

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : Genie Mecanique.

المسندة الوطنية للعلوم الهندسية

الكلية
PROJET DE FIN D'ETUDES

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

SUJET

SIMULATION DU REFROIDISSEMENT
PAR AIR DEPLACE DU MOTEUR
47cm³ CMG EN CONDITION D'ETE

Proposé par :

E. N. P. V. P.

C. M. G.

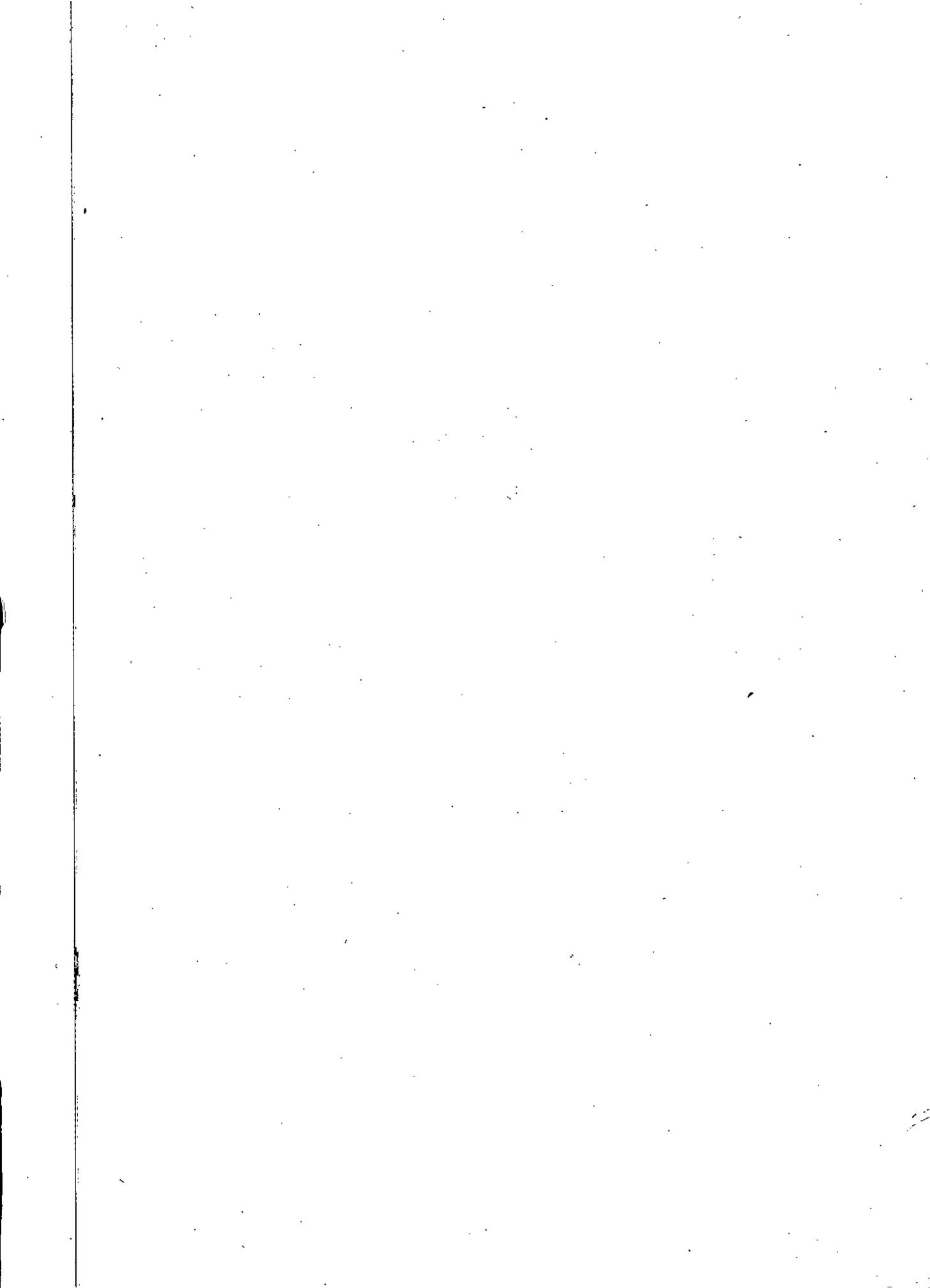
Etudié par :

MADANI Brahim

Dirigé par :

Mr AIT ALI

PROMOTION : JUIN 1985



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT :

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

SIMULATION DU REFROIDISSEMENT
PAR AIR DEPLACE DU MOTEUR
47cm³ CMG EN CONDITION D'ETE

Proposé par :
E. N. P. V. P.
C. M. G.

Etudié par :
MADANI Brahim

Dirigé par :
Mr AIT ALI

PROMOTION : JUIN 1985

E. N. P. - 10, Avenue Hacén Badi - EL-HARRACH - ALGER

D E D I C A C E :

Je dedie ce modeste travail

- A MON PERE**
- A MA MERE**
- A MON GRAND FRERE MOHAMED**
- A MES SOEURS ET A MON FRERE OMAR**

REMERCIEMENT

Je remercie mon promoteur Monsieur AIT ALI pour ses conseils et sont suivi durant toute la periode de preparation de Mon Projet.

Je remercie Monsieur LOUALI qui ma aidé du mieux qu'il a pu lors de la construction du bruleur et bien d'autse fois.

Je remercie Monsieur KHELIL pour ces encouragements qui m'ont été tres utiles.

Mes remerciement sont destinés à tous les professeurs qui ont contribuée à ma formation depuis mon jeune age ,je cite on particulier ceux du departement de mecanique.

Je tiens à remercier mes amis Hocine, Yacine, Nacerdine, qui n'ont pas menagé d'effort pour voir la reussite de se projet.

Enfin mes remerciement sont adresses à toutes les personnes qui m'ont apportés leurs concours.

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

وزارة التعليم العالي

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

Département : Genie Mecanique

Promoteur : Mr AIT - ALI

Elève Ingenieur : MADANI Brahim

مصلحة : الهندسة الميكانيكية

موجه : السيد آيت علي

تلميذ مهندس مداني ابراهيم

— الموضوع: اصطاع حالة التبريد بالهواء المسترسل لمحرك 47 سم C.M.G ظروف الصيف
— الملخص : هذه الدراسة تهدف الى تكلمة النتائج المتحصل عليهما في دراسة سابقة
كان موضوعها : " تقييم نتائج التبريد بالهواء المسترسل لمحرك ثنائي الاشواط حادي
الاسطوانة مبرد — في الاصل — بمروحة من انتاج المركب الصناعي للدراجات
والدراجات النارية بقالمة " وذلك باصطناع ظروف العمل خلال الفصول
الحارة وتحليل الغازات المحترقة المطرودة .

Sujet : Simulation du Refroidissement par air déplacé du moteur 47CM
C.M.G en conditions d'Eté .

Résumé : Cette étude consiste à compléter les résultats d'une étude
déjà faite sur : " L'Evaluation des performances du refroidi-
sissement par air déplacé d'un Moteur deux temps , monocyl-
indrique , refroidi par uge soufflante , fabriqué par le
Complexe Cycles et Motocycles de Guelma C.M.G " , par simu-
lation des conditions de fonctionnement durant la saison
Chaud , et l'analyse des gaz d'échappement .

Subject : Simulation of air cooling of motorcycle engine 47cc in
summers conditions .

Abstract : This study is meant to complete a previous study on :
"the performances evaluation of air cooling of a two
stroke , single cylinder , Motor cycle engine manufactured
by the cycles and motor cycles complex of guelma C.M.G "
by simulation the hot season working conditions and ana-
lyzing of the exhaust gases .

TABLE DE MATIERES

1-INTRODUCTION

- 1-1 Notions sur le refroidissement. P 1
- 1-2 Moteurs a deux temps. P 3
- 1-3 Objectif de l'étude. P 7

2 ETUDE THEORIQUE ET EXPERIMENTALE DES GAZ DE COMBUSTION

- 2-1 Bilan chimique et energetique P 10
- 2-2 Analyse manuelle des gaz de combustion. P 14

3 BANC D'ESSAI

- 3-1 Simulation des conditions d'Été P 22
- 3-2 Simulation du déplacement du Moteur P 22
- 3-3 Installation électrique. P 24
- 3-4 Appareils de mesure de température P 24
- 3-5 Appareils pour analyser les gaz d'échappement P 27
- 3-6 Réservoir d'essence. P 27

4 ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

- 4-1 Etude expérimentale P 29
- 4-2 Analyse des résultats P 48

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATION P 52

BIBLIOGRAPHIE P 54

APPENDICE

A - Rendement des machines a courant continu P 55

B - Abaques pour :

 L'évaluation du coefficient de convection forcée P 62

 L'évaluation des efficacités des ailettes P 64

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU N°		PAGE
1	Coefficient de correction de la masse volumique	
2	Energie degagée par la combustion complete du melange carbu- re air - Essence	32
3	Puissance mecanique effective.	35
4 1	Proprietés physique de l'air	37
4 2	Energie emportées par les gaz d'echappement	38
5	Energie perdue par combustion incomplete	42
6	Energie dissipée par convection forcée par le cylindre	44
7	Energie dissipée par convection forcée par la culasse.	45
8	Energie dissipée par convection forcée par le carter.	46
9	Energie transmise aux parois du moteur	47
10	Bilan énergetique.	49

TABLE DES FIGURES

FIGURE N°		PAGE
1	Fonctionnement des moteurs à 2 temps	4
2	Diagramme de fonctionnement des moteurs à deux temps	6
3	Resultats de l'étude précédente	8
4	Appareil d'ORSAT	10
5	Vue d'ensemble du montage	21
6	Bruleur monté sur son support face à la gaine de sortie du ventilateur	23
7	Installation électrique	25
8	Table de démarrage et de charge	26
9	Table des appareils de mesure	26
10	Analyseur de gaz et le debimetre	28
11	Reservoir d'essence	
12	Caractéristique à vide de la generatrice	34
13	Rendement de la generatrice	34
14	Debimetre et tube en U incliné	41
15	Comparaison des resultats	50
16	Comptabilité des calories entrante et sortante du moteur	51
17	Abaques pour l'écoulement de l'air perpendiculairement à un cylindre	62
18	Abaques pour l'écoulement de l'air parallèlement à un cylindre	63
19	Efficacité des Ailettes	64

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1-NOTIONS SUR LE REFROIDISSEMENT

1-1 G E N E R A L I T E

La chaleur dégagée par la combustion chauffe le moteur rapidement ; les temperature internes sont de l'ordse :

$T \approx 2000^{\circ}\text{C}$ pendant la combustion.

$T \approx 200^{\circ}\text{C}$ pendant la compression.

$T \approx 400^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ pendant l'échappement

Ces conditions de fonctionnement engendrent des phénomènes qui seront à l'origine de la destruction des moteurs , parmi ces phénomènes on peut citer :

- Carbonisation de l'huile de graissage qui entraîne le grippage du piston et de cylindre .

- Détérioration des bougies .

- Dilatation exagérée , ovalisation par l'usure du cylindre ,
usure rapide des segments, fusion des coussinets .

Pour remédier cette situation on procède toujours à un enlèvement des calories gênantes , cet enlèvement se fait par l'opération de refroidissement .

C'est pourquoi le refroidissement est toujours destiné à agir sur les zones chaudes du moteur (cylindre et culasse) .

1.2 SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT

Le refroidissement peut être effectué de deux manières :

Directement : par air soufflé ou déplacé

Indirectement : par circulation d'eau et radiateur

1.2.1 REFROIDISSEMENT PAR EAU :

Ce système de refroidissement est appliqué aux moteurs de puissance moyenne ou élevée .

Son principe consiste à faire circuler de l'eau autour des zones chaudes fixes du moteur (Chambre de Combustion - Culasse - ...)

Le système de refroidissement par eau est excellent pour l'évacuation de chaleur , mais ces inconvénients sont nombreux ; on peut citer en particulier , l'allourdissement du moteur par les pièces additionnelles qu'il nécessite et l'augmentation du coût d'entretien .

1.2.2 REFROIDISSEMENT PAR AIR :

Ce mode de refroidissement n'est opportun , que si on assure à l'air une vitesse suffisante soit par ventilation , soit par déplacement du moteur .

Afin de favoriser ce système de refroidissement on garnit généralement le cylindre et la culasse d'ailettes , et dans certains cas les tuyaux d'échappements .

Un bon dimensionnement d'ailettes , abaisse suffisamment la température, ce qui permet un graissage satisfaisant .

Le refroidissement par air allège le moteur et réduit l'entretien son inconvénient majeur c'est qu'il ne permet pas au moteur de tourner longtemps à l'arrêt .

Le refroidissement par air déplacé ou soufflé est appliqué

surtout aux moteurs à deux temps montés sur les motocyclettes et qui feront l'objet du paragraphe suivant .

2 - MOTEURS A DEUX TEMPS

Les moteurs à deux temps sont appelés ainsi, car les phases qui régissent leurs fonctionnement, se reproduisent à chaque tour du vilebrequin, chaque aller et retour du piston.

ce type de moteur est employé généralement pour les motocyclettes les petites voitures, et les canots à moteur

2.1. DESCRIPTION

le moteur à deux temps le plus répandu et le plus simple fig 1 comprend un cylindre dans lequel coulisse un piston, ce piston est relié au vilebrequin logé dans le carter par une bielle.

le piston joue un rôle important dans ce genre de moteur il organise à lui seul la distribution, en fermant ou en ouvrant trois lumières pratiques dans le cylindre.

le carter est réduit car il constitue la chambre d'aspiration

une bougie et une soupape de décompression sont fixés à la partie supérieure limitant les chambre de compression.

2.2. FONCTIONNEMENT

supposons que le piston se trouve au point mort bas et se déplace vers le point mort haut et que la chambre de compression contient du mélange carburé, le fonctionnement du moteur est le suivant :

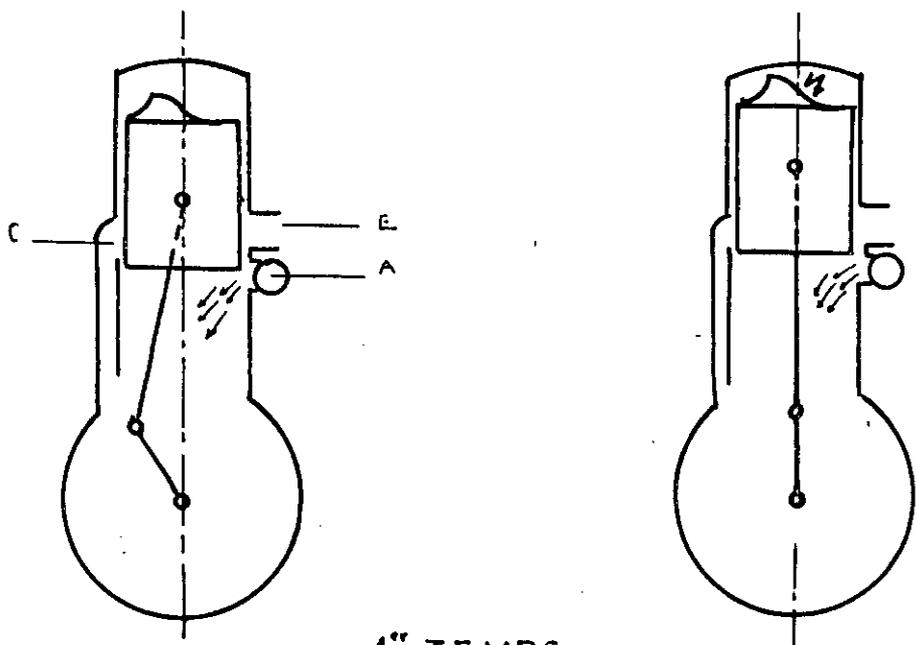
1er temps: aspiration dans le carter, compression dans le cylindre

le piston en montant, découvre la lumière A d'admission un courant de gaz frais s'établit du carburateur vers le carter.

les gaz frais ~~occupent~~ occupent la chambre de compression sont comprimés.

