

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

20/87

lex

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

MISE EN MARCHE DU BANC D'ESSAIS

DU MOTEUR R16

Proposé Par :

M^r AIT ALI

Directeur De L'EN.P.A

Etudié par :

BELLO

Sadikou

Dirigé par :

M^r BENBRAIKA

Mohamed

PROMOTION : Janvier 1987





المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

“ La science est comme
un arbre dont le fruit
est la pratique ”

ALGAZALI

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

A mes chers
parents

REMERCIEMENTS

— M^r BENBRAÏKA. M. qui a bien su diriger à bout ce projet. Il n'hésitait pas parfois lorsque la situation l'exigeait à se mettre en blouse, prenant ainsi le devant des choses et donnant au mot "promoteur" son vrai sens et tout le caractère noble qu'on lui reconnaît.

— M^r AÏDOUN. Z., professeur au département de Génie Mécanique, qui, de temps en temps, et cela, plusieurs fois dans la journée, passait pour me prodiguer des conseils, et aussi pour m'encourager au travail.

— M^r BENAFLA. A, magasinier dont l'entière disponibilité était incontestable, m'exhortait au travail.

— M^r Mahmoud, mécanicien

— M^r MEZIANI. A. tourneur

— M^r YAHIAOUI. A. tourneur

— M^r Abdessalem tourneur

— M^r IDIR. A. Magasinier

— Les professeurs et personnel du département Mécanique qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à ma formation.

A tous ceux-là, je formule mes vifs remerciements et présente à chacun, le degré de gratitude de sa convenance.

RESUME

العنوان : إصلاح وتشغيل محرك R 16
الملخص : لقد قمنا بإصلاح المحرك البنزيني (من نوع R 16) بعد أن كان عاجلا
وممكلا إلى أصغر قطعه. بعد التشغيل ومدة الترويض أصلحنا كذلك المكبح
المائي (نوع SCHENK)
وكان لزاما علينا أن نعيد مراخبة بعض أجهزة القياس وفي الأخير
شغلنا المحرك بالغاز الطبيعي وقمنا ببعض التجارب لمعرفة ما إذا
كان المحرك محافظا على خصائصه.

Titre : " Mise en marche du banc d'essais du moteur R16 "

Résumé : Notre étude a d'abord consisté à remettre en état le banc d'essais pour moteur R16 essence adapté au G.N comprimé. Une réparation et un remontage du moteur, du frein dynamométrique hydraulique SCHENCK, ainsi que l'étalonnage des appareils de mesures avaient été effectués. Ensuite, nous avons procédé au démarrage du moteur au gaz et à l'essence; nous avons pris des mesures afin de vérifier si le moteur refait, garde toujours ses caractéristiques.

Title: "Starting of the R16 engine testing bench"

Summary: Our study has first consisted in the overhauling of the whole testing bench for gasoline R16 engine adapted to natural compressed gas. A repairing and a re-assembling of the engine, the SCHENCK dynamometric and hydraulic brake, and also the gauging of measuring equipments have been executed. And then, we proceeded to the starting of our engine with gas and with gasoline. Some measures have been taken in order to verify if our repaired engine keeps all its characteristics.

TABLE DES MATIERES

	Pages
Introduction	1
CHAPITRE I - TRAVAUX PRELIMINAIRES DE MISE EN ETAT DU BANC	
1 - Réparation du moteur R16	2
2 - Réparation du frein	7
3 - Etalonnage du thermocouple des gaz d'échappement et vérification des appareils de mesure installés sur le pupitre	7
4 - Démontage du radiateur	13
5 - Tarage et étalonnage du frein	13
6 - Rodage du moteur	13
CHAPITRE II - ETUDE THEORIQUE	
A - CYCLE A ESSENCE	15
1 - Calcul du processus d'admission	15
a) Calcul de la pression d'admission	16
b) Calcul du rendement volumétrique ..	17
c) Calcul de la température en fin d'admission	18
2 - Paramètres de fin de compression .	
a) Calcul de la pression à la fin de la compression	18
b) Calcul de la température de fin de compression	18
3 - Calcul des paramètres d'état après la combustion	

a)	Calcul de n_f	19
b)	Calcul de la composition molaire des gaz d'échappement	19
c)	Fraction molaire des gaz d'échappement ..	20
d)	Bilan énergétique	20
e)	Détermination des coefficients (a_{ma}, \dots, e_{ma}) ..	23
f)	Détermination des coefficients (a_{gc}, \dots, e_{gc}) ..	24
g)	Détermination de la température de fin de combustion	25
h)	Détermination de la pression de fin de combustion	26
i)	Paramètres d'état en "t"	26
4 -	Paramètres en fin de détente	27
5 -	Calcul de la pression moyenne indiquée ..	27
6 -	Calcul du travail indiqué	28
7 et 8 -	Calcul de la puissance effective et indiquée ..	28
9 -	Tracé du cycle indiqué	28
10 -	Calcul du couple moyen effectif	29
11 -	Calcul de la consommation spécifique indiquée	29
12 -	Calcul de la consommation spécifique effective	29
B -	ETUDE DU CYCLE A GAZ	
1 -	calcul du processus d'admission	30
2 -	Paramètres de fin de compression	30
3 -	Paramètres d'état après la combustion	
a)	Réaction de combustion	31

b) Concentration massique des différents éléments constituant le gaz naturel	31
c) Calcul de la quantité d'air	32
d) Composition des gaz d'échappement	32
e) Coefficient chimique de variation molaire ...	33
f) Participation molaire de chaque constituant dans les gaz d'échappement	33
g) Bilan énergétique	33
h) Détermination des coefficients (a_{mq}, \dots, e_{mq}) ...	34
i) Détermination des coefficients (a_{gc}, \dots, e_{gc}) ...	35
j) Détermination de la température de fin de combustion	36
k) Détermination de la pression p_y	37
l) Paramètres d'état en "t"	38
4 - Paramètres en "d"	38
5 - Calcul de la pression moyenne indiquée	38
6 - Calcul du travail indiqué	39
7 - Calcul de la puissance indiquée	39
8 - Puissance effective	39
9 - Calcul du couple moyen effectif	39
10 - Rendement indiqué	39
11 - Rendement effectif	39
12 - Consommation spécifique indiquée	40
13 - Consommation spécifique effective	40

CHAPITRE III - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DU MOTEUR EN FONCTIONNEMENT A L'ESSENCE ET AU GAZ NATUREL

A - Equipement pour alimentation au G.N	42
B - Démarrage	42
C - Appareillage et Mesures	
a) Appareillage	43
b) Mesures	44
c) Méthode de calcul	45

CHAPITRE IV - ANALYSE DES GAZ D'ÉCHAPPEMENT ET ALLUMAGE

A - Analyse des gaz d'échappement	49
1 - Analyseur à Infra-rouge	49
2 - Analyseur d'oxygène	
a) Principe	52
b) Fonctionnement	52
3 - Méthode d'analyse des gaz	53
4 - Appareillage d'analyse des gaz	54
5 - Précision de la méthode	55
6 - Diagramme de GREBEL	55
6.1 - Application à l'essence et au gaz	
a) Pour l'essence	56
b) Pour le gaz naturel	56
B - Allumage	57
CONCLUSION	58

NOTATIONS UTILISEES

Symboles	Unités	Appellations
ΔP_g	mm CE	Variation de pression du gaz
\dot{q}_c	g/s	Débit de combustible
t_{ee}	°C	Température d'entrée d'eau
t_{se}	°C	Température de sortie d'eau
t_{ge}	°C	Température des gaz d'échappement
t_h	°C	Température d'huile
p_h	kgf/cm ²	Pression d'huile
Δt	s	Temps de consommation de 100 ml d'essence
ρ	g/cm ³	Masse volumique du combustible

Les autres notations qui ne figurent pas dans ce tableau ont bien été spécifiées au fur et à mesure de leur utilisation.

INTRODUCTION

La plupart des réalisations doivent leur aboutissement grâce à une étude préalable faite sur banc d'essais. C'est ainsi que, s'agissant par exemple de la mise au point d'un prototype d'avion ou de la réparation d'un moteur de voiture, l'utilisation d'un banc d'essais s'avère nécessaire. Cette nécessité est d'autant plus forte qu'elle intervient dans le premier cas pour permettre d'effectuer des essais minutieux afin de connaître le comportement réel de l'avion sous l'effet des diverses contraintes qu'il lui faudra vaincre au cours de son fonctionnement en vol. Pour le deuxième cas, cela permet de vérifier les caractéristiques du moteur après la remise à neuf des organes défectueux. Dans la fabrication en série, le banc d'essais est nécessaire aussi pour le contrôle et le rodage des pièces en mouvement.

Installé en 1973, et dans le but de doter le laboratoire d'énergétique du département de Génie Mécanique en matériels capables de lui permettre d'élargir son domaine d'études technologiques, le banc d'essais que nous nous proposons de remettre en marche comprend :

- d'un frein dynamométrique hydraulique SCHENCK
- d'un moteur R1150 de Renault R16 essence
- d'un pupitre de commande dont les appareils constitutifs sont mentionnés dans les pages qui suivent.
- d'un analyseur des gaz d'échappement

Ce banc permet de mesurer les performances du moteur. En 1974, une tentative a été faite pour adapter le moteur R16 à un fonctionnement au gaz naturel. Ce dernier donnant des gaz d'échappement beaucoup moins polluants que l'essence.

TRAVAUX PRELIMINAIRES DE MISE EN ETAT DU BANC D'ESSAIS

1. Réparation du moteur Renault R16

Contrairement aux travaux de démontage qui paraissent d'une relative simplicité, les opérations de remontage quant à elles, sont beaucoup plus délicates. Car il faut porter une attention soutenue au positionnement exact des différents organes et à leur parfaite propreté. Elles sont plus longues également, car elles exigent l'exécution de réglages rigoureux et les vérifications au fur et à mesure du remontage du bon fonctionnement des pièces déjà assemblées.

1^{ère} opération : Culasse

Le moteur Renault R16 est un moteur à soupapes en tête. Le plan de joint de culasse, ainsi d'ailleurs que celui du bloc cylindres, ne doit pas être gratté avec un outil mais nettoyé au trichloréthylène. Après avoir placé la culasse sur un support spécial, avoir effectué le rôdage des soupapes et des sièges et avoir procédé au tarage des ressorts, huiler les queues de soupapes et placer les soupapes à leur place respective.

Monter sur la culasse la rondelle d'appui, puis le ressort, et la coupelle.

Comprimer les ressorts à l'aide d'un compresseur et placer les clavettes demi-lune de retenue.

La rampe de culbuteurs sera remontée après la repose de la culasse.

2^e opération : Embiellage

Après avoir fixé le bloc cylindres sur son support, placer les coussinets supérieurs de paliers, puis les huiler ainsi que les tourillons de vilebrequin.

Mettre le vilebrequin en place, puis les coussinets inférieurs huilés et les chapeaux de paliers en respectant les repères faits au démontage et en intercallant les deux butées de "latéral". Ces butées sont constituées de deux flasques bi-métal et se placent de chaque côté du palier central; la partie non fendue, en acier, s'appuyant contre le palier.

Bloquer les vis de fixation à la clé dynamométrique.

S'assurer que le vilebrequin tourne librement. Vérifier le jeu latéral à l'aide d'un comparateur placé en bout de vilebrequin.

Puis placer le joint d'étanchéité du palier côté embrayage.

Procéder ensuite à la pose du volant. Serrer les vis de fixation à la clé dynamométrique et les freiner.

Les bielles étant fixées sur les pistons, monter les segments à l'aide de la pince à segments et les tiercer, c-à-dire orienter leur coupes en les décalant les unes par rapport aux autres afin que les gaz, qui se trouvent dans la partie supérieure du cylindre, aient le plus de chemin possible à parcourir pour passer dans le carter. Le tierçage permet de réduire la perte des gaz frais.

Après avoir huilé les pistons et retourné le bloc cylindres, on procède à l'introduction des ensembles bielles - pistons dans les chemises, soit à l'aide d'une bague valable pour un diamètre de piston déterminé, soit par un collier, que l'on peut utiliser pour plusieurs diamètres de piston.

Puis emmancher les ensembles bielles - pistons - chemises (les bielles

étant équipées de leurs demi-coussinets), après avoir monté le joint d'étanchéité de la chemise.

Placer les brides de maintien des chemises et retourner à nouveau le bloc cylindres.

Emboîter les bielles sur les manetons huilés du vilebrequin et placer les chapeaux munis de leurs coussinets. Visser les écrous des chapeaux et les bloquer à la clé dynamométrique.

Au cours des différentes opérations, bien respecter les repères relevés au démontage.

Remonter la pompe à huile avec son joint.

Vérifier la bonne rotation de l'équipage mobile.

3^e opération : pignon de distribution et arbre à cames

La distribution se faisant par chaîne, on place l'arbre à cames, sans toutefois l'engager complètement.

On aligne rigoureusement le repère du pignon sur la ligne des centres du vilebrequin et de l'arbre à cames.

Ensuite, on place le pignon du vilebrequin sur la chaîne.

On fait tourner le vilebrequin jusqu'à ce que la clavette d'entraînement de son pignon soit placée de telle façon que le repère du pignon soit lui aussi sur la ligne qui rejoint les centres de deux pignons.

On engage alors le pignon sur le vilebrequin en poussant progressivement l'arbre à cames jusqu'à sa position définitive.

On place ensuite la bride de l'arbre à cames.

Après avoir mis en place le tendeur de chaîne et les deux patins limiteurs de débattement, on peut procéder à la pose du carter

de distribution et de son joint.

A noter qu'après montage, et la chaîne étant en tension normale la ligne des repères ne passe plus tout à fait par le centre de l'arbre à cames.

Si les pignons n'ont pas été repérés au démontage, ou l'on se trouve en présence de pignons neufs non repérés (ce qui n'est pas le cas ici) il faudra procéder à un calage complet de la distribution.

4^e opération : Repose de la culasse

Glacer dans le bloc cylindres l'arbre de commande de la pompe à huile et de l'allumeur. L'extrémité supérieure de cet arbre comporte une fente transversale déportée que l'on doit orienter parallèlement à l'axe longitudinal du moteur, en positionnant le plus petit déport côté arbre à cames et le cylindre n°1 étant amené au point mort haut compression (c'est-à-dire que les soupapes du cylindre n°4 sont en position bascule). On dit que deux soupapes sont en "bascule" lorsqu'elles sont dans les positions correspondant à la fin d'échappement et au début d'admission.

Après avoir placé les poussoirs huilés dans le bloc cylindres en respectant leur ordre et enlevé les brides de maintien des chemises, on place le joint de culasse à sec ou enduit d'huile de lin cuite.

Déposer la culasse lentement et avec précaution afin de ne pas endommager même partiellement le joint de culasse.

On procède ensuite au serrage des vis de la façon suivante :

x	x	x	x	x
10	6	1	3	7
8	4	2	5	9
x	x	x	x	x

On commence toujours le serrage par les vis centraux.

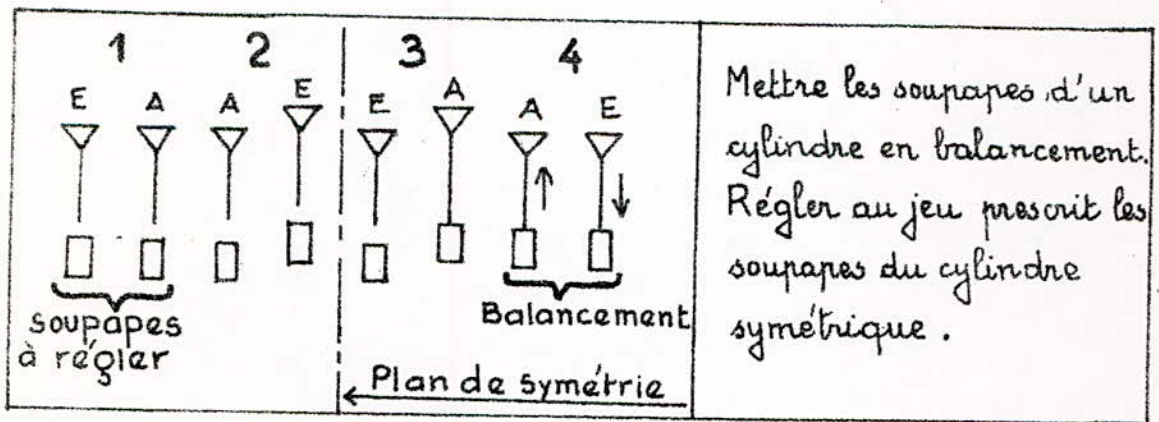
Serrer à la clé dynamométrique d'abord à 4,5 m.kg et après le rôdage, faire un serrage définitif à 7,5 m.kg.

On place alors les tiges de culbuteurs en s'assurant que leur partie inférieure entre bien dans les poussoirs.

Ensuite on remonte la rampe de culbuteurs en respectant les positions relatives des supports d'axe, des culbuteurs et des ressorts et en vérifiant la concordance des trous de graissage.

On pose la rampe de culbuteurs sur la culasse et on serre les vis de fixation à la clé dynamométrique.

Ensuite on règle le jeu des culbuteurs à l'aide du matériel suivant : tournevis, clé extra-plate, jauge d'épaisseurs. Le réglage se fait selon le schéma suivant :



échappement : 0,25
admission : 0,20

5^e opération : Calage du Delco, schéma électrique
 Voir sur la feuille qui suit.

Accessoires

Le carburateur étant neuf, les organes d'allumage ayant été vérifiés, et réglés, leur montage ainsi que le montage des différents autres accessoires tels que : alternateur, démarreur, système de refroidissement, etc ; ne nécessitent que du soin et de l'attention. Le schéma électrique est donné dans les pages qui suivent. Reste enfin le délicat réglage du point d'allumage. Pour ceci, nous vous renvoyons au chapitre IV.

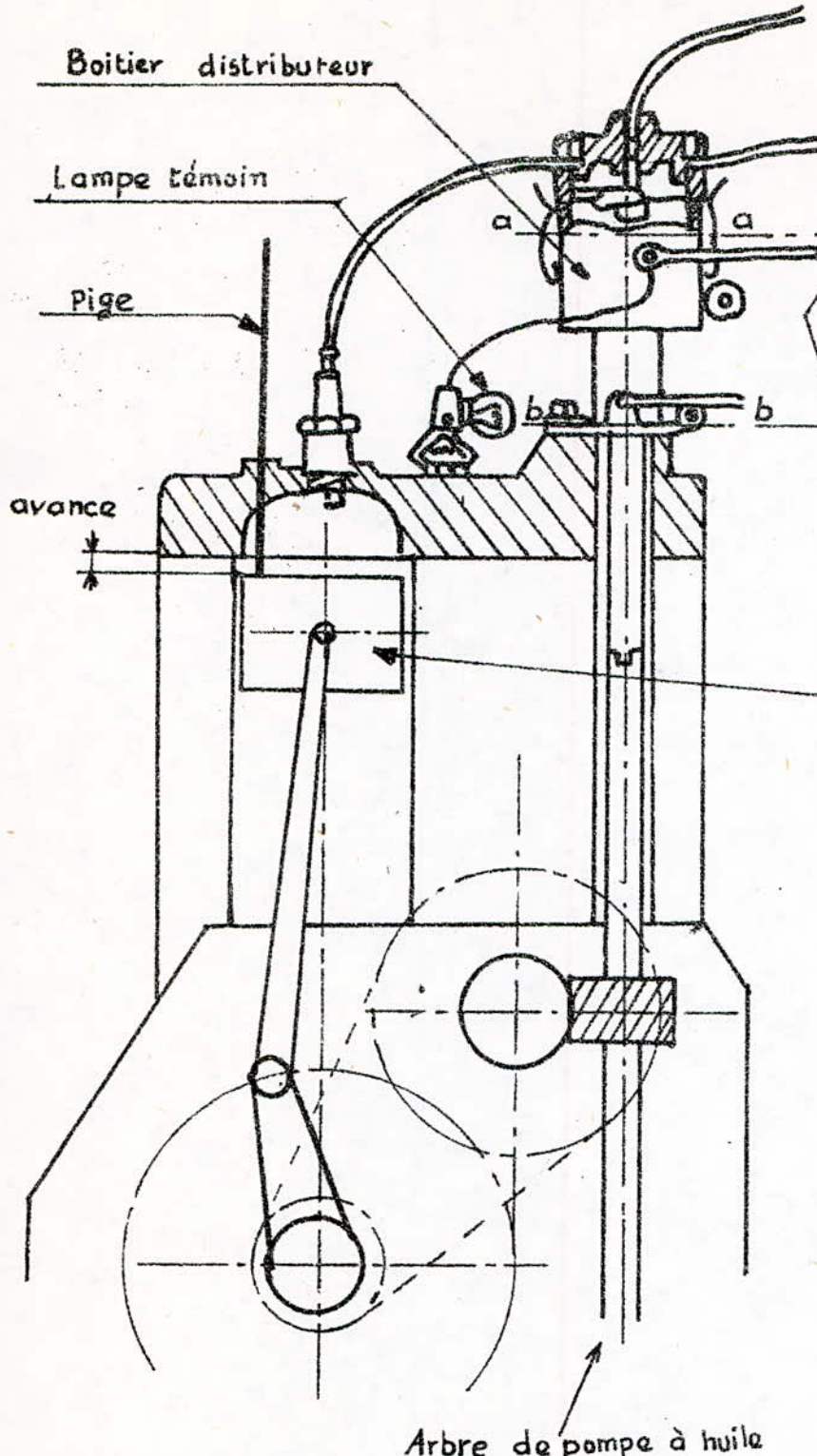
2. Réparation du frein

Le caractère hydraulique du frein exige que l'on apporte un grand soin à son utilisation pour éviter qu'il ne soit atteint par la corrosion. Notre frein étant grippé, sa réparation avait d'abord consisté au démontage complet des éléments qui le constituent, dont le rotor et le stator. L'arbre du rotor rouillé, les roulements atteints d'une rouille commençante, un nettoyage à l'essence puis une lubrification avaient été faits à chacun de ces éléments. Ensuite, le remontage du frein achevait notre opération de réparation.

