

6/78

UNIVERSITÉ D'ALGER

ÉCOLE NATIONALE  
POLYTECHNIQUE

FILIÈRE D'INGÉNIEUR EN MÉCANIQUE

DÉPARTEMENT MÉCANIQUE

Lex

# PROJET DE FIN D'ÉTUDES

PERFORMANCES D'UN MOTEUR  
(R 16) FONCTIONNANT à  
L'ESSENCE ET AU GAZ  
NATUREL DE HASSI-R'MEL

Proposé et dirigé par :

J. P. MULLER

المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية

— المكتبة —

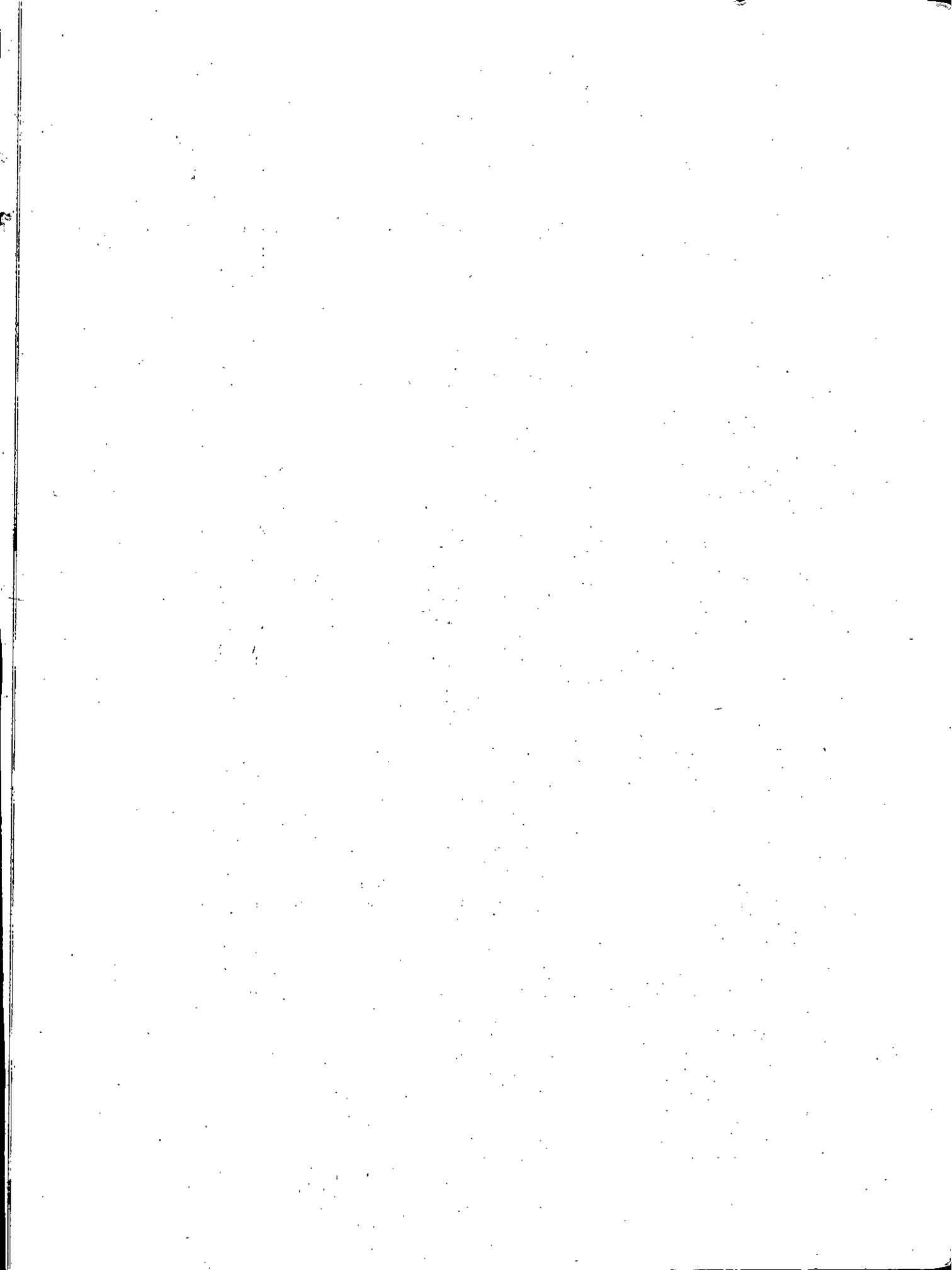
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHÈQUE

Étudié Par :

A.N. BENMOUNA

T. REFFAD

PROMOTION JUIN 1978



UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE  
POLYTECHNIQUE

FILIERE D'INGENIEUR EN MECANIQUE

DEPARTEMENT MECANIQUE

# PROJET DE FIN D'ETUDES

PERFORMANCES D'UN MOTEUR  
(R 16) FONCTIONNANT à  
L'ESSENCE ET AU GAZ  
NATUREL DE HASSI-R'MEL

Proposé et dirigé par :

**J. P. MULLER**

Etudié Par :

**A.N. BENMOUNA**

**T. REFFAD**

*PROMOTION JUIN 1978*

Le 10 / 10 / 1950

( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( )

DEDICACES  
§§§§§§§§§§

JE DEDIE CETTE ETUDE:

AUX MEMOIRES DE MON PERE

A LA MEMOIRE DE MON PERE

ET

AINSI QU'A

DE MON ONCLE DERAMCHIA MOHAMMED

MA MERE ET A MON FRERE

A.N Bennouna

T. Reffad

REMERCIEMENTS  
\$

On tiend à remercier tous les professeurs qui ont contribué à notre formation à l'école;et plus particulièrement M. J.P MULLER pour ses conseils et son aide qui nous ont permis de mener à bien et à terme cette importante étude.

Que tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de cette étude trouvent ici l'expression de notre gratitude.

A.N- BENMOUNA  
T - REFFAD

# T A B L E   D E S   M A T I E R E S

But de l'étude .	
Introduction .	1
<u>CHAPITRE I</u>	5
Travaux préliminaires de préparation du banc d'essai.	
<u>CHAPITRE II</u>	13
Déterminations des caractéristiques et performances du moteur en fonctionnement G.N.C. et essence .	
<u>CHAPITRE III</u>	18
Comparaison des performances .	
<u>CHAPITRE IV</u>	22
Allumage et analyse des gaz d'échappement .	
<u>CHAPITRE V</u>	29
Calcul d'erreurs	
<u>CONCLUSION</u>	32
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	33

## BUT DE L'ETUDE

L'étude a consisté à alimenter au gaz ( après installation des organes de transformation: bride, mélangeur, détendeur et bouteilles de stockage ) un moteur conçu pour fonctionner à l'essence.

Ceci fait, il est donc intéressant de savoir ce que deviennent les performances du moteur pour chaque cas de carburation et de réglage.

En premier lieu pour le réglage d'avance au gaz, puis en réglage d'avance de pleine puissance pour chaque cas.

Dans ce qui suit, ont été présentés: les résultats des essais, les performances et leur comparaison, et, autant que faire se pouvait, les causes et l'optimisation des effets produisant des gains ou des pertes de performances.

-----

INTRODUCTION.

 Par rapport au moteur à allumage commandé carburant à l'essence, le moteur à gaz présente plusieurs avantages intéressants ; sur le plan de la consommation d'énergie ( compte tenu du prix du carburant ), de la pollution atmosphérique et de l'environnement ( fonctionnement moins bruyant ). De plus, les réserves mondiales en G.N. sont plus importantes que celles du Pétrole.

Le G.N. est naturellement doué de propriétés physiques et chimiques qui peuvent en faire un excellent carburant pour les moteurs à allumage commandé. Son stockage sous de grandes pressions ( $P = 250$  b, à l'état gazeux) permet d'emmagasiner un grand potentiel calorifique dans de faibles volumes. Et le fait qu'il soit aspiré dans les cylindres à l'état gazeux, permet d'obtenir un mélange homogène, plus facilement qu'avec l'essence.

Tous ces avantages apportés par le G.N.C. carburant, se font au détriment d'une légère diminution de la puissance et du couple, quoiqu'on enregistre un léger gain sur le rendement. Mais ceci peut être compensé par le fait que le circuit d'alimentation en carburant G.N.C. ne pose pas de problèmes difficiles à résoudre.

.../...

Il se compose essentiellement.

- d'un réservoir stockant G.N. comprimé ( sous 250 b )
- d'un détendeur à deux étages : où le premier étage détend le gaz jusqu'à environ 2,5 b et le deuxième jusqu'à une pression légèrement inférieure à la pression atmosphérique, de manière à éliminer tout risque de fuite à l'arrêt.

- d'un carburateur à gaz, réduit en fait à un simple mélangeur et permettant la variation de régime par un papillon, comme dans le carburateur à essence.

En outre, le mélange air - Gaz n'a pas l'inconvénient, comme le mélange air-essence, de dissoudre le film d'huile de la paroi intérieure des cylindres ; et ceci assure donc aux moteurs une plus grande longévité.

On peut espérer que les disponibilités, en Algérie de gisements de G.N. trouveront leur place dans l'application que constitue l'alimentation des moteurs à allumage commandé.

Notations et symboles utilises/:

- C couple moteur ( kgm ).
- $C_s$  consommation spécifique ( g/cv.h ).
- F force ( kgf ).
- G.N.C gaz naturel comprimé.
- $\dot{m}_l$  debit masse lu ( g/s );
- $\dot{m}_r$  debit masse réel ( g/s ).
- N nombre de tours par minute ( tr/mn ).
- $P_a$  pression atmospherique ( mmHg ).
- $P_{ef}$  puissance effective ( cv ).
- $P_h$  pression d'huile dans le cartere ( kg/cm<sup>2</sup> ).
- $\dot{q}_a$  debit masse d'air ( g/s ).
- $\dot{q}_c$  debit masse de carburant ( g/s ).
- $q_v$  debit volumique d'eau de refroidissement ( l/s ).
- $t_a$  temperature ambiante (°C ).
- $t_{ee}$  temperature d'entrée d'eau de refroidissement (°C ).
- $t_f$  temperature de la soudure froide (°C ).
- $t_{ge}$  temperature des gaz d'echappement (°C ).
- $t_s$  temperature indiquée par le thermometre sec (°C ).
- $t_h$  temperature indiquée par le thermometre humide (°C ).
- $t_{se}$  temperature de sortie d'eau de refroidissement du moteur (°C ).
- $\Delta P_a$  variation de pression du debimetre à air ( cm d'eau ).
- $\Delta P_g$  variation de pression du debimetre à gaz ( mm c.e ).
- $\Delta t_c$  variation de temps pendant l'ecoulement de 100 ml de carburant ( secondes ).

.../...

$\Delta H$  humidité relative ( % ).

$\phi$  diamètre de l'orifice du débitmètre à air ( mm ).

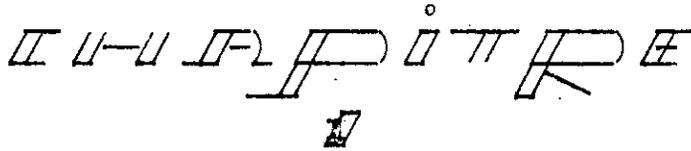
$\xi$  rendement global ou effectif ( % ).

$P_{ci}$  pouvoir calorifique inférieur ( kcal/kg ).

$\rho_{gnl}$  masse volumique du G.N.L ( kg/dm<sup>3</sup> )

$\rho_{gnc}$  masse volumique du G.N comprimé ( kg/dm<sup>3</sup> ).

-----



7) TRAVAUX PRELIMINAIRES DE PREPARATION DU BANC D'ESSAI.

1. Etalonnage du couple thermo-électrique sur le pyromètre
2. Installation du pyromètre sur le pupitre de commande.
3. Démarrage d'essai du moteur.
4. Démontage du radiateur en vue de son utilisation sur le banc.
5. Travaux avant la mise en service du radiateur.
6. Tarrage et étalonnage du frein.

.../...

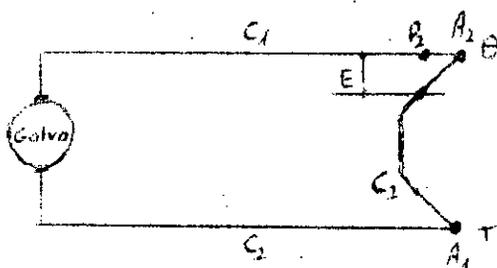
1) Etalonnage du couple thermoélectrique :

a) But et causes de l'étalonnage :

La prise de températures des gaz d'échappement nécessite un moyen de mesure. Pour des raisons de sécurité et de commodité de manipulation il doit permettre la lecture sur le pupitre de commande.

Pour la grande facilité de transmission à distance et l'appréciation avec précision, de températures variant entre  $- 250^{\circ} \text{C}$  et  $+ 1500^{\circ} \text{C}$ , le procédé de mesure par couple thermo-électrique est le plus adapté à ce cas d'application.

Leur principe est basé sur le fait que lorsqu'un circuit constitué par deux conducteurs métalliques de natures différentes  $C_1$  et  $C_2$  est parcouru par un courant électrique dès que les soudures  $A_1$ ,  $A_2$  entre les deux conducteurs sont portés à des températures inégales  $T$  et  $\theta$



Ce circuit est donc le siège d'une force électromotrice  $E$ , ne dépendant que de la nature des conducteurs et des températures  $T$  et  $\theta$  des 2 soudures, et dont l'expression est déterminée à partir de la loi des températures successives.

Enoncé : LOI DES TEMPERATURES SUCCESSIVES :

Si  $E_o(T)$  et  $E_o(\theta)$  désignent respectivement les forces électromotrices du couple lorsque l'une de ses soudures,  $A_1$  par exemple, étant portée à la température  $T$ , l'autre  $A_2$  est maintenu à la température de référence  $0^\circ \text{C}$  ou  $\theta$  suivant le cas.

La différence  $E_o(T) - E_o(\theta)$  est égale à la force électromotrice que développerait le couple si les températures des contacts  $A_1$  et  $A_2$  étaient respectivement  $T$  et  $0^\circ \text{C}$

$$\text{D'où } \boxed{E_o(T) = E_o(\theta) + E_e(T)}$$

D'après la propriété de la F.E.M, la sensibilité des couples thermoélectriques varie suivant la nature des conducteurs.

Elle est de l'ordre de  $10^{-5}$  V/ $^\circ\text{C}$  pour un couple platine-rhodie 10% - platine, de  $40 \cdot 10^{-6}$  V/ $^\circ\text{C}$  pour un couple Nickel-chrome, Nickel - allié ou cuivre constant et de  $50 \cdot 10^{-6}$  V/ $^\circ\text{C}$  pour un couple Fer - constant.

De ceci on en déduit que chaque type de couple thermoélectrique est adapté à un pyromètre permettant la lecture des températures.

Les diverses causes d'altérations, résultant le plus souvent de la diffusion d'éléments constitutants ou de corps étrangers dans les fils du couple, d'autant plus accélérées que la température est élevée, imposent un étalonnage périodique du couple.

.../...

Le banc d'essai est équipé d'un couple chromel - Alumel - N° I D 200500 Schlumberger - ( du groupe Nickel - chrome Nickel, dont les polarités sont reconnues par la couleur jaune de l'élément positif et rouge de l'élément négatif ), où la soudure froide se trouve aux points de contacts avec les fils de compensation (Fig 1 a).

Pour le montage expérimental de la Fig (1a) correspond au montage de la page 5, il faut que les contacts (soudures froides) cités précédemment soient portés à la même température  $t_p$ . Ceci est réalisé par le fait que ces derniers se trouvent à la température ambiante.

L'étalonnage du couple du banc a été fait par comparaison à un couple platine - rhodié 10% - platine (11,8 mV à 1200°C) équipant un four électrique du laboratoire énergétique (fig. 1a).

L'élément à étalonner a été placé dans le four. Celui-ci a été porté à différentes températures (Celles qui encadrent le domaine d'utilisation).

Le tableau ci-dessous et la courbe ci-après résument les résultats de cette opération.

T vraie : température indiquée par le Pyromètre du four.	\$ 180 °C	\$ 260	\$ 360	\$ 515	\$ 650	\$ 750	\$ 840	\$ 935
Tn : température indiquée par le Pyromètre d'essai (réglé à $t_{\text{ambiante}} = 18^{\circ}\text{C}$ )	\$ 173 °C	\$ 231	\$ 353	\$ 518	\$ 663	\$ 760	\$ 850	\$ 835

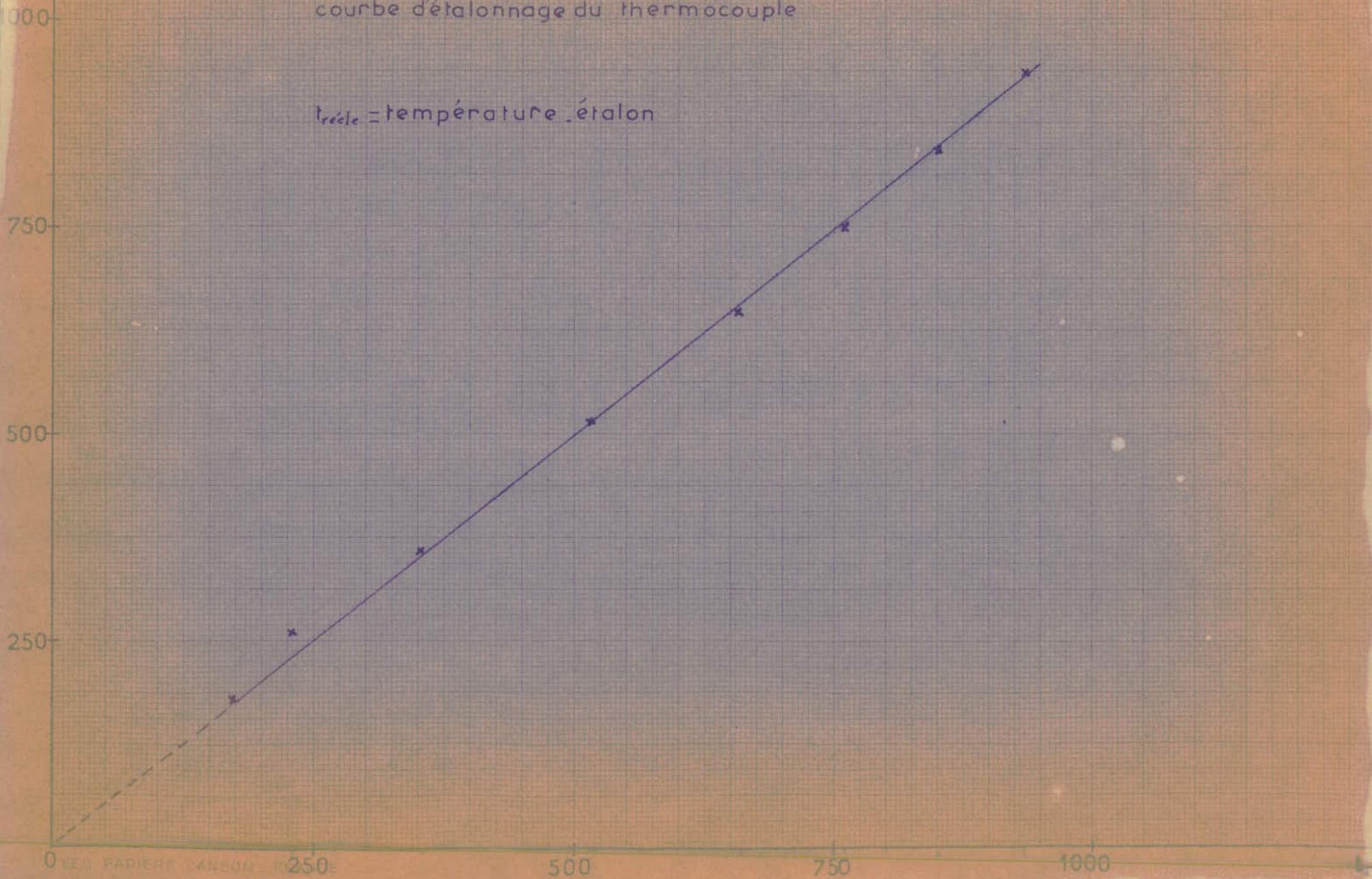
On remarque une faible variation entre les 2 températures d'un même point. Ceci est dû au fait que les 2 couples n'étaient pas placés dans une même zone du four ( le couple étalon était fixé en retrait sur la paroi du four, le couple à étalonner avait sa soudure chaude dans la zone du milieu du four ).

En négligeant cette faible erreur, on peut admettre le four comme étalonné.