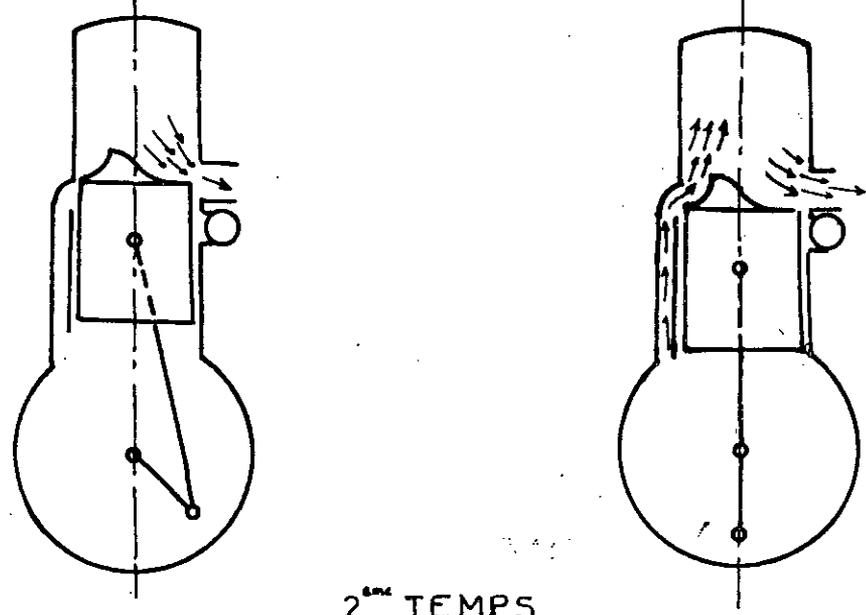
un peu avant le point mort haut, l'étincelle jaillit et les gaz explosent.

2eme temps : détente, échappement, admission dans le cylindre.



1^{er} TEMPS

Aspiration dans le carter , Compression dans Le Cylindre



2nd TEMPS

Detente , Echappement , Admission dans le , cylindre :

FIG 1

FONCTIONNEMENT DU MOTEUR A DEUX TEMPS

l'explosion chasse le piston vers le bas, et la période motrice commence.

en descendant, le piston démasque la lumière d'échappement, les gaz brûlés sont en communication avec l'air libre, peu après la lumière d'admission dans le cylindre est ouverte.

Les gaz frais admis dans le cylindre; accélérant l'échappement des gaz brûlés.

Afin que ces gaz frais ne s'échappent pas avec les gaz brûlés un écran appelé déflécteur surmontent le piston les fait diriger vers la culasse.

2 - 3 DIAGRAMMES DE FONCTIONNEMENT

Le mode de fonctionnement déjà cité, peut être traduit par deux diagrammes :

Diagramme théorique : ce diagramme explique le fonctionnement du point de vue thermodynamique uniquement :

Diagramme réel : obtenu à partir des données expérimentales.

Ce diagramme présente quelques déformations par rapport au diagramme précédent, cela du fait que :

- La combustion n'est pas instantanée.
- La compression et la détente ne sont pas adiabatiques.
- la pression entre l'intérieure et l'extérieure ne s'équilibre instantanément dès qu'on ouvre C et E.

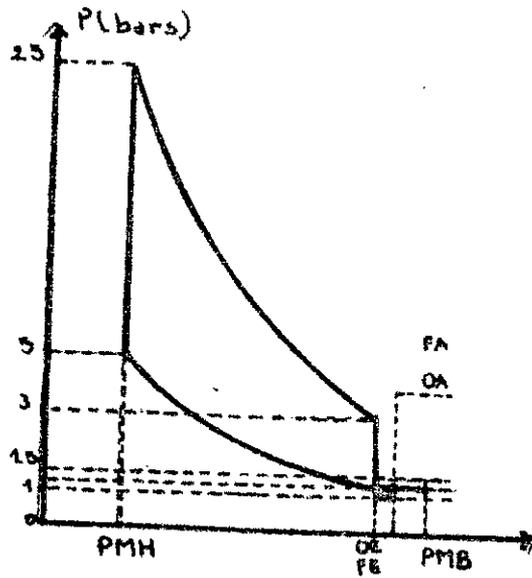


Diagramme Théorique.

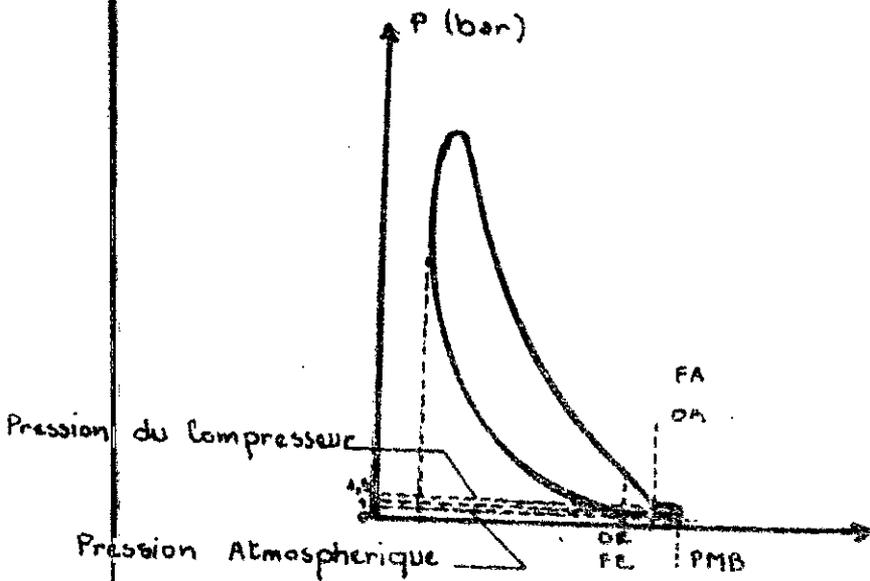


Diagramme Réel.

FIG 2

Diagrammes De Fonctionnement
DU MOTEUR A DEUX TEMPS

3. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'Entreprise nationale de production de véhicule particulier cycles et motovcycles de GUELMA a mis à notre disposition un moteur dont les caractéristiques sont les suivants :

- TYPE : Moteur deux temps monocylindrique
- CYLINDRES : 47 CM 3
- PUISSANCE / 2,4 CH A 5000 Tr/Mn
- REFROIDISSEMENT : Par air (soufflante)

Notre étude consiste à évaluer les performances du refroidissement de ce moteur par air déplacé ~~par~~ seulement, sans avoir recours à la soufflante.

La suppression de la soufflante permettra d'économiser une puissance substencielle, 6 % de la puissance réelle du moteur, et de diminuer le prix de revient du moteur de 100 DA/Moteur.

Cette presente étude est la suite d'une étude déjà faite par des colléges du département Génie Mécanique MM KHELIL et AIT RAMAD .

L'étude de Mr. KHELIL a abouti à des résultats qui ont été représentés sous forme de deux courbes comparatives, une représentant la chaleur aux parois déduite du bilan thermique, l'autre la chaleur mesuré chacune en fonction du régime fig Fig.3

Ce qu'on remarque sur le graphe cité , c'est l'ecor[important qui existe entre les deux courbes ~~comparatives~~ le chef d'oeuvre à expliquer cette écart par les causes suivantes,

La chaleur déduite du bilan thermique est majorée du fait qu'on a considéré la combustion du combustible admit dans le moteur comme étant complète.

De notre part on attire l'attention sur d'autres causes :

- Le rendement de la génératrice n'a été qu'estimé, c'est ce qui peut peut se repercuter négativement sur les résultats concernant l'énergie mécanique fournit par le moteur.

- Le reservoir d'essence utilisé peut causer des erreurs systématiques importantes.

Pour atteindre le but cité au début de ce paragraphe, et completer les résultats des experiences de l'étude précédente , on a envisagé d'aborder notre sujet suivant les axes suivants :

.../...

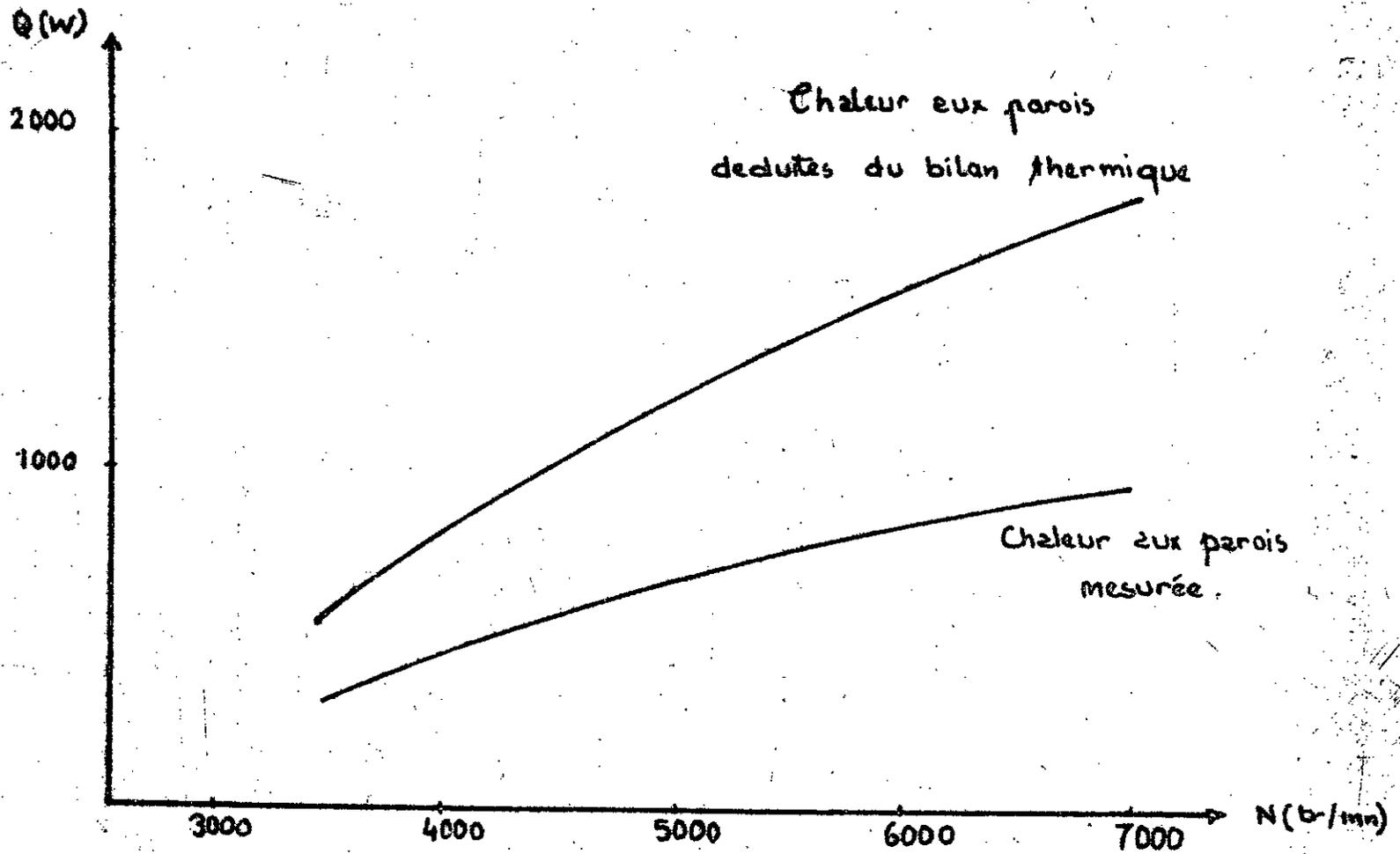


FIG 3 Resultat de l'étude précédente

- Reconstituer le banc d'essai, en apportant toutes les modifications nécessaires pour diminuer au minimum les erreurs systématiques.

- Chercher une méthode pour évaluer les rendements de la génératrice

- Construire un dispositif qui nous permettra de SIMULER LES CONDITIONS d'été, cela pour avoir des bonnes informations sur le refroidissement du moteur par air déplacé durant la saison chaude.

Les expériences de l'étude précédente ont été effectuées durant la saison froide 12° C.

- Faire une étude théorique et expérimentale sur les gaz d'échappement pour évaluer :

* La chaleur dégagée par la combustion

* La chaleur emportée par les gaz d'échappement nécessaire pour l'établissement du bilan thermique.

- Redimensionner les ailettes du moteur si l'étude abouti à cela.

CHAPITRE 2

**ETUDE THEORIQUE ET
EXPERIMENTALE DES
GAZ DE COMBUSTION**

1-BILAN CHIMIQUE ET ENERGETIQUE DES GAZ DE COMBUSTION

L'établissement des Bilans Chimiques et thermiques des Gaz de Combustion nous permettent de déterminer plusieurs paramètres intéressants de ce sort :

- La richesse du mélange carburé
- La quantité d'air admise
- L'énergie perdue par oxydation incomplète de combustible.

I- BILAN CHIMIQUE

1-1 EQUATIONS GENERALE D'UNE COMBUSTION REELLE :

Les produits d'une combustion réelle contiennent généralement : Hydrogène, Oxygène, Oxydes de Carbone, Gaz Carbonique, Gaz Sulfurique, Hydrocarbures, Oxydes d'Azote et Vapeur d'eau.

P our les Hypothèses suivantes :

- On assimile les Hydrocarbures au méthane CH_4 d'une part et à Hydrocarbures de formules fictive $CP HQ$ d'autre part.

- On néglige les oxydes d'azote, huiles de graissage
l'équation de combustion réelle s'écrit :

$$r C_x H_y O_z N_u S_s + (x+s + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}) (O_2 + 3,7687 N_2) =$$

$$r \left[a x CO_2 + b x CO + c x CH_4 + \frac{dx}{p} C_p H_q + c \frac{y}{4} H_2O \right.$$

$$\left. + f \frac{y}{2} H_2 + g s SO_2 \right] + \left\{ (y + s + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}) - r \left[(a + \frac{b}{2}) \right] \right.$$

$$\left. x r \frac{4}{2} y - \frac{z}{2} + g \right\} O_2 + \left[3,7687 (x+s + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}) + r \frac{u}{2} \right] N_2 \quad [1-1]$$

avec $C_x H_y O_z N_u S_s$: formule fictive du combustible

$W(O_2 + 3,768 N_2)$: Quantité d'Air admise.

1-2 DETERMINATION DE LA RICHESSE

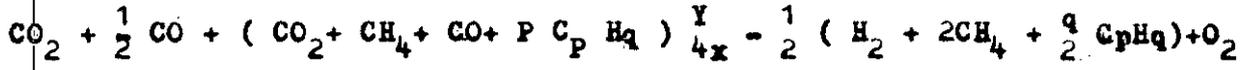
La Richesse d'un mélange carburé est définie comme étant le rapport qu'existe entre la quantité de carburant que ce mélange doit contenir pour qu'il soit stoechiométrique et la quantité de carburant qui existe réellement dans ce mélange.

Cette définition nous permet d'écrire la richesse sous la la forme.