3. Etalonnage du thermocouple des gaz d'échappement - Vérification des appareils de mesures installés sur le pupitre de commande

a) Principe des thermocouples électriques

Lorsqu'un circuit, constitué par deux conducteurs métalliques de natures différentes C_1 et C_2 est parcouru par un courant



1/- Régler l'écartement des vis platinées

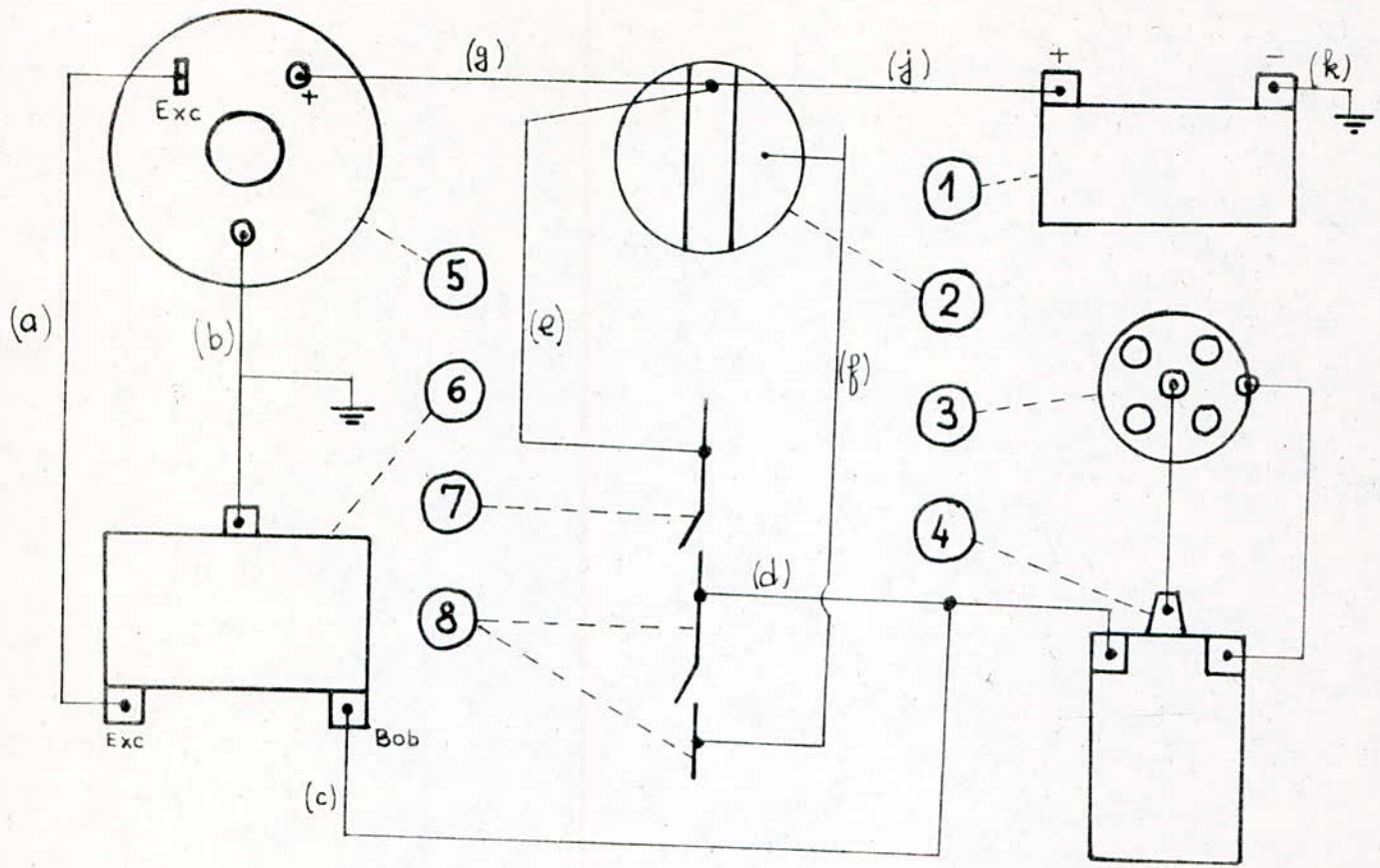
2/- Mettre le piston 1 au temps compression L'arrêter à la position Avance allumage

3/- Desserrer le boulon Pousser à plein retard

4/- Tourner le boîtier SENS INVERSE de rotation du doigt, jusqu'au début de l'écartement du rupteur, la lampe témoin s'allume

5/- Suivant le sens de rotation du doigt, relier les fils dans l'ordre d'allumage.



CALAGE DELCO



8	Poussoir
7	Contact
6	Régulateur
5	Alternateur
4	Bobine
3	Allumeur
2	Démarrreur
1	Batterie
Rep	Désignation

(k)	60/10
(j)	60/10
(g)	30/10
(f)	20/10
(e)	20/10
(d)	12/10
(c)	16/10
(b)	16/10
(a)	16/10
Fils	épais. mm

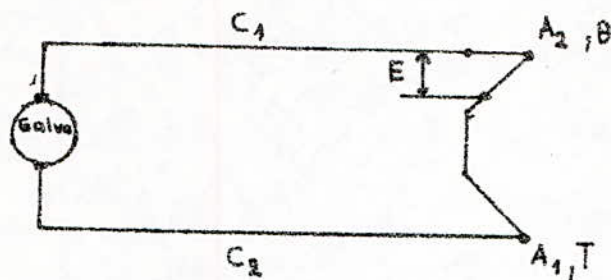
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE - ALGER

Echelle: 
 31-12-1986


SCHEMA
ELECTRIQUE

BELLO.5
N°1

électrique, dès que les soudures A_1 et A_2 entre les deux conducteurs sont portées à des températures inégales T et θ , ce circuit est le siège d'une force électromotrice E , ne dépendant que de la nature des conducteurs et des températures T et θ des deux soudures. Son expression est déterminée à partir de la loi des températures successives.



b) Mode opératoire de l'étalonnage

Le banc d'essais est équipé d'un couple chromel - alumel N° ID 20050C 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 contact avec les fils de compensation et la soudure chaude se trouve en contact avec les gaz d'échappement.

L'étalonnage du thermocouple du banc a été fait par comparaison avec un couple platine - rhodié 10% - platine (11,8 mV, soit 1200°C) équipant un four électrique du laboratoire énergétique (fig 1). L'élément à étalonner a été placé dans le four. Ce dernier (l'élément à étalonner) a été porté à différentes températures.

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

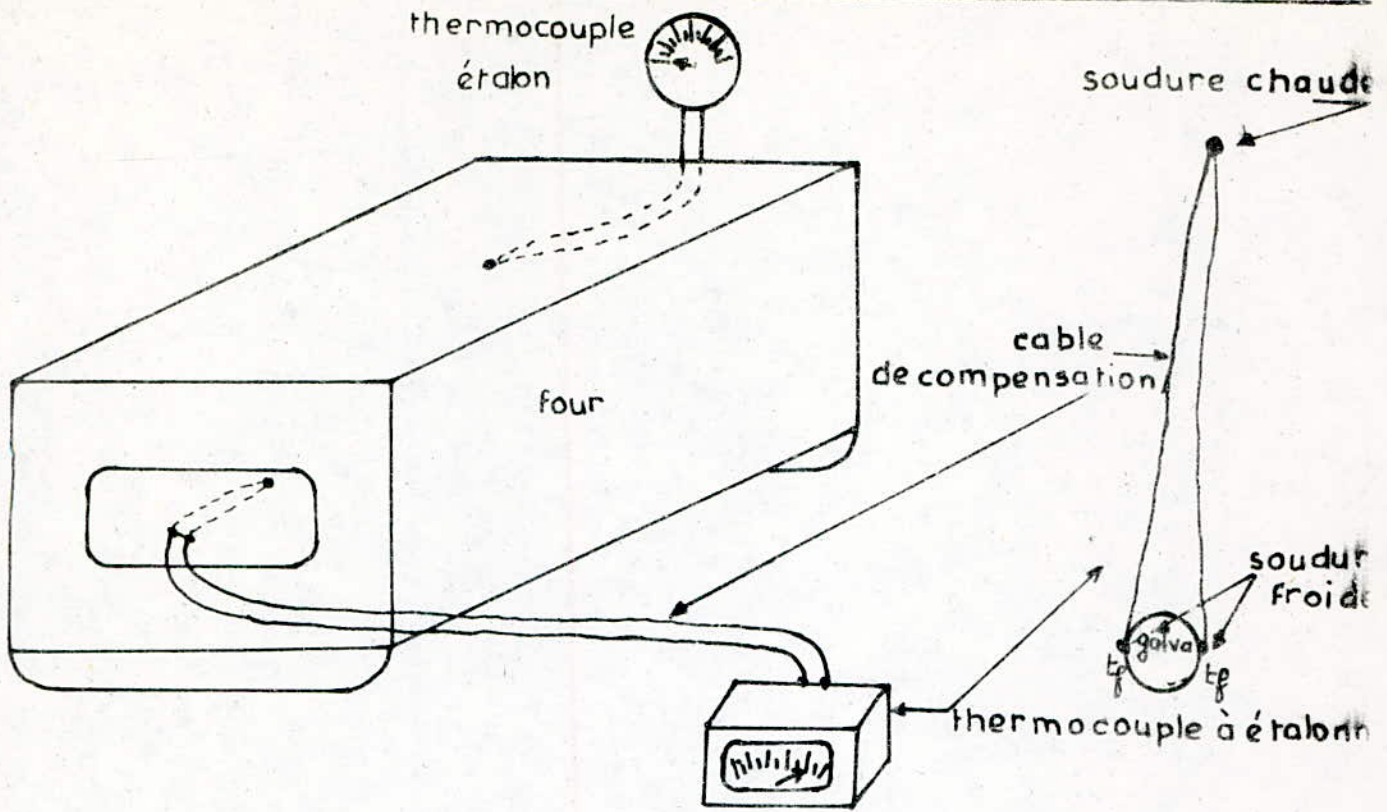
T_{raie} : température indiquée par le pyromètre du four	600	575	500	450	400	383
T_{n} : température indiquée par le pyromètre d'essai (réglé à t , ambiante = 17°C)	536	520	442	396	332	320

T_{raie} : température indiquée par le pyromètre du four	350	300	250	200	150
T_{n} : température indiquée par le pyromètre d'essai (réglé à la t , ambiante = 17°C)	282	240	200	158	132

On remarque une faible variation entre les deux températures d'un même point. Ceci est dû au fait que les deux couples n'étaient pas placés dans une même zone du four (le couple étalon était fixé en retrait sur la paroi du four et 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.

Le schéma du four et du procédé d'étalonnage se trouve sur les pages qui suivent.



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE - ALGER

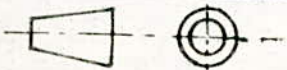
Echelle: ✓

2-01-1987

ETALONNAGE D'UN
THERMOCOUPLE

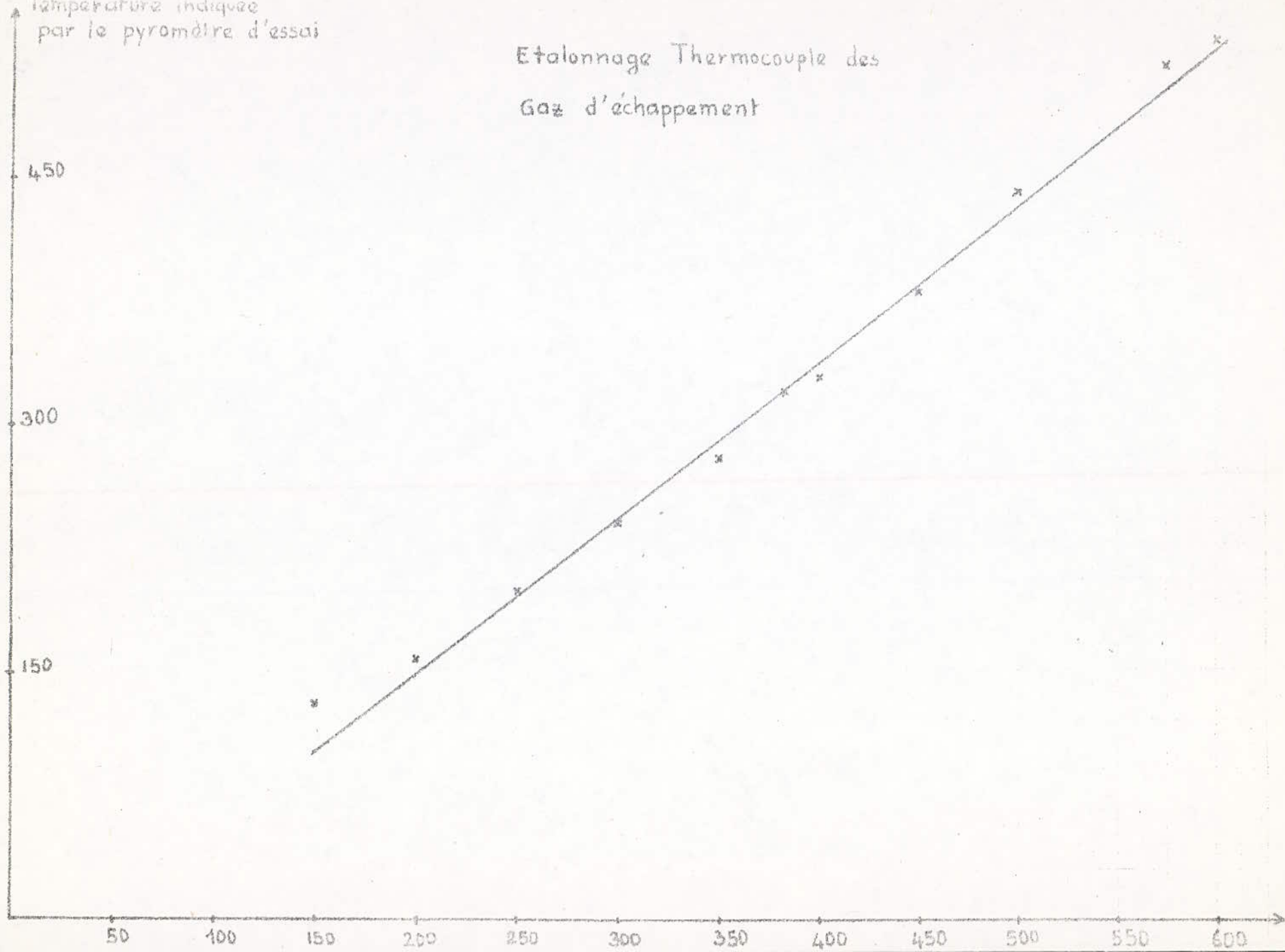
BELLO.S

N°2



Température indiquée
par le pyromètre d'essai

Etalonnage Thermocouple des
Gaz d'échappement



c) vérification des appareils de mesures

* Prise de température

Les thermocouples utilisés permettent la lecture de températures entre 0°C et 150°C à l'entrée et à la sortie de la pompe à eau (circuit de refroidissement).

La température de l'huile de graissage est prise sur le bouchon de vidange et celle des gaz d'échappement sur le tube reliant le collecteur au silencieux.

** Prise de pression

La pompe à huile devant assurer une certaine pression dans le circuit, elle est sujette à un contrôle constant afin de parer aux éventuelles fuites pouvant entraîner une mauvaise lubrification du moteur. Un manomètre de type Bourdon avait donc été relié au moteur par l'intermédiaire d'un tube.

*** Tachymètre

Installé sur le pupitre, le tachymètre permet la lecture directe de la vitesse de rotation du moteur.

**** Débitmètres

Ils sont nécessaires pour les calculs de consommation en gaz pour le débitmètre à gaz et en air pour le débitmètre à air.

***** Analyseurs de gaz

Ils permettent de déterminer les taux de CO et de CO_2 ainsi que les traces d'oxygène présent dans les gaz d'échappement.

À l'exception des analyseurs de gaz qui étaient hors d'usage, l'examen des autres appareils de mesures montraient qu'ils étaient en parfait état.

4 Démontage du radiateur en vue de son utilisation au banc

Les opérations suivantes ont été réalisées :

- 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 des soupapes.

- Soudure des fuites

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

5 Rodage du moteur

Après remontage, il est nécessaire de procéder au rodage du moteur. Le rodage consiste à faire tourner à faible vitesse afin que tous les organes montés quelquefois avec une très faible insuffisance de jeu, puissent prendre, par leur frottement respectif et l'usure minime qui en résulte, le jeu nécessaire à leur fonctionnement correct en marche normale. Le rodage doit être fait à vitesse relativement faible, afin que la chaleur dégagée par ces frottements n'entraîne pas des dilatations dont la conséquence serait le grippage. Le rodage concerne surtout les pistons et tous les paliers. Après la période de rodage, il faut procéder à une vidange de l'huile et à un rinçage sérieux afin d'éliminer toute trace de particule métallique.

6 Frein

Le frein utilisé sur le banc d'essais est un frein dynamométrique hydraulique Schenck du type U 1-16.

a) Tarage sur zéro

Après avoir désaccouplé le frein et le moteur, l'aiguille de la

tête de mesure a été mise sur zéro.

- Pour la gamme I : à l'aide du poids et du boulon de tare 8.

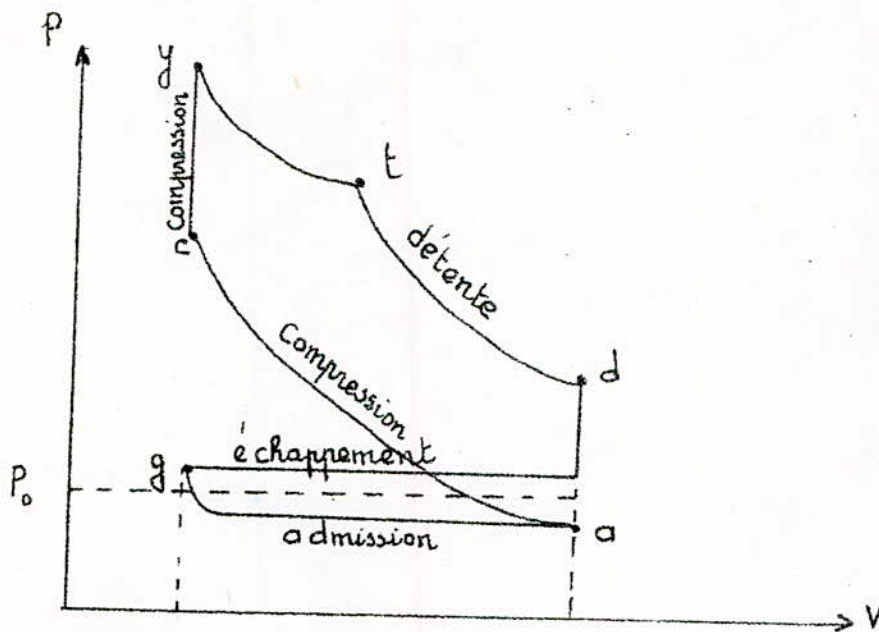
- Pour la gamme II : à l'aide du poids de compensation 18

b) Etalonnage

Il nous permet de vérifier et de corriger la sensibilité de la balance. Il consiste 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.

ETUDE THEORIQUE

Le calcul thermodynamique du moteur R16 est nécessaire, car il permet d'élaborer un prototype sur lequel des essais minutieux pourront être faits afin de connaître le comportement du moteur à différentes vitesses et sous l'effet des diverses contraintes qu'il doit vaincre au cours de son fonctionnement sur un véhicule. Le cycle de Beau-De-Rochas est celui que nous utiliserons. En première approximation on prendra le cycle théorique suivant :



A- Etude du cycle à essence ($\lambda = 0,9$)

Pour des raisons de simplification des calculs de l'admission, nous allons émettre quelques hypothèses.

