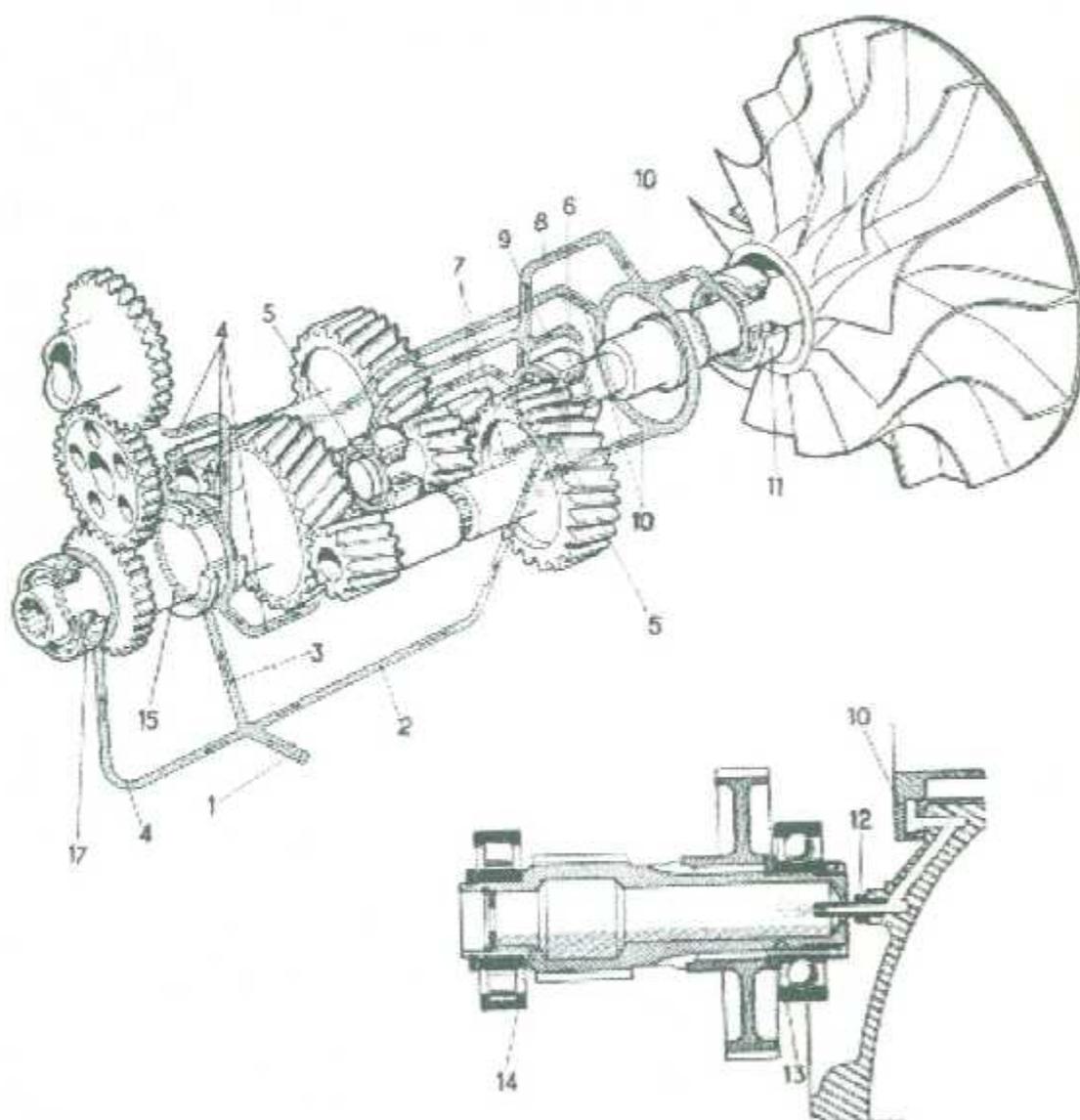


Figure 2-30 : Graissage du réducteur de la commande des accessoires et du palier avant de l'ensemble tournant

8-1-2/ Graissage du palier arrière :

L'huile sous pression venant du filtre est amenée par une tuyauterie extérieure au conduit d'huile (1), inférieur droit, du palier d'où elle est acheminée jusqu'au roulement (2) du palier par des canaux (3) et (4) percés dans le couvercle (5) de la boîte de roulement (6).

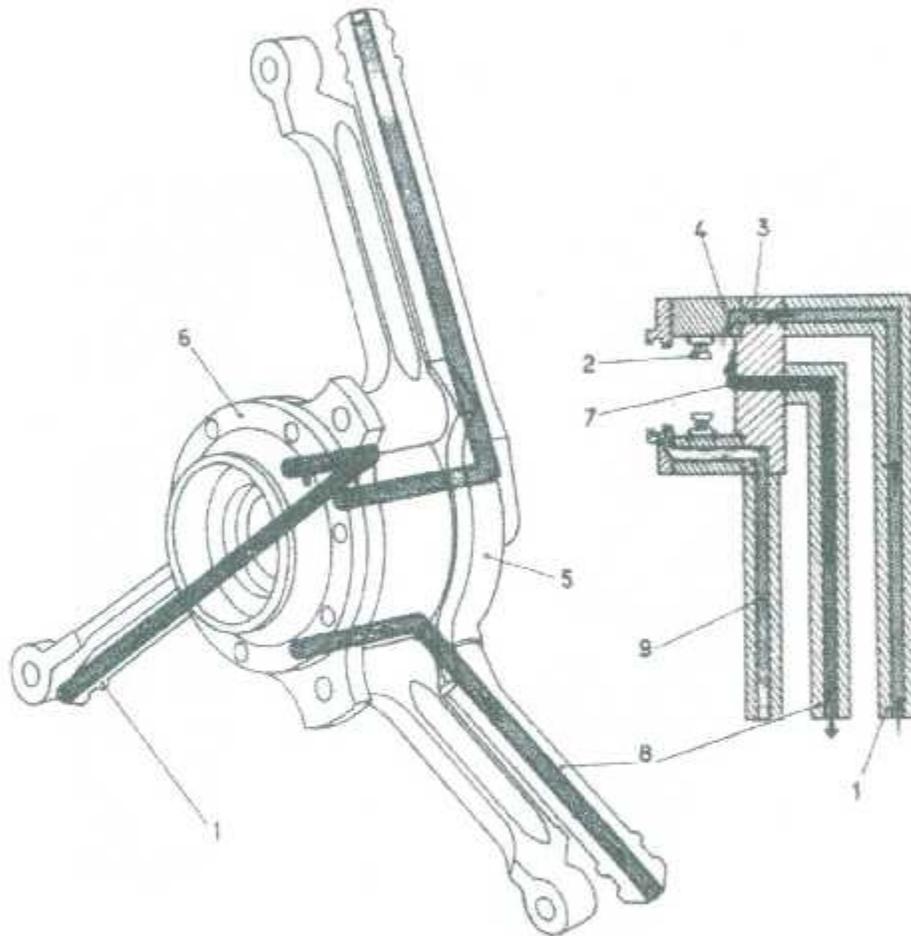


Figure 2-31 : Graissage du palier arrière.

Après utilisation, l'huile est reprise par la pompe de vidange du palier arrière au travers du canal (7) perce dans le couvercle (5) et du conduit d'huile (8) inférieure gauche du palier.

Le conduit d'huile (9) constitue la mise à l'air libre du palier.

8-2/ Pompes à huile :

Elles sont montées à l'intérieure du carter d'accessoires, elles sont du type à engrenages et sont entraînées par la chaîne inférieure de la commande des accessoires.

Au nombre de trois, elles sont accolées et entraînées par un arbre commun. Elles comprennent :

- La pompe de pression (2).
- La pompe de vidange (3) des carters,
- La pompe de vidange (4) du palier arrière.

Les pignons menant (5) et mené (6) de la pompe de pression (2) sont taillés à la périphérie des arbres menant (7) et mené (8).

Les pignons menant (9) et (10) des pompes (3) et (4) sont clavetés sur l'arbre menant (7) au moyen de goupilles (11) alors que les pignons menés (12) et (13) correspondants sont montés fous sur l'arbre (8).

L'arbre menant (7) porte à sa partie arrière un manchon (14) pour l'entraînement de la pompe à carburant.

Le pignon (15) d'entraînement de l'arbre menant (7) est claveté à l'avant de celui-ci au moyen d'une goupille (16) maintenue en place par un circlips (17).

L'assemblage des divers carters des pompes sur le carter d'accessoires, est réalisé au moyen de vis (18), le positionnement étant obtenu au moyen de pieds de centrage (19).

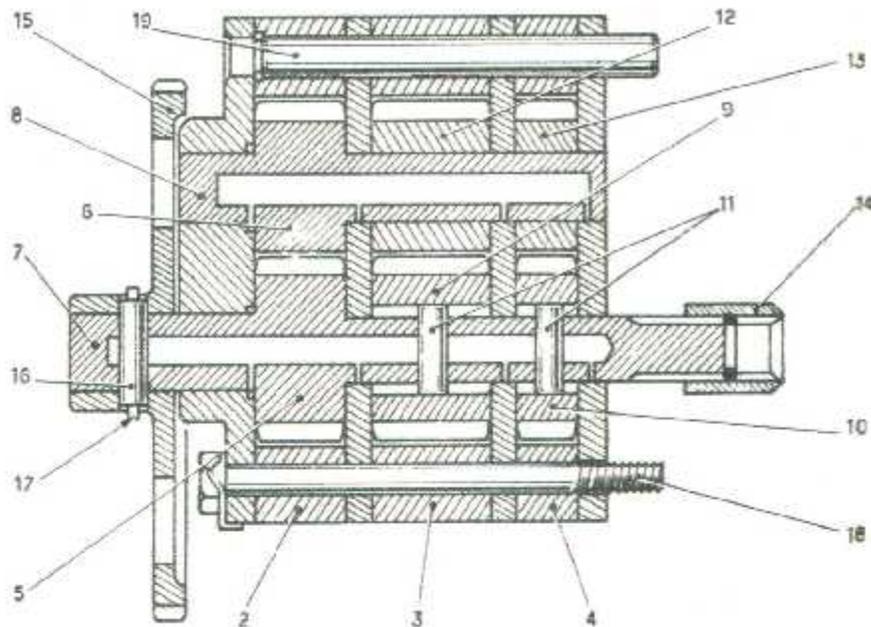


Figure 2-32 : Coupe des pompes à huile.

8-3/ Fonctionnement de la pompe à huile :

La pompe à huile est fixée sur un bossage intérieur du carter d'accessoire qui comporte des perçages qui communiquent avec des canaux forés dans son épaisseur.

Le fond (1) de la pompe comporte des perçages (2), (3), (4), (5) et (6) qui correspondent à ceux du bossage signalé ci-dessus.

Ces perçages constituent :

- le premier (2) l'entrée d'huile dans la pompe,
- le second (3) l'orifice d'aspiration de huile qui est retombée par gravité dans les carters du réducteur,
- le troisième (4) l'orifice d'aspiration de l'huile qui a lubrifié le palier arrière,
- le quatrième (5) la sortie d'huile sous pression, venant de la pompe (7) vers l'utilisation,
- le cinquième (6) le refoulement vers le réservoir de l'huile aspirée dans le carter d'accessoires par la pompe (8) et dans le palier arrière par la pompe (9).

La circulation d'huile dans la pompe est illustrée par la figure (2-33).

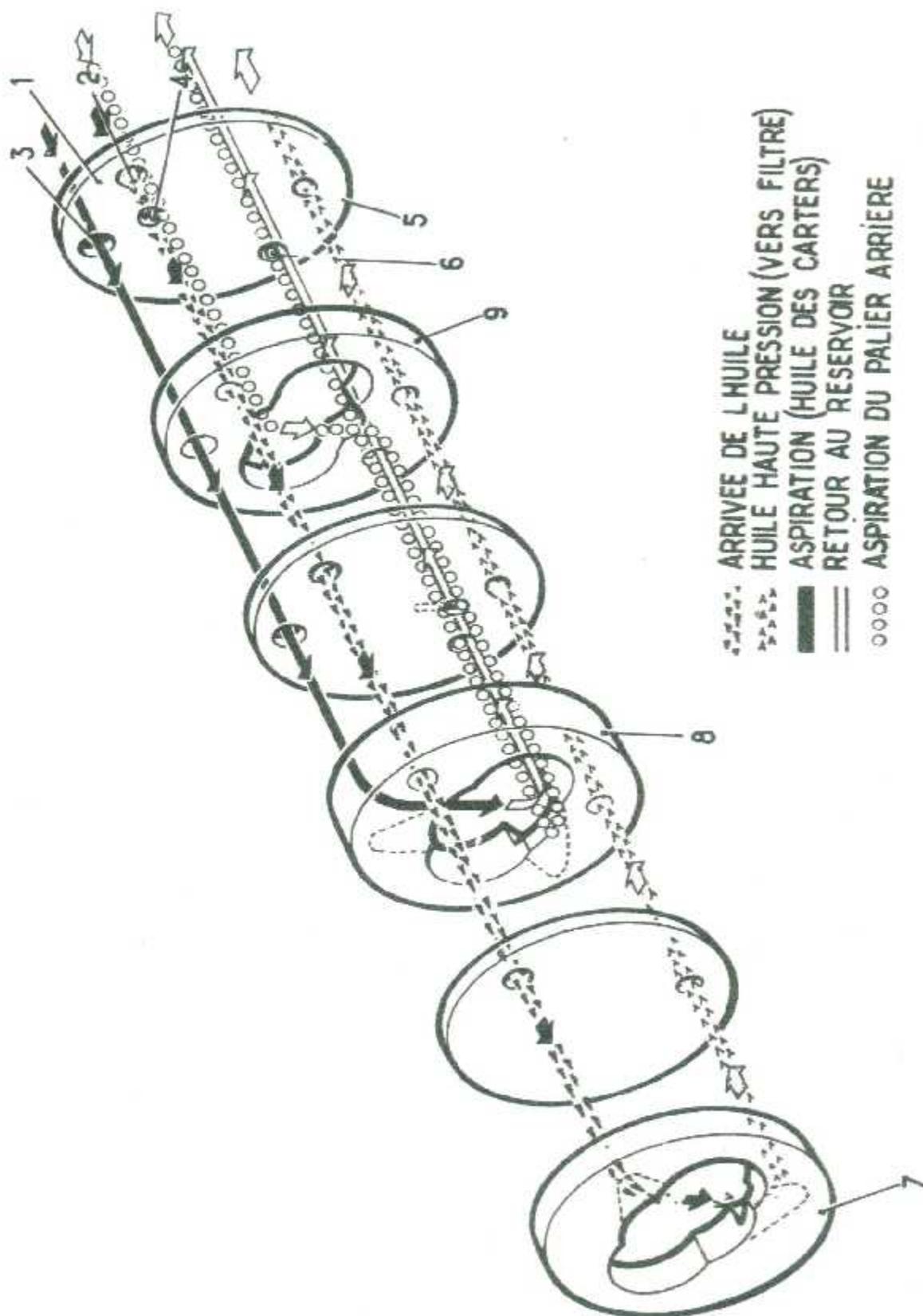


Figure 2-33 : Circulation d'huile dans la pompe.

8-4/ Soupape de surpression :

Elle est fixée par vis, au-dessus de la pompe à carburant, sur la partie inférieure gauche du carter d'accessoires.

Elle est constituée d'un corps (1) à l'intérieur duquel est montée une soupape (2), normalement maintenue appuyée sur un circlips (3) par l'intermédiaire d'un ressort (4) dont l'extrémité opposée prend appui sur un siège (5) monté à l'extrémité d'une vis de réglage (6) immobilisée par un contre écrou (7). La tête de la vis (6) est protégée par un écrou borgne (8) après interposition de joints (9).

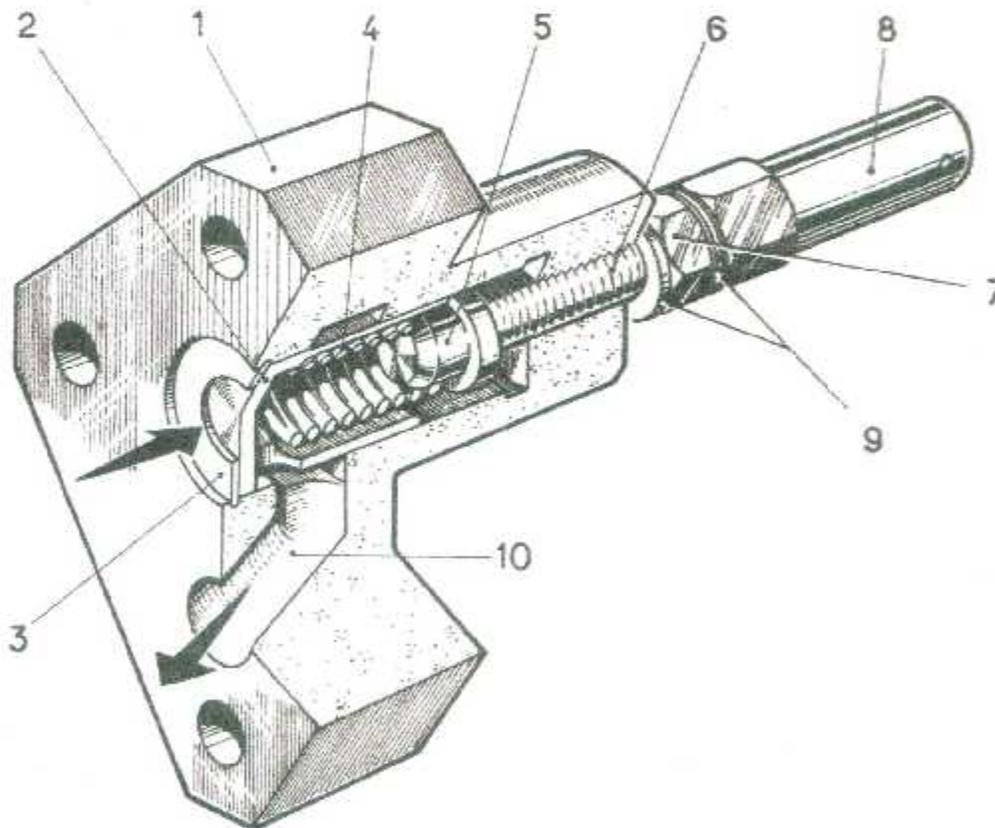


Figure 2-34: Soupape de surpression.

Lorsque la pression d'huile qui s'exerce sur la face de la soupape (2) est supérieure à la force du ressort (4), la soupape recule et découvre l'orifice du canal (10) par lequel une partie d'huile débitée par la pompe retourne à l'aspiration.

8-5/ Filtre à huile :

Le filtre à huile est fixé par vis à la partie supérieure gauche du carter d'accessoire. Il est essentiellement constitué par un socle (1), un bloc filtrant (2) et un couvercle (3).

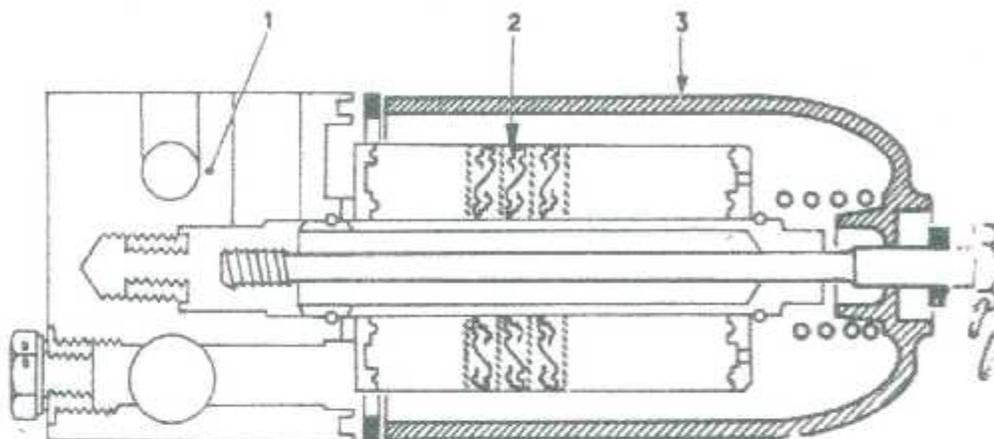


Figure 2-35 : Filtre à huile.

➤ Socle du filtre à huile :

Réalisé en alliage léger, il comporte des canaux de circulation d'huile et le logement du by-pass (1) qui permet la circulation d'huile en cas de colmatage de l'élément filtrant.

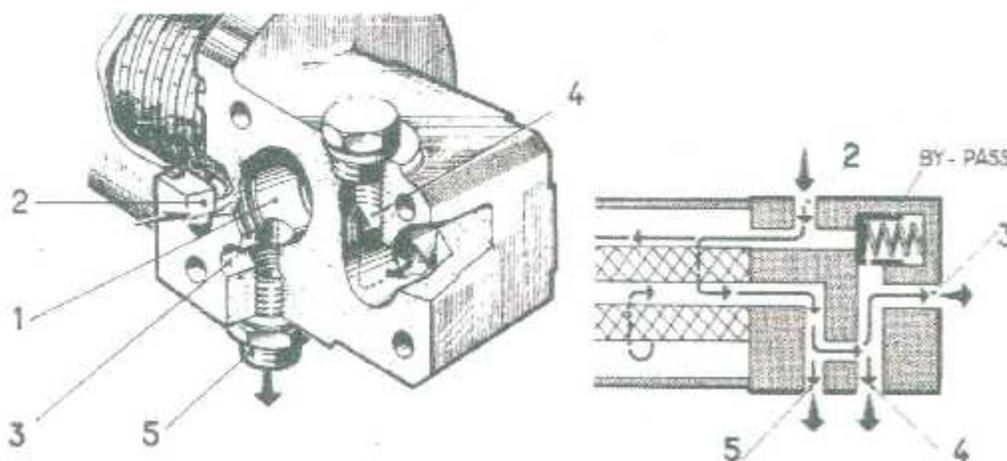


Figure 2-36 : Socle du filtre à huile.

Deux canaux débouchent sur son plan de joint et constituent, l'un (2) l'entrée d'huile dans le filtre, l'autre (3) la sortie d'huile destinée au pressage du palier avant du réducteur et de la commande des accessoires.

Deux autres canaux débouchent :

- l'un (4) à la partie supérieure du socle, il reçoit le transmetteur de pression d'huile,
- l'autre (5) à la partie inférieure du socle, il constitue le départ d'huile destinée au palier arrière.

➤ Bloc filtrant :

Monté sur le socle au moyen d'une vis (1) il est constitué par un empilage d'éléments (2), en toile métallique, monté sur un support (5), comportant des fentes longitudinales. Les éléments (2) sont serrés entre des disques placés sur le support (3) par un jonc (6).

L'ensemble est fermé par un couvercle (7), monté sur le socle après interposition des joints (8) et (9) et du ressort (10).

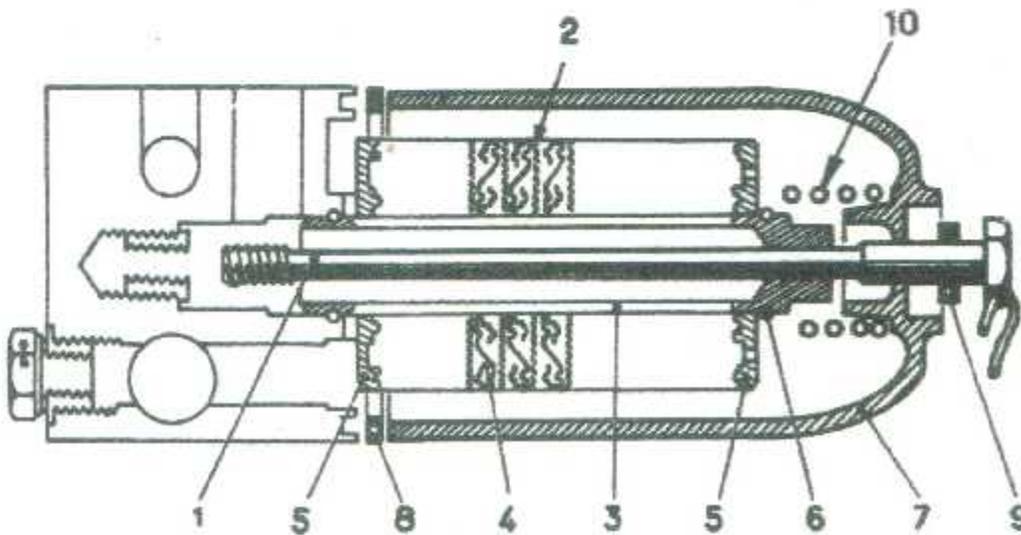


Figure 2-37 : Bloc filtrant.

8-6/ Transmetteur de la pression d'huile :

C'est un transmetteur potentiométrique JAEGER 1877 BB 310. Il est monté à la partie supérieure du socle de filtre à huile au moyen d'un raccord spécial et maintenu en place par un écrou borgne (1). Il est essentiellement constitué par une membrane déformable (2) soumise à la pression d'huile, qui par l'intermédiaire d'un poussoir (3) commande les déplacements du curseur (4) d'un potentiomètre (5).

Une prise à trois broches (6) permet de raccorder le transmetteur au boîtier de démarrage automatique.

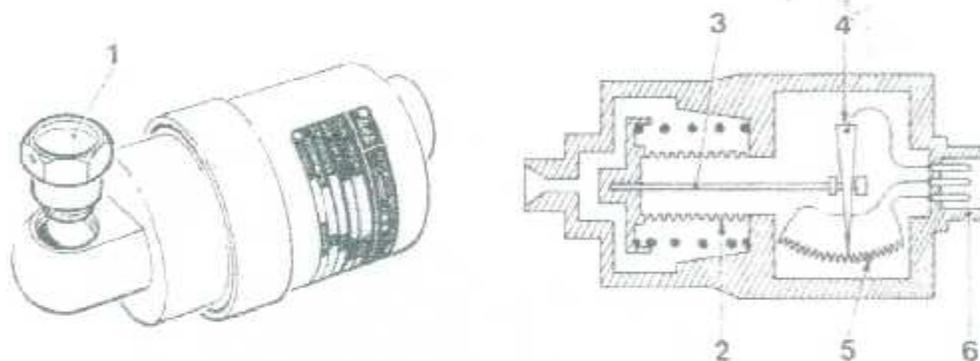


Figure 2-38 : Vue du transmetteur et schéma de principe.

8-7/Manocontacteur pression d'huile :

Ce manocontacteur a pour fonction de commander l'allumage d'un voyant au poste de pilotage lorsque la pression d'huile moteur est ou devient inférieure à 1.1 bar.

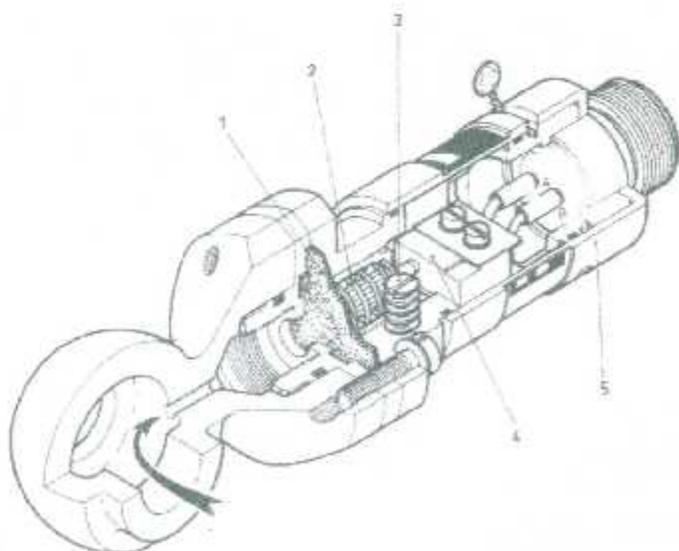


Figure 2-40 : Coupe perspective du manocontacteur équipé de son support.

Le manocontacteur est monté et raccordé avec le transmetteur de pression sur le socle du filtre à huile moteur et renferme essentiellement une membrane qui, soumise à la pression de graissage enclenche un micro-contact raccordé au réseau de bord.

L'attelage de la membrane (1) est maintenu en équilibre sous l'action d'un ressort (2) dont la valeur de tarage en pression décroissante est réglée par la vis sans fin (3). Le micro-contact (4) est accessible après déposé du cache (5) maintenu en place par un fil à freiner. Sa position par rapport à l'attelage de la membrane est réglée au moyen d'un excentrique.

8-8/ Tuyauteries d'huile :

Les tuyauteries d'huile extérieures au turbomoteur comprennent :

- la tuyauterie (1) du filtre au palier arrière,
- la tuyauterie (2) de retour d'huile du palier arrière.

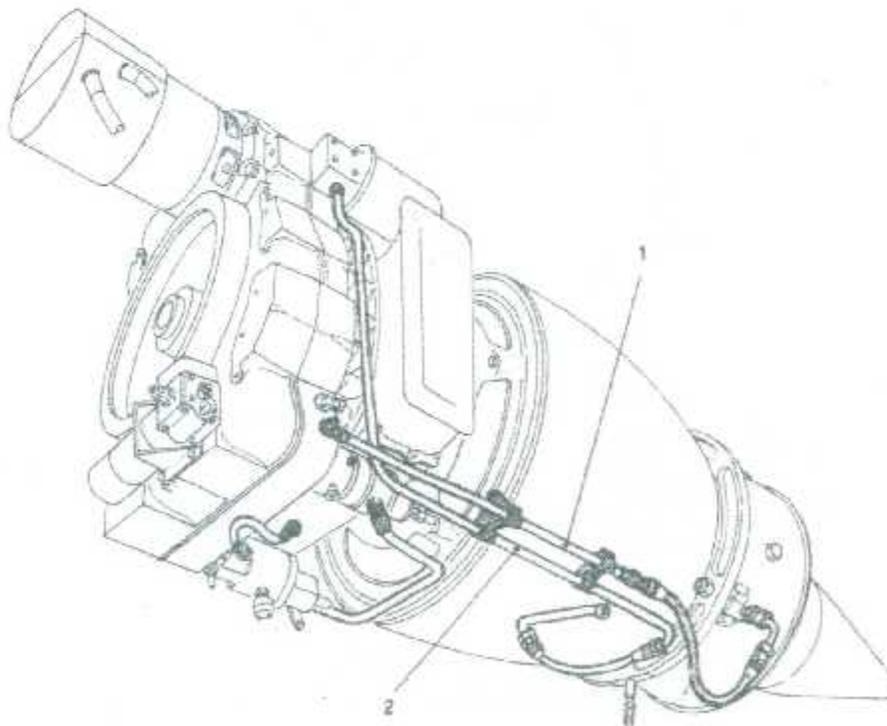


Figure 2-41 : Tuyauteries d'huile variante C.

❖ Bouchon magnétique :

Afin de permettre un contrôle fréquent et rapide de l'état interne du moteur (mignonnerie, roulements, etc...), un dispositif comportant un bouchon magnétique est installé sur le circuit de retour d'huile au réservoir, à la partie inférieure du carter d'accessoires.

Cet ensemble est essentiellement constitué d'un boulon creux refermant un clapet (3) auto-obturant et d'un bouchon mûlé (1) équipé d'un barreau (2).

En dégageant le bouchon (1), le barreau (2) libère le clapet (3) qui, sous l'action de son ressort, obture la sortie de l'huile contenue dans le carter d'accessoires.

LEGENDE

- 1 - Bouchon moleté
- 2 - Barreau aimanté
- 3 - Clapet obturateur

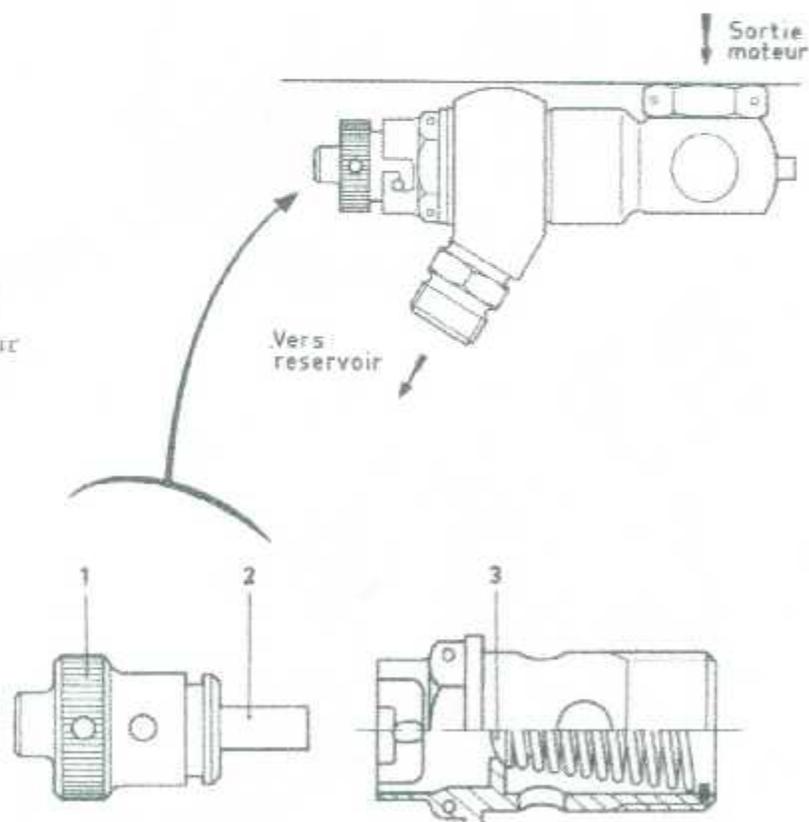


Figure 2-42 : Ensemble bouchon magnétique.

9/ CIRCUIT CARBURANT :

9-1/ Circuit de démarrage :

Le circuit de démarrage, entre en fonctionnement dès le début de la mise en marche du turbo-moteur et cesse de fonctionner sept secondes environ après, alors que la chambre de combustion est allumée.

En plus des accessoires du circuit avion, le circuit de démarrage met en jeu :

- une micropompe (1) qui élève la pression de carburant,
- deux bougies à injection (2) qui, alimentées par la micropompe (1), pulvérisent et injectent le carburant dans la machine.
- Des tuyauteries.

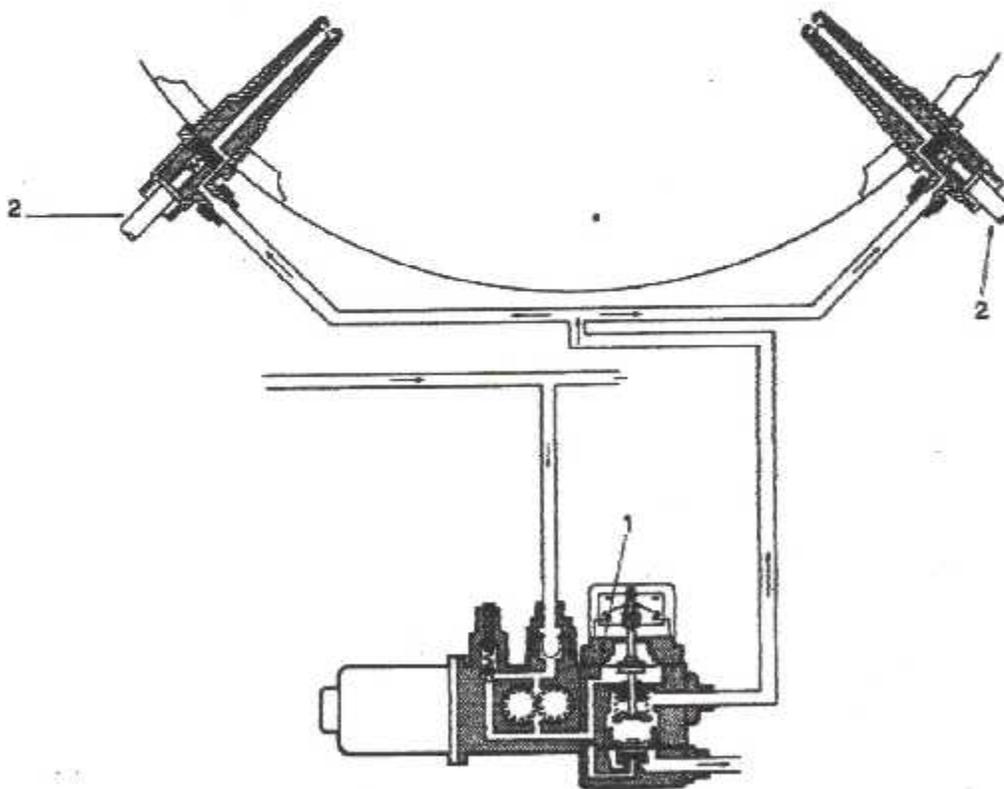


Figure 2-43 : Schéma de principe du circuit de démarrage.-

9-1-1/ La micropompe:

La micropompe est essentiellement constituée par un moteur électrique (1), une pompe à engrenages (2), une soupape de sectionnement (3) et un minirupteur (4).

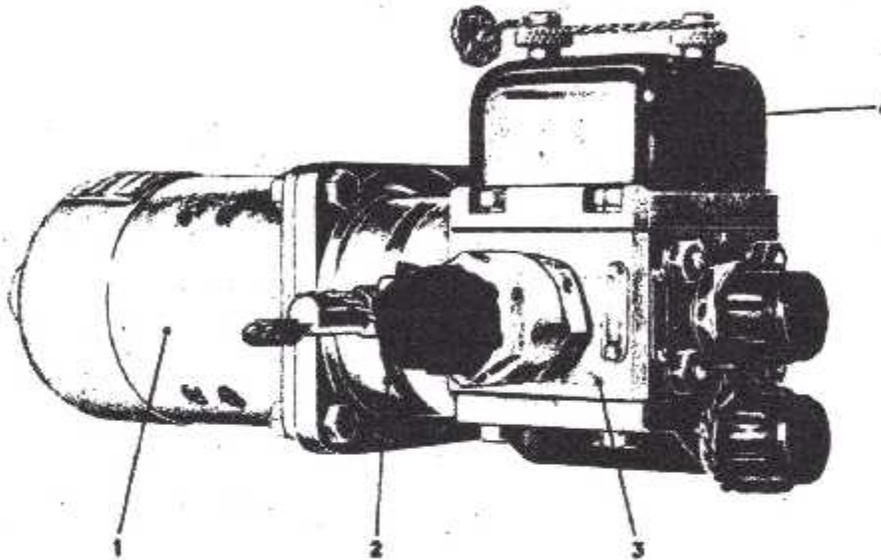


Figure 2-44 : La micropompe.

Son point de fonctionnement nominal pour l'allumage de la turbine est :

- débit 20 l/h,
- pression 4 kg/cm²,
- tension 14 à 28 volts,
- intensité maximum absorbée, 9 A sous 28 volts.

Elle est essentiellement constitué de :

1) Moteur électrique :

C'est un moteur fonctionnant en courant continu sous une tension comprise entre 14 et 28 volts ; sa vitesse de rotation maximum est de 15 000 tr/mn.

2) Pompe à engrenages :

Elle est assemblée avec le moteur électrique au moyen d'une bride de fixation (1). Sa face opposée au moteur reçoit la soupape de sectionnement.

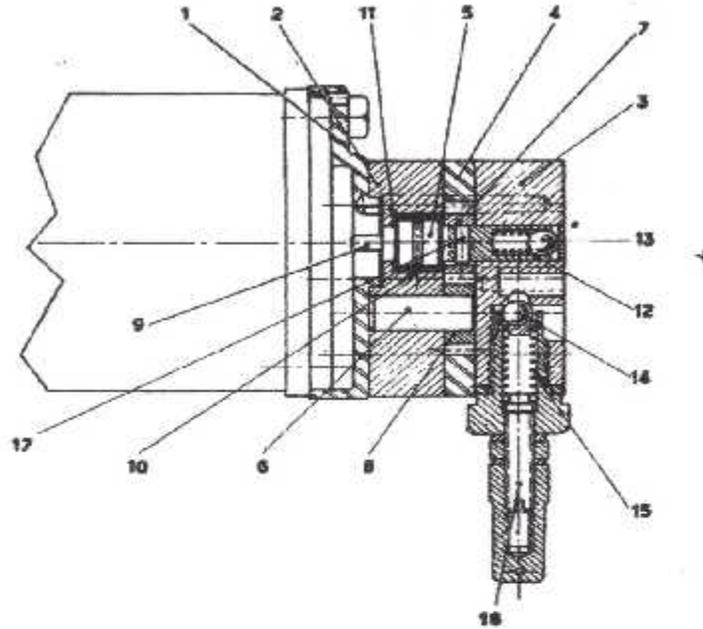


Figure 2-45 : Pompe à engrenage.

3) Soupape de sectionnement :

Elle fixée sur la pompe, après interposition d'un joint (1), par les vis d'assemblage de celle-ci.