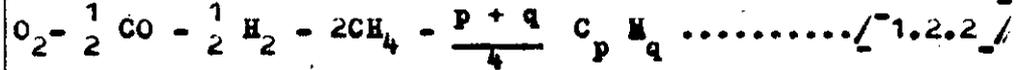
$$r = \frac{O_2 \text{ provenant du comburant} - O_2 \text{ restant}}{O_2 \text{ provenant du Comburant}} \quad [1-2]$$

De l'équation générale [I - 1] on peut en déduire :

L'Oxygène provenant du comburant est :



L'Oxygène restant de la combustion si celle-ci est considérée complète est égale à :



1-3 QUANTITE D'AIR ASPIRÉ PAR LE MOTEUR :

Le pouvoir comburivore est la quantité d'air nécessaire à la combustion neutre de l'unité de quantité de combustible.

Si on considère Q_c LE DEBIT du combustible admis dans le Moteur ; le produit ;

Debit combustible X pouvoir comburivore, donne la masse d'air stœchiométrique .

$$Q_r = \frac{Q_c \cdot P_c}{r} \dots \dots [1-3] \quad Q_r \text{ quantité d'air aspiré}$$

II BILAN THERMIQUE DES GAZ DE COMBUSTION

LE bilan thermique des gaz de combustion nous permet d'évaluer la proposition d'énergie perdue par combustion incomplète .

En outre , sait que l'Oxydation complète de l'Oxyde de Carbone , l'Hydrogène , des Hydrocarbure $C_x H_y$ peut fournir les quantités de Chaleurs suivantes :

- 285 500 J mole (68300 cal/ mole) pour CO
- 239 500 J mole (57300 cal/ MOle) pour H₂
- p(J/mole) pour le Hydrocarbures (C_p H_q)

Si on désigne par Q_p L'énergie perdue par l'Oxydation incomplète on peut écrire que:

$$Q_p = 68300 CO + 239500 H_2 + p C_p H_q \dots \dots [II-17]$$

Le coefficient sans dimension du bilan thermique R (fraction d'énergie perdue par combustion incomplète) s'écrit :

$$R = \frac{Q_p}{M_{pi}} \dots \dots [0-2] \quad [II-2]$$

.../...

M : Masse du combustion correspondant aux Gaz brules réel-
lement analysés.

III APPLICATION DES BILANS THERMIQUE ET CHIMIQUE A UN
HYDROCARBURE DE FORMULE FICTIVE Cx hy

Pour simplifier le problème d'analyse, généralement en
néglige les quantités suivantes :



III -1) BILAN CHIMIQUE

En tenant compte des hypotheses citées ci-dessus l'équation
générale de la combustion [I - 1] s'écrira pour cet hydrocarbure de la
façon suivante :

$$r C_x H_y + (x - \frac{y}{4}) (O_2 + 3,768 N_2) = r [(a x - CO_2 + b x CO + \frac{e}{2} y H_2 O) + \frac{1}{2} (x + \frac{y}{4}) - r (a + \frac{b}{2}) x + \frac{e}{4} y] O_2 + [3,7687 (x + \frac{y}{4})] N_2 \dots \dots [III -1]$$

III-1-1) Determination de la Richesse

Par définition la richesse d'un mélange carburé est donnée
par :

$$r = \frac{O_2 \text{ provenant du comburant} - O_2 \text{ restant}}{O_2 \text{ provenant du comburant}}$$

Des équations [1.2.1], [1.2.2] en déduit l'oxygène
provenant du comburant est :

$$CO_2 + \frac{1}{2} CO + (CO_2 + CO) \frac{Y}{4x} + O_2 \quad [III -1-1-a]$$

L'Oxygène restant de la combustion, si on considère celle-ci
comme étant parfaite, est :

$$O_2 - \frac{1}{2} CO \quad [II -1-1-b]$$

d'ou la nouvelle expression de la richesse

$$r = \frac{CO_2 + \frac{1}{2} CO + (CO_2 + CO) \frac{Y}{4x} + O_2 - O_2 + \frac{1}{2} CO}{CO_2 + \frac{1}{2} CO + (CO_2 + CO) \frac{Y}{4x} + O_2} \quad [III - 1-1-c]$$

.../...

d'ou :

$$r = \frac{(1 + \frac{y}{x}) (CO_2 + CO)}{(1 + \frac{y}{x}) CO_2 + (1 + \frac{y}{2x}) \frac{1}{2} CO + O_2} \quad \text{[III -1-1-C/]}$$

III -1-2 / QUANTITE D'AIR ASPIRE

Maintenant que l'expression de la richesse est connue
 [III-1-1-C/], la quantité d'Air aspire peut être calculé à l'aide de la
 relation [7 - 3]

III - 2 / BILAN THERMIQUE

L'énergie perdue par l'oxydation incomplète est déduite de
 l'expression [0 - 1]

$$Q_p = 68300 CO \quad \text{[Cal]} \quad \text{[III -2-1]}$$

La fraction d'énergie non utilisée

$$R = \frac{Q_p}{M_{pi}} = \frac{68300 CO}{M_{pi}} \quad \text{[III - 2 -2]}$$

2-ANALYSE MANUELLE DES GAZ DE COMBUSTION

01- GENERALITES

L'analyse manuelle des gaz d'echappement c'est un analyse discontinue, quantitative, elle nous permet de determiner les pourcentages de chaque constituant de ces gaz .

En consequence , l'analyse des gaz d'echappement est une operation necessaire pour l'etablissement des bilans thermiques et chimique de gaz de combustion .

L'appareil le plus utilisee pour ce genre d'analyse c'est l'appareil d'orsat ; cette appareil c'est de deux types .

- Appareil orsat simple permet l'analyse du CO_2 , CO , O_2 ;
- Appareil orsat complet pour gaz frais permet l'analyse de CO_2 , CO , O_2 , CH_4 , H_2 , C_N , H_M ;

Dans nos experience on utilise ce dernier type d'appareil d'orsat dont le principe , la description , le mode d'emploi sont detaillés ci- dessous ;

2) PRINCIPE

L'analyse des gaz par l'appareil d'orsat se fait en 2 etapes :

1- SEPARATION

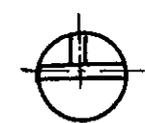
on absorbe successivement par des reactifs convenables les constituants du melange gazeux a analyser;

2 - DOSAGE VOLUMETRIQUE :

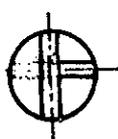
La diminution du volume gazeux apres chaque absorption est egale au volume de l'element absorbe, dans le melange initial ;

3)- DESCRIPTION

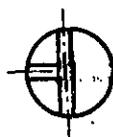
L'appareil d'orsat complet permet d'analyse les CO_2 ; CO , O_2 , H_2 , CH_4 .



POSITION 1



POSITION 2



POSITION 3

POSITIONS DU ROBINET R

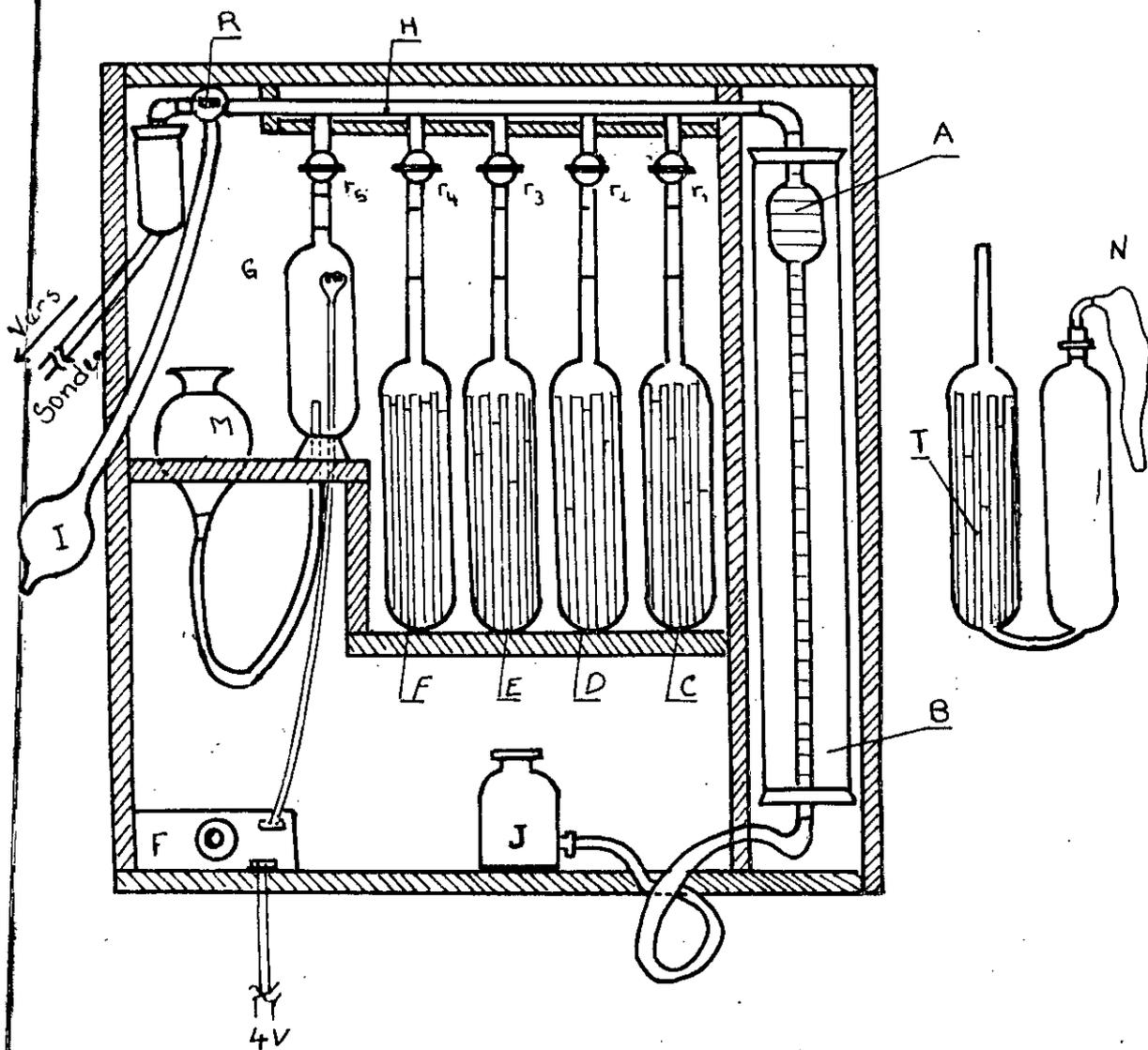


FIG 4

APPAREIL D'ORSAT

- C_N, H_M .

cet appareil est monte sur un bati en bois ,il comprend ;

- Une burette de mesure graduée (a) entourée d'un manchon thermostatique (B) .
- Quatre laboratoires contenant les reactif (C.D.E.F.).
- Burette eudiometrique (G) contenant une resistance en platine dont la temperature est réglée par un potentiometre (F) .
- Une rampe (H) qui relie les differents burettes, les laboratoires etc.....
- Une pompe manuelle (I)
- Un flacon moteur (j)

4) MODE OPERATOIRE

1) PRISE D'ECHANTILLON

Les robinets R_1, R_2, \dots, R_n étant fermés , le robinet R est dans la position (2) .

On leve le flacon moteur (J) , le liquide Y contenu pénètre dans la burette de mesure et fait chasser le gaz residuel a l'air qui -- y existent on purge la rampe et les reccords a l'aide de la pompe manuelle .

R est dans la position (1), les gaz brules sont aspirés dans la - burette de mesure en abaissant le flacon moteur .

Cette premiere prise est chassé dans l'atmosphere , ou répète cette operation deux a trois fois .

A derniere prise , on fait penetrer dans la burette de mesure plus de 100 CM_3 de gaz brulés , on met le robinet R dans la position (I) ou amene le niveau superieur du liquide de garde dans le flacon en regard de la graduation zero de la burette de mesure

On fait expulser le surplus du gaz brulée a l'atmosphere jusque .

- ce que le niveau superieur du liquide dans la burette de mesure -
atteint la graduation zero , le robinet sera remit à la position -
(3) .

2) A N A L Y S E

La prise de l'échantillon étant finie , on ouvre le robinet R₂ du laboratoire contenant le reactif spécifique du CO₂ ;

En leve le flacon moteur à une position superieure à la burette de mesure de telle façon à barboter une quantité maximale des gaz brulés ; dans l'absorbéur ;

ou abaisse le flacon moteur , les gaz brules sont repris dans la burette de mesure , on lit le nouveau volume .

On repete cette operation avec le meme absorbéur jusque ce que deux lectures consecutives de volume donne le meme resultat .

On passe alors à l'absorbéur spécifique de O₂ PUIS DE CO ET ENFIN DE C_N , H₂ , et on repete les meme operations ;

ON note que les operations doivent être effectuées dans l'ordre -
absolument indique .

(3) c o m b u s t i o n d e H₂ et CH₄

Après l'absorption de tous les éléments indiqués on reprend les gaz résiduels dans la burette de mesure , on leur ajoute de l'air atmosphérique jusque ce que le volume des gaz dans la burette de mesure atteint 100 cm³, ce volume de gaz entre la burette de mesure et la burette endométrique remplie initialement d'eau saturée en N₂Cl et on la résistance est chauffée en prenant soin que le flacon moteur reste toujours en bas ou la résistance en moins 20 mm ;

Après que ce voyage est accompli plusieurs fois , on cesse de chauffer la résistance , on reprend les gaz brulés dans la burette de mesure , on laisse refroidir et on lit le nouveau volume A

On repasse les gaz dans l'absorbéur de CO₂ plusieurs fois comme

precedamment , on prend les gaz dans la bururette de mesure on note le volume Soit B .

le pourcentage de H_2 ET de CH_4 est calcule de la façon suivant:

- La contraction totale apres le passage dans dans l'endometre

$$C_t = V - A$$

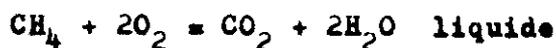
le % CH_4

$$\% CH_4 = A - B$$

la contraction due a la combustion de H_2 et $\frac{3}{2} \times \% H_2$



la contraction due au CH_4



On remarque que le volume de CH_4 est egal au volume de CO_2 contenu dans les residuet mais la quantite d'air absorbé (O_2) est deux fois le volume de CH_4 ce qui donne .

$$C_t = \frac{3}{2} (\% H_2) + 2 (\% CH_4)$$

$$\text{enfin : } \% H_2 = \frac{2}{3} (V - A) - \frac{4}{3} (A - B)$$

5- PREPARATION DES REACTIFS :

5.1 : LIQUIDE DE GARDE :

Le plus souvent on utilise une solution composé de :

- 85% d'eau distillé
- 15 % Acide sulfurique
- Gouttes de helianthine pour colorer la solution en rose .

5.2 : REACTIF ABSORBANT CO_2 :

On utilise une solution de SOUDE

- 1000 Cm^3 d'eau distille .
- 200 g SOUD PIR en pastille .

5.3 : REACTIF ABSORBANT les HYDROCARBURES NON SATURES C_mH_n

- Solution d'acide sulfi sulfurique fumant .
- 1 % d'acide venadique ou sulfate d'argent pour activer la so-
solution .

5.4 : REACTIF ABSORBANT L'OXYGÈNE :

On a utilisé une solution PYROGALLOL compose de deux solution :

1^{er} SOLUTION :

- 150 Cm^3 d'eau distillé .
- 50 g de potasse (KOH) .

2^{er} SOLUTION :

- 10 g D'acide pyrogallique .
- 50 Cm^3 d'eau distillé .

NOTE : Les deux solutions ne doivent être mélangées qu'au moment du remplissage du laboratoire .

Il faut diminuer le plus possible le contact avec l'air .

5.5 : REACTIF ABSORBANT L'OXIDE DE CARBONE W :

On utilise une solution de chlorure cuivreux acide
Cette solution est composé de /

- 66 g de chlorure de cuivre .
- 500 Cm³ d'eau distille .