1. Calcul du processus d'admission

- Les soupapes sont fermées et ouvertes aux points morts ; la fermeture de la soupape d'admission se faisant avec un retard

- Le gaz résiduel se détend au commencement de l'admission
- Le fluide est considéré comme un gaz parfait sans réaction chimique
- L'écoulement à l'entrée du cylindre est considéré comme isentropique
- L'énergie cinétique de la charge fraîche est totalement transformée en chaleur
- En fin d'admission, nous avons la présence des gaz résiduels à la charge fraîche
- Nous considérons les valeurs moyennes de la section d'écoulement autour des soupapes d'admission, de la vitesse d'écoulement, du coefficient de débit, et du volume spécifique de la charge fraîche
- La charge fraîche s'échauffe dans le collecteur d'admission.

a) Calcul de la pression d'admission

La formule donnant p_a est tirée des équations de conservation d'énergie, d'écoulement et de continuité.

$$p_a = \frac{p_0}{\sigma} \left[1 - \frac{N^2}{1800g \frac{\gamma}{\gamma-1} \left(\frac{p_0}{\Gamma_0} \right) (\mu_a \Phi_a)^2 \left(\frac{p_a}{V_s} \right)^2} \times \left(\frac{\varepsilon - \mu \beta}{\varepsilon - 1} \right)^2 \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

avec $p_0 = 1,013 \text{ bar}$; γ : coefficient adiabatique = 1,4 ; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Γ_0 : poids volumique de l'air ambiant = $\frac{g}{v_0}$ où $v_0 = 0,816 \text{ m}^3/\text{kg}$

on trouve $1800g \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{p_0}{\Gamma_0} = 5,2 \cdot 10^8 \text{ m}^2/\text{s}^2$

$\mu_a \Phi_a$: coefficient de débit à l'admission $\in [0,7 ; 0,92]$

μ_a : coefficient de débit à l'admission

Φ_a : coefficient de vitesse d'admission

V_s : cylindrée unitaire = $0,3675 \text{ l} = V_c$

f_a : section moyenne de la soupape d'admission

$$\frac{f_a}{V_s} \in [0,7 ; 1,3] \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$\varepsilon = 8,6 = \frac{V_a}{V_c} \quad ; \quad \rho : \text{coefficient de balayage} \in [0 ; 1]$$

μ : coefficient de volume de gaz résiduel = 0,5

N : vitesse de rotation prise égale à 5000 tr/mn

σ : coefficient de pression moyenne $\in [0,9 ; 0,98]$

En choisissant $\mu_a \phi_a = 0,7$; $\sigma = 0,98$, $\rho = 1$, $f_a = 3,63 \text{ cm}^2$

$$\frac{f_a}{V_s} = \frac{3,63 \cdot 10^{-4}}{0,3675 \cdot 10^{-3}} = 0,99 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$p_a = \frac{1,013}{0,98} \left[1 - \frac{(5000)^2}{5,2 \cdot 10^8} \cdot \frac{1}{(0,9)^2} \left(\frac{8,6 - 0,5 \cdot 1}{8,6 - 1} \right)^2 \frac{1}{(0,99)^2} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\text{d'où } p_a = 0,81 \text{ kgf/cm}^2$$

b) Calcul du rendement volumétrique η_v

$$\eta_v = \frac{\nu}{\theta} \frac{1}{\gamma(\varepsilon-1)} \frac{p_a}{p_0} \left[\varepsilon + \sigma(\gamma-1)(\varepsilon-1) - \rho \frac{p_g}{p_a} \right]$$

où ν : coefficient de charge supplémentaire grâce au retard de la fermeture de la soupape d'admission

$$\nu \in [1,1 ; 1,25] \quad ; \quad \Delta T \in [10 ; 45] \text{ } ^\circ\text{K}$$

p_g : pression des gaz d'échappement $\in [1,05 ; 1,15] \text{ daN/cm}^2$

En prenant $\nu = 1,15$; $p_g = 1,05 \text{ daN/cm}^2$

$$\theta = \frac{T_0 + \Delta T}{T_0} = \frac{288 + 30}{288} = 1,104 \quad \text{avec } \Delta T = 30 \text{ } ^\circ\text{K} \text{ et } T_0 = 288 \text{ } ^\circ\text{K}$$

On trouve $\eta_v = 0,8$

c) Calcul de la température en fin d'admission

$$T_a = T_0 \cdot \frac{p_a}{p_0} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \cdot \frac{1}{\eta_v \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{k_p} - 1 \right)}$$

où k_p : coefficient de pureté $\in [0,9 ; 0,95]$

$$k_p = \frac{1}{1 + \beta \left(\frac{p_g}{p_0} \right) \left(\frac{T_0}{T_g} \right) \frac{1}{\eta_v (\varepsilon-1)}}$$

où T_g : température des gaz d'échappement $\in [900 ; 1100]^\circ\text{K}$

En prenant $T_g = 900^\circ\text{K}$ on trouve $k_p = 0,95$

D'où $T_a = 353^\circ\text{K}$

2 - Paramètres de fin de compression

On suppose que le processus de compression est polytropique à coefficient m_c avec $1 \leq m_c \leq \gamma$

Dans la pratique $m_c \in [1,32 ; 1,38]$

a) Calcul de la pression p_c

$$pV^{m_c} = \text{cte} \Rightarrow p_c V_c^{m_c} = p_a V_a^{m_c} \Rightarrow p_c = p_a \left(\frac{V_a}{V_c} \right)^{m_c}$$

$p_c = p_a \varepsilon^{m_c}$ En prenant $m_c = 1,37$ on trouve

$$p_c = 15,44 \text{ Kgf/cm}^2$$

b) Calcul de la température T_c

$$p_a V_a = n_a R T_a$$

$$p_c V_c = n_c R T_c$$

Où $n_a = n_c$ = nombre de moles avant la combustion

$$\Rightarrow T_c = T_a \epsilon^{mc-1}$$

$$T_c = 782^\circ\text{K}$$

3 - Calcul des paramètres d'état après la combustion

a) Calcul du nombre de moles des produits de fumée : n_f

$$n_f = \frac{[C]}{12} + \frac{[H]}{2} + 0,791\lambda L_{\min} = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{CO}} + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{N}_2}$$

$$\text{où } n_{\text{CO}_2} + n_{\text{CO}} = \frac{[C]}{12} ; n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{[H]}{2} ; n_{\text{N}_2} = 0,791\lambda L_{\min}$$

Les concentrations massiques des différents éléments constituant

l'essence sont : $[C] = 0,854$ kg de carbone / kg d'essence

$[H] = 0,142$ kg d'hydrogène / kg d'essence

$[O] = 0,004$ kg d'oxygène / kg d'essence

L_{\min} : l'air nécessaire pour la combustion de 1 kg d'essence =

$$L_{\min} = \frac{1}{0,21} \left(\frac{[C]}{12} + \frac{[H]}{4} - \frac{[O]}{32} \right) = 0,5376 \text{ kmole d'air / kg d'ess}$$

La quantité d'air réellement utilisée est : $L = \lambda L_{\min}$

avec $\lambda = \text{excès d'air} = 0,9 \Rightarrow L = 0,4565$ kmole d'air / kg d'ess.

b) Calcul de la composition molaire des gaz d'échappement

Comme $\lambda < 1$ la combustion est alors incomplète ; d'où la formation inévitable de CO

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{[C]}{12} - 0,418(1-\lambda) L_{\min}$$

$$= 0,0499 \text{ kmole / kg d'essence}$$

$$n_{\text{CO}} = 0,418 L_{\min} (1-\lambda) = 0,0212 \text{ kmole / kg d'essence}$$

$$n_{H_2O} = \frac{[H]}{2} = 0,071 \text{ kmole / kg d'essence}$$

$$n_{N_2} = 0,791 \lambda L_{\min} = 0,3610 \text{ kmole / kg d'essence}$$

$$\text{d'où } n_f = 0,0499 + 0,0212 + 0,071 + 0,3610 = 0,5031 \text{ kmole / kg d'ess}$$

Le coefficient chimique de variation molaire est :

$$\mu_{ch} = \frac{n_f}{n_{cf}} = 1,076 \quad \text{avec } n_{cf} = \lambda L_{\min} + \frac{1}{114} = 0,4652 \text{ kmole / kg d'ess.}$$

c) fraction molaire des gaz d'échappement

$$r_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_f} = 0,0991 \quad ; \quad r_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_f} = 0,1411$$

$$r_{CO} = \frac{n_{CO}}{n_f} = 0,0421 \quad ; \quad r_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_f} = 0,717$$

d) Bilan énergétique

Le bilan énergétique entre les points "c" et "t" s'établit comme suit :

$$\Delta U_{c-t} = Q_r - Q_p - AW_{c-t}$$

$$Q_r = Q_i - 13800(1-\lambda) \quad \text{car } \lambda < 1 \quad ; \quad Q_r \text{ est la chaleur de réaction chimique} \quad ; \quad A = \frac{1}{4,185}$$

ΔU_{c-t} : variation d'énergie interne entre "c" et "t"

AW_{c-t} : travail échangé de "c" à "t"

Q_p : chaleur échangée avec les parois

$$\Delta U_{c-t} = \Delta U_{c-y} + \Delta U_{y-t} = \Delta U_{c-y} \quad \text{car la transformation (c-y) est isochore (v=cte) donc } W_{c-y} = 0$$

La chaleur utile s'écrit $Q_u = Q_r - Q_p = \xi_1 Q_r$

Le travail transformé en chaleur AW_{y-t} s'écrit :

$$AW_{y-t} = \xi_2 Q_u = \xi_1 \xi_2 Q_r \quad \text{où } \xi_1 : \text{coefficient qui tient compte des pertes de chaleur à travers les parois du cylindre } \in [0,8 ; 0,92]$$

ξ_2 : coefficient qui tient compte de la transformation du travail en chaleur entre "y" et "t" $\in [0,08 ; 0,3]$

d'où : $\Delta U_{c-y} = \sum_1 Q_n - \sum_1 \xi_2 Q_n = \sum_1 Q_n (1 - \xi_2)$ ①
 En prenant comme énergie de référence U_n on écrira :

$$\Delta U_{c-y} = (U_y - U_n)_{gc} - (U_c - U_n)_{ma}$$

$$= n_{gc} (U_y - U_n)_{gc} - n_{ma} (U_c - U_n)_{ma}$$

où les indices "gc" et "ma" signifient respectivement gaz de combustion et mélange air + essence + gaz résiduel

n_{gc} : nombre de moles de gaz de combustion

n_{ma} : nombre de moles de charge fraîche + gaz résiduel

$$n_{ma} = n_{cf} + \rho n_{gr} = n_{cf} \left(1 + \frac{\rho n_{gr}}{n_{cf}} \right) = n_{cf} (1 + \tau)$$

où n_{cf} représente le nombre de moles de charge fraîche

n_{gr} : nombre de moles de gaz résiduel à la fin d'échappement en considérant qu'il n'y a pas eu de balayage ($\rho = 1$)

$$\tau = \frac{\rho n_{gr}}{n_{cf}} = \frac{n_{gr}}{n_{cf}} \quad \text{ici } \rho = 1 \text{ (voir calcul de } p_a)$$

$$\tau = \frac{1}{k_p} - 1 \quad ; \quad k_p = 0,95 \text{ (voir calcul de } T_a)$$

$$\Rightarrow \tau = 0,05263$$

$$\text{Or } M_t = \frac{n_{gc}}{n_{ma}}$$

ΔU_{c-y} s'écrit donc :

$$\Delta U_{c-y} = M_t n_{ma} (U_y - U_n)_{gc} - n_{ma} (U_c - U_n)_{ma} \quad \text{②}$$

$$\text{En faisant } \text{①} = \text{②} \text{ on a : } M_t (U_y - U_n)_{gc} = (U_c - U_n)_{ma} + \frac{\sum_1 Q_n (1 - \xi_2)}{n_{cf} (1 + \tau)} \quad \text{③}$$

$$\text{Calculons } M_t \quad ; \quad M_t = \frac{n_{gc}}{n_{ma}} = \frac{n_{cf} + n_{gr}}{n_{cf} + n_{gr}}$$

Or $n_{cf} = \lambda L_{\min} + \frac{1}{114} = 0,4653$ kmole de gaz frais

$$\tau = \frac{n_{gr}}{n_{cf}} \Rightarrow n_{gr} = \tau n_{cf}$$

De même $\mu_{ch} = \frac{n_f}{n_{cf}} \Rightarrow n_f = \mu_{ch} \cdot n_{cf}$

$$\Rightarrow M_t = \frac{(\mu_{ch} + \tau) n_{cf}}{(1 + \tau) n_{cf}} = \frac{\mu_{ch} + \tau}{1 + \tau} = \frac{1,076 + 0,05263}{1 + 0,05263}$$

d'où $M_t = 1,072$

En prenant $\xi_1 = 0,9$ et $\xi_2 = 0,20$

$$Q_r = Q_i - 13800(1 - \lambda) = 10400 - 13800(1 - 0,9) = 9020 \text{ kcal/kg d'ess.}$$

$n_{cf} = 0,4653$ kmole de gaz frais

L'équation (3) devient :

$$1,072 (U_y - U_r)_{gc} = (U_c - U_r)_{ma} + \frac{0,9 \cdot 9020(1 - 0,20)}{0,4653(1 + 0,05263)}$$

$$13259,59 + (U_c - U_r)_{ma} = 1,072 (U_y - U_r)_{gc} \quad (4)$$

Comme C_v est fonction de la température et que $U = \int C_v dT$; l'équation (4) nous permet donc de déterminer T_y .

Nous allons prendre C_v comme une fonction quadratique du 5^e degré

$$C_v = a_0 + aT + bT^2 + cT^3 + dT^4 + eT^5$$

Par intégration de dU entre les points "c" et "r" d'une part et de "y" et "r" d'autre part on a :

$$(U_c - U_r)_{ma} = a_{ma}(T_c - T_r) + \frac{b_{ma}}{2}(T_c^2 - T_r^2) + \frac{c_{ma}}{3}(T_c^3 - T_r^3) + \frac{d_{ma}}{4}(T_c^4 - T_r^4) + \frac{e_{ma}}{5}(T_c^5 - T_r^5)$$

De même :

$$(U_y - U_r)_{gc} = a_{gc}(T_y - T_r) + \frac{b_{gc}}{2}(T_y^2 - T_r^2) + \frac{c_{gc}}{3}(T_y^3 - T_r^3) + \frac{d_{gc}}{4}(T_y^4 - T_r^4) + \frac{e_{gc}}{5}(T_y^5 - T_r^5)$$

e) Détermination des coefficients ($a_{ma}, b_{ma}, \dots, e_{ma}$)

$$\begin{cases} a_{ma} = a_{air} \cdot r_{air} + a_{ess} \cdot r_{ess} + a_{gr} \cdot r_{gr} \\ b_{ma} = b_{air} \cdot r_{air} + b_{ess} \cdot r_{ess} + b_{gr} \cdot r_{gr} \\ c_{ma} = c_{air} \cdot r_{air} + c_{ess} \cdot r_{ess} + c_{gr} \cdot r_{gr} \\ d_{ma} = d_{air} \cdot r_{air} + d_{ess} \cdot r_{ess} + d_{gr} \cdot r_{gr} \\ e_{ma} = e_{air} \cdot r_{air} + e_{ess} \cdot r_{ess} + e_{gr} \cdot r_{gr} \end{cases}$$

$$\text{Or } r_{air} = \frac{\lambda L_{min}}{\lambda L_{min} + \frac{1}{114}} = 0,98115$$

$$r_{ess} = \frac{1/114}{\lambda L_{min} + \frac{1}{114}} = 0,01885$$

Pour une plage de températures $[275 ; 1055]^{\circ K}$ et pour une température de référence $T_r = 500^{\circ K}$ nous avons le tableau suivant :

Substances	a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	$d \cdot 10^9$	$e \cdot 10^{12}$
Air	4,915	-0,373	2,272	+0,912	0
Essence	5,485	148,0	-51,5	0	0

Tableau I

d'où :

$$a_{ma} = 4,915 \cdot 0,98115 + 5,485 \cdot 0,01885 = 4,926$$

$$b_{ma} = (-0,373 \cdot 0,98115 + 148,0 \cdot 0,01885) \cdot 10^{-3} = 2,423 \cdot 10^{-3}$$

$$c_{ma} = (2,272 \cdot 0,98115 - 51,5 \cdot 0,01885) \cdot 10^{-6} = 1,267 \cdot 10^{-6}$$

$$d_{ma} = (0,912 \cdot 0,98115 + 0) = 0,894 \cdot 10^{-9}$$

$$e_{ma} = 0$$

f) Détermination des coefficients ($a_{gc}, b_{gc}, \dots, e_{gc}$)

$$\begin{cases} a_{gc} = a_{CO_2} \cdot n_{CO_2} + a_{CO} \cdot n_{CO} + a_{H_2O} \cdot n_{H_2O} + a_{N_2} \cdot n_{N_2} \\ b_{gc} = b_{CO_2} \cdot n_{CO_2} + b_{CO} \cdot n_{CO} + b_{H_2O} \cdot n_{H_2O} + b_{N_2} \cdot n_{N_2} \\ c_{gc} = c_{CO_2} \cdot n_{CO_2} + c_{CO} \cdot n_{CO} + c_{H_2O} \cdot n_{H_2O} + c_{N_2} \cdot n_{N_2} \\ d_{gc} = d_{CO_2} \cdot n_{CO_2} + d_{CO} \cdot n_{CO} + d_{H_2O} \cdot n_{H_2O} + d_{N_2} \cdot n_{N_2} \\ e_{gc} = e_{CO_2} \cdot n_{CO_2} + e_{CO} \cdot n_{CO} + e_{H_2O} \cdot n_{H_2O} + e_{N_2} \cdot n_{N_2} \end{cases}$$

Le tableau II nous permet de calculer ces coefficients

$T \in [500 ; 2776] , T_n = 500^\circ K$					
Substances	a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	$d \cdot 10^9$	$e \cdot 10^{12}$
CO ₂	3,114	15,012	-9,848	2,952	0,3294
CO	3,4253	4,034	-1,748	0,279	0,0
H ₂ O	5,8092	-0,218	4,388	-3,495	2,077
N ₂	3,7905	3,249	-1,204	0,162	0,0

$$n_{CO_2} = \left[\frac{[c]}{12} - 0,418(1-\lambda) L_{min} \right] / n_f = 0,0991$$

$$n_{CO} = \left[0,418(1-\lambda) L_{min} \right] / n_f = 0,0421$$

$$n_{H_2O} = \frac{[H]/2}{n_f} = 0,1411$$

$$n_{N_2} = \frac{0,7917 L_{min}}{n_f} = 0,717$$

D'où : $a_{gc} = 3,114 \cdot 0,0991 + 3,4253 \cdot 0,0421 + 5,8092 \cdot 0,1411 + 3,7905 \cdot 0,717 = 3,99$

$$b_{gc} = 3,956 \cdot 10^{-3}$$

$$c_{gc} = -1,294 \cdot 10^{-6}$$

$$d_{gc} = -0,073 \cdot 10^{-9}$$

$$e_{gc} = 0,326 \cdot 10^{-12}$$

g) Détermination de la température en fin de combustion : T_y

Connaissant T_c et sachant que $T_n = 500^\circ K$, calculons d'abord

$$(U_c - U_n)_{ma}$$

$$(U_c - U_n)_{ma} = 4,926(782 - 500) + \frac{2,423 \cdot 10^{-3}}{2}(782^2 - 500^2) + \frac{1,267 \cdot 10^{-6}}{3}(782^3 - 500^3) + \frac{0,894 \cdot 10^{-9}}{4}(782^4 - 500^4) = 2045,9 \text{ kcal/mole}$$

L'équation (4) devient alors :

$$13259,59 + 2045,9 = 1,072(U_y - U_n)_{gc}$$

Soit :

$$15305,49 = 1,072(U_y - U_n)_{gc} \quad (4')$$

Or

$$(U_y - U_n)_{gc} = 3,99(T_y - T_n) + \frac{3,956 \cdot 10^{-3}}{2}(T_y^2 - T_n^2) - \frac{1,294 \cdot 10^{-6}}{3}(T_y^3 - T_n^3) + \frac{(-0,073 \cdot 10^{-9})}{4}(T_y^4 - T_n^4) + \frac{0,326 \cdot 10^{-12}}{5}(T_y^5 - T_n^5)$$

Plusieurs méthodes permettent de résoudre l'équation (4'), mais celle qui nous renseigne le plus vite sur le résultat est la méthode itérative.

$$\text{Prenons } T_y = 2000^\circ\text{K}$$

Le calcul du membre de droite de l'équation (4') donne 12648,799. Pour que cela approche le membre de gauche de la même équation il faudrait donner une valeur plus grande à T_y .

Prenons maintenant $T_y = 2150^\circ\text{K}$. On calcule le membre de droite et on trouve 14583,39.

Il nous faut toujours augmenter T_y . Pour $T_y = 2200^\circ\text{K}$, le membre de droite nous donne 15281,20. Et pour enfin $T_y = 2210^\circ\text{K}$ on trouve comme valeur du membre de droite 15424,265, valeur supérieure à celle du membre de gauche qui est de 15305,49.

On en déduit alors que T_y a une valeur comprise entre 2200°K et 2210°K . Nous adopterons alors $T_y = 2205^\circ\text{K}$.

h) Détermination de p_y

$$p_y V_y = n_{gc} R T_y$$

$$p_c V_c = n_{ma} R T_c$$

$$\text{Or } V_y = V_c \Rightarrow \frac{p_y}{p_c} = \frac{n_{gc}}{n_{ma}} \cdot \frac{T_y}{T_c} = M_E \frac{T_y}{T_c}$$

$$\text{d'où } p_y = M_E p_c \frac{T_y}{T_c}$$

$$p_y = 1,072 \cdot 15,44 \frac{2205}{782} = 46,67 \text{ kgf/cm}^2$$

i) Paramètres d'état en "t"

La transformation $y \rightarrow t$ est isotherme $\Rightarrow T_E = T_y = 2205^\circ\text{K}$

Notons par $\xi_t = \frac{V_t}{V_y}$ le rapport volumétrique

On sait que $A W_{y \rightarrow t} = A p_y V_y \ln \frac{V_t}{V_y} = \xi_1 \xi_2 Q_n$

$$\text{et } p_y v_y = n_{gc} R T_y$$

$$\text{D'où } \frac{v_t}{v_y} = \text{Exp} \left[\frac{\xi_1 \xi_2 Q_n}{1,987 n_{gc} T_y} \right] \quad \text{avec } A.R = 1,987$$

$$\delta_t = \frac{v_t}{v_y} = 2,025$$

$$n_{gc} = (\mu_{ch} + \tau) \cdot n_{cf} = (1,076 + 0,05263) \cdot 0,4653$$

$$\text{d'où } n_{gc} = 0,52515 \text{ kmole}$$

$$p_t = \frac{p_y}{\delta_t} = \frac{46,67}{2,025} = 23,046 \text{ kgf/cm}^2$$

4 - Paramètres en fin de détente "d"

$$p_d = p_t \left(\frac{\delta_t}{\epsilon} \right)^{m_d}$$

$$T_d = T_t \left(\frac{\delta_t}{\epsilon} \right)^{m_d - 1} \quad \text{où } m_d \text{ est le coefficient polytropique pour la détente ; } m_d \in [1,25 ; 1,35]$$

On choisit $m_d = 1,3$

$$\Rightarrow p_d = 23,046 \left(\frac{2,025}{8,6} \right)^{1,3}$$

$$p_d = 3,51 \text{ kgf/cm}^2$$

$$T_d = 2205 \left(\frac{2,025}{8,6} \right)^{1,3-1}$$

$$T_d = 1428,84 \text{ } ^\circ\text{K}$$

5 - Calcul de la pression moyenne indiquée : p_{mi}
La relation suivante donne la valeur de p_{mi}

$$p_{mi} = \frac{p_a \varepsilon^{mc}}{\varepsilon - 1} \left\{ \left(\frac{p_y}{p_c} \right) \ln \delta_\varepsilon + \left(\frac{p_y}{p_c} \right) \frac{1}{mc-1} \left[1 - \left(\frac{\delta_\varepsilon}{\varepsilon} \right)^{mc-1} \right] - \frac{1}{mc-1} \left[1 - \frac{1}{\varepsilon^{mc-1}} \right] \right\}$$

$$\Rightarrow p_{mi} = 7,85 \text{ kgf/cm}^2$$

Nous allons vérifier par la suite la valeur de p_{mi} avec la méthode par la planimétrie

6 - Calcul du travail indiqué : L_i

$$L_i = p_{mi} \cdot V_s = 7,85 \cdot 10^5 \cdot 0,3675 \cdot 10^{-3} = 288,49 \text{ J}$$

$$L_i = 288,49 \text{ J}$$

7 - Calcul de la puissance indiquée : P_i

$$P_i = \frac{p_{mi} \cdot V_{\text{tot}} \cdot N}{225 \cdot 4} \quad (\text{en cv})$$

où p_{mi} est exprimée en daN/cm^2 et V_{tot} en litres

$$\Rightarrow P_i = 64,1 \text{ cv}$$

8 - Calcul de la puissance effective : P_e

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad \text{rendement mécanique} \in [0,75 ; 0,85]$$

$$\text{On choisit } \eta_m = 0,85 \Rightarrow P_e = \eta_m \cdot P_i$$

$$P_e = 0,85 \cdot 64,1$$

$$P_e = 54,48 \text{ cv}$$

9 - Erace' du cycle indiqué

Nous allons adopter comme coefficient d'arrondissement la valeur 0,94, car $\eta_{\text{arr}} \in [0,92 ; 0,96]$

Voir schéma en fin polycopé

10. calcul du couple moyen effectif : $C_{\text{moy. eff}}$

$$C_{\text{moy. eff}} = \frac{P_e}{N} \cdot 716,2 \quad (\text{en m. daN}) \quad \text{et } P_e \text{ en cv}$$

$$C_{\text{moy. eff}} = 7,8 \text{ m. daN}$$

11. Calcul de la consommation spécifique indiquée : $C_{s,i}$

Pour cela calculons d'abord le rendement indiqué η_i

$$\eta_i = 1,987 \frac{P_{i,m} \cdot \eta_{cf} \cdot T_0}{P_0 \cdot \eta_v \cdot Q_i}$$

$$= 1,987 \frac{7,85 \cdot 0,4653 \cdot 208}{1,013 \cdot 0,8 \cdot 10400}$$

$$\eta_i = 0,248$$

Le rendement effectif η_e s'écrit alors $\eta_e = \eta_m \cdot \eta_i$

$$\eta_e = 0,85 \cdot 0,248$$

$$\eta_e = 0,21$$

Or

$$C_{s,i} = \frac{632 \cdot 10^3}{\eta_i \cdot Q_i}$$

$$C_{s,i} = \frac{632 \cdot 10^3}{0,248 \cdot 10400} = 245 \text{ g/ch.h}$$

12. Calcul de la consommation spécifique effective : $C_{s,e}$

$$C_{s,e} = C_{s,i} \frac{\eta_i}{\eta_e}$$

$$C_{s,e} = 289,3 \text{ g/cv.h}$$

B. Etude du cycle à gaz ($\lambda = 1,4$)

1. Calcul du processus d'admission

Les hypothèses énoncées pour le cycle à essence lors du processus d'admission restent valables. Aussi comme les paramètres d'admission ne dépendent que des dimensions du moteur et des conditions ambiantes, les paramètres tels que p_a , T_a , η_v gardent la même valeur que dans le cycle à essence.