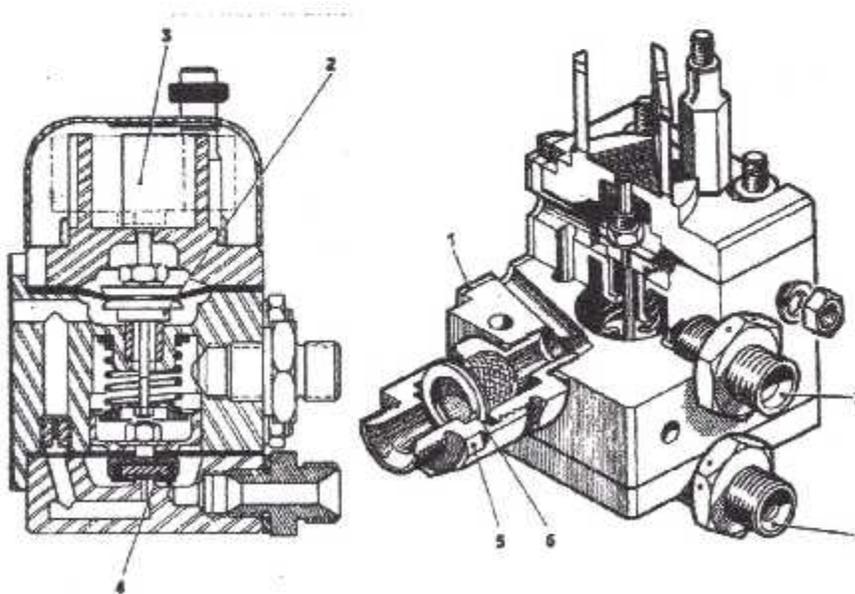


Figure 2-46 : Coupe et perspective de la soupape de sectionnement.

9-1-2/ Bougies à injection :

Au nombre de deux les allumeurs-torches, appelés communément bougies, jouent à la fois le rôle d'injecteurs de carburant et celui de bougies proprement dites. Elles permettent d'enflammer, par la flamme qu'elles produisent, le mélange air-carburant de la chambre de combustion au cours de la mise en marche du turbo-moteur. Elles sont reliées :

- à la micropompe par des tuyauteries,
- à la bobine d'allumage par des câbles blindés.

1) Constitution :

La bougie est constituée par un corps creux (1) en acier qui présente :

- un filetage extérieur et un six pans pour son montage sur le carter de turbine,
- un filetage intérieur dans lequel l'écrou (2) est vissé après mise en place d'un joint (3),
- un bec (4) qui constitue l'électrode de masse,
- un raccord (5), avec filtre (6), qui constitue l'entrée du carburant.

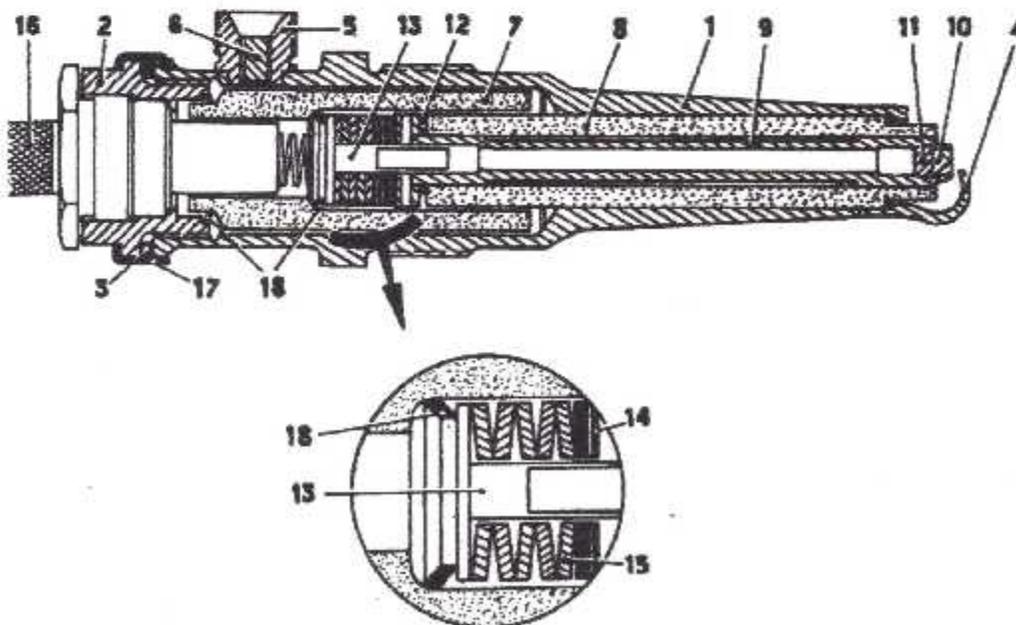


Figure 2-47 : Coupe de la bougie.

Intérieurement le corps (1) reçoit deux douilles isolantes (7) et (8) dont les diamètres sont tels qu'après montage un espace annulaire soit ménagé entre l'alésage du corps (1) et l'extérieur de la douille (7) d'une part et entre les douilles (7) et (8) d'autre part.

L'électrode centrale (9), équipée du gicleur (10) et de la rampe (11), est montée à l'intérieur de la douille (8). Des perçages radiaux (12), percés dans sa collerette, débouchent dans son alésage.

Le téton (13), monte après mise en place de rondelle (14) et de rondelles ressort (15) assure la continuité électrique entre le câble (16) et l'électrode centrale (9).

L'écrou (2) comporte un filetage intérieur dans lequel se visse l'embout du câble de bougie. Un frein (17) empêche le dévissage de l'écrou.

Des joints (18) assurent l'étanchéité aux différents niveaux de l'assemblage.

2) Fonctionnement :

Lors de l'allumage de la chambre de combustion le carburant pénètre dans la bougie par le raccord (5) et traverse le filtre (6), qui le débarrasse des corps étrangers qu'il pourrait contenir, puis chemine d'abord dans l'espace annulaire ménagé entre le corps (1) et la douille isolante (7) et ensuite dans l'espace compris entre les douilles (7) et (8) pour finalement pénétrer par les perçages (12) à l'intérieur de l'électrode centrale (9). La rampe (11) lui communique un mouvement tourbillonnaire et le gicleur (10) le pulvérise. Les étincelles qui éclatent l'électrode centrale (9) et le bec (4) enflamment le carburant ainsi pulvérisé.

Les allumeurs s'éteignent dès que la micropompe et la bobine ont cessé de fonctionner.

9-1-3/ Tuyauteries du circuit de démarrage :

Les tuyauteries du circuit de carburant de démarrage, du type rigide, sont les suivantes :

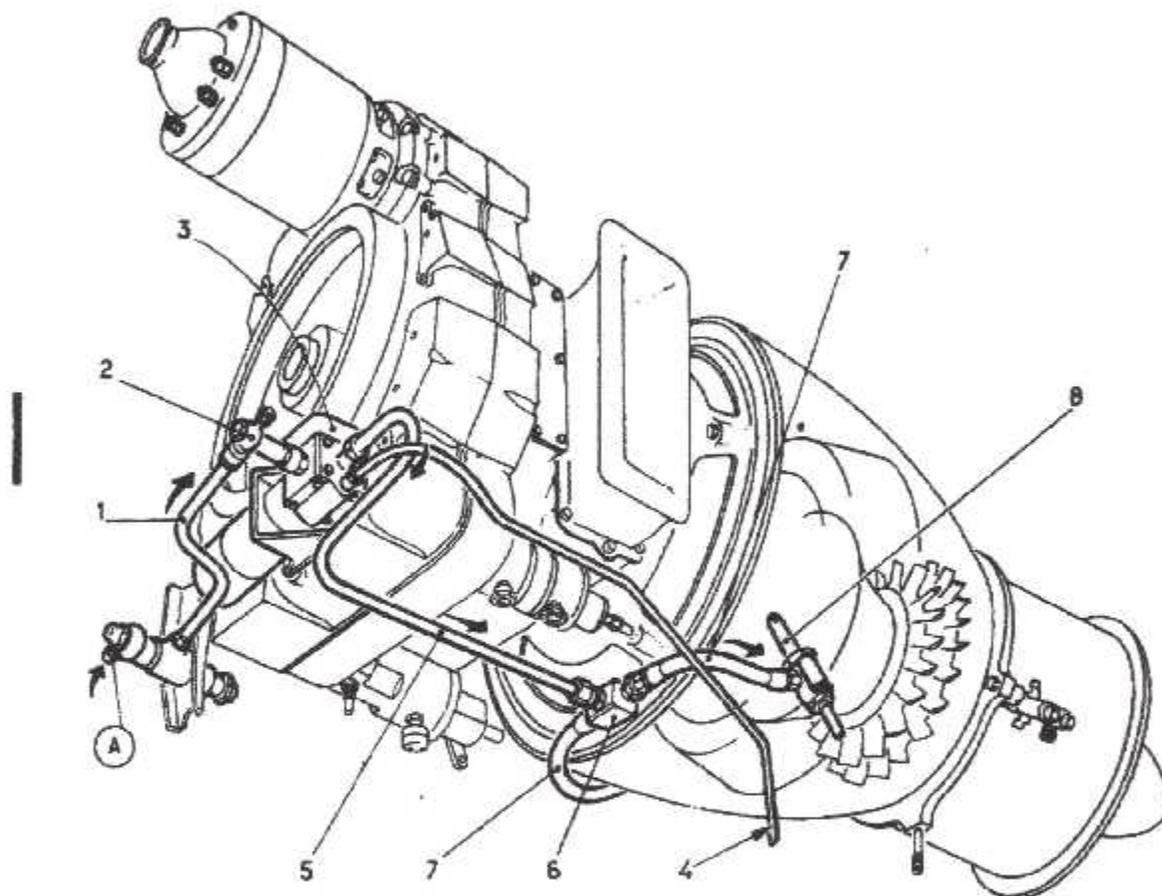


Figure 2-48 : Tuyauteries du circuit de carburant de démarrage.

- la tuyauterie (1) du raccord (2) d'arrivée de carburant à la micropompe (3),
- la tuyauterie (4), de mise à l'air libre de la micropompe (3),
- la tuyauterie (7), du te de distribution (6) aux bougies (8).

9-2/ Circuit principale de carburant :**9-2-1/ Fonctionnement du circuit :**

Le circuit principal de carburant entre en fonctionnement au cours de la mise en marche du turbo-moteur, lors de la phase d'accélération, pendant la marche normal et lors de l'arrêt de la turbine.

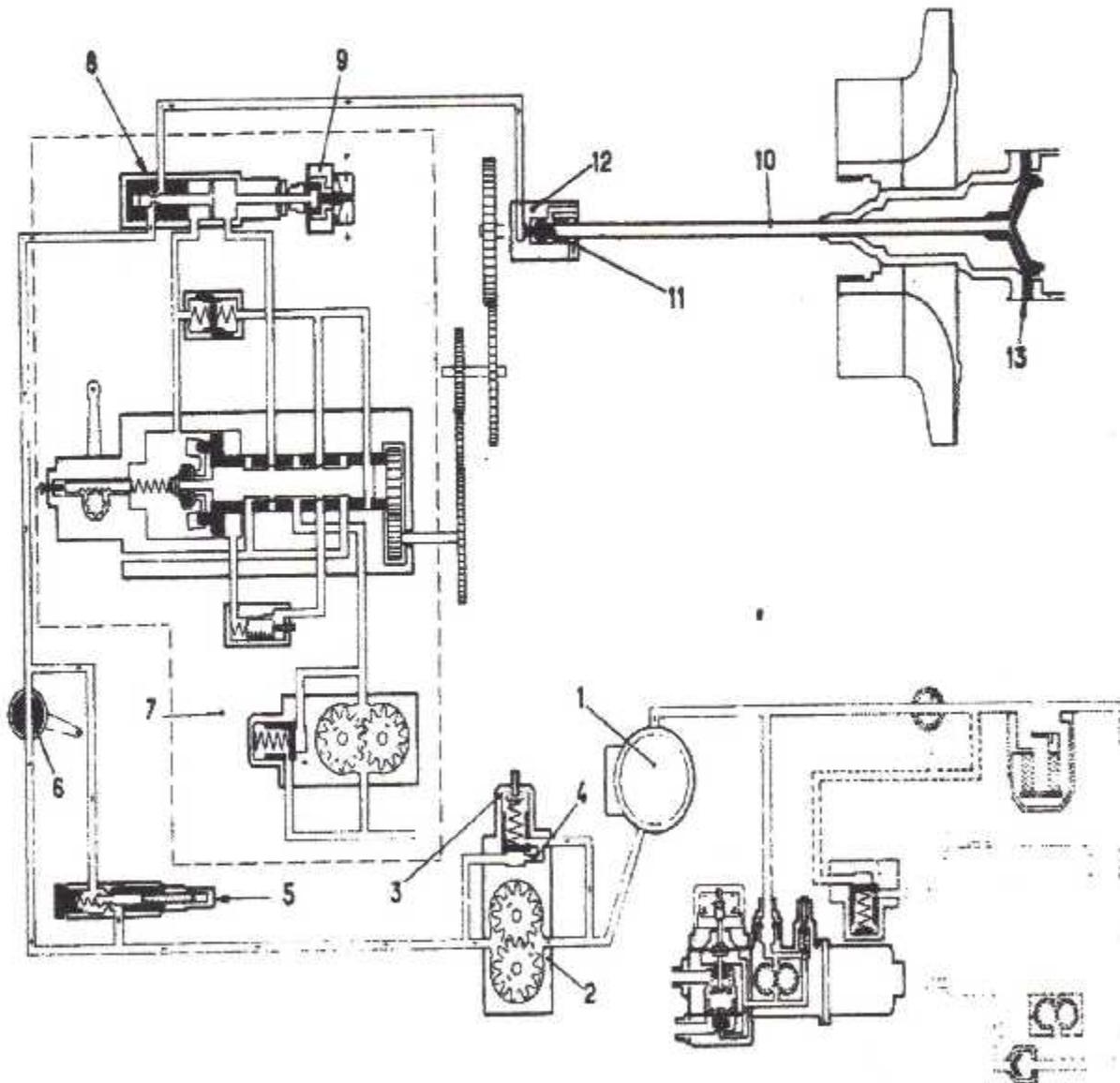


Figure 2-49 : Schéma du circuit principal de carburant.

Il met en jeu, en plus du circuit avion :

- le robinet électrique (1), dont le fonctionnement est commande par le boîtier de commande automatique,
- la pompe à carburant (2) avec soupape de surpression (3) et by-pass (4), gicleur de ralenti réglable (5) et robinet de débit (6),
- le régulateur de vitesse (7), isodrome, avec doseur de carburant (8) et dispositif de sécurité (9),
- le tube à carburant (10) avec gicleur (11) et labyrinthe d'étanchéité (12),
- la roue d'injection (13),
- des tuyauteries.

➤ Phase de démarrage :

Dès l'ouverture du robinet (1), la pompe à carburant (2), qui tourne depuis le début du lancement de l'ensemble tournant, élève la pression de carburant du circuit avion et achemine vers la roue d'injection (13) au travers du gicleur de ralenti (5), le robinet de débit (6) étant encore ferme, et du doseur de carburant (8), ouvert au maximum du fait que, par suite de la faible vitesse de rotation de la turbine, le régulateur de vitesse (7) n'est pas encore entre en action. Le carburant est pulvérisé dans la chambre de combustion qui s'allume lors du fonctionnement des bougies.

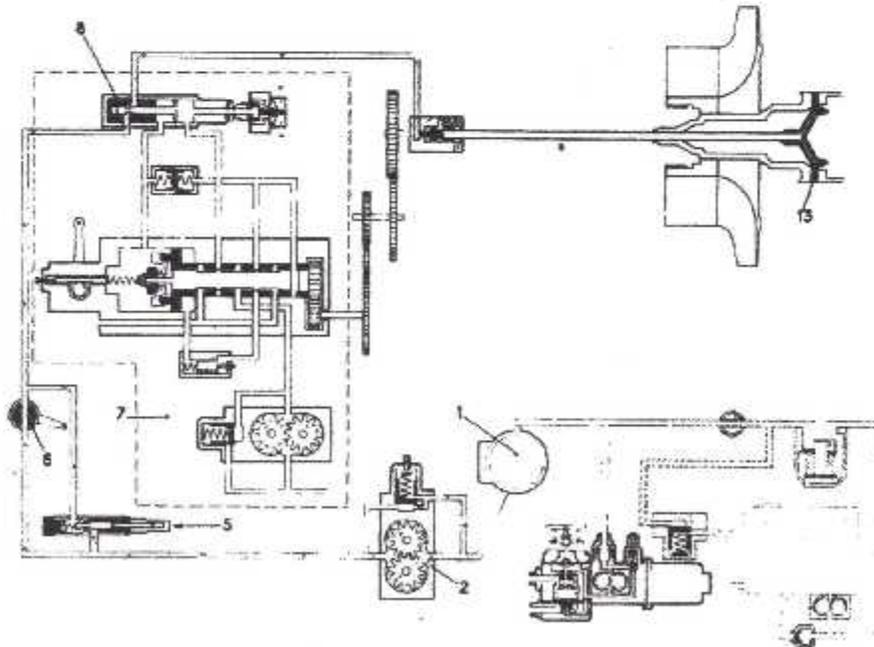


Figure 2-50 : Schéma du circuit principal de carburant.

➤ Phase d'accélération :

Lorsque le déroulement des séquences du démarrage est terminé, que la chambre de combustion est allumée et la vitesse d'autonomie atteinte, le pilote ouvre progressivement le robinet de débit (6), la vitesse de la turbine s'accélère. En fin d'ouverture du robinet de débit (6), le régulateur de vitesse (7) entre en fonctionnement et maintient la vitesse de la turbine à une valeur égale à celle affichée par son levier de commande.

➤ Marche normale :

Le robinet de débit (6) étant ouvert au maximum, le pilote affiche à l'aide du levier de commande du régulateur (7) la vitesse choisie dans la plage de régulation comprise entre 32 000 tr/mn. A partir de ce moment le régulateur (7) maintient la vitesse de la turbine à une valeur égale à celle déterminée par la position de son levier de commande quelle que soit la charge de la turbine, pour autant que cette valeur ne soit pas supérieure à la puissance maximum du turbo-moteur.

➤ Arrêt :

Pour arrêter la turbine, le pilote ferme le robinet de débit (6). Dès cette opération réalisée, le carburant arrive à la roue d'injection par le même circuit que pendant la phase de démarrage. Lorsque la vitesse de la turbine s'est stabilisée, la manœuvre de l'inverseur double « marche-arrêt-ventilation » provoque la fermeture du robinet électrique (1) la machine s'arrête.

9-2-2/ Robinet électrique :

C'est un robinet avec prise de courant à cinq broches (1). Il est constitué par un robinet à boisseau (2) et un vérin électrique (3) assemblés par vis (4) et qui est relié au raccord d'arrivée de carburant et à la pompe à carburant par des tuyauteries.

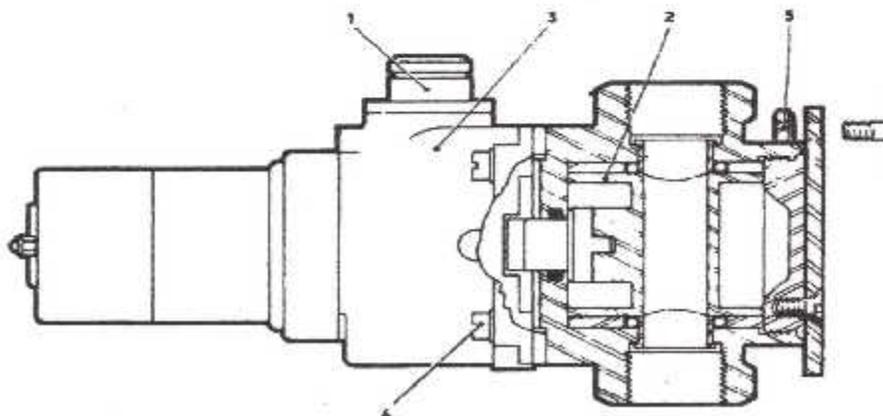


Figure 2-51 : Vue extérieure du robinet électrique -

1) Robinet à boisseau :

Il est essentiellement constitué d'un corps (1), assemblés par vis avec le vérin, équipé d'un fourreau et de deux fourrures (3), qui reçoit le boisseau (4) après mise en place des joints (5) et (6). Un bouchon (7) ferme la partie intérieure du corps (1).

La partie supérieure du boisseau (4) reçoit un entraînement (8) à double tournevis male.

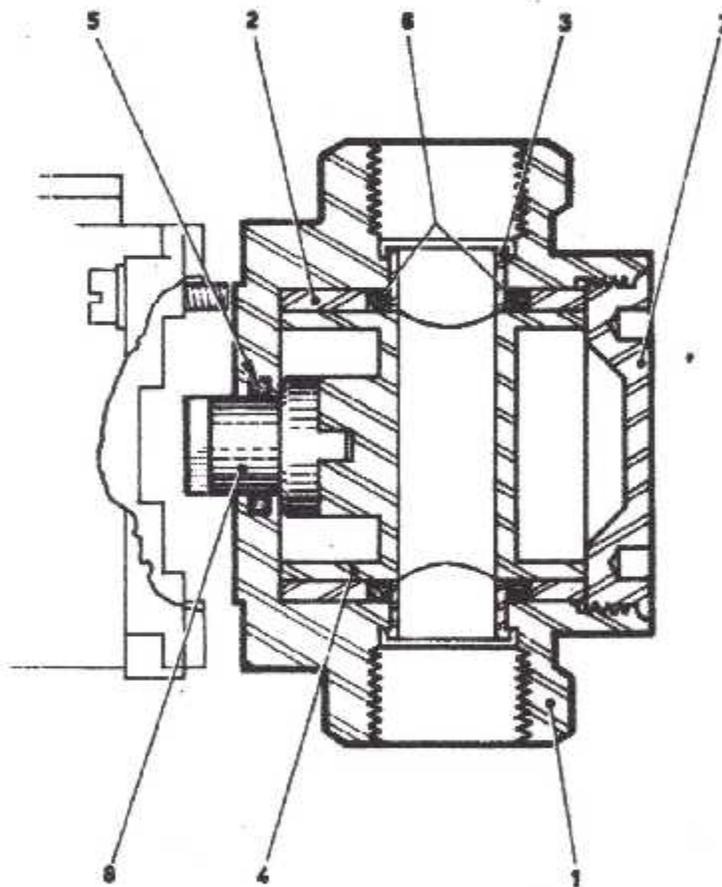


Figure 2-52 : Robinet à boisseau.

Le plan de joint d'assemblage du corps (1) avec le vérin est percé de quatre trous taraudés pour les vis d'assemblage du robinet à boisseau et du vérin.

2) Vérin :

C'est un vérin AVIAC, équipé d'une prise à cinq broches (1), qui fonctionne sous courant continu de tension comprise entre 14 et 28 volts. Sa partie supérieure est fermée par un bouchon (2), fixé au moyen de deux écrous (3), sous lequel se trouve le collecteur du moteur du vérin.

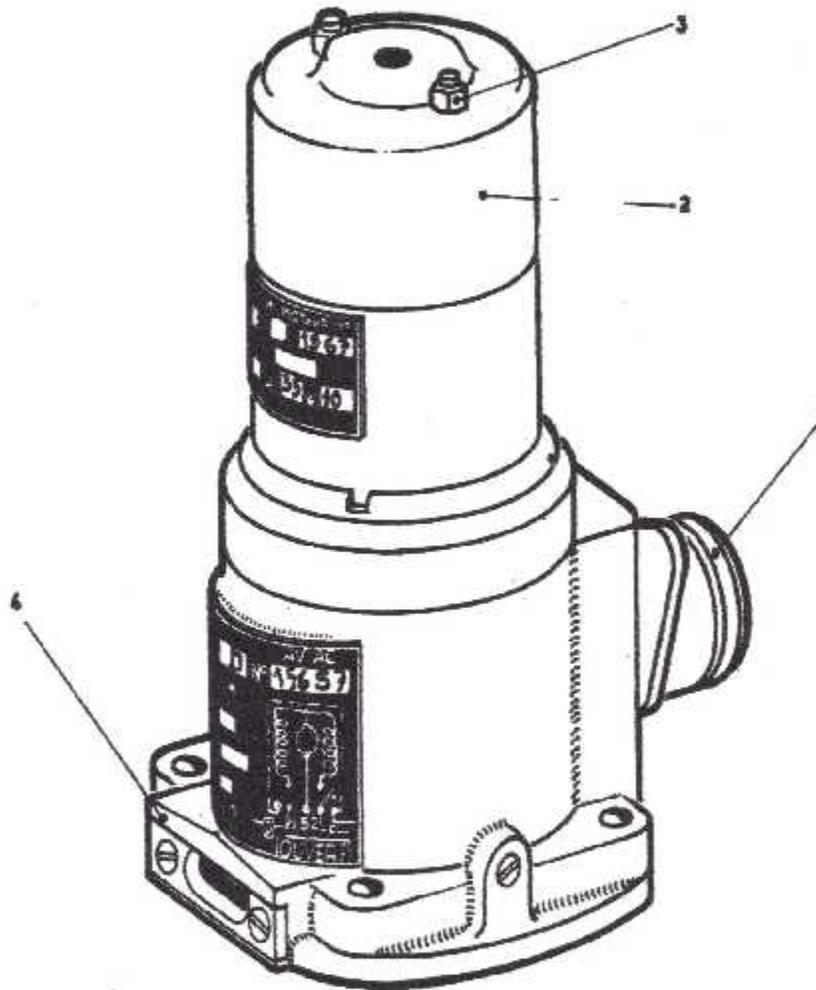


Figure 2-53 : Vérin.

L'induit du moteur commande d'une part l'entraînement du boisseau du robinet et d'autre part un dispositif à cames actionnant deux jeux de contacts fin de course. Des ouvertures (4) pratiquées dans le corps du vérin permettent d'accéder aux contacts fin de course.

9-2-3/ Pompe à carburant :

Elle est fixée à la partie inférieure gauche du carter d'accessoires, après interposition d'un joint, au moyen de quatre vis. Elle est accouplée aux pompes à huile, contenues dans le carter d'accessoires, et entraînée par l'arbre menant de celle-ci.

Elle est constituée des éléments ci-après :

- la pompe à engrenage (1),
- le gicleur de ralenti réglable (2),
- le corps de soupape (3) avec robinet de débit (4),
- le contacteur (5), butée manette fermée.

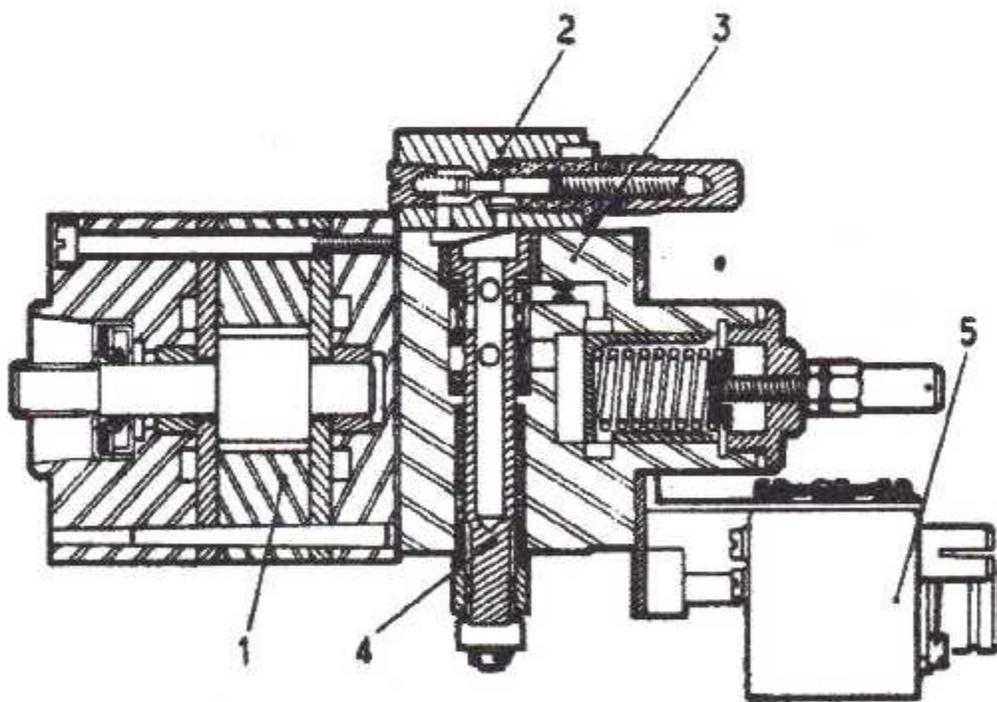


Figure 2-54 : Pompe à carburant complète.

Le contacteur qui est commandé par le levier de manœuvre du diaphragme rotatif. Pour le contacteur butée manette fermée, il est essentiellement constitué par un boîtier (1) qui renferme un minirupteur (2) dont le poussoir (3) est enfoncé par un levier (4) lorsque le robinet est fermé.

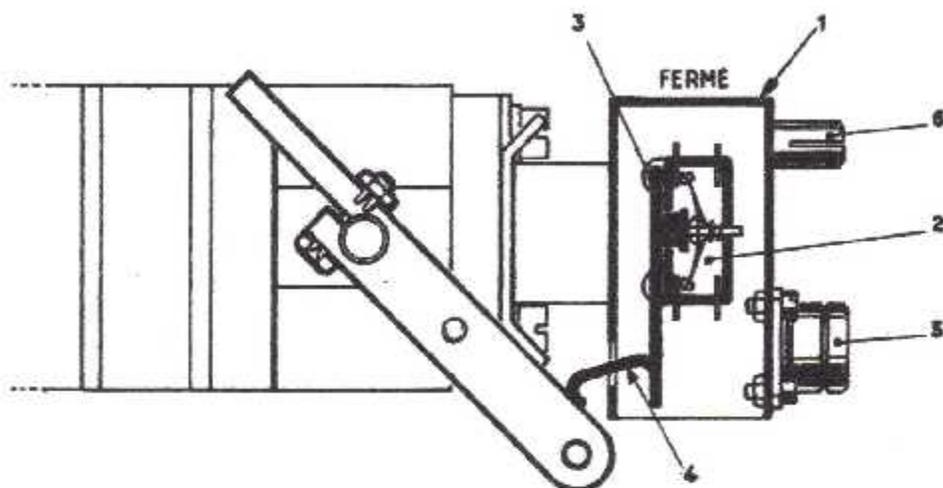


Figure 2-55 : Contacteur position « fermé ».

Extérieurement le boîtier (1) porte une prise de courant (5), pour sa liaison électrique avec le boîtier de démarrage automatique, et un tube (6) pour le passage des conducteurs reliant le contacteur au régulateur.

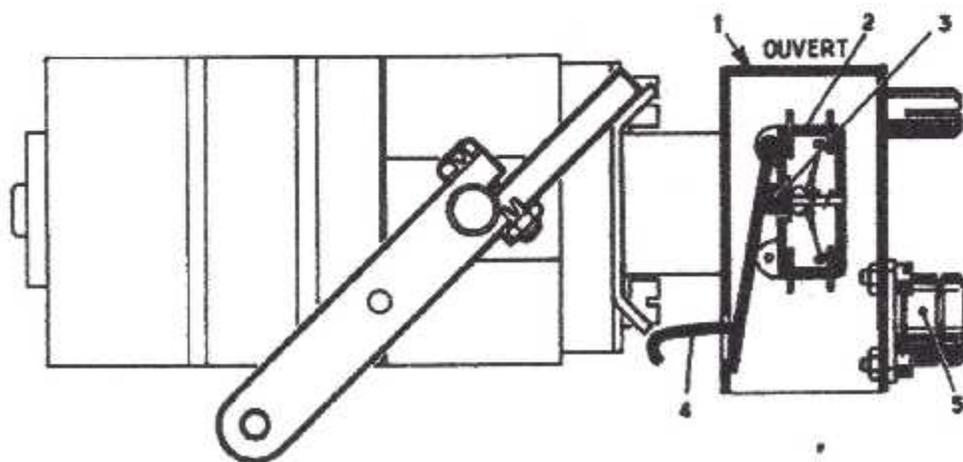


Figure 2-56 : Contacteur position « ouvert ».

9-2-4/ Régulateur de vitesse :

Il est fixé par vis sur la partie inférieure arrière du carter d'accessoire après interposition d'un joint.

La fonction principale du régulateur est de commander et de contrôler la position du doseur de carburant afin que la quantité de carburant délivrée au moteur maintienne la vitesse de rotation de la turbine à une valeur constante et égale à celle affichée par la position du levier de commande quelle que soit la charge appliquée. La gamme des vitesses régulées s'étend de 32.000 à 34.000 tr/mn.

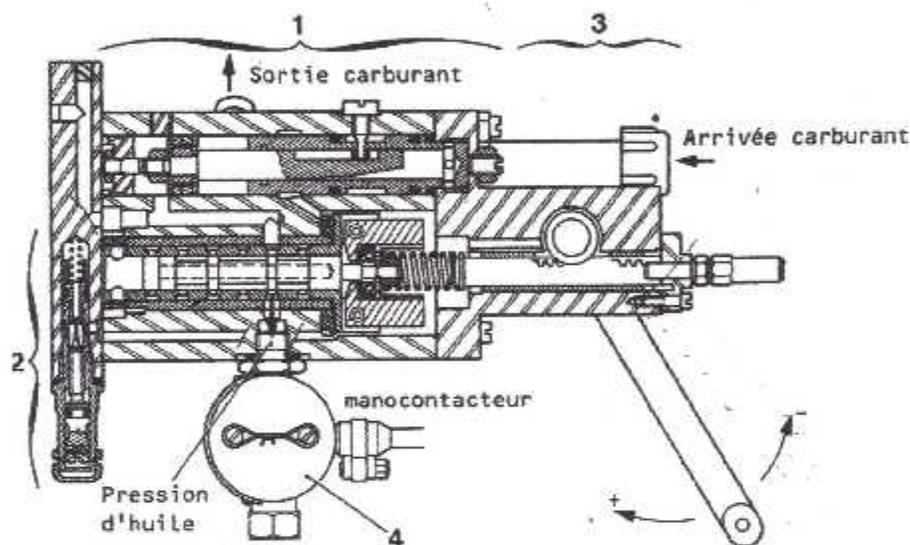


Figure 2-57 : Coupe du régulateur.

Le régulateur comprend essentiellement :

- organes de régulation (1),
- des organes s'asservissement (2),
- des organes de commande (3),
- un dispositif de sécurité (4).

Les organes de régulation, d'asservissement et de commande sont enfermés dans des carters assembles par vis.

10/ ALLUMAGE :

L'allumage de la chambre de combustion est provoqué électriquement, à partir de la batterie d'accumulateurs de bord, ou d'un groupe de terrain, par l'intermédiaire :

- du boîtier de commande automatique,
- de la bobine d'allumage et des fils de bougie,
- des bougies à injection alimentées, en carburant, au moment voulu, par la micropompe (voir 73-1-1) et en courant haute tension par la bobine.

Seuls la description et le fonctionnement de la bobine, de la bougie et du câble seront donnés dans ce chapitre.

10-1/ Bobine d'allumage et fils de bougie :

C'est une bobine double DUCCELLIER – RB modèle AV type A Qui est alimentée en courant continu 24 volts, provenant de la batterie de bord ou d'un groupe de terrain, et le transforme en courant haute tension nécessaire au fonctionnement des bougies.

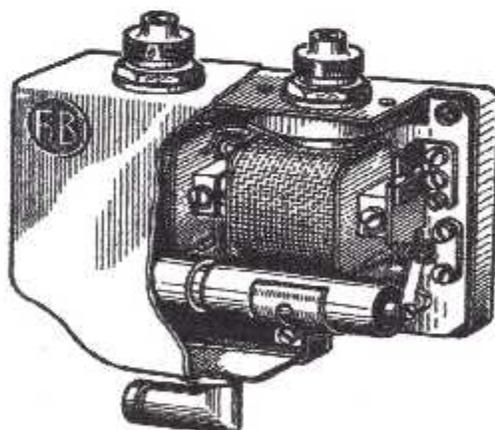


Figure 2-58 : Vue extérieure de la bobine d'allumage.

L'intensité absorbée par la bobine, lorsqu'elle est alimentée sous 24 volts, est de 3 à 4,5 ampères.

Elle est constituée par deux transformateurs distincts (1) et (2), alimentant chacun une bougie, enfermés dans un boîtier (3) à double paroi.
Extérieurement elle présente :

- Une prise coudée (4) pour l'alimentation en 24 volts,
- deux prises (5), identiques, pour le raccordement des fils de bougie.

Chacun des transformateurs est constitué par une bobine (6), à deux enroulements et noyau de fer doux, associée à un vibreur (7) aux bornes duquel est branché un condensateur (8).

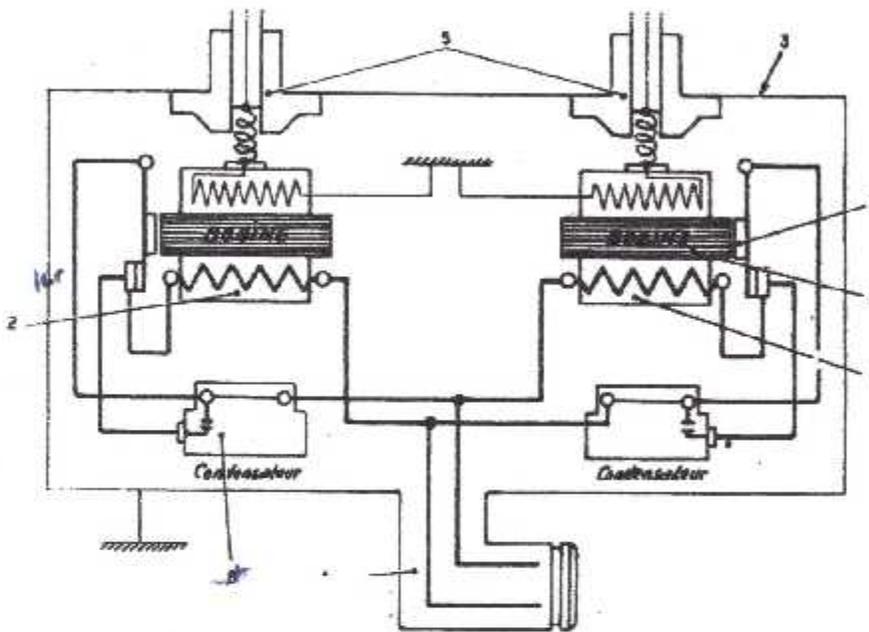


Figure 2-59 : Organisation interne de la bobine.

Les fils de bougie sont terminés à chacune de leur extrémité par un ressort de contact (1) est un écrou (2) pour leur fixation sur la bobine et sur les bougies.

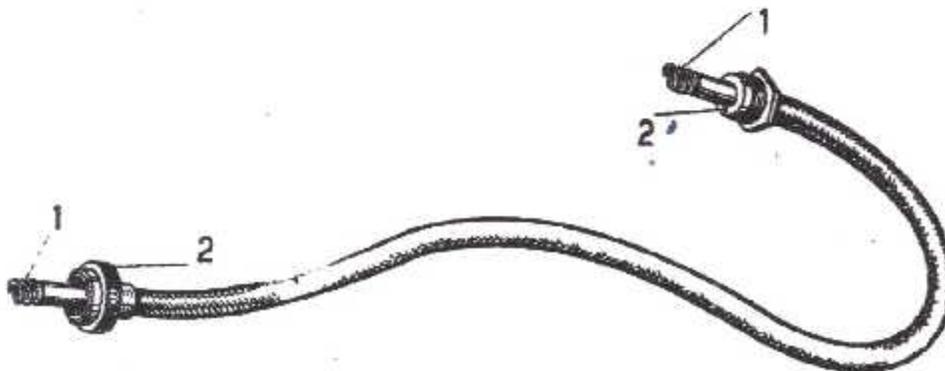


Figure 2-60 : Fil de bougie.

11/ DEMARRAGE :

11-1/ Organes de démarrage :

La mise en marche du turbomoteur, ainsi que son arrêt et sa ventilation, se font automatiquement par simple manœuvre d'un inverseur.

Les organes mis en jeu au cours des opérations de mise en marche sont les suivants :

- un boîtier de commande automatique.
- Une dynamo-démarreur,
- Une bobine double d'allumage,
- Une micro pompe,
- Un robinet électrique,
- Un manocontacteur,
- Des témoins lumineux.

11-1-1/ Dynamo-démarreur :

C'est une dynamo- démarreur LABINAL type 2 501 A. elle est entraînée par la chaîne supérieure de commande des accessoires à la vitesse de $n/5$, 108. Elle est fixée à la partie supérieure avant du couvercle du carter d'accessoires sur les goujons dont il est équipé.



Figure 2-62 : Vue de la dynamo démarreur LABINAL type 2 501 A

a) Caractéristiques électriques :

Sa puissance en génératrice, sous une tension de 28,5 volts, est de 2 500 Watts pour des vitesses de rotation comprises entre 4 500 et 10 000 tr/mn.

