

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

62/87

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT: GENIE-MECANIQUE.

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**Analyse des gaz
d'échappement.**

Proposé par :

Mr.TALBI

Etudié par :

A.MEDJELLED.

Dirigé par :

Mr B.TALBI

PROMOTION
JUN 1987.

D E D I C A C E S

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance
de soutient moral et matériel et leurs encouragements durant
mes études

A mes parents

A mon frère TAHAR et sa femme

A mes soeurs, et frères

A toute la famille

Et à tous mes amis.

M E D J E L L E D

Ahmed

REMERCIEMENT

Je tiens à exprimer ici ma sincère reconnaissance et ma profonde gratitude à Monsieur B. TALBI pour tous les conseils utiles qu'il n'a cessé de me prodiguer et le temps précieux qu'il m'a consacré durant l'élaboration de ce travail.

Je tiens également à remercier, messieurs les membres du jury pour avoir bien voulu examiner mon modeste travail.

Que tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à ma formation veillent bien accepter ici, l'expression de ma profonde gratitude et mes sincères remerciements.

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Departement de genie mecanique

Promoteur : B.TALBI

Elève ingénieur : A.MEDJELLED

وزارة التعليم العالي

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

الدراسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

دائرة: الميكانيك

الموجه: ب. طالبي

الطالب المهندس: أحمد بلبل

الموضوع: تحليل غازات (إلا مترامه

مختصا: الهدف من هذا العمل، صوت صرير محلات
الغازات، بعد فاستعمالها في مراقبة كفاءة، غرفة
إلا مترامه لتوزيع غازي، نوع روض I560 (أو أي
محرك يعمل بالإسترامه التافله).

Sujet : Analyse des gaz d'echappement

Resume : L'objectif de ce travail est la mise en marche des
analyseurs des gaz, afin de les utiliser pour déterminer
les performances de la chambre de combustion équipant
la turbine à gaz du type ROVER I560 (ou autre moteur
à combustion interne) .

Subject : Gaz analysers

Abstract : The main objectif of this work, is to reconditionn
gaz analysers, so they can be used to déterminé combu-
sion performances of the chamber of a ROVER I560 gaz
turbine (or any intèrnal combustion engine .

S O M M A I R E

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

CHAPITRE -I- : DIFFERENTS TYPES D'ANALYSEURS

I-II- Analyseurs manuels à principe chimique.....	2
I-II- Analyseurs automatiques à principe chimique....	4
I-III- Analyseurs à principe physique.....	6
I-IV- Analyseurs à principe physico-chimique.....	23

CHAPITRE -II- INSTALLATION DES ANALYSEURS DES GAZ AU LABORATOIRE TURBOMOTEUR

II-I- Introduction.....	24
II-II-Placement de l'appareil.....	24
II-III-Circuit de mesure.....	24
II-IV-Circuit permettant le calcul du rendement de la combustion.....	29

CHAPITRE -III- Essais d'analyse sur banc d'essai moteur

Renault 616-.....	32
-------------------	----

CHAPITRE -IV- TRAVAUX FUTURS A REALISER..... 44

CONCLUSION

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

La combustion n'est certe pas un phénomène nouveau pour les ingénieurs, dont beaucoup s'activent à emprisonner le feu dans des foyers de machines .

Le developpement récent des turbines à gaz, notamment pour la propulsion des avions a été l'occasion de travaux nombreux sur la combustion des produits gazeux, au bénéfice de la connaissance des phénomènes et de leurs mécanismes .

La combustion est la réaction fondamentale des machines thermiques dont elle constitue la source d'énergie , on peut la définir à ce titre comme le phénomène au cours duquel l'énergie potentielle du combustible, ou plus exactement de l'ensemble combustible-comburant est transformée en énergie utilisable sous forme calorifique relais indispensable vers la forme mécanique .

Une combustion plus ou moins complète peut être également caractérisée par des chiffres que l'on ne peut désigner par le terme de rendement mais bien plutôt par celui d'indices de qualité .

L'analyse complète constituerait véritablement la méthode la plus sûrs permettant de calculer sans la moindre ambiguïté l'enthalpie réelle des gaz brûlés; mais c'est une opération longue et compliquée que l'on réduit en fait à la détermination de la concentration d'une espèce chimique convenablement choisie, dont la formation est en liaison directe avec la qualité de combustion; par exemple , CO_2 , CO , NO . Ceci permet de définir les indications de qualité, de la combustion.

Il est certain qu'une méthode basé sur l'analyse des gaz ne peut fournir d'indication correcte de rendement que si elle porte sur un échantillon moyen valablement représentatif des produits de la

C H A P I T R E : I

DIFFERENTS TYPES D'ANALYSEURS

II - 1 - ANALYSEURS MANUELS A PRINCIPE CHIMIQUE :

On peut citer l'analyseur ORSAT qui est le plus connu et le plus utilise, nous en decrirons deux modeles :

- Le premier, utilise principalement pour le controle des combustion, permet d'analyser du CO, de l'O₂ et du CO₂.

- Le second, plus complet permet d'analyser du CO, des C₂H₄, de l'O₂, du CO₂ et du C₂H₆.