$t_{réelle} (°C)$

courbe d'étalonnage du thermocouple

$t_{réelle} = \text{température étalon}$



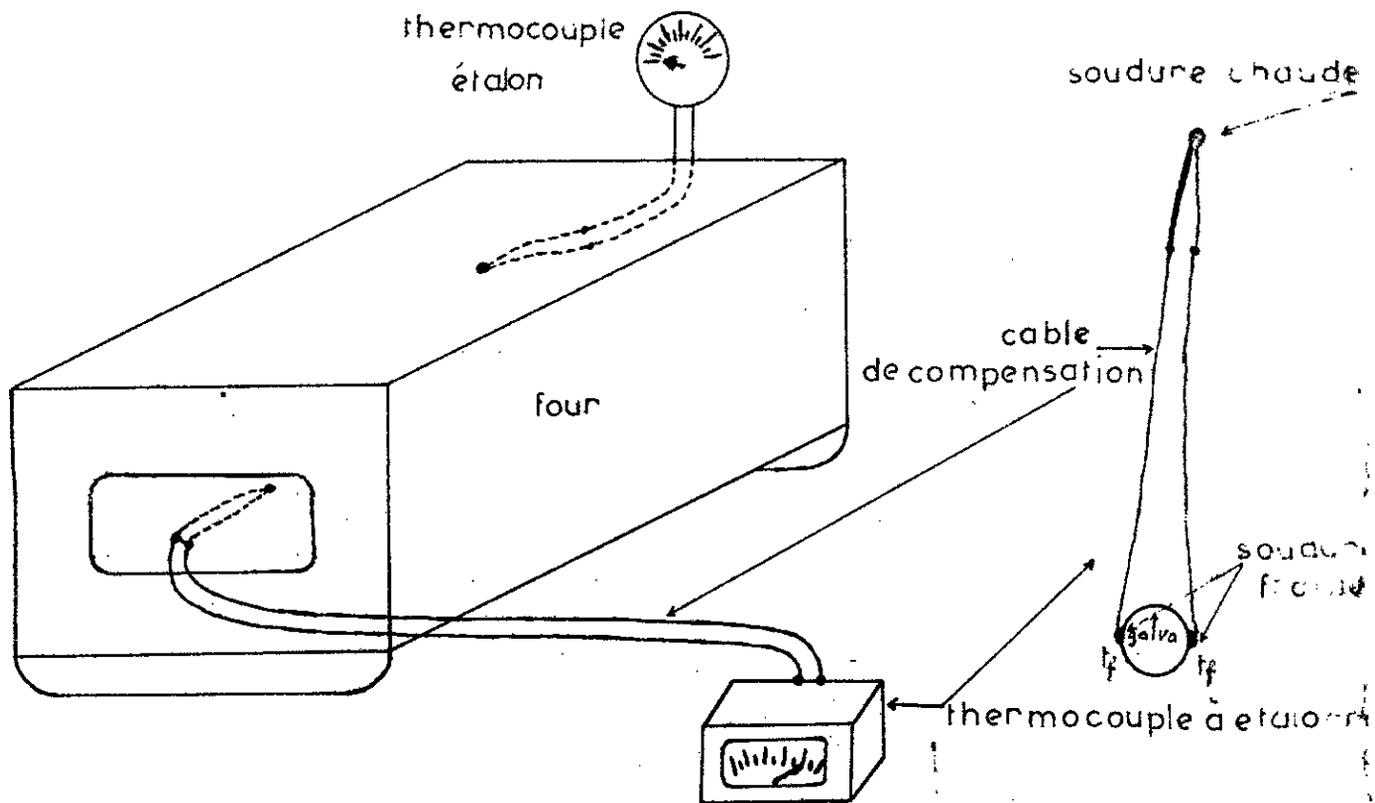


FIG.1a

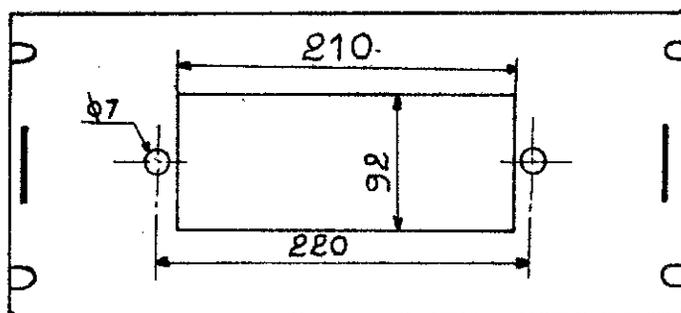
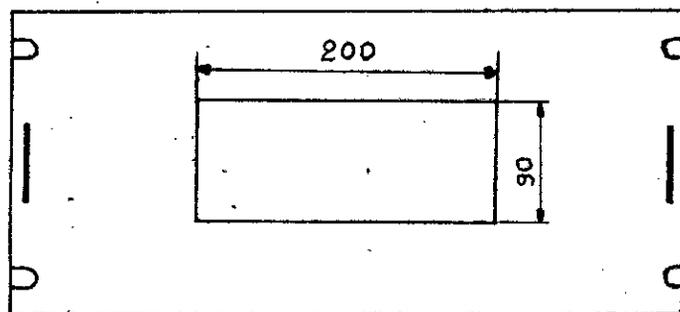


FIG.2a

2°) <sup>o</sup> INSTALLATION DU PYROMÈTRE SUR LE PUPITRE DE COMMANDE :

Initialement le pupitre de commande comportait un évidement, pour l'emplacement du pyromètre, dont les dimensions étaient inférieures à celles de celui qu'on devrait utiliser. On a remédié à ceci en agrandissant l'évidement aux dimensions correspondant à celles du Pyromètre et en prévoignant 2 trous pour la fixation de celui-ci. ( fig 2a ).

### 3) EMARRAGE D'ESSAI DU MOTEUR :

A bas régime ( du ralenti jusqu'à 2000 tr/mn ) aucune anomalie ne s'était manifestée. Mais, dès que la vitesse de rotation s'approchait ou atteignait 3000 Tr/mn ; l'eau de refroidissement du moteur, s'échappait, en bouillant, par le pot de détente. Pendant ce temps, les cadrans du pupitre de commande indiquaient des températures d'entrée et de sortie d'eau très voisines (88°C - 92°C). Outre le problème du mauvais refroidissement, les éléments du circuit d'allumage se trouvaient atteints par l'eau qui s'échappait.

Il était donc impossible de tourner à de grandes vitesses de rotation. Le moyen d'évacuation de la chaleur dégagée par le moteur était insuffisante. Pour cela, on a pensé installer un autre échangeur en série avec celui existant.

L'échangeur en question était un " radiateur " d'un moteur stationnaire. Avant sa mise en service sur le banc d'essai, une série d'opération ( décrites ci-dessous ) s'averait nécessaire.

#### --- Détartrage :

Chaque élément a été démonté, nettoyé puis débouché. Le réglage d'augmentation du débit de passage de l'eau a été réalisé par dévissage de soupapes (fig 1b).

#### --- Soudure des fuites :

ces fuites, détectées au niveau du réservoir inférieur, ont été soudées à l'étain.

#### --- Fixation du ventilateur :

Initialement, le radiateur réalisait l'échange de chaleur par convection forcée à l'aide d'un ventilateur monté en bout d'arbre du moteur.

Pour utiliser la même condition d'échange, on a doté le radiateur d'un ventilateur électrique, épuisant son énergie d'une prise de courant qu'on installe au dessus du pupitre, et dont la vitesse peut être variée à l'aide d'un alternostat.

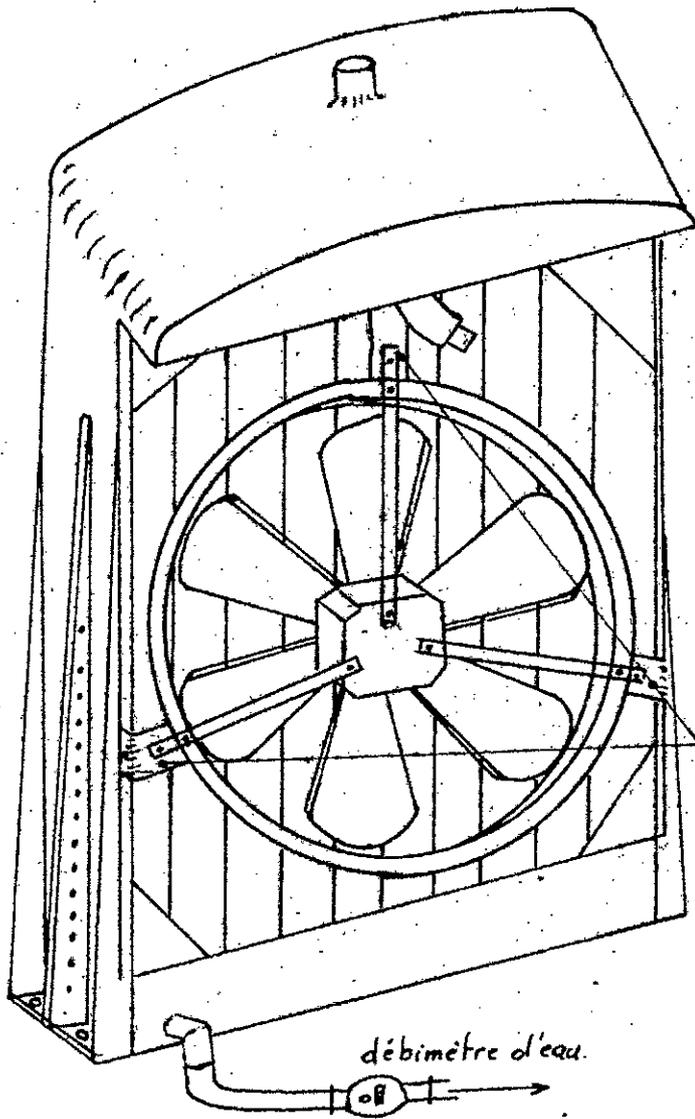
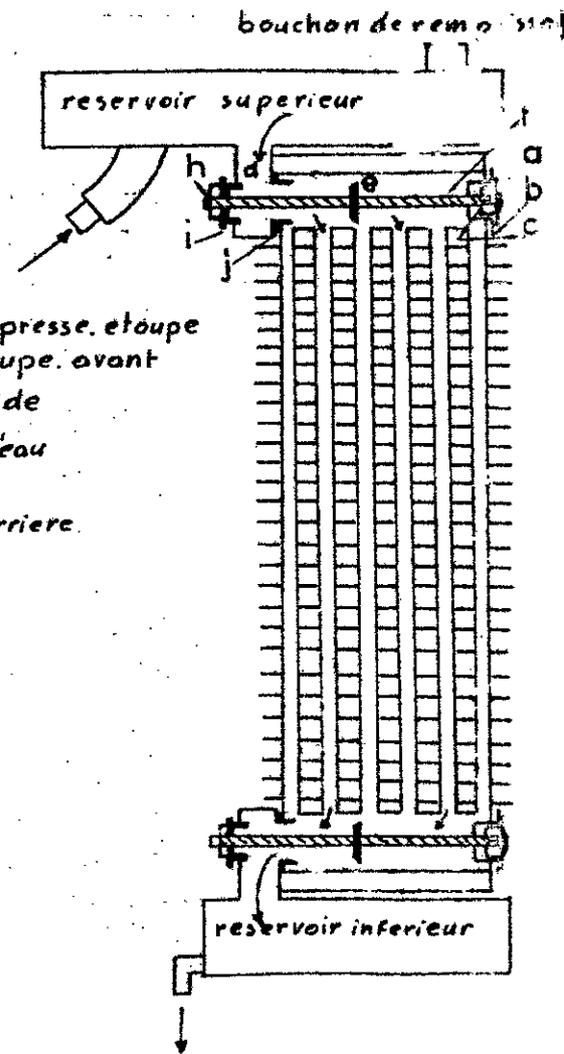


Fig: 2b



- a - écrou borgne de presse-étoupe
- b - écrou presse-étoupe avant
- c - carré de commande
- d - orifice d'arrivée d'eau
- h - écrou arrière
- l - presse-étoupe arrière
- j - joint
- e - Soupape
- t - tige filetée

Fig: 1b

Le schéma de fixation du ventilateur est donné par la (fig 2b).

— Pour la mise en circuit avec le premier échangeur ; un retrecissement a été usiné puis soudé à l'entrée du radiateur (fig 3).

— Installation de l'ensemble :

pour parer au phénomène de transvasement, le réservoir supérieur du radiateur doit se trouver au même niveau horizontal que la culasse. Pour cela, le radiateur a été fixé sur un banc, réalisé en tôle soudée, dont les dimensions permettent le maintien du niveau (fig 4).

- Un débinètre d'eau a été placé en série sur la tuyauterie de refroidissement, et permettant la mesure du volume d'eau qui traverse le moteur pendant le temps  $\Delta t$  (fig 2).

6) — Frein :

Le frein utilisé sur banc d'essai est un frein hydraulique Froude ( Schenk ) type u.1-16.

1. Tarage sur zéro :

Après avoir désacouplé le frein et le moteur, l'aiguille de la tête de mesure a été mise au zéro.

- Pour la gamme I : A l'aide du poids et du boulon de tare 8 ( voir notice de frein, tableau 526 505 BL.4 ).

- Pour la gamme II : A l'aide du poids de compensation 18 ( voir notice du frein : tableau 526 505 BL. 4 ).

2) Etalonnage :

Celui-ci nous permet de vérifier et de corriger la sensibilité de la balance.

Il consiste, comme le schématise le tableau 4LBV 2005 f de la notice de frein, à placer des poids de valeur connue sur le plateau "C", équilibré préalablement de l'autre côté par le levier "d" et le coulisseau "e"; et contrôler si l'aiguille de la balance indique exactement la valeur de ces poids.

Ceci a été réalisé, avec une erreur de l'ordre de 3%, par déplacement de l'axe "2"

( tableau 526 - 505 BL.4 de la notice de frein ).

coupe AA

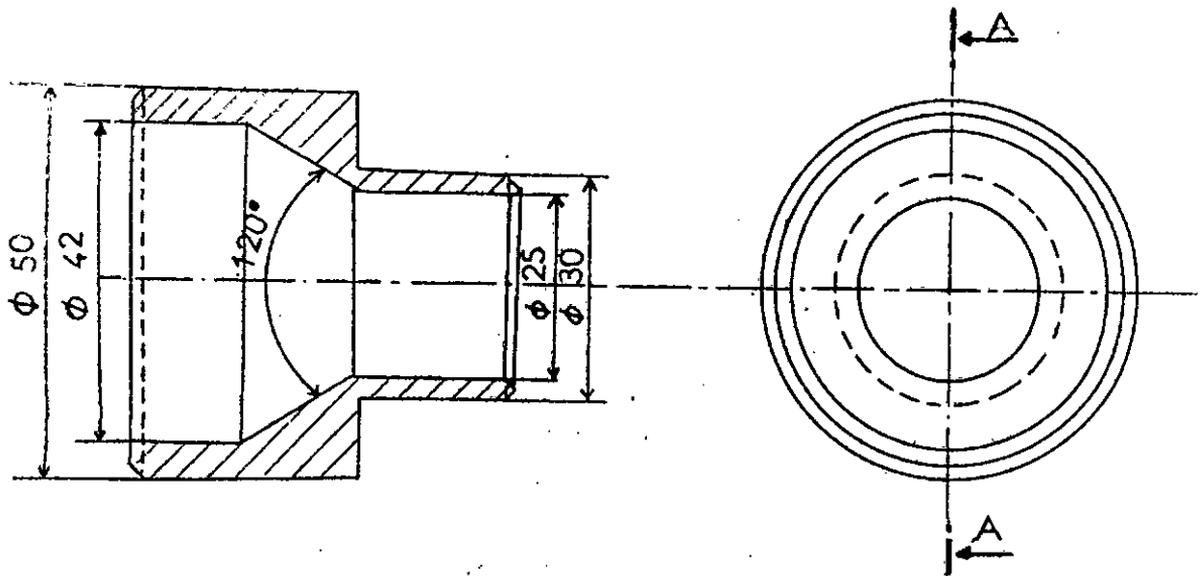


FIG: 3

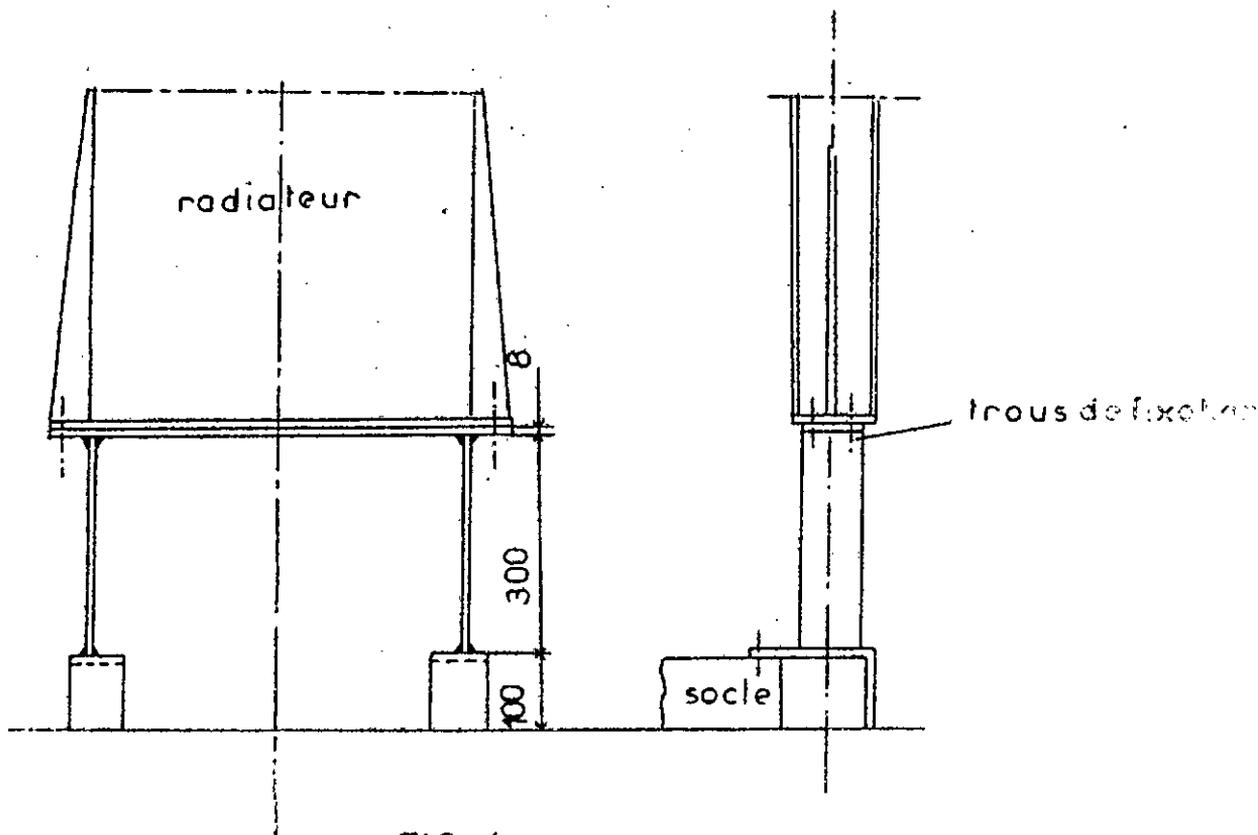
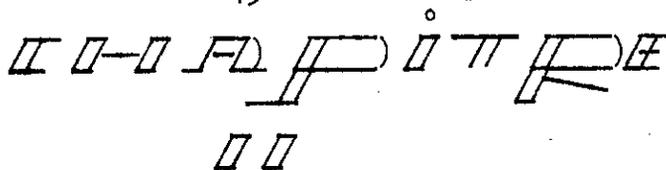
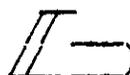


FIG: 4



 DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES ET  
PERFORMANCES DU MOTEUR EN FONCTIONNEMENT

 .  .  . ET ESSENCE.  
\* \* \* \* \*

Le moteur utilisé sur banc a les caractéristiques suivantes.

Moteur : R.16 (R 1150) type 697 (Essence)

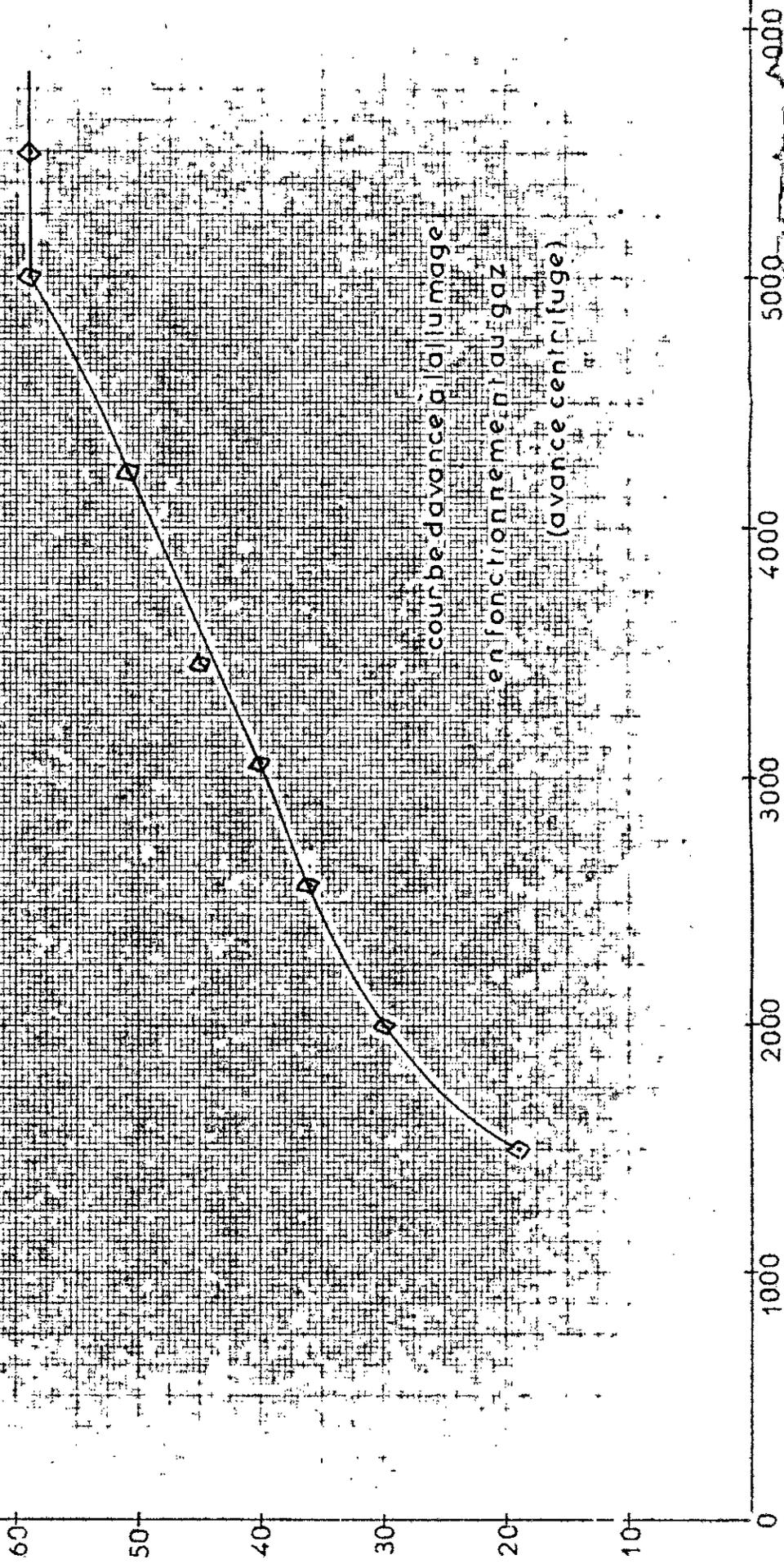
Puissance effective.  $\left\{ \begin{array}{l} = 58,5 \text{ CV DIN} \\ = 62,6 \text{ CV S.A.E.} \end{array} \right\}$  à 5000 ~~tr/mn.~~

Couple maximum  $\left\{ \begin{array}{l} = 10,8 \text{ Kg m DIN} \\ = 10,78 \text{ Kg m S.A.E.} \end{array} \right\}$  à 2800 ~~tr/mn.~~

L'avance, réglé<sup>la</sup> préalablement (manuellement) pour le fonctionnement au gaz ; La courbe suivante donne la variation d'avance (centrifuge) en fonction du régime.