En démarrant, pour une intensité de 400 a sous 20 volts et à la vitesse de 1400 tr/mn ; elle développe un couple de 3 m.kg. Le courant admissible en démarreur ne doit pas excéder 800 a pendant une seconde.

b) La dynamo-démarrreur LABINAL type 2501 :

Il comprend :

- un induit (1)
- une carcasse (2) avec inducteurs (3) et (4).
- un palier collecteur (5)
- un palier bride (6)
- une tuyère de ventilation (7).

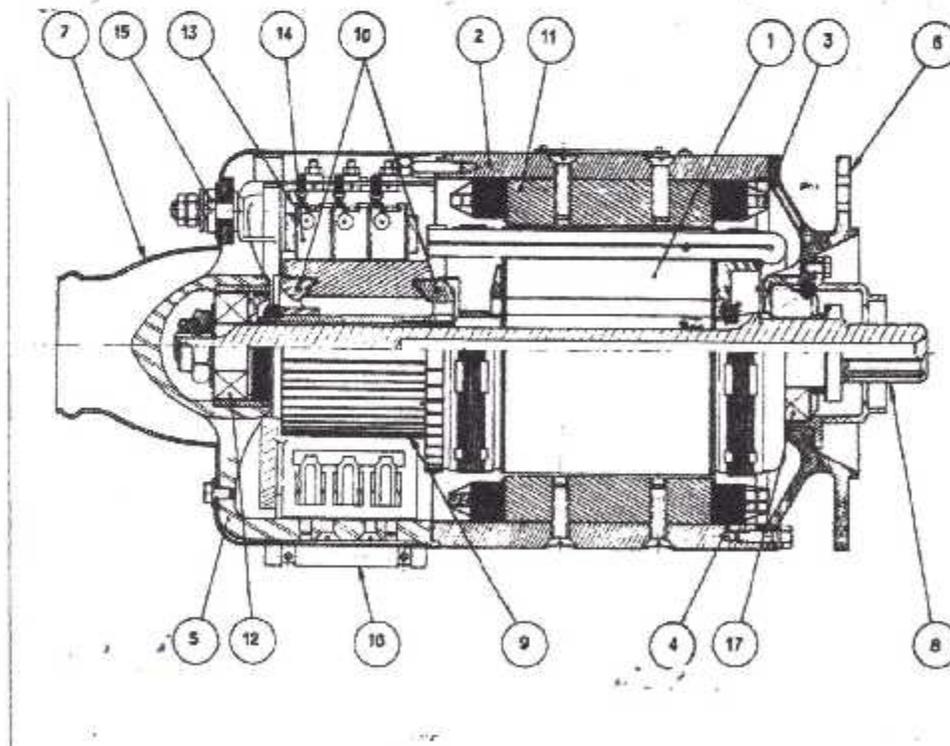


Figure 2-63 : Coupe de la dynamo démarreur.

a) L'induit (1) est constitué d'un circuit magnétique feuilleté, équipé d'un bobinage, monté sur l'arbre (8). Les sections du bobinage sont brasées à l'argent sur un collecteur (9), maintenu sur l'arbre (8) par deux cônes de serrage (10).

b) La carcasse (2) est équipée de quatre pôles (11), feuilletés, de quatre bobines inductrices shunt (4) et de quatre bobines inductrices série (3).

c) Le palier collecteur (5), & équipé d'un roulement SKF (12), porte quatre guides de balais (13), équipé chacun de trois balais (14) MARSHALL type EG 11, et une plaque à bornes (15) sur laquelle sont fixées :

- deux bornes de 8 pas 1,25 marquées D et -
- une borne de 6 pas 1 marquée +
- une borne de 4 pas 0,75 marquée EX.
- une sangle (16) protège les balais.

d) Le palier bride (6), en acier, assure la fixation de la machine par huit ouvertures boutonnières permettant la pose ou la dépose de la machine sans dévissage totale des écrous. Il est équipé d'un roulement SKF (17).

e) La tuyère de ventilation (7), en acier, constitue l'entrée d'air de refroidissement de la dynamo- démarreur.

11-2/ Manocontacteur de démarrage :

Le manocontacteur a pour fonction, dans le cas d'un démarrage, de couper l'alimentation du démarreur lorsque l'allumage du moteur est réalisé.

Ce manocontacteur travaille en fonction de la pression d'air P2 prélevé après le compresseur.

1) Manocontacteur travaillant en fonction de la pression d'air P2 :

Ce manocontacteur est monté à la partie supérieure gauche du carter d'accessoires. Il est essentiellement constitué par une membrane déformable (1), serrée entre un boîtier (2) et une entretoise (3) qui porte un poussoir (4) actionnant un mini rupteur (5).

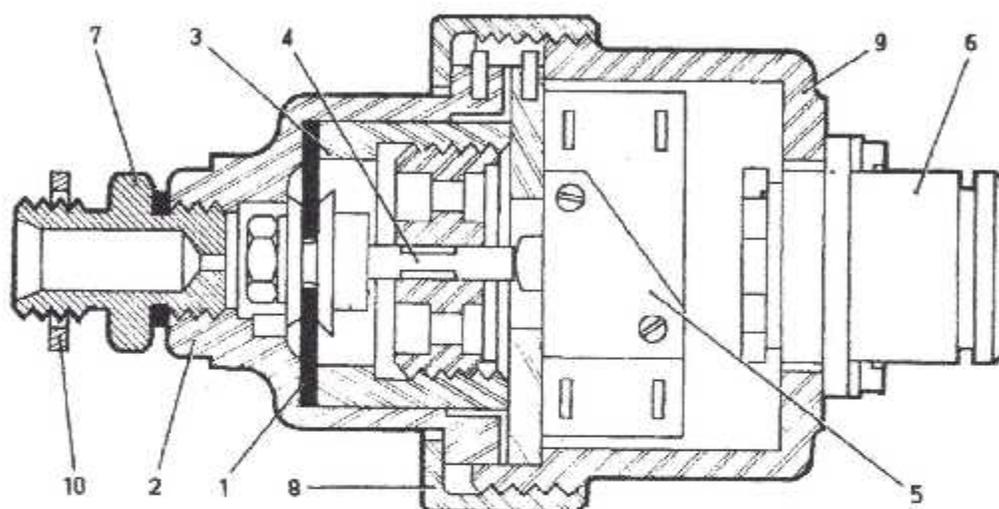


Figure 2-64 : Coupe du manocontacteur.

Une prise électrique (6) permet le raccordement du manocontacteur au boîtier de démarrage. Un mamelon double spécial (7) amène la pression d'air sur la membrane (1). Tant que la pression d'air est inférieure à la force du ressort du mini rupteur (5), la membrane (1) est maintenue en place par le poussoir (4). Lorsque la pression d'air devient supérieure à la force du ressort du mini rupteur, la membrane (1) se déforme et le poussoir (4) écrase le bouton du mini rupteur (5) qui inverse ses contacts.

2) Manocontacteur travaillant en fonction de la pression de carburant :

Ce manocontacteur est monté sur le côté gauche du moteur et fixé sur le pavillon d'entrée d'air. Il renferme essentiellement une membrane qui, soumise à une valeur déterminée de la pression de la pompe à carburant, enclenche un mini rupteur qui coupe l'alimentation du contacteur du démarreur.

Il est raccordé par une tuyauterie, équipée d'une prise de pression, au raccord de sortie de la pompe vers l'alimentation du régulateur de vitesse et relie par un faisceau électrique au boîtier de démarrage.

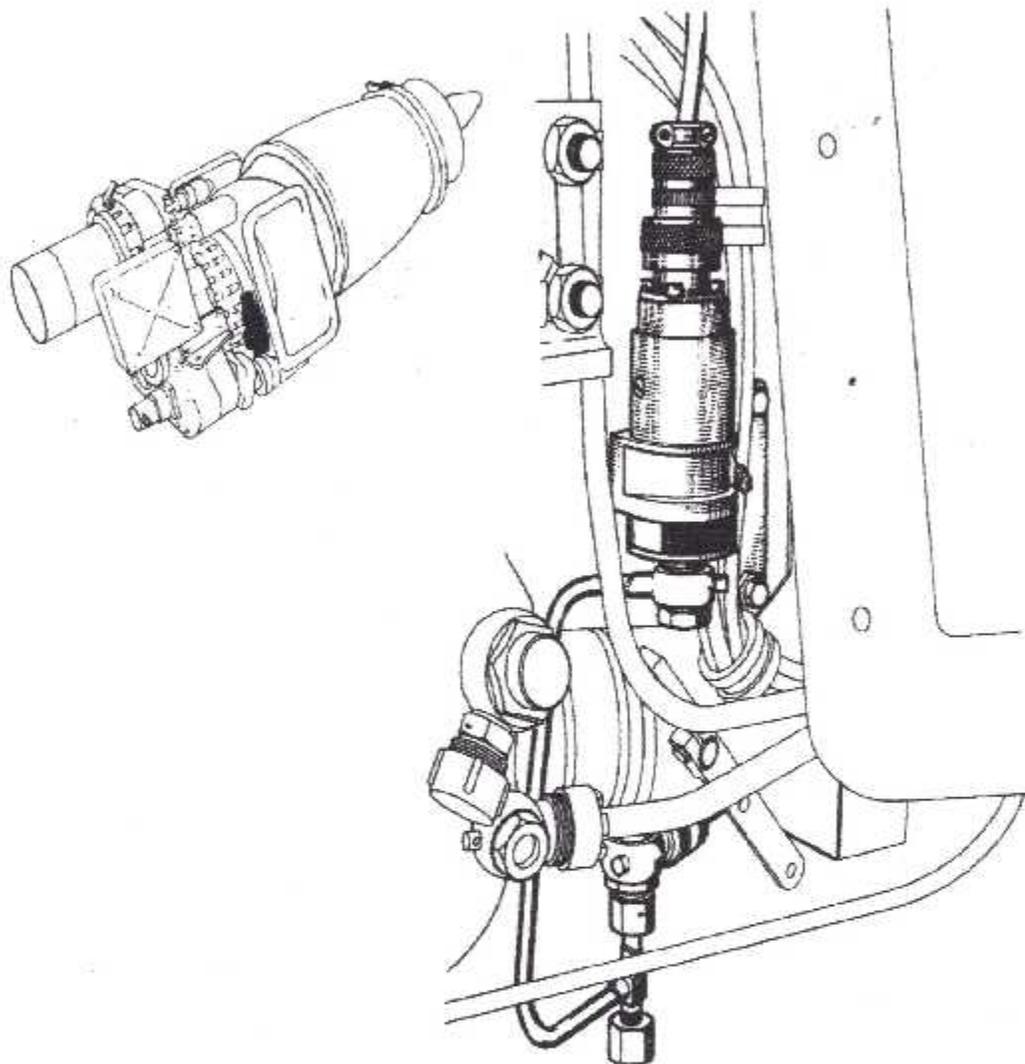


Figure 2-65 : Montage du manométrique.

3) Manométrique équipé d'un ressort plus faible (variante C) :

Le manométrique est équipé d'un ressort de compression dont la valeur de tarage est plus faible : 0.32 bar en pression croissante au lieu de 0.39 pour le ressort normal. Ce changement de ressort a pour but d'obtenir une coupure de démarreur à la vitesse de $12\ 000 \pm 1\ 000$ tr/mn.

11-3/ Témoins lumineux :

Au nombre de quatre ils sont montés sur le tableau de bord de l'aérodyne et ont pour but de renseigner le pilote en ce qui concerne le déroulement des séquences du démarrage et de fonctionnement normal de la machine. Ce sont les suivants :

- Témoin vert « démarreur », il s'allume dès que le contacteur du démarreur enclenche et s'éteint lorsqu'il déclenche.
- Témoin jaune « robinet », il s'allume lorsque la pression fournie par la micro pompe est suffisante pour enclencher son mini rupteur ce qui provoque l'alimentation de la bobine « ouvrir » du robinet électrique.
- Témoin rouge « blocage », il s'allume si les séquences du démarrage sont interrompues ou si elles sont impossibles à commander.
- Témoin rouge « limite de débit », il s'allume lorsque le doseur de carburant du régulateur est ouvert au maximum.

11-4/ Boîtier de commande automatique :

Il renferme tous les organes nécessaires pour assurer la liaison électrique entre l'avion et la turbine, les opérations de démarrage et les verrouillages contre les fausses manœuvres.

Il est constitué par un boîtier (1) fermé par un couvercle (2), séparé en deux compartiments par une cloison amovible (3). Le compartiment de gauche renferme le contacteur (4) du démarreur.

Dans le compartiment de droite sont montés :

- le bloc de commande (5), dont la partie supérieure est amovible,
- la réglette de connexion (6).

La partie amovible du bloc de commande comporte deux relais (7) et (8), deux temporisateurs (9) et (10), des résistances (11), un redresseur (12) et une prise subminiature (13).

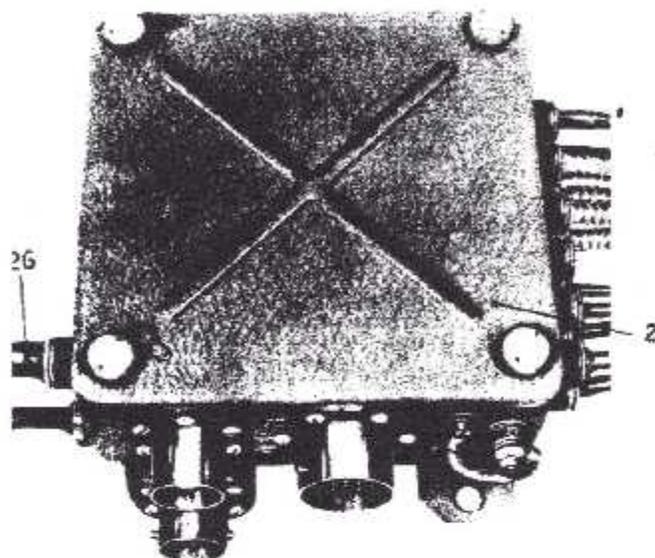


Figure 2-66 : Vue extérieure du boîtier de commande.

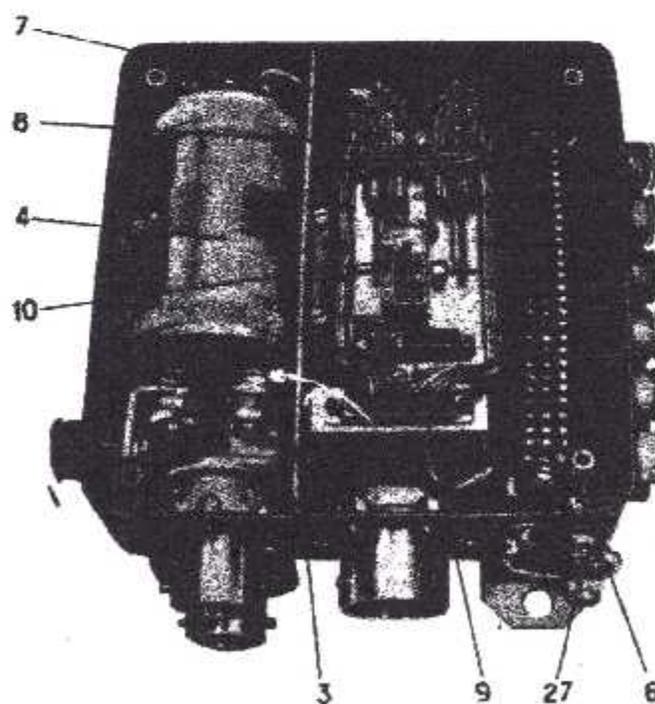


Figure 2-67 : Boîtier de commande couvercle enlevé.

Extérieurement le boîtier porte douze presses-étoupe et trois prises de courant.

a) Presses-étoupe :

Ils sont traversés par des faisceaux terminés par des prises de courant dont la liste est donnée ci-après.

N° des repères	Prise terminant le câble	Utilisation
14	13Mq	Capteur de pression d'huile
15	13Md	Manocontacteur
16 à 19		Thermocouples
20		Disponible
21	13Md	Bobone d'allumage
22	13Mq	Butee manette
23	13Md	Génératrice tachymetrique
24	13Md	Robinet électrique
25	13Md	Micro pompe
26		Alimentation de la dynamo-démarrreur.

b) Prise de courant :

- un boulon de masse (27),
- une prise à 19 broches (28) reliant le boîtier aux organes de commande aux récepteurs et aux témoins montés sur la planche de bord,
- prise à une broche (29) reliant le contacteur du démarreur au + 24 volts du circuit général,
- le raccord double (30) pour les circuits de génération.

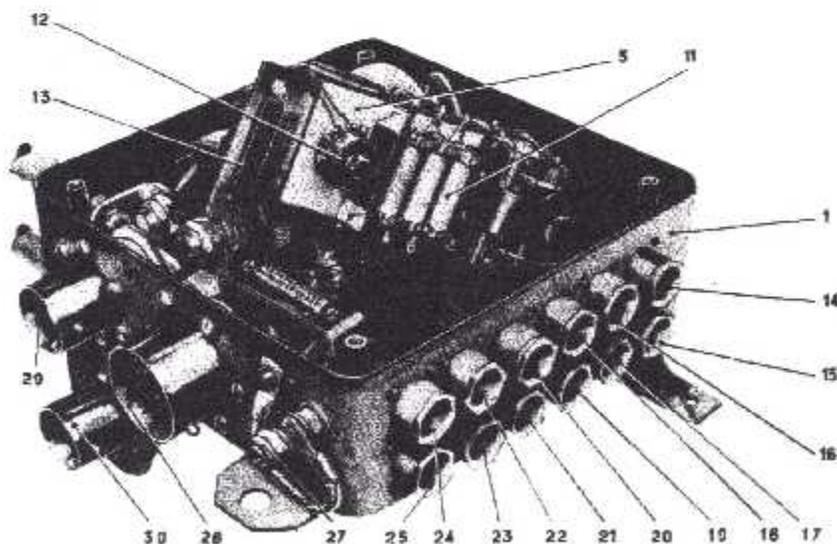


Figure 2-68 : Perspectives du boîtier couvercle enlevé et parties amovible du bloc de commande déposé.

11-5/ Contrôle de la vitesse de rotation :

La vitesse de rotation du turbomoteur est contrôlée par un transmetteur tachymétrique entraîné par la chaîne inférieure de la commande des accessoires.

Le transmetteur tachymétrique (1) est un transmetteur AMA type 110. Il est monté à droite de la pompe à carburant sur la partie inférieure de la face arrière du carter d'accessoires.

C'est un alternateur triphasé qui fournit du courant électrique d'une fréquence proportionnelle à sa vitesse de rotation. Sa vitesse de rotation est $N/10$, N étant la vitesse de la turbine.

Il est équipé d'une prise de courant (3).

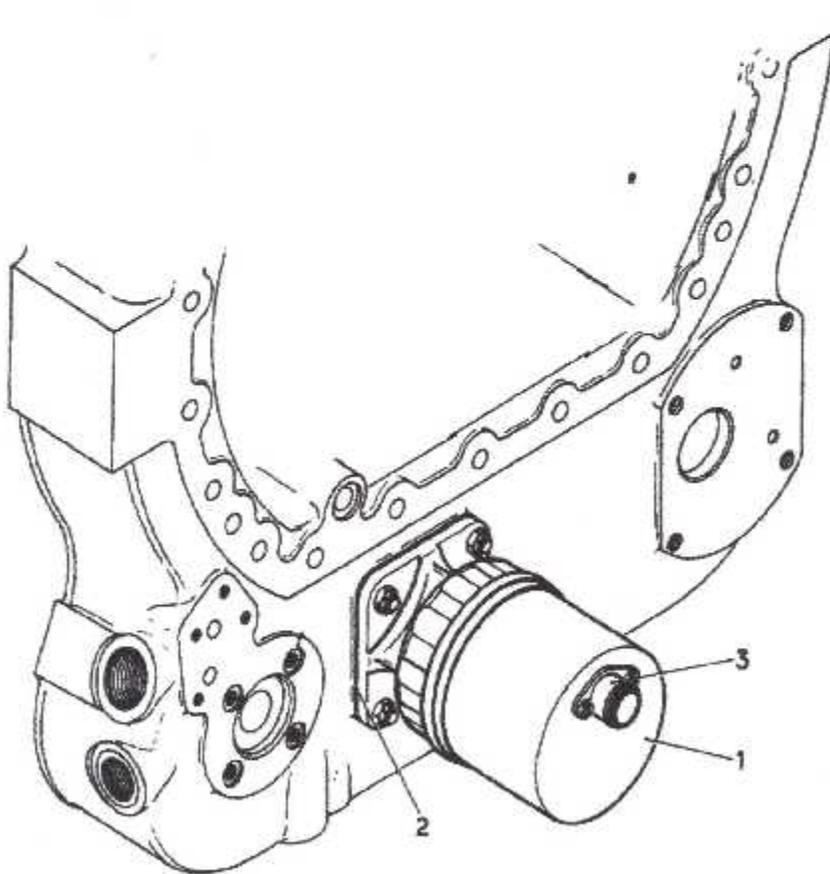


Figure 2-69 : Génératrice tachymétrique.

11-6/ Contrôle de la température des gaz :

Les thermocouples, au nombre de quatre, permettent la mesure de la température des gaz après leur passage dans la turbine.

Ils sont montés dans les bossages prévus à cet effet sur le diffuseur de sortie. Leur extrémité opposée est raccordée sur la barrette de connexion du boîtier de commande automatique.

Les thermocouples sont constitués par deux fils, l'un (1) en chromel, polarité positive, l'autre (2) en alumel, polarité négative.

Les deux fils (1) et (2), soudés bout à bout, sont montés dans une sonde (3), avec écrou (4), à l'intérieur de laquelle le tube de sonde (5), en céramique est mis en place. Après leur sortie de la sonde les fils (1) et (2) sont isolés l'un de l'autre par des perles (6) et par des gaines Silisol. L'ensemble ainsi constitué se protège par une gaine métallique (7) à l'extrémité de laquelle un écrou (8) est monté pour le raccordement sur le boîtier de commande automatique.

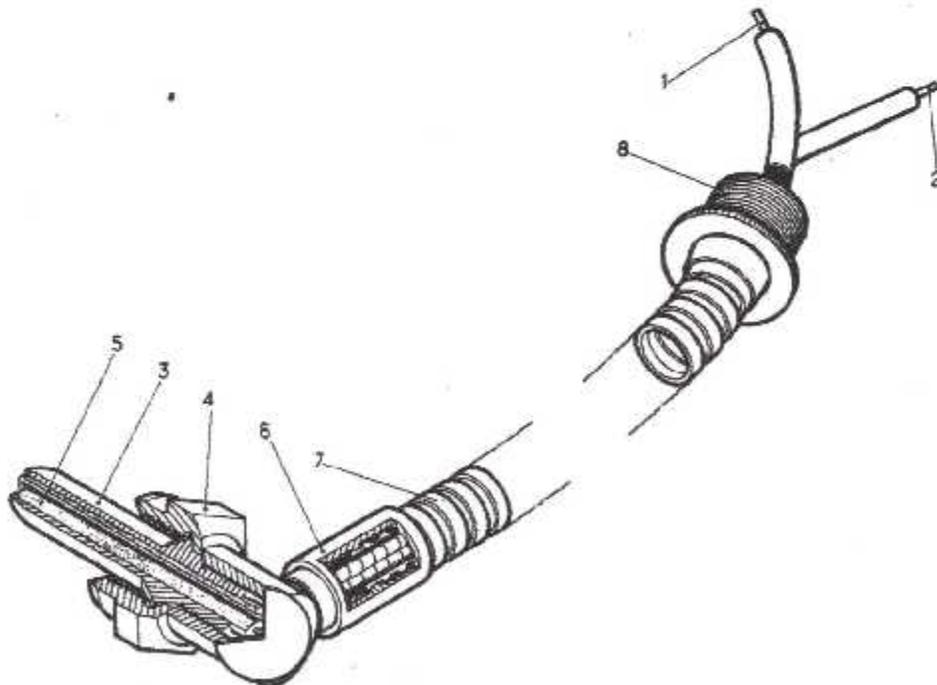


Figure 2-70 : Thermocouple.

Chapitre 03 :
Etude thermique de la
turbine à gaz

1/ INTRODUCTION :

Les moteurs alternatifs présentent des inconvénients (vibrations, pertes d'énergie dans l'embellage, pertes de chaleur à chaque aller et retour du piston, etc...) pour éviter cela, on utilisera l'écoulement d'un gaz dans une turbine pour produire le travail mécanique.

La disposition simple d'une turbine à gaz est illustrée dans la figure ci-dessous (3-1). En effet elle se compose d'un ensemble turbine-compresseur montée sur un arbre commun et d'une chambre de combustion où a lieu la réaction chimique du carburant avec l'air.

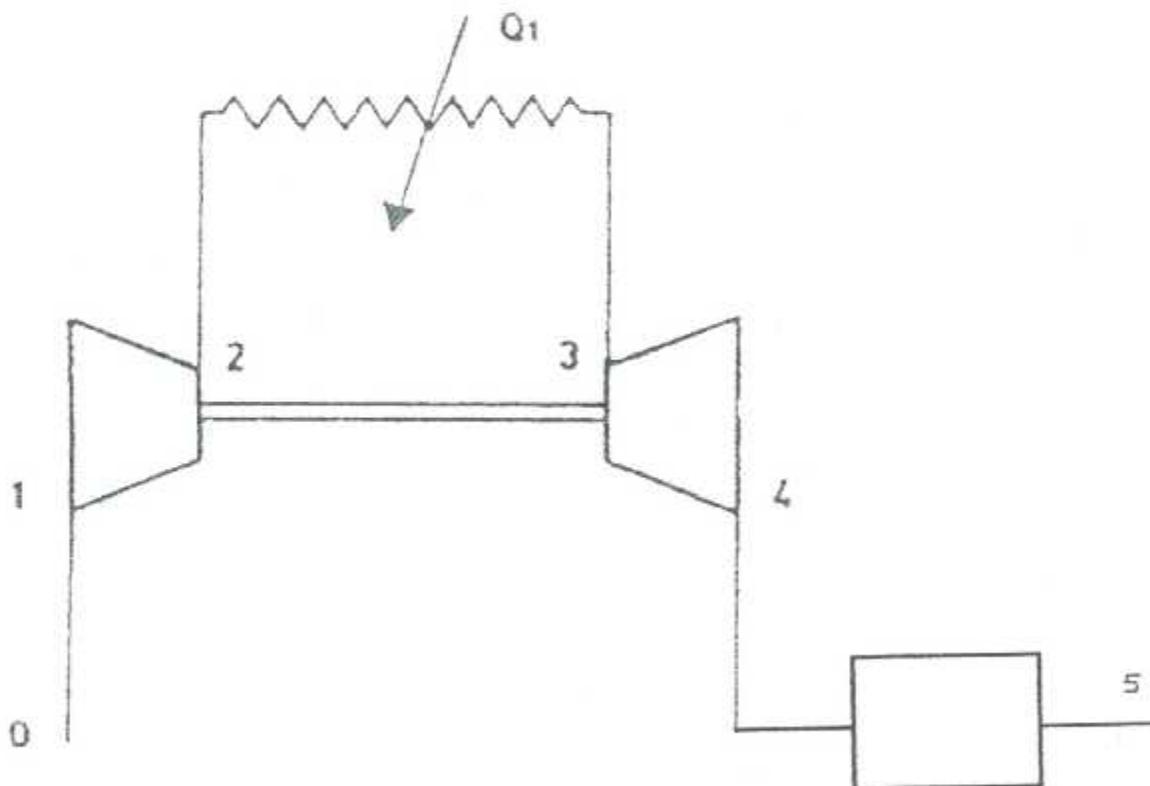


Figure 3-1 : Diagramme schématique d'une turbine à gaz simple.

Généralement la turbine à gaz est reliée à une unité permettant de recevoir un travail utile sur l'arbre comme une pompe, génératrice ou hélice. Dans ce dernier cas on parle de turbopropulseur.

2/ TURBINE A GAZ LIEE:

Une turbine à gaz liée est une machine tournante dont les éléments : compresseur, turbine, réducteur et auxiliaires sont montés sur un même arbre unique. Une illustration est montrée sur la figure (3-2) ci-dessous.

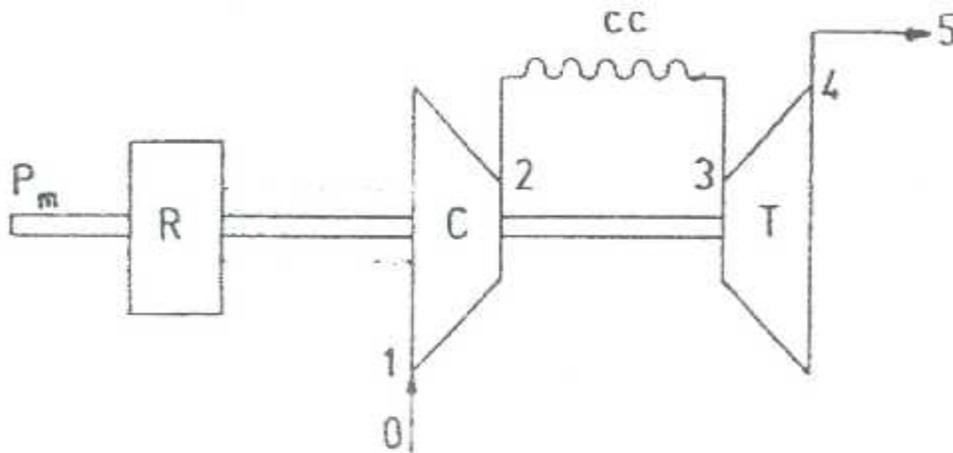


Figure 3-2 : Diagramme schématique d'un turbomoteur a turbine liée.

3/ TURBINE A GAZ LIBRE:

D'une manière similaire au cas précédant la turbine à gaz libre est une machine tournante qui présente deux ensembles tournants séparément, le bloc compresseur/turbine du générateur et le bloc turbine de puissance ou la puissance utile à l'utilisation est récupérée tandis que la première récupère la puissance nécessaire à l'entrée du compresseur et ses accessoires une illustration de ce type de turbine est montrée sur la figure (3-3).

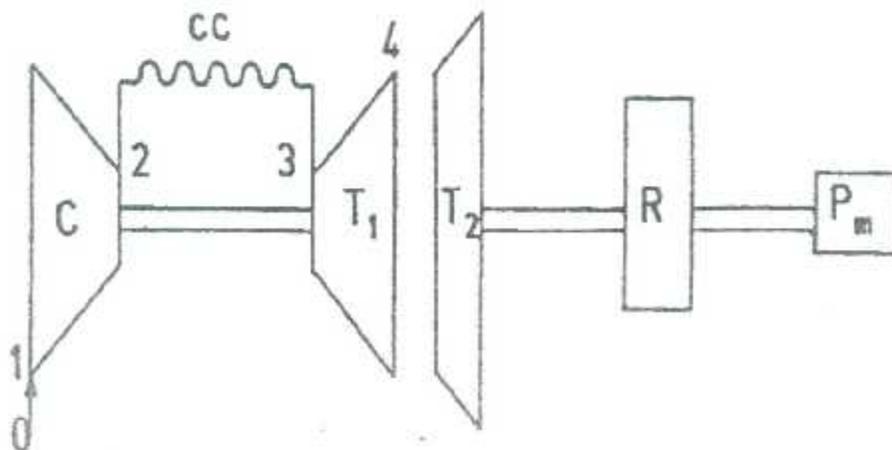


Figure 3-3 : Turbomoteur a turbine libre.

Généralement la disposition à deux aubes présente un avantage de point de vue récupération de puissance et rendement cependant est moins rentable du point de vue régulation.

4/ ETUDE DU CYCLE IDEAL D'UNE TURBINE A GAZ:

Une turbine à gaz fonctionne suivant des phases d'un cycle thermodynamique classique de compression, apport de chaleur et détente similaire au cycle de « BRAGTON ».

L'évolution est représentée sur un diagramme de CLAPYRON (P, V) et isentropique (T, S).

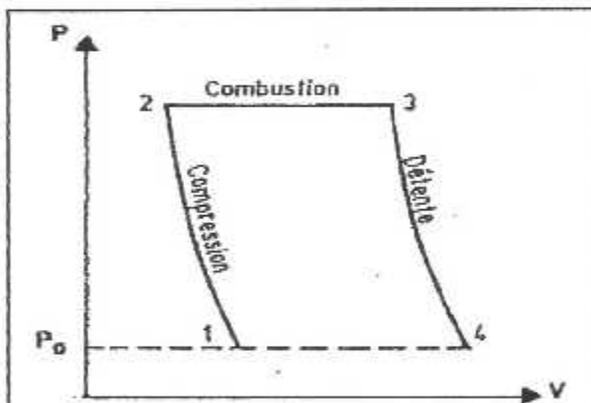


Figure 3-4 : Le cycle idéal d'une turbine à gaz simple, sur le plan P-V.

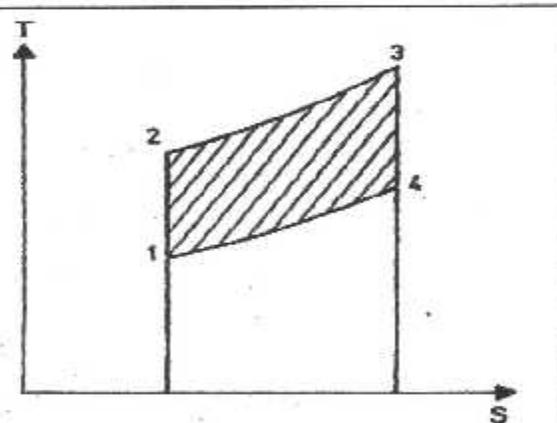


Figure 3-5 : Cycle d'une turbine à gaz simple, sur le plan T-S.

- 1-2 phase compression
- 2-3 apport de chaleur
- 3-4 phase détente

a) Compression isentropique :

En appliquant à la transformation (1-2) la relation de $PV^\gamma = cst$ et l'équation d'état, on tire la relation des rapports de température.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots (3-1)$$

Où

γ représente le rapport de la chaleur spécifique

Le travail spécifique du compresseur est déterminé par l'expression ci-dessous.

$$W_c = Cp.(T_2 - T_1) \quad [Kj/Kg] \quad \dots (3-2)$$

La puissance spécifique du compresseur représente le produit du débit au travail spécifique donnée par la relation.

$$\dot{W} = P_c = \dot{m}_a . W_c$$

Où, en injectant l'expression (3-2), on aura :

$$\dot{W} = P_c = \dot{m}_a . Cp.(T_2 - T_1) \quad [w] \quad \dots (3-3)$$

avec :

$$\dot{m}_a : \text{débit d'air traversant} \quad [Kg/s]$$

b) Combustion isobare :

Dans la chambre de combustion, l'air reçoit une quantité de chaleur équivalente à l'énergie libérée lors de la réaction de combustion.

La puissance thermique absorbée par le fluide de travail est équivalente au produit du débit carburant au pouvoir calorifique.

$$P_{th} = \dot{Q} = \dot{m}_f \cdot P_{ci} \quad [w]$$

Ce dernier correspond à l'augmentation d'enthalpie du fluide entrant/sortant de la chambre de combustion.

En d'autre terme on peut alors écrire :

$$P_{th} = \dot{Q} = \dot{m}_f \cdot P_{ci} = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot (T_3 - T_2) \quad [w] \quad \dots (3-4)$$

c) Détente isentropique dans la turbine :

Au niveau de la turbine le fluide de travail se détend en donnant naissance à un travail utile équivalant à la chute d'enthalpie dans la turbine.

En prenant l'expression $PV^\gamma = cst$ et l'équation d'état des gaz parfaits, on exprime la chute de pression par :

$$\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{T_4}{T_3} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad \dots (3-5)$$

Le travail spécifique s'exprime par :

$$W_t = C_p \cdot (T_3 - T_4) \quad \dots (3-6)$$

La puissance est calculée par la formule suivante:

$$\dot{W}_t = P_t = \dot{m}_a \cdot W_t$$

D'où

$$\dot{W}_t = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot (T_3 - T_4) \quad \dots (3-7)$$

5/ DOSAGE CARBURANT:

Le dosage carburant correspond à la quantité de carburant consommé pour un Kg d'air.

Autrement :

$$f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad \dots (3-8)$$

On peut retrouver le dosage en réalisant un bilan au sein de la chambre de combustion qui nous donne.

$$f = \frac{C_p \cdot (T_3 - T_2)}{P_{ci}} \frac{\text{Kg fuel}}{\text{Kg air}} \quad \dots (3-9)$$

On définit la consommation horaire comme étant la quantité de carburant brûlé par heure.

$$q_c = \dot{m}_f \cdot 3600 \frac{\text{Kg fuel}}{\text{h}} \quad \dots (3-10)$$

Où la consommation spécifique comme étant :

$$C_s = \frac{q_c}{P_{nette}}$$

$$\Rightarrow C_s = \frac{2.\dot{m}_f.3600}{\dot{m}_a.Cp.[(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)]}$$

$$\Rightarrow C_s = \frac{3600}{f.Cp.[(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)]} \quad \dots (3-11)$$

La puissance nette du cycle s'exprime comme l'indique les formules ci-dessous:

$$P_{nette} = \dot{W}_t - \dot{W}_c$$

$$P_{net} = \dot{m}_a.Cp.[(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] \quad \dots (3-12)$$

6/ RENDEMENT THERMIQUE DU CYCLE:

Le rendement thermique de la turbine à gaz correspond au rapport de la puissance nette du cycle à la puissance thermique absorbée.

En d'autre terme :

$$\eta_{th} = \frac{\text{puissance utile du cycle}}{\text{puissance absorbé}}$$

D'où :

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_u}{\dot{Q}} \quad \dots (3-13)$$

En injectant les expressions (3-10) et (3-4) on aura donc :

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}_a \cdot C_p \cdot (T_3 - T_4) - \dot{m}_a \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)}{\dot{m}_f \cdot P_{ci}}$$

$$\eta_{th} = \frac{C_p \cdot [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)]}{f \cdot P_{ci}}$$

En considérant la relation du premier principe de la thermodynamique pour un cycle ouvert adiabatique :

$$\dot{W} + \dot{Q} = \Delta H \quad \dots (3-14)$$

Où :

$$Q = 0$$

On peut exprimer la relation (3-7) comme il est indiqué :

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_2 - \dot{Q}_1}{\dot{Q}_1}$$

Ou :

$$\eta_{th} = \frac{C_p \cdot (T_3 - T_2) - C_p \cdot (T_4 - T_1)}{C_p \cdot (T_3 - T_2)} \Rightarrow \eta_{th} = \frac{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)}{T_3 - T_2}$$

Après quelques simplifications on obtient :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad \dots (3-15)$$

Pour la transformation isentropique (1-2) :

$$T_1 P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots (3-16)$$

Pour la transformation isentropique (3-4) :

$$T_3 P_3^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_4 P_4^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \Rightarrow \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots (3-17)$$

Or :

$$P_1 = P_4 \text{ et } P_2 = P_3 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = \frac{T_3 - T_2}{T_4 - T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Avec :

$$\pi_c = \frac{P_2}{P_1} \text{ c'est le rapport de compression}$$

Donc le rendement théorique de la turbine est :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad \dots (3-18)$$

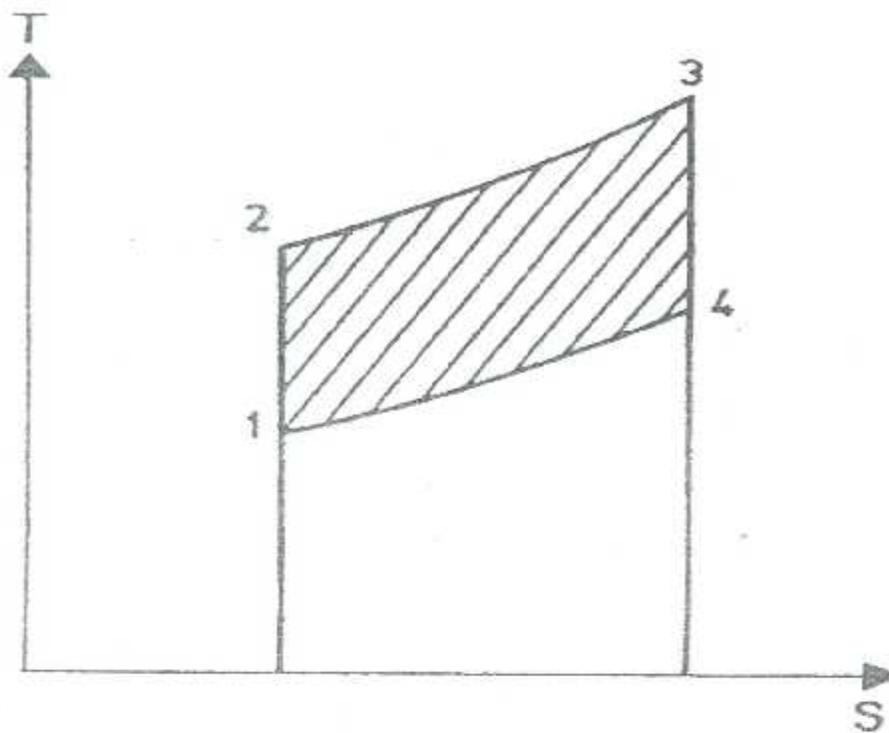


Figure 3-6 : Cycle d'une turbine à gaz simple, sur le plan T-S.