On ajoute

- 500 Cm³ d'acide chlorydrique d= 1,18 .
- Ajouter des coupeaux de Cuivre .

5.6 : LIQUIDE DE GARDE DE LA BURETTE ENDIOMETRIQUE :

Eau distillé saturé de N Cl_a .

CHAPITRE 3

BANC D'ESSAI

B A N C D ' E S S A I

*1- SIMULATION DES CONDITIONS D'ETE :

Pour chauffer l'air soufflé on a opte pour un bruleur.

Notre bruleur est constitue de trois parties:

- UN CORPS: C'est la partie active du bruleur constitué d'un tube galvanisé courbé, de diamètre moyen 380mm, sur ce corps sont percés dix trous de diamètre de 2mm, les axes de ces trous forment un angle aigu avec la perpendiculaire au plan du corps, et passante par son centre.

- CONDUITE D'APPORT DU COMBUSTIBLE : Cette conduite est un tube en cuivre 22x15 , de longueur 100mm, ayant ces extremités cintrées.

Une de ces extremités est brasée au bout libre du corps du bruleur.

- UN ROBINET : Ce robinet permet le réglage du debit du combustible une de ces extremités est reliée à l'extrimitee libre de la conduite d'apport du combustible par une brasure , alors que l'autre est reliev à la conduite principale du gaz naturel par un tube flexible.

Le bruleur sur son support est placé à contre courant , en face de la gaine d'entrée du ventilateur centrifuge.

2- SIMULATION DU DEPLACEMENT DU MOTEUR :

La simulation du déplacement du moteur est realiséé par le soufflage d'air sur celui-ci à l'aide d'un ventilateur centrifuge.

Pour régler la vitesse de l'air soufflé, on agit sur l'excitation du groupe Ward-leonard qui sert à entrainer le ventilateur.

Un manomètre en U mesurant la pression statique du caisson de sortie est pris comme temoin du bon réglage de la vitesse.

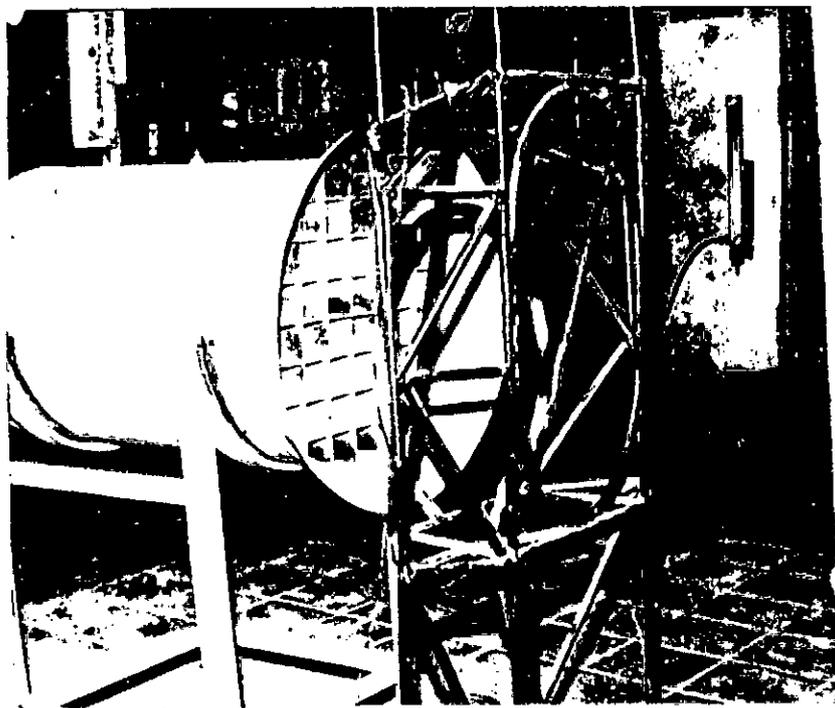


FIG 6

BRULEJR MONTE SUR SON SUPORT
IN FACE DE LA GAINÉ
D'ENTRÉE DU VENTILLATEUR

- 3 - INSTALLATION ELECTRIQUE :

L'installation électrique représentée à la fig 11 et qui est constituée principalement par une génératrice et ses accessoires est utilisée au premier lieu comme démarreur du moteur, une fois le moteur est en marche, en agissant sur l'inverseur, cette installation deviendra un circuit de charge.

4- S O C L E :

Le socle qu'on a trouvé sur place, sert comme support du moteur et de la génératrice, qui sont accouplés par une chaîne à rouleau.

On a remarqué au début des manipulations que ce socle commence à se déplacer, dès que le moteur est mis en marche, c'est ce qui nous a amené à le fixer au sol, par quatre boulons, juste en face de la gaine de sortie du ventilateur centrifuge.

5- APPAREIL DE MESURE DE TEMPERATURE :

Pour mesurer la température des parois du moteur on a utilisé sept thermocouples en cuivre constantan, on les a répartis comme suite:

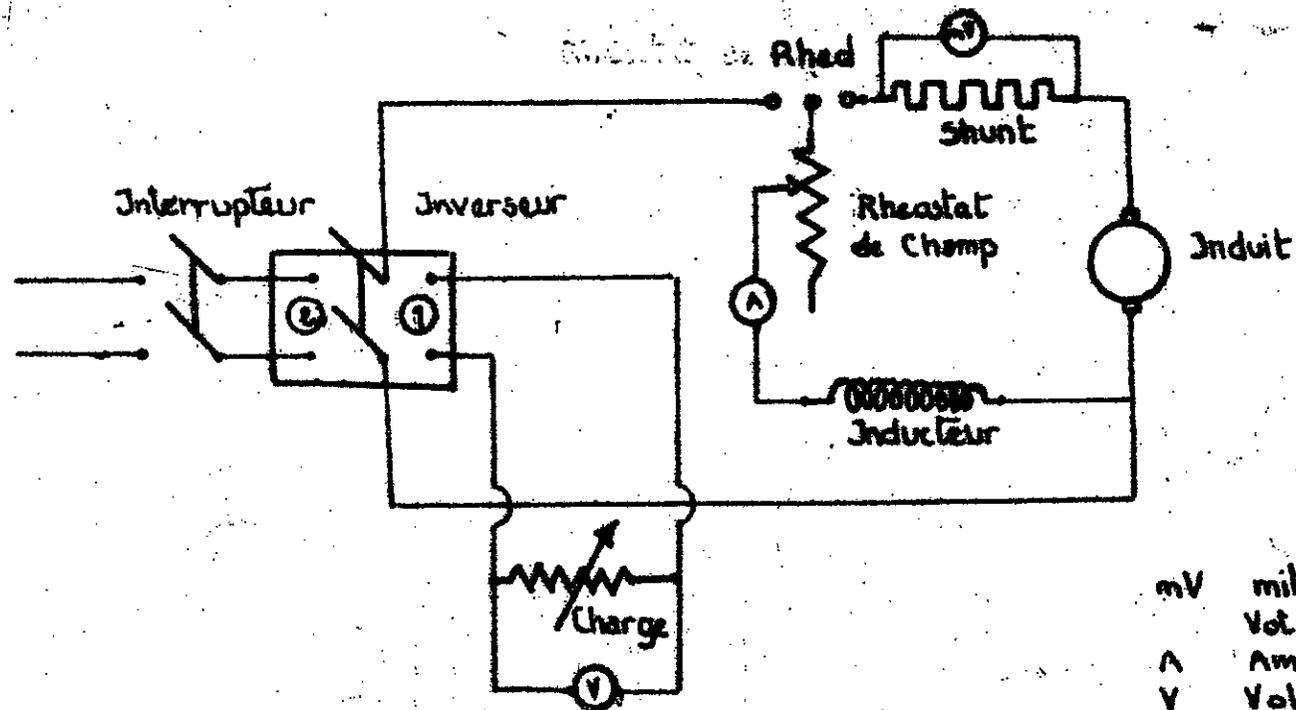
Sur la culasse on a placé trois, un au niveau de la bougie, l'autre au niveau de la soupape de décompression, le troisième sur le côté gauche à la base de la deuxième ailette.

Sur le cylindre on a placé deux, un à la base de la première ailette, l'autre à la base de la seconde.

Sur le carter on y a placé deux autres, un sur le couvercle de la boîte de vitesse, l'autre à la proximité du volant magnétique.

Pour mesurer la température des gaz d'échappement on a utilisé un thermocouple en platine rhodié.

Les soudures chaudes des thermocouples en cuivre constantan ont été logées dans de petites trous percés dans les parois des zones considérées; alors que leurs extrémités ont été reliées à un bloc de commutation manuelle type B.C.M.1 qui est connecté à son tour à un



Interrupteur fermé :

Inverseur position 2 : CIRCUIT DE DEMMARAGE

Inverseur position 1 : CIRCUIT DE CHARGE

INSTALLATION

ELECTRIQUE

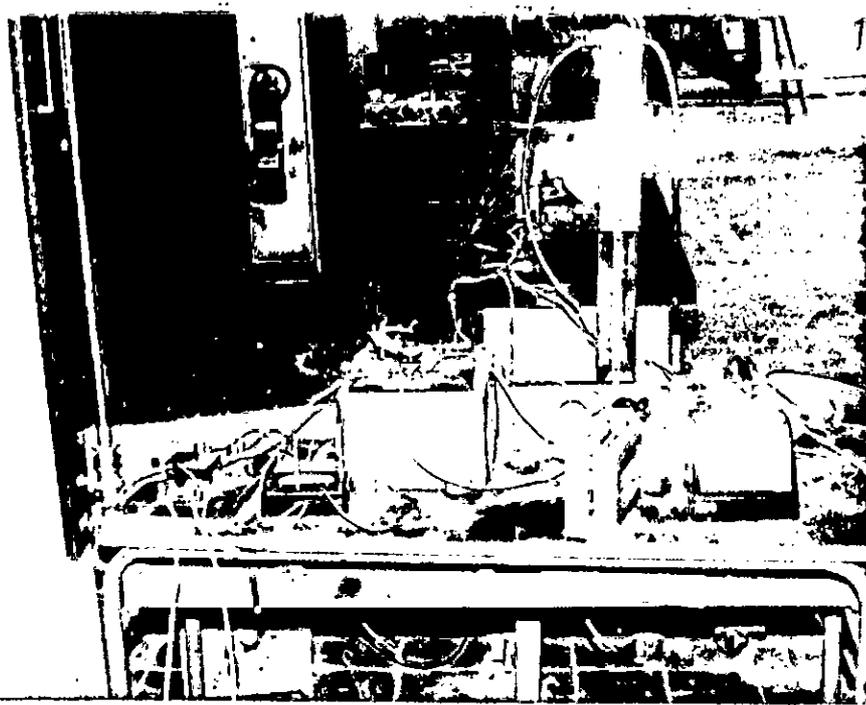
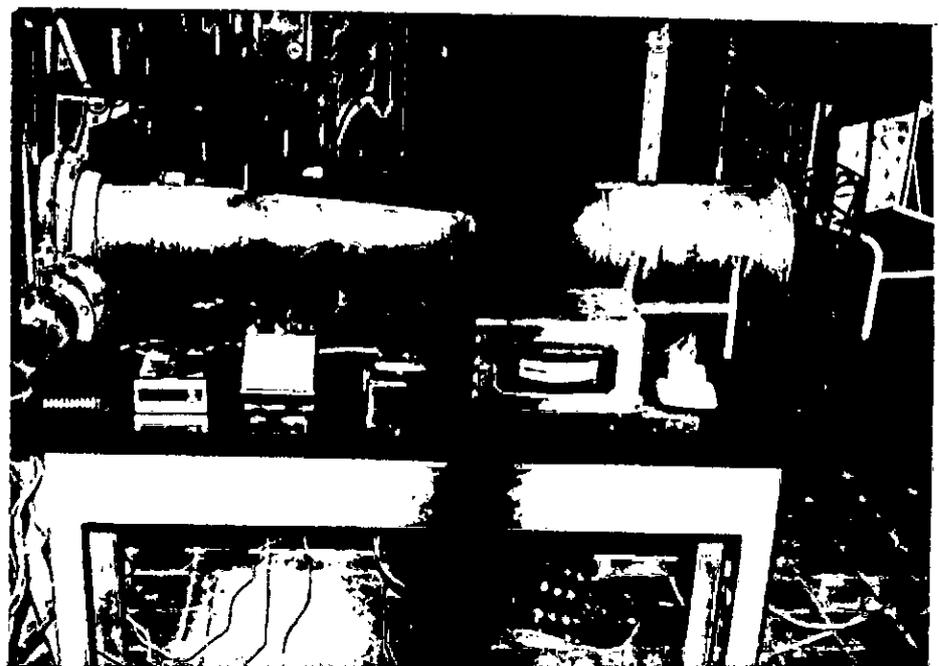


FIG 8 TABLE DE DEMMARRAGE ET DE CHARGE



adaptateur thermo-electrique qui convertit la force electromotrice produite dans la soudure chaude du thermocouple en degré celcius; le commutateur nous permet de selectionner l'affichage.

Le thermocouple platine-platine rhodie a été relie à un galvanometre étalonné pour ce type de thermocouple.

6- APPAREIL POUR ANALYSER LES GAZ D'ECHAPPEMENT;

Pour l'analyse des gaz d'échappement on a utilise l'appareil d'ORSAT, pour les details en ce qui concerne cet appareil voir le chapitre 2 .

7- RESERVOIRE D'ESSENCE;

Le reservoir d'essence utilisée est constituée d'une fiole de capacité 500 ml

Ces deux recipients sont reliés à un robinet a trois voies qui est reliée par un tube flexible au moteur.

Lors de la marche normale du moteur on utilise la fiole pour toutes mesures de debit on utilise la burette de 50ml.

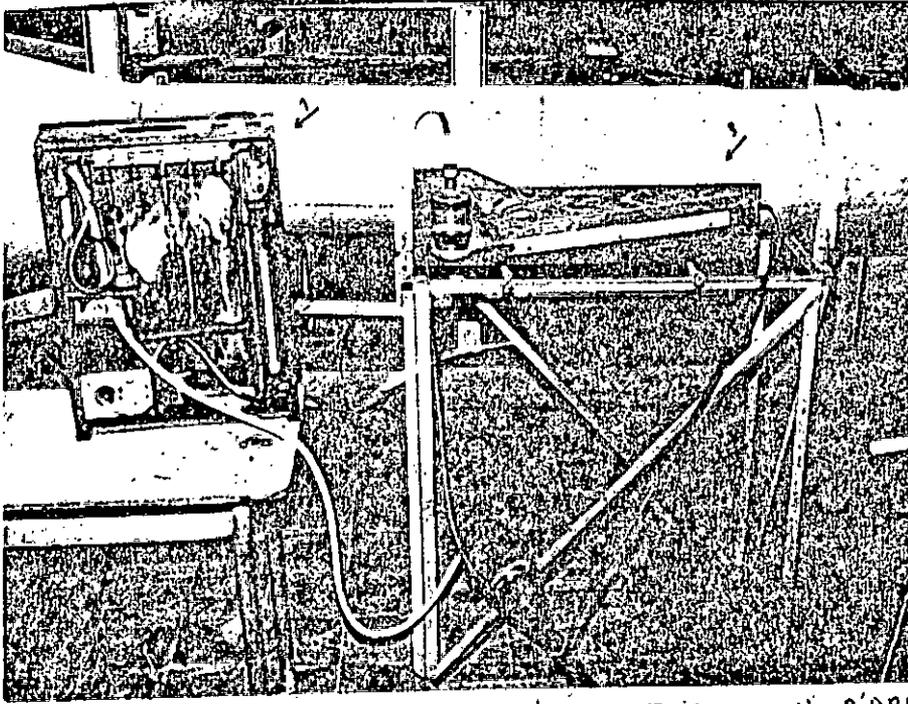


FIG 10 .1. ANALYSEUR DE GAZ (appareil D'ORSAT)
 .2. DEBITMETRE 3. MANOMETRE INCLINE



FIG 11 RESERVOIR D'ESSENCE

CHAPITRE 4 3

**ANALYSE
DES RESULTATS
EXPERIMENTAUX**

1-ETUDE EXPERIMENTALE

Cette étude expérimentale consiste à mesurer le bilan énergétique comprenant :

- L'énergie mécanique .
- L'énergie thermique des gaz d'échappement .
- L'énergie thermique transférée par convection forcée .
- L'énergie associée aux imbrulés .