.../...

avance à l'allumage (gaz)  
(gaz)



courbe d'avance à l'allumage  
en fonctionnement au gaz  
(avance centrifuge)

1°) BUT DES ESSAIS SUR BANC :

Ces essais consistent à soumettre le moteur à des conditions plus au moins proches des réelles. Ceci est réalisé généralement en exerçant sur l'arbre moteur une force résistante variable, créée par un frein, dont la valeur peut être lue directement sur la tête de la balance.

2°) DETERMINATION DES PARAMETRES DU MOTEUR :

Certains paramètres variant en fonction du régime ou de la force résistante, peuvent être lus directement sur le pupitre de commande.

Ceux ci étant généralement :

\* La force  $F$  appliquée au frein

$\frac{\text{Unités}}{f} \text{ (Kg f)}$

\* Le régime ou ouverture du papillon des gaz

celui ci est exprimé par le nombre se trouvant dans le même prolongement que le repère mobile de la rondelle (Fig 5).

\* Température des gaz d'échappement  $t_{ge}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

\* Température d'entrée d'eau de refroidissement  $t_{ee}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

\* Température de sortie d'eau de refroidissement  $t_{se}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

\* Température de l'huile du cartere  $t_n$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

\* Pression de l'huile du cartere  $P_n$   $\text{Kg/Cm}^2$

\* Nombre de tours par minute  $N$  (tr/Mn)

3°) CALCUL ET DETERMINATIONS DES FONCTIONS ET COURBES

CARACTERISTIQUES :

Les fonctions caractéristiques d'un moteur sont celles présentées par les courbes caractéristiques.

Ces courbes représentent, en fonction de la vitesse de rotation, pour un régime donné :

- Le couple moteur.  $C$  (Kgm)

- La puissance.  $P_{eff}$  (CV)

- La consommation spécifique (Cs)

- Le rendement global ou effectif  $\eta_{ug}$ .

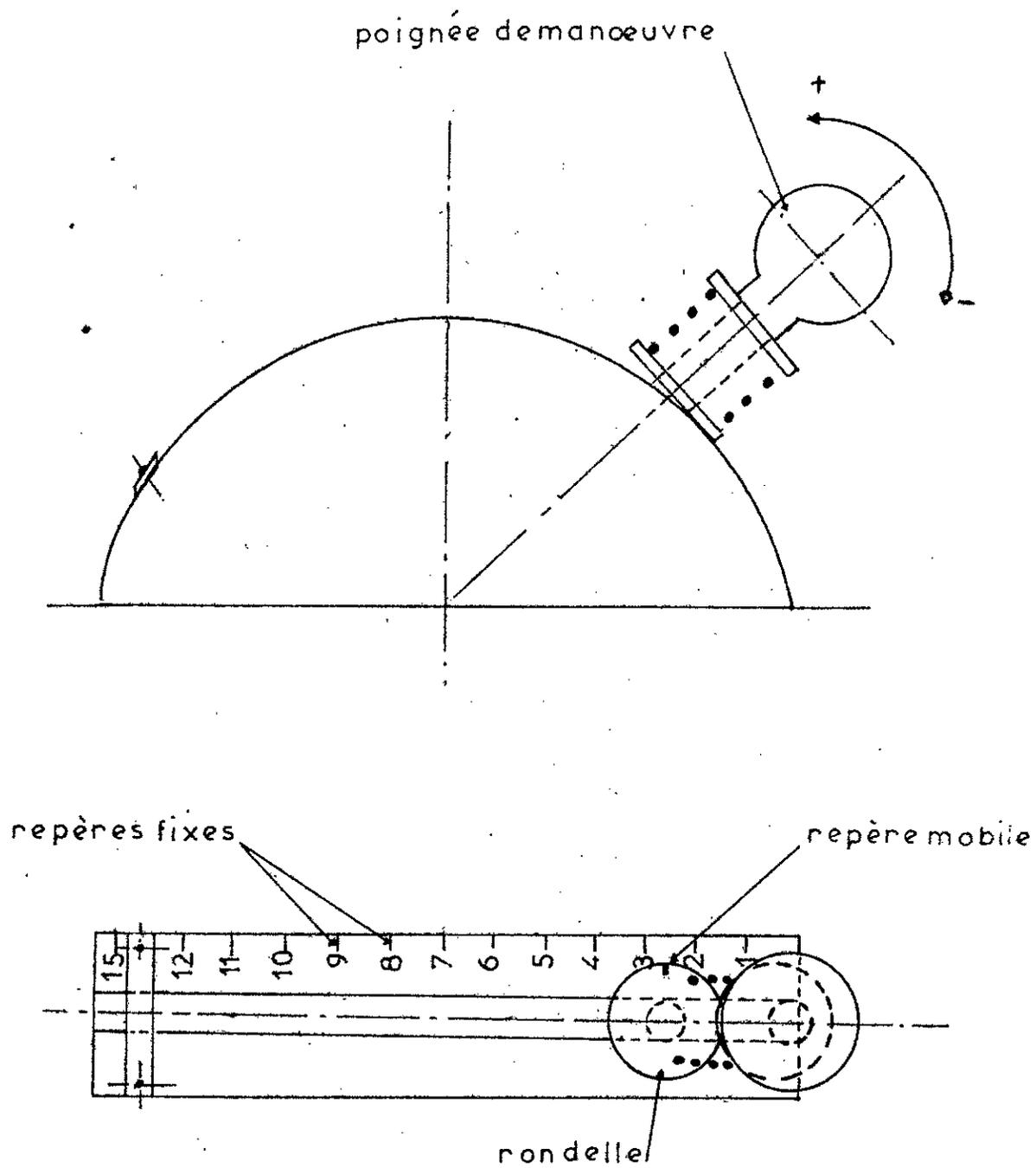


fig 5 manette de variation de regime

a) Couple moteur : Sa valeur est donnée par :

$$C = f \times 0,716 \quad (\text{Kgm})$$

f = force lue sur la tête de la balance.

0,716 = Bras de levier de la balance ( voir notice frein ).

b) Puissance effective :

La puissance mesurée sur le banc est la puissance effectivement développée par le moteur. Sa valeur est donnée par :

$$P_{\text{eff}} = F \cdot \frac{N}{1000} \quad \left. \begin{array}{l} \text{) } P_{\text{eff}} \text{ (CV)} \\ \text{) } N \text{ (tr/min)} \\ \text{) } F \text{ (Kg f)} \end{array} \right\}$$

F = Force en Kg f.

$\frac{N}{1000}$  Facteur adéquat de la balance, pouvant varier suivant l'appareil utilisé ( voir notice frein )

c) Consommation spécifique :

C'est le poids en grammes de combustible consommé par cheval - heure.

En pratique on procède comme suite pour la déterminer :

\* Pour l'essence :

On mesure la variation de temps  $\Delta t_c$  mise par le moteur pour consommer une quantité déterminée de carburant à un régime donné.

Par exemple s'il s'écoule  $\Delta t_c$  secondes pour consommer  $v$  ml d'essence de masse volumique  $\rho_e$  à un régime où la puissance développée est P chevaux, la consommation spécifique est donnée par :

$$C_s = \frac{3600 \rho_e}{P_{\text{eff}}} \quad (\text{g/CV.H.})$$

où  $\rho_c = \frac{v \rho_e}{\Delta t_c} \quad (\text{g/s})$

.../...

\* Pour le gaz :

le débitmètre à gaz (étalonné préalablement sur rotamètre, voir polycopie Mr. MULLER, les résultats de cet étalonnage sont donnés par le tableau et la courbe qui suivent.) donne la variation de pression  $\Delta P_g$  en millimètres de colonne d'eau. Cette variation étant égale à la somme des dénivellations en dessous et en dessus du zéro.

$\Delta P_g$  étant connue, on se rapporte à la courbe d'étalonnage. Celle - ci nous donne le débit de gaz à l'état standard ( 288 ° K ; 1,013 b ).

Pour déterminer le débit de gaz à la température et pression de fonctionnement, on doit procéder à une correction, nous ramenons de l'état standard à l'état réelle, et figurant sur le polycopie cité plus haut.

Une fois connue le débit réel de combustible  $\dot{Q}_c$  (g/s)

On détermine la consommation spécifique de la même manière que pour l'essence.

$$C_s = \frac{3600 \dot{Q}_c}{P_{eff}} \quad (g/cv.h).$$

.../...

étalonnage du débitmètre à gaz sur rotamètre

(rotamètre étalonné pour méthane à 2,5 bar et 20 °C)

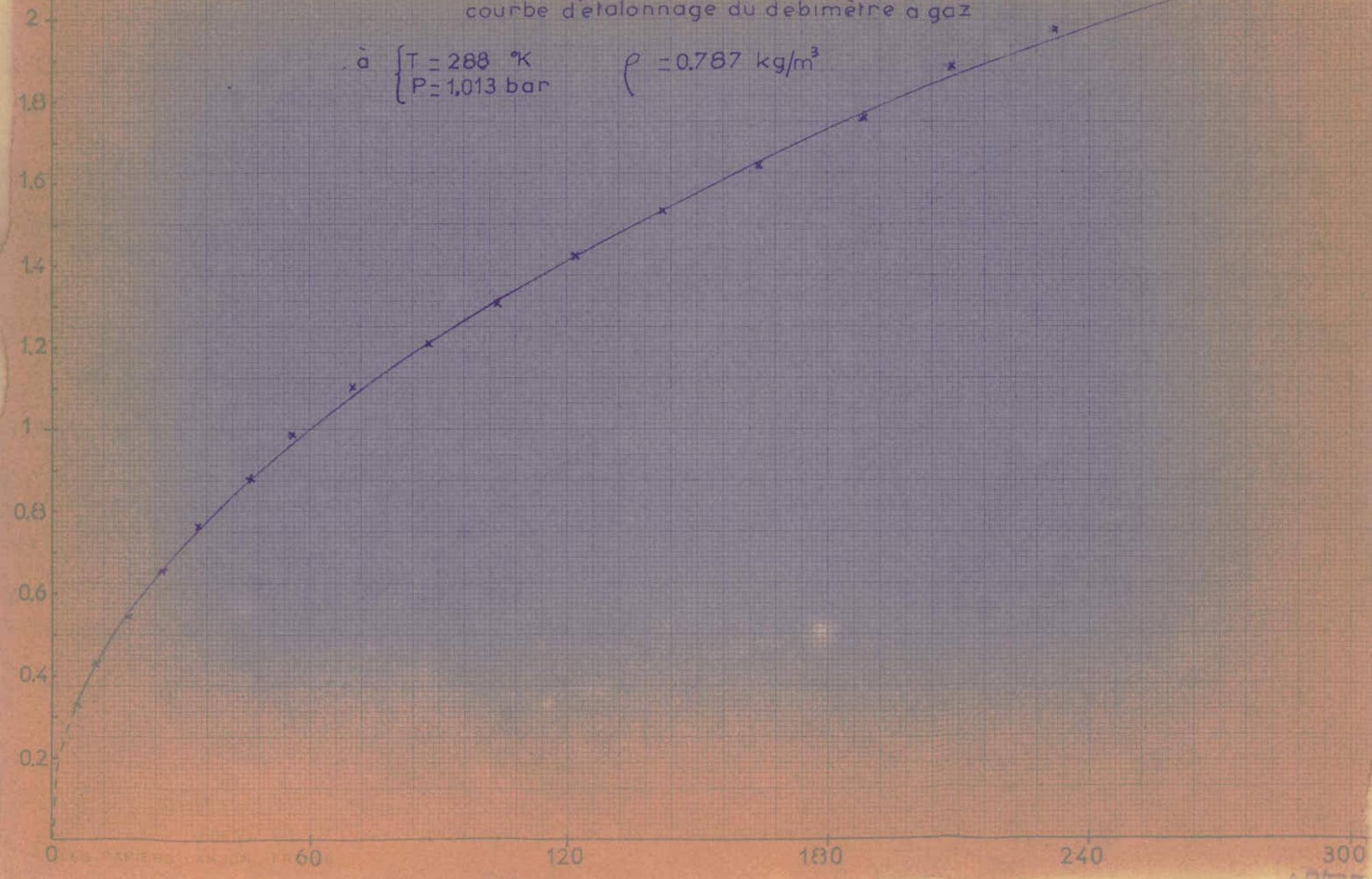
$\Delta P$ (mmce) lu sur débitmètre à gaz (à étalonner)	$\dot{m}_{lu}$ (g/s) débit lu sur rotamètre (étalonné à 20 °C 2,5 b pour CH <sub>4</sub> )	$\dot{m}_{réel}$ (g/s) débit réel de GN à 14 °C 2,5 bars $\dot{m}_{réel} = \dot{m}_{lu} \sqrt{\frac{P_{réel}}{P_{lu}}}$	$\dot{m}_{réel}$ (g/s) débit réel de GN à 14 °C 755,5 mmhg (donnant $\Delta P$ )	$\dot{m}_{réel}$ (g/s) débit réel de GN à 15 760 mmhg (étalon standard)
6	0.3	0.33	0.33	0.333
10	0.4	0.43	0.43	0.434
18	0.5	0.54	0.54	0.545
26	0.6	0.65	0.65	0.656
34	0.7	0.76	0.76	0.767
46	0.8	0.87	0.87	0.878
56	0.9	0.98	0.98	0.989
70	1	1.09	1.09	1.1
88	1.1	1.2	1.2	1.211
104	1.2	1.3	1.3	1.312
122	1.3	1.41	1.41	1.424
142	1.4	1.52	1.52	1.535
164	1.5	1.63	1.63	1.646
188	1.6	1.74	1.74	1.757
208	1.7	1.85	1.85	1.868
232	1.8	1.96	1.96	1.979
270	1.9	2.07	2.07	2.09
298	2	2.17	2.17	2.19

$\Delta q_g (g/s)$

courbe d'étalonnage du débitmètre à gaz

à  $\begin{cases} T = 288 \text{ } ^\circ\text{K} \\ P = 1,013 \text{ bar} \end{cases}$

$\rho = 0,787 \text{ kg/m}^3$



d) Rendement global ou effectif :

Pratiquement, le rendement global d'un moteur est donné par l'expression :

$$\eta_g = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s P c_i}$$

$C_s$  = consommation spécifique.

$P c_i$  = pouvoir calorifique du combustible en kcal/kg

Mesure du débit d'air :

Le débit massique d'air aspiré par le moteur est calculé par la formule :

$$\dot{m}_a = 1232 \cdot 10^8 \phi^2 \sqrt{\frac{\Delta t_a \cdot p_a}{T_a}}$$

conditions de essai et caracteristiques

essai du 26.4.78

regime 11

tableau 1a<sub>g</sub>

- carburant: essence super  $\left\{ \begin{array}{l} f = 0,745 \\ P_{ci} = 10600 \text{ kcal/kg} \end{array} \right.$
- gicleurs  $\left\{ \begin{array}{l} \text{essence } 145 \\ \text{air } 40 \end{array} \right.$

- $P_{atm} = 754 \text{ mm Hg}$
- $t_{amb} = 19^\circ\text{C}$

- $\phi_{\text{orifice air}} = 44 \text{ mm}$
- $\Delta H_e = 60\% \left\{ \begin{array}{l} t_{th} = 14^\circ\text{C} \\ t_{t2} = 18,5^\circ\text{C} \end{array} \right.$

N (tr/min)	F (kgf)	$\Delta t_c$ (s)	$\dot{q}_c$ (g/s)	$t_{ae}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_{se}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta P_a$ (cm ce)	$\dot{q}_a$ (g/s)	$t_{g2}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_b$ ( $^\circ\text{C}$ )	$R_p$ (kg/cm)	$\Delta t_e$ (s)	$q_v$ (l/s)
6000	7,9	19	3,92	67	80	11,5	47,44	765	55	4	15	0,6
5500	9,35	19,25	3,87	57	67	11	46,4	725	70	3,4	19	0,52
5000	9,45	21	3,54	64	77	10,3	44,91	740	55	3,4	21	0,47
4500	10,3	22	3,38	70	83	8,9	41,74	730	85	3	24	0,41
4000	11	24	3,10	75	90	7,5	38,32	720	95	3	26	0,38
3500	11,7	26,5	2,81	75	91	6,4	35,4	710	95	2,7	27	0,39
3000	12,45	31,5	2,36	75	92	4,7	30,33	700	90	2,6	28,5	0,35
2500	12,9	39	1,91	73	91	3,5	26,18	680	88	2,4	32	0,31
2000	11,7	57	1,3	69	88	2,4	21,68	635	83	2,3	38	0,26
1500	11,8	72	1,03	64	84	1,6	17,7	570	80	2,3	48	0,21
1200	12,1	83	0,9	61	84	1	13,99	520	76	2,2	65	0,15

essence régime 1.

tableau de

N (tr/min)	$C = 0,716 \cdot F$ (kgm)	$P_{\text{eff}} = \frac{F \cdot N}{1000}$ (cv)	$C_s = \frac{3600 \dot{q}_c}{P_{\text{eff}}}$ (g/cvh)	$\eta = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s P_{\text{ci}}}$
6000	5,65	47,4	297,8	0,201
5500	6,69	51,42	270,9	0,221
5000	6,76	47,25	270,3	0,222
4500	7,37	46,35	263	0,227
4000	7,87	44	254	0,236
3500	8,37	40,95	247,1	0,242
3000	8,91	37,35	228	0,263
2500	9,23	32,25	213,3	0,28
2000	8,36	23,4	201,1	0,298
1500	8,44	17,7	210,5	0,284
1000	8,66	14,52	222,5	0,269

conditions d'essai et caractéristiques

essai du 30.4.78

regime 9

tableau 1ag

- carburant G.N.  $\left\{ \begin{array}{l} P_0 = 0,93 \text{ à } 293^\circ\text{K } 1,013 \text{ b} \\ P_{ci} = 10888 \text{ kcal/kg.} \end{array} \right.$
- gicleurs  $\left\{ \begin{array}{l} \text{gazole } 57 \\ \text{air } 40 \end{array} \right.$

•  $P_{atm} = 751 \text{ mm Hg.}$

•  $t_{amb} = 19^\circ\text{C.}$

•  $\Phi_{orifice \text{ air}} = 44 \text{ mm}$   
 •  $\Delta H_c = 70\% \left\{ \begin{array}{l} t_{sh} = 15,5^\circ\text{C} \\ t_{ti} = 18,5^\circ\text{C} \end{array} \right.$

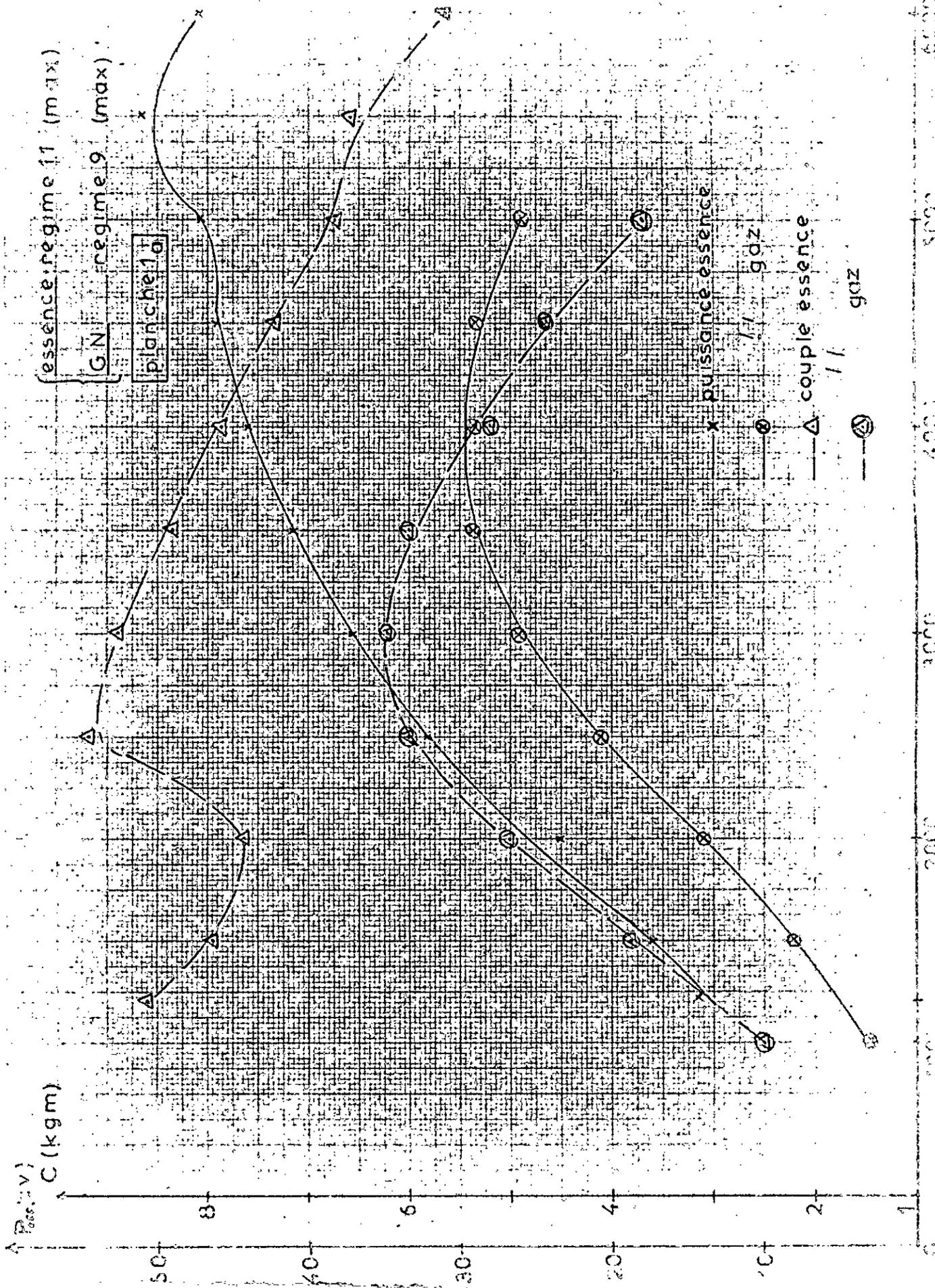
N (tr/mm)	F (kgf)	$\Delta P_g$ (mmce)	$q_c$ (g/s)	$t_{sc}$ (°C)	$t_{se}$ (°C)	$\Delta P_e$ (cmce)	$q_a$ (g/s)	$t_{g_0}$ (°C)	$t_n$ (°C)	$P_n$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t_e$ (s)	$q_v$ (l/s)
5000	5,2	+165 -164	2,17	55	65	8,8	41,42	670	68	3,8	15	0,66
4500	6,5	+140 -138	2,07	58	68	7,4	37,77	660	78	3,6	17	0,59
4000	7,25	+121 -119	1,95	60	72	6,4	35,53	640	82	3,5	19	0,52
3500	8,35	+107 -105	1,85	61	73	5,3	32,15	630	84	3,5	20	0,5
3000	8,75	+85 -83	1,65	63	75	4,2	28,62	620	85	3,5	23	0,4
2500	8,35	+55 -53	1,32	58	72	3,2	24,98	570	84	3,4	26	0,38
2000	7,1	+20 -17	0,96	57	71	2,4	22,07	560	76	3,3	34	0,29
1500	5,3	+18 -16	0,74	50	65	1,4	16,52	480	70	3,6	38	0,26
1000	3,5	+9 -7	0,51	45	74	0,6	10,82	460	67	2,8	50	0,2