Sur le diagramme T-S, figure 3, on aura :

$$dQ = T.dS$$

$$Q = \int T.dS$$

L'aire sous la courbe (2-3) représente la chaleur apportée par la combustion.

$$Q_1 = Cp.(T_3 - T_2) \quad \dots (3-19)$$

L'aire sous (4-1) représente la chaleur refoulée avec l'échappement :

$$Q_2 = Cp.(T_4 - T_1) \quad \dots (3-20)$$

La différence entre les deux aires, c'est-à-dire l'aire entre les deux courbes (2-3) et (4-1) représentera le travail net du cycle W_n :

$$W_n = C_p \cdot [(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)] \quad \dots (3-21)$$

7/ CYCLE REEL DU TURBOMOTEUR SIMPLE :

Le cycle réel diffère du cycle théorique par suite de l'irréversibilité des transformations réelles.

La compression et la détente ne sont pas isentropiques (adiabatiques et réversibles) mais plutôt polytropiques. L'existence des forces de frottements internes se manifeste par un accroissement d'entropie.

Les lois qui régissent ces deux évolutions seront :

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad \dots (3-22)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad \dots (3-23)$$

L'expression qui relie le coefficient polytropique n et le rapport des chaleurs spécifiques :

Soit le rendement polytropique tel que :

$$\eta_p = \lim_{\pi_c \rightarrow 1} \eta_s = \lim_{\pi_c \rightarrow 1} \frac{\Delta T_{ts}}{\Delta T_t} = \frac{dT_{ts}}{dT_t} = \text{cte}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{T_1}{P_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = cte &= \frac{dT_{1s}}{T_1} = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{dP_1}{P_1} \\ \frac{T_1}{P_1^{\frac{n-1}{n}}} = cte &\Rightarrow \frac{dT_1}{T_1} = \frac{n-1}{n} \frac{dP_1}{P_1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{dT_{1s}}{dT_1} = \frac{\gamma-1}{n-1} = \eta_{pc}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \eta_{pc} &= \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{n}{n-1} \\ \text{et} \\ n &> \gamma \end{aligned} \right. \quad \dots (3-24)$$

Où n est l'exposant de compression polytropique ou de détente polypropique.

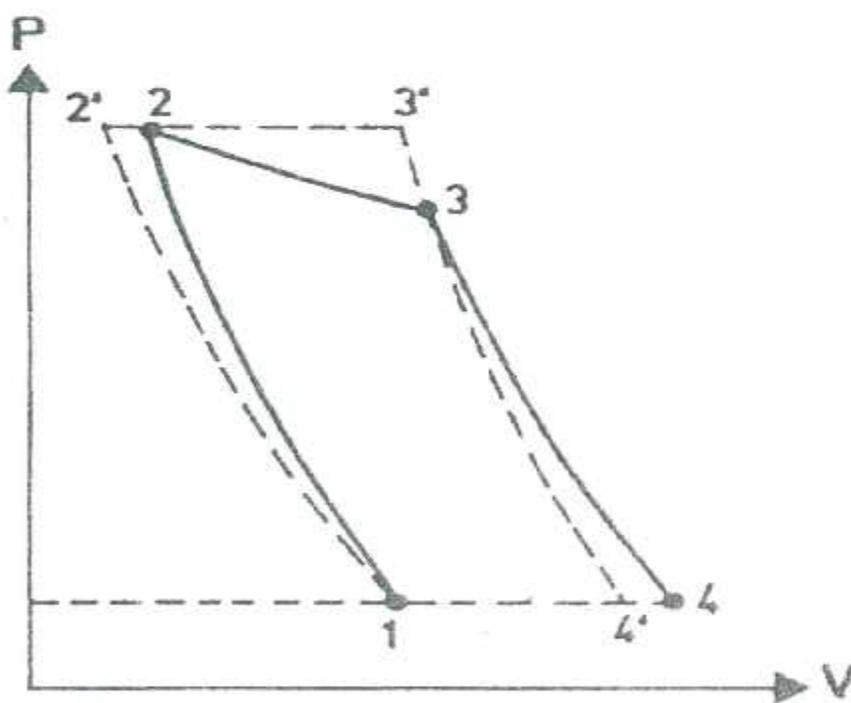


Figure 3-7 : Cycle réel de turbomoteur sur le plan P-V.

La combustion elle-même est accompagnée d'une légère perte de charge et la pression du point (3) est légèrement inférieure à celle du point (2).

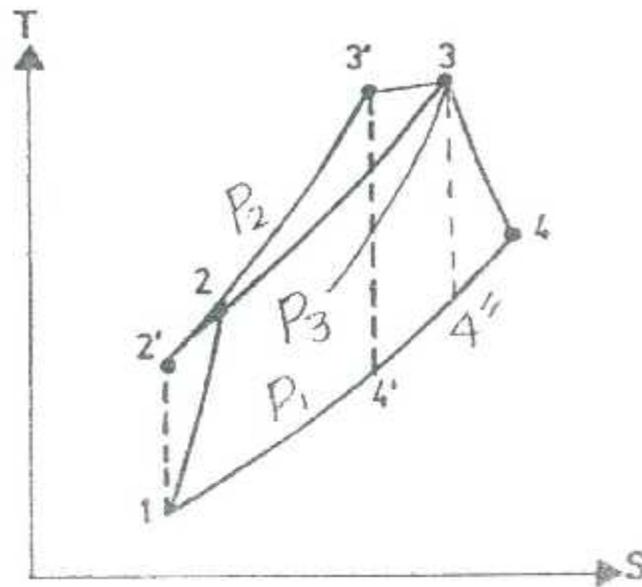


Figure 3-8 : Cycle réel de turbomoteur sur le plan T-S

➤ Rendement du cycle réel :

- Le rendement isentropique du compresseur η_c qui caractérise les pertes pendant la compression est :

$$\eta_c = \frac{T_2' - T_1}{T_2 - T_1} \quad \dots (3-25)$$

- Le rendement isentropique de la turbine η_t qui caractérise les pertes pendant la détente est :

$$\eta_t = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_4'} \quad \dots (3-26)$$

- Le rendement de combustion η_b est :

$$\eta_b = \frac{\dot{m}_a \cdot C_{p_b} \cdot (T_3 - T_2)}{\dot{m}_f \cdot P_{ci}} \quad \dots (3-27)$$

Des valeurs courantes sont : $\eta_c = 0.85$, $\eta_t = 0.9$, $\eta_b = 0.98$

En fait, le rendement global du compresseur doit être défini comme étant le rapport entre la puissance aérodynamique produite et la puissance mécanique absorbée sur arbre.

Les pertes du compresseur sont des pertes aérodynamiques, qui proviennent de la séparation des couches limites et de la viscosité, les fuites, etc et des pertes mécaniques qui proviennent du frottement entre les pièces mobiles (paliers, labyrinthe, accouplements,...). Le rendement global turbine doit être aussi défini comme le rapport entre la puissance mécanique nette livrée sur l'arbre et la puissance aérothermodynamique disponible dans les gaz à son entrée.

Les pertes de la turbine sont de nature pareille à celles du compresseur. On peut y ajouter des pertes de chaleur par transfert de chaleur à travers les parois extérieure de la turbine, ce qui détériore la qualité adiabatique de la détente. Ces pertes sont réduites par le calorifugeage de la turbine.

Les pertes de la chambre de combustion sont diverses :

- La combustion incomplète qui se manifeste par la sortie des produits tels que C (le carbone), CO, les hydrocarbures non-brûlés, etc.
- Les pertes de chaleur par conduction, et par rayonnement, dues à l'isolation thermique imparfaite.
- Les autres sources de pertes.

En général, le rendement global du turbomoteur doit être prononcé comme suit :

$$\eta = \frac{\text{puissance mécanique nette reçue sur l'arbre}}{\text{chaleur équivalente du carburant consommé}}$$

$$\eta = f(\eta_{cs}, \eta_{th}, \eta_m)$$

$$\eta_m = \frac{\text{travail effectif disponible sur l'arbre}}{\text{travail indiqué}}$$

Ou

- η_m représente le rendement mécanique du réducteur de vitesse.

En cas où le turbomoteur est utilisé comme unité électrogène, le rendement de l'unité est le rapport entre la puissance électrique nette aux bornes du générateur et la puissance de chaleur équivalente du carburant consommé. Ainsi, on a tenu compte des pertes générateur (pertes de fer, pertes de cuivre, pertes mécaniques).

En utilisant les enthalpies on a le travail utile du cycle réel ayant pour expression :

$$\eta_r = \frac{\dot{W}_u}{\dot{Q}} \quad \dots (3-28)$$

avec

$$\dot{W}_u = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_{cr} \quad \dots (3-29)$$

$$\dot{W}_u = \eta_t \cdot \dot{W}_t - \frac{\dot{W}_c}{\eta_c}$$

avec

$$\begin{cases} \dot{W}_t = H_3 - H_4' \\ \dot{W}_c = H_2' - H_1 \end{cases} \text{ du cycle théorique} \quad \dots (3-30)$$

$$\dot{W}_u = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_{cr} = \eta_t \dot{W}_t - \frac{\dot{W}_c}{\eta_c} = \eta_t \cdot (H_3 - H_4') - \frac{1}{\eta_c} (H_2' - H_1)$$

Pour un gaz parfait $\Delta H = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot \Delta T$, on peut donc écrire

$$\dot{W}_u = \eta_t \dot{m}_a \cdot C_{p_t} (T_3 - T_4') - \dot{m}_a \cdot \frac{C_{p_c}}{\eta_c} (T_2' - T_1) = \eta_t \cdot \dot{m}_a \cdot C_{p_t} T_3 \cdot \left(1 - \frac{T_4'}{T_3}\right) - \frac{\dot{m}_a \cdot C_{p_c} T_1}{\eta_c} \cdot \left(\frac{T_2'}{T_1} - 1\right)$$

$$\text{Or : } \begin{cases} \frac{T_2'}{T_1} = \pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \\ \text{et} \\ \frac{T_4'}{T_3} = \frac{1}{\pi_t^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \dot{W}_u = \dot{m}_a \left[\eta_t \cdot C_{p_t} \cdot T_3 \left(1 - \frac{1}{\pi_t^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) - \frac{C_{p_c} \cdot T_1}{\eta_c} \left(\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \right] \quad \dots(3-31)$$

Avec

$$\pi_c = \frac{P_2'}{P_1} \quad \dots (3-32)$$

La puissance calorifique dépensée dans ce cycle est :

$$\dot{Q} = (\dot{m}_a + \dot{m}_f) C_{p_b} \cdot T_3 - \dot{m}_a \cdot C_{p_c} \cdot T_2 = \dot{m}_f \cdot P_{ci} \cdot \eta_b \quad \dots (3-33)$$

En devisant sur \dot{m}_a et après simplification on aura :

$$\begin{aligned} (1+f) C_{p_b} T_3 - C_{p_c} T_2 &= f \cdot P_{ci} \cdot \eta_b \\ \Rightarrow f \cdot (C_{p_b} T_3 - P_{ci} \cdot \eta_b) &= C_{p_c} T_2 - C_{p_b} T_3 \\ \Rightarrow f &= \frac{C_{p_c} T_2 - C_{p_b} T_3}{C_{p_b} T_3 - P_{ci} \cdot \eta_b} \end{aligned}$$

Finalement on aura :

$$f = \frac{\frac{Cp_c \cdot T_2}{Cp_c \cdot T_3} - 1}{1 - \frac{P_{ci} \cdot \eta_b}{Cp_b \cdot T_3}} \quad \dots (3-34)$$

Soit le rendement de la combustion :

$$\eta_b = \frac{(\dot{m}_a + \dot{m}_f)H_3 - \dot{m}_a H_2}{\dot{Q}} \quad \dots (3-35)$$

$$\Rightarrow \dot{Q} = \frac{(\dot{m}_a + \dot{m}_f)H_3 - \dot{m}_a H_2}{\eta_b}$$

$$\Rightarrow \dot{Q} = \frac{(\dot{m}_a + \dot{m}_f)Cp_b \cdot T_3 - \dot{m}_a \cdot Cp_c \cdot T_2}{\eta_b}$$

$$\Rightarrow \dot{Q} = \frac{T_3 \left[(\dot{m}_a + \dot{m}_f)Cp_b - \dot{m}_a \cdot Cp_c \frac{T_2}{T_3} \right]}{\eta_b}$$

D'après l'expression du rendement du compresseur on aura

$$\eta_c = \frac{T_2' - T_1}{T_2 - T_1} \begin{cases} T_2 - T_1 = \frac{T_2' - T_1}{\eta_c} \\ T_2 = T_1 + \frac{T_2' - T_1}{\eta_c} = T_1 + \frac{T_1}{\eta_c} \left(\frac{T_2'}{T_1} - 1 \right) = T_1 \left(1 + \frac{1}{\eta_c} \left(\frac{T_2'}{T_1} - 1 \right) \right) \end{cases}$$

$$\Rightarrow T_2 = T_1 \left[1 + \frac{\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_c} \right] \quad \dots (3-36)$$

Remplaçant dans \dot{Q} on aura :

$$\Rightarrow \dot{Q} = \frac{T_3 \left[(\dot{m}_a + \dot{m}_f) C_{p_b} - \dot{m}_a C_{p_c} \frac{T_1}{T_3} \left(1 + \frac{\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_c} \right) \right]}{\eta_b} \quad \dots (3-37)$$

D'où le rendement du cycle réel de la turbine à combustion sera :

$$\Rightarrow \eta_r = \frac{\eta_b \dot{m}_a \left[\eta_c C_{p_t} T_3 \left(1 - \frac{1}{\pi_t^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) - \frac{C_{p_c} T_1}{\eta_c} \left(\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \right]}{T_3 \left[(\dot{m}_a + \dot{m}_f) C_{p_b} - \dot{m}_a C_{p_c} \frac{T_1}{T_3} \left(1 + \frac{\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_c} \right) \right]} \quad \dots (3-38)$$

$$\Rightarrow \eta_r = \frac{\eta_b \cdot \dot{m}_a \left[\eta_t \cdot C_{p_t} \cdot T_3 \left(1 - \frac{1}{\pi_t^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) - \frac{C_{p_c} \cdot T_1}{\eta_c} \left(\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \right]}{T_3 \cdot \dot{m}_a \left[\left(1 + \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \right) \cdot C_{p_b} - C_{p_c} \frac{T_1}{T_3} \left(1 + \frac{\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_c} \right) \right]} \dots (3-39)$$

Finalement le réel à pour expression :

$$\Rightarrow \eta_r = \frac{\eta_b \left[\eta_t \cdot C_{p_t} \cdot T_3 \left(1 - \frac{1}{\pi_t^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) - \frac{C_{p_c} \cdot T_1}{\eta_c} \left(\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \right]}{T_3 \left[(1+f) C_{p_b} - C_{p_c} \frac{T_1}{T_3} \left(1 + \frac{\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_c} \right) \right]} \dots (3-40)$$

Chapitre 04 :
Conception et réalisation

1/ INTRODUCTION :

Ce chapitre sera consacré à la présentation du banc d'essai et de ses différents accessoires qui ont été conçu et réalisé ainsi que le mode de fonctionnement et opératoire du moteur.

La conception des différents éléments à été entrepris sur un logiciel de désignation SOLID WORKS. De conception paramétrique en 3D qui tire le profit de l'interface graphique de Microsoft windows.

Grâce à cet outil, on a put esquisser rapidement nos idées expérimentées avec des fonctions et des cotes et produire des modèles de pièces et d'assemblage ainsi que des mises en plan précises.

2/ LE BANC D'ESSAI :

Le banc d'essai est constitué essentiellement d'un bâti principal qui porte un socle moteur qui sert de support pour la turbine à gaz, un réservoir à carburant posé sur un socle mobile, le silencieux et un papitre de commande.



Figure 4-1 : Le banc d'essai.



Figure 4-2 : Le banc d'essai.

2-1/ Le bâti principal :

C'est un socle conçu d'une manière à contenir le moteur avec son support à l'intérieur sans avoir de problème d'encombrement, pour réaliser les opérations de montage/démontage et éventuellement les interventions d'entretien du moteur en gardant les conditions maximum de sécurité.

D'autre part, le bâti doit aussi être résistant et fixé au sol afin de ne pas permettre des déplacements au vibration auquel le moteur est porté à plein régime.

La partie supérieure du bâti possède deux portes d'acier blindées et isolées phonétiquement équipées de hublot présentant la partie arrière du moteur tendit que, à l'avant deux panneaux grillagés métalliques démontables fixés afin de pouvoir laisser le passage de l'air et protéger l'entrée de la turbine à gaz d'éventuelle aspiration accidentelle d'objet.

La partie inférieure reçoit les câblages électriques et l'armoire électrique moteur, cette dernière est fixée sur le panneau arrière gauche.

Trois panneaux supplémentaires démontables sont fixés respectivement sur l'avant, l'arrière et la droite.

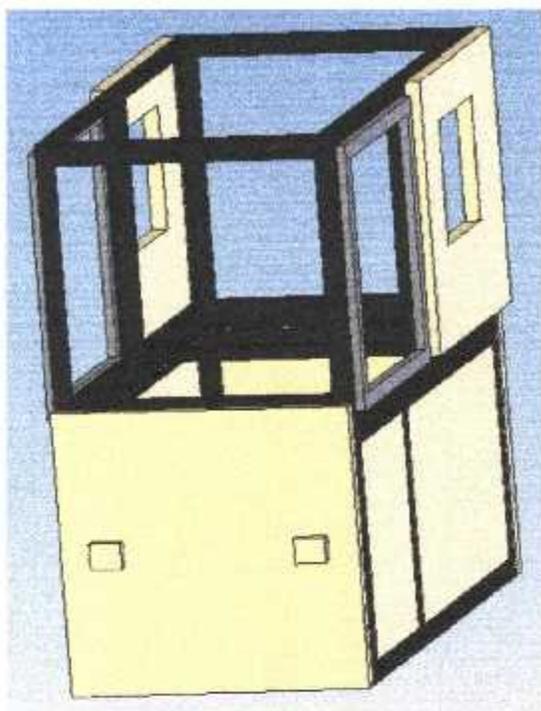


Figure 4-3 : Le socle principal /sw.

La réalisation du bâti est faite par assemblage mécano soudure de cornier d'acier de dimension $50 \times 50 \text{ mm}^2$, cependant le panneau avant et arrière en tôle d'acier doux de 3mm d'épaisseur et de panneau latéraux en bois contre plaque de 8mm.

Pour éviter les problèmes de corrosion et pour présenter le banc, une peinture est appliquée sur le socle et les panneaux ainsi que les portières.



LE BÂTI
PRINCIPALE

Figure 4-4 : Le socle principal.

2-2/ Le support moteur :

Le support moteur permet de porter le moteur sur les trois points de fixation respectivement, deux latérales et une arrière.

Il a été conçu sur solide Works de manière à ce qu'il puisse résister à la charge et aux efforts de vibrations étant donné que le moteur ne produit pas de poussée par éjection des gaz et que le maximum de son poids est vers l'avant. Les appuis de l'avant seront beaucoup plus renforcés.

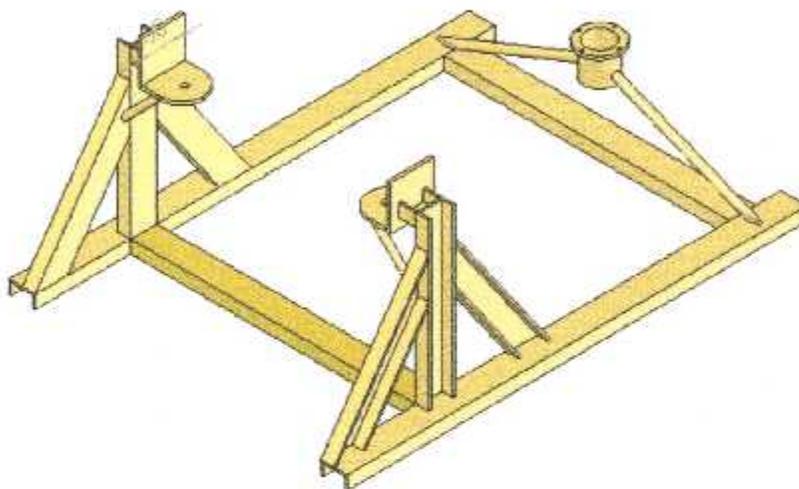


Figure 4-5 : Le support moteur /sw.

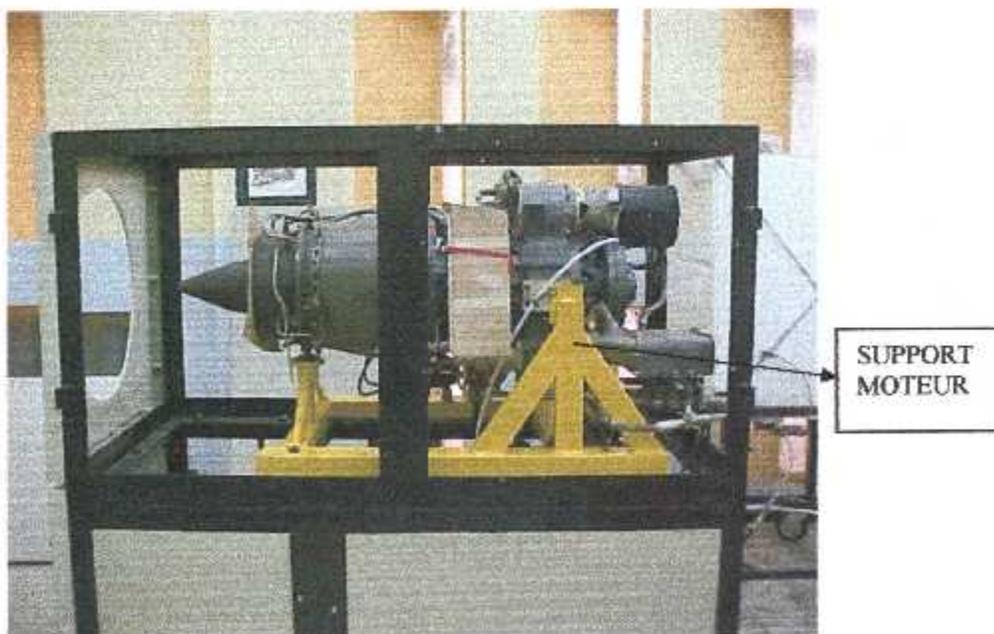


Figure 4-6 : Le support moteur

Le socle moteur est réalisé par un tube rectangulaire en U de $60 \times 60 \text{ mm}^2$ et $100 \times 30 \text{ mm}^2$ respectivement des cornières $100 \times 100 \text{ mm}^2$ sont soudées au tube afin de pouvoir porter le moteur sur cet appui avant. Tandis que l'appui arrière est constitué du support (annexe 1) soutenue par deux tubes d'acier ordinaire de diamètre 12 soudés à la base sur les longerons latéraux en U.

2-3/ Le support réservoir carburant :

Le réservoir disponible de dimension et d'une capacité de 500l doit être supporté et maintenu fixe.

Pour cela, on choisi de porter le réservoir sur un socle fabriqué en tube acier $40 \times 40 \text{ mm}^2$ et porté sur roue mobile permettant un déplacement éventuelle.

La conception à été entreprise sur le logiciel solide Works afin de dimensionner le socle et avoir une idée préalable sur l'encombrement.

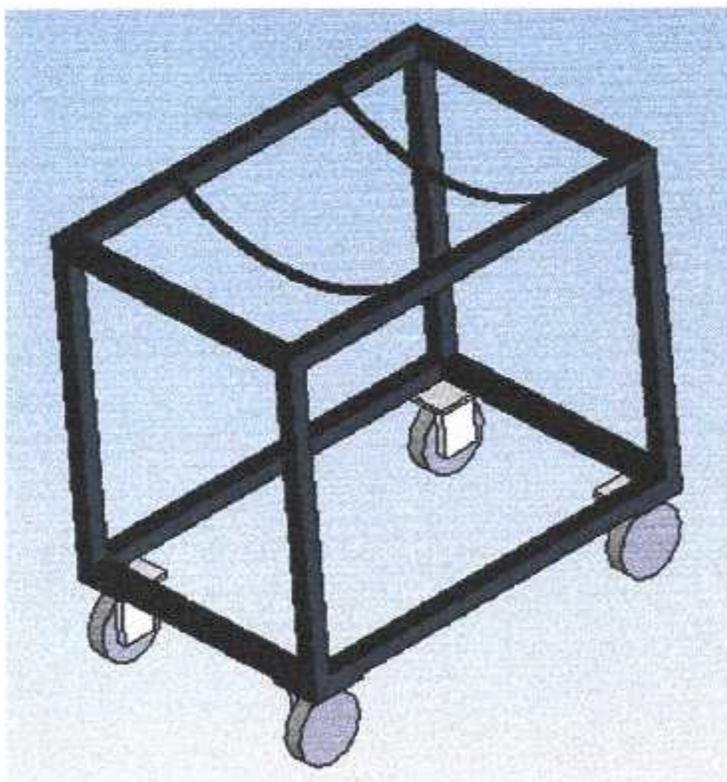


Figure 4-7 : Le support réservoir carburant /sw.

Le socle est peint avec une peinture de couleur marron.

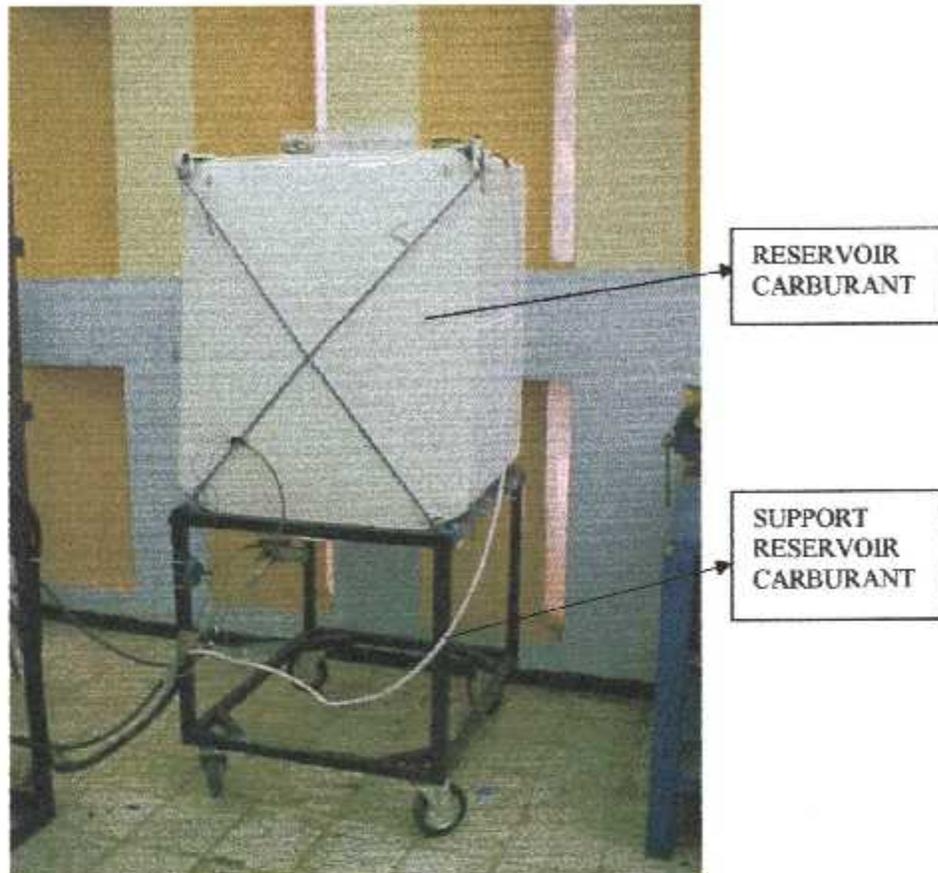


Figure 4-8 : Le support réservoir carburant.

2-4/ Réservoir d'huile :

Vue la non disponibilité d'un réservoir d'huile pour le circuit de graissage du banc d'essai, on a été ramené à reprendre les mêmes dimensions du réservoir d'une capacité de 7l qui est monté sur l'appareil et de mettre en feuille son dessin déplier pour le découper sur tôle.

Il est réalisé en tôle d'acier doux de 2mm, son pliage est réalisé avec une plieuse. L'assemblage des deux bouts de la tôle pliée et les facettes est réalisé avec soudage.

Il présente trois connections latérales permettant de connecter l'alimentation, l'aspiration et la sonde résistive de température d'huile.

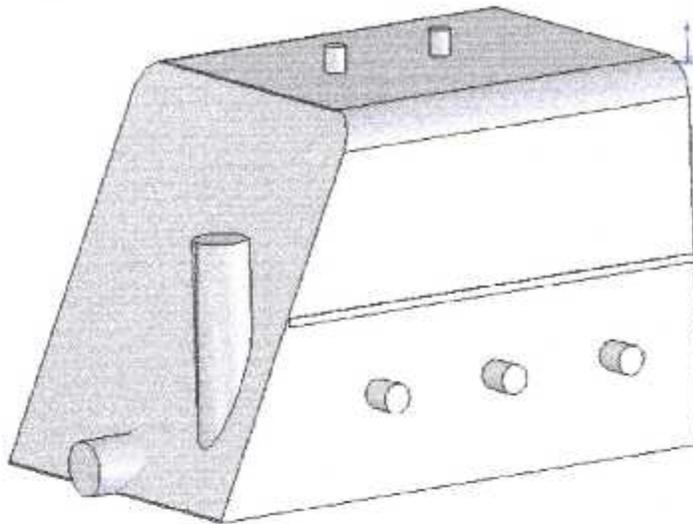


Figure 4-9 : Le réservoir d'huile /sw.

Tendit que la partie supérieure présente deux connexions une provenant du moteur pour le dégazage et l'autre pour la mise à l'air libre.

2-5/ Support réservoir d'huile :

En évitant toujours le problème d'encombrement et en prenant en compte l'emplacement réel du réservoir par rapport au moteur on a réalisé un support pour le réservoir d'huile avec des barres en tube carré de 25x25 mm² et qui est fixé sur le socle principale par soudage. Le socle est peint avec de la couleur noire pour le protéger contre la corrosion.



Figure 4-10 : Le support réservoir d'huile.



Figure 4-11 : Le support réservoir d'huile.

2-6/ Le silencieux :

Vu son intérêt pour diminuer les nuisances sonores causés par l'éjection des gaz à travers la tuyère. Le silencieux est remis en état après quelques actions de nettoyages et de peinture, et pour avoir une coaxialité entre le silencieux et la tuyère d'éjection, la modification de la fixation sur le bâti et le support réglable en hauteur est obligatoire.

Des travaux de soudure et d'ajustage ont été entrepris pour parvenir à une coaxialité avec l'axe du moteur.

Le support silencieux est conçu d'une façon à fixé le silencieux au dessus et avoir une possibilité de changer sa hauteur. Il est fabriqué à base d'acier dur et composé de deux parties, partie fixe et partie mobile. Le socle est muni de quatre roues pour faciliter son déplacement.

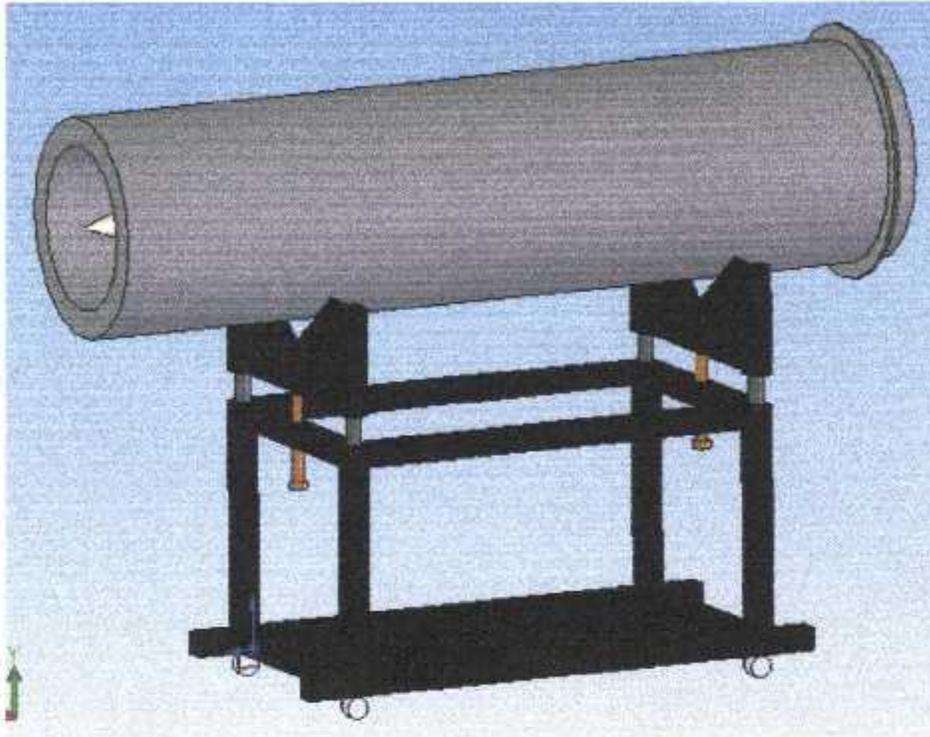


Figure 4-12 : Le support silencieux.

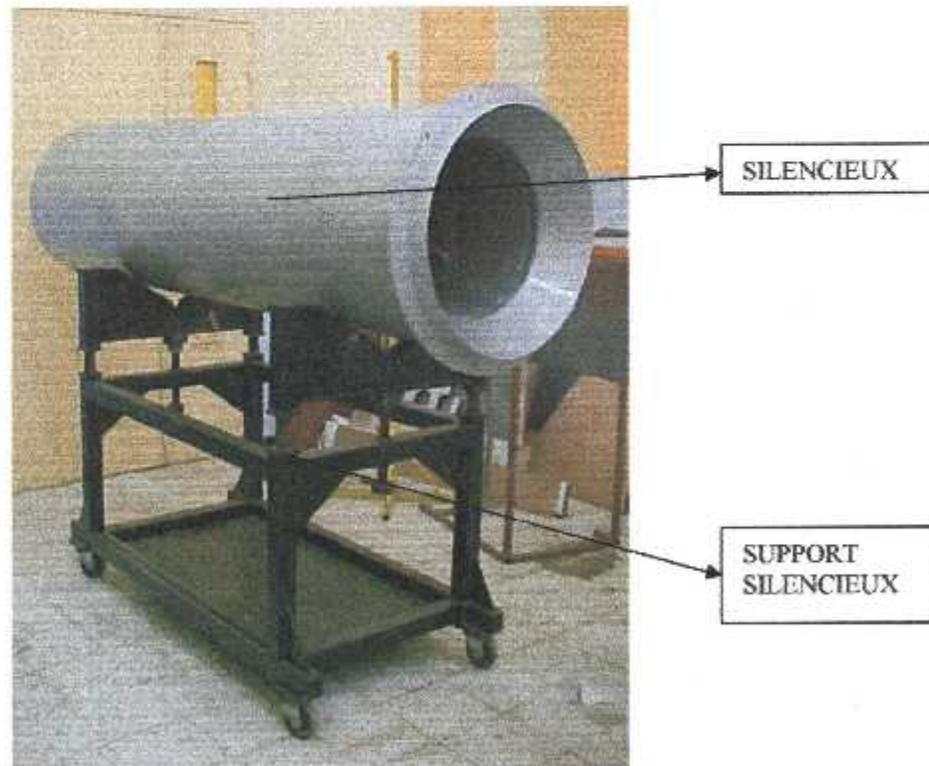


Figure 4-13: Le support silencieux.



Figure 4-14 : La fixation du silencieux sur le bâti.

2-7/ Le grillage :

Vu l'aspiration du moteur des deux cotés, droit et gauche de la partie avant du socle principal, l'utilisation d'un grillage est nécessaire pour éviter l'aspiration de toutes autres choses à part l'air, et de réaliser une sécurité pour le moteur et l'utilisation contre l'aspiration et les éléments tournants.



Figure 4-15 : Le grillage.

2-8/ Pupitre contrôle :

Il est réalisé principalement avec une structure métallique (les dimensions sont sur le schéma) avec des parties en bois. Elle est réalisée en tube de section carrée (40*40) mm². Les liaisons utilisées sont démontables (vis) entre bois et tube, non démontables (soudures - rivets) entre tube - tube et tube - contreplaqué.

Sur le tableau de commande sont fixés les éléments suivants :

- Voyants d'alarme.
- Interrupteurs de commande.
- Manettes des gaz.
- Disjoncteurs.
- Armoire électrique.
- Indicateurs.

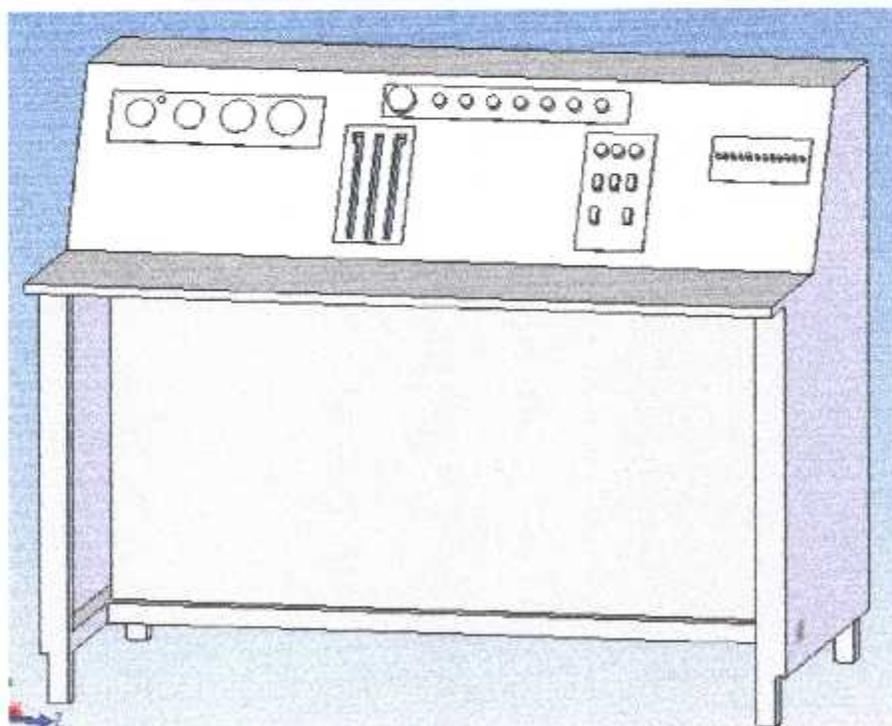


Figure 4-16 : Le tableau de commande /sw.



Figure 4-17 : Le tableau de commande.

Le pupitre de contrôle est relié à l'armoire du moteur et nous permet de commander le moteur dans sa séquence de démarrage/ arrêt et accélération. Ainsi, on peut suivre l'évolution des paramètres moteurs et les alarmes de fonctionnement ou de pannes.

2-8-1/ Indicateurs :

➤ Indicateur de pression :

L'indicateur de pression est un manomètre à pression d'air situé au milieu du panneau P1 et permettant d'indiquer la pression de sortie compresseur P2. Cette dernière est utile pour pouvoir déterminer théoriquement les performances du cycle du moteur.



Figure 4-18 : Indicateur de pression.

➤ Indicateur de quantité carburant :

L'indicateur de quantité de carburant est situé à gauche du panneau P1 il permet d'indiquer la quantité de carburant relative au niveau enregistré par le flotteur du transmetteur qui est plongée dans le réservoir trilobique de capacité de 600L, le jaugeur renvoi ainsi une valeur a l'indicateur qui sera lue et indiquée au litre. Un voyant rouge est au milieu de l'indicateur, il permet de réaliser le test a l'indication et sera lumineux en continu une fois la quantité de carburant est au dessous de 60 L.

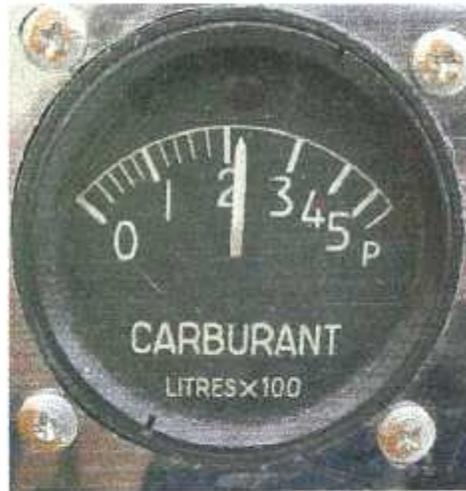


Figure 4-19 : Indicateur de quantité carburant.

➤ Indicateur triple :

L'indicateur triple se situe à droite du panneau P1, il est dit triple car il reçoit les indications température des gaz d'échappement EGT et la température et pression moteur qui est très importante pour garantir un bon fonctionnement.