D'où : $p_a = 0,81 \text{ kgf/cm}^2$

$$T_a = 353 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\eta_v = 0,8$$

2 - Paramètres de fin de compression

Le coefficient polytropique m_c pour diffère de celui de l'essence du fait même que le mélange air + gaz donne une homogénéité beaucoup plus parfaite que le mélange air + essence

Prenons alors $m_c = 1,33$

D'où : $p_c = p_a \epsilon^{m_c}$

$$p_c = 0,81 \cdot (8,6)^{1,33}$$

$$p_c = 14,17 \text{ kgf/cm}^2$$

La température en fin de compression est telle que :

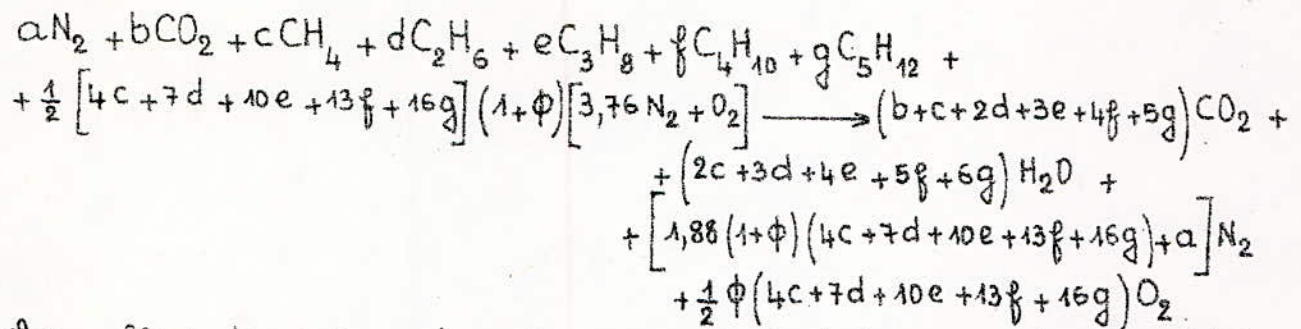
$$T_c = T_a \epsilon^{m_c - 1}$$

$$T_c = 353 \cdot (8,6)^{1,33 - 1}$$

$$T_c = 718 \text{ }^\circ\text{K}$$

3 - Paramètres d'état après la combustion

a) Réaction de combustion



Les coefficients a, b, c, d, e, f, g représentent les pourcentages relatifs à chaque élément constituant le gaz naturel. Pour 100 moles de G.N on a :

$$a = 5,18 \text{ moles de } N_2$$

$$b = 0,18 \text{ mole de } CO_2$$

$$c = 84,62 \text{ moles de } CH_4$$

$$d = 7,48 \text{ moles de } C_2H_6$$

$$e = 2,06 \text{ moles de } C_3H_8$$

$$f = 0,44 \text{ mole de } C_4H_{10}$$

$$g = 0,06 \text{ mole de } C_5H_{12}$$

La masse molaire du G.N sera alors :

$$M = (5,18 \cdot 28) + (0,18 \cdot 44) + (84,62 \cdot 16) + (7,48 \cdot 30) + (2,06 \cdot 44) + (0,44 \cdot 58) + (0,06 \cdot 72)$$

$$M = 18,51 \text{ g/mole}$$

b) Concentration massique des différents éléments constituant le gaz naturel

$$\%C = \frac{0,18 + 84,62 + 2 \cdot 7,48 + 3 \cdot 2,06 + 4 \cdot 0,44 + 5 \cdot 0,06}{18,51} \cdot 12$$

$$\%C = 69,99\% \Rightarrow [C] = 0,6999 \text{ kg/kg de GN}$$

$$\% O = \frac{2 \cdot 0,18 \cdot 16}{18,51} = 0,311\%$$

$$\Rightarrow [O] = 0,00311 \text{ kg / kg de GN}$$

$$\% H = \frac{4 \cdot 84,62 + 6 \cdot 7,48 + 8 \cdot 2,06 + 10 \cdot 0,44 + 12 \cdot 0,06}{18,51} \cdot 1 = 21,87\%$$

$$\Rightarrow [H] = 0,2187 \text{ kg / kg de GN}$$

$$\% N = \frac{2 \cdot 5,18 \cdot 14}{18,51} = 7,83\%$$

$$\Rightarrow [N] = 0,0783 \text{ kg / kg de GN}$$

c) calcul de la quantité d'air

• L'air théoriquement utilisé L_{\min} est égal à :

$$L_{\min} = \frac{1}{0,21} \left(\frac{[C]}{12} + \frac{[H]}{4} - \frac{[O]}{32} \right)$$

$$\Rightarrow L_{\min} = 0,5376 \text{ kmole d'air / kg de GN}$$

• L'air réellement utilisé se calcule par :

$$L = \lambda \cdot L_{\min} = 1,4 \cdot 0,5376$$

$$\Rightarrow L = 0,7526 \text{ kmole d'air / kg de GN}$$

d) Composition des gaz d'échappement

$$n_{CO_2} = \frac{[C]}{12} = \frac{0,6999}{12}$$

$$\Rightarrow n_{CO_2} = 0,05832 \text{ kmole / kg de GN}$$

$$n_{H_2O} = \frac{[H]}{2} = \frac{0,2187}{2}$$

$$\Rightarrow n_{H_2O} = 0,10935 \text{ kmole / kg de GN}$$

$$n_{O_2} = 0,21 L_{\min} (\lambda - 1) = 0,21 \cdot 0,5376 (1,4 - 1)$$

$$\Rightarrow n_{O_2} = 0,0451 \text{ kmole / kg de GN}$$

$$n_{N_2} = 0,79 \lambda L_{\min} = 0,79 \cdot 1,4 \cdot 0,5376$$

$$\Rightarrow n_{N_2} = 0,5945 \text{ kmole / kg de GN}$$

Le nombre total de moles en fin de combustion est égal à :

$$n_f = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{O_2} + n_{N_2}$$

$$\Rightarrow n_f = 0,80787 \text{ kmole / kg de GN}$$

e) Coefficient chimique de variation molaire

$$\mu_{ch} = \frac{n_f}{n_{cf}}$$

$$\text{Or } n_{cf} = \lambda L_{\min} + \frac{1}{18,51} = 1,4 \cdot 0,5376 + \frac{1}{18,51}$$

$$\Rightarrow n_{cf} = 0,80666 \text{ kmole / kg de GN}$$

$$\text{Donc } \mu_{ch} = 1,00149$$

f) Participation molaire de chaque constituant dans les gaz d'échappement

$$n_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_f} = \frac{0,05832}{0,80787}$$

$$\Rightarrow n_{CO_2} = 0,07218$$

$$n_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_f} = \frac{0,10995}{0,80787}$$

$$\Rightarrow n_{H_2O} = 0,13609$$

$$n_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_f} = \frac{0,0451}{0,80787}$$

$$\Rightarrow n_{O_2} = 0,05582$$

$$n_{N_2} = \frac{0,5945}{0,80787} = \frac{0,5945}{0,80787}$$

$$\Rightarrow n_{N_2} = 0,73588$$

g) Bilan énergétique

La chaleur de réaction Q_r est égale dans ce cas à Q_i car nous avons $\lambda > 1$

$$\text{Donc } Q_r = Q_i = 10837 \text{ kcal / kg de GN}$$

$$\begin{aligned} n_{ma} &= n_{cf} + \rho n_{gn} \\ &= n_{cf} (1 + \tau) \\ &= 0,80666 (1 + 0,05263) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow n_{ma} = 0,84911 \text{ kmole / kg de GN}$$

$$M_t = \frac{H_{ch} + \tau}{1 + \tau} = \frac{1,00149 + 0,05263}{1 + 0,05263}$$

$$\Rightarrow M_t = 1,00141$$

l'équation de réaction s'écrira alors :

$$\frac{0,9 \cdot 10837 (1 - 0,20)}{0,80666 (1 + 0,05263)} + (U_c - U_n)_{ma} = 1,00141 (U_y - U_n)_{gc}$$

$$\text{D'où } 9189,198 + (U_c - U_n)_{ma} = 1,00141 (U_y - U_n)_{gc} \quad (1)$$

f) Détermination des coefficients : $a_{ma}, b_{ma}, \dots, e_{ma}$

$$\begin{cases} a_{ma} = a_{air} \cdot n_{air} + a_{GN} \cdot n_{GN} \\ b_{ma} = b_{air} \cdot n_{air} + b_{GN} \cdot n_{GN} \\ c_{ma} = c_{air} \cdot n_{air} + c_{GN} \cdot n_{GN} \\ d_{ma} = d_{air} \cdot n_{air} + d_{GN} \cdot n_{GN} \\ e_{ma} = e_{air} \cdot n_{air} + e_{GN} \cdot n_{GN} \end{cases}$$

$$\text{Or } n_{air} = \frac{\lambda L_{min}}{\lambda L_{min} + \frac{1}{18,51}}$$

$$\Rightarrow n_{air} = 0,93303$$

$$n_{GN} = \frac{1}{\lambda L_{min} + \frac{1}{18,51}}$$

$$\Rightarrow n_{GN} = 0,06697$$

Pour une plage de températures de $[225^{\circ}\text{K} ; 1150^{\circ}\text{K}]$ et pour une température de référence $T_r = 500^{\circ}\text{K}$, on a le tableau suivant :

coefficients	a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	$d \cdot 10^9$	$e \cdot 10^{12}$
Air	4,9150	-0,373	2,272	0,912	0
G.N	3,535	8,033	0	0	0

D'où :

$$a_{ma} = 4,9150 \cdot 0,93303 + 3,535 \cdot 0,06697$$

$$\Rightarrow a_{ma} = 4,8225$$

$$b_{ma} = (-0,373 \cdot 0,93303 + 8,033 \cdot 0,06697) \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow b_{ma} = 0,1899 \cdot 10^{-3}$$

$$c_{ma} = (2,272 \cdot 0,93303 + 0) \cdot 10^{-6}$$

$$\Rightarrow c_{ma} = 2,119 \cdot 10^{-6}$$

$$d_{ma} = 0,912 \cdot 0,93303 \cdot 10^{-9}$$

$$\Rightarrow d_{ma} = 0,85 \cdot 10^{-9}$$

$$e_{ma} = 0$$

i) Détermination des coefficients : $a_{gc}, b_{gc}, \dots, e_{gc}$

$$\begin{cases} a_{gc} = a_{\text{CO}_2} \cdot n_{\text{CO}_2} + a_{\text{H}_2\text{O}} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} + a_{\text{N}_2} \cdot n_{\text{N}_2} + a_{\text{O}_2} \cdot n_{\text{O}_2} \\ b_{gc} = b_{\text{CO}_2} \cdot n_{\text{CO}_2} + b_{\text{H}_2\text{O}} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} + b_{\text{N}_2} \cdot n_{\text{N}_2} + b_{\text{O}_2} \cdot n_{\text{O}_2} \\ c_{gc} = c_{\text{CO}_2} \cdot n_{\text{CO}_2} + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} + c_{\text{N}_2} \cdot n_{\text{N}_2} + c_{\text{O}_2} \cdot n_{\text{O}_2} \\ d_{gc} = d_{\text{CO}_2} \cdot n_{\text{CO}_2} + d_{\text{H}_2\text{O}} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} + d_{\text{N}_2} \cdot n_{\text{N}_2} + d_{\text{O}_2} \cdot n_{\text{O}_2} \\ e_{gc} = e_{\text{CO}_2} \cdot n_{\text{CO}_2} + e_{\text{H}_2\text{O}} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} + e_{\text{N}_2} \cdot n_{\text{N}_2} + e_{\text{O}_2} \cdot n_{\text{O}_2} \end{cases}$$

Le tableau II ci-après donne les valeurs des coefficients des gaz

d'échappement toujours dans la même plage de températures et pour la même température de référence. Les valeurs des constituants molaires des gaz d'échappement ayant été calculées plus haut

coefficient	a	b.10 ³	c.10 ⁶	d.10 ⁹	e.10 ¹²	n
CO ₂	3,114	15,012	-9,848	2,952	0,3294	0,07218
H ₂ O	5,8092	-0,218	4,388	-3,495	2,077	0,13609
O ₂	3,7905	3,249	-1,204	0,162	0	0,05582
N ₂	4,1810	0,3358	-1,450	0,242	0	0,73588

D'où

$$a_{gc} = 4,3036$$

$$b_{gc} = 1,482 \cdot 10^{-3}$$

$$c_{gc} = -1,247 \cdot 10^{-6}$$

$$d_{gc} = -0,075 \cdot 10^{-9}$$

$$e_{gc} = 0,306 \cdot 10^{-12}$$

j) Détermination de la température de fin de combustion

$$\begin{aligned} (U_c - U_n)_{ma} &= a_{ma}(T_c - T_n) + \frac{b_{ma}}{2}(T_c^2 - T_n^2) + \frac{c_{ma}}{3}(T_c^3 - T_n^3) + \frac{d_{ma}}{4}(T_c^4 - T_n^4) + \\ &+ \frac{e_{ma}}{5}(T_c^5 - T_n^5) \end{aligned}$$

D'où :

$$\begin{aligned} (U_c - U_n)_{ma} &= 4,8225 (718 - 500) + \frac{0,1899 \cdot 10^{-3}}{2} (718^2 - 500^2) + \\ &+ \frac{2,119 \cdot 10^{-6}}{3} (718^3 - 500^3) + \frac{0,85 \cdot 10^{-9}}{4} (718^4 - 500^4) + 0 \\ \Rightarrow (U_c - U_n)_{ma} &= 1292,865 \text{ kcal/kmole} \end{aligned}$$

L'équation ① devient :

$$\begin{aligned} 9189,198 + 1292,865 &= 1,00141 (U_y - U_n)_{gc} \\ \text{soit : } 10482,063 &= 1,00141 (U_y - U_n)_{gc} \quad \text{②} \end{aligned}$$

avec

$$(U_y - U_n)_{gc} = a_{gc} (T_y - T_n) + \frac{b_{gc}}{2} (T_y^2 - T_n^2) + \dots + \frac{e_{gc}}{5} (T_y^5 - T_n^5)$$

La résolution de ② se faisant toujours par la méthode itérative ;
prenons $T_y = 2500^\circ\text{K}$ et calculons le membre de droite de l'équation ②
On trouve que $1,00141 (U_y - U_n)_{gc} = 11870,473$ qui est supérieur à la
valeur $10482,063$ du membre de gauche.

En prenant $T_y = 2350^\circ\text{K}$ on trouve que $1,00141 (U_y - U_n)_{gc} = 10354,29$

Et pour $T_y = 2365^\circ\text{K}$ on a que $1,00141 (U_y - U_n)_{gc} = 10494,53$

En définitive notre température T_y est comprise entre 2350°K et
 2365°K . Nous choisissons $T_y = 2364^\circ\text{K}$

k) Détermination de la pression p_y

$$p_y V_y = n_{gc} R T_y$$

$$\Rightarrow \frac{p_y}{p_c} = M_t \frac{T_y}{T_c} \Rightarrow p_y = M_t p_c \frac{T_y}{T_c}$$

$$p_c V_c = n_{ma} R T_c$$

$$p_y = 1,00141 \cdot 14,17 \cdot \frac{2364}{718} = 46,72 \text{ kgf/cm}^2$$

2) Paramètres d'état en "t"

La transformation $y \rightarrow t$ est isotherme $\Rightarrow T_t = T_y$
 $T_t = 2364^\circ\text{K}$

$$\delta_t = \frac{V_t}{V_y} = \text{Exp} \left[\frac{\xi_1 \xi_2 Q_n}{1,987 n_{gc} T_y} \right]$$

$$n_{gc} = M_t \cdot n_{ma} = 1,00141 \cdot 0,84911$$

$$n_{gc} = 0,85031 \text{ kmole / kg de GN}$$

$$\Rightarrow \delta_t = 1,629$$

$$p_t = \frac{p_y}{\delta_t} = \frac{46,72}{1,629}$$

$$p_t = 28,68 \text{ kgf/cm}^2$$

4 - Paramètres en "d"

Il s'agit d'une détente polytropique de coefficient $m_d = 1,32$

$$p_d = p_t \left(\frac{\delta_t}{\varepsilon} \right)^{m_d} \Rightarrow p_d = 28,68 \left(\frac{1,629}{8,6} \right)^{1,32}$$

$$\text{d'où } p_d = 3,189 \text{ kgf/cm}^2$$

$$T_d = T_t \left(\frac{\delta_t}{\varepsilon} \right)^{m_d - 1} \Rightarrow T_d = 2364 \left(\frac{1,629}{8,6} \right)^{1,32 - 1}$$

$$\text{d'où } T_d = 1388,1^\circ\text{K}$$

5 - Calcul de la pression moyenne indiquée

$$p_{mi} = \frac{p_a \varepsilon^{mc}}{\varepsilon - 1} \left\{ \left(\frac{p_y}{p_c} \right) \ln \delta_t + \left(\frac{p_y}{p_c} \right) \cdot \frac{1}{m_d - 1} \left[1 - \left(\frac{\delta_t}{\varepsilon} \right)^{m_d - 1} \right] - \frac{1}{m_c - 1} \left[1 - \frac{1}{\varepsilon^{m_c - 1}} \right] \right\}$$

d'où :

$$P_{mi} = 9,654 \text{ kgf/cm}^2$$

6- Calcul du travail indiqué

$$L_i = P_{mi} \cdot V_s$$

$$\Rightarrow L_i = 354,78 \text{ J}$$

7- calcul de la puissance indiquée

$$P_i = \frac{P_{mi} \cdot V_{tot} \cdot N}{225 \cdot 4} \quad \text{où } P_{mi} \text{ en daN/cm}^2 \text{ et } V_{tot} \text{ en l}$$

$$\Rightarrow P_i = 78,84 \text{ cv}$$

8- Puissance effective

En prenant $\eta_m = 0,85$, on a :

$$P_e = \eta_m \cdot P_i$$

$$\Rightarrow P_e = 67 \text{ cv}$$

9- calcul du couple moyen effectif

$$C_{moy. eff} = \frac{P_e}{N} \cdot 716,2 \quad \text{en m. daN et } P_e \text{ en cv}$$

$$\Rightarrow C_{moy. eff} = 9,597 \text{ m. daN}$$

10- Rendement indiqué

$$\eta_i = 1,987 \frac{P_{mi} \cdot \eta_{cf} \cdot T_o}{P_o \cdot \eta_v \cdot Q_i} = 1,987 \cdot \frac{9,654 \cdot 0,80666 \cdot 288}{1,013 \cdot 0,8 \cdot 10837}$$

$$\Rightarrow \eta_i = 0,507$$

11- Rendement effectif

$$\eta_e = \eta_m \cdot \eta_i = 0,85 \cdot 0,507$$

$$\Rightarrow \eta_e = 0,43$$

12 - Consommation spécifique indiquée

$$C_{s.i} = \frac{632}{\eta_i \cdot Q_i} \cdot 10^3$$

$$\Rightarrow C_{s.i} = 112,15 \text{ g/ch.h}$$

13 - Consommation spécifique effective

$$C_{s.e} = C_{s.i} \cdot \frac{\eta_i}{\eta_e}$$

$$\Rightarrow C_{s.e} = 131,94 \text{ g/ch.h}$$

CHAPITRE III

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DU MOTEUR EN FONCTIONNEMENT A L'ESSENCE ET AU GAZ NATUREL

Le moteur à manipuler équipe les voitures R1150 (RENAULT -16)
Il comporte quatre cylindres en ligne verticaux et des soupapes en
tête commandées par des culbuteurs. C'est un moteur à quatre temps
avec un refroidissement par eau.

L'alimentation s'effectue par une pompe à essence mécanique
(SOFABEX type 1002) à membrane commandée par un excentrique de
l'arbre à came et par un carburateur SOLEX du type inversé et à
émulsion.

L'allumage est assuré par un allumeur DUCCELLIER à contact
auto-nettoyant (type 4159).

La pompe à huile assurant le graissage est entraînée par
un arbre vertical à partir de l'arbre à cames.