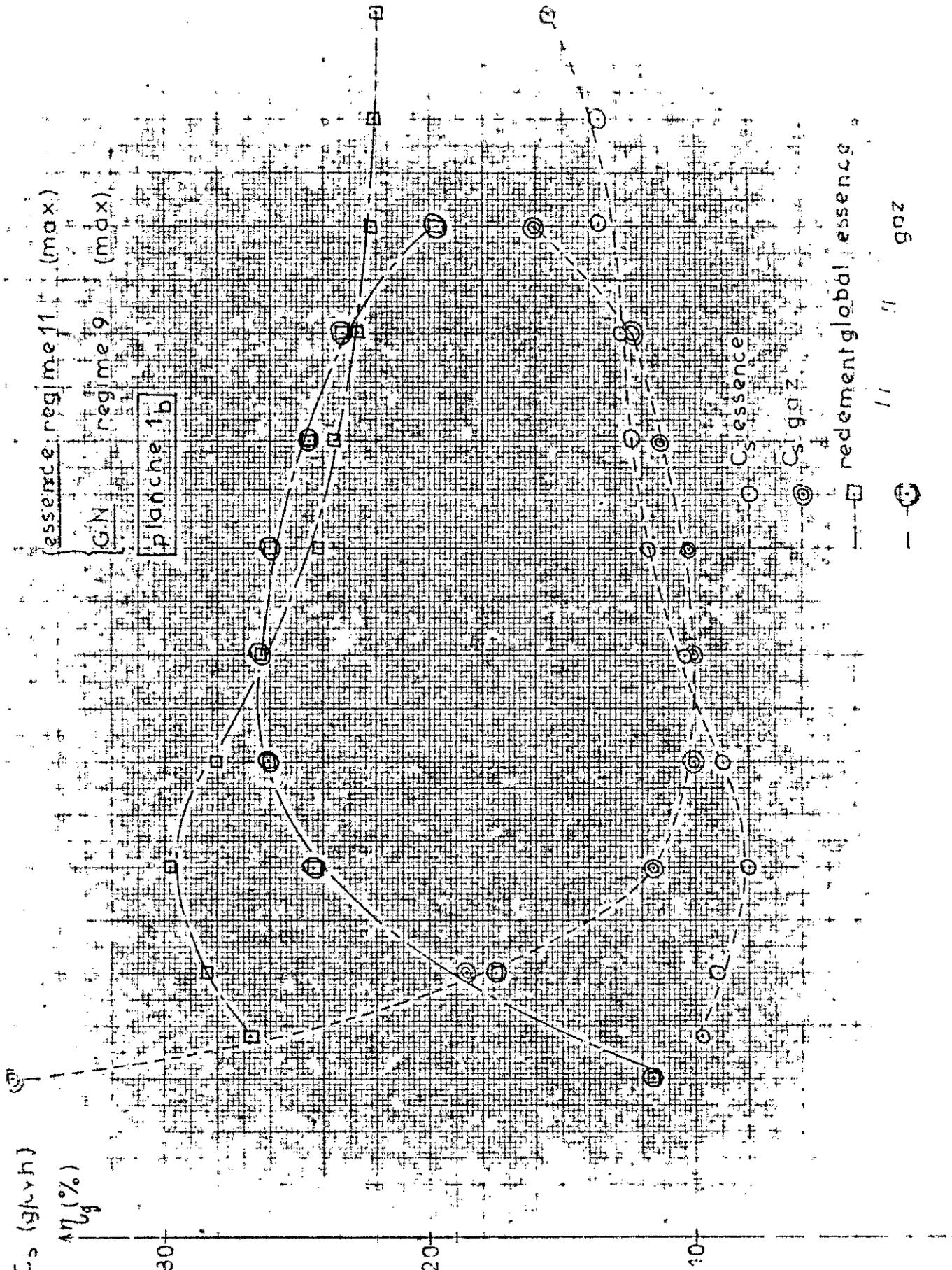
G.N

regime 9 (max)

tableau 1<sub>bg</sub>

N (tr/mn)	$C = 0,716 \cdot F$ (kgm)	$P = \frac{F \cdot N}{1000}$ (cv)	$C_s = \frac{3600q_c}{P}$ (g/cv h)	$\eta_g = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s P c_i}$
5000	3,72	26	300,46	0,197
4500	4,65	29,25	254,77	0,233
4000	5,19	29	242,06	0,245
3500	5,97	29,22	227,88	0,26
3000	6,26	26,25	226,02	0,263
2500	5,98	20,87	227,70	0,261
2000	5,08	14,2	243,38	0,244
1500	3,79	7,95	335	0,177
1000	2,5	3,5	524,57	0,113





essence regime 11 (max)

G.N. regime 9 (max)

planche 1b

Cs essence

Cs gaz

redement global essence

gaz

$C_s$  (g/lyh)

$\eta_g$  (%)

30

20

10

40

30

20

0

conditions d'essai et caractéristiques:

essai du 26.4.78

regime 9

tableau 2a

• carburant: essence super  $\left\{ \begin{array}{l} P = 9,745 \\ P_{ci} = 10600 \text{ kcal/kg} \end{array} \right.$   
 • gicleurs:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{essence } 145 \\ \text{air } 40 \end{array} \right.$

•  $P_{atm} = 754 \text{ mmHg}$

•  $t_{comb} = 19^\circ\text{C}$

•  $\Phi_{\text{orifice-air}} = 44 \text{ mm}$

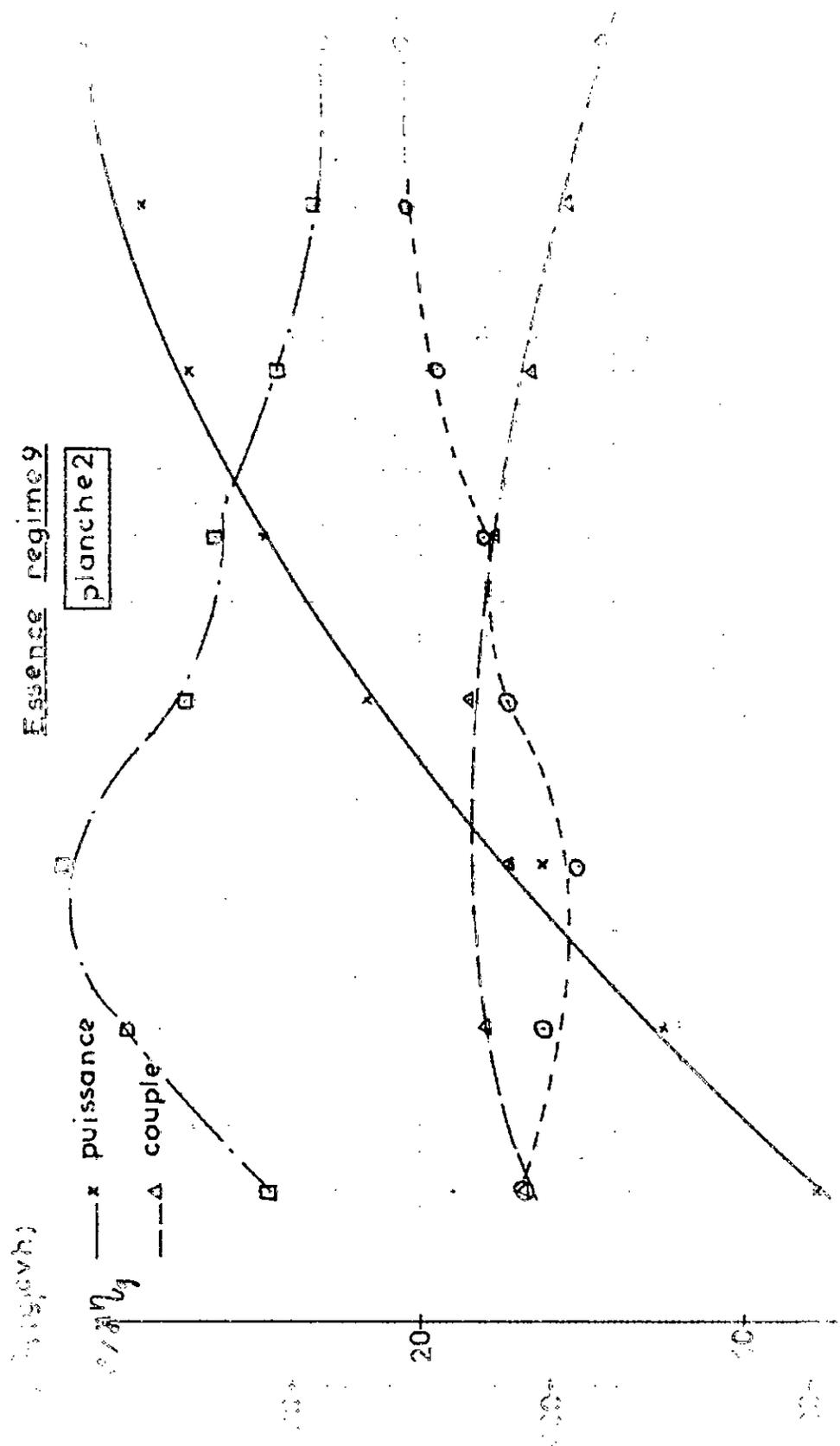
•  $\Delta H_e = 60\%$   $\left\{ \begin{array}{l} t_{th} = 14^\circ\text{C} \\ t_{ct} = 18,5^\circ\text{C} \end{array} \right.$

N (r/min)	F (kgf)	$\Delta t_e$ (s)	$\dot{q}_e$ (g/s)	$t_{ce}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_{se}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta P_e$ (cm ce)	$\dot{q}_e$ (g/s)	$t_{g,e}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_h$ ( $^\circ\text{C}$ )	$P_h$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t_e$ (s)	$q_v$ (l/s)
5000	8,8	21	3,55	65	80	9,6	43,35	700	80	3,8	20	0,5
4500	10,15	23	3,24	73	89	8	39,58	720	94	3,2	21	0,47
4000	10,75	24,5	3,04	75	94	7	37,02	710	98	3	25,5	0,39
3500	11,65	27	2,76	77	96	5,9	34	700	100	2,8	27	0,37
3000	12,4	32	2,33	77	97	4,5	29	690	98	2,5	29	0,35
2500	12,95	38	1,96	75	97	3,4	25,8	680	96	2,4	36	0,28
2000	12,15	57,5	1,29	72	94	2,4	21,68	620	90	2,3	47	0,22
1500	12,5	70	1,06	67	92	1,5	17,14	570	87	2,1	64	0,16
1000	11,75	96	0,78	60	90	0,9	11,7	500	81	1,6	80	0,13

essence regime 9

tableau 2b

N (tr/min)	$C = 0.716.F$ (kgm)	$\frac{P_{eff}}{1000}$ (cv)	$C_s = \frac{3600 \cdot q_c}{P_{eff}}$ (g/cv.h)	$\eta_g = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s \cdot P_i}$
5000	6,3	44	290,5	0,205
4500	7,27	45,7	255,23	0,234
4000	7,70	43	254,5	0,234
3500	8,34	40,78	243,65	0,245
3000	8,98	37,2	225,5	0,264
2500	9,27	32,4	217,5	0,274
2000	8,6	24,3	191,4	0,312
1500	8,95	18,75	203,52	0,293
1000	8,41	11,75	239	0,249



Essence regime 9

conditions de essai et caracteristiques

essai du 7.5.78

regime 8

tableau 3a

Carburant : G.N  $\left\{ \begin{array}{l} P_0 = 0,83 \text{ a } 0^\circ\text{C } 760\text{mm Hg} \\ P_{ci} = 10688 \text{ kcal/kg} \end{array} \right.$

gicleurs  $\left\{ \begin{array}{l} \text{gaz: } 57 \\ \text{air: } 40 \end{array} \right.$

$P_{atm} = 759 \text{ mm Hg}$

$\phi_{\text{orifice air}} = 44 \text{ mm}$

$T_{amb} = 17^\circ\text{C}$

F (kg.F)	$\Delta P_g$ (mmce)	$\dot{q}_c$ (g/s)	$t_{ce}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_{se}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta P_{air}$ (cmce)	$\dot{q}_{air}$ (g/s)	$t_{ge}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_h$ ( $^\circ\text{C}$ )	$P_h$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t_e$ (s)	$q_v$ (l/s)
5,2	+166 -164	2,27	52	60	7,8	39,34	660	54	3,9	14	0,71
6,65	+144 -142	2,11	60	70	6,8	36,73	650	58	3,6	15	0,66
7,3	+124 -122	1,96	62	72	5,8	33,93	640	74	3,5	18	0,55
8,2	+116 -114	1,91	63	73	4,8	30,86	630	76	3,6	20	0,50
8,85	+82 -80	1,62	63	76	3,8	27,46	615	78	3,5	23	0,43
8,05	+56 -54	1,32	60	74	2,9	23,99	590	76	3,4	26	0,38
5,5	+27 -24	0,92	59	72	2,1	20,41	530	75	3,5	36	0,27
7,8	+20 -18	0,76	55	70	1,3	16,06	500	73	3,4	48	0,20
6	+10 -8	0,54	52	72	0,6	10,91	450	70	2,6	73	0,13

G.N

regime 8

tableau 3<sub>b</sub>

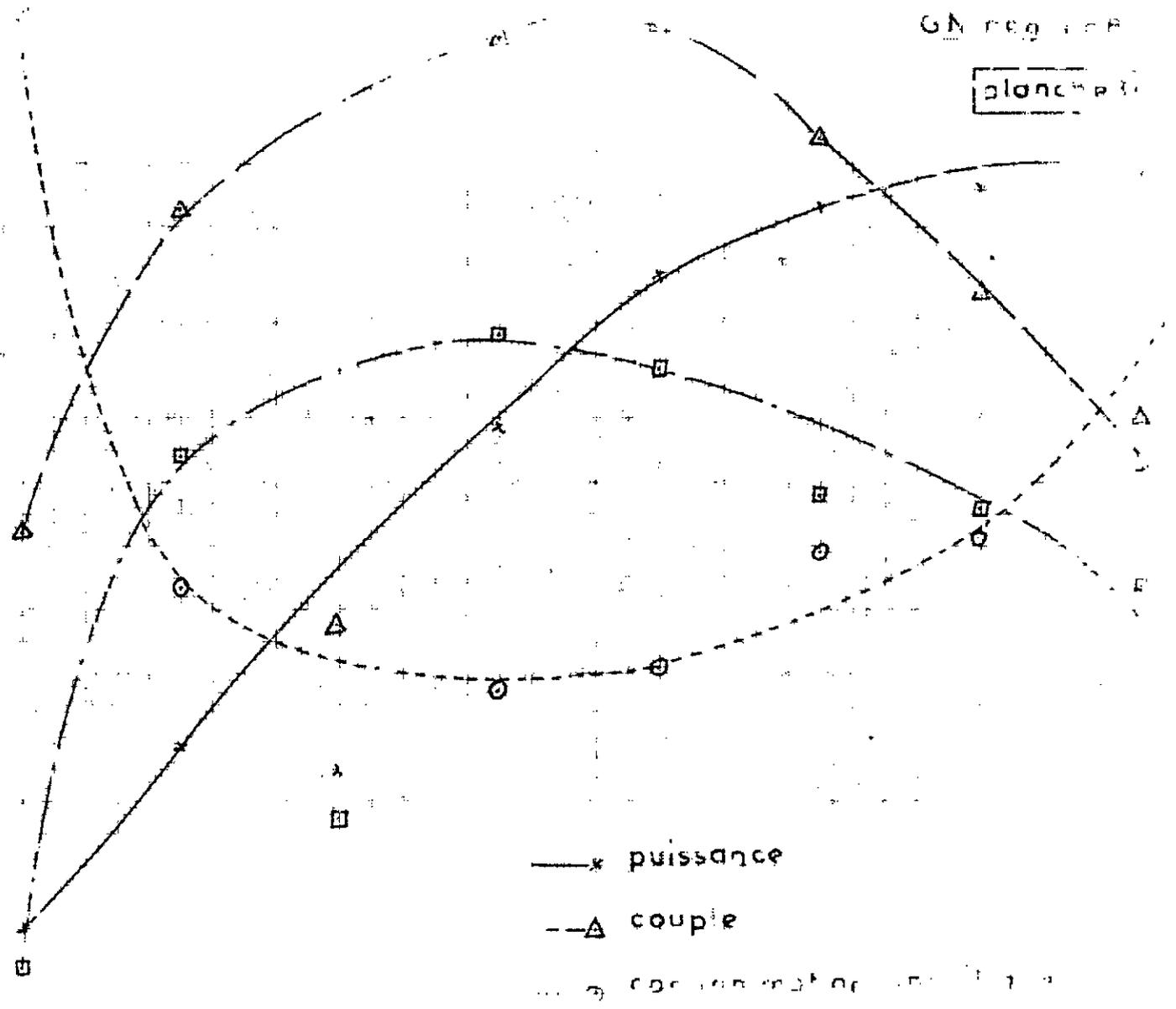
N (tr/mn)	$C = 0,716 \cdot F$ (kg.m)	$P = \frac{F \cdot N}{1000}$ (CV)	$C_s = \frac{3600 \dot{q}_c}{P}$ (g/cv.h)	$\eta_g = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s P c_i}$
5000	3,72	26	314,30	0,189
4500	4,76	29,92	253,87	0,234
4000	5,23	29,20	241,64	0,241
3500	5,87	28,7	239,58	0,248
3000	6,33	26,55	221,01	0,268
2500	6,26	21,87	217,28	0,273
2000	3,94	11	301,09	0,197
1500	5,58	11,7	233,84	0,254
1000	4,30	6	324	0,174

GN reg. 108

planchette

$\eta$  (%)

30  
25  
20



conditions de essai et caractéristiques

essai du 27.4.78 regime 7

tableau 4a

Carburant: essence super  
 gicleurs { essence 145  
 air 40

$P_{atm} = 755 \text{ mm Hg}$   
 $t_{amb} = 20^\circ\text{C}$   
 $\Phi_{orifice \text{ air}} = 4-4 \text{ mm}$   
 $\Delta H_c = 60\%$   
 $t_{th} = 15,5^\circ\text{C}$   
 $t_h = 20^\circ\text{C}$

N (tr/min)	F (kgf)	$\Delta t_c$ (s)	$q_d$ (g/s)	$t_{bo}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_{bc}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta P_c$ (cmce)	$q_e$ (g/s)	$t_{gc}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_h$ ( $^\circ\text{C}$ )	$P_h$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t_c$ (s)	$q_v$ (l/s)
5000	5,7	25	3	50	60	6,3	35,08	660	50	4,6	15	0,67
4500	7,1	25,5	2,92	63	74	5,8	33,67	680	63	4	18	0,56
4000	9,1	27	2,76	68	80	5	31,26	670	80	3,5	20	0,5
3500	10,2	30	2,48	70	84	4,5	29,65	660	86	3,4	22	0,45
3000	10,6	32	2,33	54	66	4	27,95	620	62	3,9	28	0,36
2500	11,9	39	1,91	60	75	2,9	23,8	610	67	3,7	30	0,33
2000	12,1	56	1,33	64	80	2,1	20,25	600	72	3,6	33	0,30
1500	12,65	68	1,1	62	82	1,2	15,31	560	73	3,2	59	0,17
1000	11,5	97	0,77	58	83	0,7	11,7	500	72	2,4	76	0,13