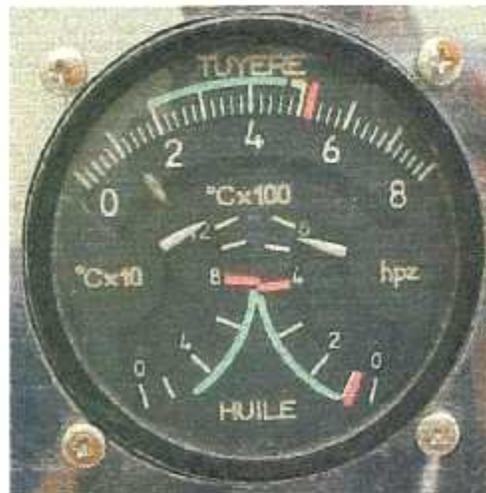


Figure 4-20 : Indicateur triple.

➤ **Voltmètre :**

L'indicateur voltmètre se situe à gauche du panneau P2, il est relié directement à la batterie en parallèle pour indiquer la tension entre les deux bornes de cette dernière.



Figure 4-21 : Voltmètre.

➤ **Indicateur tachymetrique :**

L'indicateur tachymetrique se situe à droite du panneau P1. Il indique le nombre de tours par minute de l'arbre turbine qui est nécessaire pour effectuer les différents calculs de performances du moteur.

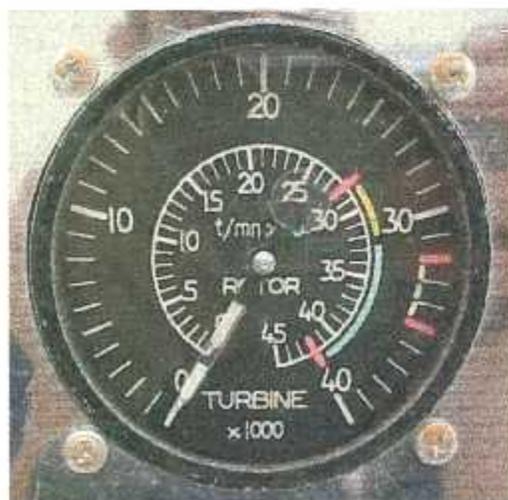


Figure 4-22 : Indicateur tachymetrique.

➤ **Thermomètre:**

Le thermomètre se situe en haut entre le panneau P3 et P4. il indique la température ambiante de la salle.



Figure 4-23 : Thermomètre.

2-8-2/ Les voyants :

L'utilisation de trois sortes de voyants est nécessaire pour contrôler le fonctionnement du moteur.

• **Les voyants verts :**

➤ **Robinet :**

Il s'allume lorsque la pression fournie par la micro pompe est suffisante pour enclencher son mini rupteur. Ce qui provoque l'alimentation de la bobine « ouvrir » du robinet électrique.

➤ **Interrupteur batterie et génératrice :**

Il s'allume lorsque le circuit est alimenté. Par la batterie ou la génératrice, si le régime est au dessous de 21000 tr/min le voyant s'éteint.

➤ **Interrupteur inverseur triple :**

S'allume lorsque l'interrupteur inverseur triple est soit sur la position marche ou ventilation. Indiquant ainsi une procédure de démarrage moteur ou une ventilation.

• **Voyants rouges :**

➤ **Blocage :**

Il s'allume si les séquences de démarrage sont interrompues ou si elles sont impossibles à commander. Il est directement en liaison avec l'armoire moteur.

➤ **Limite de puissance :**

Il s'allume lorsque le doseur de carburant du régulateur est ouvert au maximum. Il est commandé par 2 interrupteurs un à la manette de gaz et l'autre à la manette de débit.

➤ **Pression d'huile minimale :**

Il s'allume lorsque la pression d'huile moteur est, ou devient inférieure à 1,1 bar. Il est commandé par un manocapteur de pression d'huile.

➤ **Colmatage filtre carburant :**

Il s'allume lorsque le filtre est colmaté.



Robinet electrique	Limite de puissance	Blocage	Pompe de gavage	Micro pompe	Pression d'huile mini	Colmatage filtre
-------------------------------	--------------------------------	----------------	----------------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------------

Figure 4-24 : Les voyants.

- **Voyants orange :**

- **Pompe de gavage :**

Il est commandé par un manocontacteur de pompe de gavage et il s'allume lorsque la pompe de gavage ne débite pas du carburant.

2-8-3/ Les interrupteurs :

- **Interrupteur batterie :**

Utilisé pour alimenté ou coupé l'alimentation du circuit électrique.

- **Interrupteur génératrice :**

Utilisé pour enclencher la commande du conjoncteur disjoncteur afin de permettre l'alimentation par la génératrice.



Figure 4-25 : Les interrupteurs.

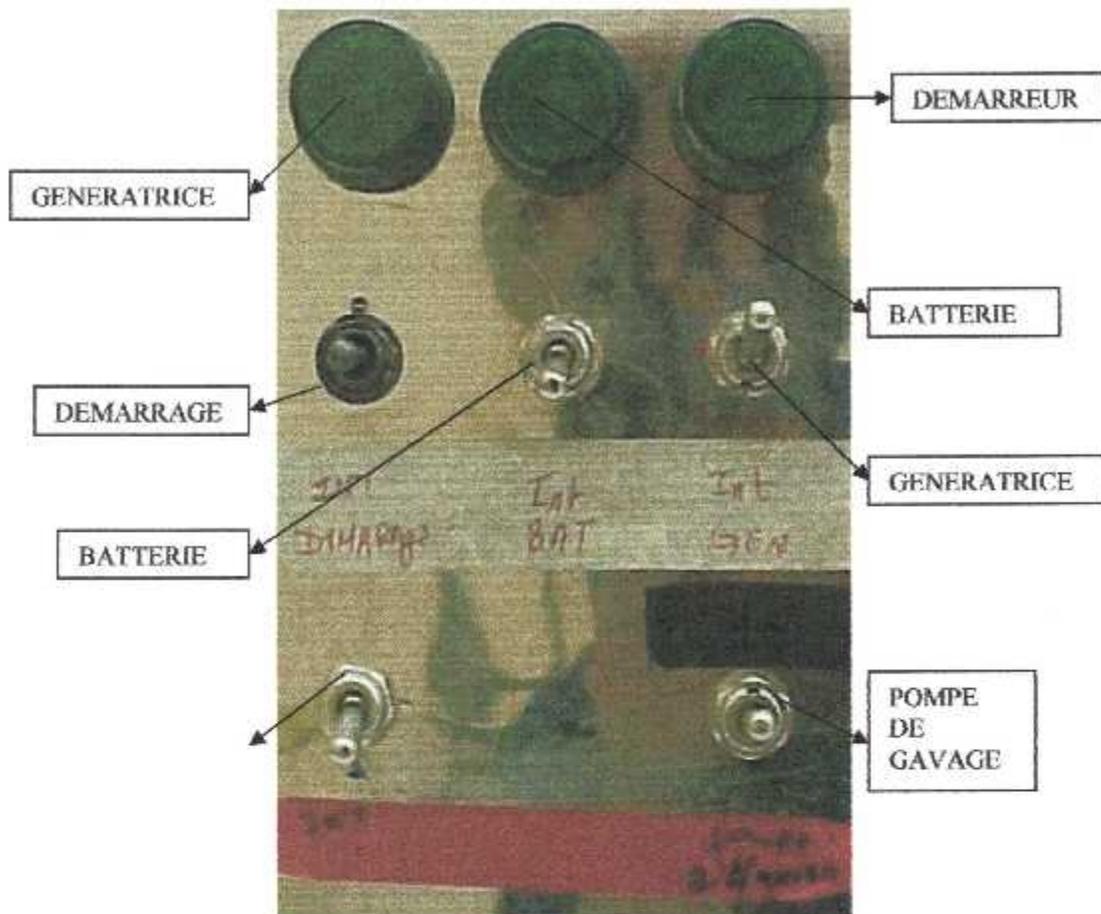


Figure 4-26 : Les interrupteurs.

➤ **Interrupteur inverseur triple :**

Il possède trois positions :

1. marche vers le haut.
2. arrêt au milieu.
3. ventilation vers le bas.

➤ **Bouton poussoir :**

Utilisé comme testeur du voyant rouge du récepteur jaugeur.

➤ **Interrupteur pompe de gavage :**

Utilisé pour enclencher la pompe de gavage pour envoyer le fuel au moteur.

➤ **Interrupteur butee manette :**

2-9/ Le moteur :

Le moteur est un moteur mis hors service et stoker dans un container métallique pressurisé dans le but de le protéger contre les agents de corrosion.

❖ **Caractéristiques du container :**

- Longueur 2.02m.
- Largeur 1m.
- Hauteur 1m.
- Poids à vide 250Kg.
- Poids avec turbomoteur ARTOUSTE II B : 400Kg.
- Poids avec turbomoteur ARTOUSTE II C : 410Kg.



Figure 4-27 : Le container.

❖ **Déballage du turbomoteur :**

1. Ouvrir le boîtier du container et faire tomber la pression interne en dévissant un des bouchons.
2. ouvrir le container et déposer la demi coquille supérieure sur deux pièces de bois.
3. dévisser les boulons de fixation du moteur dans le container.
4. sortir délicatement le moteur du container et le placer sur le socle support moteur.
5. refermer le container.

❖ L'état du moteur après déballage :

Après déballage et nettoyage du moteur on a constaté que le moteur est inopérant à cause de certains éléments qui le manquent.

Les éléments qui le manquent sont :

- Tachymètre.
- Robinet électrique.
- Pompe à carburant.
- Manocontacteur.
- Démarreur défectueux.
- Contacteur du boîtier de commande.

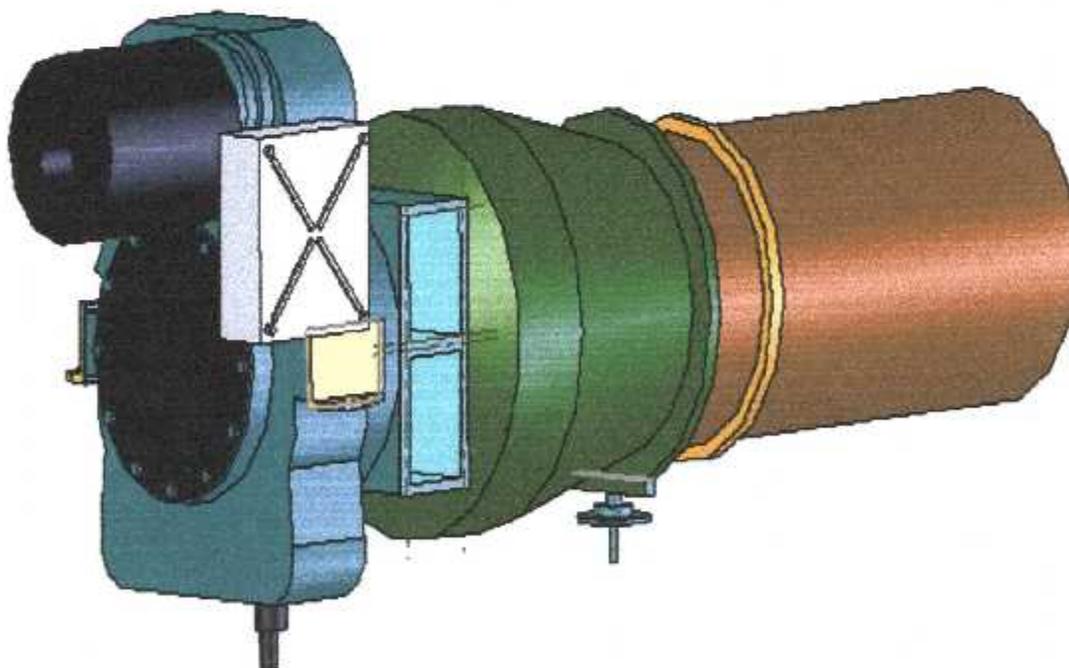


Figure 4-28 : Le moteur / sw.

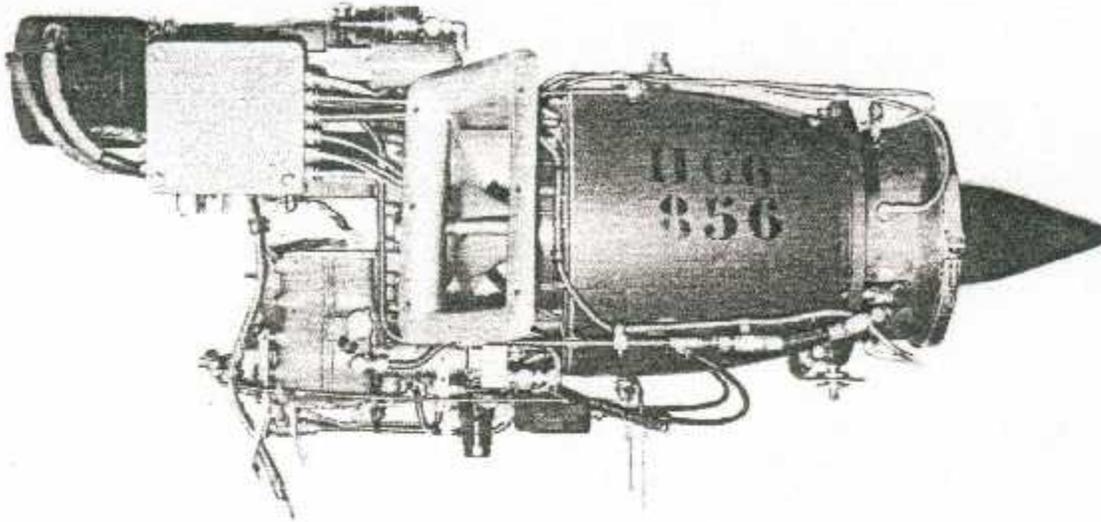


Figure 4-29 : Le moteur.

2-10/ Montage du moteur sur le socle :

Avant le montage du moteur on a monté le socle support moteur sur le bâti principal en prenant en compte le positionnement nécessaire, et en intercalant des pièces de caoutchouc entre les deux socles pour amortir les vibrations.

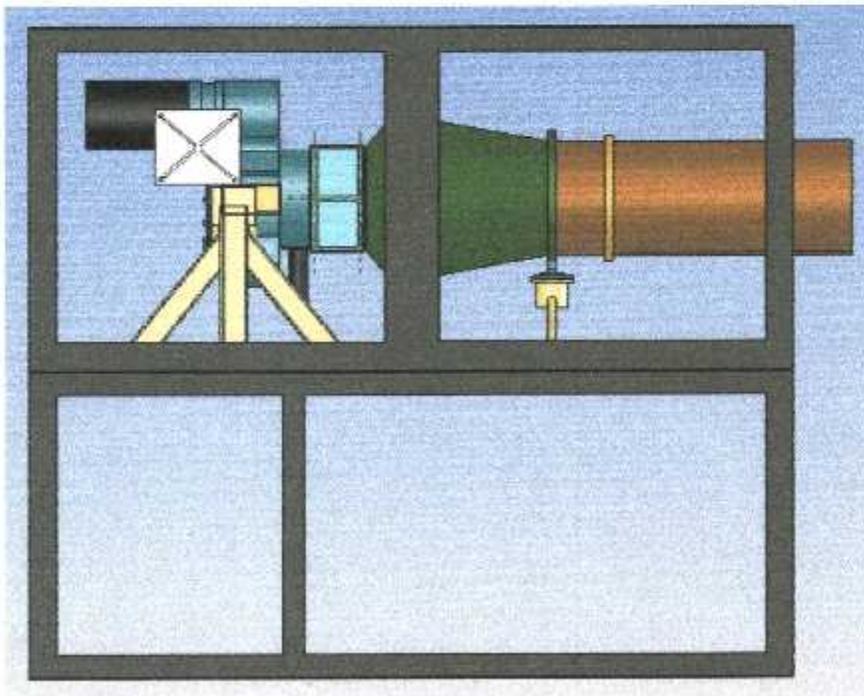


Figure 4-30 : Le montage du moteur /sw.

Le moteur est monté sur son socle en utilisant des cylindres bloc sur les trois appuis pour minimiser l'effet des vibrations.

Des moyens de manutention sont nécessaire pour porté le moteur et le rentrée au bâti par la partie supérieure le socle est fixée a l'aide de 4 boulons M au bâti.



Figure 4-31 : Le montage du moteur.

2-11/ Les éléments adaptés :

- **Pour le moteur :**

1. tachymètre.
2. la pompe à carburant.
3. le robinet électrique.
4. manocontacteur pression sortie compresseur.
5. l'embrayage.
6. le régulateur.



Figure 4-32 : Le montage du moteur.

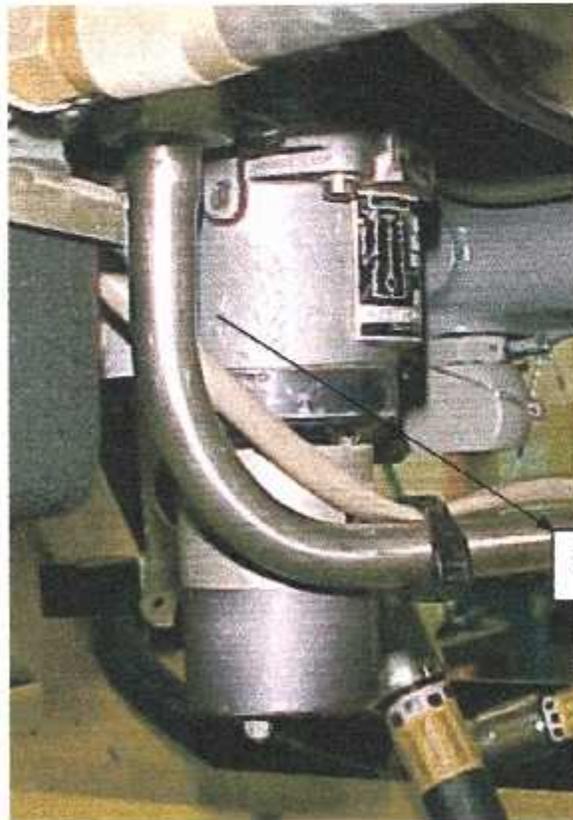


Figure 4-33 : Le robinet électrique.

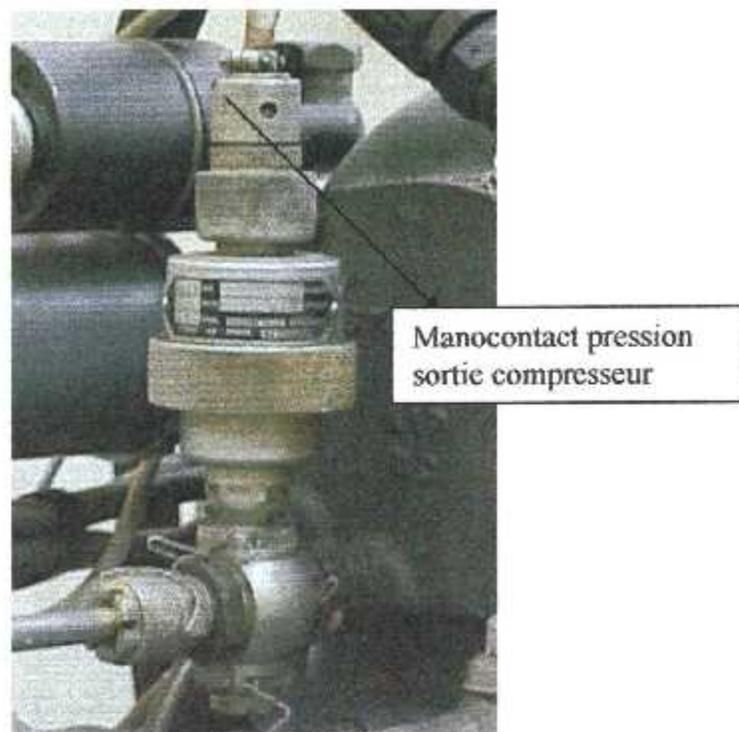


Figure 4-34 : Le manocontacteur de pression sortie compresseur.

- **Pour le réservoir de carburant :**

Les éléments adaptés pour le réservoir carburant sont :

1. Transmetteur de quantité carburant (le jaugeur).
2. Pompe de gavage.
3. manocontact pression carburant.



Figure 4-35 : Pompe de gavage et son manocontacteur.

2-12/ LE CIRCUIT DE GRAISSAGE :

Après positionnement du réservoir d'huile qui est identique à celui de l'hélicoptère sur un support positionné sur le bâti principale. Le circuit obtenu est indiqué au chapitre 2.

• Fonctionnement du circuit :

L'huile provenant du réservoir avion est aspirée, depuis le raccord (1) par la pompe de pression (2) puis. A sa sortie de la pompe (2), l'huile passe devant la soupape de surpression (3) puis, par une tuyauterie rigide (4), enfermée dans les carter, elle est conduite au filtre (5), équipé d'un clapet (6) destiné à permettre le graissage en cas de colmatage de l'élément filtrant.

A sa sortie du filtre, l'huile est dirigée :

- Par une tuyauterie rigide (7) enfermée dans les carters, vers la partie basse du carter d'accessoires d'où elle est acheminée, par des canaux fores dans l'épaisseur des carter, vers le réducteur, la commande des accessoires et le palier avant,
- Par une tuyauterie extérieure (8) vers le palier arrière.

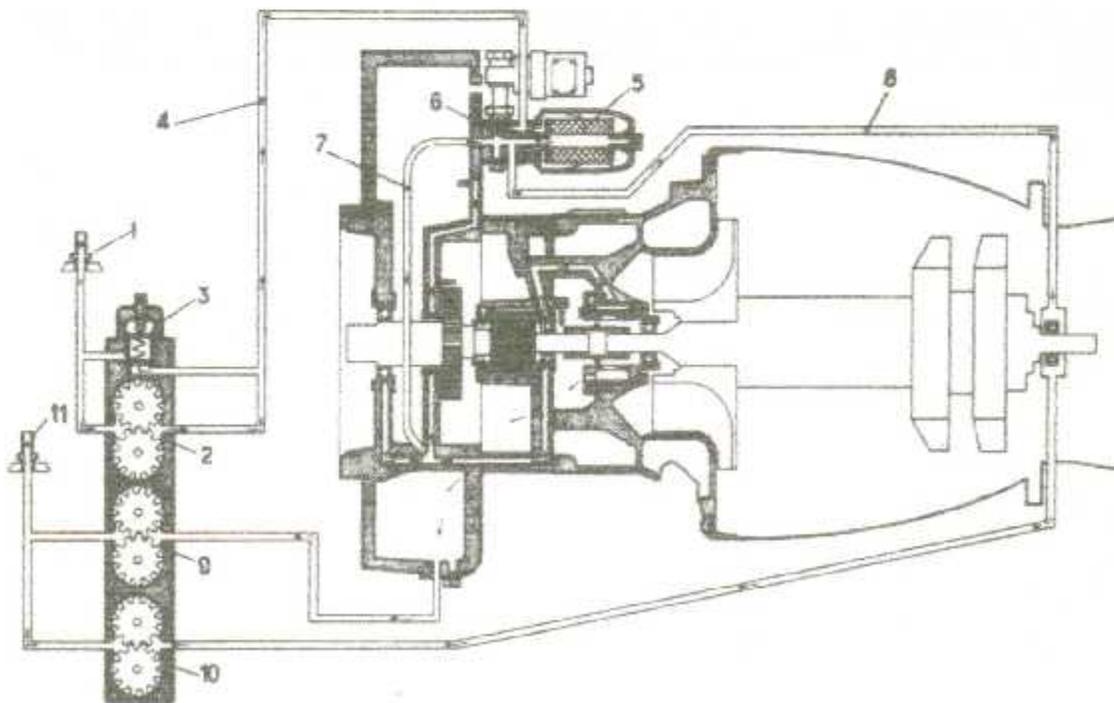


Figure 4-36 : Schéma de principe du circuit de graissage

Après lubrification des organes, l'huile retombe par gravité à la partie inférieure du carter d'accessoires et du palier arrière, d'où elle est reprise par les pompes de vidange (9) et (10) et ensuite refoulée vers le réservoir par le raccord (11).

2-13/ CIRCUIT DE CARBURANT :

Vu le positionnement du réservoir carburant éloigné du moteur pour des raisons de sécurité qui est différent de celui sur hélicoptère. Le circuit obtenu est indiqué au chapitre 2 sauf que le filtre est remplacé par un filtre de voiture R5 diesel pour des raisons de disponibilité.

• Fonctionnement du circuit :

Le circuit principal de carburant entre en fonctionnement au cours de la mise en marche du turbo-moteur, lors de la phase d'accélération, pendant la marche normale et lors de l'arrêt de la turbine.

Il met en jeu, en plus du circuit avion :

- le robinet électrique (1), dont le fonctionnement est commandé par le boîtier de commande automatique,
- la pompe à carburant (2) avec soupape de surpression (3) et by-pass (4), gicleur de ralenti réglable (5) et robinet de débit (6),
- le régulateur de vitesse (7), isodrome, avec doseur de carburant (8) et dispositif de sécurité (9),
- le tube à carburant (10) avec gicleur (11) et labyrinthe d'étanchéité (12),
- la roue d'injection (13),
- des tuyauteries.

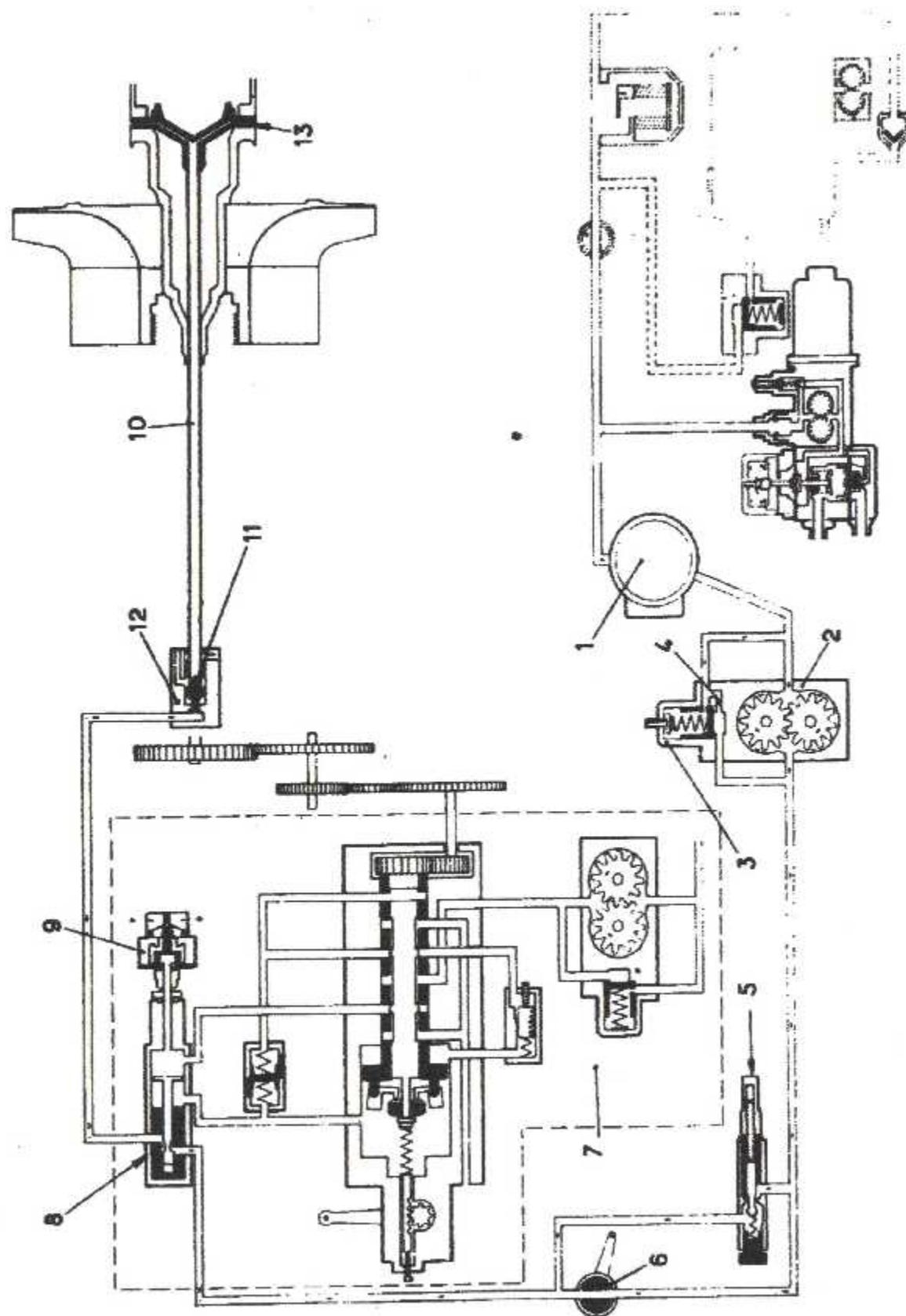


Figure 4-37 : Schéma du circuit principal de carburant.

- **Filtre carburant (R5) :**

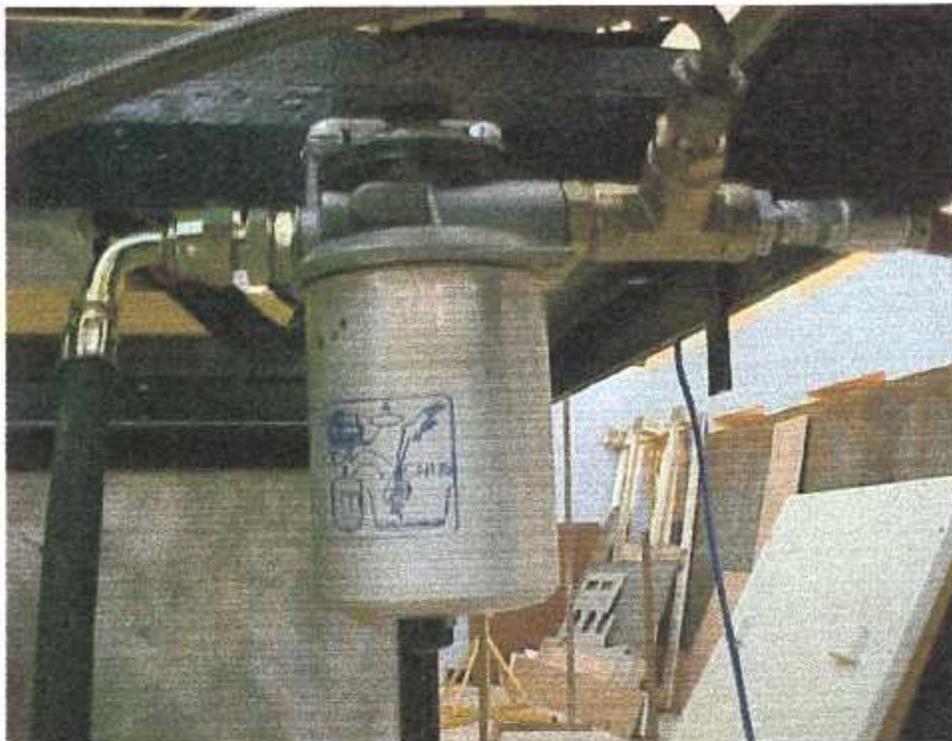


Figure 4-38: Filtre de carburant (R5).

2-14/ CIRCUIT ELECTRIQUE :

D'après les schémas le circuit électrique est composé de :

- Armoire électrique.
- Contacteurs.
- Fusibles.
- Voyants.
- Interrupteurs.
- Indicateurs.
- Câbles électriques.

- **Armoire électrique :**

Elle est intégrée dans le socle principal. Elle est constituée de :

- Disjoncteur conjoncteur.
- Régulateur.
- Commutateur.
- Fusibles 10A.
- Câbles reliant les différents composants.

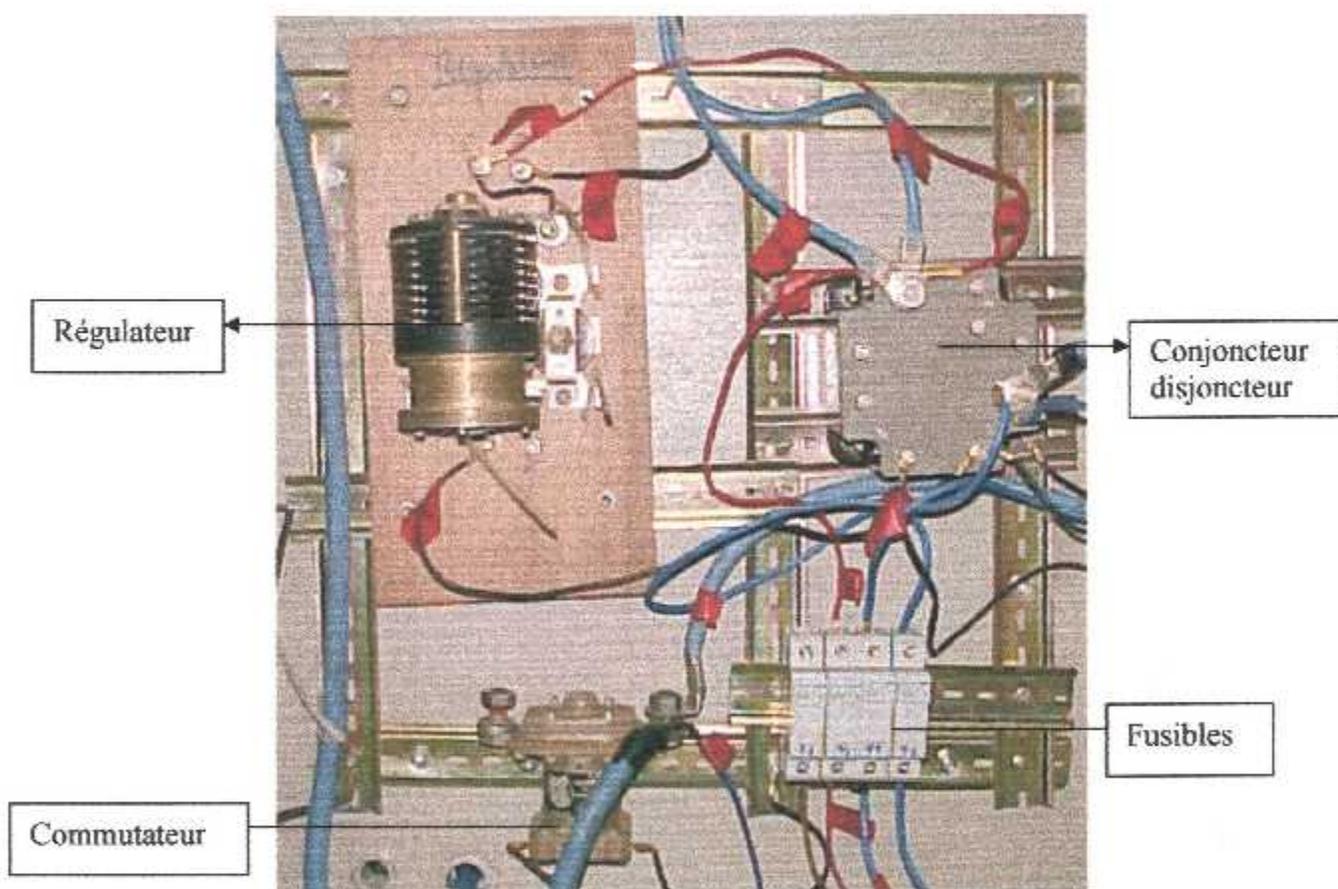


Figure 4-39 : L'armoire électrique.

➤ **Contacteurs :**

Il réalise le contacte entre les 19 sorties de la fiche 9Y et la suite du circuit sur le tableau de commande.

➤ **Fusibles :**

Utilisé pour la protection du circuit. Les fusibles utilisés sont 6A et 10A.



Figure 4-40 : Les fusibles.

➤ **Câbles électriques :**

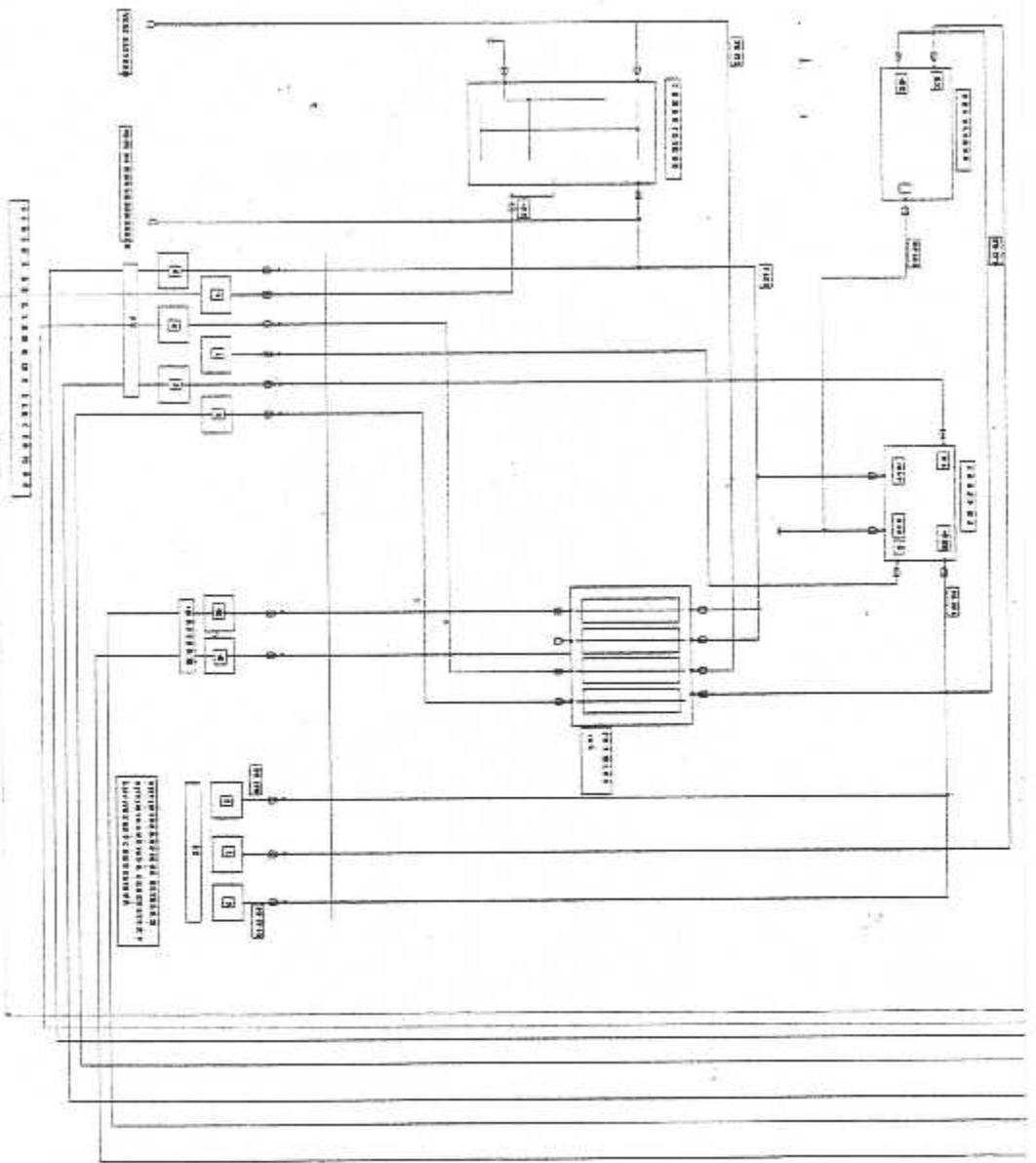
Assure le câblage entre les différents composants de tout le circuit. Les câbles utilisés sont 2.5, 3 et 6.