Ce bilan énergétique sera comparé à l'énergie associée au combustible consommé durant ces essais .

L'établissement du bilan énergétique sera fait pour divers régimes de fonctionnement du :

4000 tr/mn ; 5500 tr/mn ; 7000 tr/mn .

et à diverses charges allant de 0 (à vide) jusqu'à 10 (pleine charge)

1-1 BILAN THERMIQUE

Ce type de bilan est constitué de deux parties ; l'actif et le passif .

1-1-1 DETERMINATION DE L'ACTIF

L'actif pour moteur à explosion est représentée par l'énergie sous forme de combustibles introduite dans le moteur ; la connaissance des caractéristiques du combustibles est déterminante en ce qui concerne l'évacuation de cette énergie .

Les caractéristiques du combustible utilisé dans le moteur sont :

Pouvoir calorifique

$$P_{ci} = 10500 \text{ KCal/Kg}$$

Masse volumique

$$= 0,720 \text{ Kg /m}^3 \text{ à } 15^\circ\text{C}$$

Puisque le combustible est admis dans le moteur à une température

Supérieure à 20°C, on procède à une correction de la masse Volumique .

$$\rho_t = \rho_{15} - KDT$$

K : Coefficient de correction

T A B L E A U 1

MASSE VOLUMIQUE à 15°C	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K	0,01	0,00087	0,00072	0,00067	0,00063

On a évalué la température d'admission du combustible dans le Moteur à 40°C.

$$\rho_t = \rho_{15} - KDT = 0,720 - 0,00087 \cdot (-40 - 15)$$

$$\rho_{40} = 0,699 \text{ kg/m}^3$$

- EXEMPLE DE CALCUL DE LA CHALEUR DÉGAGÉE PAR UNE COMBUSTION COMPLETE :

- Regime : 7000 tr / mn ; Charge: 2 ; Consommation de combustible
 $V_c = 17,5 \text{ ml}$, temps = 60 s

- Debit massique $m_c = \frac{V_c \cdot \rho}{t} = \frac{17,5 \cdot 0,699}{60} = 0,2 \text{ g/s}$

$$m_c = 0,203 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

- Chaleur dégagée par combustion complète :

$$Q_c = m_c \cdot P_i = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 10600 = 2,12 \text{ KCal/s}$$

$$Q_c = 8861,6 \text{ W}$$

Les quantités de chaleurs dégagées pour les différents régimes et les différentes charges sont représentées au tableau numéro 2 .

1-1-2 DETERMINATION DU PASSIF :

Le passif du bilan thermique est représenté par toutes les énergies citées au début de ce chapitre .

1-1-2.1 PUISSANCE MECANIQUE :

Cette puissance est détectée à l'aide de la génératrice accouplée par chaîne à rouleau au pignon de sortie de la boîte de vitesse .

Cette génératrice débite dans une charge une puissance électrique facile à déterminer .

Pour avoir une valeur acceptable de la puissance mécanique développée par le moteur on a tenu compte de trois rendements :

* Rendement de la boîte à vitesse .

Du fait que ce rendement est difficile à déterminer expérimentalement , on a évalué le rendement d'un étage $\eta_e = 0,92$, ce qui donne un rendement de la boîte à vitesse .

$$\eta_b = \eta_e^2 = (0,92)^2 = 0,840$$

* Rendement de la chaîne (accouplement) .

Le système de transmission par chaîne est le système de transmission le plus défavorable , cela est aggravé par les vibrations du socle

Pour les causes citées on a pris le rendement de la chaîne :

$$\eta_c = 0,75$$

* Rendement de la génératrice η_g :

Ce rendement peut être déterminé au laboratoire. Les résultats des expériences réalisés au laboratoire d'électrotechnique .

Regime	Charge	T (s)	C (ml)	$m_c \cdot 10^3$ (kg/s)	Q_c (W)
Tr/mn		s	ml	kg/s	W
7000	0	60s	16,5	0,192	8507
	2	60s	17,5	0,2038	8861,6
	4	60s	17,5	0,2038	8862
	6	60s	17	0,193	8551
	8	60s	17	0,193	8551
	10	60s	17,5	0,2038	8862
/					
6000	0	60s	13,5	0,157	6956,
	2	60s	13,5	0,157	6956
	4	60s	14,25	0,17	7532
	6	60s	14	0,163	7222
	8	60s	14	0,163	7532
	10	60s	14,25	0,17	7237
/					
4000	0	60s	7,5	0,087	3855
	2	60s	7,75	0,087	3855
	4	60s	8,2	0,095	4233
	6	60s	8,1	0,0912	4182
	8	60s	8,5	0,0990	4387
	10	60s	8,25	0,0979	4338

Tableau N° 2

Energie degagée par la Combustion

Complete du Melange

carburé.

.../...

sont représentés par les Figures 12, 13.

Le graphe représentant la caractéristique à vide de la génératrice, nous permet de tracer les courbes de rendements de cette génératrice pour n'importe quelle excitation et régime de fonctionnement, voir (Appendice A) .

• Rendement global :

$$\eta_T = \eta_g \cdot \eta_b \cdot \eta_c$$

• Exemple de calcul de la puissance mécanique :

- Régime 7000tr/mn , charges = 2 , U(V) = 35V , I(A) = 3,6 A

- Puissance mécanique $P = UI = 35 \times 3,6 = 126 \text{ W}$

- Rendement $\eta_g = 0,28$ (graphe 5)

- Rendement global : $\eta_T = \eta_g \cdot \eta_b \cdot \eta_c = 0,28 \cdot 0,846 \cdot 0,75$

$$\eta_T = 0,18$$

- Puissance mécanique :

$$W = \frac{P}{\eta_T} = \frac{126}{0,18} = 700 \text{ W}$$

Les résultats concernant la puissance mécanique figurent aux tableaux X 3 page

1-1-2.2 ENERGIE EMPORTEES PAR LES GAZ D'ECHAPPEMENT :

Puisque la température des gaz dans le carburateur est difficile à déterminer, on a supposé que l'énergie emportée par les gaz brûlés est totalement dissipée par le pot d'échappement .

Le pot d'échappement est constitué de trois cylindres :

- Cylindre (1) : Dex = 22mm L = 30mm
- Cylindre (2) : Dex = 28mm L = 200mm
- Cylindre (3) : Dex = 65mm L = 500mm

Cylindre (1) et (2) sont disposés verticalement alors que le cylindre (3) est disposé verticalement au courant d'air .

On a pris la température des parois du pot d'échappement égale à celle des gaz d'échappement parce que la résistance de la surface

.../...

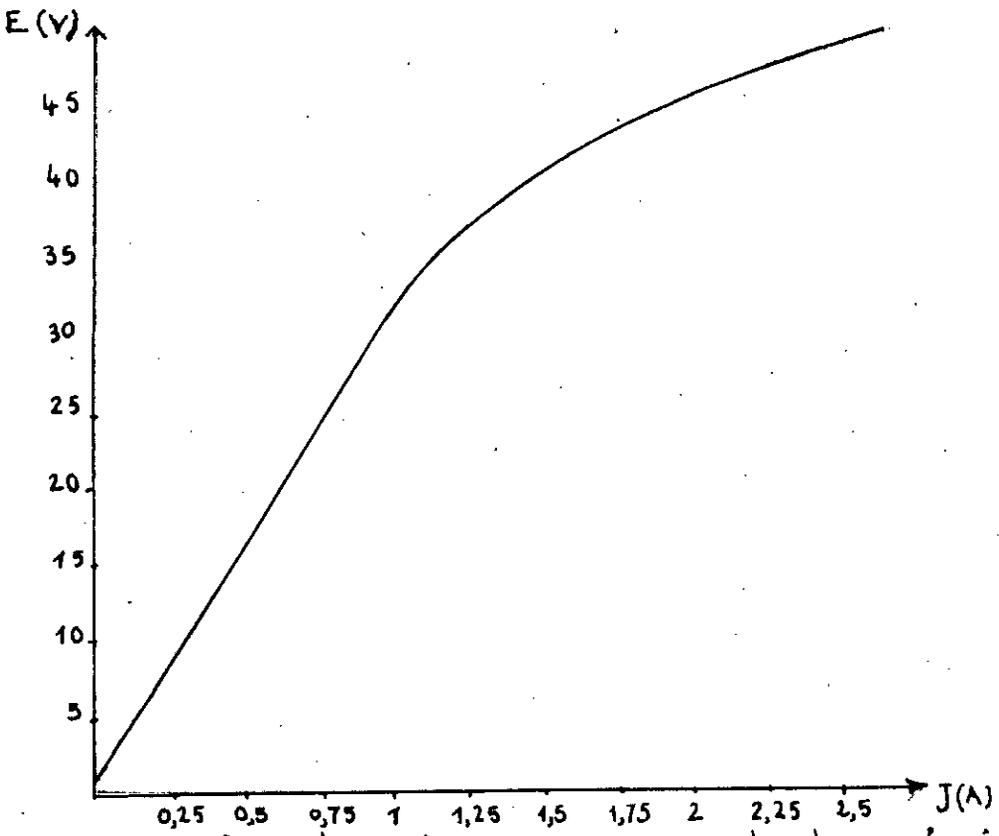


Fig 12 Caractéristique A vide de la génératrice

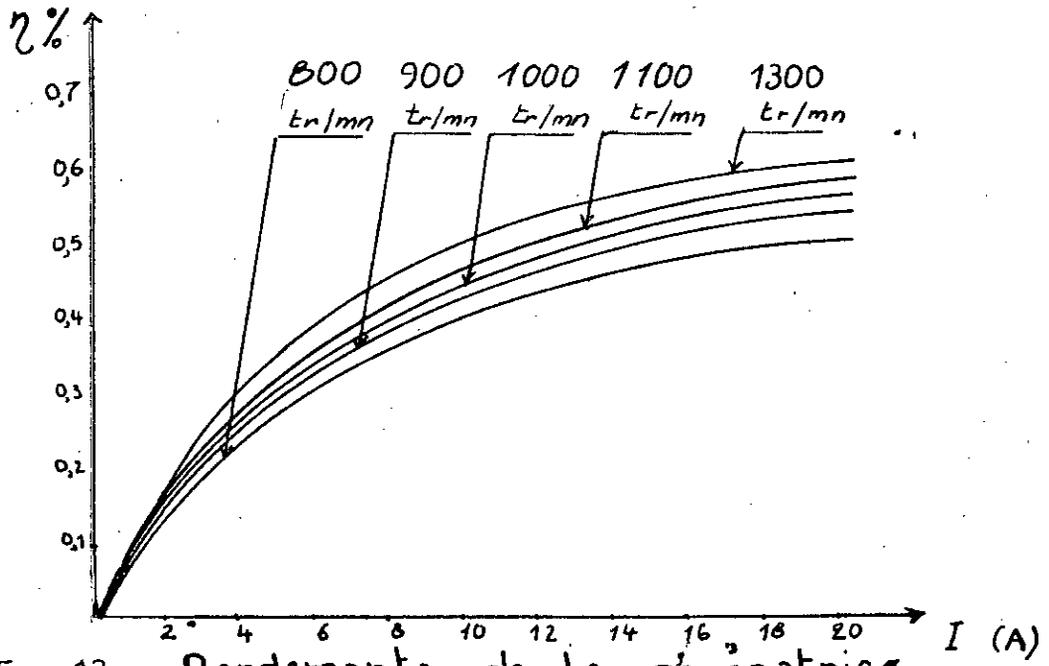


Fig 13 Rendements de la génératrice

Regime	Charge	U(V)	I(A)	P(UI)	η_g	η_T	W(W)
Er/mn							
7000	0	36	3	108	0,25	0,16	675
	2	35	3,6	126	0,28	0,18	700
	4	34	3,75	126	0,285	0,19	700
	6	35	4,5	158	0,35	0,22	714
	8	34	6,75	230	0,42	0,27	850
	10	34	7,3	249	0,44	0,28	886
6000	0	33	3,5	116	0,25	0,159	726
	2	30	4	120	0,27	0,17	706
	4	29	3,5	102	0,25	0,159	638
	6	32	4,25	136	0,29	0,18	756
	8	31	6	186	0,35	0,22	846
	10	31	6,5	202	0,39	0,247	816
4000	0	19	2,25	42,75	0,16	0,1	427,5
	2	20	3	60	0,2	0,125	486
	4	20	3,25	65	0,215	0,136	478
	6	21	3,5	73,5	0,22	0,139	529
	8	21	3,5	73,5	0,22	0,139	529
	10	16	4,25	68	0,26	0,164	428

Tableau N° 3

Puissance Mécanique Effective.

.../...

extérieure est déterminante .

* Exemple de calcul de la chaleur dissipée par le pot d'échappement :

Cylindre (1)

- Regime 7000 tr/mn
- Regime $N_1 = 7000$ tr/mn , $N_2 = 1300$ tr/mn , charges = 0
- Températures des gaz d'échappements $t = 495^\circ\text{C}$
- Température ambiante $t = 56^\circ\text{C}$
- Température du film $t = 275,5^\circ\text{C}$
- Vitesse de l'air

$$V_{\text{air}} = 0,00982 N_2 \text{ voir reference [6]}$$

$$= 0,00982 \cdot 1300 = 12,8 \text{ m/s}$$

- Masse volumique de l'air $\rho_{\text{air}} = 1,09 \text{ Kg/m}^3$ voir tableau 4-1
- Viscosité dynamique du film $\mu_f = 2,859 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$
- Conductivité $\lambda_f = 0,035 \text{ KCal/hm}^\circ\text{C}$ voir tableau 4-1
- nombre de Reynolds:

$$Re = \frac{D_{\text{ex}} \cdot V_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}}}{\mu_f} = \frac{22 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 1,09}{2,859 \cdot 10^{-3}}$$

$$\boxed{Re = 10065}$$

- Nombre de Nusselt (voir graphe 17)

$$\boxed{Nu = 60}$$

- Coefficient de convection :

$$Nu = \frac{D_{\text{ex}} \cdot h}{\lambda_f} \Rightarrow h = \frac{Nu \cdot \lambda_f}{D_{\text{ex}}} = \frac{60 \cdot 0,035}{22 \cdot 10^{-3}} = 95,4 \frac{\text{kcal}}{\text{h.m}^2\text{C}}$$

$$\boxed{h = 95,4 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{C}}}$$

- Chaleur dissipée par convection forcée de cette partie de pot d'échappement :

$$Q_d = h A DT = 95,4 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 30 \cdot 10^{-3} (495 - 56)$$

$$= 2,86 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Tableau 4-1

PROPRIETES PHYSIQUE DE L'AIR

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kcal/kg °C)	$\mu \cdot 10^5$ (kg/m.s)	$\nu \cdot 10^4$ (m ² /s)	k (kcal/h m ² °C)	Pr	$\beta \times 10^3$ (1/°C)	$\frac{g\beta e^t}{\mu^2}$ (1/cm ²)
-1	1,372	0,239	1,650	0,121	0,0198	0,73	3,92	$26,8 \times 10^7$
0	1,296	0,240	1,732	0,135	0,0208	0,72	3,65	$20,0 \times 10^7$
38	1,136	0,240	1,910	0,186	0,0230	0,72	3,22	$11,2 \times 10^7$
93	0,960	0,241	2,140	0,222	0,0259	0,72	2,74	$54,0 \times 10^6$
149	0,832	0,243	2,392	0,285	0,0287	0,71	2,38	$28,2 \times 10^6$
204	0,735	0,245	2,602	0,352	0,0315	0,689	2,09	$16,4 \times 10^6$
260	0,660	0,247	2,815	0,425	0,0344	0,683	1,87	$10,9 \times 10^6$
316	0,597	0,250	2,976	0,505	0,0372	0,685	1,69	$67,5 \times 10^5$
371	0,545	0,253	3,180	0,584	0,0400	0,690	1,55	$44,7 \times 10^5$
427	0,503	0,256	3,341	0,667	0,0425	0,697	1,43	$31,7 \times 10^5$
482	0,465	0,259	3,511	0,759	0,0451	0,705	1,32	$22,9 \times 10^5$
538	0,434	0,262	3,671	0,855	0,0475	0,713	1,23	$16,9 \times 10^5$
816	0,323	0,276	4,464	1,368	0,0595	0,739	0,920	$4,75 \times 10^5$
1093	0,258	0,286	5,136	1,991	0,0700	0,753	0,732	$1,81 \times 10^5$
1371	0,213	0,292	5,490	2,605	0,0760	0,763	0,609	9×10^4
1649	0,183	0,297	5,745	3,150	0,0805	0,765	0,520	$5,2 \times 10^4$