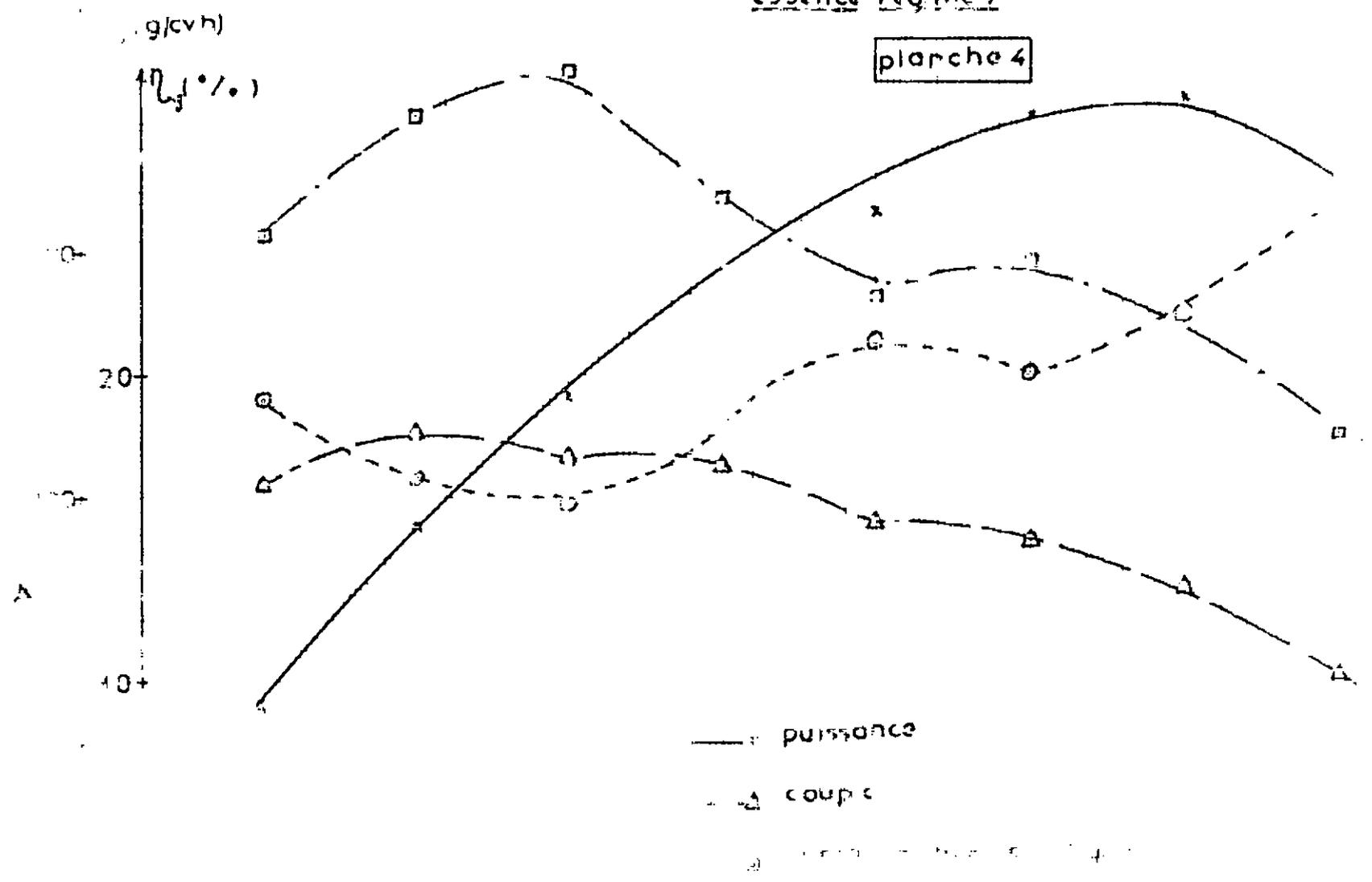
essence regime 7

tableau 4b

N (tr/mn)	$C = 0,716 \cdot F$ (kgm)	$P = \frac{F \cdot N}{1000}$ (cv)	$C_s = \frac{3600 \cdot q_s}{P_m}$ (g/kvh)	$\eta_g = \frac{63510^3}{C_s P_{ci}}$
5000	4,08	28,5	379	0,157
4500	5,08	31,95	329	0,182
4000	6,52	36,4	273	0,219
3500	7,30	35,7	250	0,239
3000	7,60	31,8	263,78	0,226
2500	8,52	29,75	231,13	0,259
2000	8,66	24,2	197,9	0,302
1500	9,06	18,98	208,64	0,285
1000	8,23	11,5	241	0,247

essence reg. me 7

planche 4



conditions d'essai et caractéristiques

essai du 30.4.78

regime 7

tableau 5a

- carburant: GN  $\left\{ \begin{array}{l} P_c = 9,83 \text{ à } 273^\circ\text{K}, 1,013\text{b} \\ P_{ci} = 10688 \text{ kcal/kg} \end{array} \right.$
- gicleurs  $\left\{ \begin{array}{l} \text{gaz } 57 \\ \text{air } 40 \end{array} \right.$

- $P_{atm.} = 751 \text{ mm Hg}$
- $t_{amb.} = 19^\circ\text{C}$

- $\phi_{\text{orifice air}} = 4,4 \text{ mm}$
- $\Delta H_e = 70\% \left\{ \begin{array}{l} t_{th} = 15,5^\circ\text{C} \\ t_{ts} = 18,5^\circ\text{C} \end{array} \right.$

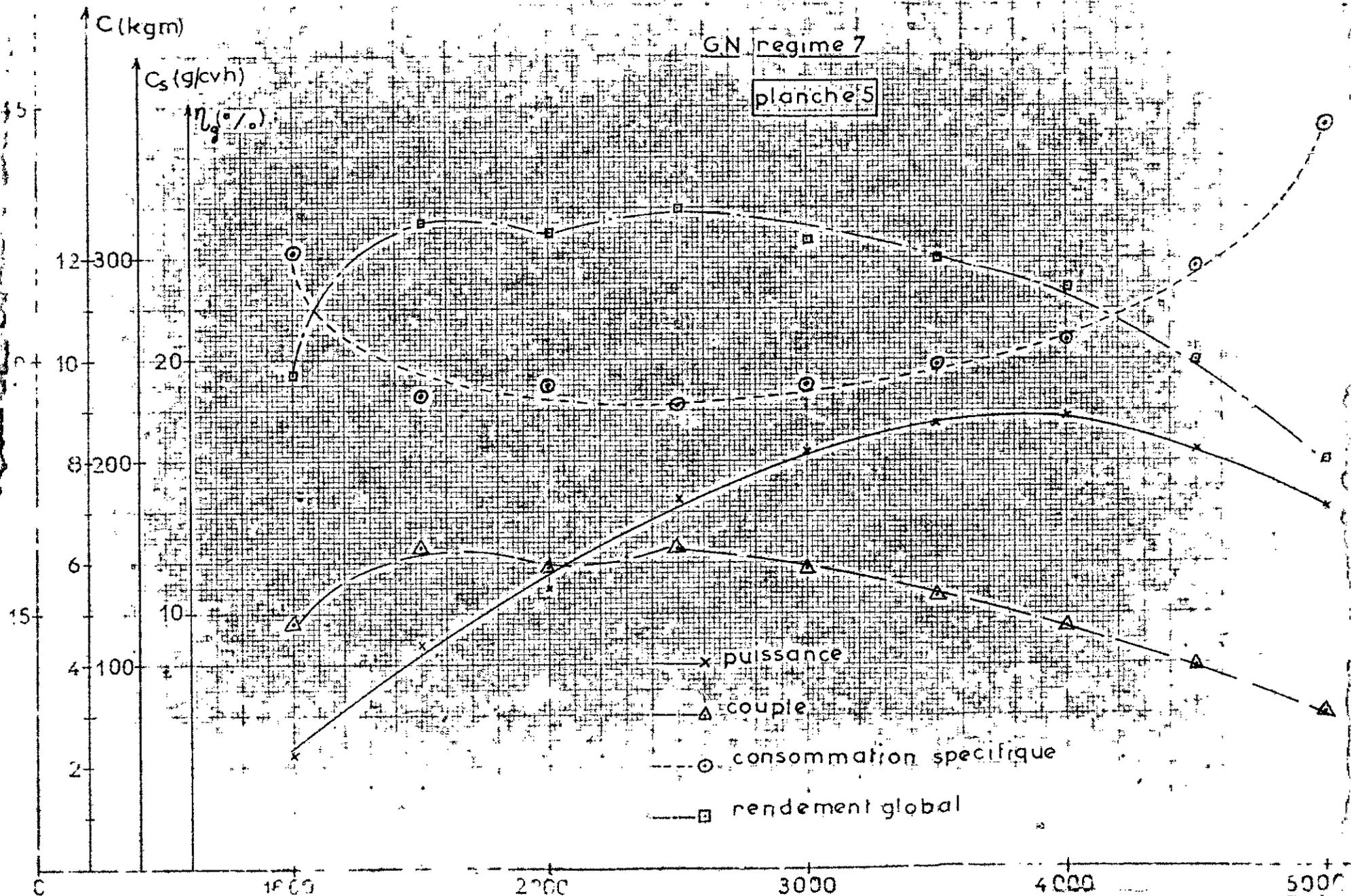
N (tr/mn)	F (kgf)	$\Delta P_g$ (mm ce)	$\dot{q}_c$ (g/s)	$t_{ce}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_{se}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta P_e$ (cm ce)	$\dot{q}_a$ (g/s)	$t_{go}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_h$ ( $^\circ\text{C}$ )	$P_h$ (kg/cm)	$\Delta t_e$ (s)	$q_v$ (l/s)
5000	4,25	+150 -148	2,16	50	60	6,1	34,5	640	63	4,2	14	0,71
4500	5,5	+132 -130	2,04	53	63	5,5	32,75	630	70	3,9	15	0,66
4000	6,65	+115 -113	1,91	60	70	4,8	30,6	620	68	3,6	18	0,56
3500	7,5	+99 -97	1,79	60	72	4,1	28,28	620	80	3,6	21	0,48
3000	8,2	+83 -81	1,63	60	73	3,3	25,4	620	81	3,5	23	0,43
2500	8,8	+61 -59	1,39	60	75	2,5	22,08	610	79	3,4	29	0,34
2000	8,25	+34 -34	1,09	59	74	1,9	19,25	560	76	3,4	32	0,31
1500	8,8	+23 -21	0,85	57	74	1,2	15,3	530	73	3,2	56	0,18
1000	6,75	+11 -9	0,57	54	74	0,6	10,8	480	70	2,6	90	0,11

G.N regime: 7

tab. 005<sub>b</sub>

N (tr/min)	$C = 0,716 \cdot F$ (kgm)	$P_{ss} = \frac{F \cdot N}{1000}$ (cv)	$C_s = \frac{3600 \cdot \dot{q}_c}{P_{ss}}$ (g/cvh)	$\eta_{lg} = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s \cdot P_{ci}}$
5000	3,04	21,25	365,93	0,1616
4500	3,94	24,75	296,15	0,1997
4000	4,76	26,6	258,8	0,2285
3500	5,37	26,25	245,35	0,241
3000	5,87	24,6	238,54	0,2479
2500	6,3	22	227,45	0,2599
2000	5,9	16,5	236,95	0,2496
1500	6,3	13,2	231,82	0,255
1000	4,83	6,75	302,4	0,1955

$P_{err}(C)$



conditions d'essai et caractéristiques

- carburant: G.N  $\left\{ \begin{array}{l} \rho = 0,83 \text{ à } 273^{\circ}\text{K} \text{ } 1,013 \text{ bar} \\ P_c = 10688 \text{ kcal/kg} \end{array} \right.$
- gicleurs  $\left\{ \begin{array}{l} \text{g} 57 \\ \text{air } 40 \end{array} \right.$

essai du 7\_5\_73

- $P_{atm} = 759 \text{ mm Hg}$
- $t_{amb} = 17^{\circ}\text{C}$

regime 6

tableau 6<sub>a</sub>

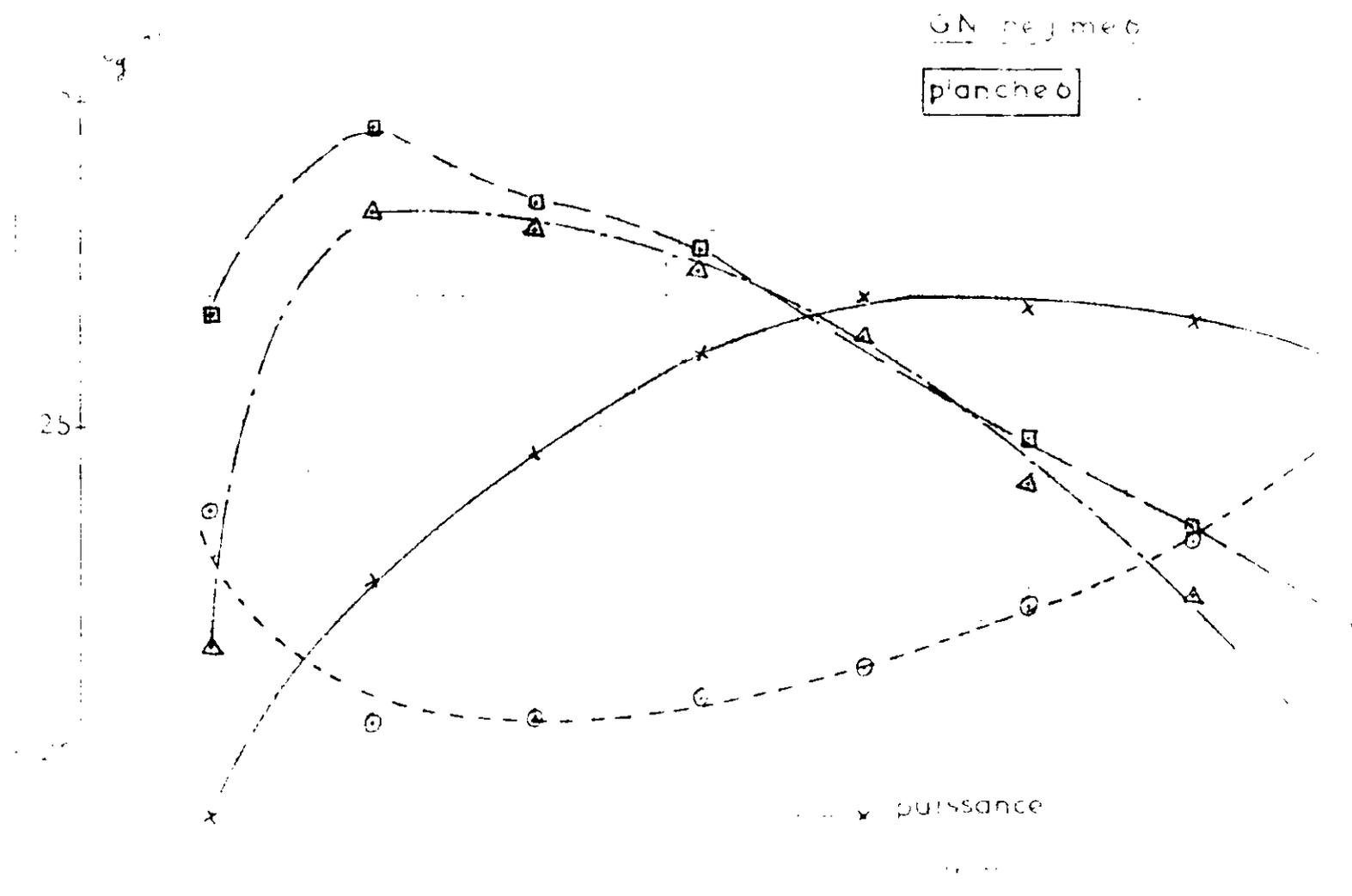
- $\Phi_{\text{orifice air}} = 44 \text{ mm}$
- $\Delta H_e = 62\%$   $\left\{ \begin{array}{l} t_{ta} = 13^{\circ}\text{C} \\ t_{tr} = 17^{\circ}\text{C} \end{array} \right.$

N (tr/min)	F (kgf)	$\Delta P_g$ (mmce)	$\dot{q}_c$ (g/s)	$t_{su}$ (°C)	$t_{re}$ (°C)	$\Delta P_a$ (cmce)	$\dot{q}_a$ (g/s)	$t_{ge}$ (°C)	$t_n$ (°C)	$R_n$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t_e$ (s)	$\dot{q}_v$ (l/s)
5000	3,5	+115 -113	1,90	63	54	4,3	29,21	630	67	4	15	0,66
4500	4,85	+105 -103	1,84	68	58	4	28,13	630	76	3,7	17	0,58
4000	5,9	+95 -93	1,74	71	61	3,6	26,73	620	78	3,5	19	0,52
3500	6,85	+85 -83	1,64	74	63	3,2	25,20	600	84	3,5	22	0,45
3000	8	+73 -71	1,50	76	63	2,7	23,15	600	86	3,4	24	0,41
2500	8,90	+57 -55	1,34	77	63	2,2	20,89	580	83	3,4	30	0,33
2000	9,6	+40 -38	1,13	77	62	1,6	17,82	550	82	3,4	32	0,31
1500	10,2	+26 -24	0,89	78	60	1	14,08	540	80	2,8	46	0,21
1000	8	+12 -10	0,69	78	58	0,5	9,96	480	76	2,2	71	0,14

G.N regime 6

tableau 6<sub>b</sub>

N (tr/min)	$C = 0,716 \cdot F$ (kg.m)	$P_{\text{eff}} = \frac{F \cdot N}{1000}$ (CV)	$C_s = \frac{3600 \cdot q_c}{P_{\text{eff}}}$ (g/cv.h)	$\eta_g = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s \cdot P_i}$
5000	2,50	17,50	390,85	0,152
4500	3,47	21,82	303,57	0,195
4000	4,22	23,60	265,42	0,224
3500	4,90	23,97	245,30	0,241
3000	5,73	24	225	0,264
2500	6,37	22,25	216,80	0,274
2000	6,73	19,20	211,87	0,280
1500	7,30	15,30	209,41	0,283
1000	5,73	8	274,50	0,216



conditions d'essai et caractéristiques

essai du 27.4.78

regime 5

tableau 7a

• carburant : essence Super  $\left\{ \begin{array}{l} \rho = 0,745 \text{ kg/dm}^3 \\ P_{ci} = 10600 \text{ kcal/kg} \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} P_{atm} = 755 \text{ mm Hg} \\ T_{amb} = 20^\circ\text{C} \end{array} \right.$

•  $\Phi_{\text{orifice air}} = 4,4 \text{ mm}$

• gicleurs  $\left\{ \begin{array}{l} \text{essence : 445} \\ \text{air : 40} \end{array} \right.$

N (r/min)	F (kgf)	$\Delta t_c$ (s)	$q_c$ (g/s)	$t_{ec}$ (°C)	$t_{ce}$ (°C)	$\Delta P_c$ (cm ce)	$q_a$ (g/s)	$t_{ge}$ (°C)	$t_e$ (°C)	$P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta t_e$ (s)	$q_v$ (l/s)
2000	2	40	1,86	48	58	2,2	20,73	640	66	3,3	15	0,66
2500	3,4	44	1,59	60	70	2,1	20,25	620	80	3,7	17	0,58
3000	4,75	43,5	1,71	64	75	2	19,77	620	90	3,4	20	0,50
3500	5,9	46	1,62	65	77	2	"	615	89	3,4	22	0,45
4000	7,25	48	1,55	66	80	1,9	19,26	610	88	3,4	25	0,40
4500	8,65	53	1,40	64	81	1,7	18,83	600	85	3,3	30	0,33
5000	9,8	58	1,28	62	82	1,4	16,65	580	83	3,2	37	0,27
5500	11,1	72	1,03	57	84	1	13,98	540	78	2,7	45	0,22
6000	11	100	0,74	50	83	0,5	9,88	480	75	2,4	60	0,12

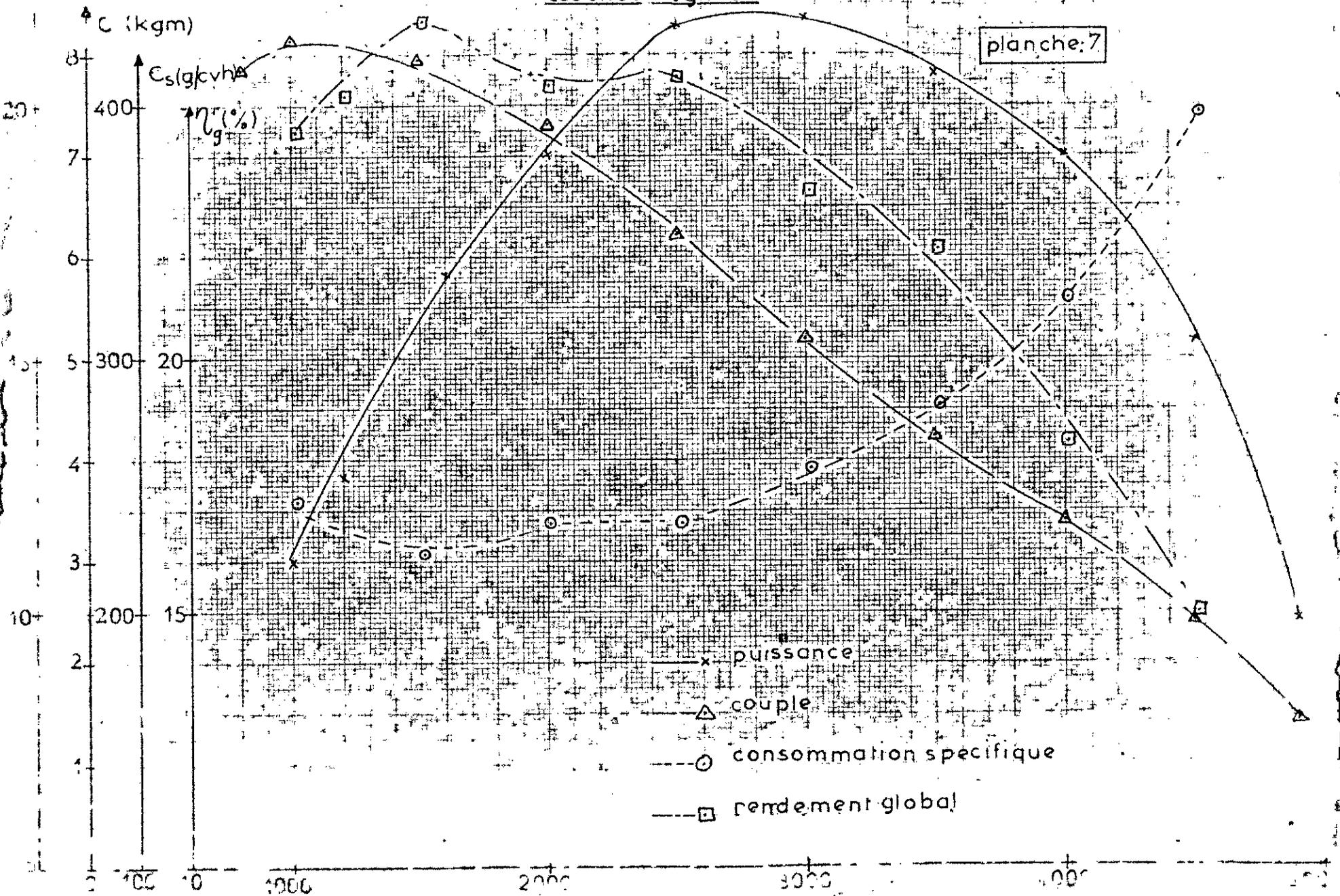
essence regime 5

tableau 7<sub>b</sub>

N (tr/mn)	$C = 0,716.F$ (Kg.m)	$P_{eff} = \frac{F.N}{1000}$ (cv)	$C_s = \frac{3600 \cdot q_c}{P_{eff}}$ (g/cv.h)	$\eta_g = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s \cdot P_{eff}}$
4900	1,43	9,8	684,18	0,087
4500	2,43	15,3	398,39	0,150
4000	3,40	19	324,50	0,184
3500	4,22	20,65	282,34	0,212
3000	5,19	21,75	256,90	0,223
2500	6,19	21,62	234,06	0,256
2000	7,01	19,6	235,92	0,254
1500	7,95	16,65	223,72	0,267
1000	7,87	11	243,82	0,245

essence regime 5

planche 7



conditions d'essai et caractéristiques

• carburant: G.N  
 • gicleurs  $\begin{cases} \text{gaz } 57 \\ \text{air } 40 \end{cases}$   
 $\left\{ \begin{array}{l} p = 0,83 \text{ à } 293^{\circ}\text{K } 1,013\text{b} \\ P_{ci} = 10688 \text{ kcal/kg} \end{array} \right.$

essais du 2.5.78

•  $P_{atm} = 760 \text{ mm Hg}$   
 •  $t_{amb} = 18^{\circ}\text{C}$

regimes 5 et 3 tableau 8a

•  $\Phi_{\text{orifice air}} = 44 \text{ mm}$   
 •  $\Delta H_e = 68\%$   $\left\{ \begin{array}{l} t_{th} = 13,5^{\circ}\text{C} \\ t_{ti} = 17^{\circ}\text{C} \end{array} \right.$