+PRINCIPE D'ANALYSE :

Avec l'analyseur d'ORSAT on mesure les variations de volumes consecutives aux absorptions des constituants des gaz au moyen de reactifs appropries.

+DESCRIPTION :

L'appareil d'ORSAT simple (fig 1) comprend une rampe R en verre quatre laboratoires d'absorption A et une burette de mesure B de 100 cm, entouree d'une chemise d'eau. la burette graduee de 0,2 en 0,2 cm est reliee par un tuyau en caoutchouc à un flacon mesureur F de 150 cm environ.

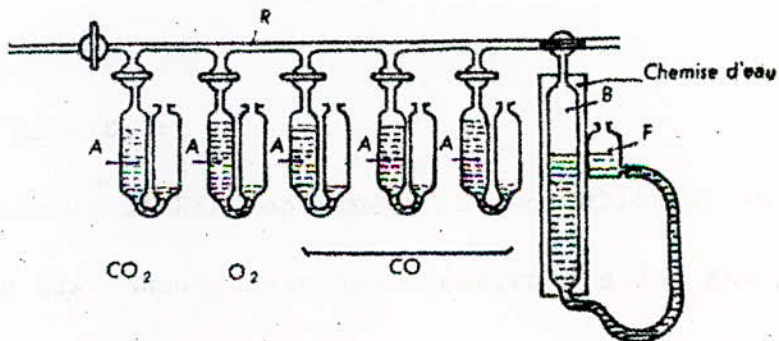


fig 1

REACTIFS D'ABSORPTION UTILISES :

Pour CO₂ : l'absorption de ce gaz se fait dans une solution de soude (Na OH) ou de potasse (K oh).

Pour CO : les reactifs utilises pour absorber le CO sont le chlorure cuivreux ammoniacale, le chlorure cuivreux acide, le chlorure cuivreux neutre, et le beta-naphtole.

Pour O₂ : l'absorption de l'oxygene se fait dans de l'eau contenant du phosphore, dans le pyrogallol, dans l'hydrosulfite ou dans le chlorure chromeux .

MODE OPERATOIRE POUR L'ANALYSE A L'ORSAT :

Analyse d'un residu de combustion :(fig-2)

Les elements à analyser sont le CO₂, le CO , et l'O₂. On utilisera donc un ORSAT simple.

Le gaz à analyser, contenu dans le tube collecteur T, est aspire dans la burette de mesure B en abaissant le flacon moteur F , pour le faire on ouvre les robinets à simple voie a et b.

On garde le niveau du liquide dans la burette B à zero ensuite on enleve le flacon moteur F à un niveau superieur à la burette B et on ouvre le robinet de l'absorbteur de CO₂.

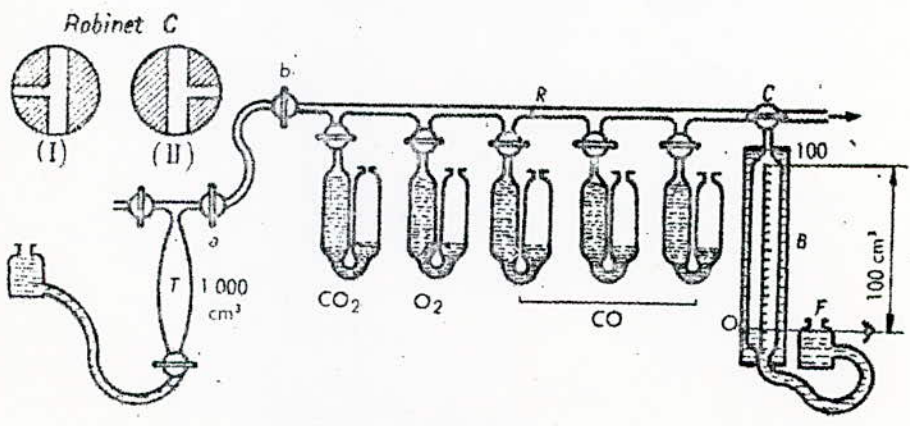


fig-2

+CONCLUSIONS RELATIVES AUX ANALYSES A L'ORSAT :

Bien que nous soyons efforcés de decrire les divers reactifs utilisés, les principales causes d'erreues et les modes operatoires qui nous sont connus, nous sommes loin d'avoir epuise le sujet, celui-ci reste complexe, tant par les-modes operatoires qui sont tres nombreux, que par certains phenomenes qui sont difficiles à expliquer.

C'est ainsi, qu'en adoptant deux modes operatoires differents, il n'est pas rare de trouver des resultats discordants.

Nous devons donc conclure que la precision que l'on peut attendre des methodes d'analyses est variable. elle dependra non seulement du mode operatoire mais aussi du soin et de la competence de l'operateur.

Dans les meilleurs conditions, elle devrait atteindre 0,2%, soit une graduation de la burette de mesure.

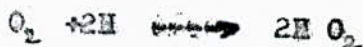
Toutfois l'utilisation de l'appareil d'ORSAT rendra d'innombrables services, il permettrs avec une precision souvent suffisante de connaitre la valeur des principeaux composants des gaz et leurs variation dans le temps.