Regime	Charge	T _a	T _g	T _g	V _{air}	h ₁	h ₂	h ₃	Q _{d1}	Q _{d2}	Q _{d3}	Q _d
tr/mn		°C	°C	°C	m/s	$\frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2\text{°C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2\text{°C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2\text{°C}}$	W	W	W	W
7000	0	56	495	276	12	95,4	87,5	58,15	101	782	3028	3910
	2	50	490	270	12	111	87,2	87,2	118	782	3027	3926
	4	51	485	268	12	94	87,5	57,8	98	773	2975	3846
	6	51	500	276	12	95	87,5	58,15	102,7	799	3097	3999
	8	54	500	277	12	96	88	58,5	103	798	3014	3955
	10	55	490	273	12	95	87,5	58	99,5	775	2998	3875
4000	0	54	370	212	7,86	59,5	51	38	45	330	1427	1802
	2	48	390	219	7,86	58,8	55	37,6	48	382	1525	1955
	4	58	415	236,5	7,86	60	58	38,4	63	521	1628	2212
	6	60	415	237,5	7,86	60,5	58	38,7	52	421	1929	2402
	8	53	405	229	7,86	59,5	59,5	31,1	50	429	1591	2070
	10	65	410	237,5	7,86	61	53,16	39,04	51	375	1598	2024
6000	0	63	460	262	10,8	82	82,57	53	82,55	670	2148	2901
	2	54,5	480	267	10,8	87	84,5	54	89,25	736	2703	3528
	4	56	485	271	10,8	6	85	54	82,1	745	2747	3574
	6	64	485	274	10,8	80	85	54,2	74	732	2709	3515
	8	59	512	285	10,8	81	86,7	54,9	80,5	804	2956	3841
	10	52	512	282	10,8	80,9	86	54,76	89,7	809	2991	3889

Tableau 4-2

Energie emportée par les gaz
d'échappement

.../...

$$Q_{d1} = 101 \text{ W}$$

1.1.2.3 Energie perdu par combustion incomplete :

Cette energie est due essentiellement à la présence C O dans les gaz d'échappement [Voir Chapitre 2]

$$Q_p = 68300 \text{ CO } [\text{K cal}] = 285500 \text{ CO } [\text{J}]$$

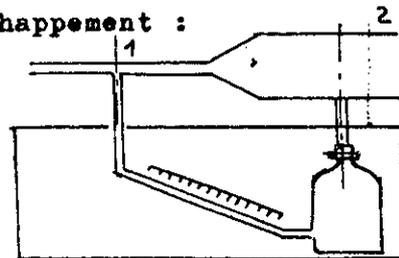
CO [mole]

La concentration de C O dans les gaz d'échappement est mesurée au moyen de l'appareil d' O R S A T

Pour déterminer le debit des gaz produits par la combustion on a placé à la sortie du pot d'échappement convergent menu d'un manometre différentiel utilisé comme debimetre

Calcul du debit de gaz d'échappement :

fig 14.
Debimetre.



- L'équation de bernouilli pour un flux
 - Incompressible
 - Inviscide
 - Irrotationnelle
 - Regime permanent

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2g}$$

- L'équation de la continuité pour les hypotheses citées

$$\rho_1 S_1 V_1 = \rho_2 S_2 V_2 \implies V_2 = \frac{S_1}{S_2} V_1$$

Les equations (1) et (2) donne :

.../...

.../...

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho \left[1 - \left(\frac{s_1}{s_2} \right)^2 \right]}}$$

- Debit massique :

$$\dot{m}_g = \rho s_1 v_1 = \rho s_1 \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho_g \left[1 - \left(\frac{s_1}{s_2} \right)^2 \right]}}$$

on a : $P_2 - P_1 = \rho_{\text{alcool}} g \Delta H_{\text{rect}}$ Pour $\rho_{\text{alcool}} : 835 \text{ kg/m}^3$, $s_1 = 314 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

$$\dot{m}_g = 4,02 \cdot 10^{-4} \sqrt{\rho_g \Delta H}$$

 ΔH la valeur directement lue sur le manomètre

-Exemple de calcul de l'energie perdue par combustion incomplete :

regime 7000 tr/mn ; Charges = 2 ; Pourcentage de

CO = 9 % ; DH = 26 mn ;

Masse volumique des gaz $\rho = 0,461 \text{ kg}$

$$\dot{m}_{\text{CO}} = 4,02 \cdot 10^{-4} \sqrt{0,461 \cdot 26} = 1,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_g = 1,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

d'ou le debit volumique de gaz d'echappement

$$V = \dot{m}_g \frac{1}{\rho} = 1,4 \cdot 10^{-3} \frac{1}{0,461}$$

$$V = 3,23 \text{ L/s}$$

Volume de CO contenu dans les gaz d'echappement

$$V_{CO} = V N\% = 3,23 \text{ } 9\% = 0.2907 \text{ l/s}$$

$$V_{CO} = 0,2907 \text{ l/s}$$

Nombre de mole de CO degages :

$$M_{CO} = \frac{V_{CO}}{22,4} = \frac{0,29}{22,4} = 0,01298 \text{ mole}$$

- Quantité de chaleur perdue par combustion incomplete

$$Q_p = 0,01298 \cdot 285500$$

$$Q_p = 3707,5 \text{ W}$$

Les resultats concernant l'energie perdue par combustion incomplete figure au tableau 5

1.1.2.4 - Chaleur Transmise au parois du moteurs pour avoir des bonnes informations concernant la répartition des temperatures sur les parois du moteur on a place sur celui-ci sept thermocouples

- 3 sur la culasse
- 2 sur le cylindre
- 2 sur le carter

Les thermocouples sont places dans des petits trous percés dans les parois .

La chaleur transmise aux parois est totalement dissipée par : le cylindre , la culasse ; le carter .

* Chaleur dissipée par le cylindre :

Caracteristiques cylindre

- diamètre moyen $d_m = 69 \text{ mm}$
- Surface globale $A = 47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
- Surface des Ailettes $A_f = 41,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Regime	Charge	% CO	ΔH_{tech}	ρ	$m_g \cdot 10^3$	$V_g \cdot 10^3$	$V_{CO} \cdot 10^3$	M_{CO}	Q_p
Er/min			mm	kg/m ³	kg/s	m ³ /s	m ³ /s	c	W
7000	0	9	26	0,458	1,33	3,034	0,273	0,012	3426
	2	9	28	0,461	1,49	3,23	0,291	0,10	3682,
	4	8	34	0,463	1,6	3,46	0,277	0,0124	3540
	6	7	34	0,455	1,5	3,296	0,2307	0,0103	2941
	8	7	35	0,455	1,6	3,5	0,245	0,011	3141
	10	8	36	0,461	1,64	3,56	0,2848	0,0127	3626
6000	0	7,75	20	0,482	1,24	2,49	0,192	0,00851	2447
	2	7,5	20	0,466	1,2	2,57	0,193	0,00861	2458
	4	5,5	22	0,465	1,28	2,75	0,151	0,0067	1913
	6	6,75	24	0,465	1,34	2,88	0,194	0,0086	2455
	8	6	21	0,448	1,23	2,75	0,165	0,007	1999
	10	6,5	22	0,448	1,26	2,8	0,182	0,003	2884
4000	0	6,5	6	0,545	0,726	1,33	0,096	0,0038	1102
	2	6	7	0,531	0,75	1,4	0,085	0,0037	1080
	4	5,5	8	0,512	0,77	1,5	0,0827	0,0036	1027
	6	5,5	10	0,512	0,80	1,56	0,0858	0,0038	1093
	8	5	9,5	0,519	0,92	1,77	0,088	0,0042	1191
	10	5	9	0,516	0,95	1,84	0,092	0,0042	1173

Tableau N° 5

Energie perdue par Combustion
Incomplète.

Matiere des Ailettes	fonte
conductivité	$K = 47,3 \text{ Kcal/h m}^\circ\text{C}$
Longueur	$L = 22 \text{ mm}$
Epaisseur à la base des ailettes	$T = 3,5 \text{ mm}$

Pour déterminer le coefficient de convection on utilise le graphe 17

L'efficacité est déterminée à l'aide du graphe 19. les résultats concernant la chaleur dissipée par le cylindre, sont groupés au tableau 6

* Chaleur dissipée par la culasse

Caractéristique de la culasse :

diamètre moyen	$d_m = 51 \text{ mm}$
surface globale	$A = 50,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Surface Aillettée	$A_p = 43,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Matiere de Ailettes	Aluminium
Conductivites	$K = 178 \text{ Kcal/h m}^\circ\text{C}$
Longueur de l'ailette	$L = 20 \text{ mm}$
Epaisseur à la base	$T = 3 \text{ mm}$

comme dans le cas du cylindre on utilise le graphe pour évaluer le coefficient de convection et le graphe pour évaluer l'efficacité des ailettes

Les résultats concernant ce paragraphe sont groupés au tableau numéro 7.

* Chaleur dissipée par le carter .

On a assimilé le carter à un cylindre :

Diometre	$d \ D = 200 \text{ mm}$
Longueur	$L = 200 \text{ mm}$

le coefficient de convection est déterminé d'après le graphe

Les résultats concernant ce paragraphe figurent aux tableaux 8

Regime	Charge	T_a	T_m	T_f	h	η_T	Q_{cy}
Tr/mn		$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$\frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C}$		W
7000	0	56	145	100,	45,56	0,88	195
	2	50	146	98	45,22	0,88	209
	4	51	144	98	45,42	0,88	200
	6	51	139	95	47	0,88	205
	8	54	130	92	46,3	0,88	168
	10	55	140	98	48	0,88	195
6000	0	63	131	97	50	0,84	154
	2	54,5	132	93	50,4	0,88	188
	4	56,5	144	100,2	51	0,88	215
	6	64	144	105	51	0,88	196
	8	59	143	101	52	0,88	209
	10	52	146	99	52	0,87	232
4000	0	54	120	87	42	0,89	135
	2	48	119,5	84	42	0,89	146
	4	58	142	100	43	0,89	176
	6	60	124,2	92,	42,4	0,89	135
	8	53	100,5	77	41	0,89	95
	10	65	119	92	37	0,89	96

Tableau N°6.

Energie dissipée par Le cylindre

Regime	Charge	Ta	Tm	Tf	h	η_T	Q _{cu}
Er/mn		°C	°C	°C	$\frac{k_{cal}}{hm^2°C}$		W
7000	0	56	119	87,5	55	0,99	201,2
	2	50	123	87	55	0,99	233
	4	51	122	87	57	0,98	233
	6	51	117	84	54	0,98	226
	8	54	104	79	54	0,98	219
	10	55	104	80	54	0,98	154
6000	0	63	107	85	53	0,98	134
	2	54,5	108	81	52	0,97	159
	4	56,5	120	88	53	0,97	193
	6	64	120	92	53	0,97	171
	8	58,4	119	88	53	0,97	190
	10	52	118	85	52	0,97	190
4000	0	54	111	82,5	42	0,98	141
	2	48	101	75	41,64	0,97	130
	4	58	121	90	40,3	0,97	145
	6	60	117	89	40,2	0,97	133
	8	53	113	83	42,3	0,97	145
	10	65	126	96	40,6	0,96	157

Tableau N° 7

Énergie dissipée par la Culasse

Régime	Charge	T_a	T_m	T_f	h	Q_{car}
Er/mn		°C	°C	°C	$\frac{kcal}{h m^2 °C}$	W
7000	0	56	52,5	54,25	27,49	-18,11
	2	50	54,5	52,25	27,14	17,49
	4	51	61	56	27,48	35
	6	51	63,5	57,25	28	50,5
	8	52	54,5	53,25	28	10,1
	10	55	56,5	55,75	27,5	6,04
	6000	0	60,5	63	62	26,7
2		53	54,5	53,75	26,2	5,7
4		56,5	67	61,75	26,4	41
6		64	67	66	26,95	12
8		56,4	67	62	28,73	41
10		52	66	59	26,5	54
4000		0	54	55	53	23,7
	2	48	53	50,5	23,6	17,3
	4	58	62	60	24	17,6
	6	60	61	60,5	24	4,55
	8	53	60	56,5	23,8	24,34
	10	65	67	66	24,2	7,03

Tableau N° 8.

Energie dissipée par le Carter

Regime	Charge	Q_{cy}	Q_{cyl}	Q_{car}	Q_R
		(W)	(W)	(W)	(W)
7000	0	195	201,2	-18,11	378
	2	209	233	17,89	450
	4	200	233	34,6	468
	6	204	226	50,5	481
	8	168	218	10,1	396
	10	195	154	6,04	355
6000	0	154	134	9,75	298
	2	188	159	5,7	353
	4	215	193	41	449
	6	196	171	12	379
	8	209	190	41	441
	10	232	190	54	482
4000	0	735	141	4	280
	2	146	130	17,3	281
	4	176	145	17,6	323
	6	135	133	4,55	269,16
	8	95	145	24,34	246
	10	96	157	7,03	255

Tableau 9

Energie transmise aux parois
du moteur

2 - ANALYSE DES RESULTATS

2-1 COMPARAISON :

P o u r vérifier la complétude de notre bilan thermique, nous étions obligés d'établir une comparaison entre l'actif et le passif de ce bilan ; un bilan thermique complet nécessite l'égalité de l'actif et du passif .

Dans notre cas , afin de faciliter cette comparaison, nous avons tracé deux courbes sur un même graphe voir page 50 .

- La première représente la valeur moyenne de l'actif en fonction du régime de fonctionnement.

- L'autre représente la valeur moyenne du passif également en fonction du régime de fonctionnement.

2-2 DISCUSSION :

S u r le graphe on remarque un léger décalage, vers le bas de la courbe représentative du passif du bilan thermique, à celle représentative de l'actif.

Cette différence d'énergie - 4% de l'énergie introduite dans le moteur sous forme de combustible, voir graphe , est toute à fait acceptable, elle représente toutes les énergies que nous n'avons pas pu mesurer, telle l'énergie prise pour l'échauffement de l'huile de graissage celle nécessaire à l'entraînement des accessoires etc.....