Le circuit de refroidissement est équipé d'un purgeur.
Les caractéristiques du moteur fournies par le constructeur sont les
suivantes :

Alésage	.....	76 mm
Course	.....	81 mm
Cylindrée	.....	1470 cm ³
Rapport volumétrique	.....	8,6 à 1
Puissance fiscale	.....	8 cv
Puissance effective à 5000 tr/mn	.....
DIN	.....	58,5 cv

SAE	62,6 cv
Couple maximum à 2800tr/mn :	
DIN	10,8 m. kg
SAE	10,75 m. kg

A - Equipement pour alimentation au G.N

La conversion des véhicules au G.N.C n'est ni une opération complexe, ni une opération onéreuse. Les dispositifs à installer sont les suivantes :

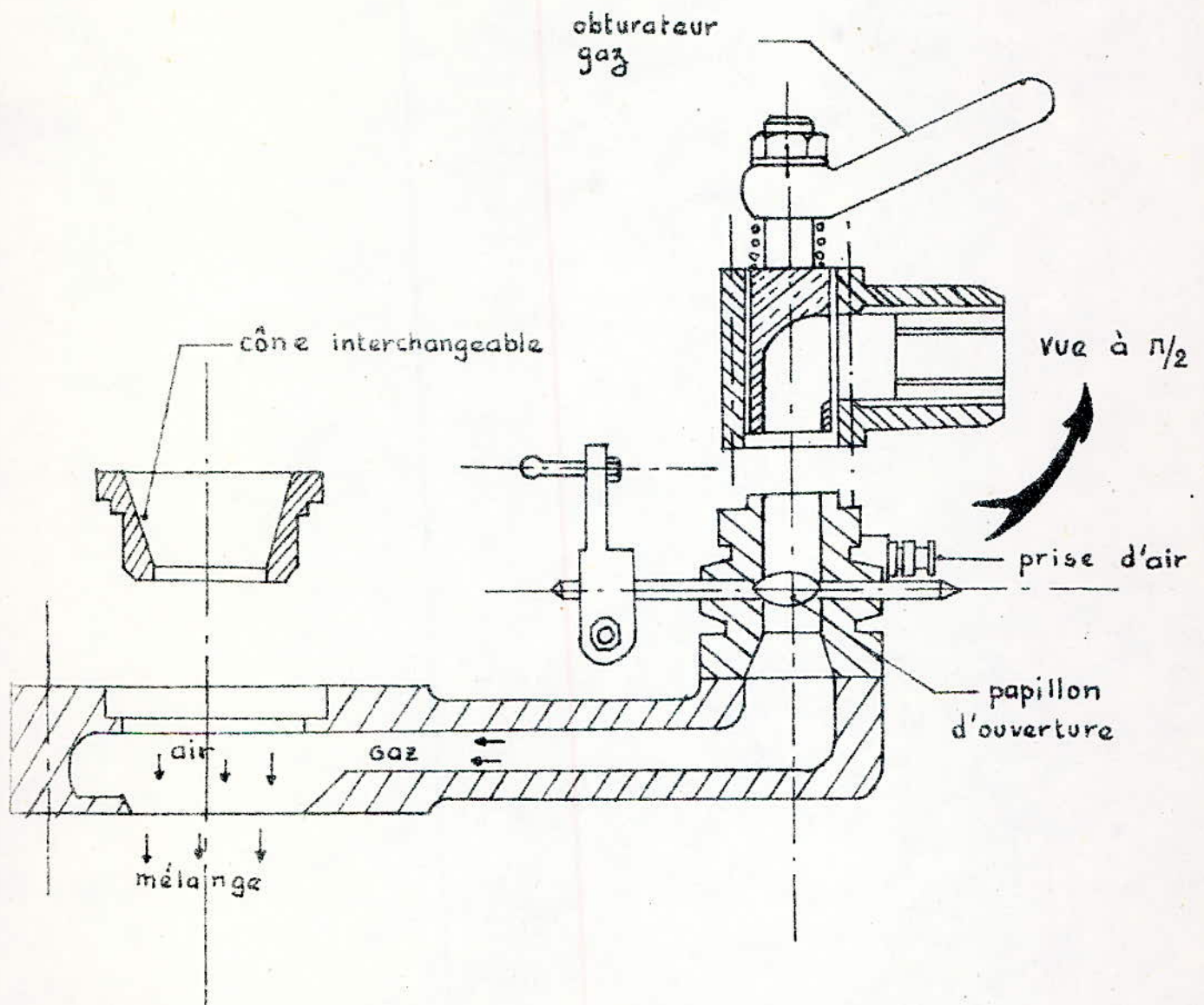
- un réservoir cylindrique stockant du G.N comprimé sous 140b
- un détendeur à deux étages ; le premier étage détend le gaz jusqu'à environ 2,5b et le deuxième jusqu'à une pression légèrement inférieure à la pression atmosphérique, de manière à éliminer tout risque de fuite à l'arrêt.
- un mélangeur placé à l'entrée du carburateur permet l'arrivée du gaz et la variation de régime par un papillon comme dans le carburateur à essence.
- un commutateur placé à portée de la main du conducteur, actionne deux électrovannes servant à sélectionner l'arrivée de tel ou tel combustible.

Voir schéma de l'installation sur les feuilles qui suivent.

B - Démarrage

Mise au point et mode opératoire

- 1°) Ouvrir le robinet du réservoir de G.N
- 2°) Purger le système d'air (ouvrir le bouchon du détendeur primaire jusqu'à ce que l'on sente du gaz sortir).
- 3°) Ouvrir lentement la vis de réglage du mélangeur
- 4°) Régler le débit du gaz pour une valeur d'environ 1000 RPM



Le Mélangeur

5°) Démarrer le moteur. Le moteur doit démarrer avec l'essence restant dans le carburateur.

6°) Si le moteur continue à tourner ; dès que toute l'essence a été consommée, il va commencer à toussoter. Lorsque le moteur est presque à l'arrêt, pousser la manette du sélecteur de carburant. Le moteur reprendra son régime ; maintenant il est sur le G.N. Il est important que toute l'essence soit consommée avant de pousser le sélecteur à fond. Sinon le moteur s'éteindra à cause du mélange trop riche (Essence + G.N).

7°) Baisser lentement la vitesse du moteur en fermant la vis de débit du gaz.

8°) Réduire la vitesse du moteur jusqu'aux spécifications recommandées pour le réglage de l'essence (650 tr/mn pour le carburateur SOLEX).

9°) Ajuster la pression du détendeur primaire à environ 55 pounds

10°) Augmenter la vitesse du moteur.

C - Appareillage et Mesures

a) Appareillage

Pour caractériser un moteur sur un banc d'essais, on doit effectuer les mesures des grandeurs suivantes, bien entendu, en utilisant les appareils convenables :

1°) le couple

2°) le nombre de tours par minute du moteur

3°) la température

- de l'air ambiant

- du fluide de refroidissement à l'entrée et à la sortie du

circuit .

- de l'huile de graissage
- des gaz d'échappement
- 4) la pression d'huile
- 5) le débit de combustible
- 6) le débit d'air
- 7) l'analyse des gaz d'échappement

b) Mesures

Mesure du couple

* Principe du frein Froude (Schenck)

Il s'agit d'un frein dynamométrique hydraulique travaillant simplement par turbulence de l'eau, nécessitant seulement une alimentation régulière. Le frein étant partiellement rempli d'eau, le stator a tendance à être entraîné en rotation dans le sens du rotor par les tourbillons d'eau. Il en est cependant empêché par un bras de levier relié à une balance.

** Précautions à prendre pour l'utilisation du frein
Pour éviter toute détérioration de l'installation et tout incident, l'utilisateur doit observer strictement les instructions suivantes :

- * La vitesse maxima du frein 7500 tr/mn ne doit pas être dépassée
- * Avant le démarrage, mettre le levier d'écope sur 0.
- * Alimenter l'échangeur par l'eau du réseau
- * Ouvrir le robinet d'alimentation en eau du banc juste avant le démarrage afin d'éviter le grippage.
- * L'eau évacuée du banc ne doit pas dépasser la température 70°C (risque d'entartrage plus important).
- * Arrêter l'alimentation en eau du banc avant d'arrêter le

moteur afin d'éviter la corrosion du rotor et du stator.

* Avant l'arrêt du moteur, remettre le levier d'écope sur 0, et la vitesse du moteur au ralenti.

c) Méthode de Calcul

La puissance étant égale au produit de la force (K) par la vitesse circonférentielle (v) appliquée au rayon de l'anneau d'eau (r). Si (n) est la vitesse de rotation, le couple ($K \cdot r$) est appliqué au stator double, qui agit de son côté sur la balance au moyen du levier (R).

$$\text{Ainsi } P = K \cdot v = K \cdot r \cdot n \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (\text{kgm/s})$$

Mais on doit toujours avoir :

$$C = K \cdot r = F \cdot R \quad (\text{kg} \cdot \text{m})$$

$$\text{d'où } P \text{ (cv)} = F \cdot R \cdot n \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{1}{75} \quad \text{avec } R = 0,716 \text{ m}$$

Si l'on choisit un bras de levier $R = 0,974 \text{ m}$, on mesure la puissance en kW telle que :

$$P \text{ (kW)} = F \cdot 0,974 \cdot n \cdot \frac{2\pi}{60 \cdot 75 \cdot 1,36}$$

Autrement dit, quelque soit la valeur de (R)

$$P = \frac{F \cdot n}{1000}$$

où P est la puissance mesurée sur le banc, effectivement développée par le moteur. Pour notre cas P est en chevaux car le bras de levier R est égal à $0,716 \text{ m}$; F est en kgf ; N en tr/mn

* Couple moteur

$C = 0,716 F$ où C est en kg.m et F en kgf
 $0,716 \text{ m}$ est le bras de levier de la balance

* Consommation spécifique

C'est le poids en grammes de combustible consommé par cheval-heure
 En pratique, on procède comme suit :

- Pour l'essence : on mesure la variation de temps Δt mise par le moteur pour consommer une quantité déterminée de carburant à un régime donné.

Par exemple s'il s'écoule Δt secondes pour la consommation de $v \text{ ml}$ d'essence de masse volumique ρ_e , à un régime où la puissance développée est $P(\text{cv})$, la consommation spécifique est donnée par :

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

$$\text{où } \dot{q}_c = \frac{v \cdot \rho_e}{\Delta t} \quad (\text{en } \text{g/s})$$

- Pour le gaz

Le débitmètre à gaz (étalonné préalablement sur rotamètre. Les résultats de cet étalonnage sont donnés par le tableau et la courbe qui suivent) donne la variation de pression ΔP_g en mm CE . Cette variation étant égale à la somme des dénivellations en dessous et en dessus de zéro.

ΔP_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 ; $1,013 \text{ b}$). Pour déterminer le débit de gaz à la température et à la pression de fonctionnement, on doit procéder à une correction, nous ramenant de

l'état standard à l'état réel par la formule suivante :

$$A = \frac{H'}{760} \sqrt{\frac{273+t'}{273+15}}$$

où A est le facteur multiplicatif dont doivent être affectés les résultats relevés au cours de l'essai .

H' et t' représentent respectivement la pression et la température ambiantes relevées au cours de l'essai .

Les états standards sont :

Pression atmosphérique $H = 760$ mm Hg

Température atmosphérique $t = 15^\circ\text{C}$

Une fois connu le débit réel de combustible \dot{q}_c (g/s), on détermine la consommation spécifique de la même manière que pour l'essence

$$C_s = \frac{3600 \dot{q}_c}{P_{\text{eff}}} \quad \text{en g/cv.h}$$

* Rendement global ou effectif

Son expression dans la pratique est donnée par :

$$\eta_g = \frac{632 \cdot 10^3}{C_s \cdot P_{ci}}$$

où C_s est la consommation spécifique

P_{ci} est le pouvoir calorifique inférieur du combustible en kcal/kg .

* Consommation horaire

$$C_h = 3,6 \frac{v}{t} \quad \text{en l/h}$$

où t est le temps d'écoulement de la quantité de combustible
 $v = 100 \text{ ml}$.

* Mesure du débit d'air

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

$$W = 1,43 d^2 \sqrt{\frac{h \cdot B}{273 + t}}$$

où d est le diamètre de l'orifice en cm

h mesure la dépression à travers l'orifice

B lecture du baromètre en cm de Hg

t est la température ambiante en °C

W débit massique d'air en g/s

Les essais au banc sont effectués à pleine charge, c'est-à-dire que le papillon des gaz est grand ouvert. Le régime est alors limité par la résistance éprouvée par le vilebrequin. Le freinage au banc est réalisé par la télécommande qui permet de charger ou de décharger le moteur soit d'une façon continue, soit par de faibles pulsations.

Etalonnage du débitmètre à gaz sur rotamètre
(rotamètre étalonné pour méthane à 2,5b et 20°C)

ΔP (mm CE) lue sur débit- mètre à gaz (à étalonner)	\dot{m}_{Lu} (g/s) débit lu sur rotamètre (étalonné à 20°C, 2,5b pour CH ₄)	$\dot{m}_{réel}$ (g/s) débit réel de GN à 14°C 2,5b absolus $\dot{m}_{réel} = \dot{m}_{Lu} \sqrt{\frac{p_{réel}}{p_{Lu}}}$	$\dot{m}_{réel}$ (g/s) débit réel de GN à 14°C 755,5 mm Hg (donnant ΔP)	$\dot{m}_{réel}$ (g/s) débit réel de GN à 15°C 760 mm Hg état 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	1,0	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	2,0	2,17	2,17	2,19

9 (97)

courbe d'étalonnage du débimètre à gaz

$T = 288 \text{ K}$
 $P = 1013 \text{ bar}$

$\rho = 0.767 \text{ kg/m}^3$

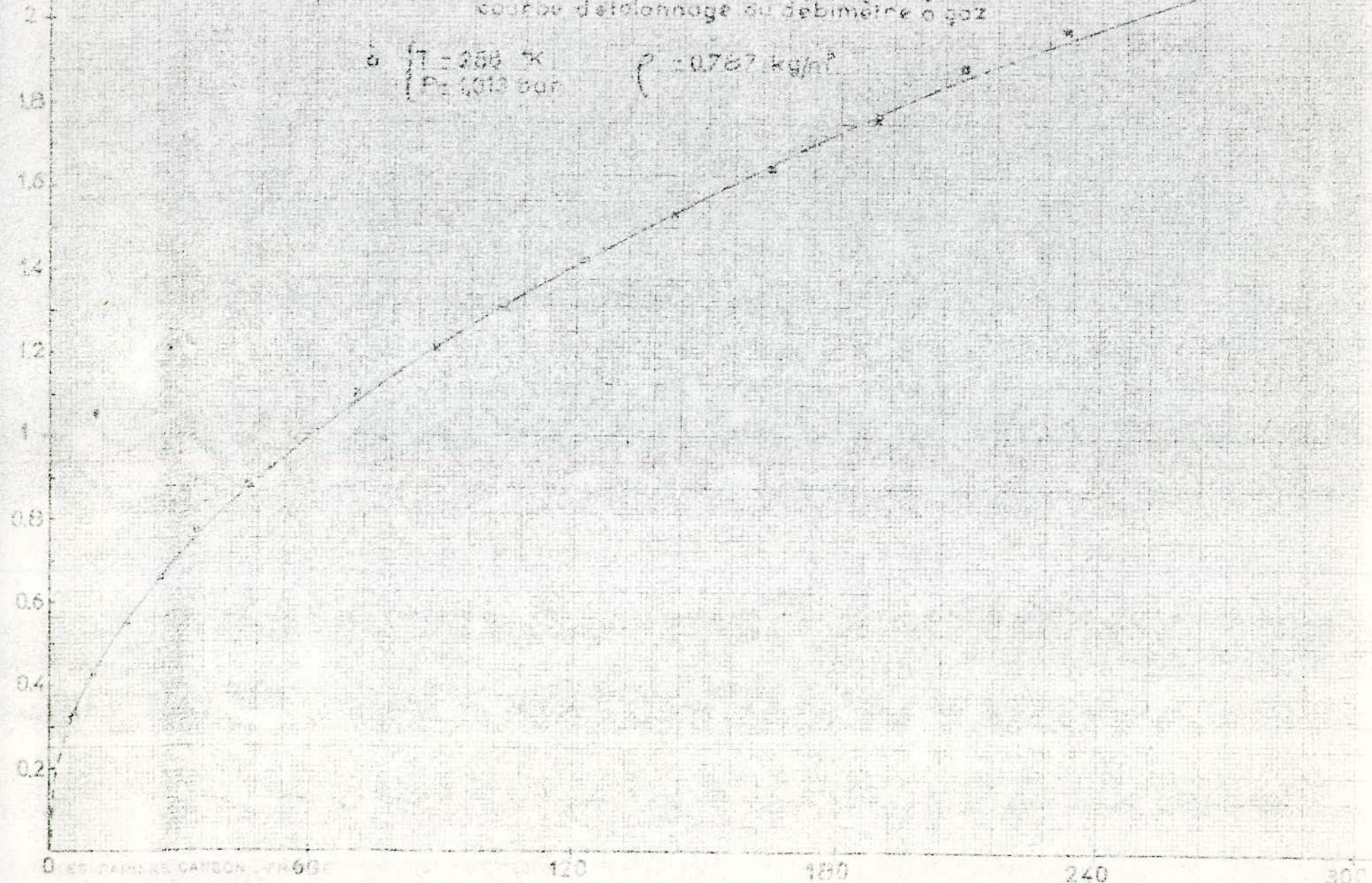


Tableau 1 a

Essai du 16-12-86

$d = \phi = 4,4 \text{ mm}$
orifice air

• Carburant : Essence Super

$\rho = 0,74 \text{ g/cm}^3$
 $P_{ci} = 10400 \text{ kcal/kg}$

• Gicleur : { Essence 145
Air 40

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

N (tr/mn)	F (kgf)	Δt (s)	\dot{q}_c (g/s)	t_{ee} (°C)	t_{se} (°C)	h (cm CE)	W (g/s)	$t_{g.e}$ (°C)	t_R (°C)
1000	13,4	51,42	1,43	61	84	0,8	12,58	520	76
1500	14,2	38,42	1,92	64	84	1,6	17,79	570	80
2000	14,6	28,23	2,62	69	88	2,4	21,79	635	83
2500	14,4	22,85	3,23	73	91	3,5	26,31	680	88
2800	14	21,02	3,52	74	91	4,2	28,83	700	89
3000	13,5	20,00	3,72	75	92	4,7	30,49	710	90
3500	12,8	17,45	4,24	75	91	6,4	35,58	720	95
4000	12	16,27	4,54	75	90	7,5	38,52	730	95
4500	11,5	15,15	4,88	70	83	9	42,2	740	85
5000	11	14,62	5,06	64	77	10,5	45,58	745	55
5500	9,3	13,33	5,55	57	67	11	46,65	765	70

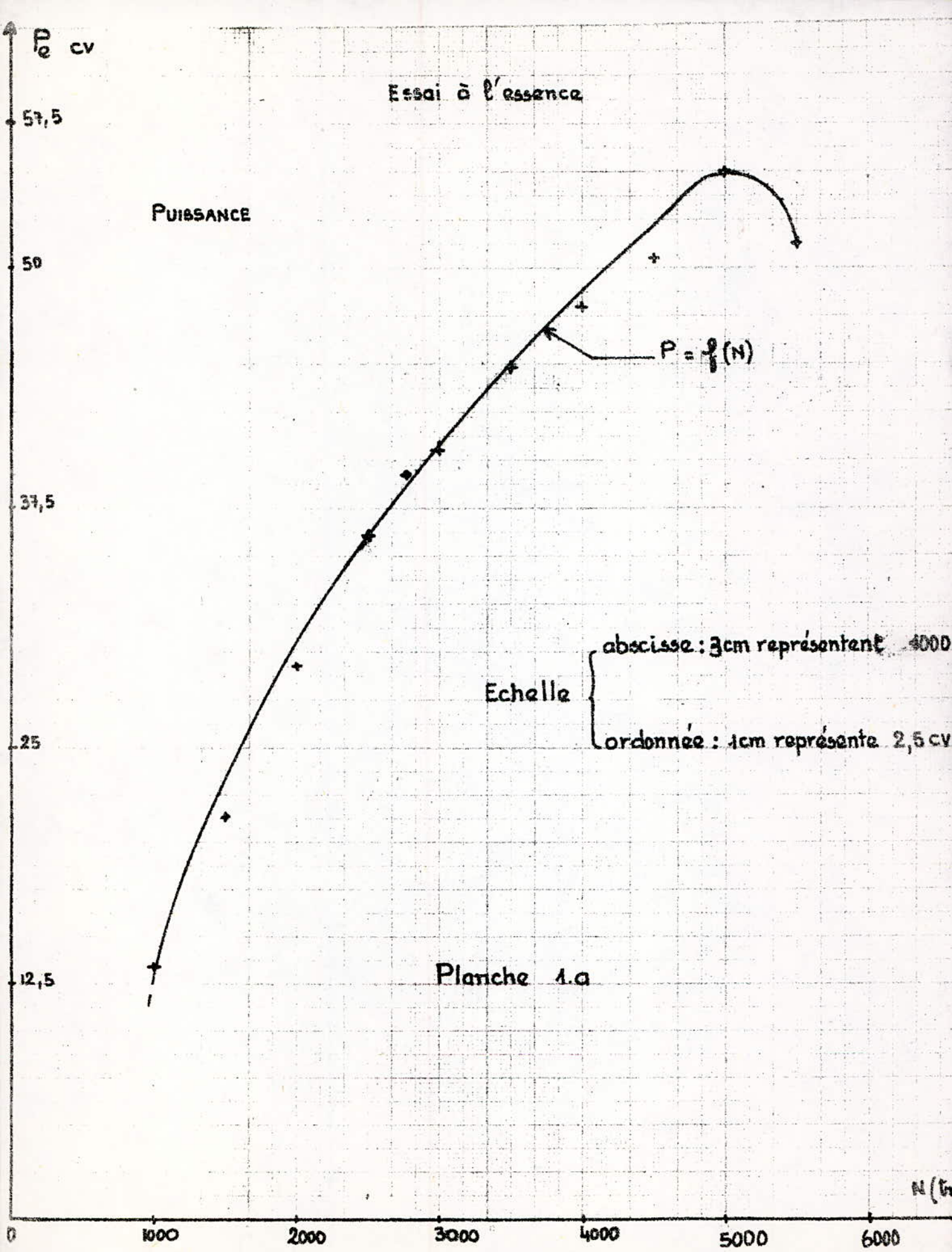
Essence

Tableau 1. b

N (tr/min)	$C = 0,716F$ (kg.m)	$P = \frac{F \cdot N}{1000}$ (CV)	$C_s = \frac{3600q}{P}$ (g/cv.h)	$C_h = 3,6 \frac{v}{t}$ (l/h)	$\eta_g = \frac{632 \cdot 10^3}{C_s \cdot P \cdot c_i}$	p_h (kg/cm ²)
1000	9,59	13,4	386,63	7	0,157	2,2
1500	10,17	21,3	325,53	9,37	0,186	2,3
2000	10,45	29,2	323,17	12,75	0,188	2,3
2500	10,31	36	323,85	15,75	0,187	2,4
2800	10,02	39,2	323,3	17,12	0,188	2,6
3000	9,66	40,5	331,2	18,12	0,183	2,7
3500	9,16	44,8	340,76	20,62	0,178	3
4000	8,59	48	341,11	22,12	0,178	3
4500	8,23	51,75	339,79	23,75	0,179	3,4
5000	7,87	55	331,3	24,62	0,183	3,4
5500	6,65	51,15	390,71	27	0,155	4