I-II-ANALYSEURS AUTOMATIQUES A PRINCIPES CHIMIQUES :

On peut citer l'analyseur Mono O₂ (type gaz four à coke) ,(fig-3)

+PRINCIPE DE MESURE DU MONO O₂ :

Le volumetre 4 aspire par intervalles reguliers un echantillon de gaz, le mesure et le conduit au four electrique 27, où l'oxygene est brule à l'aide de deux particules d'hydrogene suivant la formule :



L'eau en est aspirée automatiquement par le separateur w ,et le gaz residuel passe sous la cloche de mesure 10, celle-ci se souleve et

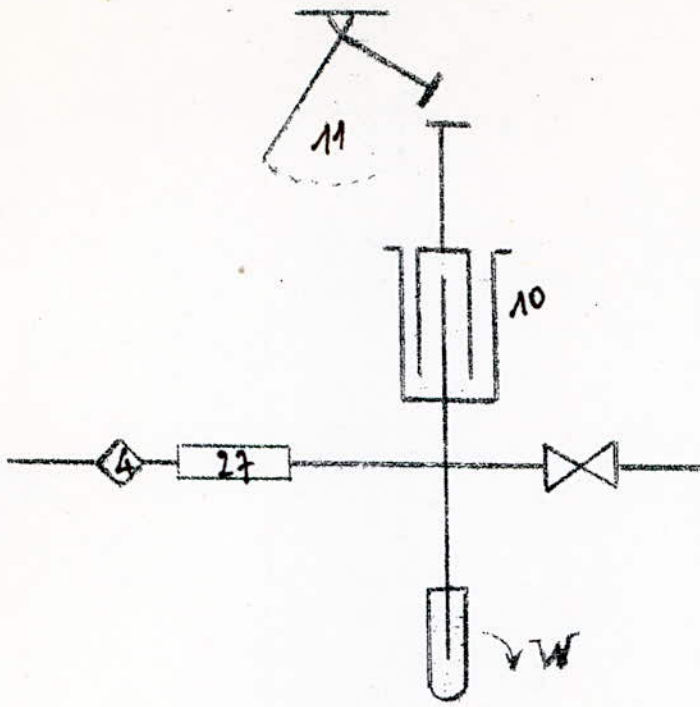


fig. 3-

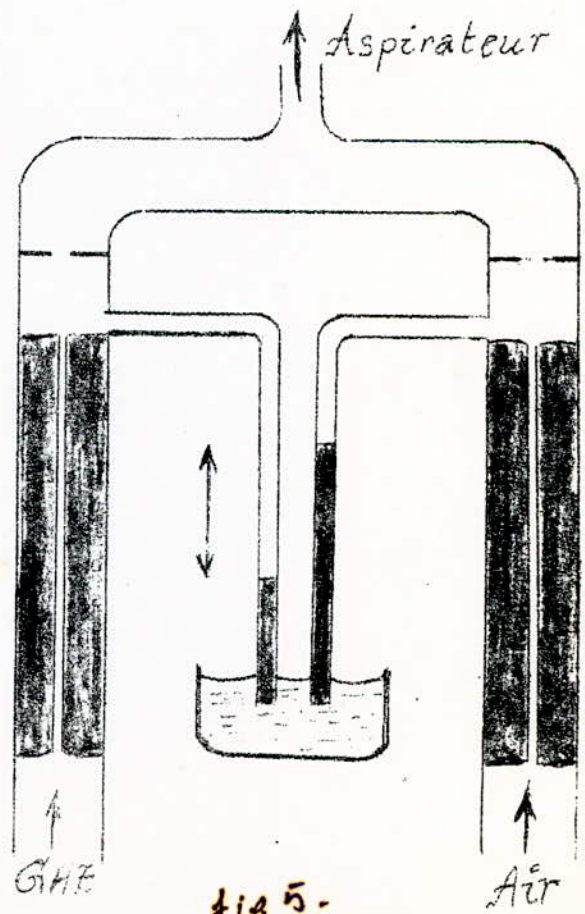


fig 5-

sa course est transférée à la plume enregistreuse 11.

Selon le meme principe fonctionnent les analyseurs Mono, H_2 et CO_2 .

+CONCLUSION :

Ils offrent comme avantage d' etre peu couteux et de permrttre l' enregistrement pratiquement continu des composants analysés,mais ils ont l'inconveneant de ne pas se preter a la regulation autom- atique.

I-III-ANALYSEURS A PRINCIPE PHYSIQUE :

Suiva nt les caracteristiques auxquelles ils font appel ces analy- seurs sont fondés sur la densité,la viscosité,la susceptibilité magnetique,la conductibilité calorifique,la chaleur de combustion, ou l'absorption dans l'infra-rouge.

I-III-1-ANALYSEURS FONDES SUR LA DENSITE :

On peut citer l' analyseur Ramarex.

Comme le montre la (fig-4) ,il se compose de deux chambres circul- aires separées;la premiere communiqué avec la conduite à gaz,la seconde avec l'air ambiant.