• **Liaison entre le tableau de commande et le moteur :**

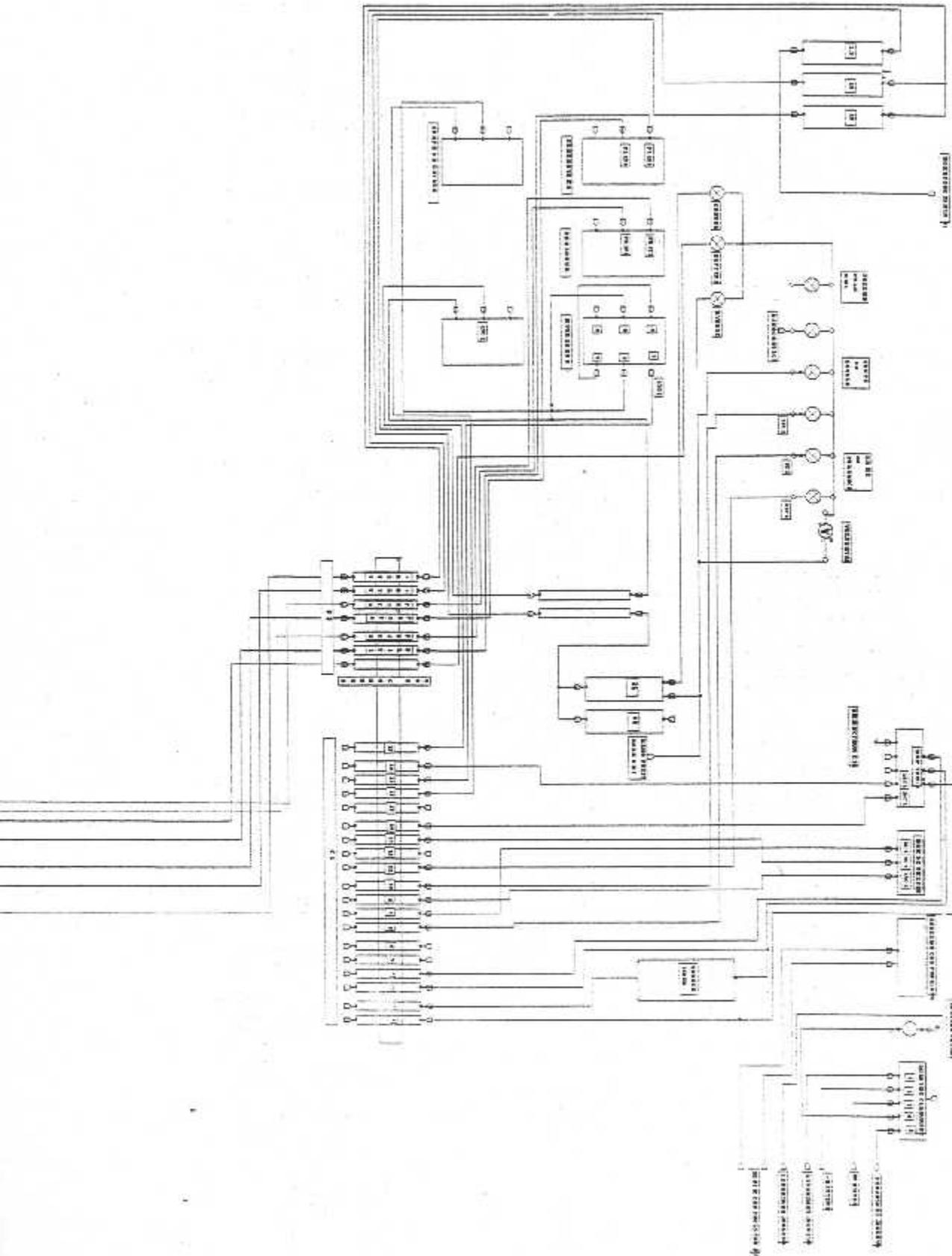
Elle est réalisée par un ensemble de fils électriques de différentes sections protégées par des gains souples.



Figure 4-41 : La liaison entre le tableau de commande et le moteur.



Le schéma électrique global.



100-100-100

(LAMP INDICATOR)

(MOTOR INDICATOR)

(STOP INDICATOR)

(START INDICATOR)

(LIMIT SWITCH)

(POWER)

3/ FONCTIONNEMENT AU SOL POINT FIXE DE CONTROLE :

3-1/ Démarrage :

A. Opérations préliminaires :

NOTA :

Pour assurer un démarrage correct, la tension de la batterie doit être de 25,5 volts au moins

B- Démarrage proprement dit :

Placez l'interrupteur de la pompe de gavage sur « marche ». 4 à 5 secondes plus tard, placez l'inverseur « marche -arrêt - ventilation » sur « marche » :



Figure 4-42 : Interrupteur batterie sur marche.

- le voyant vert « démarrage » s'allume.
- (2) 2 à 3 secondes plus tard, le voyant jaune « micropompe » s'allume.
- (3) le turbo- moteur accélère, la température tuyère décolle et monte progressivement ; elle peut présenter une pointe rapide pouvant atteindre 550° C.



Figure 4-43 : L'interrupteur pompe de gavage sur la position marche.

NOTA :

Si la température de tuyère ne monte pas 8secondes après l'allumage du voyant « robinet », ou si elle dépasse 550° C, remplacez l'inverseur « marche – arrêt – ventilation » sur « arrêt »

(4) vers 5000 à 7000 tr/mn le voyant jaune « robinet » s'éteint (ce voyant ne doit pas rester allumé plus de 10 secondes) et la pression d'huile décolle.

(5) vers 10500 à 12500 tr/mn le vert « démarrage » s'éteint. le temps compris entre la mise en route et l'extinction du voyant vert doit être normalement inférieur à 20 secondes..

NOTA :

Si, au –delà de 13000 tr/mn, le voyant vert « démarrage » est toujours allumé, ou si la pression d'huile est toujours à zéro, remplacez l'inverseur « marche –arrêt – ventilation » sur « arrêt ».

(6) le turbo- moteur continue d'accélérer, puis la vitesse se stabilise aux environs de 18000tr/mn ; le régime de ralenti doit être normalement compris entre 17000 et 19000tr/mn.

La pression d'huile à ce régime doit être $\geq 0,5$ Hpz.

NOTA :

Le régime de ralenti est réglé en usine sensiblement au niveau de la mer, il varie avec l'altitude ; si le démarrage doit être effectué à une altitude supérieure à 1000m, il faut modifier le réglage du gicleur de ralenti.

C. Accélération :

Ouvrez progressivement la manette de débit en observant la température tuyère ; procédez lentement de façon à éviter une élévation anormale de cette température.

Au cours de cette manœuvre le voyant rouge « limite de débit » s'allume, puis s'éteint en fin d'ouverture.

La manette du régulateur en butée maxi ; le régime doit alors être compris entre 33800 et 24500tr/mn.

La pression d'huile à cette vitesse doit être comprise entre 2 et 4 Hpz.
La température tuyère à cette vitesse (toujours en butée petit pas) doit être inférieure à 400°C.

2. Arrêt :

Réduisez à fond la manette de débit et laissez tourner le turbo- moteur au régime de ralenti pendant 30 secondes environ.

Placez l'inverseur « marche- arrêt – ventilation » sur « arrêt » : le voyant jaune « robinet » s'allume un bref instant (signale de la fermeture du robinet) et le voyant rouge « blocage » s'allume.

Placez l'interrupteur de la pompe de gavage sur « arrêt ». Dès que le voyant rouge « blocage » s'éteint, coupez les contacts batterie et génératrice.

3. Ventilation :

A. but de l'opération :

Cette opération est à effectuer :

- en cas d'échec de démarrage, ou après une opération de déstockage du circuit de carburant pour évacuer le carburant accumulé dans la chambre de combustion.
- Pour déceler tout bruit anormal.

B. Mode opératoire :

Mettez la le contact « batterie ». Placez l'inverseur « marche- arrêt – ventilation » sur « ventilation » et le maintenir dans cette position ; le voyant vert « démarrage » s'allume et l'aiguille du tachymètre décolle puis se stabilise aux environs de 4000tr/mn.
Lorsque la ventilation est suffisante, lâchez l'inverseur qui revient de lui-même sur « arrêt ».

Si la ventilation dure trop longtemps, elle est coupée automatiquement par le boîtier de commande automatique.

NOTA :

Avant de procéder à une nouvelle ventilation, ou à un nouveau démarrage, attendez quelques minutes afin de laisser refroidir la dynamo- démarreur et les organes du boîtier de commande automatique.

4/PARTIE CALCUL :

Pour la réalisation des calculs suivants il faut utiliser un debimetre pour relever le débit de carburant à un moment donné et une génératrice de courant reliée a l'arbre de sortie du moteur pour calculer la puissance utile par la méthode électrique.

Dans ce qui suit nous supposant que la puissance sur l'arbre et le débit carburant sont connues.

La méthode à suivre :

On estime la température de la chambre puis on utilise cette valeur pour calculer le débit et le dosage respectivement \dot{m}_a, f puis, on remplace ces dernières dans la formule de T_{3c} pour calculer sa valeur, puis on calcul la valeur absolue de $(T_3 - T_{3c})$ et on aura les deux cas suivants

- 1- Si la valeur est inférieure à 0.001, on prend cette valeur de T_3 comme étant la température de la chambre.
- 2- Si la valeur est supérieure à 0.001 on remplace T_3 par T_{3c} et on refait les calculs jusqu'à ce qu'on trouve la valeur absolue de $(T_3 - T_{3c})$ inférieure ou égale a 0.001 pour prendre cette nouvelle valeur de T_{3c} comme étant la température de la chambre.

Les données :

On peut lire sur le pupitre la valeur de P_2, N, T_4, T_1

La valeur du P_{ci} est P_1 sont connues

On donne une première valeur pour T_3

On calcul T_2, P_3 , et π_c

$$\pi_c = \frac{P_2}{P_1}$$

$$T_2 = T_1 \left(1 + \frac{\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_c} \right)$$

$$P_3 = P_2 \pi_B$$

$$\pi_B = 0,98$$

$$P_3 = P_2 0,98$$

Calcul de $f, \dot{m}_a, Pu, T_3, Cs$ et η_u

$$f = \frac{1 - \frac{Cp_c T_2}{Cp_t T_3}}{\frac{\eta_b Pci}{Cp_t T_3} - 1}$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_f Pci}{Cp_t (1+f) T_3 - Cp_c T_2}$$

$$T_{3c} = T_4 \left[\frac{\left(\frac{Pu}{\dot{m}_a Cp_t T_4} + \frac{Cp_c T_1}{Cp_t T_4} \right) \left(\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)}{(1+f)} + 1 \right]$$

Après avoir réaliser les itérations et obtenue la valeur de T_3 on peut calculer les valeurs suivantes :

Calcul de η_r, η_{th}, Cs :

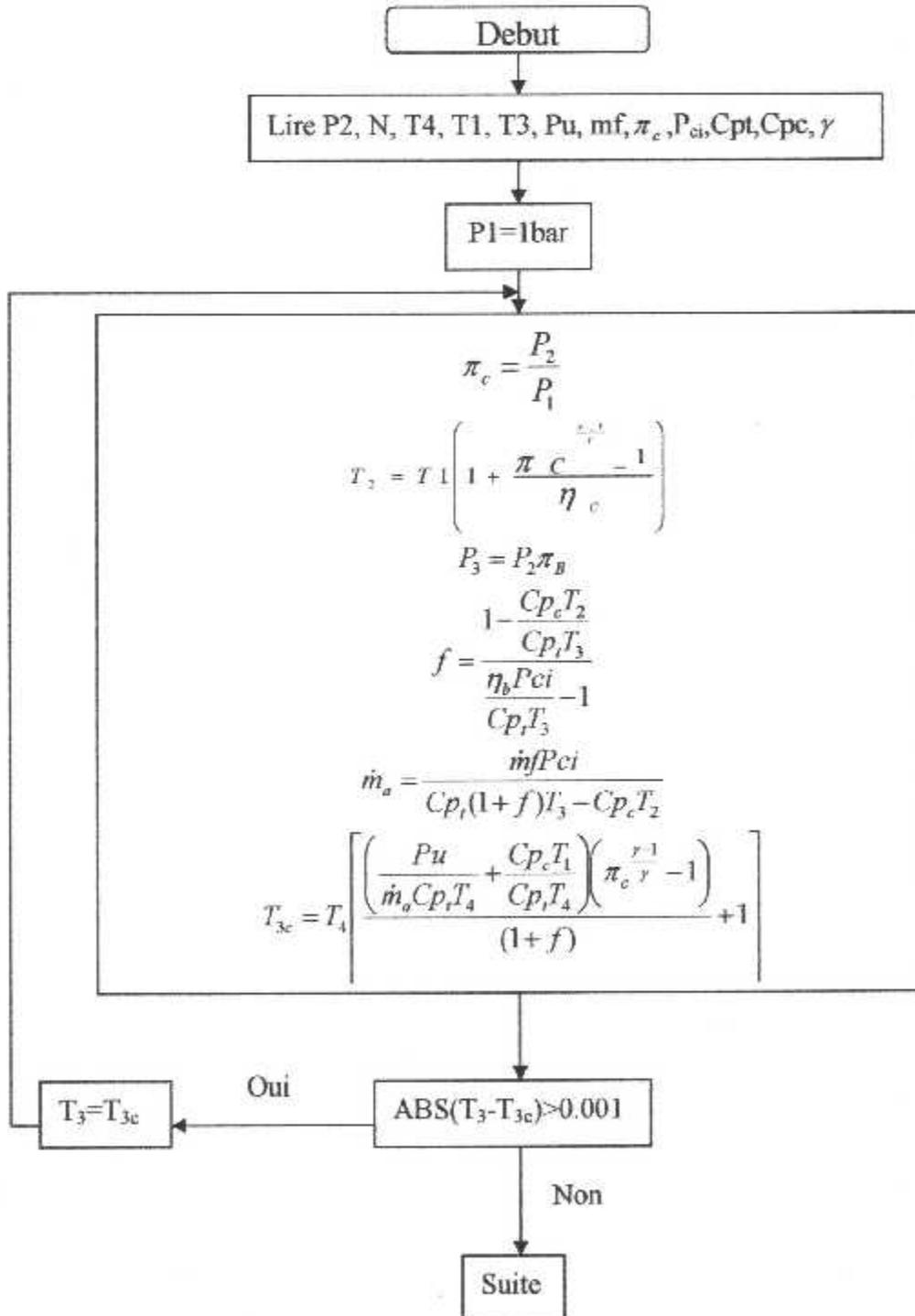
$$Cs = \frac{\dot{m}_f 3600}{Pu}$$

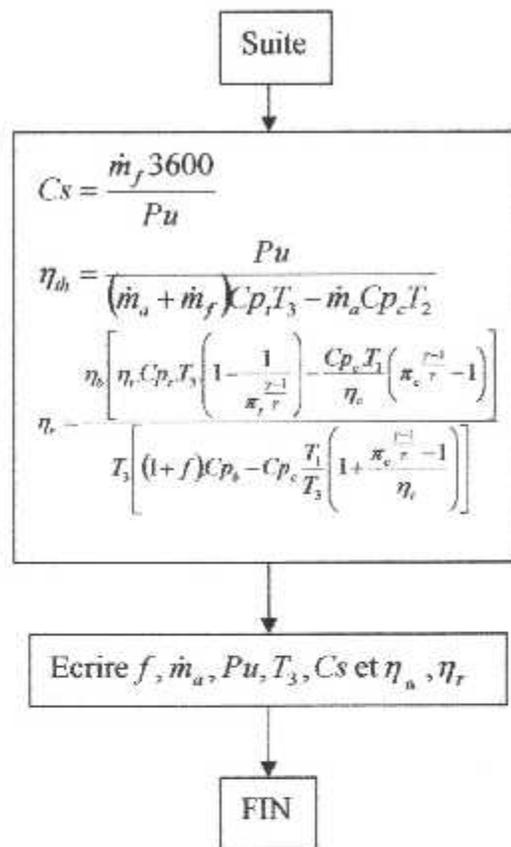
$$\eta_{th} = \frac{Pu}{(\dot{m}_a + \dot{m}_f) Cp_t T_3 - \dot{m}_a Cp_c T_2}$$

$$\Rightarrow \eta_r = \frac{\eta_b \left[\eta_t \cdot Cp_t \cdot T_3 \cdot \left(1 - \frac{1}{\pi_t^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) - \frac{Cp_c \cdot T_1}{\eta_c} \left(\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \right]}{T_3 \left[(1+f) Cp_b - Cp_c \frac{T_1}{T_3} \left(1 + \frac{\pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_c} \right) \right]}$$

4-1/ Organigramme :

L'organigramme permet de traduire la méthode utilisée dans le calcul des performances du moteur et cela on faisant un test de convergence pour la valeur de la température de la chambre.

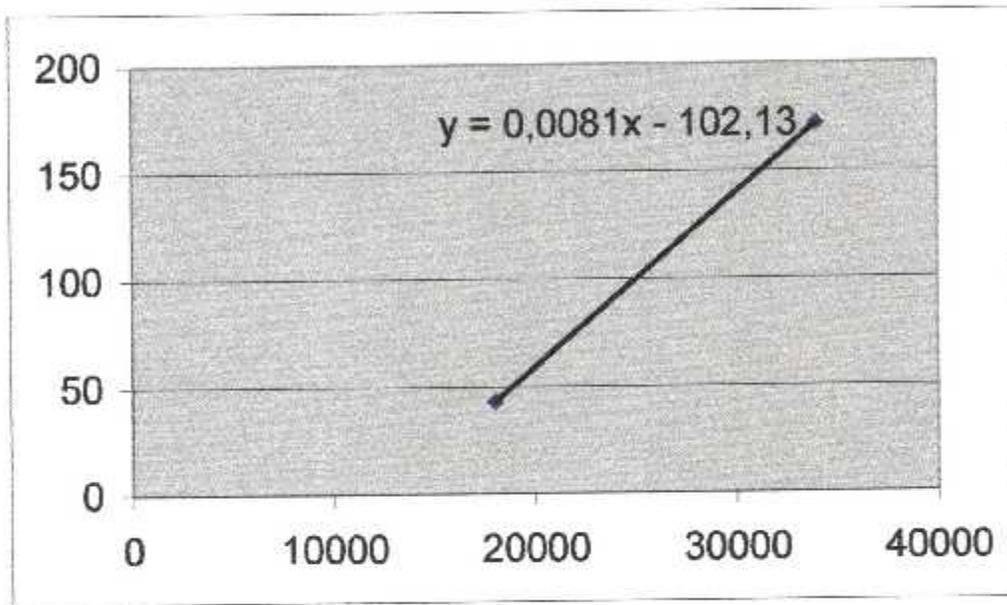




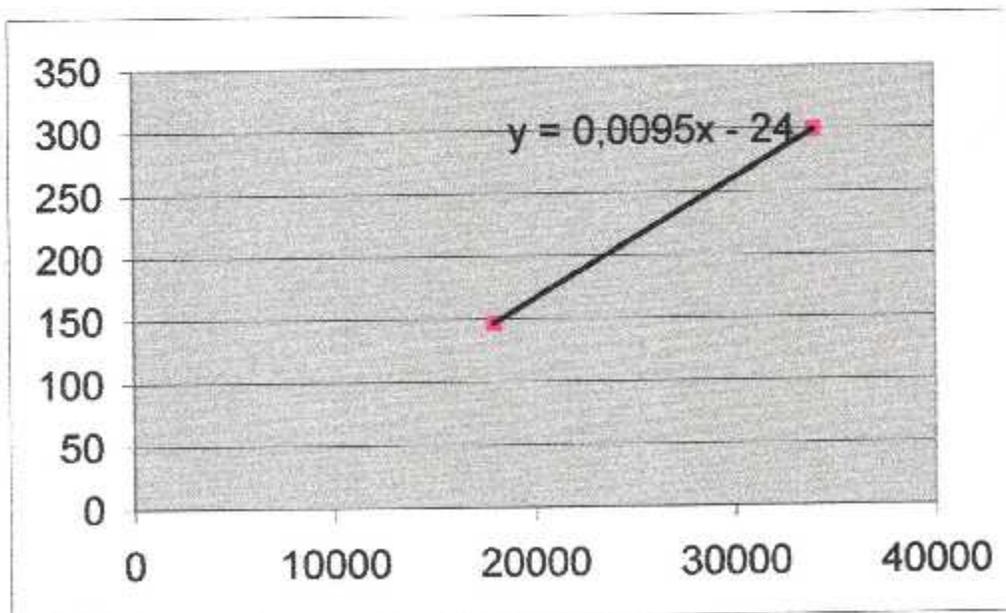
4-2/ Application numérique :

Dans cette application nous avons utilisé deux graphes pour la détermination de la puissance et du débit carburant vu le manque des instruments adéquats.

Les deux graphes utilisés sont la consommation horaire et la puissance utile en fonction du nombre de tours par minute, et ils sont établis à l'aide de valeurs qui existent dans le manuel.



Consommation horaire = F(nombre de tours/minute).



Puissance utile = F(nombre de tours/minute).

Des deux graphes on peut tirer la consommation horaire et la puissance sur l'arbre a n'importe qu'elle valeurs du nombre de tours/minute au régime ralenti.

Et pour cela, nous avons fait un programme qui calcul les performances du moteur en utilisant comme donnée d'entrée le nombre de tours/minute à la place de la puissance utile et le débit carburant.

Les résultats sont donnés sur une feuille EXCEL suivi d'une gamme de graphes démontrants la variation des différents résultats en fonction du nombre de tours/min.

Les constantes à déclarées :

Cpc	Cpt	Ga	Pci	Rob
1004	1,29 ^E +03	1,4	4,28 ^E +07	0,98

Les différentes valeurs de la EGT :

EGT °C
400
450
500
550

Entrées :

T1 °K	Pumax ch	Nmax tr/mn
288,2	360	32000

Les premières estimations de la température de la chambre

T3intial
500
500
500

Les résultats obtenues pour la première estimation

N tr/mn	w rd/s	Ut m/s	Pic	T2 °K	Couple	f kg/s
18000	1884	244,92	1,59525501	329,384675	78,0254777	0,0076103
20000	2093,33333	272,133333	1,76105618	338,832543	79,2993631	0,007380618
25000	2616,66667	340,166667	2,31465329	366,384386	81,5923567	0,006710818
34000	3558,66667	462,626667	4,02676786	429,251244	84,0202323	0,005182492

Qh Kg/h	m0 Kg/s	Pu Kw	T3c °C	Roth	Cs
43,67	1,63 ^E +00	147	501,34	28,31%	0,1863747
59,87	2,30 ^E +00	166	544,68	23,32%	0,16006159
100,37	4,24 ^E +00	213,5	599,22	17,89%	0,11315665
173,27	9,48 ^E +00	299	683,55	14,51%	0,0623979

On remplaçant les valeurs de T3 par les valeurs obtenues T3c et on faisant la même chose jusqu'à trouver que $ABS(T3-T3c) < 0,01$ on arrête et on prend ces valeurs comme les valeurs de la température dans la chambre.

Les résultats obtenus à la fin sont :

T3initial
501,88

558,32

620,8

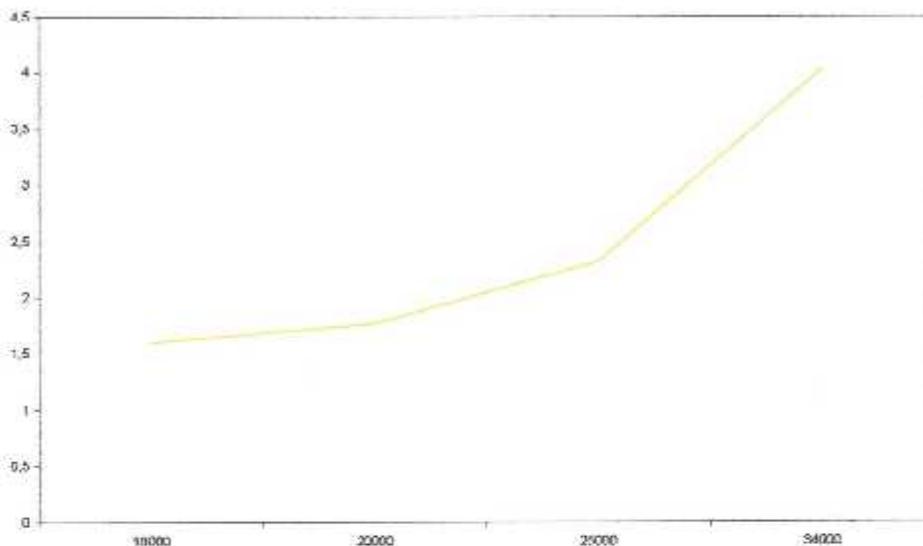
714,23

N tr/min	w rd/s	Ut m/s	Pic	T2 °K	Couple	f kg/s
18000	1884	244,92	1,59525501	329,384675	78,0254777	0,007669473
20000	2093,33333	272,133333	1,76105618	338,832543	79,2993631	0,009219073
25000	2616,66667	340,166667	2,31465329	366,384386	81,5923567	0,01052379
34000	3558,66667	462,626667	4,02676786	429,251244	84,0202323	0,011954092

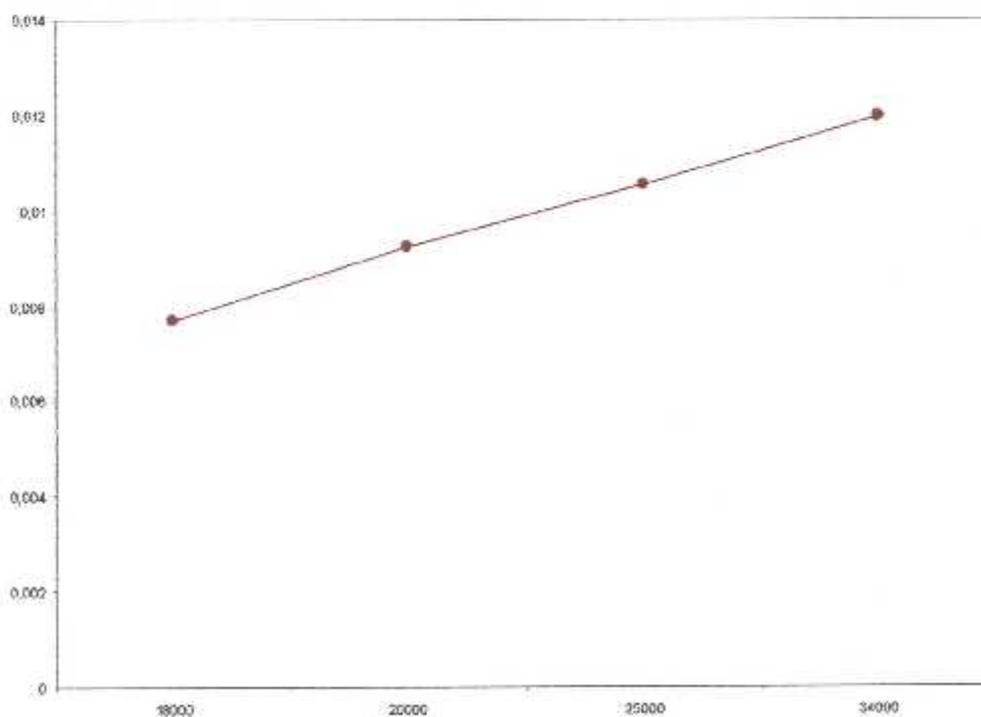
Qh Kg/h	m0 Kg/s	Pu Kw	T3 °C	Roth	Cs
43,67	1,61 ^E +00	147	501,88	28,31%	0,18782384
59,87	1,84 ^E +00	166	558,32	23,32%	0,19993171
100,37	2,70 ^E +00	213,5	620,80	17,89%	0,17745033
173,27	4,11 ^E +00	299	714,23	14,51%	0,14392887

Après exécution du programme on peut tiré les courbes qui représentent la variation des différents paramètres en fonction du nombre de tour/min.

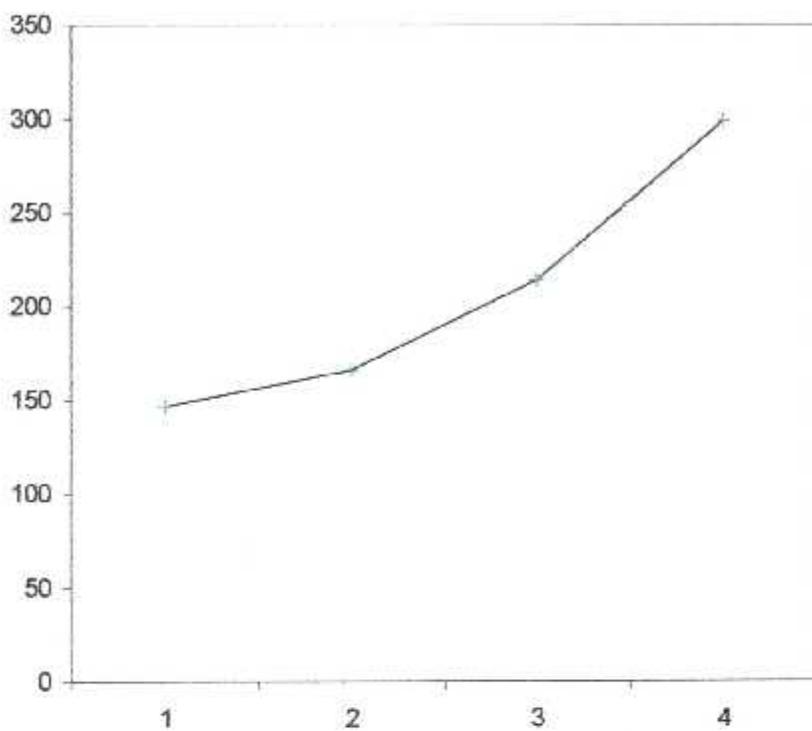
Dans notre exemple les courbes sont :



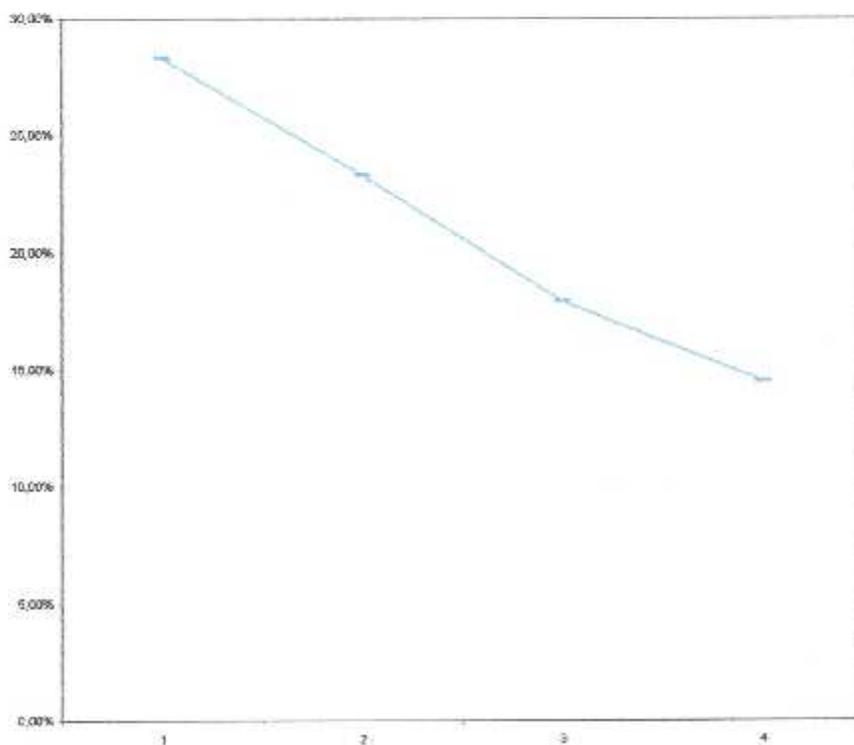
Graph 1 : Rapport de compression en fonction du nombre de tours.



Graph 2 : Dosage en fonction du nombre de tours.



Graph 3 : Puissance utile en fonction du nombre de tours.



Graph 4 : Rendement thermique en fonction du nombre de tours.

4-3/ Interprétation des graphes :

➤ Graphe 1

Le taux de compression accroît d'une façon exponentielle en fonction du nombre de tours/min en effet l'augmentation de la vitesse de rotation fait augmenter la vitesse tangentielle ce qui incite le compresseur à aspirer plus d'air ce qui accroît sa pression par rapport à celle de l'air ambiant.

➤ Graphe 2

Le dosage varie proportionnellement en fonction du tours/min car la variation du taux de compression fait varier le débit d'air ce qui fait augmenter l'injection du carburant dans la machine.

➤ Graphe 3

La puissance utile varie proportionnellement en fonction de N car la puissance utile est en rapport directe avec la puissance de la turbine qui traduit son augmentation par l'augmentation de N .

➤ Graphe 4

Le rendement thermique est inversement proportionnel à N , car l'augmentation de N fait augmenter le débit carburant et par conséquent la puissance thermique se qui se traduit par la diminution du rendement thermique.

Conclusion

CONCLUSION

Le travail effectué au sein de l'atelier de propulsion nous a permis d'acquérir une expérience dans différents domaines, tel que la soudure, la tôlerie, la menuiserie, l'électricité, et surtout dans le domaine mécanique et la maintenance, qui sera comme étant un plus dans notre formation aéronautique.

Des difficultés et des blocages sont rencontrés durant la réalisation de notre travail, ce qui nous a freiné pas mal de fois, et perdre beaucoup de temps, qui nous a d'ailleurs pas permis d'achever une partie qui est celle d'adapter une génératrice de courant à l'arbre sortant de la machine pour pouvoir mesurer la puissance développée par le moteur et celle de le placer dans une salle conforme aux mesures de sécurité. Mais cette partie n'a pas influencée notre premier objectif qui est de pouvoir le faire démarrer.

Malgré ces blocages, et grâce à la volonté et l'ambiance qui régnait à l'enceinte de notre atelier, on a pu finalement concrétiser notre projet, qui est à présent opérationnel, et fonctionne sans aucun problème, et nous avons pu offrir aux étudiants de l'établissement un outil didactique qui pourra servir de banc d'essai afin d'observer un vrai comportement d'un turbo-moteur.

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

Annexe 1

1/ GENERALITES :

L'exposé ci-après a pour objet d'exposer en détail le fonctionnement électrique de l'ensemble de tous les organes contribuant au démarrage, à l'arrêt de la turbine ou à l'exécution d'une ventilation ainsi que les verrouillages empêchant les fausses manœuvres.

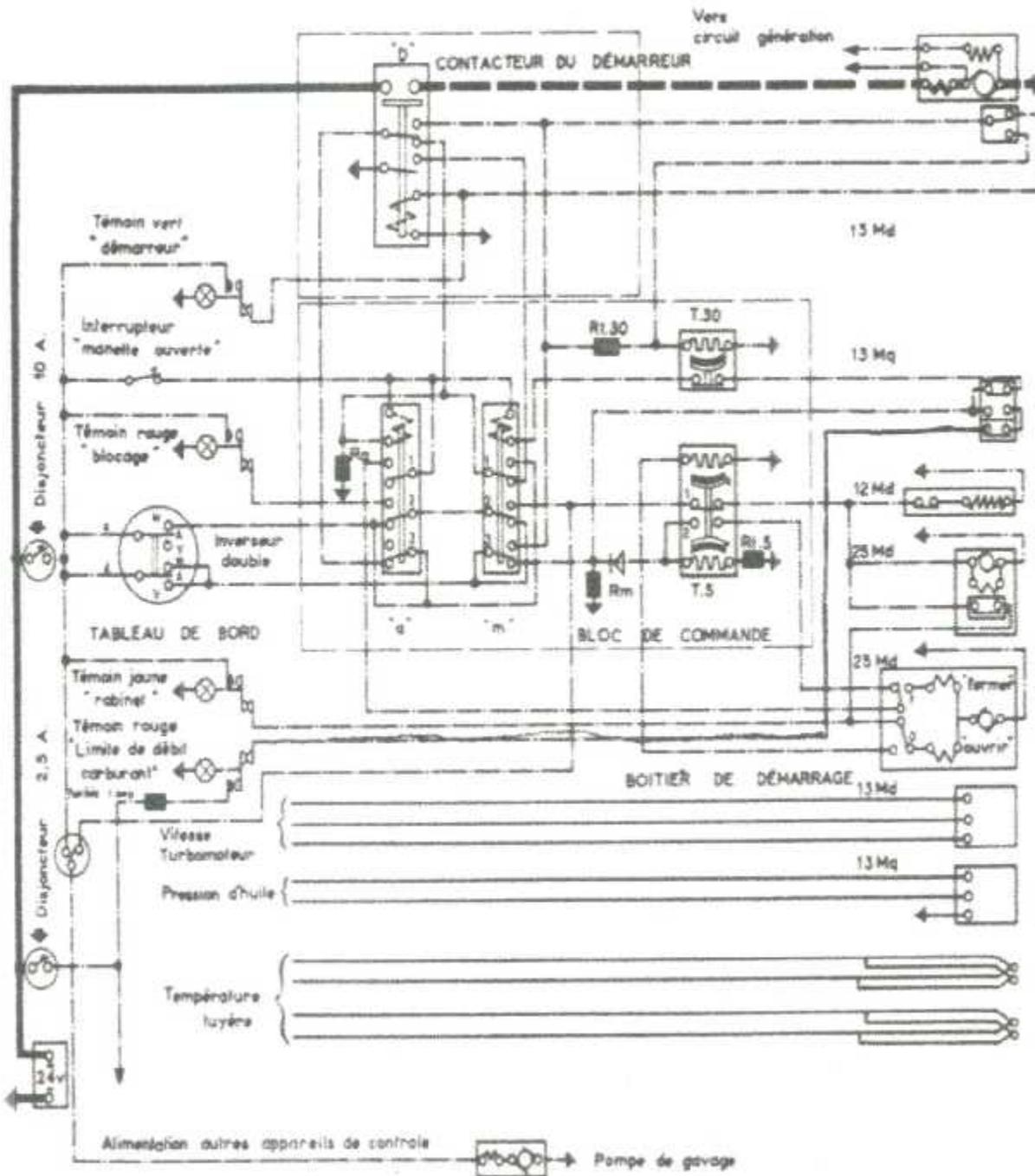


Figure 1 : Schéma de principe du boîtier.

2/AVANT MISE EN ROUTE :

2-1/ Manœuvres à effectuer :

Après s'être assuré que :

- l'inverseur double « marche- arrêt –ventilation » est sur « arrêt »,
- la manette de débit est en butée fermée,
- l'inverseur « pompe de gavage » est sur marche.

Fermer les disjoncteurs 10A et 2.5A pour mettre le réseau de bord sous tension et tester les voyants.

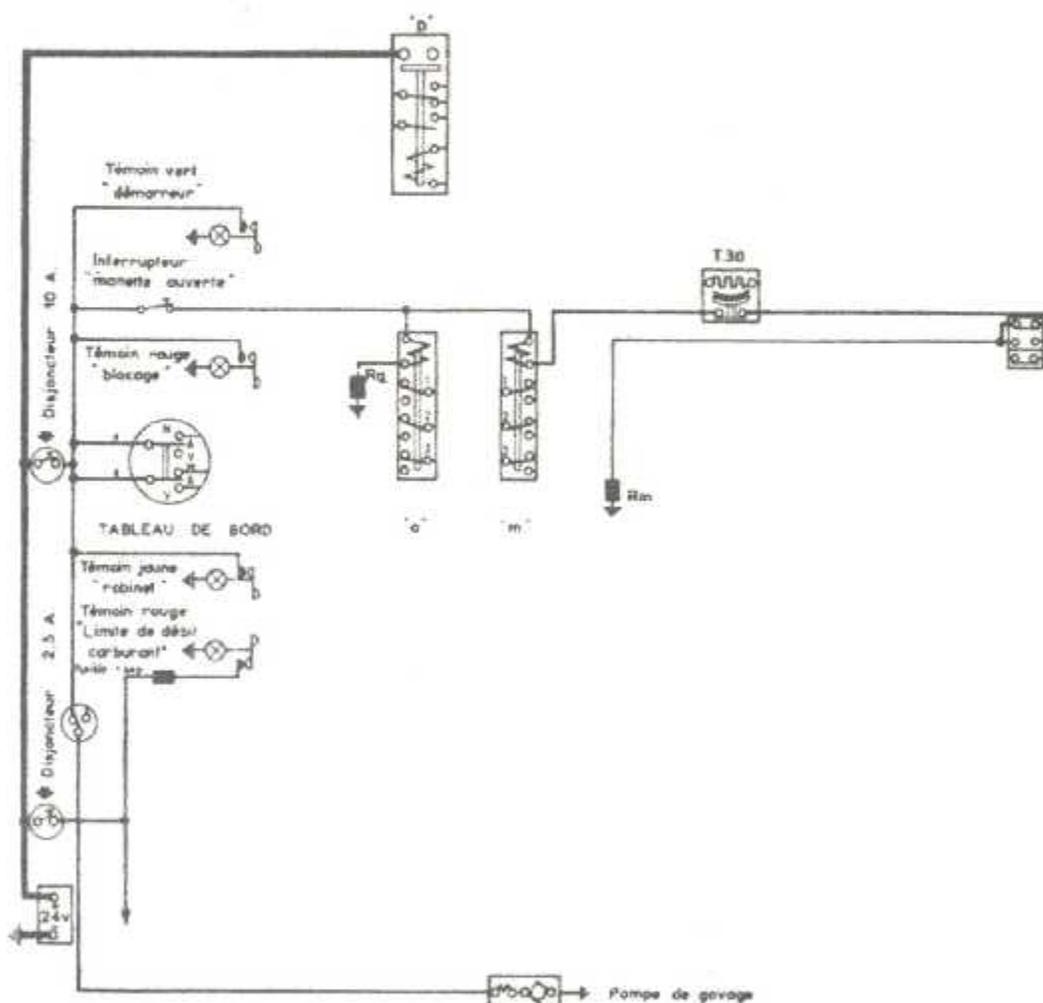


Figure 2 : Schéma avant mise en route.

2-2/ Conséquences :

- La pompe de gavage tourne,
- Les deux relais du boîtier enclenchent.