N (tr/mn)	F (kgf)	$\Delta P_g$ (mmce)	$q_c$ (g/s)	$t_{re}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$t_{sc}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta P_a$ (cmce)	$q_a$ (g/s)	$t_{ge}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$t_h$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$R_h$ (kg/cm)	$\Delta t_e$ (s)	$q_v$ (l/s)
4000	2,7	+60 -58	1,39	53	61	2	19,9	590	46	4,4	16	0,62
3500	4,35	+56 -54	1,34	64	74	1,9	19,4	580	62	4	21	0,48
3000	5,6	+51 -49	1,28	66	76	1,75	18,6	570	66	3,8	23	0,44
2500	6,8	+44 -42	1,19	66	78	1,5	17,2	570	69	3,7	28	0,36
2000	8,15	+35 -33	1,05	65	79	1,2	15,4	550	70	3,6	40	0,25
1500	8,8	+24 -22	0,87	50	67	0,8	12,6	475	66	3,6	56	0,18
1000	8,3	+15 -13	0,68	50	74	0,4	8,9	460	62	3,5	70	0,14

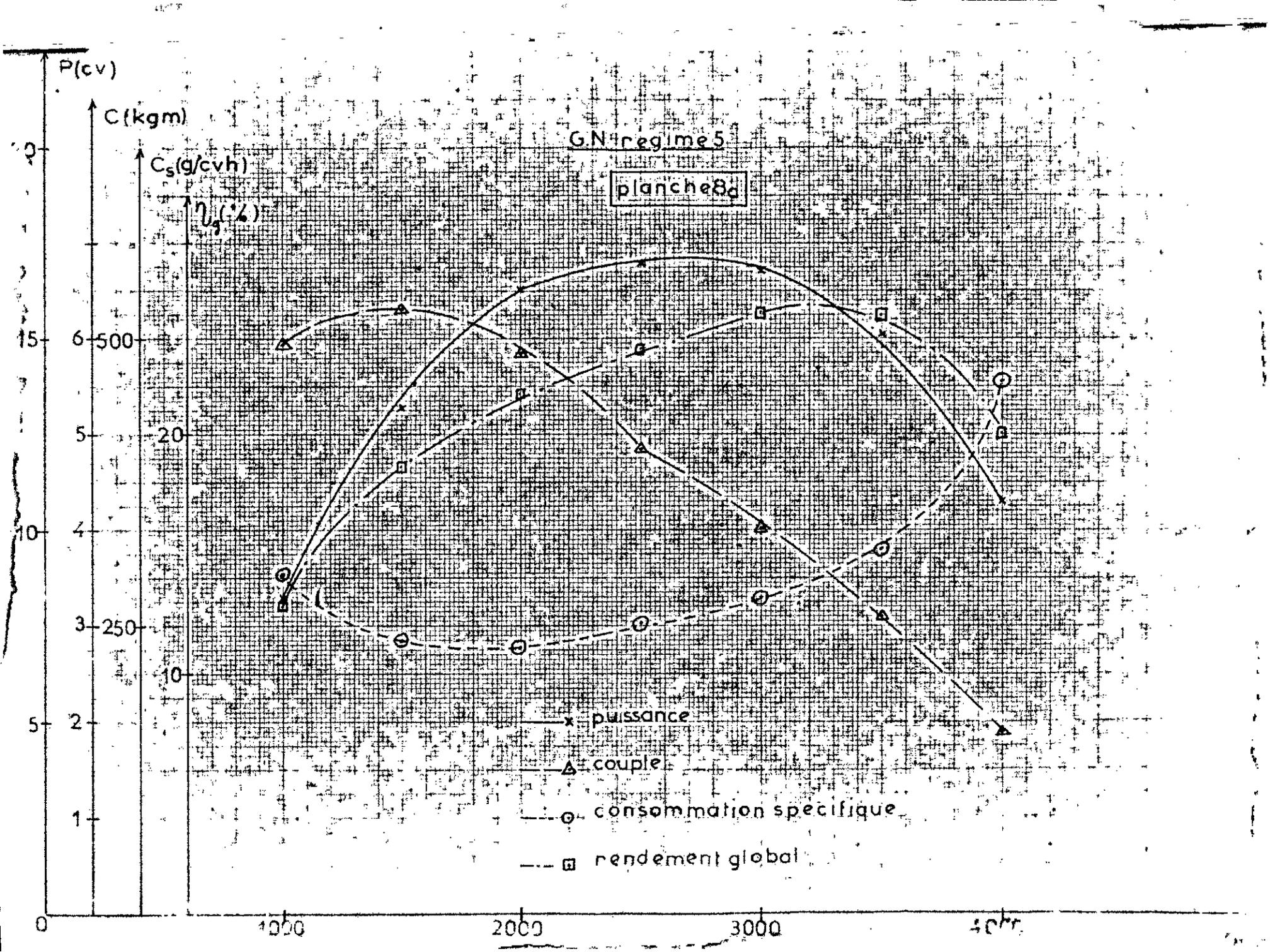
regime 3

2000	0,475	+9 -7	0,52	44	54	0,3	7,7	390	52	4	56	0,18
1800	1,26	+8 -6	0,49	46	56	0,3	7,7	380	53	3,8	70	0,14
1600	2,3	+8 -6	0,49	45	57	0,25	7,04	400	55	3,7	82	0,12
1400	3,15	+8 -6	0,49	45	58	0,25	7,04	390	56	3,6	88	0,11
1200	3,68	+7 -5	0,45	45	60	0,2	6,29	380	61	3,6	93	0,11
1000	4,25	+7 -5	0,45	45	62	0,2	6,29	370	53	3,6	108	0,09

GN regimes Set 3

tableau 8<sub>2</sub>

N (l/mn)	C=0.716.F (kg m)	$P_{sp} = \frac{F.d}{1000}$ (cv)	$C_s = \frac{3600.Q}{P_{sp}}$ (g/cv.h)	$\eta_{01} = \frac{635.10^3}{C_s \cdot P_{ci}}$
4000	4,93	10,8	463,33	0,128
3500	3,11	15,22	316,95	0,197
3000	4	16,3	274,3	0,217
2500	4,87	17	252	0,236
2000	5,84	16,3	231,9	0,256
1500	6,3	13,2	237,27	0,25
1000	5,94	8,3	255	0,201
regime 3				
2000	0,34	0,35	1970,5	0,03
1800	0,9	2,27	749,1	0,076
1600	1,65	3,68	473,3	0,124
1400	2,26	4,41	400	0,148
1200	2,63	4,42	366,5	0,162
1000	3,04	4,25	381,2	0,156



P (cv)

GN regime 3

planche 8b

C (kgm)

$C_s$  (g/cvh)

$\eta_g$  (%)

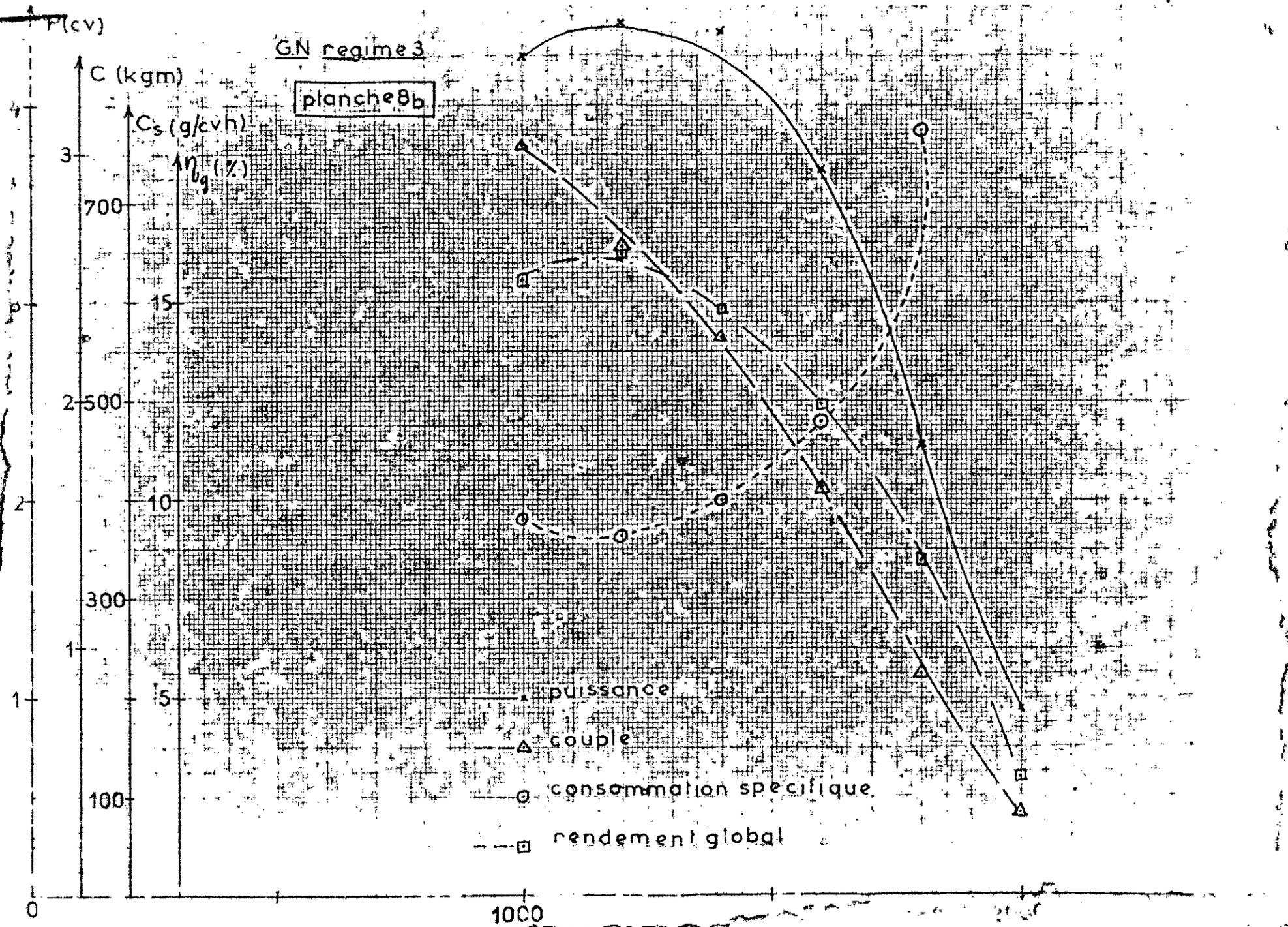
4  
3  
2  
1  
0

700  
500  
300  
100

15  
10  
5

1000

- puissance
- - - Δ - - - couple
- - - ○ - - - consommation spécifique
- - - □ - - - rendement global



### CHAPITRE III

#### COMPARAISON DES PERFORMANCES (a cylindrée égale )

-----

##### 1) Ecart de performances entre fonctionnement essence et gaz

a) Couple: (planche 1a ) LA courbe du couple en fonctionnement au gaz présente:

- Un changement d'allure, par rapport à celle de l'essence, du aux vibrations du moteur à bas regimes.

-Des pertes variables selon la vitesse de rotation

- \*40 % a basses vitesses de rotation (  $1000 \text{ tr/mn} \leq N \leq 2500 \text{ tr/mn}$  )
- \*29 % à vitesses de rotation moyennes (  $2500 \text{ tr/mn} \leq N \leq 4500 \text{ tr/mn}$  )
- \*38 % a grandes vitesses de rotation (  $N > 4500 \text{ tr/mn}$  )

b) Puissance: (planche 1b ) Les courbes gardent approximativement la meme allure. Par rapport à l'essence, les pertes au gaz sont de l'ordre 40 %, 30 %, et 40 % respectivement à basses, moyennes et grandes vitesses de rotation.

##### Interpretation:

§..... On remarque que les pertes de couple et de puissance sont assez importantes; Celles-ci peuvent etre diminuees par:

- \*DES réglages minutieux de l'avance à l'allumage et de la richesse.
- \*Un circuit (kit) de gaz presentant moins de pertes de charges (celui du banc est d'une longueur d'environ 6m )
- \* Un materiel de transformation plus fiable.

.../...

Les plus faibles pertes se situent dans la zone des vitesses de rotation modérées (2500tr/mn à 4000tr/mn).

Ceci est avantageux car:

• Sur des véhicules cette zone correspond à des vitesses linéaires allant de 60 à 100 km/h (plage des vitesses utilisée couramment par les automobilistes).

• Les machines génératrices de courant et les pompes mécaniques tournent à des vitesses de rotation situées dans cette zone.

c) Consommation spécifique (g/cvh) (planche 1b)

À basses et grandes vitesses de rotation, le fonctionnement au gaz présente des augmentations de la consommation spécifiques de 20 et 10%. Par contre, on note un gain de 8% pour des vitesses allant de 2800 à 4500tr/mn.

d) rendement global: (planche 1b)

le rendement global présente des gains de 18 et 11% à basses et grandes vitesses de rotation et une augmentation de 8% pour des vitesses allant de 2800 à 4500tr/mn.

Interpretation:

.....

De la comparaison précédente on peut en tirer deux avantages

1) On opère un gain de consommation et de rendement.

2) Ce gain se fait dans la zone des vitesses la plus utilisée.

-----

II) Comparaison des rendements à performances équivalentes:

Les planches qui suivent montrent qu'à performances équivalentes (puissance, couple pour  $N = 4000 \text{tr/mn}$  et  $N = 3000 \text{tr/mn}$ ), le rendement au gaz est supérieur à celui de l'essence.

Par exemple: pour  $N = 4000 \text{tr/mn}$ ; alimenté à l'essence, le moteur développe une puissance de 25 cv avec un rendement effectif de 20,2 %. Cette même puissance est développée en fonctionnement au gaz avec un rendement effectif de 23,2 %.

Cette différence est due essentiellement aux causes suivantes:

1) L'avance à l'allumage réglée initialement (manuellement) pour la marche au gaz.

2) La combustion du mélange air-gaz est plus complète que celle du mélange air-essence. (comme il a été rappelé en introduction, le gaz permet d'obtenir un mélange homogène plus facilement que l'essence).

3) L'excès d'air autorisé par le fonctionnement au gaz limite les échauffements excessifs qui altèrent généralement les performances du moteur.

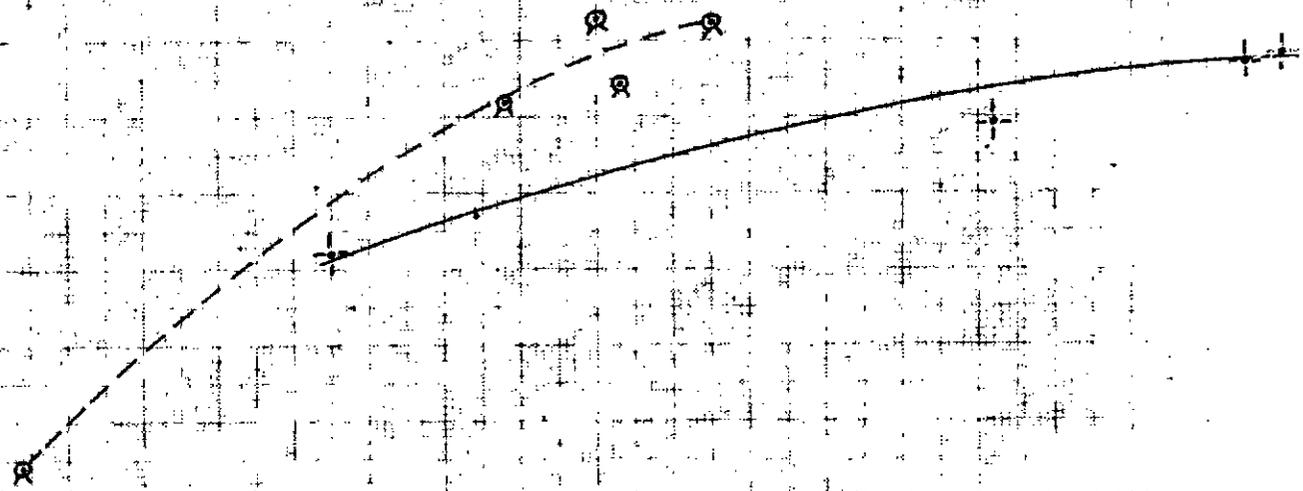
De ceci on en déduit que le degré d'avance à l'allumage (permettant un fonctionnement optimum) diffère pour les deux cas de carburation.

Les variations de cette différence ainsi que ses causes seront précisées ci après.

$N = 4000 \text{ tr/mn}$

---⊗--- gaz

—+— essence

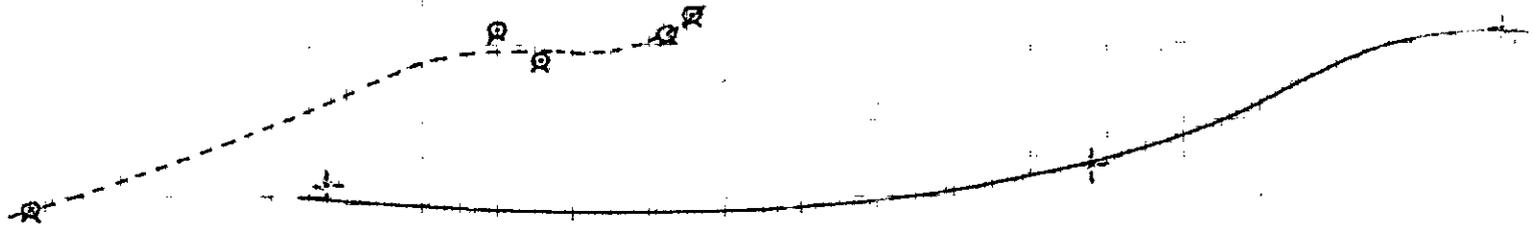


comparaison des rendements du moteur, en fonction  
à l'essence puis au gaz, en fonction de la puissance.

$N = 3000 \text{ tr/mn}$

---  $\eta$  gaz.

—+— essence.



comparaison des rendements du moteur en fonction de la puissance  
d'abord à l'essence puis au gaz en fonction de la puissance

### III) Réseaux d'isoconsommation:

De ces réseaux on peut tirer les interprétations suivantes:

#### 1) Puissance équivalente: 25cv.

a) Essence: une puissance de 25cv est développée à 2300tr/mn avec une consommation de 230g/cvh, 2600tr/mn avec 240g/cvh, 2700tr/mn et 3200tr/mn avec 250g/cvh et 3100tr/mn avec 260g/cvh.

b) Gaz: dans ce cas de carburation, une puissance de 25CV est développée à 3200, 3400, 3700 et 4000tr/mn respectivement avec des consommations de 230, 240, 250 et 260g/cvh.

\* De ceci on en déduit que pour la marche au gaz, une même puissance est obtenue pour un intervalle de vitesses plus faible que celui de l'essence. ( l'intervalle des consommations dans les 2cas est égale à 10g/cvh ).

A priori on peut dire que sur des véhicules, une fois la puissance désirée obtenue, une accélération supplémentaire se fait plus au détriment de la consommation spécifique qu'au gain de la vitesse linéaire.

#### 2) Zone des puissances élevées:

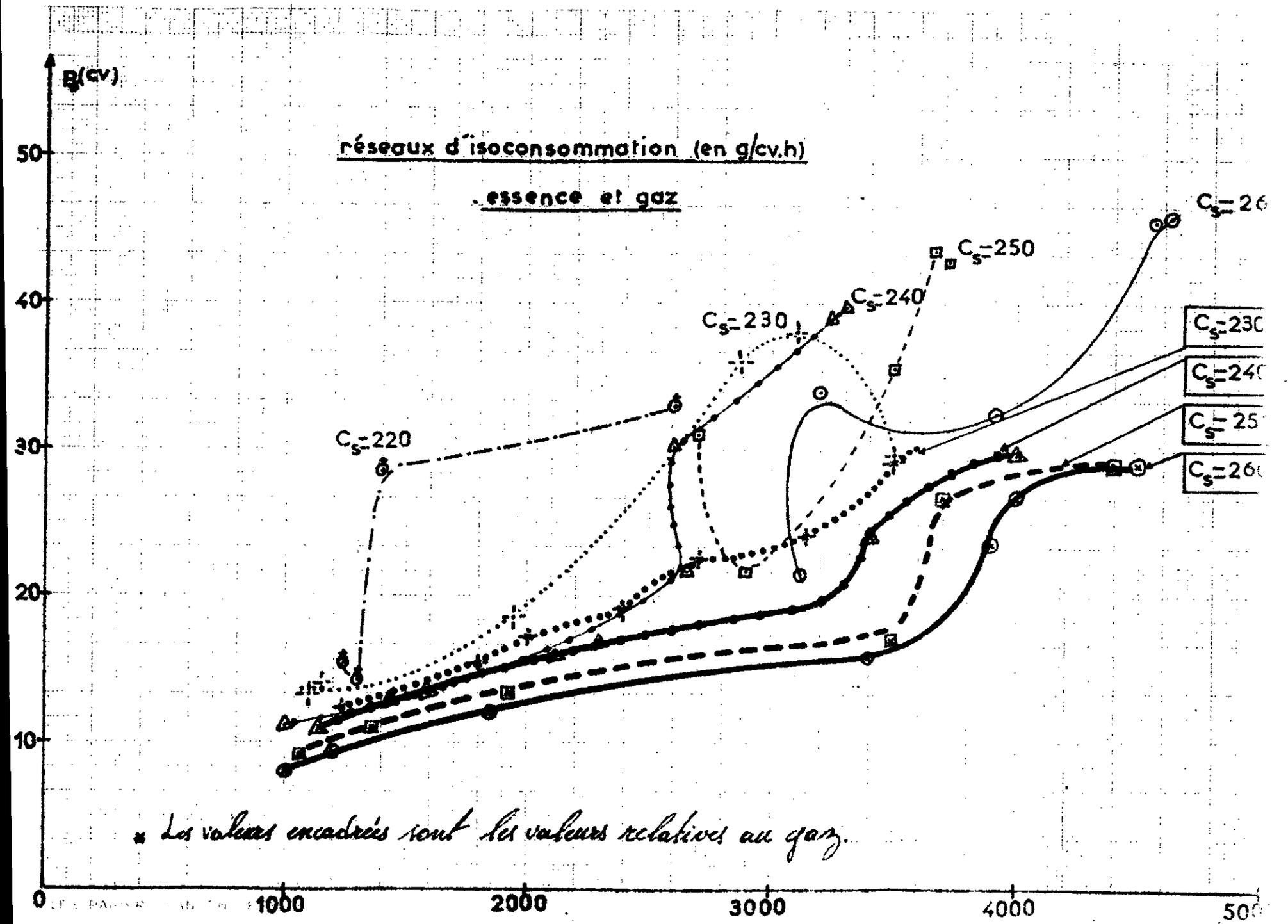
a) A l'essence: une puissance élevée, 35cv par exemple peut être obtenue dans une plage de vitesses allant de 2800 à 4000 tr/mn avec une consommation variant de 230 à 260 g/cvh.

b) Au gaz: avec la même variation de consommation, une puissance de 26 cv ( élevée pour le cas du gaz ) n'est développée que dans la zone des vitesses allant de 3500 à 4000tr/mn.