Chacune des chambres contient deux roues à aubes opposées , les roues motrices sont entraînées par un moteur unique,elles tourn- ent à la meme vitesse mais dans un sens opposé,l'une aspire le gaz à analyser ,l'autre l'air ambiant.

Elles projettent ce gaz et cet air sur les roues qui leur sont opposées et donnent à ces roues un couple de rotation qui est en fonction de la vitesse et de la densité du gaz projeté, les deux couples de rotation sont opposées mecaniquement et leur resultante est indiquée sur le cadran de l'appareil.

+CONCLUSION :

L'utilisation de cet appareil exige que le gaz et l'air soient dans des conditions rigoureusement identiques de pression, de temperature, et d'humidité.

La precision garantie par le constructeur varie entre 1 et 1,5% suivant le type d'appareil.

Specifions toutefois que les indications de l'appreil etalonné par exemple pour le dosage du CO₂, ne seront correctes que si le pourcentage relatif des composants autres que CO₂ reste le meme.

I-III-2-ANALYSEURS FONDES SUR LA VISCOSITE :

Ces analyseurs utilisent à la fois la densité et la viscosité, en se conformant à la loi de poiseuille d'après laquelle à travers un orifice en mince paroi, le debit de gaz est fonction de la densité tandis que à travers un tube capillaire, il est fonction de la viscosité. "

+On peut citer l'UNOGRAPHE UNION (fig- 5)

Il est présenté, et il consiste à aspirer l'air et le gaz à analyser sous une même dépression, chacune à travers un tube capillaire et un diaphragme placé en serie.

Supposons le dosage de CO₂, le gaz contenant du CO₂, dont la viacosité est plus faible et la densité plus élevée que celle de l'air, offre une resistance à l'écoulement plus faible dans le tube capillaire et plus forte dans le diaphragme de la colonne d'aspiration correspondante.

A l'aide d'un manometre differentiel sensible, tube en U ou tore pendulaire par exemple, il suffit de mesurer la difference de pression à l'amont des diaphragmes.

- 6 -

Cette difference de pression est fonction de la teneur en CO dans le gaz.

Pour que les indications soient exactes il faut que :

- i) Les debits d'air et de gaz soient rigoureusement constants.
- ii) Les temperatures, pressions et humidité du gaz soient rigoureusement à la même valeur que celles de l'air.
- iii) Dans le cas d'un appareil étalonné pour le dosage du CO par exemple, le pourcentage relatif des autres composants du gaz ne varie pas.

I-III-3-ANALYSEURS FONDES SUR LA SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE :

L'analyse des gaz fondée sur leur susceptibilité magnétique fut connue il y'a plus de 100 ans, à la suite des recherches entreprises par MICHAEL FARADAY, et les premiers appareils de mesure industriels furent conçus vers 1940, en Allemagne.

+PROPRIETES MAGNETIQUES DES GAS :

Le comportement magnétique d'un gaz peut être présenté quantitativement par sa perméabilité et sa susceptibilité.

En fonction de leur comportement magnétique on peut classer les gaz en deux catégories bien distinctes :

- i) Les gaz paramagnétiques : qui sont attirés par la partie intense d'un champ magnétique, ce sont des gaz dont la perméabilité est supérieure à l'unité et la susceptibilité est plus grande que zéro, autrement dit, 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.
- ii) Les gaz diamagnétiques, qui sont repoussés par un champ magnétique; leur perméabilité est inférieure à l'unité et leur susceptibilité

que; leur perméabilité est inférieure à l'unité et leur susceptibilité plus petite que zéro ; autrement dit, leur moment magnétique se superpose en sens opposé au flux magnétique excitateur et le diminue. Les atomes de ces gaz n'ont pas de moment magnétique permanent; le moment n'est induit que par le champ excitateur, d'où son sens opposé .

+REMARQUE : dans les gaz diamagnétiques le moment induit ne varie pas avec la température ; par contre , dans les gaz paramagnétiques la susceptibilité moléculaire diminue avec la température.

+ANALYSEUR D'OXYGENE TYPE OSCAR :

OSCAR est un analyseur de gaz utilisant les propriétés paramagnétiques de l'O₂ , il mesure en continu, la teneur en oxygène d'un mélange de gaz . Il se présente sous la forme d'un châssis unique à partir duquel sont réalisées quatre versions; parmi les gaz seul O₂ , NO₂ , NO₂ , ClO₂ sont paramagnétiques.

Susceptibilité magnétique de quelques gaz considérés dans les conditions normales et exprimée en unité c.g.s.m .

He: -0,08.10 H₂: -0,16.10 N₂: -0,53.10

Ne: -0,31.10 O₂: +151,0.10 NO: +60,9.10

NO₂: +9,3.10

CO₂: -0,96.10

On peut conclure que parmi tous les gaz industriels seul l'O₂ paramagnétique (les autres ont la susceptibilité magnétique plus faible et on les rencontre généralement en très faibles proportions) .