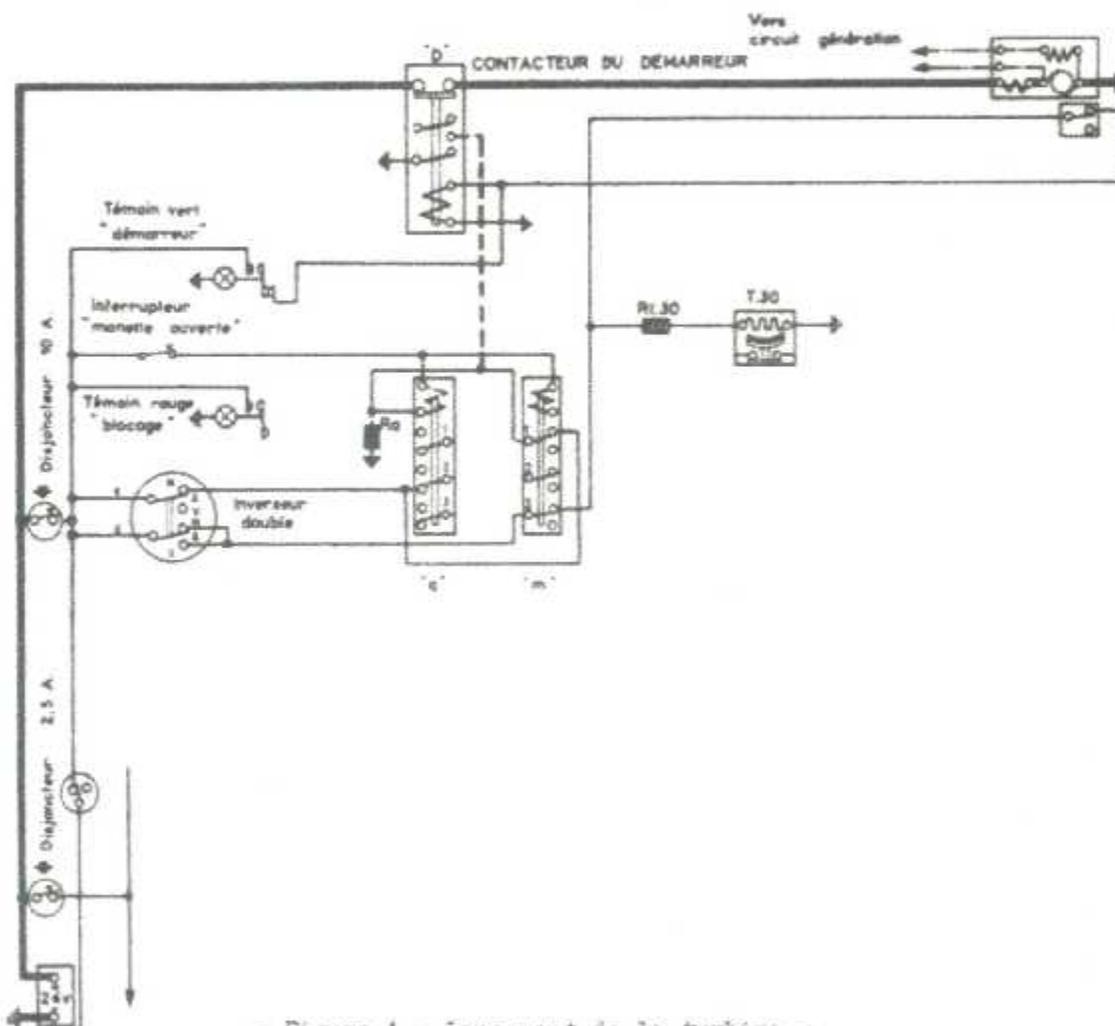
3/ MISE EN ROUTE :

3-1/ Manœuvres à effectuer :

Placer l'inverseur double « marche- arrêt- ventilation » sur « marche ».

3-2/ Conséquences :

3-2-1/ Lancement de la turbine par la dynamo-démarrreur.



- Figure 1 - Lancement de la turbine -

Figure 3 : Lancement de la turbine.

- Le relais « a » déclenche,
- Le contacteur « D » enclenche,
- Le démarreur tourne et entraîne la turbine,
- Le témoin vert « démarrage » s'allume,
- L'aiguille du tachymètre décolle et la vitesse croit,
- Le temporisateur »T30 « chauffe.

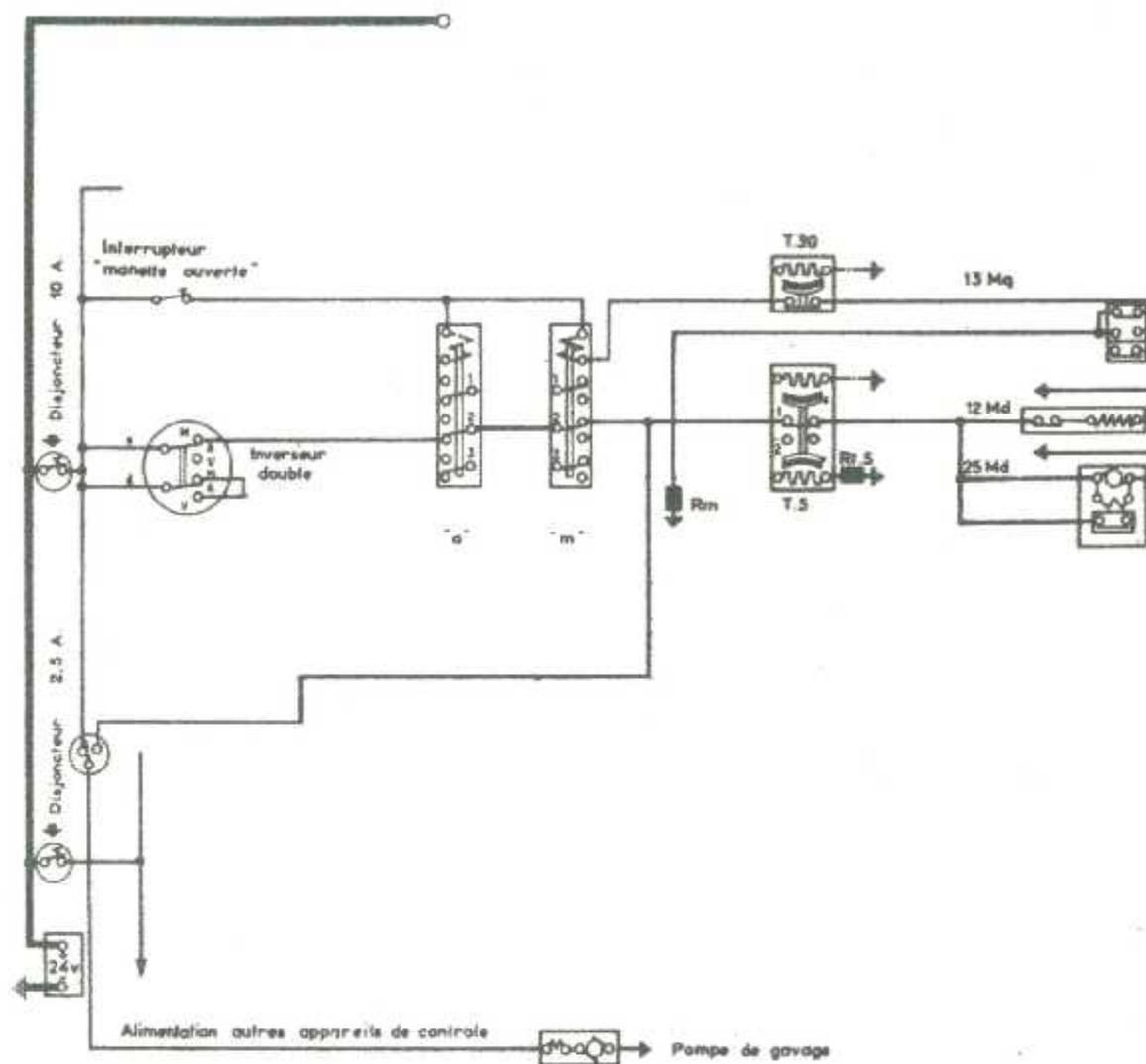
3-2-2/ Alimentation de la bobine et de la micropompe.

Figure 4 : Alimentation de la bobine et de la micropompe.

Dès le déclenchement du relais « a » :

- La bobine est alimentée, les étincelles éclatent entre les électrodes des bougies qui chauffent,
- La micropompe tourne et monte en pression.

NOTA :

Dans le cas où l'interrupteur « pompe de gavage » n'aurait pas été mis préalablement sur « marche », celle-ci serait cependant alimentée au travers du boîtier de démarrage.

3-2-3/ Allumage des bougies et ouverture du robinet électrique :

Dès que la pression de la micropompe est suffisante, la soupape de sectionnement s'ouvre, et provoque l'enclenchement de son mano-contacteur ; le carburant est pulvérisé par les bougies.

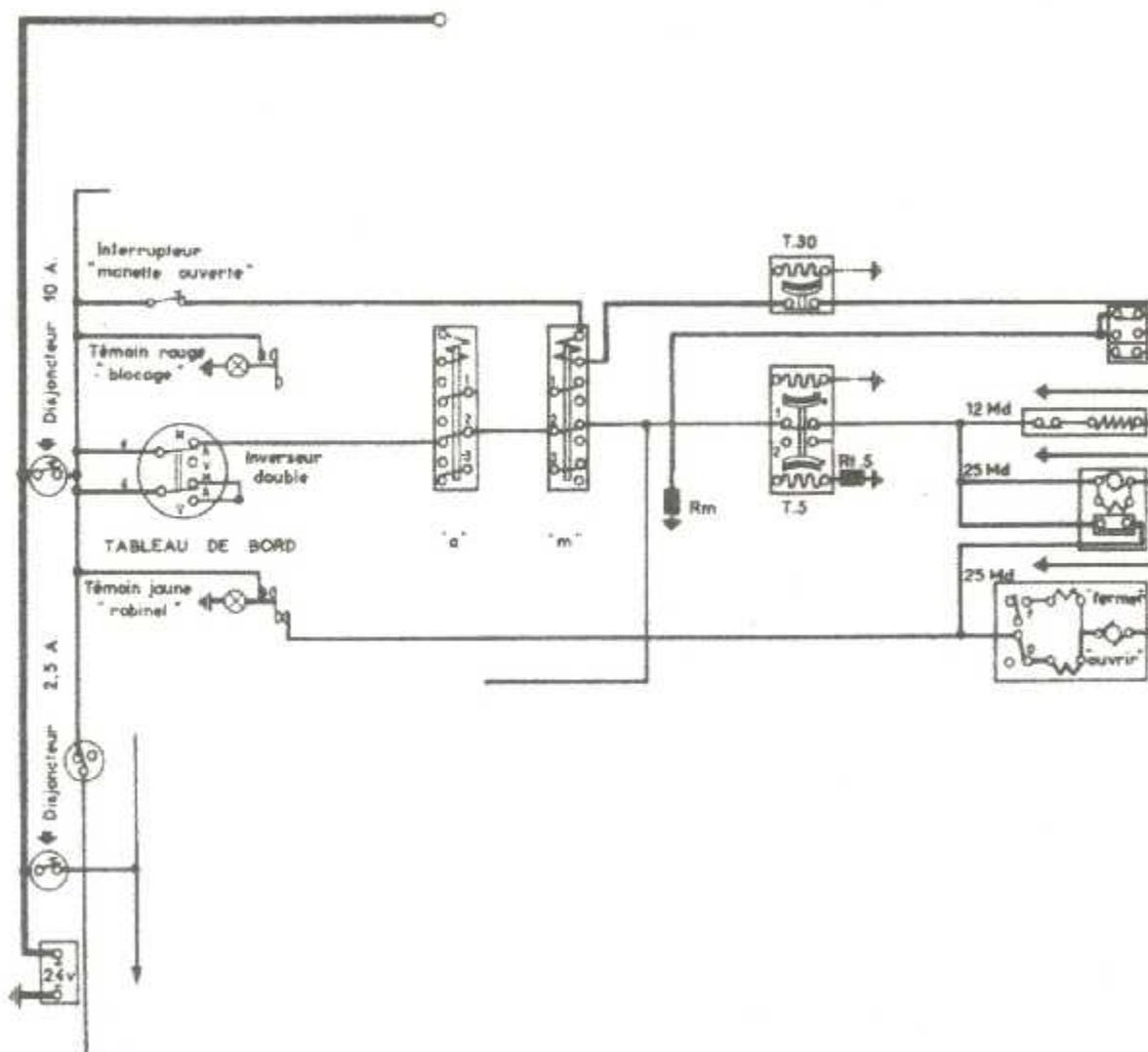


Figure 5 : Allumage des bougies et ouverture du robinet électrique.

- Les bougies s'allument,
- Le robinet électrique s'ouvre,
- Le témoin jaune « robinet » s'allume.

3-2-4/ Allumage de la chambre de combustion :

Au début de son mouvement d'ouverture, le robinet inverse son contact fin de course « fermer » et en fin d'ouverture, il inverse son contact fin de course « ouvrir ».

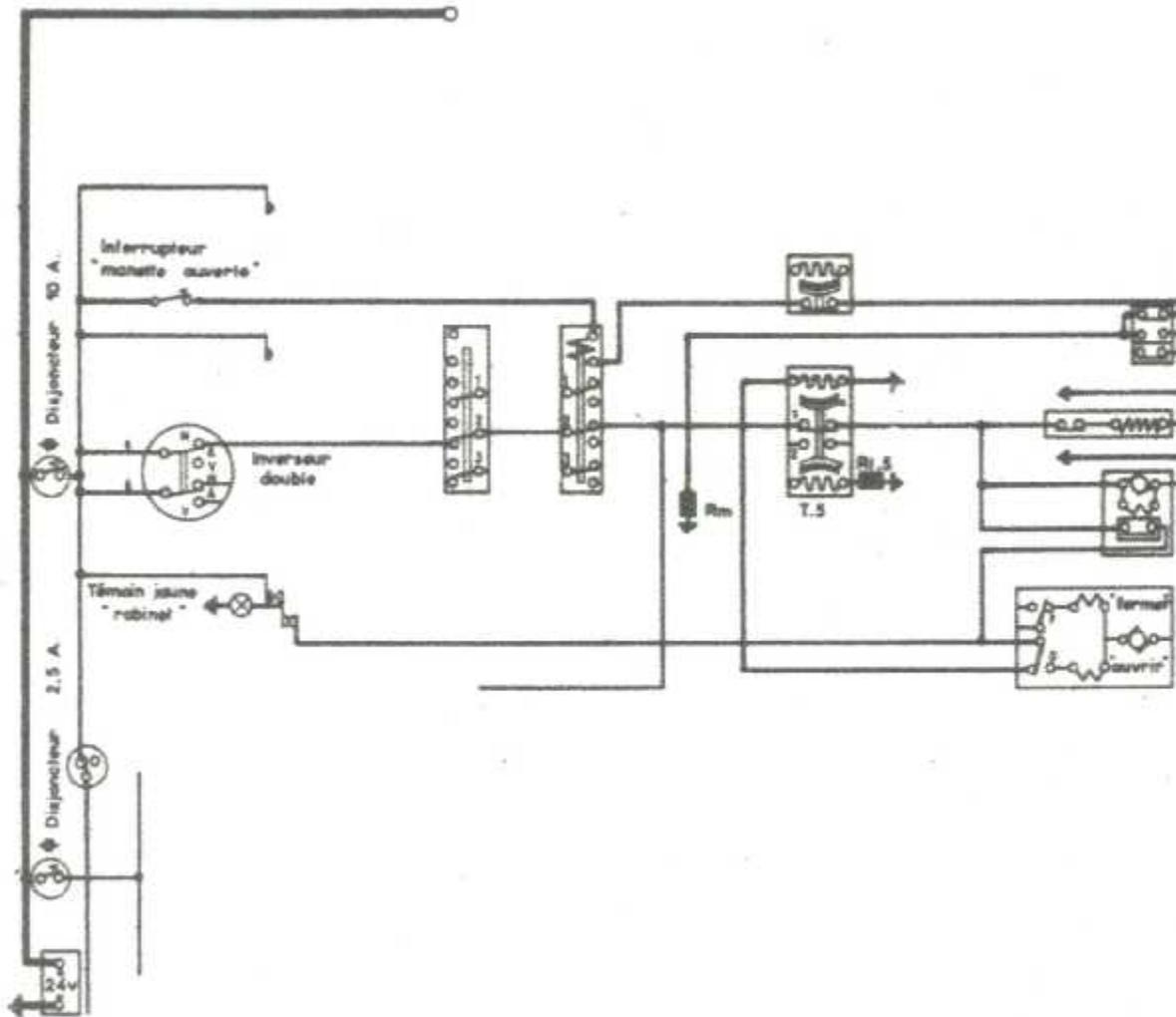


Figure 6 : Allumage de la chambre de combustion.

- Dès l'ouverture du robinet, le carburant est injecté dans la chambre et la machine s'allume,
- La température de tuyère augmente,
- La vitesse augmente,
- À la fin de l'ouverture du robinet le temporisateur « T5 a » chauffe.

3-2-5/ Fin des séquences d'allumage :

Sept secondes environ après l'ouverture du robinet électrique, le temporisateur T5 inverse ses contacts et dès que la pression d'air ou la pression de carburant atteint une valeur déterminée, le manocontacteur inverse son contact.

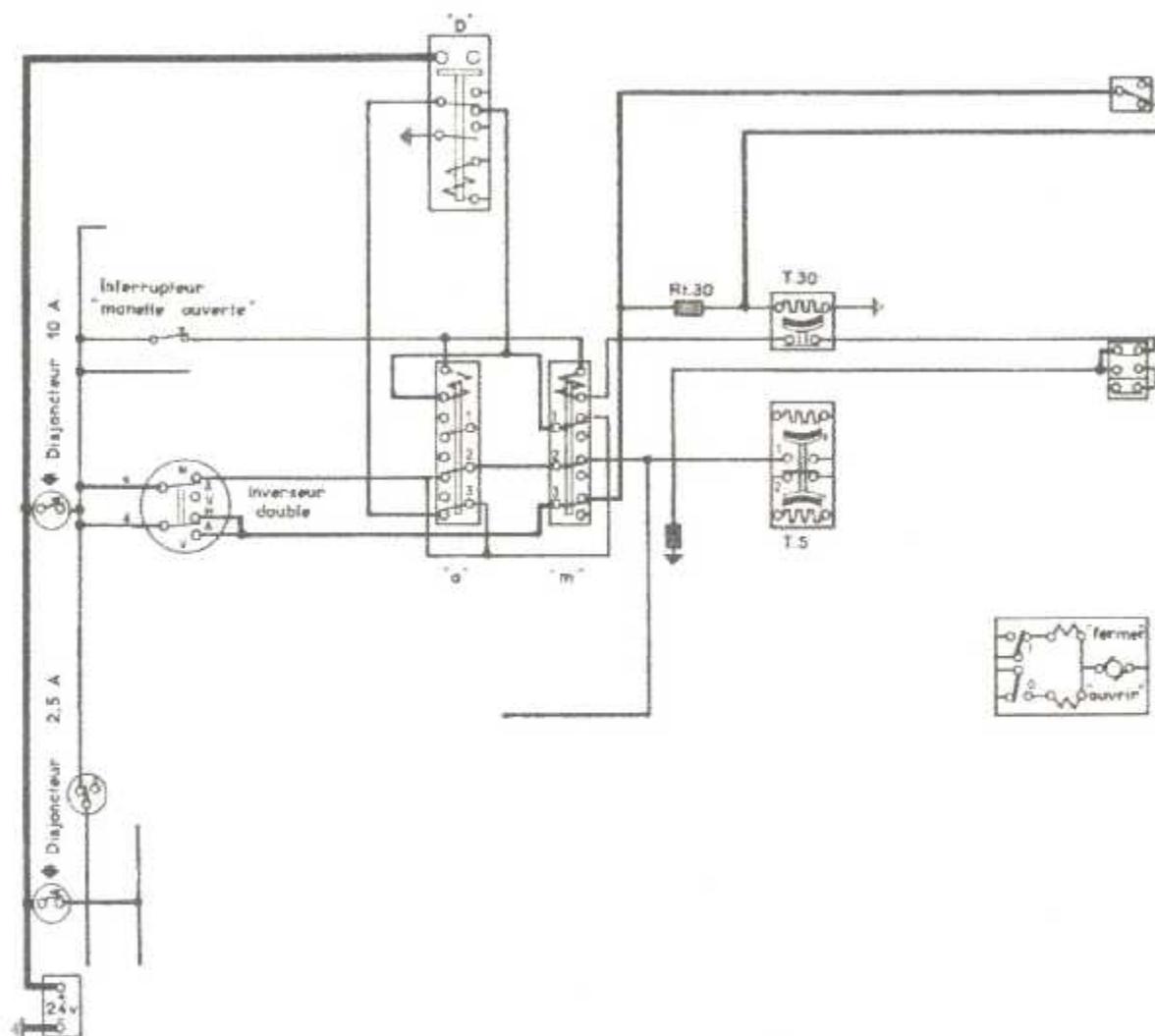


Figure 7 : Fin des séquences d'allumage.

- L'inversion des contacts du temporisateur « T5 » coupe l'alimentation de la bobine, ce la micropompe et du témoin jaune « robinet »,
- Les bougies s'éteignent,
- Le témoin jaune « robinet » s'éteint,
- L'inversion des contacts du manocontacteur coupe l'alimentation du contacteur « D » ; le démarreur cesse d'être alimenté,
- La turbine s'accélère seule,
- Le démarrage est terminé.

3-2-6/ Arrêt du cycle par coupure du « T30 » ou déplacement de la manette de débit :

si 30 secondes après le début des opérations de démarrage, le manocontacteur n'a pas fonctionné par le fait que la vitesse d'autonomie n'a pas été atteinte, le temporisateur « T30 » ouvre son contact et arrête le cycle de démarrage.

Le témoin rouge « blocage » s'allume. Il en est de même si le pilote, en déplaçant la manette de débit au cours de l'exécution du démarrage, inverse le contact « butée manette fermée ».

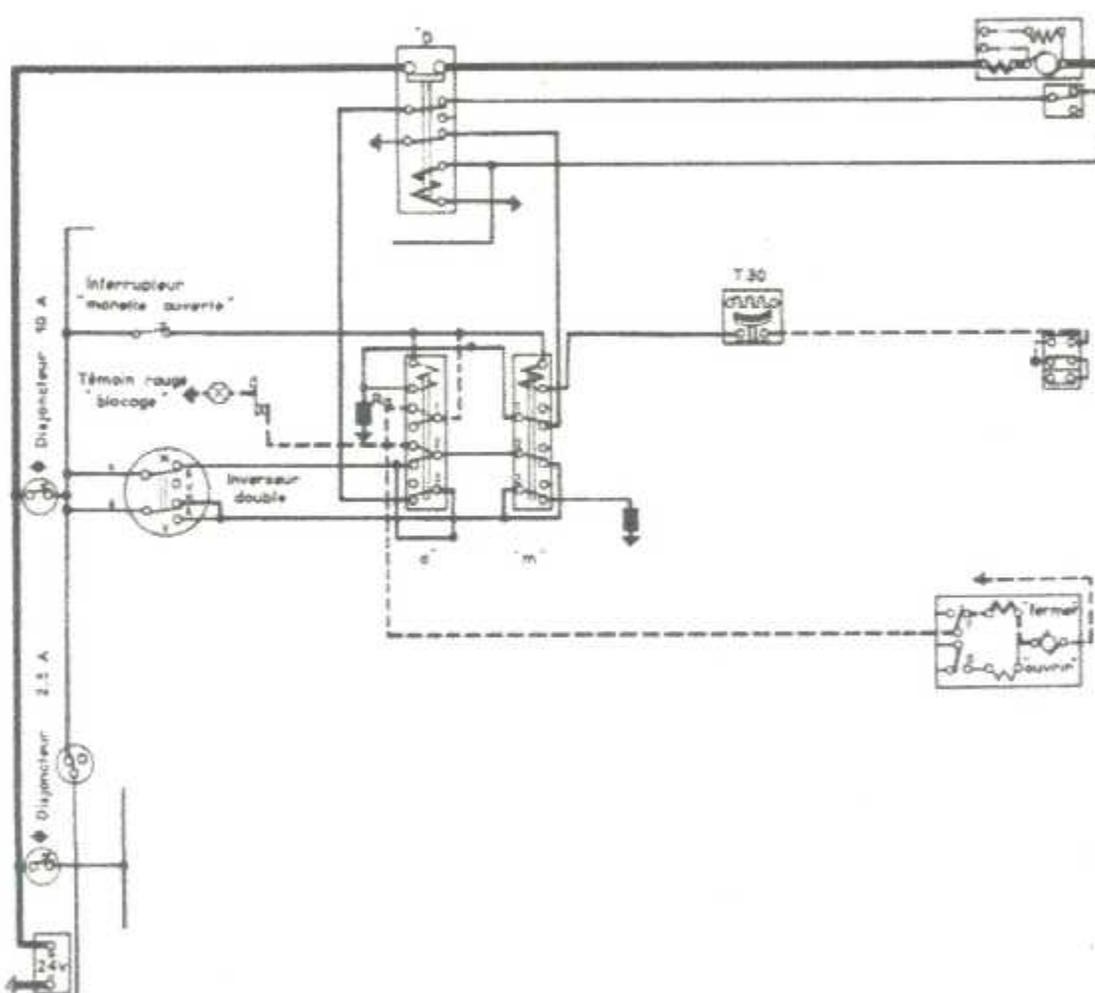


Figure 8 : Arrêt du cycle par coupure du « T30 » ou déplacement de la manette de débit.

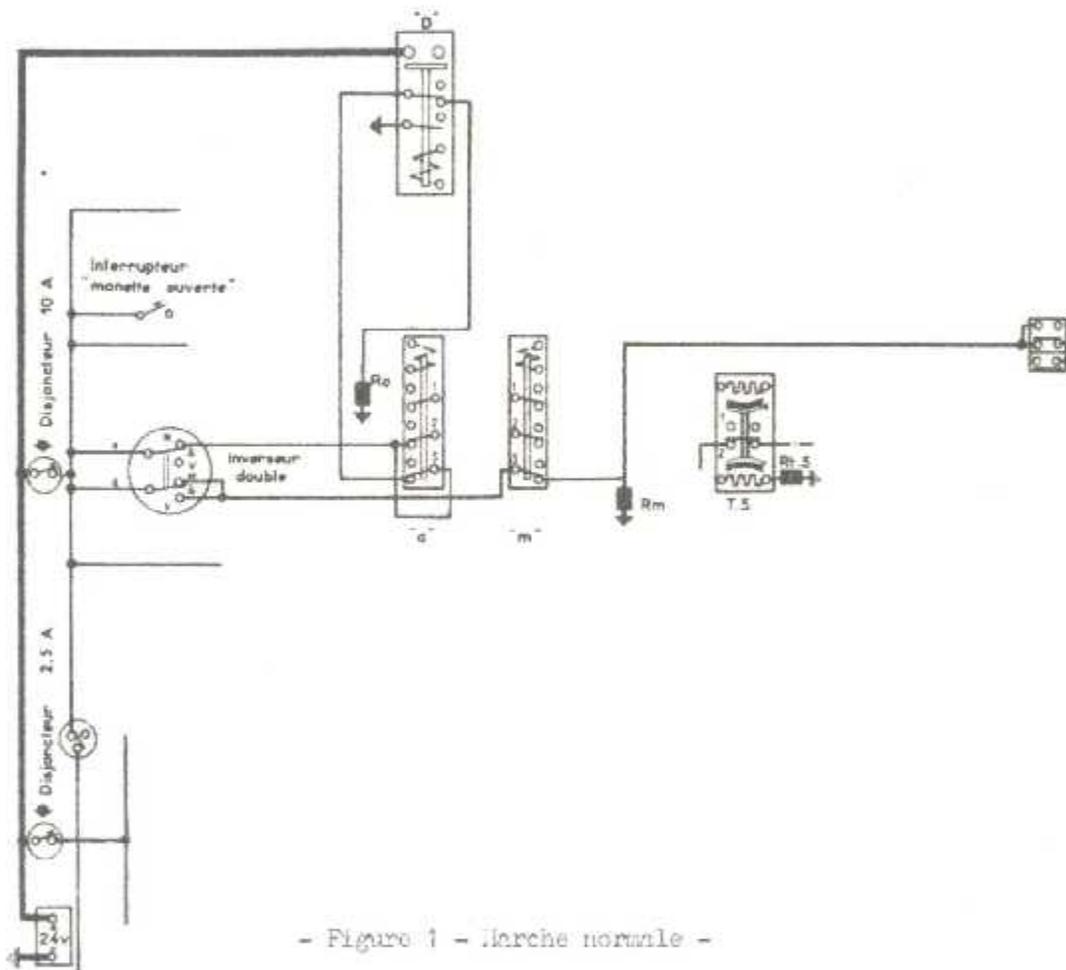
NOTA :

Aucune manœuvre n'est efficace tant que le témoin rouge « blocage » est allumé.

4/ MARCHE NORMALE :

La machine étant et le cycle de démarrage terminé, le pilote peut accélérer en ouvrant lentement le robinet de débit. Cette manœuvre provoque l'inversion des contacts « butée manette fermée ».

En fin d'ouverture le contact « butée manette ouverte » s'ouvre.



- Figure 1 - Marche normale -

Figure 9 : Marche normale.

Tous les relais sont déclenchés. Seul le temporisateur T5 conserve son contact inversé.

L'ouverture du disjoncteur 10A reste sans effet sur le fonctionnement de la turbine.

Le témoin rouge « limite de débit » s'allume pendant tout le temps que la manette du robinet de débit reste entre ses butées extrêmes.

5/ ALLUMAGE DU TEMOIN LIMITE DE DEBIT :

La machine fonctionne normalement, les contacts « butée manette fermée » sont inversés.

Si pour une raison quelconque, surcharge de la machine ou anomalie dans le circuit de carburant, le doseur du régulateurs s'ouvre au maximum :

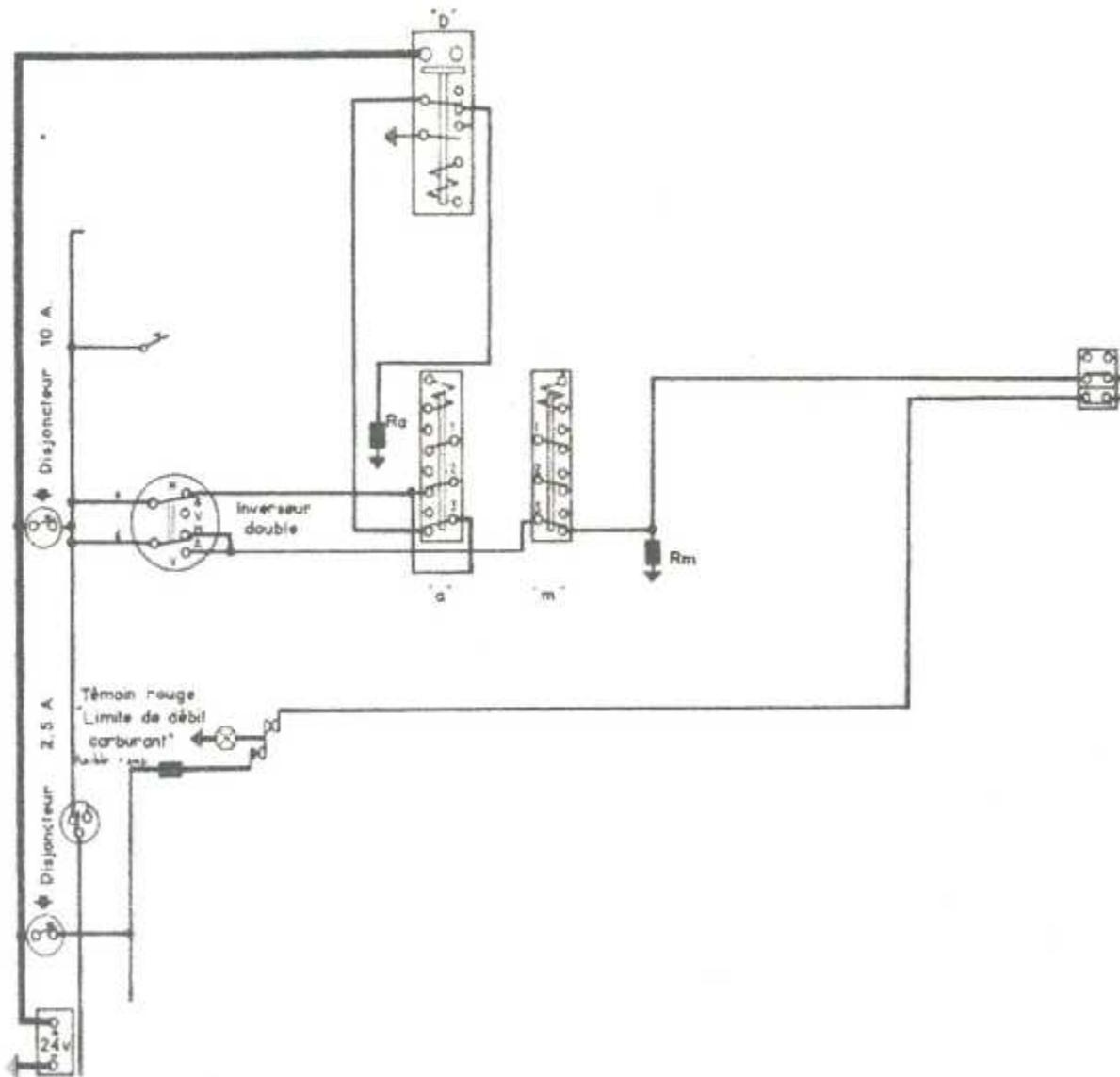


Figure 10 : Allumage du témoin « limite de débit ».

Le manoccontacteur de régulateur établit son contact et le témoin rouge « limite de débit » s'allume.

6/ ARRET DE LA MACHINE :

6-1/ Manœuvres à effectuer :

- Réduire la puissance demandée au turbo-moteur à sa valeur minimale.
- Réduire la vitesse de la turbine en fermant le robinet de débit.
- Attendre que la vitesse se soit stabilisée.
- Placer l'inverseur double « marche- arrêt- ventilation » sur « arrêt ».

6-2/ Conséquences :

6-2-1/ Fermeture du robinet électrique :

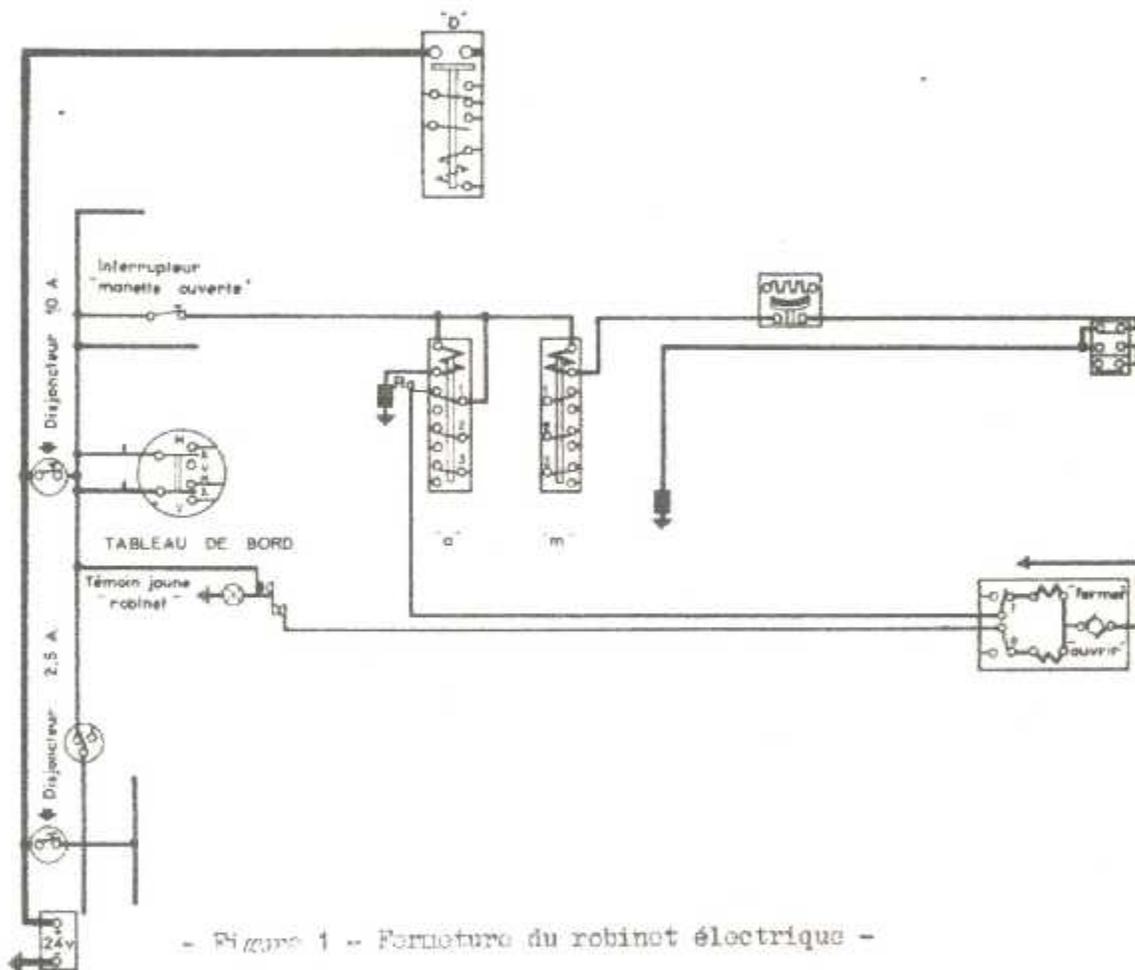


Figure 11 : Fermeture du robinet électrique.

- Le relais « a » enclenche,
- Le robinet électrique se ferme,
- Le témoin jaune « robinet » donne un éclair,
- La machine décélère.

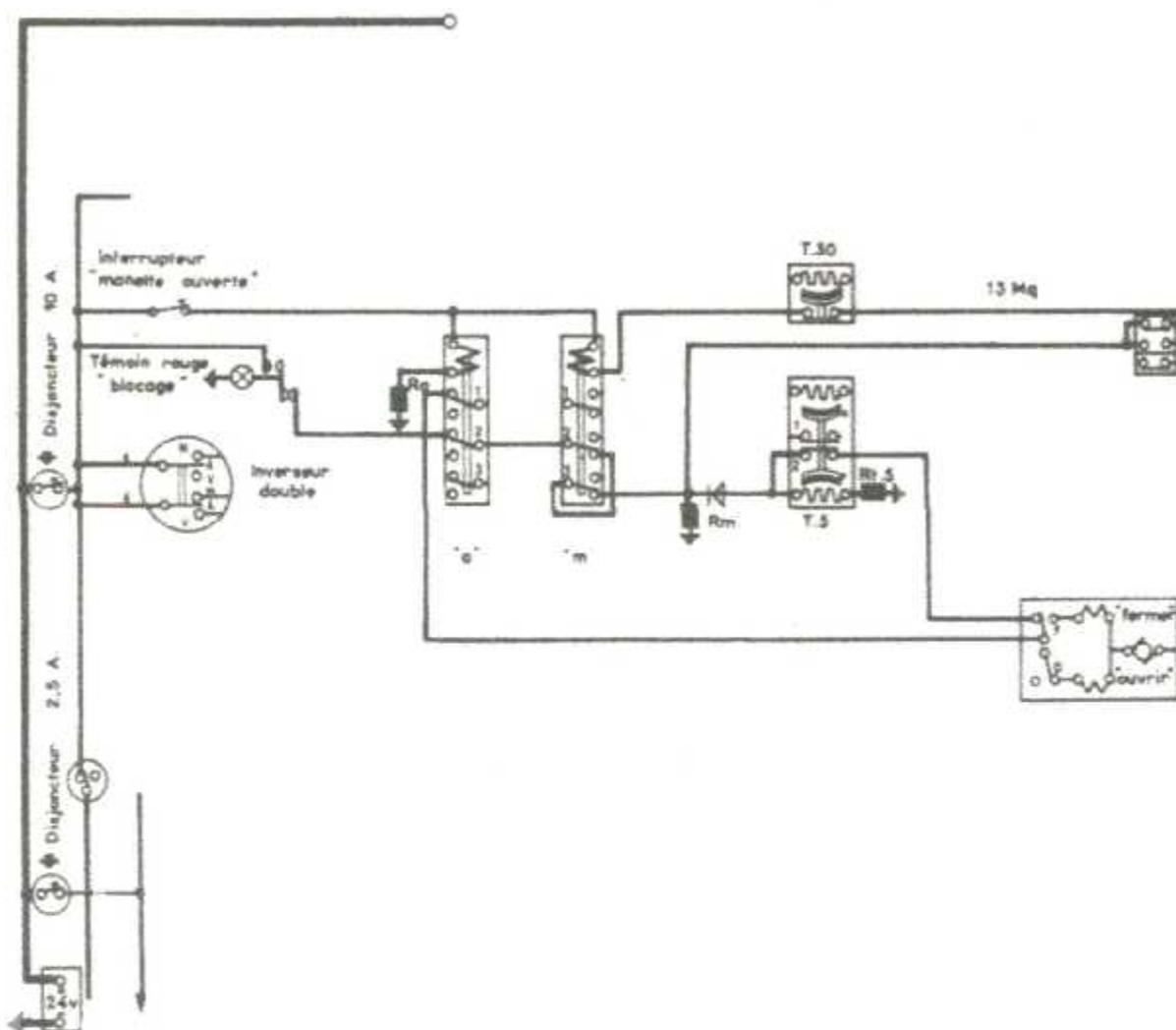
6-2-2/ Allumage du témoin rouge « blocage » :

Figure 12 : Allumage du témoin rouge « blocage ».