\*Conséquence: l'obtention de grandes puissances en carburation au gaz, nécessite des vitesses de rotation élevées.

réseaux d'isoconsommation (en g/cv.h)

essence et gaz



## CHAPITRE IV

### ALLUMAGE ET ANALYSE DES GAZ D'ÉCHAPPEMENT

#### I) ALLUMAGE:

##### 1) Courbes d'avance de pleine puissance:

En pratique ces courbes sont obtenues ( pour les deux cas de carburation):

a) Pour l'ouverture maximale du papillon des gaz.

b) Par rotation de la tête d'allumage, en relevant ( à l'aide d'un stroboscope ) le degré d'avance donnant la plus grande valeur de la charge ( de puissance ). Et ceci pour chaque vitesse de rotation .

On obtient ainsi l'avance optimale nécessaire au moteur pour fournir le maximum de puissance.

##### 2) Interprétation:

On remarque que:

a) En marche au gaz, le degré d'avance à l'allumage est toujours supérieur à celui de l'essence ( pour une même vitesse de rotation).

b) Les maximums des deux courbes se trouvent décalés: 2700 tr/mn pour l'essence et 3500 tr/mn pour le gaz.

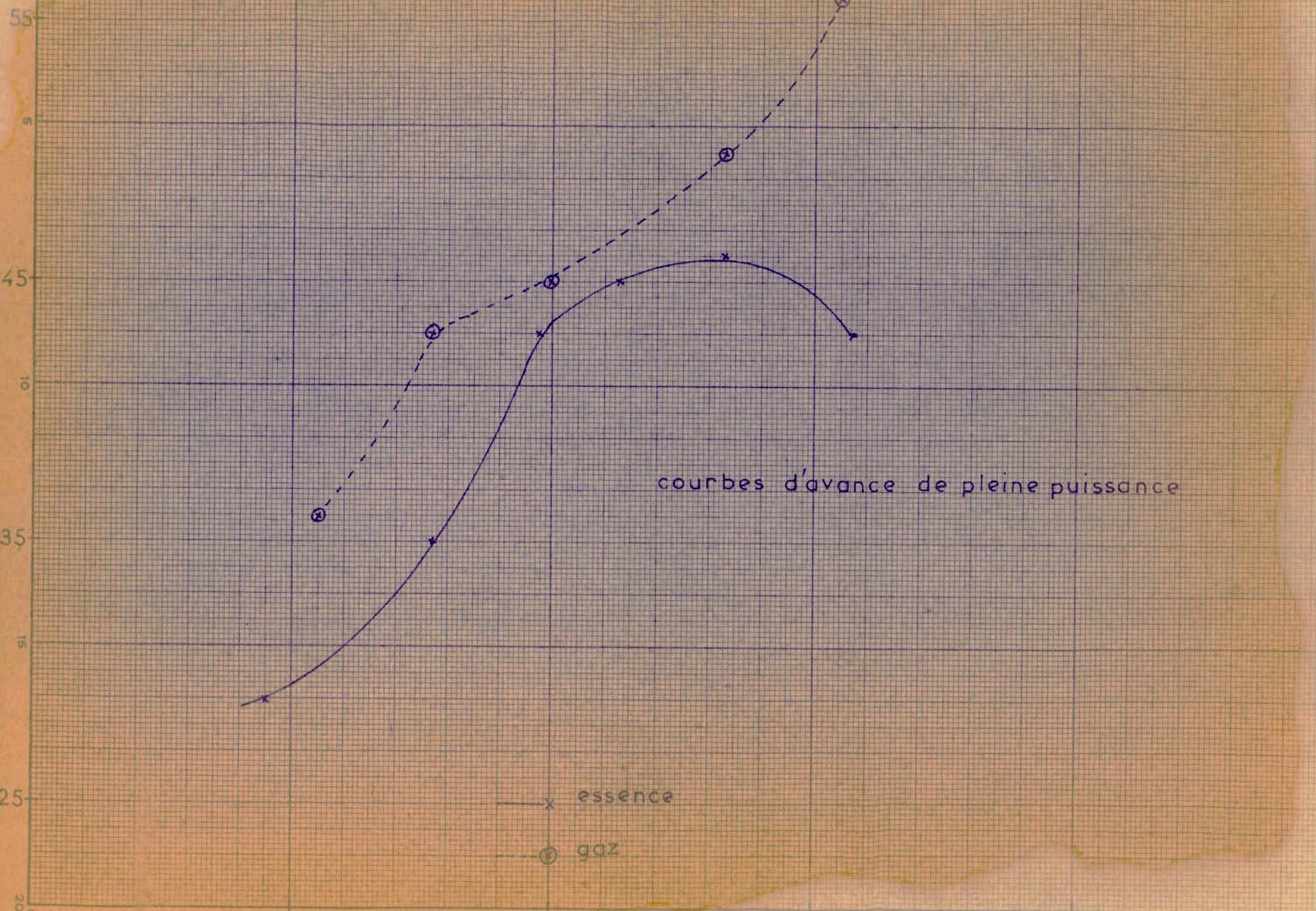
c) La différence entre les deux courbes varie. Elle est de :

- \* 7 degrés pour les faibles vitesses ( 1000 à 1600tr/mn).
- \* 2 degrés en moyenne pour des vitesses comprises entre 1800 et 2800 tr/mn.
- \* Supérieure à 12 degrés pour des vitesses au-delà de 3200 tr/mn.

#### - Conséquence:

Les dispositifs d'avance du moteur, ne répondent pas aux exigences du fonctionnement optimum par carburation au gaz.

$\alpha$  (°) degrés d'avance



courbes d'avance de pleine puissance

x essence

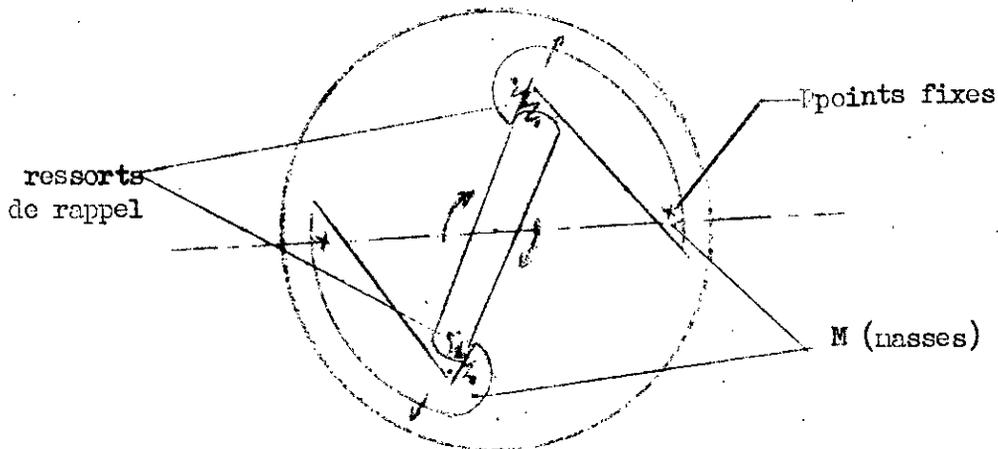
o gaz

### 3) Avance automatique:

Le degré d'avance à l'allumage augmente généralement avec la vitesse de rotation ( jusqu'à une certaine limite ).

Cette augmentation, obtenue par l'effet de la force centrifugé, cesse et se stabilise à partir d'une certaine vitesse de rotation.

Or on a constaté précédemment que les amplitudes maximales des deux courbes se trouvaient déplacées. Pour parer à cela il faudrait donc prévoir un dispositif d'avance permettant un plus grand écartement des masses M figurées sur le schéma ci-dessous.



- Lors de l'essai d'avance de pleine puissance on a pu constater que le fonctionnement au gaz était plus sensible à l'effet de l'avance. C'est à dire qu'il suffit d'écarter très légèrement la tête d'allumage de la position pour laquelle on obtient la puissance maximale pour voir l'aiguille de la balance décroître notablement.

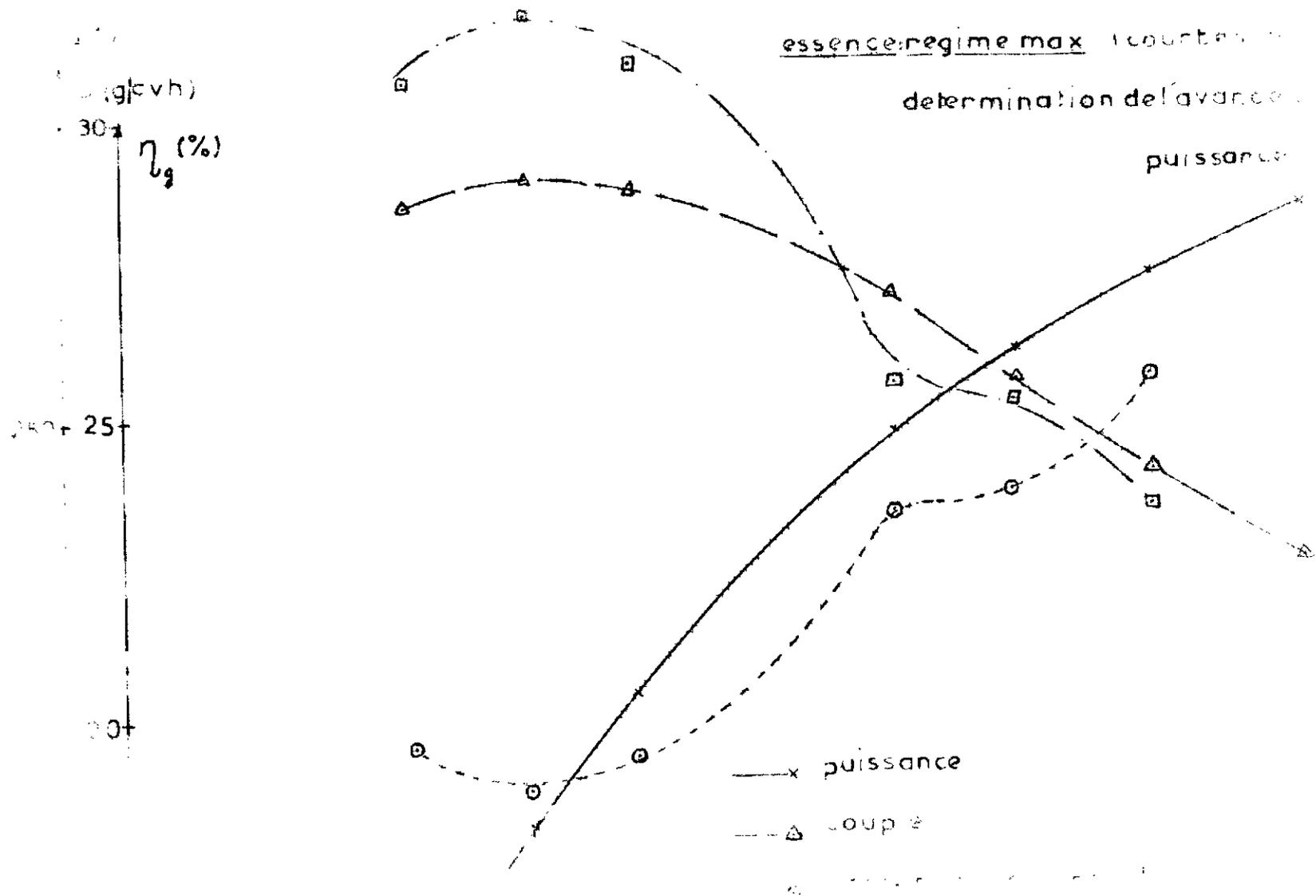
### Conclusion:

L'importance de l'effet d'avance sur le bon fonctionnement d'un moteur nécessite bien des calages spécifiques à chaque <sup>cas</sup> de carburation.



essence regime 9 : Puissance max

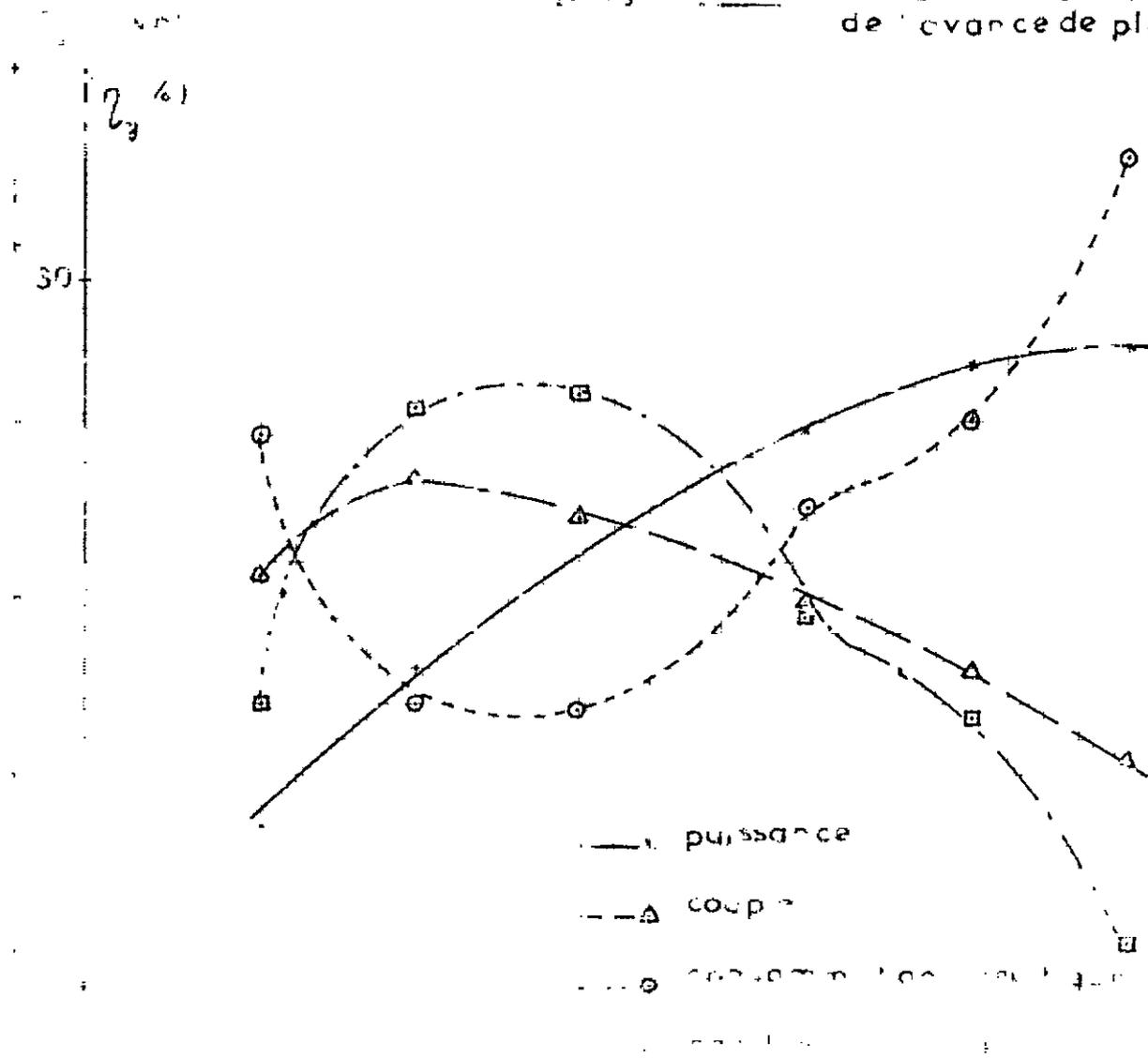
N (tr/mn)	$C = 0,716.F$ (Kg.m)	$P_{eff} = \frac{F.N}{1000}$ (cv)	$C_s = \frac{3600 q_c}{P_{eff}}$ (g/cv.h)	$\eta_g = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s P_{eff}}$
1550	9,5	20,3	195,24	0,306
1950	9,7	24,6	188,5	0,317
2300	9,6	30,8	193,5	0,309
3150	9	39,4	234,7	0,225
3550	8,5	41,9	237,0	0,252
4000	8	44,6	255,9	0,234
4500	46,8	46,8	-	-





N (tr/mn)	$C = 0,716.F$ (kg.m)	$P_{eff} = \frac{F.N}{1000}$ (cv)	$C_s = \frac{3600 \dot{q}_c}{P_{eff}}$ (g/cv.h)	$\eta_g = \frac{635 \cdot 10^3}{C_s P_{eff}}$
1100	6,9	10,67	219,30	0,270
1540	7,6	16,32	204,04	0,291
2000	7,3	20,30	203,94	0,292
2640	6,7	24,81	214,75	0,276
3100	6,2	26,97	220,24	0,269
3540	5,6	27,79	234,47	0,253

GN régime max (courbes de l'essai de détermination de l'avance de pleine puissance)



2) ANALYSE DES GAZ D'ECHAPPEMENT

la pollution atmospherique ayant atteint un stade alarmant. Les scientifiques sont toujours preoccupes par les proportions de plus en plus considerables des gaz nocifs dans l'air; un grand nombre d'entre eux se penchent serieusement sur la recherche de nouvelles formes d'energie et de combustibles non polluants

l'analyse des gaz montre que le G.N est nettement moins polluant que les autres combustibles utilises actuellement dans l'industrie en general et dans les moteurs a combustion interne en particulier.

DIAGRAME DE GREBEL

le diagramme de Grebel permet de comparer les produits de combustion reels par rapport aux produits de combustion theoriques pour un combustible donne en connaissant le rapport H/C.

ce diagramme s'obtient en portant en ordonnee le pourcentage de CO<sub>2</sub>

en abscisses opposees a partir de la meme origine, d'un cote le pourcentage de CO et de l'autre cote le pourcentage de O<sub>2</sub>.

APPLICATION:

a) pour l'essence H/C=2,12 (voir these ANALYSE DE COMBUSTION 74) les equations de combustion sont:

$$CO_2 = \frac{100 + 0,22(2,76 - 0,94H/C)}{4,76 + 0,94H/C} - \frac{4,76}{4,76 + 0,94H/C} O_2$$

$$CO = \frac{100 + 0,22(2,76 - 0,94H/C)}{4,76 + 0,94H/C} - \frac{2,44 + 0,94H/C}{4,76 + 0,94H/C} CO_2$$

en remplaçant H/C par sa valeur dans les deux equations precedentes on aura les droites theoriques suivantes

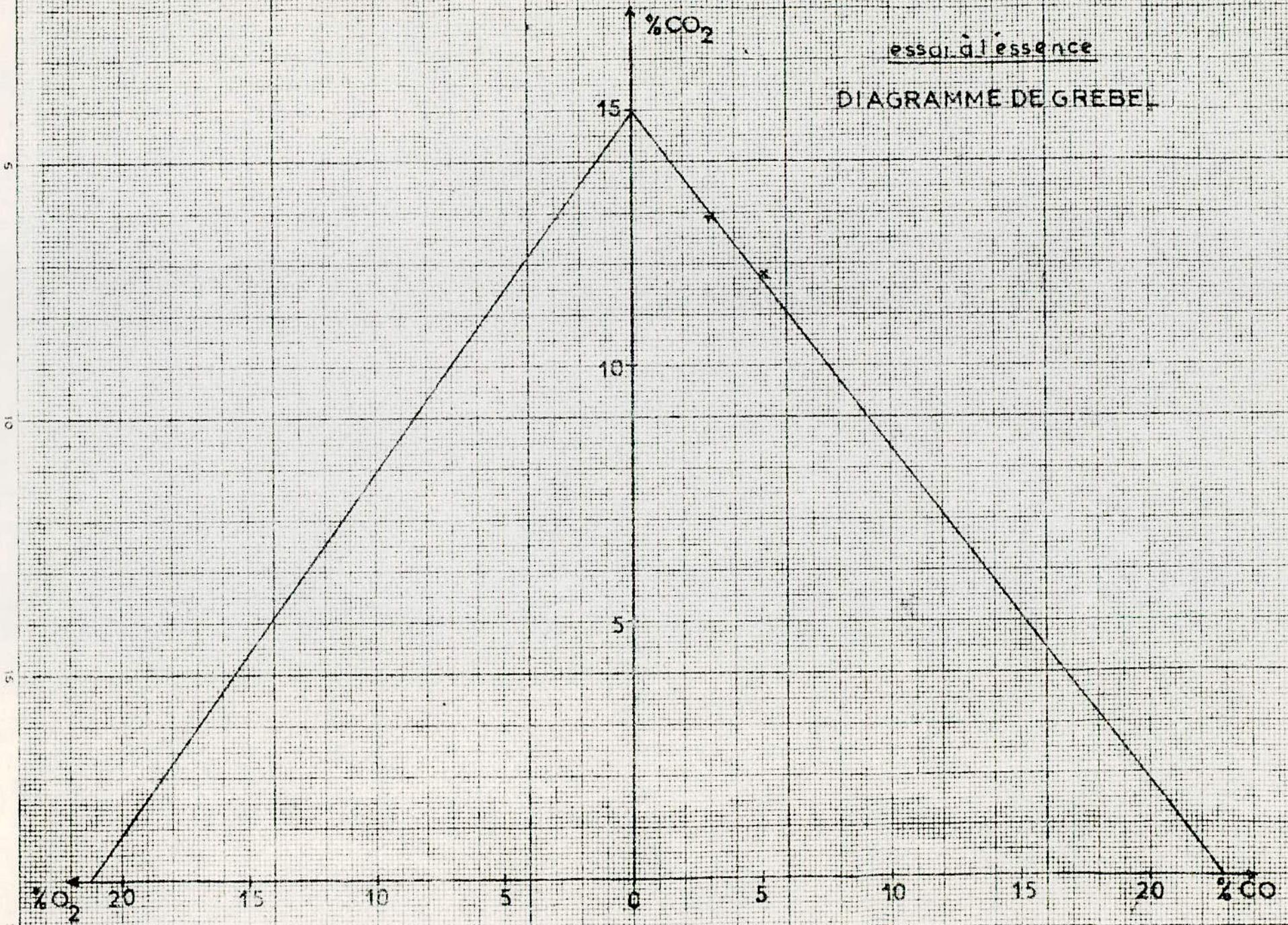
$$CO_2 = 14,95 - 0,705 O_2$$

$$CO = 14,95 - 0,656 CO_2$$

..../....