Tableau 2 . b

N (tr/min)	$C = 0,716F$ (kg.m)	$P = \frac{F \cdot N}{1000}$ (CV)	$C_s = \frac{3600q_c}{P}$ (g/cv.h)	$C_h = \frac{3,6q_c}{P \cdot 10^3}$ (m ³ /h)	$\eta_g = \frac{632 \cdot 10^3}{C_s \cdot P \cdot c_i}$	p_h (kg/cm ²)
1000	2,86	4	477	0,00229	0,122	2,8
1500	9,54	20	140,4	0,00338	0,415	3,2
2000	10,02	28	109,28	0,00368	0,533	3,3
2500	9,05	31,6	117,5	0,00447	0,496	2,8
3000	8,34	35	130	0,00548	0,448	3
3500	7,48	36,6	155	0,00683	0,376	3
4000	6,62	37	190,7	0,00804	0,305	3
4500	5,72	36	210	0,00936	0,277	3,1
5000	4,29	30	279,6	0,0101	0,208	3,8



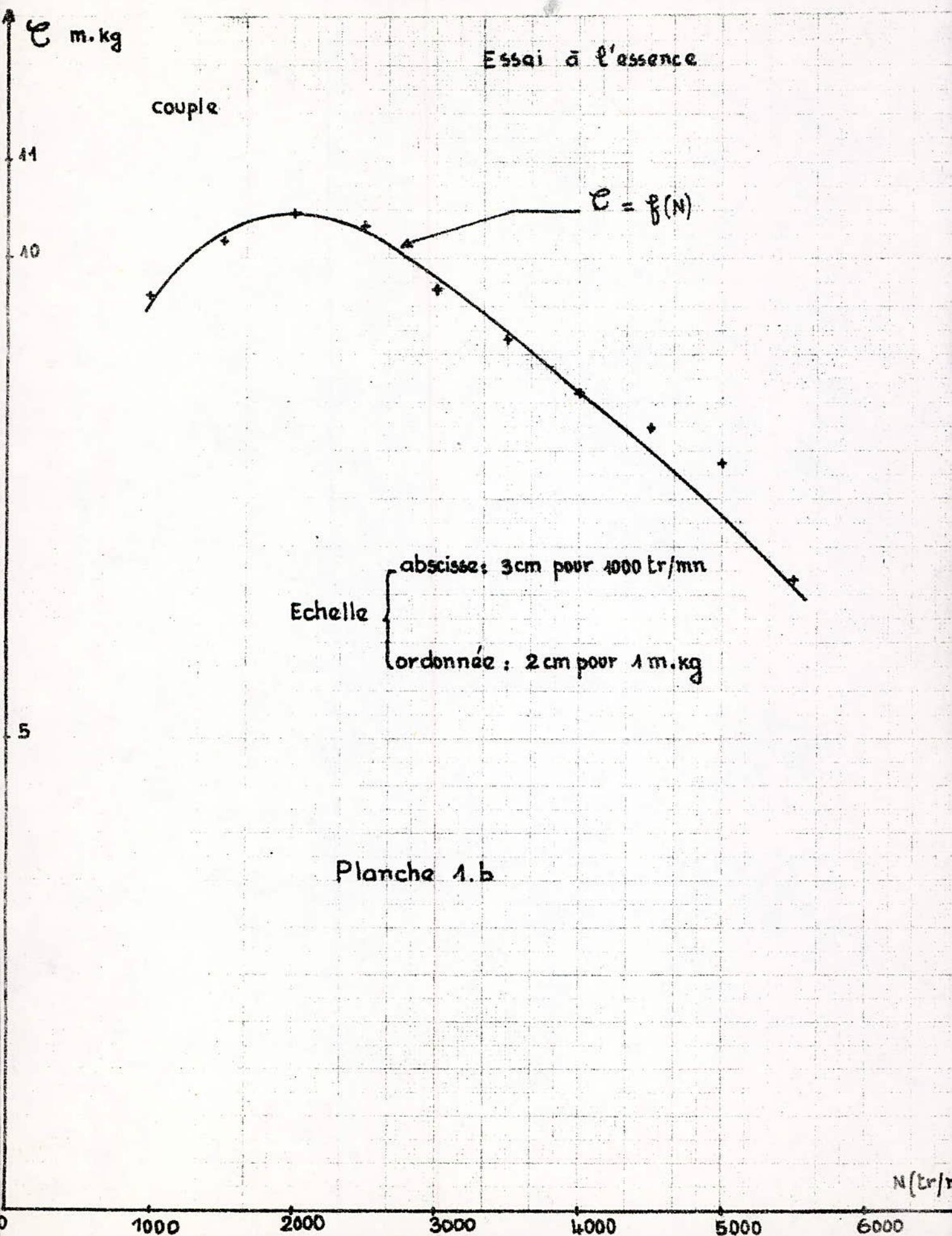


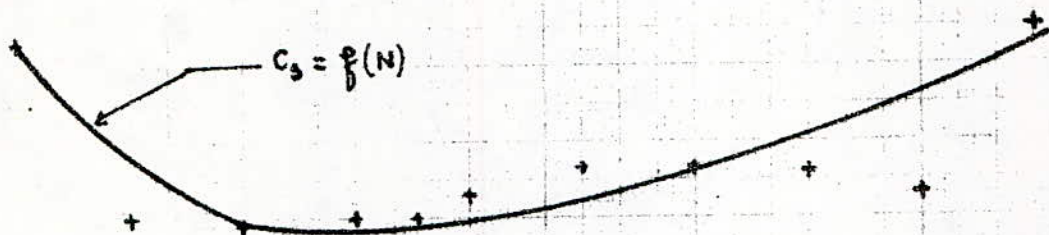
Planche 1.b

c_s (g/cv.h)

consommation spécifique

Essai à l'essence

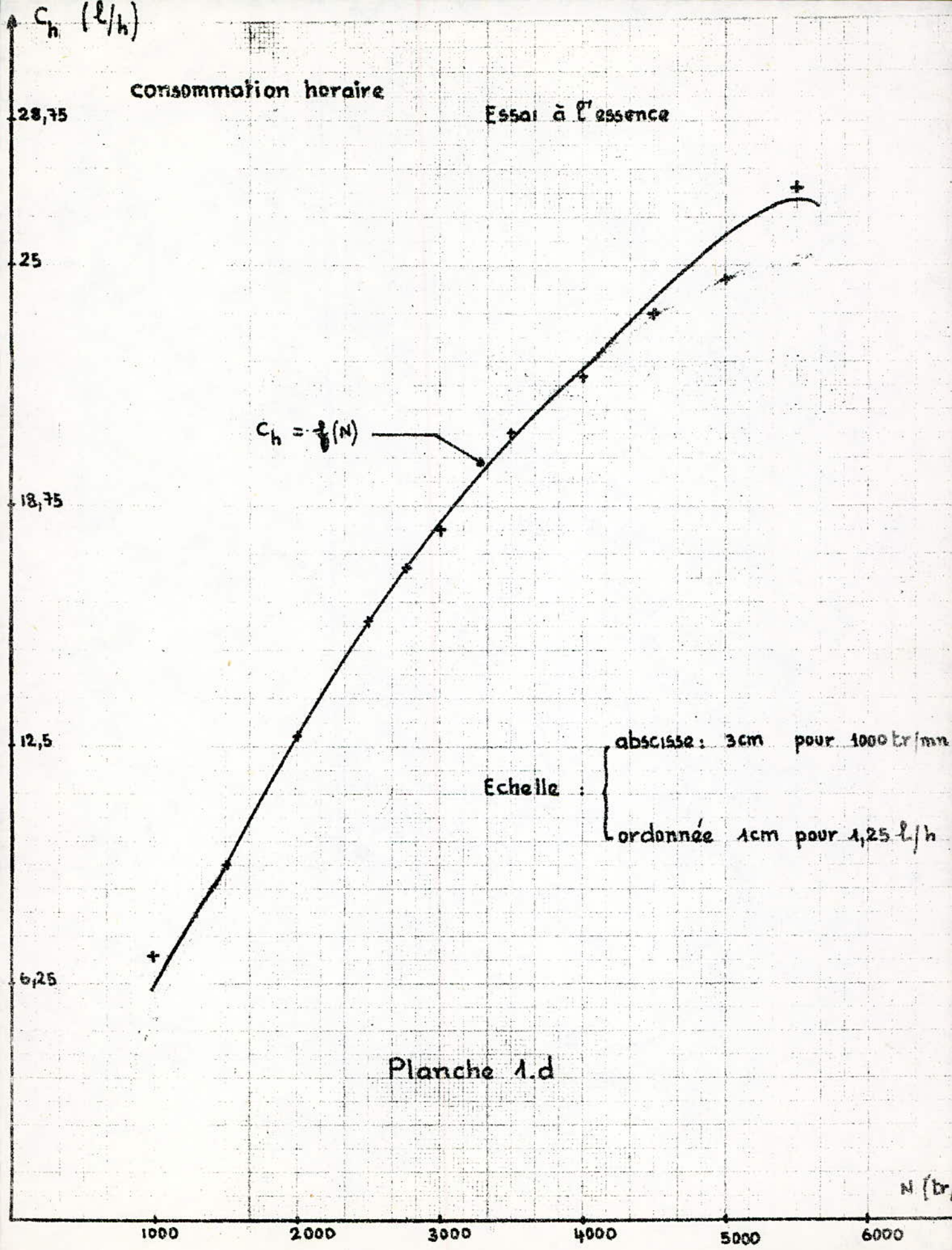
Planche 1.c



Echelle {
abscisse : 3cm représentent 1000 tr/min
ordonnée : 1cm représente 27 g/cv.h

1000 2000 3000 4000 5000 6000

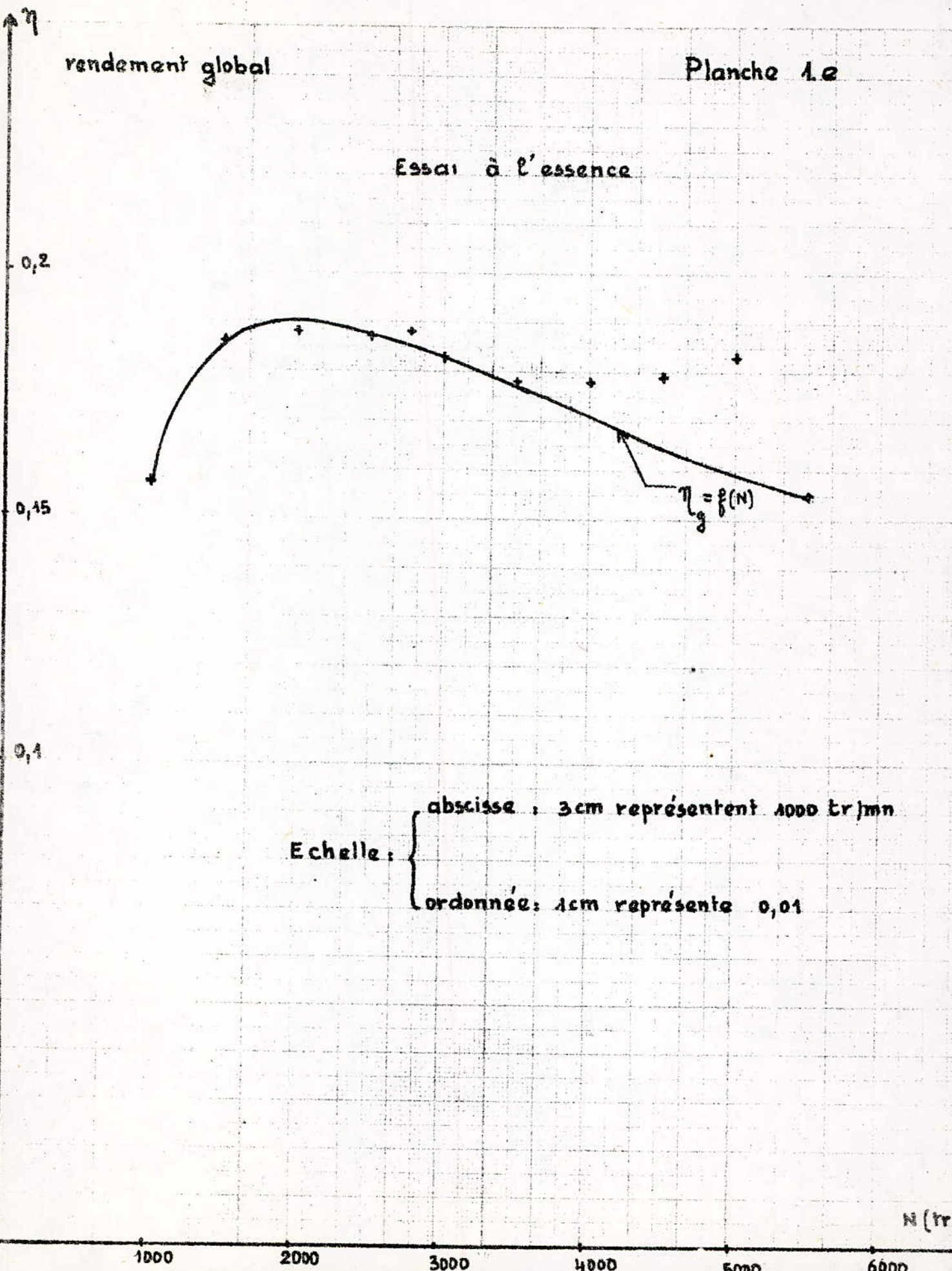
N (tr/min)



rendement global

Planche 1.e

Essai à l'essence

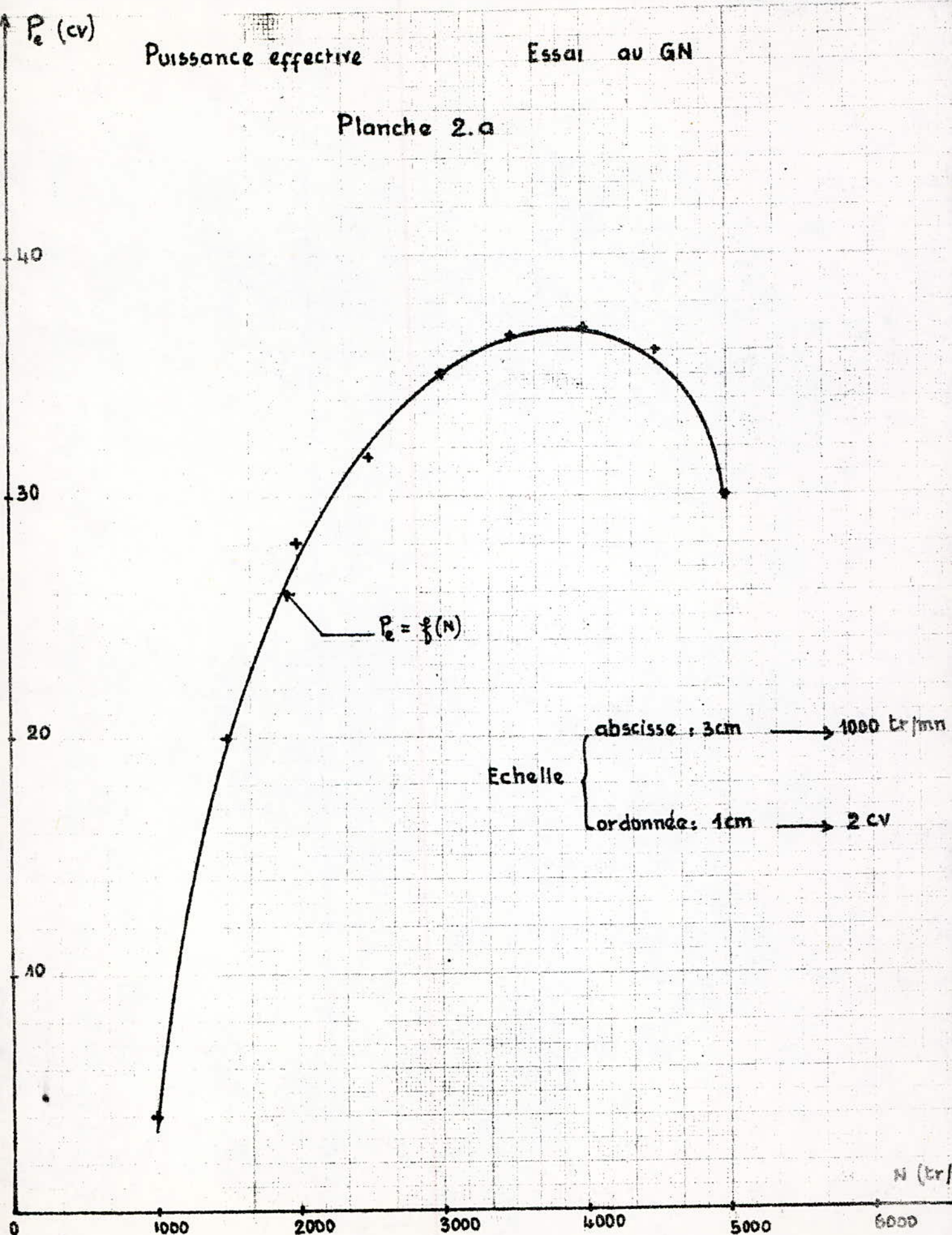


P_e (cv)

Puissance effective

Essai au GN

Planche 2.a



$P_e = f(N)$

Echelle {
abscisse : 3cm → 1000 tr/min
ordonnée : 1cm → 2 cv

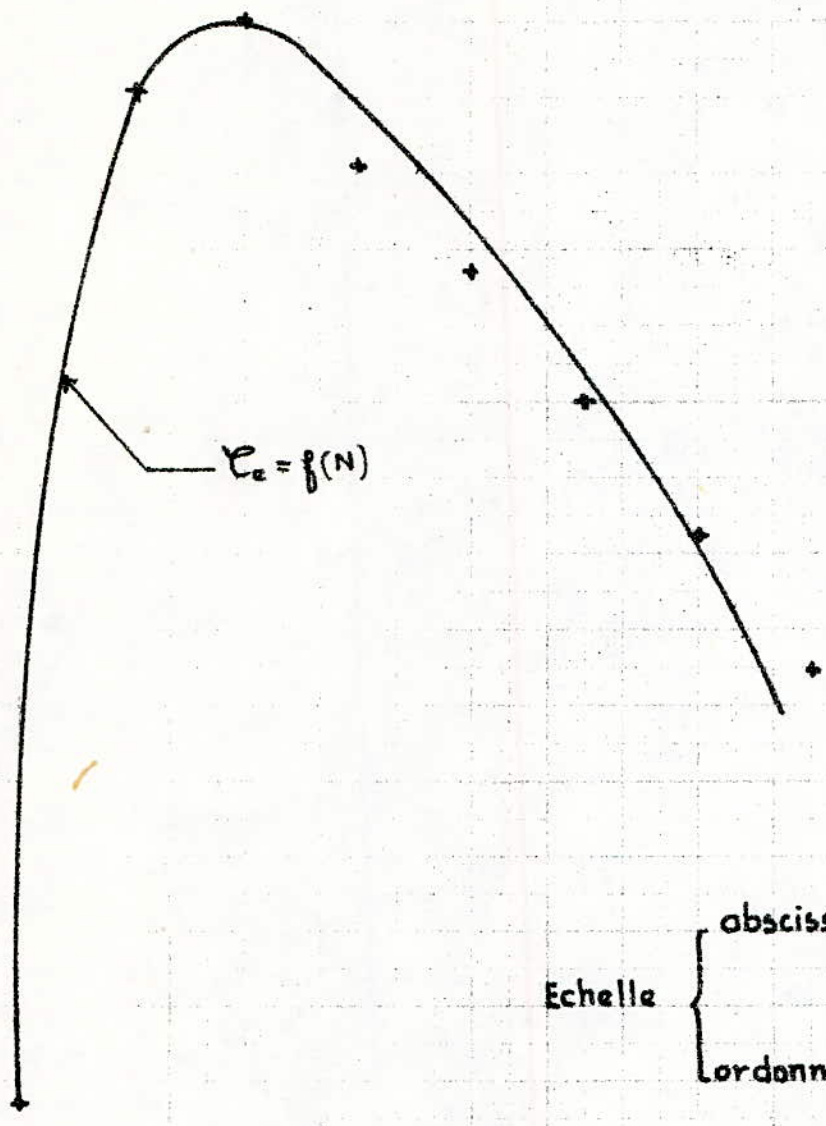
N (tr/min)

(m. Kg)

couple

Essai au GN

Planche 2. b



Echelle {
abscisse : 3 cm représentent 1000 tr/min
ordonnée : 2 cm représentent 1 m. Kg