+PRINCIPE DE MESURE :(fig-6)

Le mélange gazeux à doser est divisé à l'entrée du circuit de mesure de l'analyseur, en deux puis s'écoule à travers les deux tubes de

mesure 1,2 ces deux tubes sont placés dans l'entrefer d'un électro-aimant(3), donnant un champ magnétique modulé à 30Hz .Lorsque le gaz traverse les tubes(1) et (2) et que sa susceptibilité magnétique n'est pas nulle,il est sollicité par des forces dirigées dans les sens des champs magnétiques croissants.

Dans chacun des tubes,ces forces seraient normalement égales et de sens contraire.Pour obtenir une résultante positive dans le cas de gaz paramagnétique,on crée une dissymétrie de susceptibilité en chauffant en permanence une partie des tubes au moyen des deux enroulements(4) et(5)..

Il apparait alors dans les tubes (1) et(2) des variations de pressions modulés à la fréquence du champ magnétique créée par l'électro-aimant(3). Ces variations de pression sont transmises à un microphone à condensateur(6) lequel,associé à une électronique approprié (7),délivre un courant proportionnel à la teneur en gaz paramagnétique.

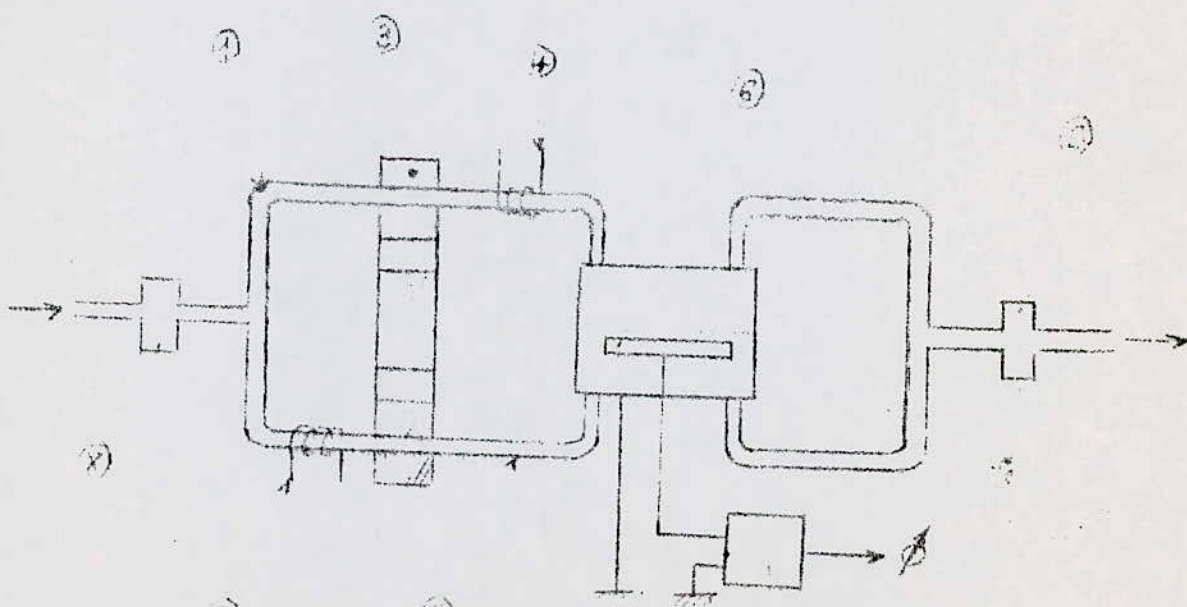


fig-6-

***CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :**

1)Alimentation secteur :

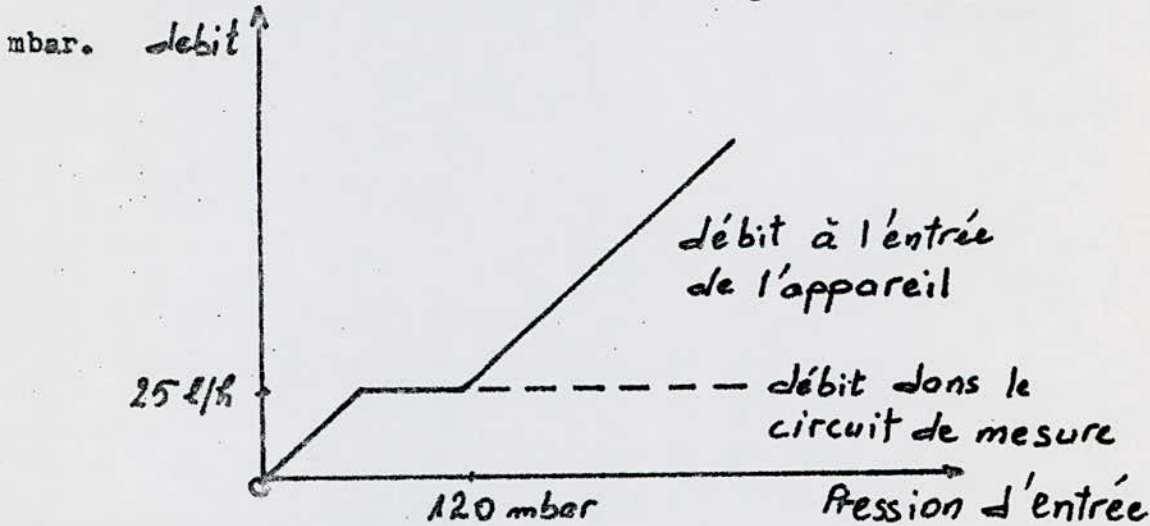
- .Tension 220 V \pm 10%
- .Frequence 45 à 65 Hz; sinusoidal.
- .Cconsomation; 120 VA.