Après la fermeture du robinet électrique :

- Le témoin rouge « blocage » s'allume,
- Le temporisateur « T5 r » chauffe,
- Le temporisateur « T5 » se réarme et le témoin rouge « blocage » s'éteint.

NOTA :

La durée de l'auto-rotation de la turbine, après fermeture du robinet électrique est de 45 secondes environ.

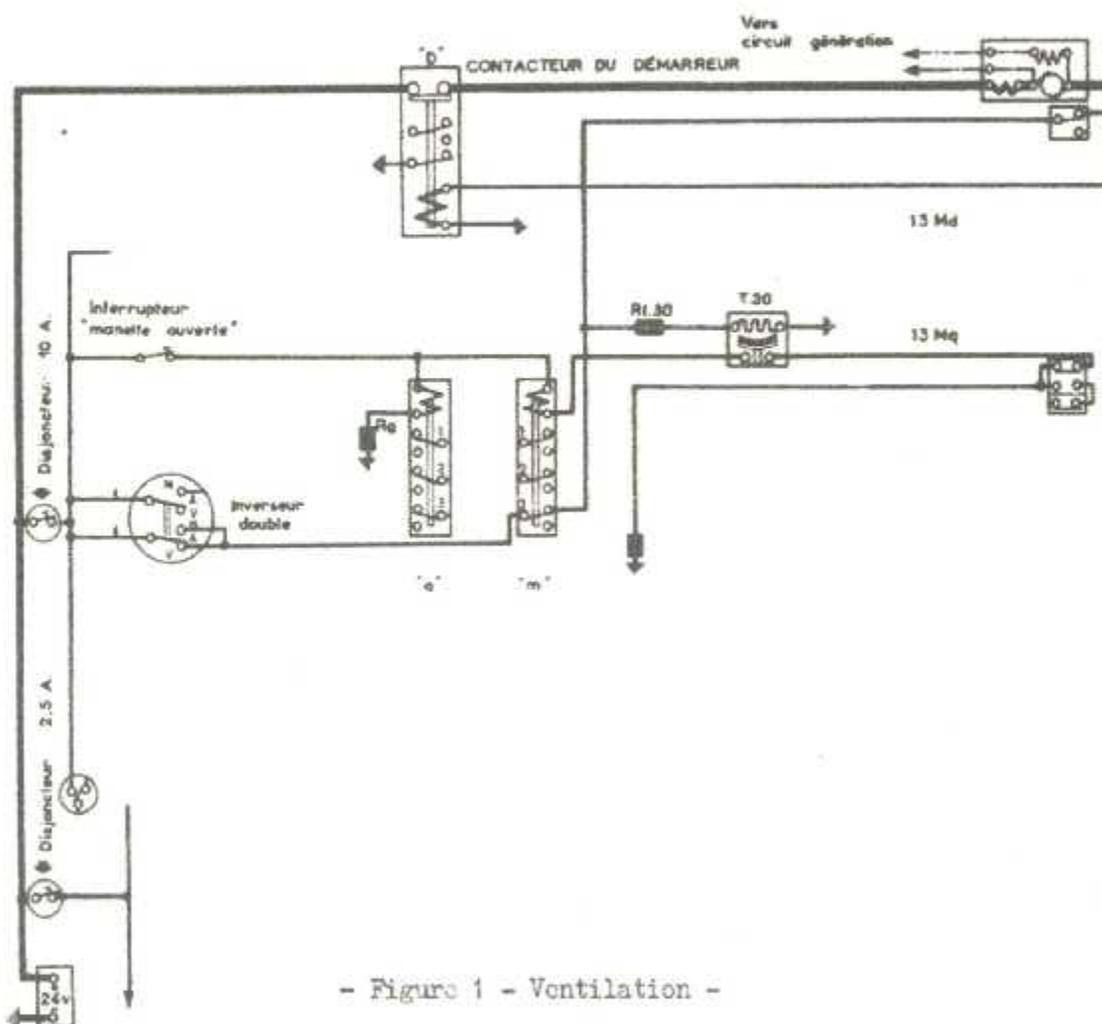
7/ VENTILATION :

7-1/ Manœuvre à effectuer :

- S'assurer que la machine est prête pour l'exécution d'un démarrage,
- Placer l'inverseur double « marche- arrêt- ventilation » sur « ventilation » et l'y maintenir pendant la durée de la ventilation désirée.

7-2/ Conséquences :

7-2-1/ Ventilation normale :



- Figure 1 - Ventilation -

Figure 13 : Ventilation.

- Le temporisateur « T30 » chauffe,
- Le contacteur du démarreur enclenche,
- Le démarreur tourne et entraîne la turbine,
- Lorsque le pilote lâche l'inverseur double, le contacteur du démarreur déclenché et le démarreur s'arrête.

7-2-2/ Ventilation d'une durée supérieure à 30 secondes :

Si le pilote maintient l'inverseur double sur « ventilation » pendant plus de 30 secondes :

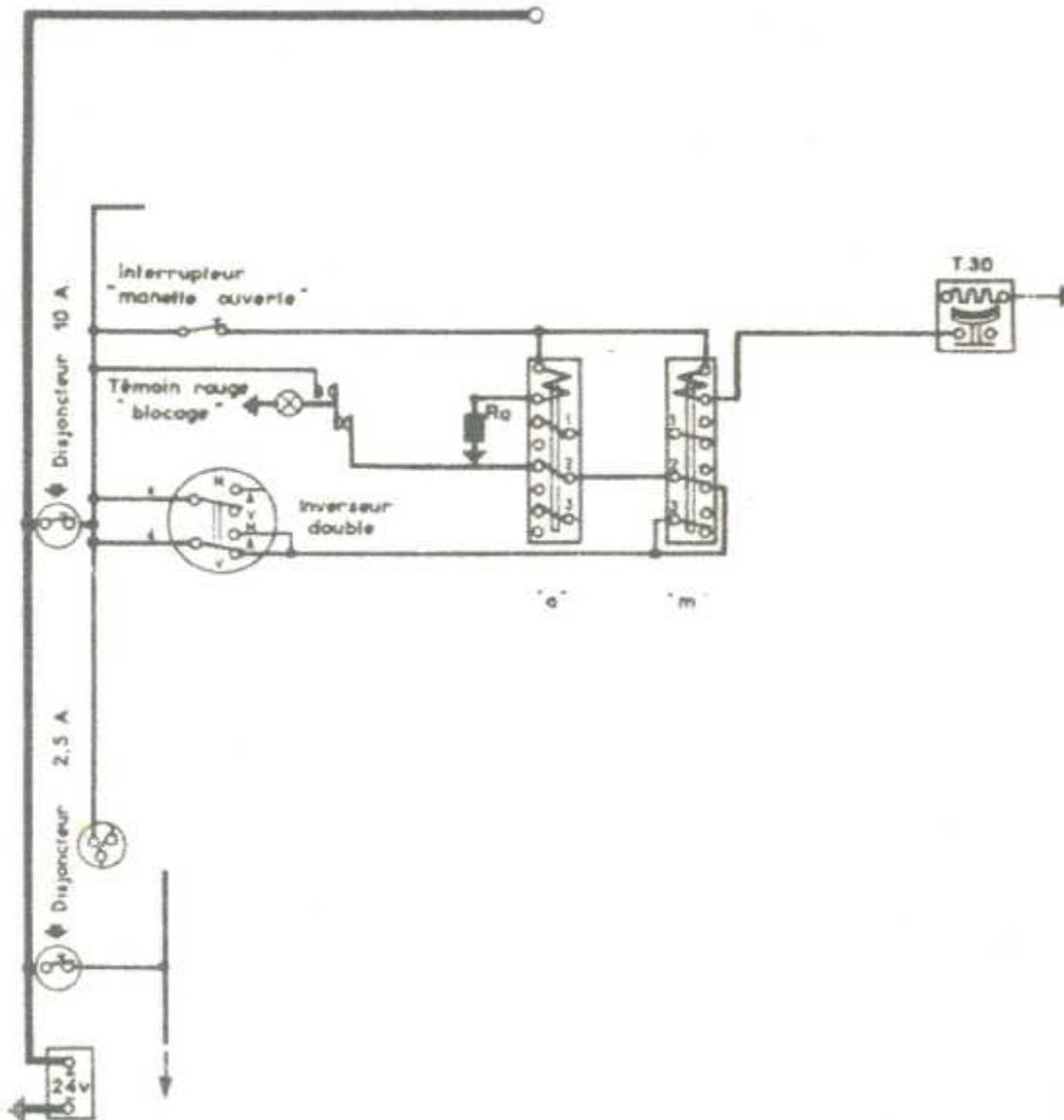


Figure 14 : Arrêt de la ventilation par fonctionnement du « T30 ».

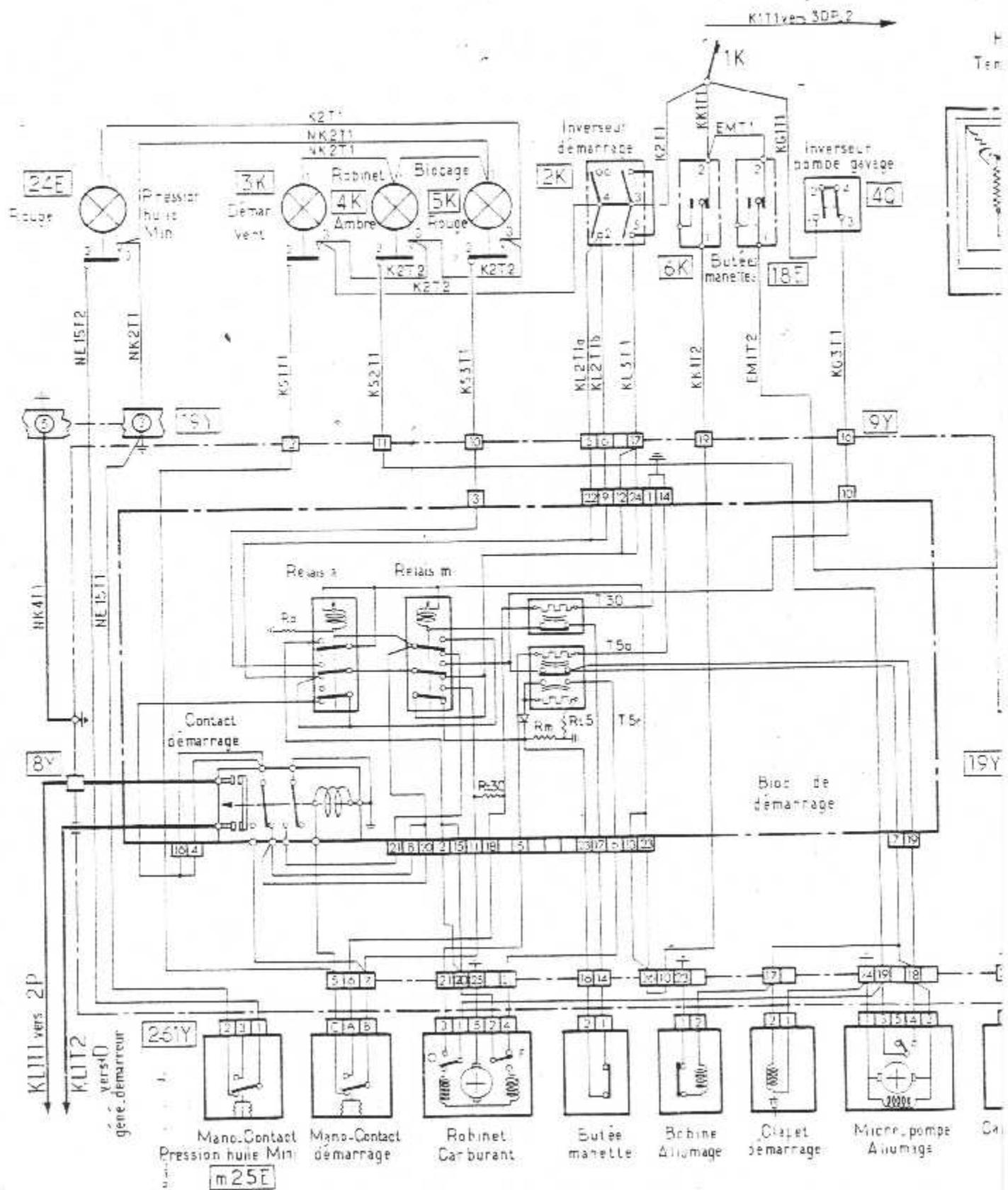
- Le temporisateur « T30 » ouvre son contact,
- Le relais « m » declenche,
- Le contacteur du démarreur declenche,
- Le démarreur s'arrête,
- Le témoin rouge « blocage » s'allume. Il reste allumé pendant tout le temps que le « T30 » met pour se refroidir.

w

Annexe 2

HELICOPTERE Lama SA 315

MANUEL D'ENTRETIEN



ile turbine
Analyse-Pression

Récepteur
triple

Récepteur combiné
turbine tachy rotor

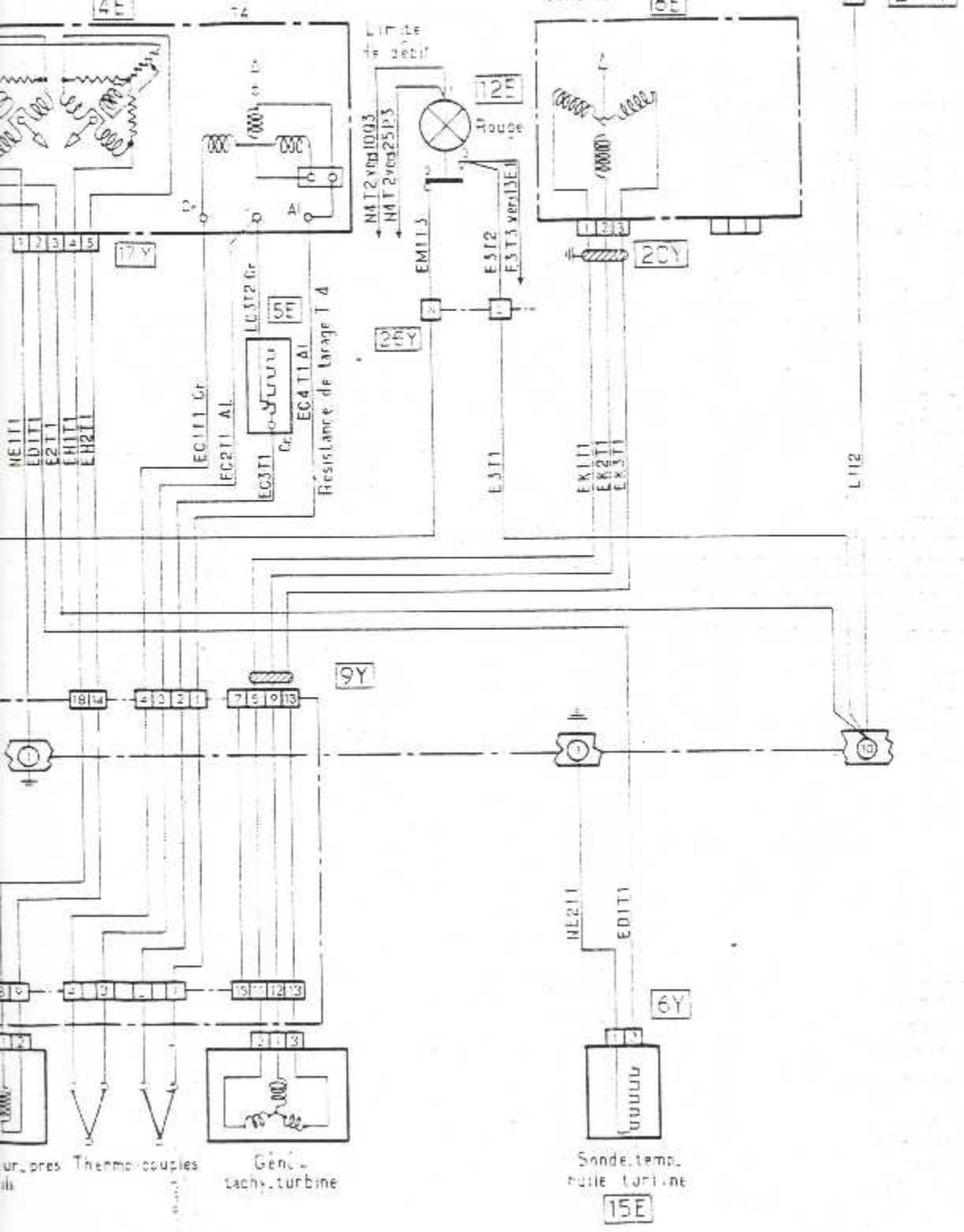
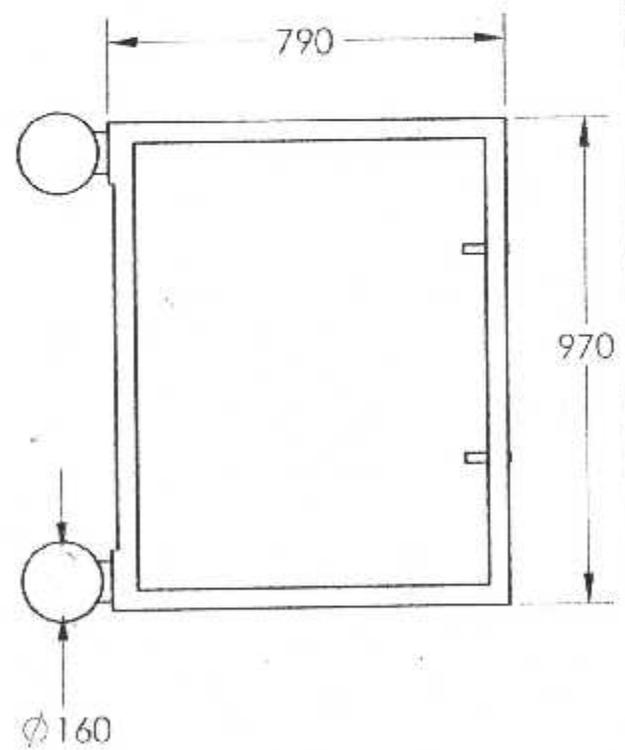
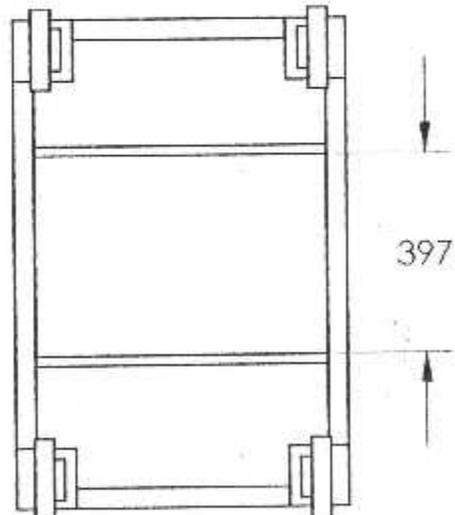
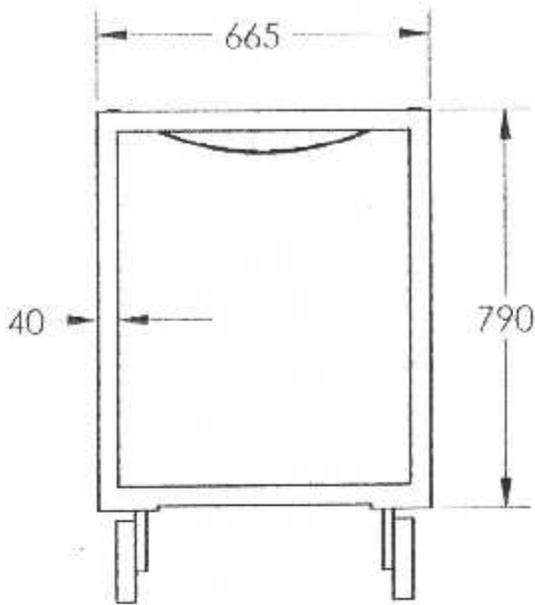


Schéma de principe



INSTITUT D'AERONAUTIQUE DE BLIDA

SUPPORT RESERVOIR CARBURANT

Dirigé par : Hocine BENTRAD

MEGHZI - SAIDOUN

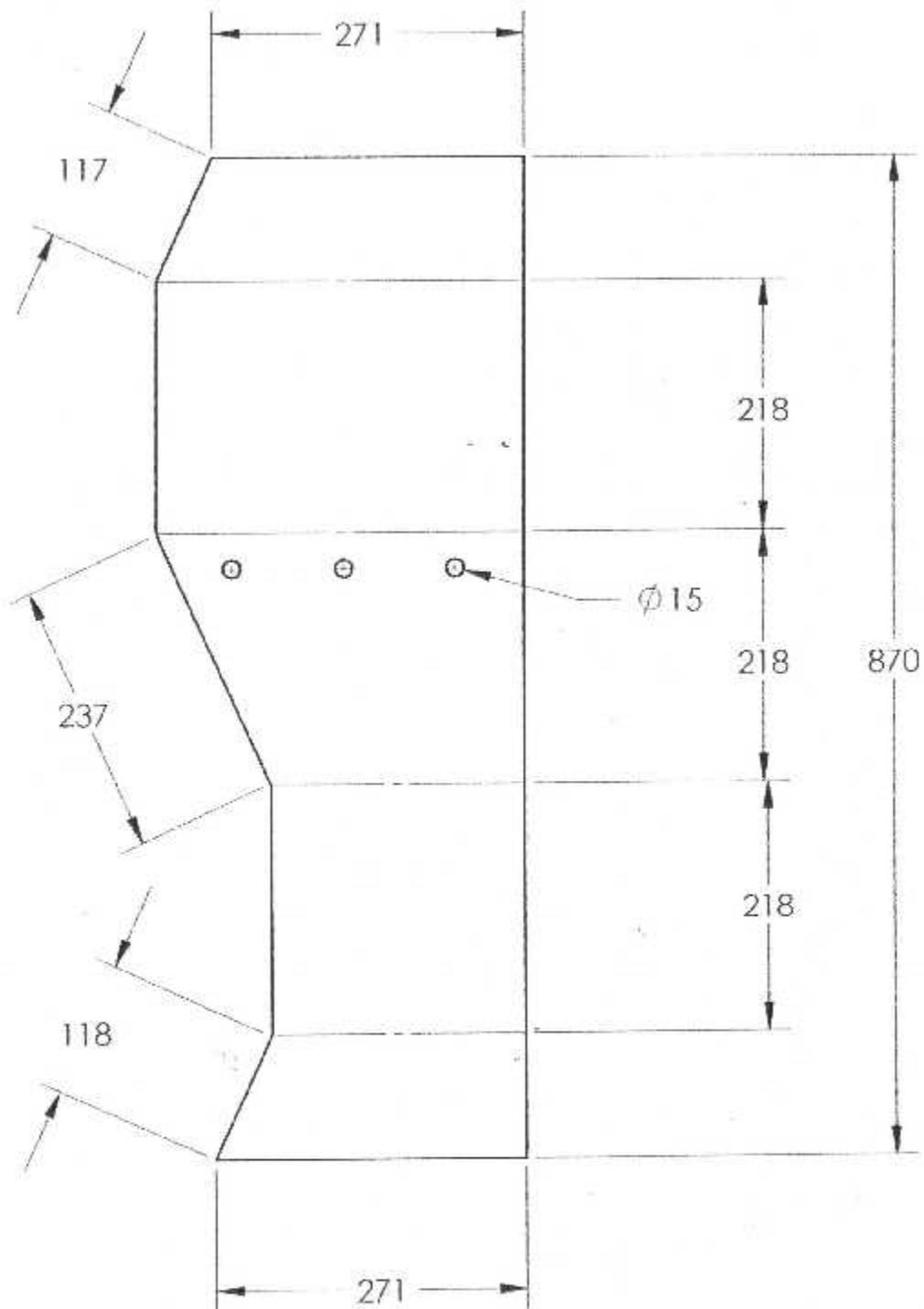
PROPULSION

10/10/2004

N° : 01

ECHELLE: 1/20

A4



INSTITUT D'AERONAUTIQUE DE BLIDA

LE RESERVOIR D'HUILE

Dirigé par : Hocine BENTRAD

MEGHZI - SAIDOUN

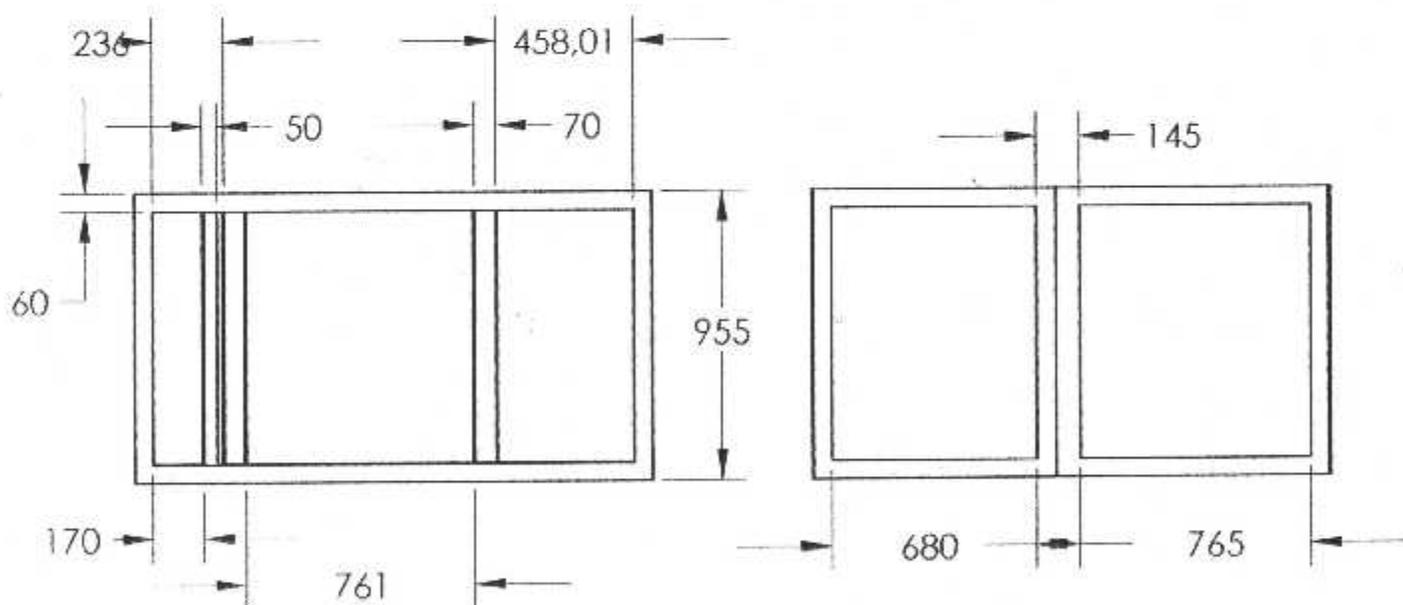
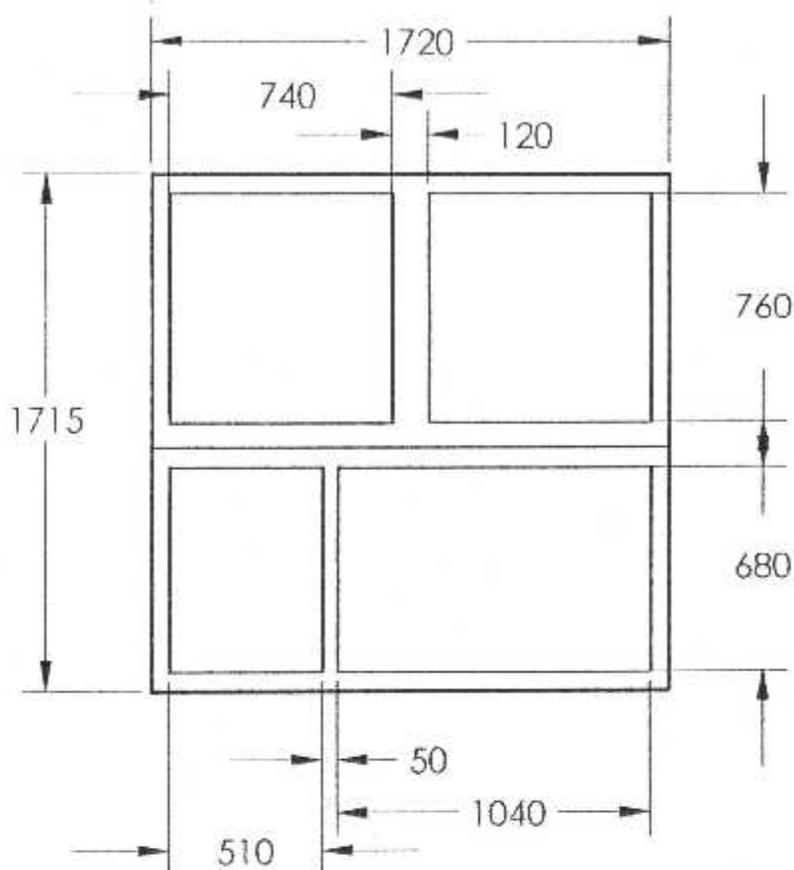
PROPULSION

10/10/2004

N° : 02

ECHELLE: 1/10

A4



INSTITUT D'AERONAUTIQUE DE BLIDA

ECHELLE: 1/33

SOCLE PRINCIPALE

PROPULSION

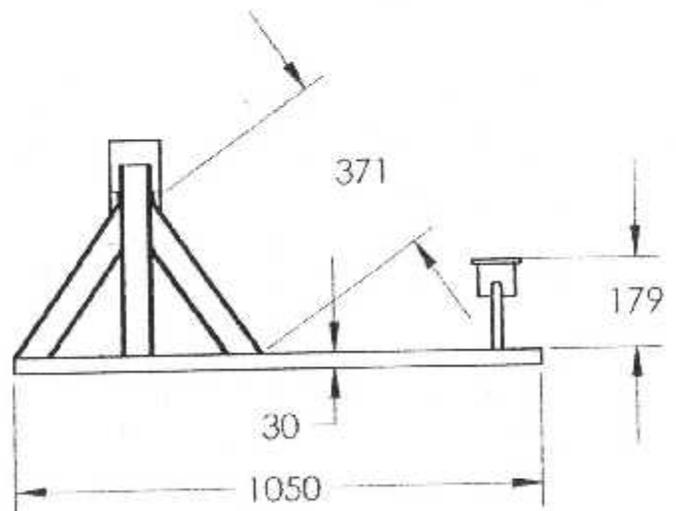
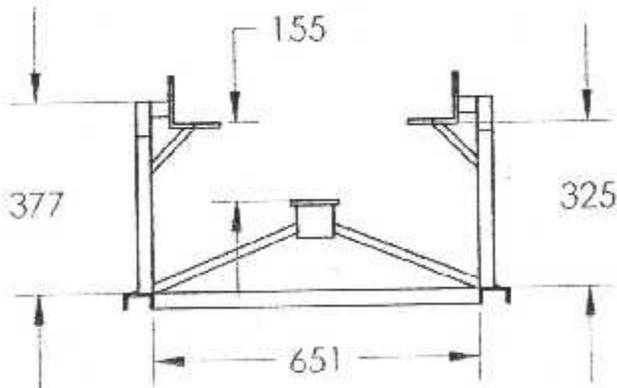
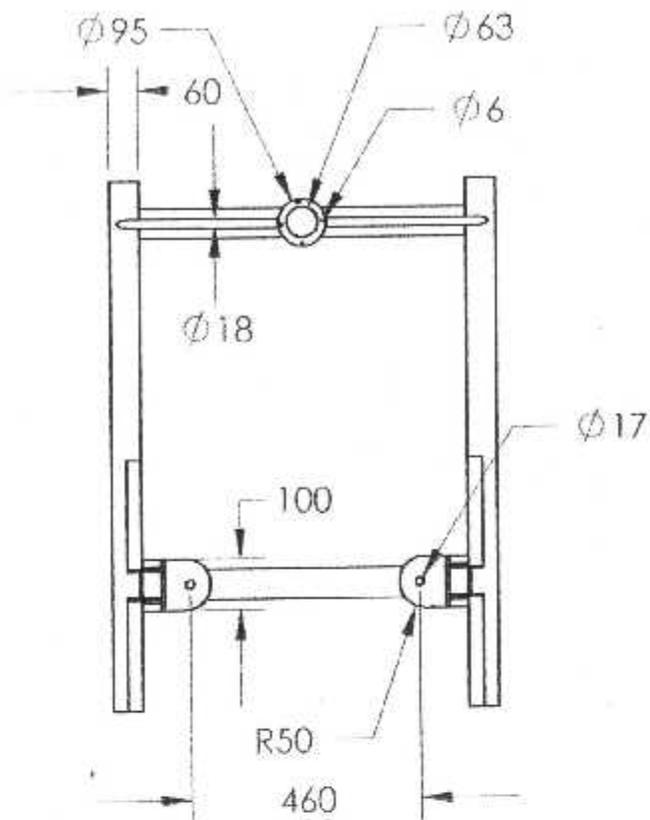
Dirigé par : Hocine BENTRAD

10/10/2004

A4

MEGHZI - SAIDOUN

N° : 03



INSTITUT D'AERONAUTIQUE DE BLIDA

ECHELLE: 1/15

SUPPORT MOTEUR

PROPULSION

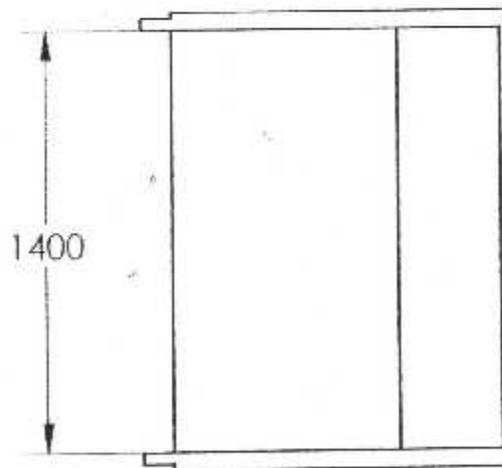
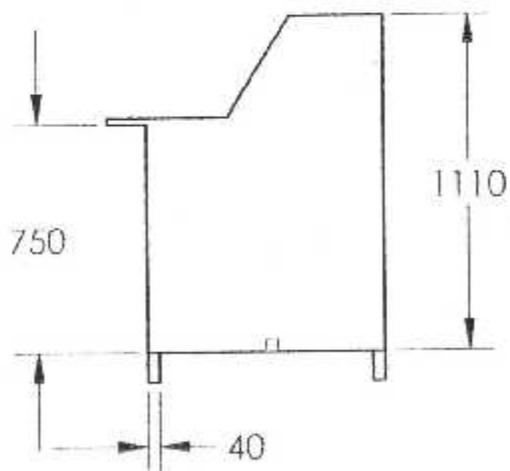
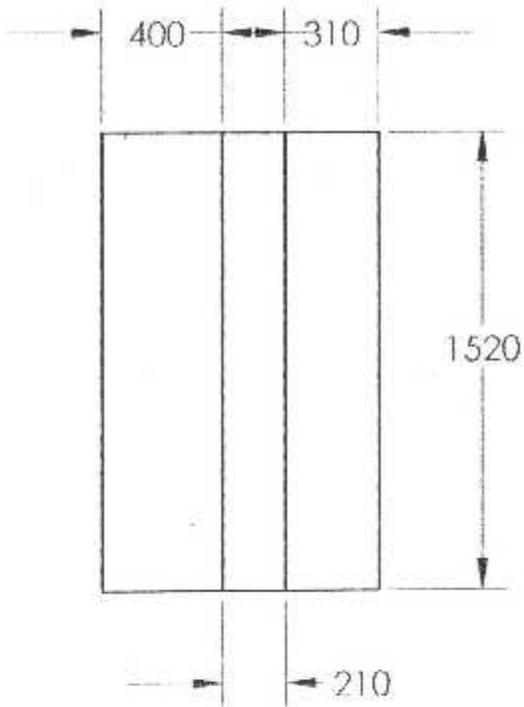
Dirigé par : Hocine BENTRAD

10/10/2004

A4

MEGHZI - SAIDOUN

N° : 04



INSTITUT D'AERONAUTIQUE DE BLIDA

ECHELLE: $\frac{1}{2}$

TABLEAU DE COMMANDE
Dirigé par : Hocine BENTRAD

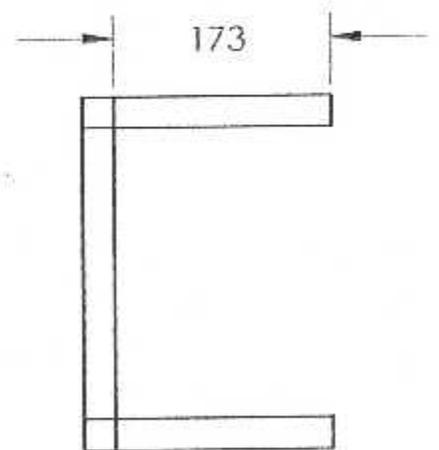
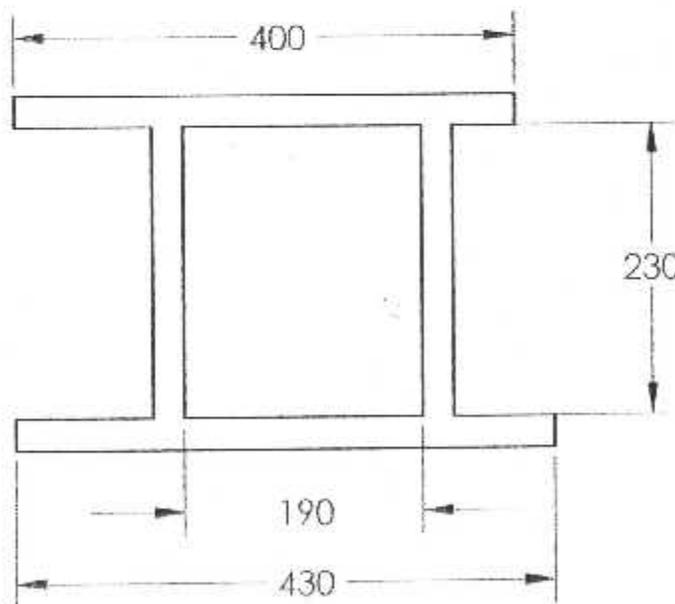
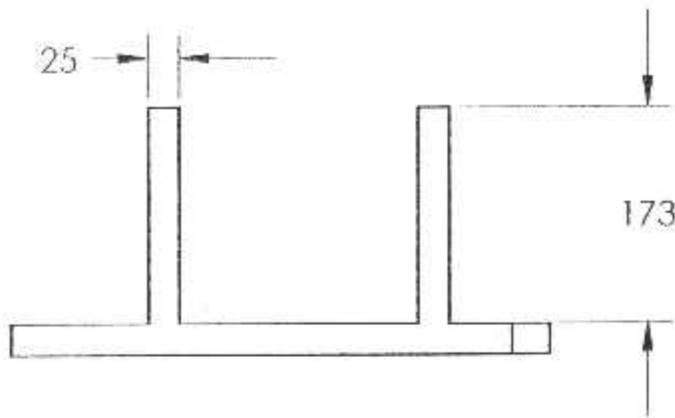
PROPULSION

10/10/2004

A4

MEGHZI - SAIDOUN

N° : 05



INSTITUT D'AERONAUTIQUE DE BLIDA

ECHELLE: 1/10

SUPPORT RESERVOIR D'HUILE

PROPULSION

Dirigé par : Hocine BENTRAD

10/10/2004

MEGHZI - SAIDOUN

N° : 06

A4

BIBLIOGRAPHIE

1. Manuel d'entretien LAMA SA 315 volume (1).
2. Manuel d'entretien LAMA SA 315 volume (2).
3. Manuel d'entretien LAMA SA 315 volume (3).
4. Manuel de vol de l'hélicoptère Alouette II SE3130 et version 313B.
5. Manuel complémentaire d'approvisionnement.
6. Description et fonctionnement du turbo moteur Alouette II B.
7. M^R BENTRADE HOCINE « cours atelier de 4^{ème} année propulsion ».
8. M^R HENNI MANSSOUR « cours de thermodynamique de 3^{ème} année ingénieur institut d'aéronautique».2002.
9. LES TURBINES A GAZ.
Groupe LABINAL
Division TURBOMEGA .Mai 1993.
10. REALISATION D'UN MICRO TURBO REACTEUR.
Mémoire d'ingénieur I.A.B fait par FERADJ Mounir et KHOUFACHE Toufik. 2002.
12. MOHAMED KARKAR « Aerothermodynamique des turbomachines – turbine à gaz ». 2001.