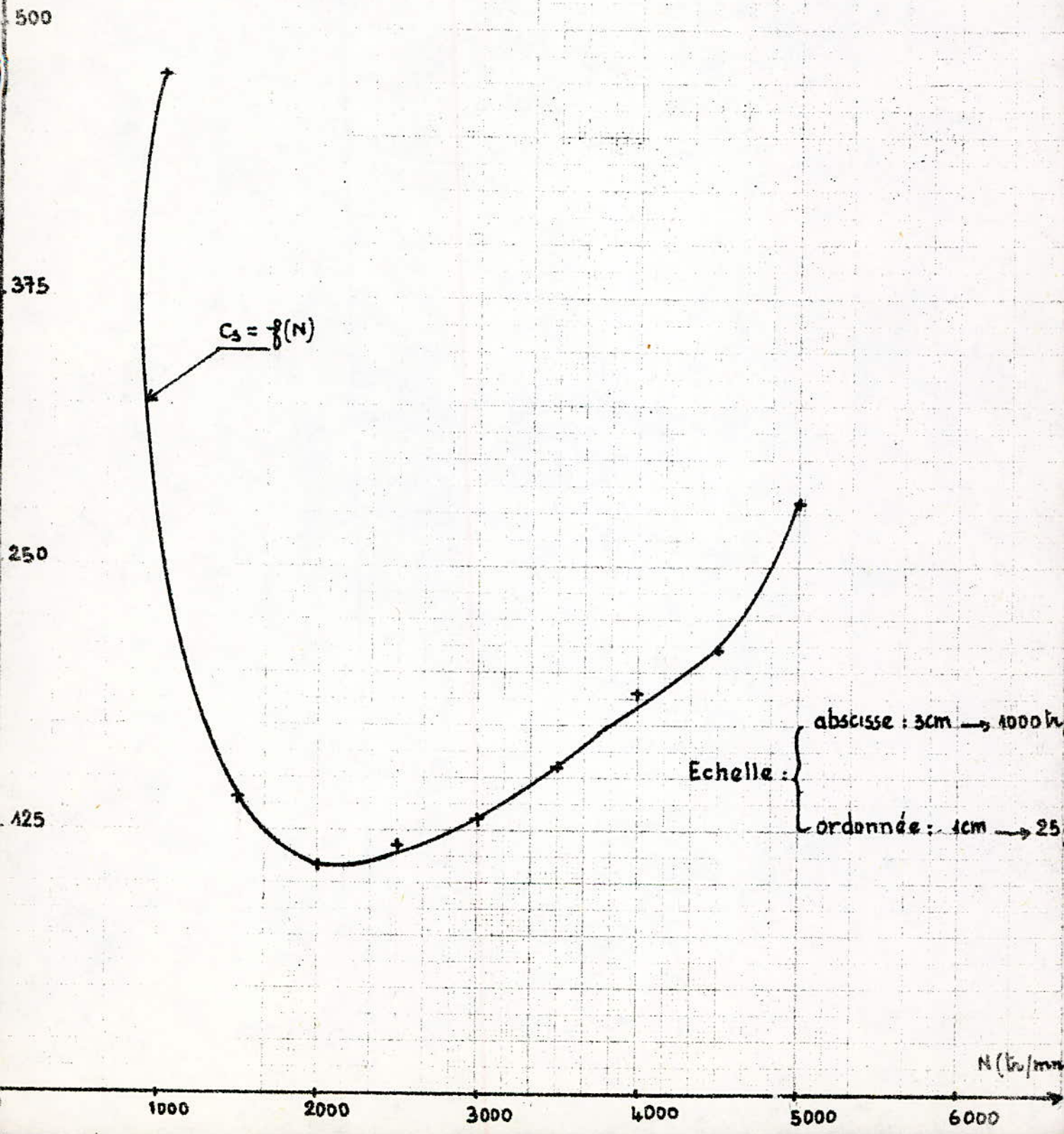
1000 2000 3000 4000 5000 6000 N (tr/min)

C_3 (g/cv.h)

Consommation spécifique

Essai au GN

Planche 2.c



$C_h (m^3/h)$

Consommation horaire

Essai au GN

Planche 2.d

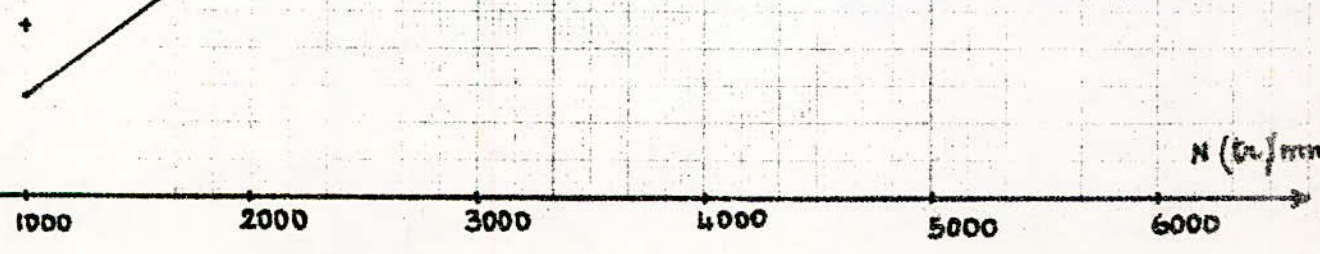
Echelle : {
abscisse : 3cm représentent 1000 lx/min
ordonnée : 1cm représente 0,001 m^3/h

0,015

0,01

0,005

$C_h = f(N)$

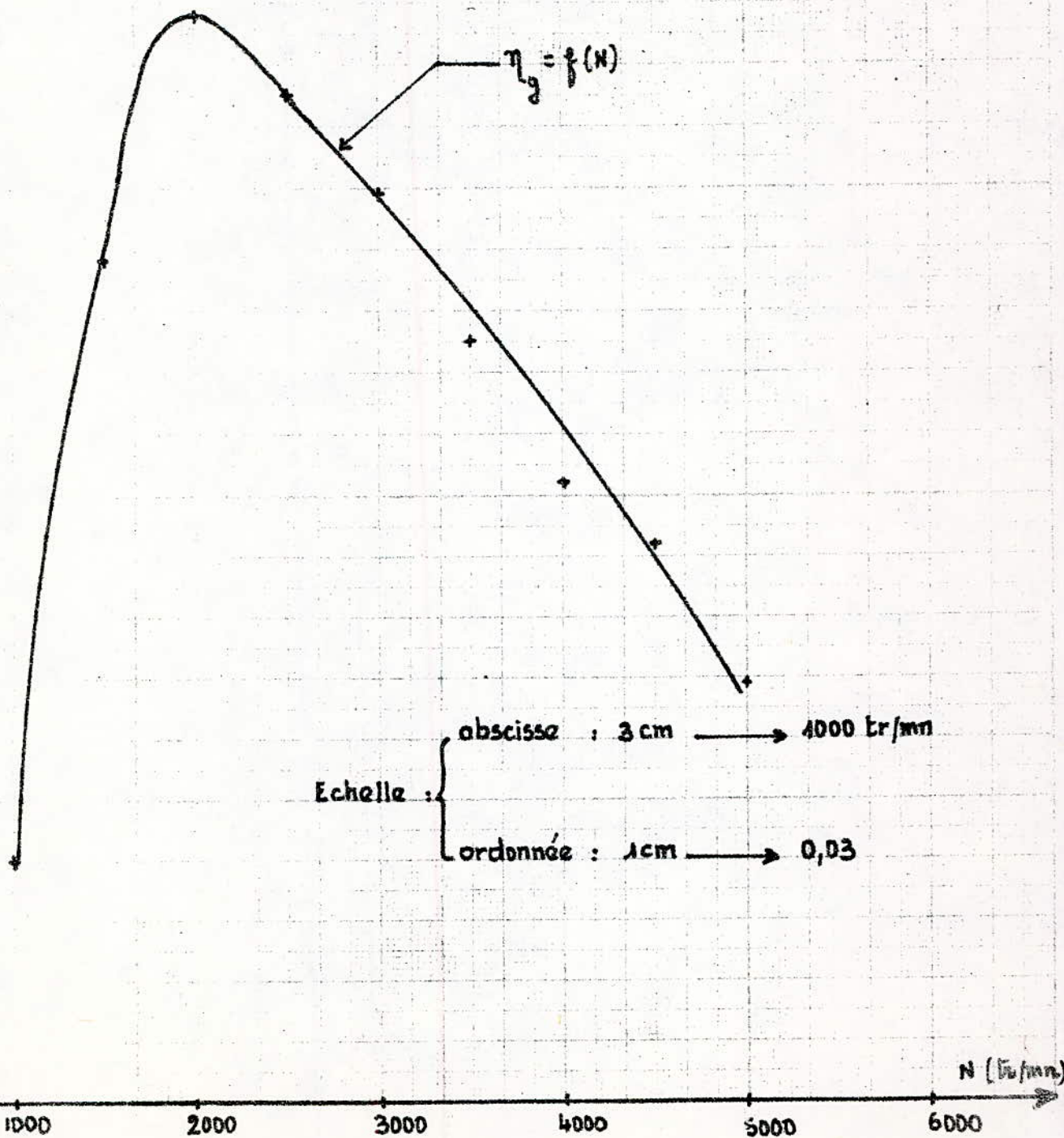


N (lx/min)

Rendement global

Essai au GN

Planche 2.e



ANALYSE DES GAZ D'ÉCHAPPEMENT ALLUMAGE

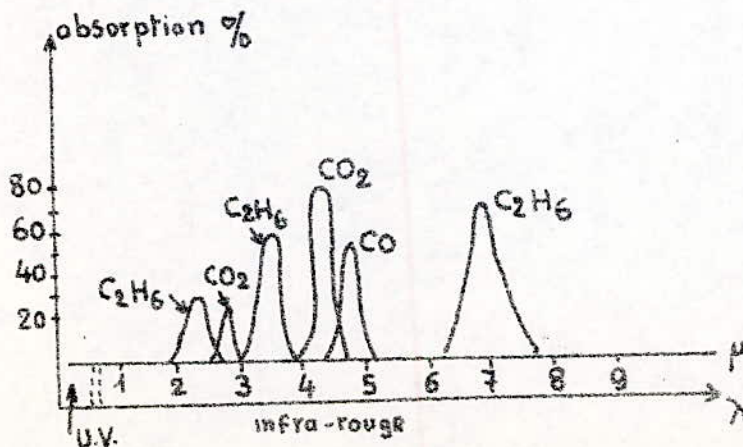
A - Analyse des gaz d'échappement

Pour parfaire notre étude de mise en marche, nous devons vérifier si le réglage au niveau de la carburation est correct; d'où l'importance de l'analyse des gaz. L'analyse des gaz nous permet de nous rendre si la combustion est complète ou non. Dans le premier cas, nous n'avons pas la formation de CO, alors que dans le deuxième, l'inévitable présence de l'oxyde de carbone (CO) est due à un mélange riche en combustion.

Étant donné que les analyseurs sont en panne, nous n'avons pu effectuer nos mesures. Néanmoins, nous nous sommes étendu à l'aspect théorique du principe des analyseurs des gaz, afin que ces derniers, une fois réparés, puissent servir aux promotions à venir pour la continuation de cette œuvre inachevée.

L'analyseur des gaz tels que le CO et le CO₂ utilise le principe de l'absorption par Infra-rouge, alors que l'analyseur d'oxygène est sur les propriétés paramagnétiques de l'oxygène.

1 - Analyseur à Infra-rouge



Principe et Fonctionnement

La courbe ci-dessous montre que le domaine de l'infra-rouge s'étend entre les longueurs d'onde de 3μ et $5,2\mu$. Dans cette plage le CO est absorbé à 60% entre $4,3\mu$ et $5,2\mu$ tandis que le CO₂ entre 4μ et $4,6\mu$ est absorbé à 80%. Ces deux types de gaz dont les absorptions se font dans deux plages tout à fait différentes peuvent facilement être reconnus.

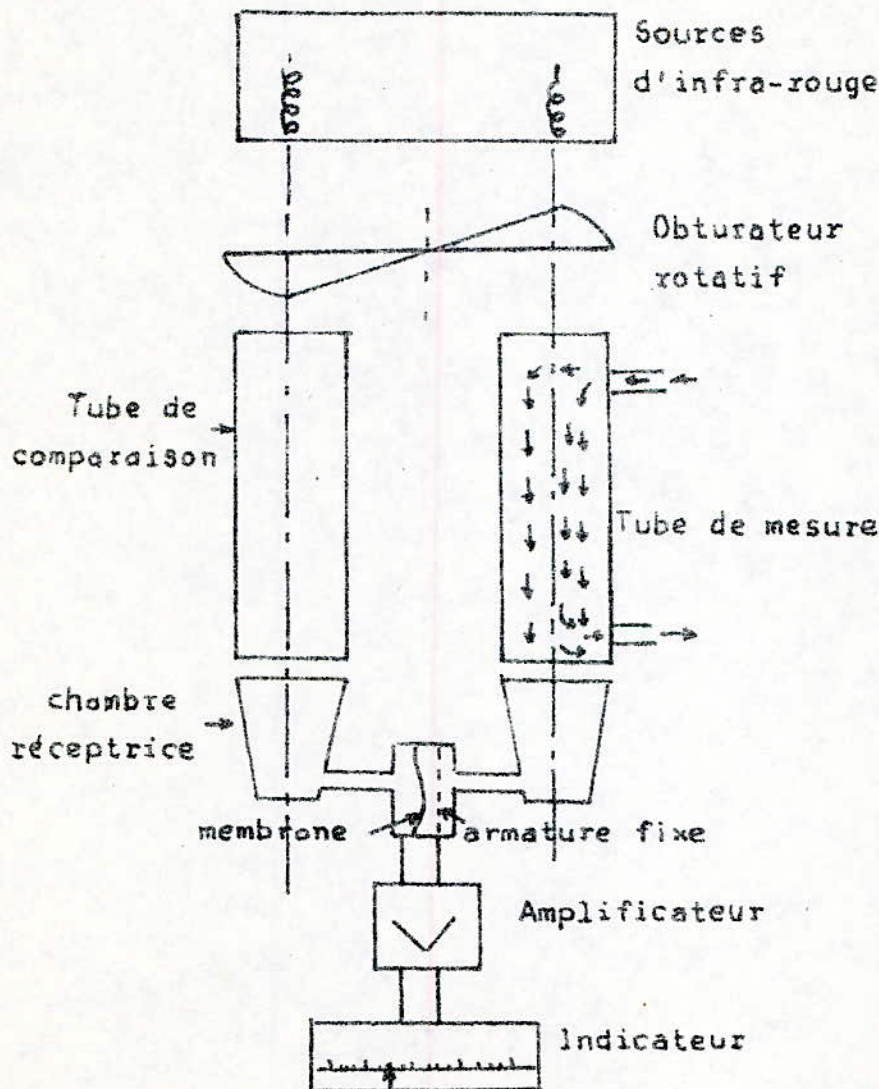


Schéma de principe de l'analyseur à infra-rouge

Les rayons infra-rouges émis par deux filaments montés en série et alimentés par un courant continu, traversent donc de haut en bas, deux tubes dont l'un, dit tube de comparaison est rempli d'un gaz ne les absorbant pas (oxygène par exemple). Le second tube qui est le tube de mesure reçoit le gaz à analyser. Le rayonnement qui atteint le gaz récepteur contenu dans un récipient conique placé en dessous du tube de mesure présente une faible intensité due à l'absorption du rayonnement par le gaz. Pendant ce temps le gaz récepteur placé dans un récipient conique en dessous du tube de comparaison reçoit le rayonnement à pleine force.

Le gaz dans les deux chambres réceptrices séparées par une membrane en feuille d'aluminium, présente au départ, la même composition, le même volume et la même pression. Du fait qu'il reçoit des rayonnements d'intensités différentes, ce gaz récepteur, subit une élévation de température et de pression différente, ce qui provoque une déformation de la membrane. Cette déformation de la membrane modifie la capacité électrique d'un condensateur dont une armature est formée par la membrane, tandis que l'autre armature est fixe.

L'obturateur rotatif, entraîné par un moteur synchrone interrompt périodiquement et simultanément les deux faisceaux infra-rouges, afin d'éviter les influences parasites. Les variations périodiques de capacité du condensateur à membrane donnent ainsi une tension alternative ne dépendant que du rayonnement reçu périodiquement.

Si l'on veut mesurer seulement la teneur en CO par exemple, on intercale sur le trajet des faisceaux infra-rouges une chambre de filtrage contenant du CO₂, devant chaque tube. Les deux chambres reçoivent alors moins de rayonnement pour permettre une déformation

modérée de la membrane du condensateur. Mais l'infrarouge absorbé dans le tube de mesure ne correspond qu'au CO.

2 - Analyseur d'oxygène

a) Principe

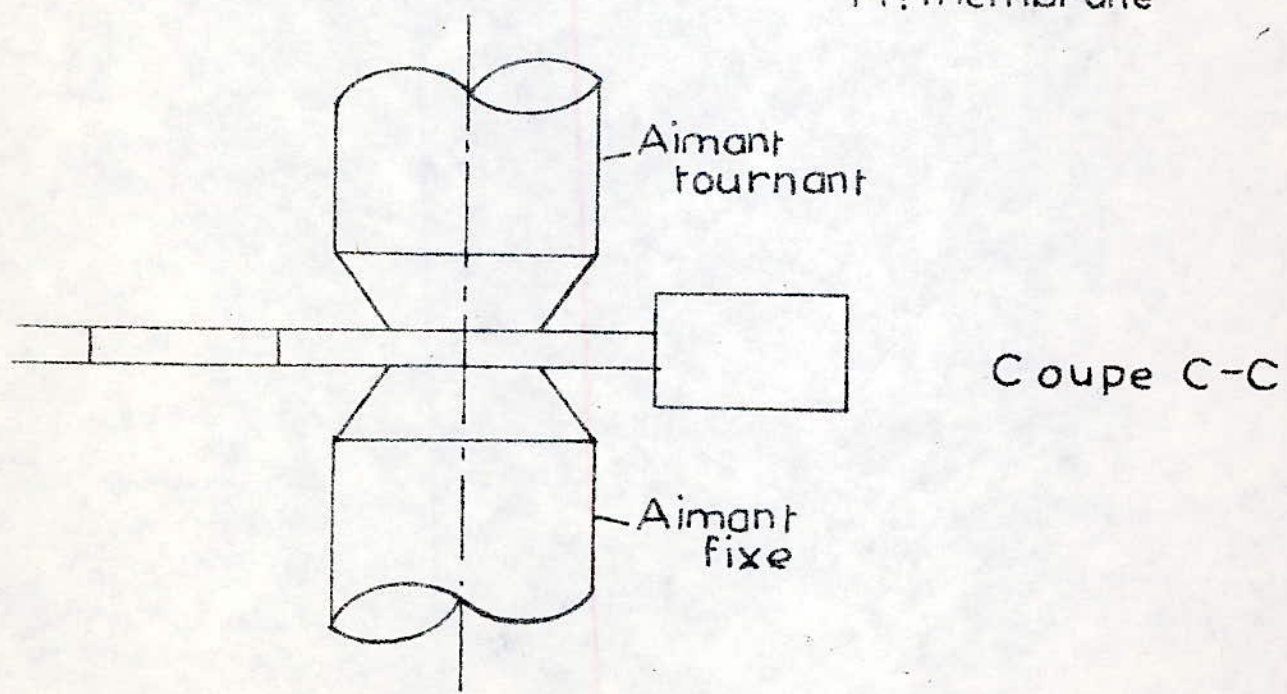
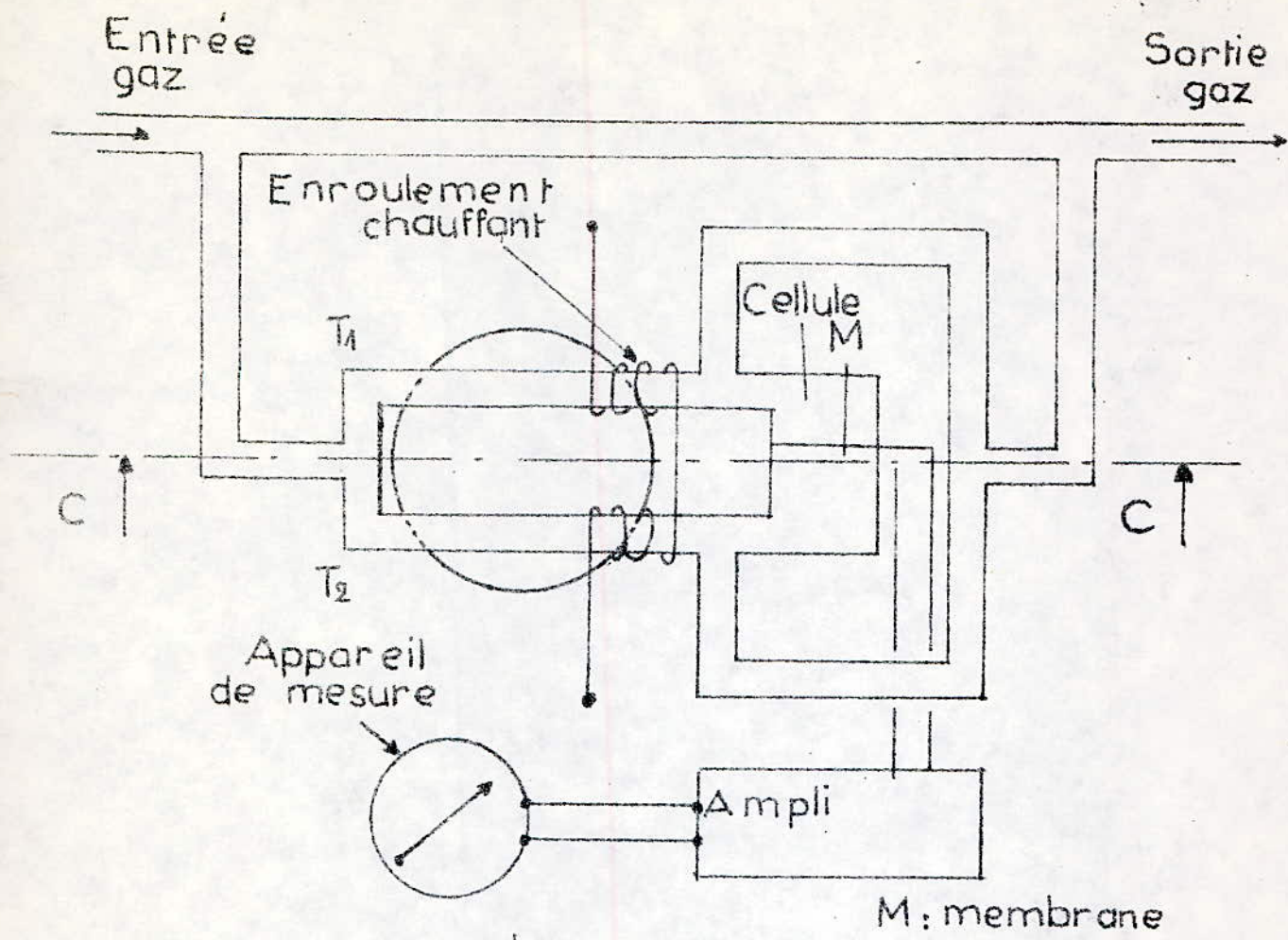
L'analyseur d'oxygène est un appareil basé sur les propriétés magnétiques des gaz.