2)Alimentation pneumatique :

L'appareil resiste à tous les gaz usuels sauf aux vapeurs de solvants et aux vapmms d'acides(tel que HCl...etc).

Il ne faut pas faire passer de melanges inflamable dans l'analyser, celui-ci comportant un point chaud (230°).

L'analyseur est muni d'une regulation lui assurant un debit constant d'environ 25 litres/heure, independamment de la surpression d'entrée, pour toute valeur de celle-ci comprise entre 100 et 1000 mbar.



***CARACTERISTIQUES DE MESURE :**

- .Echelle :0 à 1% jusqu'a 0 à 100% de O₂ .
- Les appareils sont livrés avec 3 échelles .
- .Courbe d'etalonnage :lineaire sur toute les gammes .
- .Signal de sortie :4-20 mA avec une impendance comprise entre 0 et 1500 .
- .Fidelité :1% de l'etendue de mesure .
- .Temps de reponse :environ 6 s .

.Fidélité :lg de l'étendu de mesure.

.Temp de reponse :environ 6 s.

+CONDITIONS AMBIANTES ET INFLUENCES EXTERIEURS :

.Temperature ambiante de fonctionnement varie de +15 à +35° C avec consigne de temperature réglée à 45° C.

.Indication directement proportionnelle à la pression atmosphérique.

+EXPLOITATION :

-Verification preeliminaires :

- i) S'assurer de l'étanchéité des circuits de gaz.
- ii) S'assurer de la suspension de la platine mesure à été libérée.
- iii) Verifier le zero mecanique de l'indicateur.
- iiii) La temperature ambiante du lieu d'utilisation doit être d'environ 25° C. Sinon proceder à un réglage de la temperature de consigne du thermostat.

-Remarque :si le melange de gaz à analyser risque d'être saturé d'humidité ,il est recomondé de brancher l'appareil au moins 1h avant l'utilisation ,sans mettre la pompe en marche ,pour éviter les condensations de la vapeur d'eau contenue dans le melange à l'interieur de l'analyseur.

Lorsque l'appareil a atteint sa temperature de fonctionnement(environ 2h) proceder à son etalonnage ,laisser l'appareil en permanence sous tension,puis refaire ces réglages périodiquement suivant les conditions ambiantes(environ une fois par semaine.

+ETALONNAGE DE L'ANALYSEUR :

1) Réglage du zero des teneurs :

Lorsque l'analyseur a atteint sa temperature de fonctionnement(2h environ),faire circuler de l'azote dans l'analyseur.

Ramener l'indicateur de mesure à l'origine de l'échelle des teneurs à l'aide du potentiomètre de réglage de zero accessible en face avant.

Lorsque l'appareil est utilisé sur ses trois sensibilités régler à zero sur la position 1 du commutateur.

2) Réglage du gain :

Pour ce réglage envoyer dans l'analyseur un mélange de gaz étalon ,et amener la lecture à la valeur voulue en agissant sur le potentiometre du gain.

Quand l'appareil est utilisé sur ses trois sensibilités, faire le réglage de gain sur la sensibilité correspondant à la valeur du gaz étalon.

Remarque : l'étalonnage se fait avec des bouteils de gaz munies des detendeurs .

*FICHE D'INSTRUCTION :

Pour faciliter son utilisation ,chaque analyseur est livré avec une fiche d'instruction,ou toutes les indications necessaires sont données.

FICHE CLIENT N°			
DESIGNATION	CARACTERISTIQUE		OBSERVATION
VERSION DU BOSEUR	PRESENTATION	RACK	COFFRET
	POSITION	HORIZONTALE	VERTICALE
MESURE	NORMALE	DIFFERENTIELLE	
REGLAGE DE PHASE S201	GAUCHE	DROITE	
REGULATION DE PRESSION ABSOLUE (OPTION)	AVEC	SANS	
PRESSIION ATMOSPHERIQUE POUR LAQUELLE LE REGULATEUR DE PRESSION ABSOLUE A ETE REGLE	1013 ± 50 mbar		
DETECTEUR DE DEBIT (OPTION)	AVEC	SANS	
GAMME DE DEBIT POUR LAQUELLE LE DETECTEUR DE DEBIT A ETE REGLE	L/H A		L/H
TENSION D'ALIMENTATION	220V 50Hz SINUSOÏDAL		
COURANT DE SORTIE	0.20 mA	4.20 mA	
ECHELLE NOMINALE (COMMUTATEUR DE LA FACE AVANT PLACE SUR x1)	% O ₂		
FIN D'ECHELLE (UNIQUEMENT EN L'ABSENCE DE COMMUTATION D'ECHELLE AVEC LA POSITION DU COMMUTATEUR)	% O ₂	x1	x5
POSITION DU CAVALIER DE LA 2 ^e CARTE ELECTRONIQUE	1	2	5 10 20
POSITION DU COMMUTATEUR S202	GAUCHE	DROITE	
TEMPS DE MONTÉE	6"	10"	20" 30"
TEMPERATURE AMBIANTE MOYENNE POUR LAQUELLE L'APPAREIL EST REGLE	20 ± 10 °C		
RAYER LES MENTIONS INUTILES			