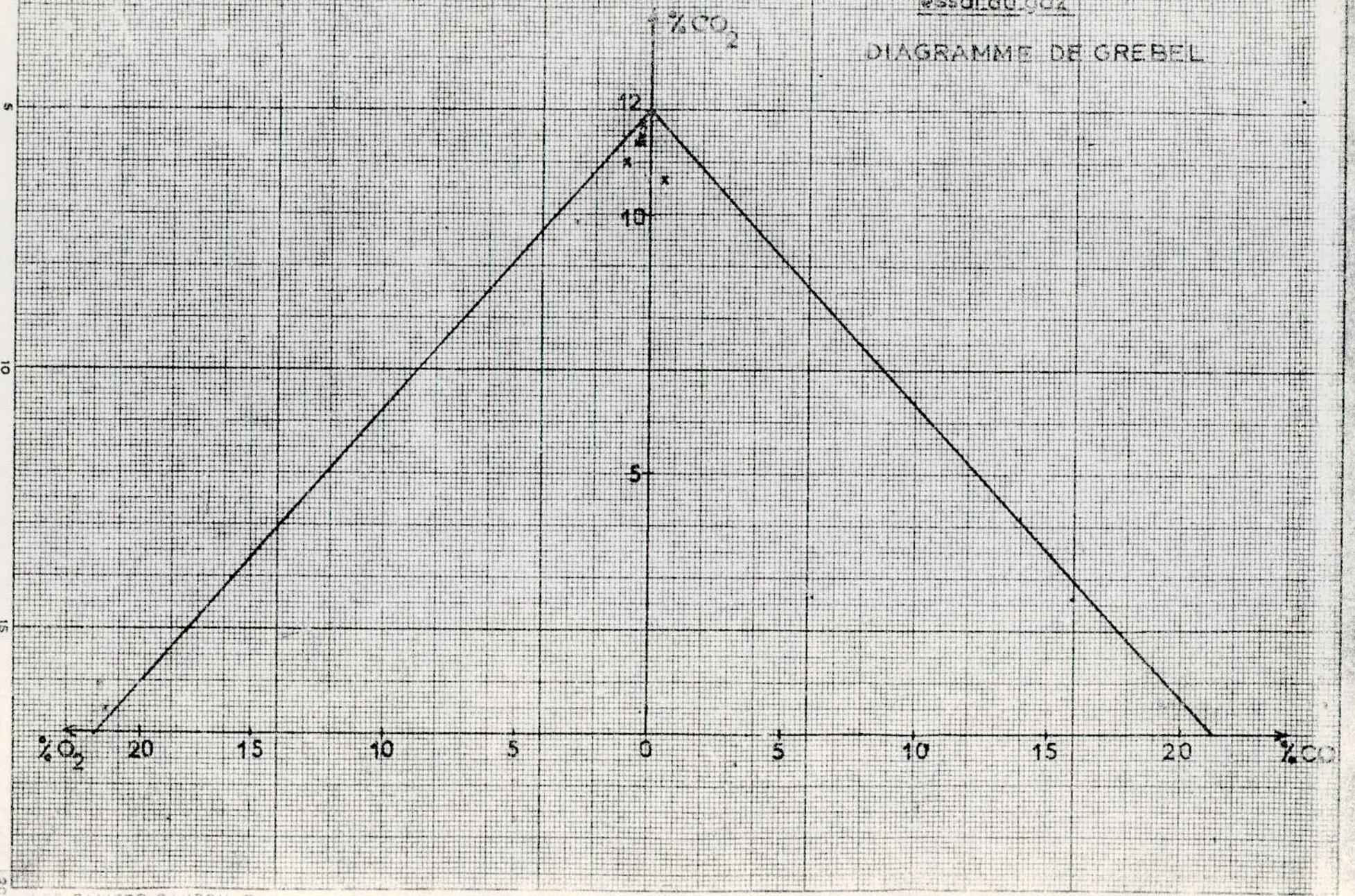
essai à l'essence

DIAGRAMME DE GREBEL



essai LGU 002

# DIAGRAMME DE GREBEL



La premiere droite :  
 $CO_2 = (14,95 - 0,705 \cdot O_2)$  passe par les points  $(O_2 = 0; CO_2 = 14,95\%)$   
 et  $(O_2 = 21,2\%; CO_2 = 0)$

la deuxieme droite:  $CO_2 = (14,95 - 0,656 \cdot CO)$  : passe par les points  
 $(CO = 0; CO_2 = 14,95\%)$  et  $(CO = 22,8\%; CO_2 = 0)$

b) pour le gaz:  
 $H/C = 3,71$

la premiere droite passe par les points:

$(O_2 = 0; CO_2 = 12\%)$  et  $(O_2 = 20,8\%; CO_2 = 0)$

la deuxieme droite passe par les points

$(CO = 0; CO_2 = 12\%)$  et  $(CO = 21,2\%; CO_2 = 0)$

interpretation:

sur le diagramme de Grebel on remarque que les points se trouvent  
 en dessous de la droite theorique, et dans le domaine pauvre  
 en combustible.

on a donc une combustion complete avec un léger excès d'air.

le point qui se trouve dans le domaine riche en combustible est  
 sans doute un point aberrant, dû aux erreurs de mesure.

ce qui confirme bien une combustion plus complete avec le gaz qu'avec  
 l'essence.

MESURES AU GAZ				ANALYSE REDUITE		
N (tr/mm)	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	%CO	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	%CO
1100	10,6	1,3	0,8	11	0,9	0
1540	10,7	0	0,5	10,7	0	0,5
2000	11,5	0,5	0,38	11,69	0,31	0
2640	11,2	0,6	0,65	11,52	0,27	0
3100	11,1	0,7	0,6	11,40	0,4	0
3540	11,2	0,6	0,5	11,45	0,35	0

MESURES A L'ESSENCE				ANALYSE REDUITE		
N (tr/mm)	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	%CO	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	%CO
2650	12,9	0	3,1	12,9	0	3,1
3120	11,8	0	5,2	11,8	0	5,2

Diagramme de combustion ( d'OSTWALD ) du gaz:

Les résultats de l'analyse des produits secs de combustion sont représentés sur le diagramme d'Ostwald. Celui ci nous permet de connaître: le cas de combustion, l'excès d'air, la richesse et la teneur en CO des gaz analysés.

Excepté le point aberrant de teneur en CO nulle, les autres se situent sur, ou à proximité, de la courbe de richesse 1. Ceci montre qu'on est dans le cas de combustion incomplète sans excès d'air pour certains points et avec un léger excès d'air pour les autres. Le tableau ci-dessous résume les résultats de l'analyse ainsi que ceux fournis par le diagramme.

analyse				diagramme			
N (tr/m)	% CO <sub>2</sub>	% O <sub>2</sub>	% CO	CO/CO <sub>2</sub>	% CO	$\alpha$	$\phi$
1100	10,6	1,3	0,8	0,081	0,86	0,03	0,97
1540	10,7	0	0,5	/	/	/	/
2000	11,5	0,5	0,38	0,025	0,287	0,015	0,98
2640	11,2	0,6	0,65	0,05	0,56	0	1
3100	11,1	0,7	0,6	0,062	0,693	0	1
3540	11,2	0,6	0,5	0,05	0,56	0	1

$\alpha$  = excès d'air.

$\phi$  = richesse ( $\phi = \frac{1}{n}$ )

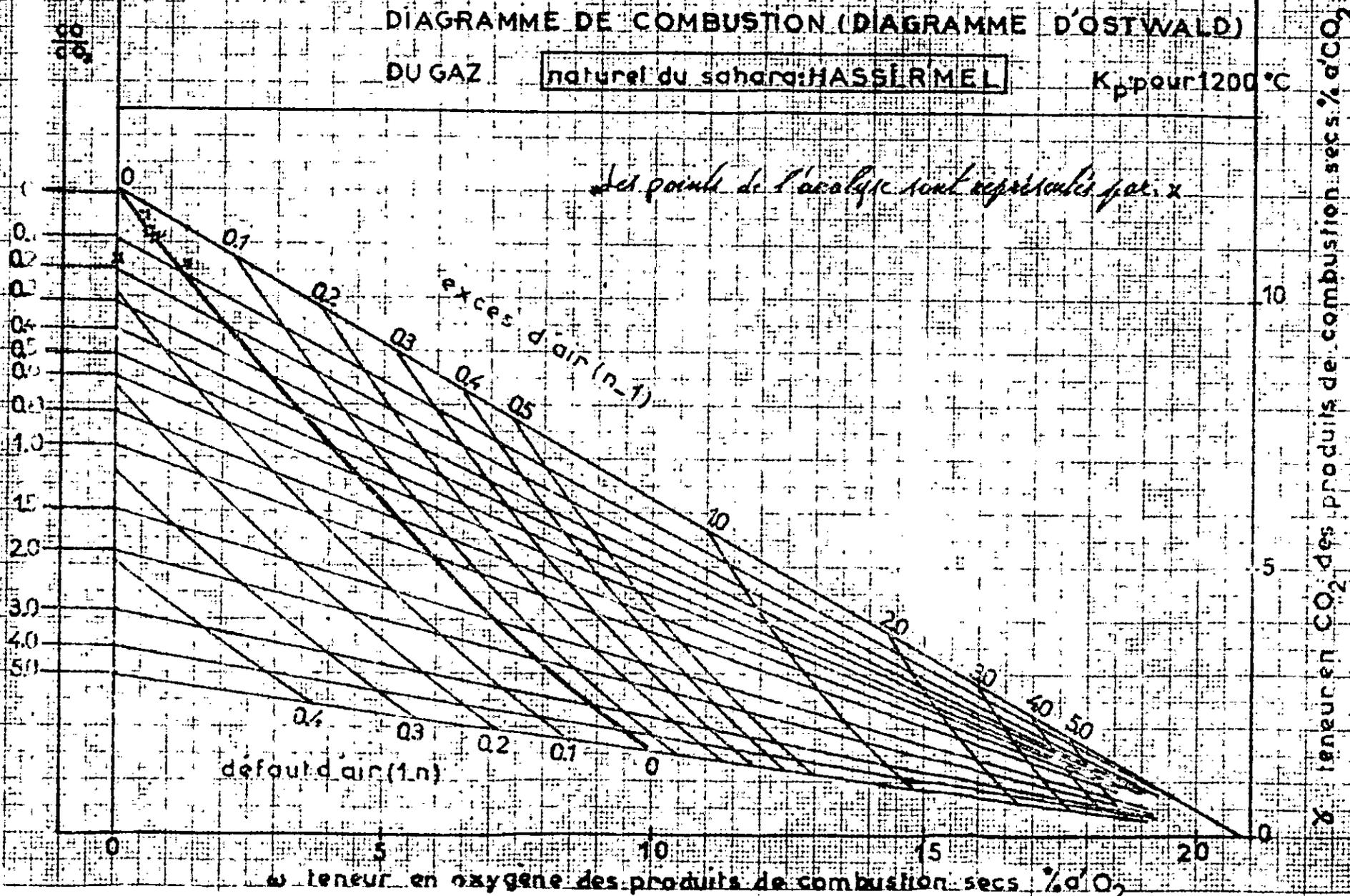
.../...

# DIAGRAMME DE COMBUSTION (DIAGRAMME D'OSTWALD)

DU GAZ

naturel du Sahara: HASSI R'MEL

$K_p$  pour 1200 °C



### STOCKAGE DU GAZ NATUREL

La principale difficulté de l'utilisation du gaz naturel comme carburant pour les véhicules est son stockage qui nécessite de grandes pressions dans les bouteilles; ce qui a pour effet d'augmenter le poids de ces dernières et donc de diminuer la charge utile du véhicule fonctionnant au gaz.

en effet le gaz doit être comprimé à des pressions comprises entre 200 et 250 bars.

le poids de telles bouteilles varie entre 95kg et 50kg.

d'autre part la masse volumique du gaz naturel est inférieure à celle de l'essence.

à 200bars et en tenant compte du coefficient de compressibilité du gaz à cette pression la masse volumique est  $\rho = 0,189 \text{ kg/m}^3$  alors que celle de l'essence est de  $0,745 \text{ kg/m}^3$

à titre d'exemple pour un volume de 40l un calcul rapide de l'énergie emmagasinée par le gaz et par l'essence donne:

pour le gaz  $P_{ci} = 10688 \text{ kcal/kg}$   $W_e = 10688 \times 40 \times 0,189 = 80800 \text{ kcal}$

pour l'essence  $P_{ci} = 10600 \text{ kcal/kg}$   $W_e = 10600 \times 40 \times 0,745 = 31500 \text{ kcal}$

CE qui donne  $315000 : 80500 = 3,9$

l'énergie emmagasinée par l'essence est 4 fois plus grande que celle du gaz.

...../////

si le gaz est stocke sous forme liquide cela necessite une temperature de  $160^{\circ}$  et donc des bouteilles cryogeniques qui maintiennent la basse temperature.

dans ce cas l'energie emmagasinee par le G.N.L sera

$$W = P_{ci} \times V \times \rho \quad \text{avec } v = 401 \text{ et } \rho = 0,47 \text{ kg/l}$$

$$= 10688 \times 40 \times 0,47 = 200935 \text{ kcal et } 315000 : 200935 = 1,57 \text{ ce qui est acceptable}$$

voyons maintenant quelle sera l'autonomie d'un vehicule pour le gaz et pour l'essence.

on prend pour ce calcul une ouverture du papillon des gaz de  $2/3$  et une vitesse de rotation de  $3000 \text{ tr/mn}$  a plat; ce qui correspond a une vitesse lineaire de  $100 \text{ km/h}$  environ

a cette vitesse la consommation specifique pour les deux combustibles (gaz et essence) est respectivement  $225 \text{ g/cv.h}$  et  $230 \text{ g/cv.h}$

la puissance developpee est de  $30 \text{ cv}$  pour l'essence et  $25 \text{ cv}$  pour le gaz.

l'autonomie sera :

$$\text{- pour l'essence } D = \frac{40 \times 0,715 \times 1000}{230 \times 30} \times 100 = 430 \text{ km} \quad \text{? } D = 430 \text{ km}$$

$$\text{- pour le gaz } D = \frac{40 \times 0,47 \times 1000}{225 \times 25} \times 100 = 330 \text{ km ce qui est interessant.}$$

ce calcul rapide mais assez proche de la realite , nous donne une idee de la difficulte en ce qui concerne le stockage de la conversion des vehicules fonctionnant a l'essence pour la marche au gaz.

CHAPITRE V:

GENERALITES:

Toute mesure est entachée d'erreurs plus ou moins grande due à différentes causes. Pour cela il est nécessaire de connaître avec quelle précision ont été données les valeurs des calculs précédents.

1) Modèle général:

1) Erreur sur le couple:

$$C = 0,716.F$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta F}{F}$$

avec  $\frac{\Delta F}{F} = 3\%$  (precision de la balance)

2) Erreur sur la puissance:

$$P = \frac{F.N}{1000}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta N}{N}$$

$$\frac{\Delta F}{F} = 3\% \quad \text{et} \quad \Delta N = 100 \text{ tr/mn}$$

3) Erreur sur la consommation spécifique

$$C_s = \frac{3600 \dot{q}_c}{P_{\text{eff}}}$$

$$\frac{\Delta C_s}{C_s} = \frac{\Delta \dot{q}_c}{\dot{q}_c} + \frac{\Delta P}{P}$$

a) Pour l'essence

$$\dot{q}_c = \frac{v \rho_e}{t}$$

v = volume = 100ml  
 $\rho_e$  = masse volumique = 0,745Kg/dm<sup>3</sup>  
t = temps en seconde

$$\frac{\Delta \dot{q}_c}{\dot{q}_c} = \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta \rho_e}{\rho_e} + \frac{\Delta t}{t}$$

$$\Delta v = 0,5 \text{ml}$$

$$\Delta \rho_e = 0,005 \text{Kg/dm}^3$$

$$\Delta t = 0,5 \text{s}$$

.../...

b) Pour le gaz

Le débit est lu en fonction de  $\Delta P$  (mm c e) on a donc une erreur sur  $\Delta P$  :  $(\Delta P) = 2 \text{ mm c e}$ . Ceci correspond à 0,025g sur la courbe d'étalonnage ; et une erreur de 0,005g due à la lecture sur la courbe .

Donc  $\Delta \dot{q}_c = 0,025 + 0,005 = 0,03 \text{ g}$

4) Erreur sur le rendement

$$\frac{\Delta \eta_g}{\eta_g} = \frac{\Delta C_s}{C_s} + \frac{\Delta P_{ci}}{P_{ci}}$$

$$10688 \geq P_{ci} \geq 10707$$

$$\frac{\Delta P_{ci}}{P_{ci}} < 0,1\%$$

5) Erreur sur le débit d'air

$$\dot{q}_a = 0,01322 D^2 \sqrt{\frac{P_a \cdot 133,3}{T_a \times 1000}} \sqrt{H}$$

$$\frac{\Delta \dot{q}_a}{\dot{q}_a} = \frac{2 \Delta D}{D} + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta P_a}{P_a} + \frac{\Delta T_a}{T_a} \right) + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta H}{H}$$

Avec  $\Delta P_a = 1 \text{ mm.Hg}$

$\Delta T_a = 1^\circ \text{K}$

6) Erreur sur la richesse

$$\phi = \frac{\dot{q}_c / \dot{q}_a}{(\dot{q}_c / \dot{q}_a)_{sto}} \quad \frac{\Delta \phi}{\phi} = \frac{\Delta \dot{q}_c}{\dot{q}_c} + \frac{\Delta \dot{q}_a}{\dot{q}_a}$$

II) Application

Le tableau de la page suivante résume l'application du modèle de calculs à l'essai maximum à l'essence .

.../...

Calculs d'erreurs pour le régime maximum ( essence )

N tr/mn	$C = 0,716 \cdot F$ Kgn	$P = \frac{F \cdot N}{1000}$ cv	$C_s = \frac{3600 \dot{q}_c}{P}$ g/cv.h	$= \frac{635 \cdot 10^3}{C_s \cdot P_{ci}}$	$\dot{q}_c$ g/s	$\dot{q}_c$ g/s
6000	5,65 ± 0,23	47,4 ± 2,2	297,8 ± 13	0,201 ± 0,05	3,92 ± 0,13	47,44 ± 0,
5500	6,69 ± 0,28	51,42 ± 2,5	270,9 ± 12	0,221 ± 0,05	3,87 ± 0,1	46,4 ± 0,
5000	6,76 ± 0,28	47,25 ± 2,3	270,3 ± 12	0,222 ± 0,05	3,54 ± 0,08	44,91 ± 0,
4500	7,37 ± 0,30	46,35 ± 2,4	263,0 ± 11	0,227 ± 0,04	3,38 ± 0,07	41,7 ± 0,
4000	7,87 ± 0,33	44,0 ± 2,4	254,0 ± 10	0,236 ± 0,04	3,10 ± 0,07	38,32 ± 0,
3500	8,37 ± 0,35	40,95 ± 2,4	247,1 ± 9,5	0,242 ± 0,04	2,81 ± 0,05	35,4 ± 0,
3000	8,91 ± 0,37	37,35 ± 2,3	228,0 ± 8,5	0,263 ± 0,04	2,36 ± 0,04	30,33 ± 0,
2500	9,23 ± 0,39	32,35 ± 2,2	213,3 ± 7,6	0,280 ± 0,04	1,91 ± 0,03	26,18 ± 0,
2000	8,37 ± 0,35	23,4 ± 1,8	201,1 ± 6,6	0,298 ± 0,04	1,30 ± 0,02	21,68 ± 0,
1500	8,44 ± 0,35	17,7 ± 1,7	210,5 ± 6,4	0,284 ± 0,03	1,03 ± 0,01	17,7 ± 0,
1200	8,66 ± 0,36	14,52 ± 1,6	222,5 ± 6,2	0,269 ± 0,03	0,9 ± 0,01	13,99 ± 0,

Après ce calcul d'erreur, on s'est aperçu que certains résultats ont été donnés avec une précision exagérée. Ceci confirme l'importance du calcul d'erreur pour des résultats provenant de mesures pratiques.

CONCLUSION GÉNÉRALE  
\$

La carburation au G.N des moteurs à allumage commandé paraît d'un avenir prometteur; ne serait ce que pour deux principaux avantages. C

Ceux-ci étant: l'abondance des ressources, la facilité et le coût du carburant et, chose qui préoccupe considérablement les écologistes, la production de gaz d'échappement moins toxiques.

Toutefois les écarts de performances entre les versions essence et gaz s'accompagnent d'un gain de consommation et de rendement à puissance égale au profit du gaz.

En définitive, il serait souhaitable que des améliorations soient apportées aux accessoires de conversion du moteur; dans le but d'optimiser ses performances.

-----

BIBLIOGRAPHIE

.....

- \* Mesure electrique des temperatures : Generalites ( MECI ) :
- \* Mesure des temperatures par couple et resistance: Les couples et leur isolation ( MECI ).
- \* Catalogue de frein : CARL SCHEENCK .
- \* J.CHAGETTE: Technique automobile - 1 .
- \* M.MEDICI: LES utilisations du gaz naturel .
- \* Ingenieurs automobile: Les moteurs Diesel.
- \* Cours machines thermiques -I MULLER .
- \* These de fin d'etudes : PRomotion 1974 .
- \* MOTEURS et carburants : Ingenieurs de l' automobile .