L'oxygène est un des rares gaz paramagnétiques. Ces gaz paramagnétiques attirés par la partie intense d'un champ magnétique, leur moment magnétique se superpose dans le même sens au flux magnétique excitateur et l'amplifie. Ceci est dû au fait que les atomes de ces gaz sont de nature, pourvus d'un moment magnétique permanent.

b) Fonctionnement

Le mélange à analyser s'écoule dans les tubes T_1 et T_2 placés dans l'entrefer d'un puissant aimant permanent dont l'un des pôles S , constitué moitié en fer doux (S^+) moitié en matériau non magnétique (S^-) tourne autour de son axe en soumettant les deux tubes à des actions périodiques de champ. Celles-ci provoquent dans le gaz paramagnétique des variations de forces qui, normalement sont égales deux à deux et de sens contraires. Afin d'obtenir une résultante positive, on crée une dyssymétrie du champ en chauffant une partie de la colonne de gaz par un enroulement. Les forces admettent alors une résultante qui agit sous forme de variation de pressions sur la membrane d'un condensateur à capacité variable.

Chaque fois que le pôle S tourne de 180° , la pression sur la membrane change de sens et l'on recueille aux bornes du condensateur une tension



SCHEMA DE PRINCIPE DE L'ANALYSEUR D'OXYGENE

modulée. La mesure de cette tension, après amplification et redressement peut être enregistrée ou lue.

3 - Méthode d'analyse des gaz

Le principe consiste à mesurer alternativement les concentrations en CO_2 ; CO , existant réellement dans les gaz et la quantité de CO_2 qui devrait exister si la combustion était complète.

La prise des gaz de combustion se fait au moyen d'une sonde à circulation d'eau qui offre l'avantage de fixer l'échantillon de gaz, empêchant ainsi toute modification.

Cette sonde alimente par l'intermédiaire de deux robinets pointeau deux circuits en parallèle :

- Premier circuit

Pour mesurer le CO_2 total, on réalise préalablement la combustion des imbrûlés dans un four électrique qui doit être placé le plus près possible du lieu de prélèvement des gaz afin de récupérer les imbrûlés liquides ou condensables, car ces imbrûlés risqueraient de se déposer dans les canalisations si le four était trop éloigné du lieu de prélèvement.

La transformation des imbrûlés en CO_2 a lieu dans un tube en acier inoxydable contenant de la tournure de cuivre oxydée; l'oxygène non utilisé au cours de la combustion dans le foyer étudié permet la transformation des imbrûlés en CO_2 . Le tube est chauffé à 1000°C pour accélérer l'oxydation de tous les imbrûlés.

A la sortie du four, le tube est entouré d'une circulation d'eau froide pour provoquer une chute rapide du gradient de température et "figer" les équilibres chimiques établis.

- Deuxième circuit

Le CO_2 réel et les imbrûlés sont dosés directement dans les gaz de combustion.

Les gaz provenant des deux circuits traversent un déshydrateur constitué d'un petit échangeur à contre-courant dans lequel le fluide réfrigérant est de l'eau fraîche provenant du réseau. La vapeur d'eau contenue dans les gaz de combustion est condensée et l'eau est recueillie en bas d'un pot de condensation.

Après un refroidissement convenable, les gaz qui sont chargés de poussières, sont épurés par un filtre puis desséchés par du chlorure de calcium (CaCl_2). L'élimination totale de la vapeur d'eau est indispensable, car très absorbante dans l'infra-rouge, elle risquerait d'introduire dans l'analyseur, une absorption supplémentaire qui aurait pour conséquence de fausser les mesures.

L'aspiration des gaz se fait par une pompe placée à proximité de la sonde de prélèvement entre le déshydrateur et le filtre. L'emploi de la pompe placé en aval de l'analyseur, présente l'inconvénient de mettre l'ensemble en dépression, d'où rentrée d'air s'il y a la moindre fuite. La mesure des concentrations des gaz peut être enregistrée sur potentiomètre ou lue directement sur les analyseurs.

4 - Appareillage d'analyse des gaz

L'appareillage a été réalisé en trois parties distinctes :

- une table, placée à proximité du foyer de combustion supporte le four et le dispositif des robinets à pointeau.
- un rack qui comprend les appareils chimiques et les analyseurs.

- un rack où sont placées les bouteilles de gaz étalon servant à étalonner les analyseurs.

5. Précision de la méthode

La précision de cette méthode d'analyse des gaz est assez difficile à déterminer ; car elle est liée à de nombreux facteurs. Les différentes erreurs peuvent provenir principalement :

- du four dont on ignore si tous les imbrûlés sont transformés intégralement en CO_2 .
- de la dessiccation des gaz, car malgré l'emploi d'agents chimiques énergiques, il peut subsister une petite quantité d'eau
- de l'analyseur des gaz dont la précision dépend :
 - a) de la précision avec laquelle l'étalonnage a été fait à partir de mélanges de concentrations connues ; c'est-à-dire de la pureté des gaz et de la méthode de mélange.
 - b) de la stabilité de l'appareil lui-même : elle est subordonnée aux variations de tensions et de fréquence du secteur et à la constance des éléments de construction : lampes, condensateur, etc.
 - c) des variations de pression et de température du gaz à analyser qui jouent un rôle dans l'absorption infra-rouge.

6. Diagramme de GREBEL

Utilisant l'équation générale de la combustion en fonction des produits d'échappement, le diagramme de Grebel constitue la méthode graphique couramment utilisée pour l'interprétation des analyses de gaz brûlés de moteur. Son tracé s'obtient en portant les pourcentages de CO_2 en ordonnée. En abscisse, à partir de la

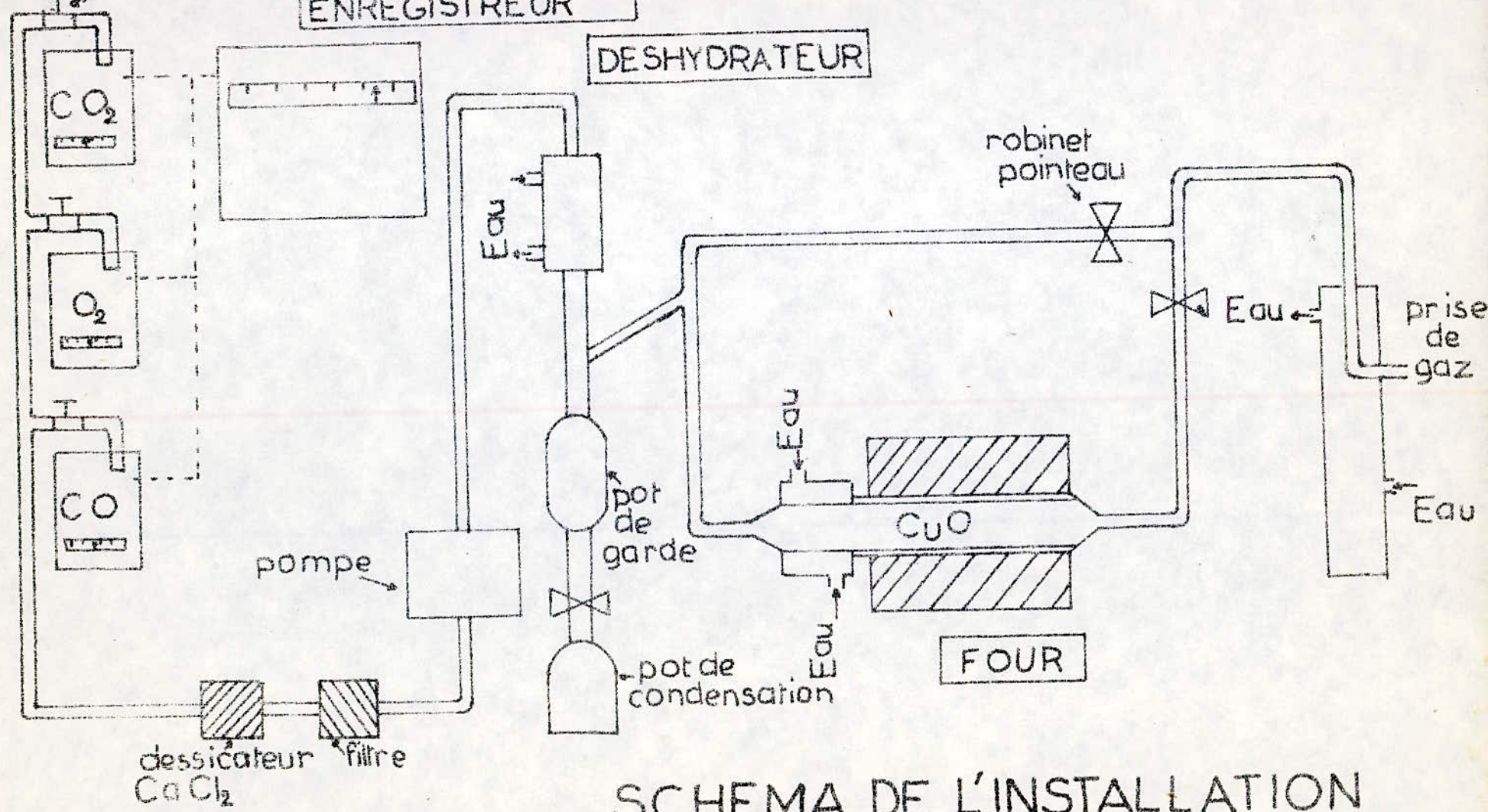
ANALYSEURS

robinet de réglage de débit

POTENTIOMETRE ENREGISTREUR

DESHYDRATEUR

robinet pointeau



dessiccateur $CaCl_2$ filtre

pompe

pot de garde

pot de condensation

FOUR

prise de gaz

Eau

SCHEMA DE L'INSTALLATION D'ANALYSE DES GAZ

même origine et dans deux directions opposées, on porte les pourcentages de CO et de O₂.

Il est possible de tracer un tel diagramme pour chaque combustible connaissant $\frac{H}{C}$. Les deux formes d'expression de l'équation générale de la combustion sont :

$$(1) \text{ Pour } CO=0 : CO_2 = \frac{100 + 0,22(2,76 - 0,94 H/C)}{4,76 + 0,94 H/C} - \frac{4,76}{4,76 + 0,94 H/C} O_2$$

$$(2) \text{ Pour } O_2=0 : CO_2 = \frac{100 + 0,22(2,76 - 0,94 H/C)}{4,76 + 0,94 H/C} - \frac{2,44 + 0,94 H/C}{4,76 + 0,94 H/C} CO$$

6.1 Application à l'essence et au gaz naturel

a) Pour l'essence : $\frac{H}{C} = 2,12$

En portant cette valeur dans (1) et (2) on aura :

$$(1') \text{ Pour } CO=0 : CO_2 = 14,95 - 0,705 \cdot O_2$$

$$(2') \text{ Pour } O_2=0 : CO_2 = 14,95 - 0,656 \cdot CO$$

On peut alors tracer les droites théoriques de Grebel :

$$CO_2 = (14,95 - 0,705 \cdot O_2) \%$$

$$\text{et } CO_2 = (14,95 - 0,656 \cdot CO) \%$$

b) Pour le gaz naturel : $\frac{H}{C} = 3,71$

et on a :

$$CO_2 = (12 - 0,576 \cdot O_2) \%$$

$$\text{et } CO_2 = (12 - 0,718 \cdot CO) \%$$

$\frac{H}{C}$ est le rapport entre les nombres d'atomes d'hydrogène et de carbone.

Voir diagramme de Grebel sur les pages qui suivent.

6.2 Utilisation du diagramme de GREBEL

Nous portons sur le diagramme les points des analyses effectuées pour de nombreux réglages du moteur, et ceci après une analyse réduite des valeurs expérimentales, réduction s'il y a lieu entre les teneurs en oxyde de carbone et en oxygène, lorsque ces deux gaz subsistent simultanément.

Exemple : les valeurs données par les analyseurs sont :

$$\text{CO}_2 = 5,4\% ; \text{O}_2 = 10\% ; \text{CO} = 0,5\%$$

Si la combustion était complète, 0,5% de CO peuvent encore brûler avec 0,25% de O₂

Nous aurons donc :

$$\text{CO}_2 = (5,4 + 0,5)\% = 5,9\%$$

$$\text{O}_2 = (10 - 0,25)\% = 9,75\%$$

$$\text{N}_2 = 100 - (\text{O}_2 + \text{CO} + \text{CO}_2)$$

$$\text{N}_2 = 100 - (10 + 0,5 + 5,4)$$

$$\text{N}_2 = 84,1\%$$

La somme totale est : $84,1 + 5,9 + 9,75 = 99,75$ au lieu de 100.

Nous devons donc multiplier les valeurs précédentes par $\frac{100}{99,75}$ pour rapporter à 100 les volumes occupés par les gaz résultant de la combustion totale. On obtient :

$$\text{CO}_2 = 5,9\% ; \text{O}_2 = 9,75\% ; \text{CO} = 0\%$$

Nous avons de cette façon établi les tableaux récapitulatifs qui nous permettent de tracer les droites expérimentales de Grebel.

Chaque essai doit comprendre :

- un tableau de mesures
- une courbe d'étalonnage des analyseurs
- un diagramme de combustion (diagramme de GREBEL)

B - Allumage

DIAGRAMME DE GREBEL

Pour l'essence

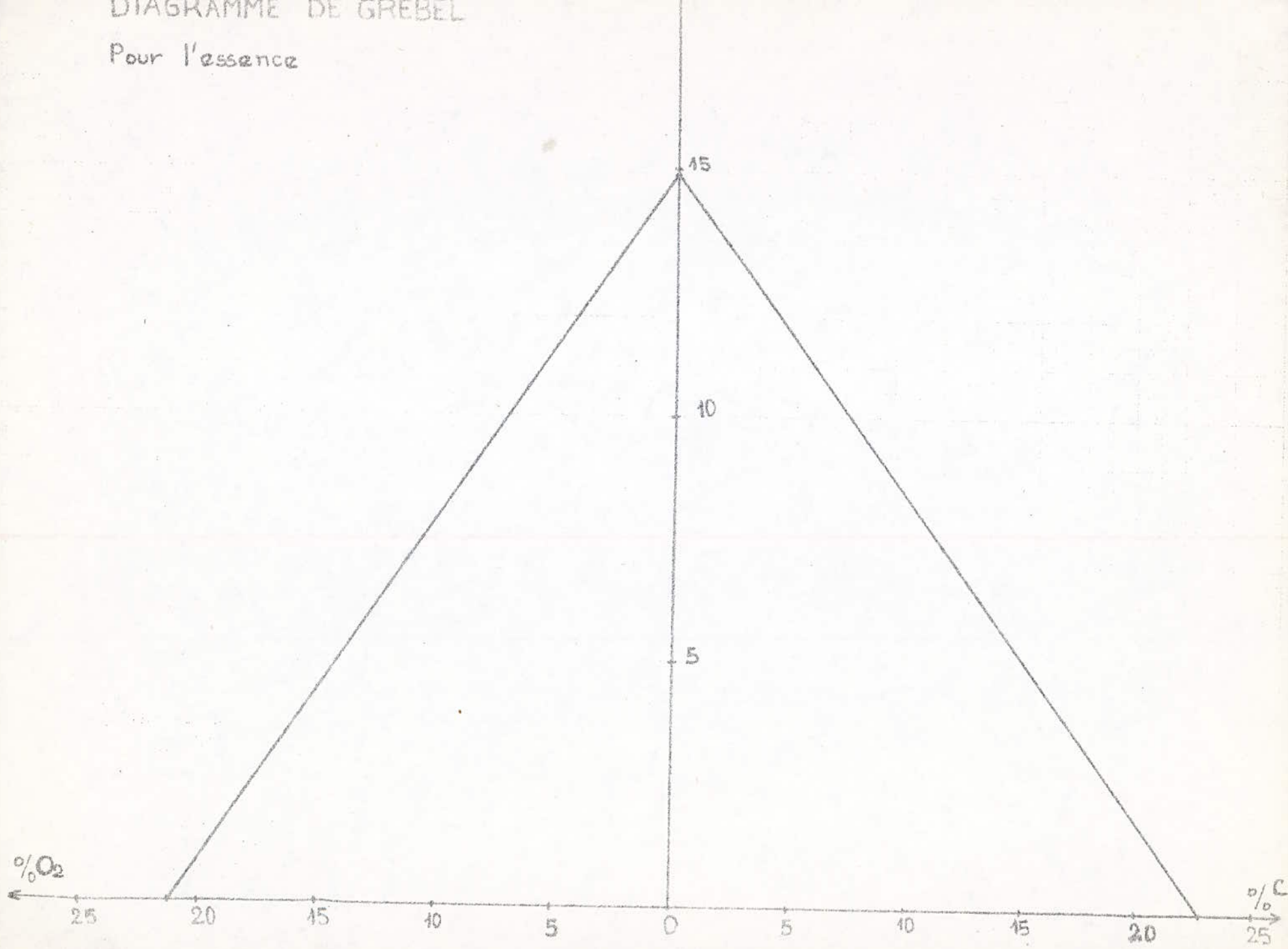
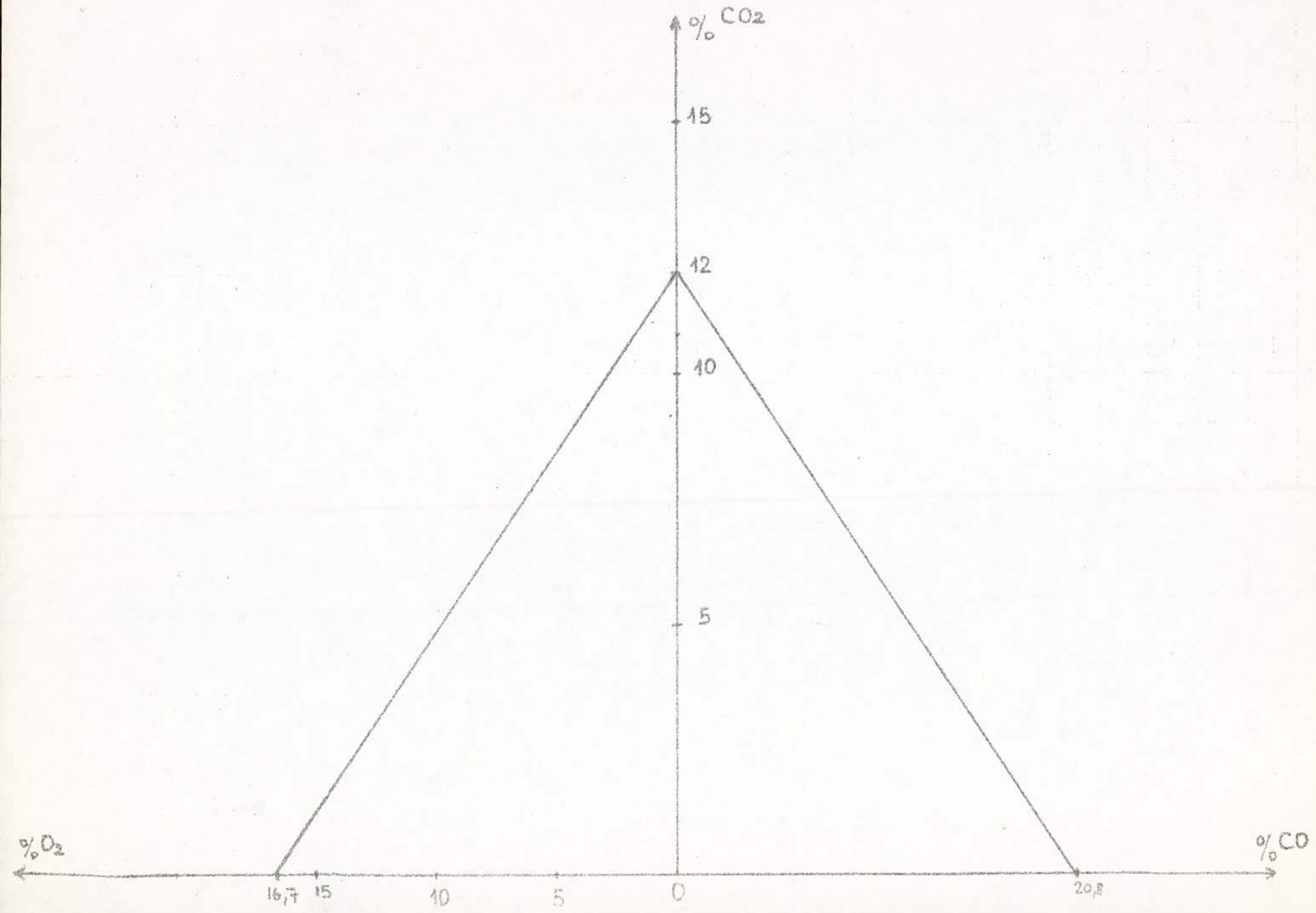


DIAGRAMME DE GREBEL Pour le Gaz Naturel



CONCLUSION

Nous ne saurions dire que nous avons parfait notre travail. Certes nous avons rendu le banc d'essais fonctionnel, nous avons même pris des mesures, qui nous ont d'ailleurs permis de tracer les courbes caractéristiques du moteur. Néanmoins pour être tout à fait assuré que notre moteur a bien été réparé, il aurait fallu que nous comparions ces courbes avec celles données par le constructeur (ce dont nous ne disposons pas), et que nous n'ayons pas plus de 5% de différence entre ces courbes.

L'analyse des gaz, quant à elle, aurait pu nous permettre d'effectuer de bons réglages pour la carburation.

Nous estimons que ce travail inachevé, constitue un bon départ que pourront exploiter les promotions à venir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - **GUERIN**
Guide complet de mécanique automobile
(Réparation simplifiée pour le mécanicien amateur)
- 2 - **L. RAZAUD et R.V. VIVIER**
Nouveau manuel de l'automobiliste
(théorie et pratique)
- 3 - **M. DELANETTE** (Aide-mémoire TECHNOR)
Technique de l'automobile
- 4 - **PROJET 1973**
Implantation, Essais et Mesures d'un ensemble frein Froude moteur Renault R16
- 5 - **THESE 1973**
Méthodes, Mesures et Essais sur chambre de combustion
- 6 - **THESES 1974, 1980**
Conversion et étude d'un moteur R16 au gaz naturel