La comptabilité des calories entrante et sortante relative à notre moteur est donnée par le diagramme figurant à la page 51

Regime	Charge	Actif	Passif du Bilan			
Er / mn		$Q_c (W)$	$Q_d (W)$	$Q_m (W)$	$Q_p (W)$	$Q_r (W)$
7000	0	8507	3910	675	3426	378
	2	8862	3926	700	3683	460
	4	8862	3846	700	3540	468
	6	8551	3999	714	2941	481
	8	8551	3995	850	3141	396
	10	8862	3875	886	3626	355
6000	0	6956	2901	726	2446	298
	2	6956	3528	706	2458	353
	4	7532	3574	638	1913	449
	6	7222	3515	756	2455	379
	8	7532	3841	846	1999	441
	10	7237	3899	816	2330	482
4000	0	3855	1799	427	3426	280
	2	3987	1956	486	3683	281
	4	4232	2574	478	3540	323
	6	4182	2102	529	2941	269
	8	4338	2070	529	3141	246
	10	4338	2025	415	3626	255

Tableau N° 10

BILAN Énergétique.

Fig 15. Comparaison Des Resultats

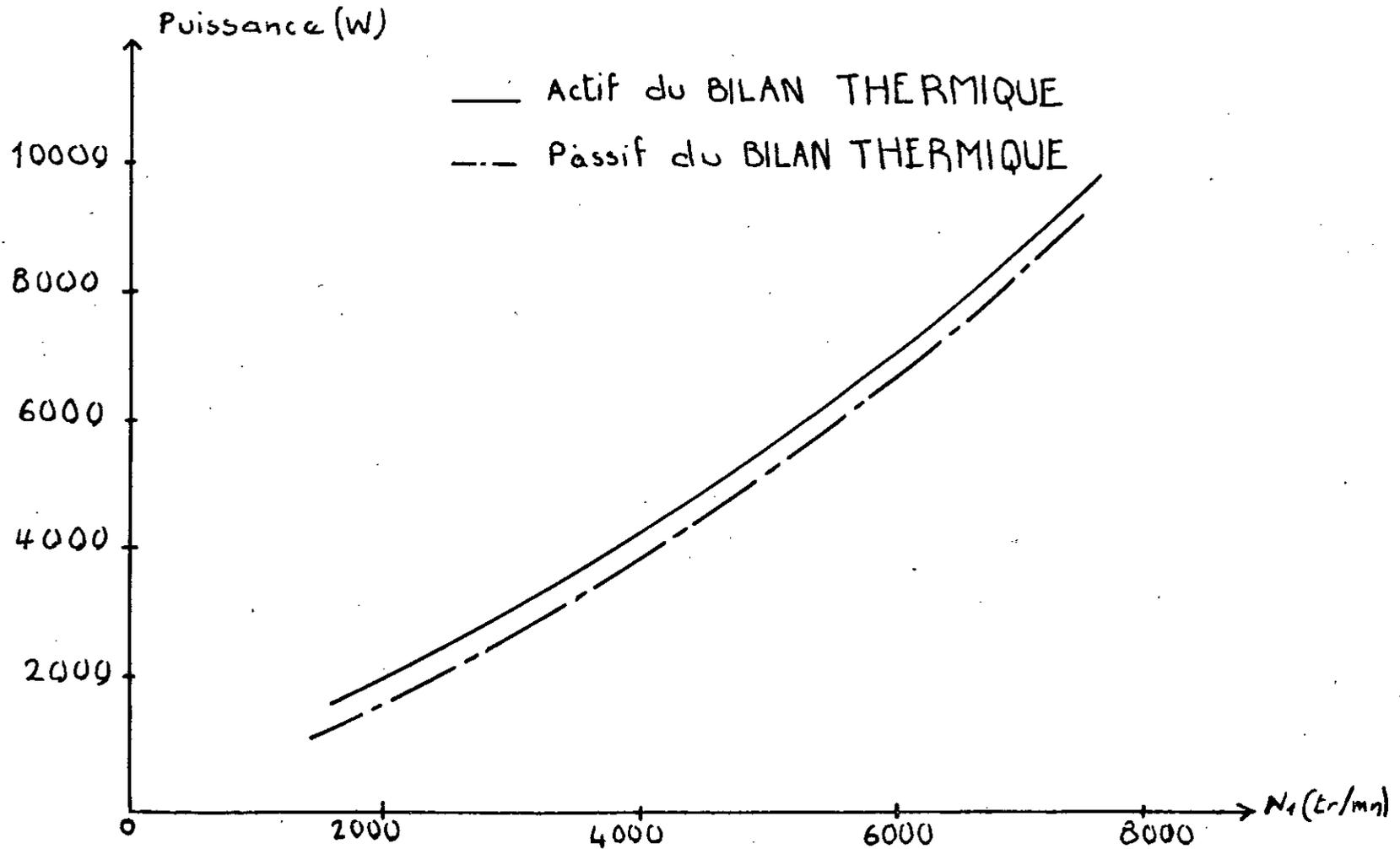
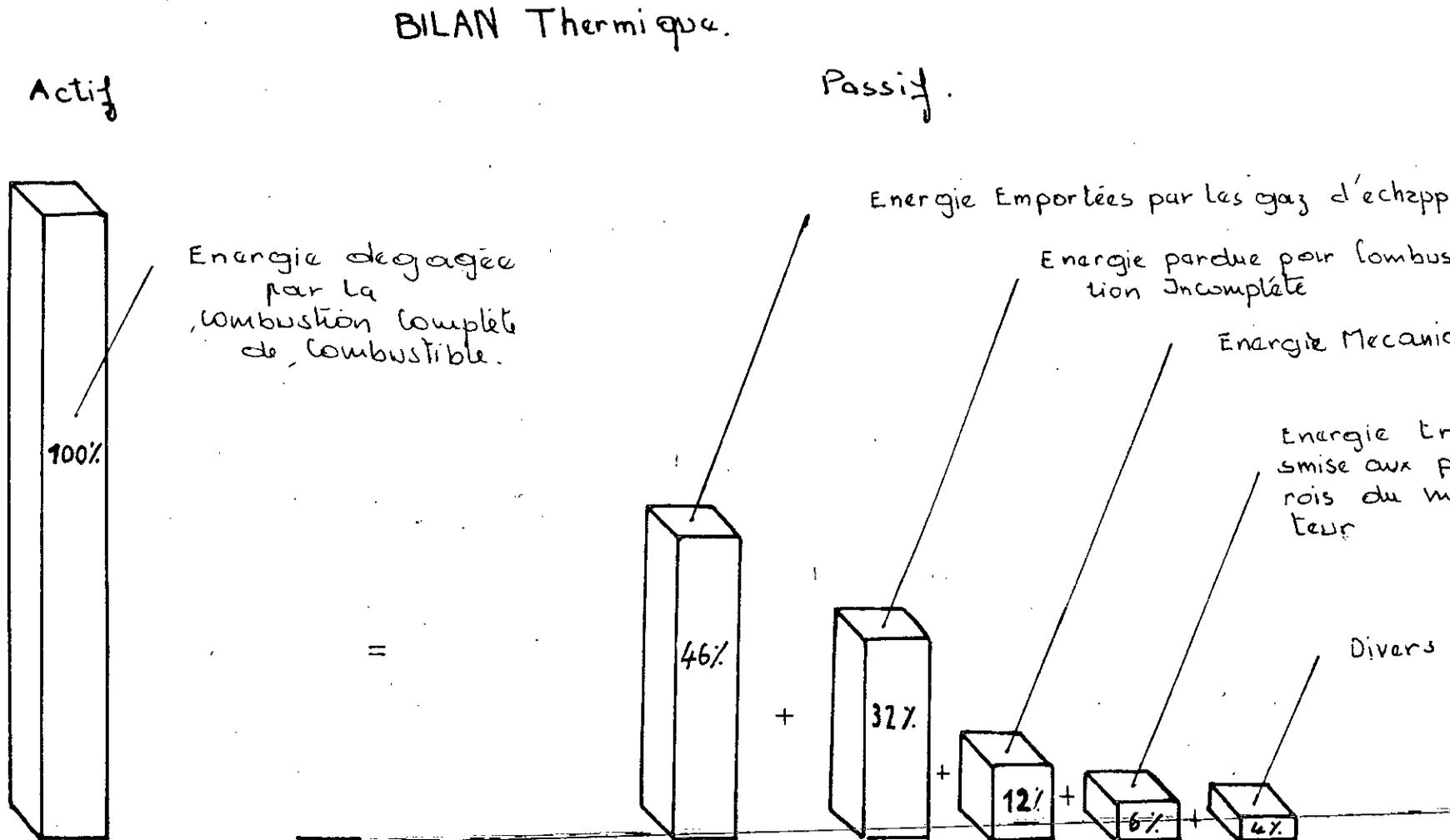


Fig 16 Comptabilite des calories entrantes et sortantes du Moteur



CHAPITRE 4

**CONCLUSION
ET
RECOMMANDATION**

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Les travaux effectués, lors de ce projet, nous ont initiés à plusieurs techniques, que nous jugerons indispensables à la vie professionnelle et privée d'un ingénieur mécanicien, telles :

- L'organisation du poste de travail, qui nous a été imposée par le grand nombre d'appareils, d'outils, et de dispositifs présents dans notre banc d'essai.

- Le choix, et la préparation des réactifs; nécessaires à l'analyse des gaz de déchet.

En ce qui concerne le déroulement des expériences au banc d'essai on a noté plusieurs remarques parmi elles ont été :

- Le moteur a présenté certaines irrégularités de fonctionnement, au niveau de la carburation, et surtout lors du démarrage.

Il est nécessaire d'apercevoir que le moteur s'est arrêté plusieurs fois durant les expériences.

- APPAREIL D O R S A T : Chaque fois qu'on fait rebouillir les gaz à analyser dans la burette de mesure, après avoir barboté dans le laboratoire spécifique d'Oxygène le volume de ces gaz diminue, à peu près 5 cinq millilitres, et cela pour n'importe quel nombre de barbotages effectués, pour cette cause on a limité à trois, le nombre de barbotages des gaz dans ce laboratoire.

- Les appareils de mesure utilisés sont une précision moyenne .

En examinant , les tableaux du paragraphe "étude expérimentale", on remarque que la température des parois du cylindre atteint 150°C , et celle de la culasse dépasse quelque fois les 120°C , cela pour une durée de fonctionnement qui ne dépasse pas généralement les cinq minutes

Comme on voit , ces températures peuvent nuire considérablement au bon fonctionnement du moteur .

Pour remédier à cette situation , seul un redimensionnement des ailettes du cylindre et de la culasse s'impose comme solution .

Le bilan thermique du moteur a été déterminée , il ne nous reste que le redimensionnement des ailettes que nous n'avons pas pu l'aborder par manque du temps .

On souhaite que cette opération sera réalisée , Un jour , par un élève de notre école .

B I B L I O G R A P H I E

- 1) TECHNIQUE DE L'INGENIEUR
- 2) ENCYCLOPEPIE QUILLET
- 3) TRANSMISSION DE LA CHALEUR W.H.MAC ADAMS
- 4) PRATIQUE DE LA MESURE ET DU CONTROLE DANS L'INDUSTRIE-3
J-BURTON
- 5) ANALYSE THERMIQUE ET EXPERIMENTALE DU REFROIDISSEMENT
PAR AIR D'UN MOTEUR DEUX TEMPS MONOCYLINDRIQUE
Solution 2
Projet fin d'étude JANVIER 1985
- 6) REFRIDISSEMENT D'UN MOTEUR A DEUX TEMPS MONOCYLINDRIQUE
PAR AIR DEPLACE
Solution 1
Projet fin d'étude JANVIER 1985

APPENDICE

APPENDICE A

REDEMENT DES MACHINES A COURANT CONTINU

1- PERTES DANS UNE GENERATRICE A COURANT CONTINU :

Il existe trois types de pertes dans une GENERATRICE à courant continu .

- PERTES MECANIQUES : dues aux frottements de l'induit dans les paliers et des balais sur le collecteur .

- PERTES ELECTRIQUE : par effet Joule , dans les enroulements de l'induit , de l'inducteur et du Rheostat d'excitation .

- PERTES ELECTROMAGNETIQUE : PAR hysteresis et courant de FOU-CAULT .

Generalement , les pertes se divisent en deux categories :

- PERTES MESURABLES : Pertes par effet de Joule , pertes mecaniques , certaines pertes electromagnetiques .

- PERTES SUPPLEMENTAIRES : Difficiles à mesurer comme par exemple les pertes dues aux etincelles aux balais .

2 - DETERMINATION DU RENDEMENT :

par definition le rendement d'une Generatrice s'exprime par:

$$\eta_g = \frac{\text{Puissance Utile}}{\text{Puissance Absorbée}} = \frac{P}{P + p}$$

Il existe deux methodes pour determiner le rendement d'une Generatrice :

- METHODE DIRECTE :

La puissance mecanique fournis à la Generatrice est déterminée

si on connaît le couple Moteur et la vitesse de rotation de l'arbre Moteur .

Le couple Moteur est mesurée à l'aide d'un frein mecanique (Frein de pony) ou un frein electrique tel la dynamo frein .

La vitesse est mesuré à l'aide d'un TACHYMETRE

La puissance utile peut être déterminé facilement si on dispose d'un Voltmetre et d'un Ampermetre .

- METHODE INDIRECTE :

Dite aussi methode des pertes separées consiste à determiner les pertes mesurables .

Il existe deux genres de pertes mesurables :

- PERTES VARIABLES : Sont les pertes par effet JOULE P_j ,elles dependent de la charge .

-PERTES CONSTANTES; Sont independentes de la charge , se composent des pertes mecaniques P_M et des pertes electromagnetiques mesurable.

3 - METHODE IDIRECTE DE MESURE DE PERTES :

- PERTES VARIABLES :

Mesure de la resistance de l'induit .

*on realise le montage (Schema N° 1)

*on applique une tension U_i aux bornes de l'induit, on note U_i et I_i .

*ON repete cette mesure deux ou trois fois et on note chaque fois U_i et I_i .

*Pour chaque U_i et I_i on calcule la resistance R_i de l'induit par la formule d'OHM .

$$R_i = \frac{U_i}{I_i}$$

* On calcul la resistance moyenne qu'on considère ' comme la resistance relle de l'induit .

$$R_n = \frac{R}{n}$$

Mesure la resistance de l'inducteur y compris la resistance du rheostat d'excitation integree dans le circuit .

* On realise le montage (Schema N°2) .

* Pour connaitre la resistance du circuit inducteur , on regle le rheostat de champ de telle facon a avoir le courant d'excitation voulue J_0 et on note la tension U .

$$r = \frac{U}{I_{ex}}$$

Si pendant le fonctionnement en plein charge le courant de l'induit I_u et le courant d'excitation J , les pertes par effet JOULE P_j s'exprime par :

$$P_j = R_m I_u^2 + r_m J^2$$

- PERTES CONSTANTES :

Ces pertes sont determinees par un essai en moteur a vide

L'essai en moteur a vide est realise pour un nombre de tours et un flux magnetique pour lesquels on veut determiner le rendement .

On realise l'essai en MOTEUR a VIDE , en procedant de la facon suivante :

- * On realise le montage (voir schema 3-4) .
- * On met les circuits sous tension .
- * On affiche le courant d'excitation nominale de la GENERATRICE .
- * On regle la tension U_0 de telle facon a avoir le nombre de tours (n) pour lequel on veut calculer le rendement .
- * On remplit le tableau ci-dessous , en changeant a chaque fois J et en réglant U_0 pour avoir le nombre de tours (n) constant .