On d'autres analyseurs fondés sur la susceptibilité magnétique dont on peut citer, LEHRER?MAGNS?KENT LTD?SIMENS?OXYMAT?HAYS?BECKMAN .

Ces analyseurs ne demandent généralement pas d'entretien, leur retard propre est très faible, (moins d'une minute), leur précision est dans de nombreuses applications, très bonne, 1 à 2,5% du maximum de l'échelle.

I-III-4-ANALYSEURS FONDES SUR LA CONDUCTIBILITE THERMIQUE DES GAZ :

Bien que la méthode d'analyse fondée sur la conductibilité thermique des gaz n'est strictement applicable qu'à des mélanges binaires, elle fut à l'origine utilisée pour contrôler la pureté de l'hydrogène, de nombreux mélanges complexes peuvent être mesurés; comme le néon dans l'azote, l'anhydride carbonique dans l'air, l'oxygène dans l'argon...etc.

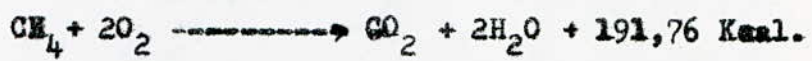
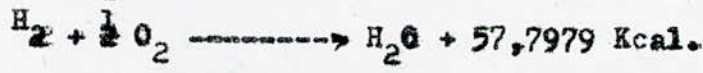
*PRINCIPES GENERAUX :

Lorsqu'on fait passer un courant électrique constant dans un fil de platine entouré de gaz et placé à l'intérieur d'une chambre la température du fil monte jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. A ce moment, l'énergie électrique dégagée par le fil est égale à la perte thermique, les effets de rayonnement émis, de la convection et de la conductibilité intérieure sont réduits ou restent constants et la température du fil va dépendre de la chaleur dégagée par conductibilité thermique extérieure du gaz. Comme la résistance électrique du fil est proportionnelle à sa température, la connaissance de la valeur courant traversant le fil pour le chauffage, permettra de déterminer la valeur de la résistance électrique.

I-III-5- ANALYSEURS FONDES SUR LA CHALEUR DE COMBUSTION /

Les composant combustibles contenues dans les melangés gazeux conduisent à des reaction exothermique, autrement dit ces reacti produisent un echauffement permet de determiner la teneur des composants combustibles.

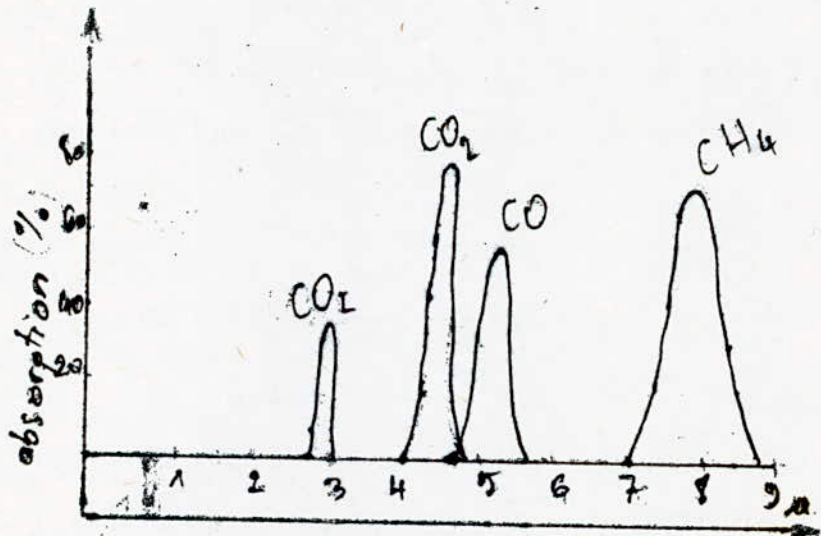
Exemple:



I-III-6- ANALYSEURS FONDES SUR L'ABSORPTION DES RAYONS INFRAROUGES:

ANIR II:

Les recherches ont montré que le gaz composés possèdent tous à que' ques exceptions près, des groupes de bandes d'absorption dans l'infra rouge.



Rayons ultra-violet rayons infra-rouge Longueur d'ondes

Bandes d'absorption de quelques gaz

+ PRINCIPE DE MESURE ::(fig-7)

L'analyseur comprend deux émetteurs identique 1 et 2, constitués de spirales chauffées électriquement au rouge, et munies de réflecteurs, les tubes 3 et 4 servent, l'un des tubes d'analyse, et contient le mélange gazeux, l'autre de tube de comparaison et contient un gaz neutre .