U _o					
J					
I _o					

EXPLOITATION DES RESULTATS :

* On complète le tableau ci-dessous

U _o					
I _o					
J					
E					
P _o					

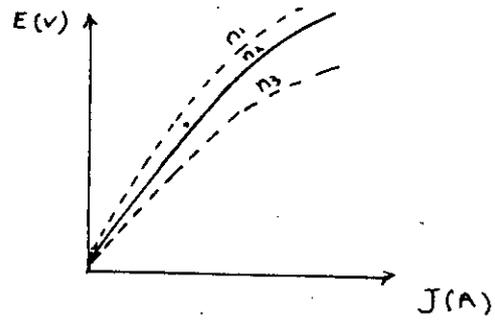
FORCE ELECTROMOTRICE :

$$E = K \phi \Omega = U_o - R_m I_o$$

PERTES A VIDE

$$P_o = P_M + P_F = U_o I_o - R_m I_o^2$$

* On trace la caractéristique du moteur à vide $E = f(J)$ et cela pour le nombre de tours n choisi .



D'autres caractéristiques à vide pour d'autre nombre de tours n peuvent être déduites en appliquant la formule :

$$\frac{E}{n} = \text{cte}$$

Cette formule est applicable pour un courant d'excitation J constant .

APPLICATION DE LA METHODE INDIRECTE POUR LE CALCUL DU RENDEMENT D'UNE MACHINE A COURANT CONTINU SCHUNT

* On fixe les conditions de fonctionnement de la génératrice .

n : Nombre de tours .

J ; Courant d'excitation .

* On suppose les courants de l'induit I_{ai} .

* On complète le tableau suivant .

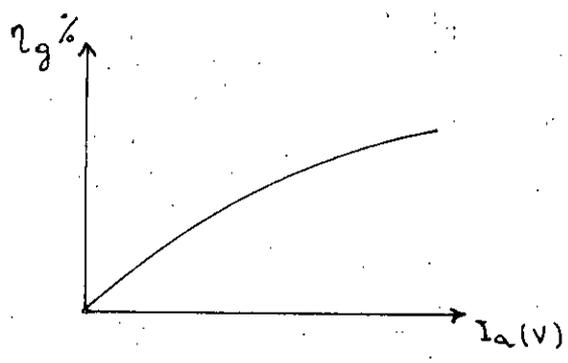
I_a					
U_a					
g					

U_a tension aux bornes de l'induit

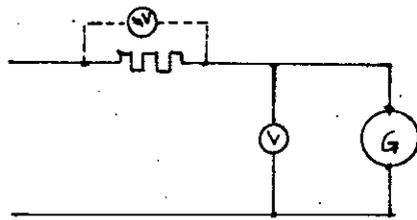
$$U_{ai} = E - R_m I_{ai}$$

LE RENDEMENT :

$$\eta_g = \frac{P}{P + p} = \frac{U_{ai} I_{ai} -}{U_{ai} I_{ai} + R_m I_{ai}^2 + r J^2 + P_0}$$

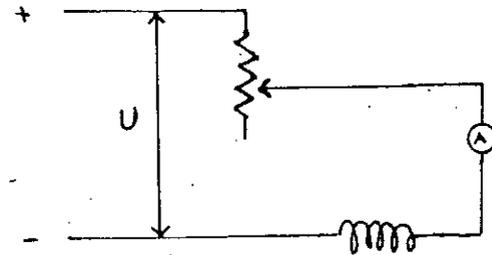


Les resultats experimentaux obtenus pour la GENERATRICE utilisee
sont donnes dans le chapitre resultats experimentaux .



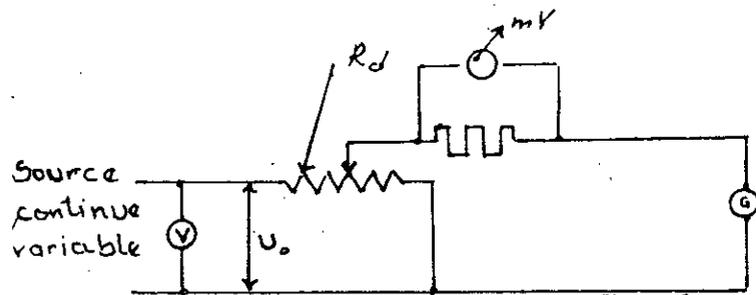
(Schema 1)

mesure de la résistance de
l'induit



(Schema 2)

mesure de la résistance
de l'inducteur

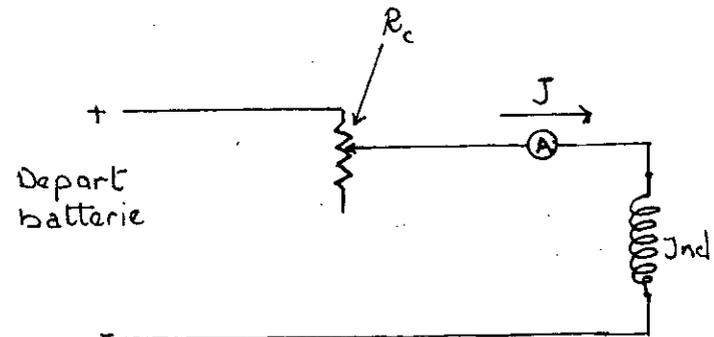


R_d : potentiometre.

mV : millivoltmetre

G : Induit

Essai en moteur à vide
circuit Induit
(Schema 3)



R_c : Rheostat de champ

Ind : Inducteur, A : Ampere
metre

ESSAI Moteur à vide
circuit Inducteur
(Schema 4)

APPENDICE B.

AIBAQUES POUR :

L'évaluation du coefficient de convection h .

Détermination de l'efficacité des ailettes η_f .

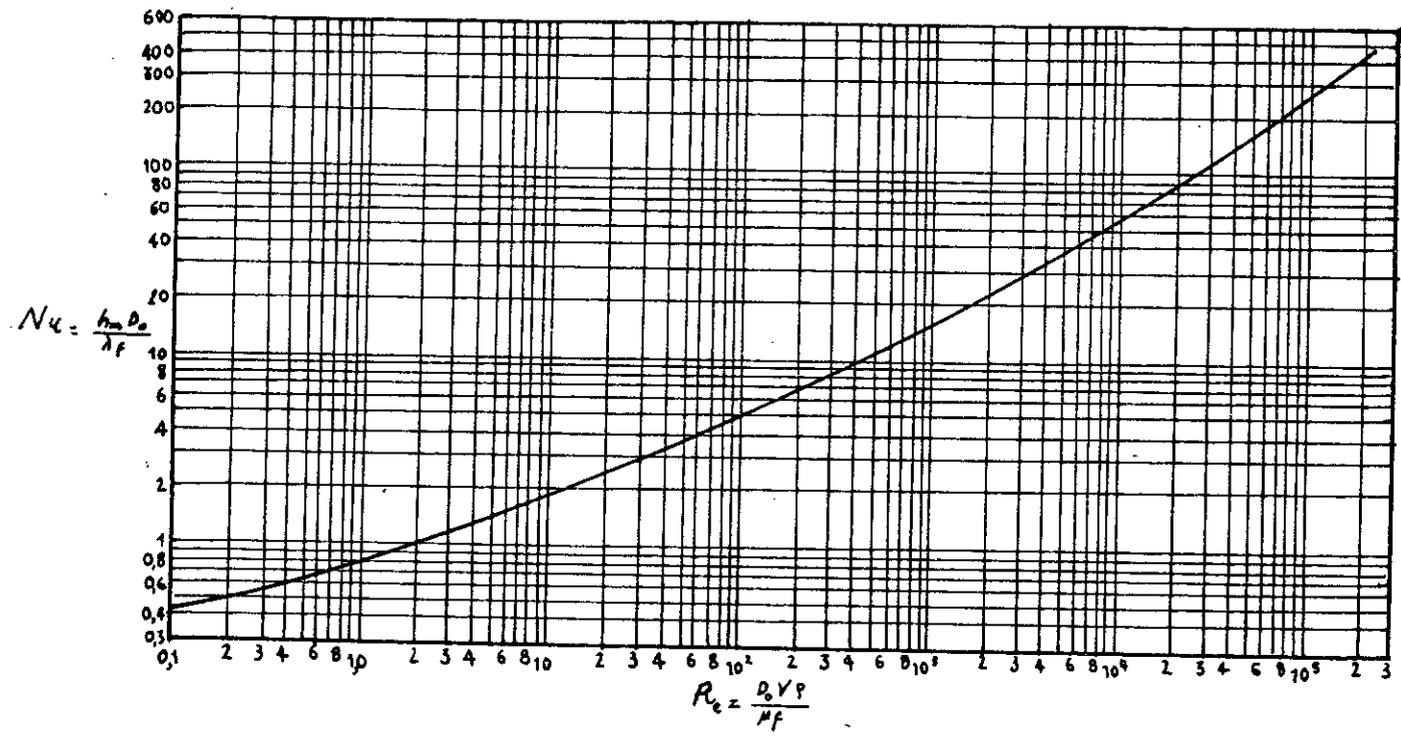


Fig 17

Fig

DONNEES RELATIVES A L'ECOULEMENT DE L'AIR PERPANDICULAIREMENT A UN CYLINDRE COMPTE TENU DE LA CORRECTION POUR LE RAYONNEMENT VERS LES SURFACES ENVIRONNANTES .

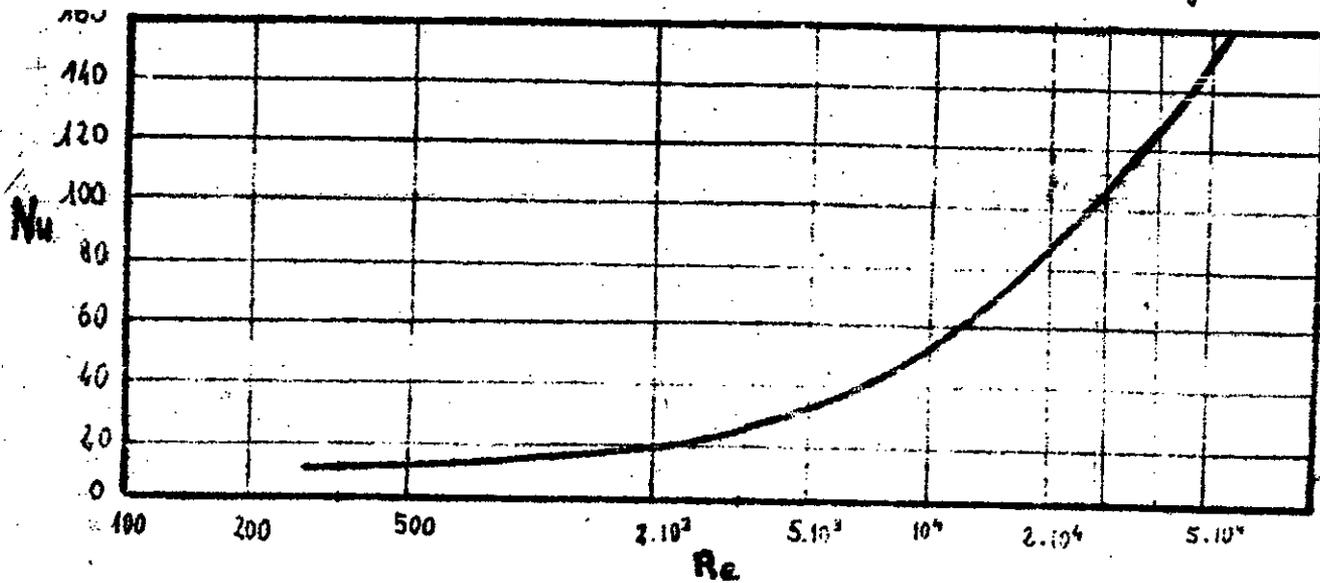
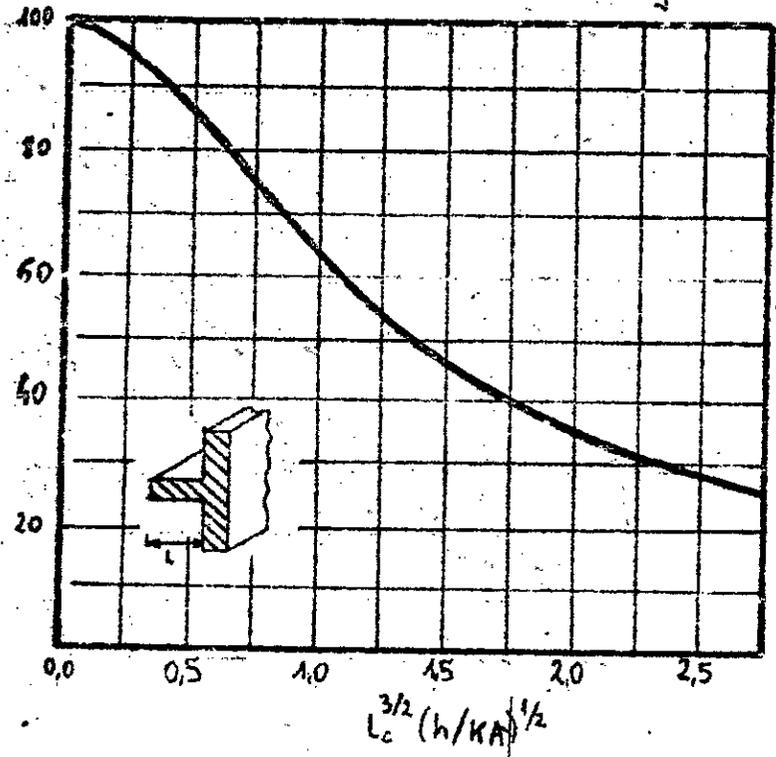
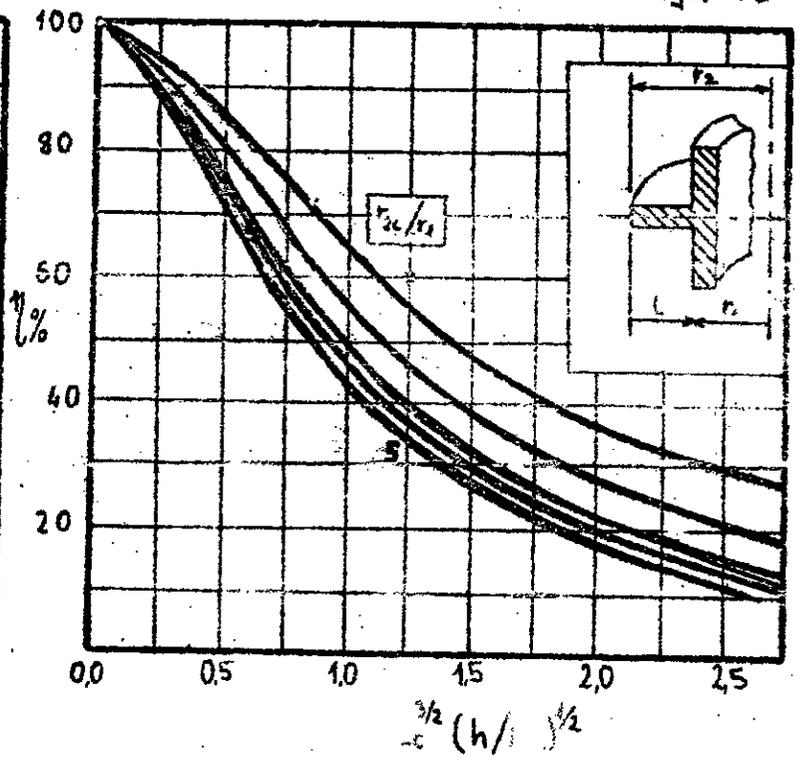


FIG Données relatives à l'écoulement de l'air
 parallèlement à un cylindre D'après W.H. Mac ADAMS

Ailette droite de section rectangulaire



Ailette circulaire de section rectangulaire



FIG

Efficacité des ailettes
D'après F. KREITH.