Les deux chambres 5 et 6 du récepteur sont remplies par le même gaz que celui que l'on veut analyser .le gaz absorbera les radiations qui ont été affaiblies par la présence dans le mélange ,de l'élément à doser.

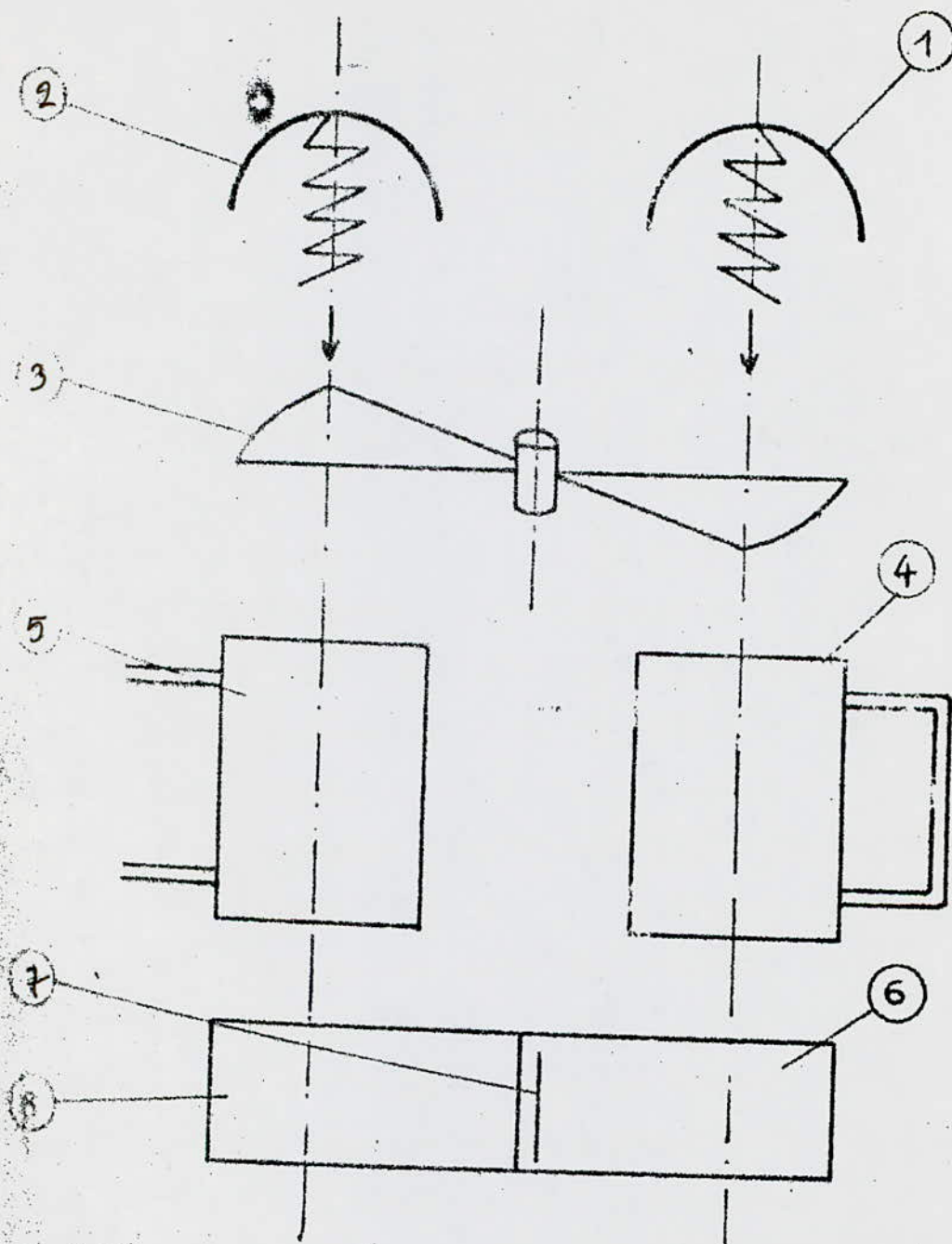
L'émission de l'infrarouge est interrompue périodiquement et simultanément par la rotation d'un obturateur 7 , les pressions qui régissent dans les deux chambres de mesure se trouvent modulées à la fréquence de passage des pales de l'obturateur.

La membrane séparant les deux chambres, constituant l'armature d'un condensateur ; substitue la mesure de la variation de pression à une variation de capacité électrique ,qui s'effectue au moyen d'un amplificateur dont le signal de sortie fait devier un milliampèremètre.

+ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Lorsqu'un faisceau de rayons infrarouge traverse un mélange contenant un gaz G ,on constate que certaines radiations sont affaiblies d'autant plus que la concentration du gaz G dans le mélange est grande ,ces radiations sont celles des bandes d'absorption caractéristiques du gaz G .

Pour mesurer un dosage de ce gaz dans un mélange ,il suffit donc de mesurer l'absorption des rayons infrarouge appartenant à la bande caractéristique du gaz G.



- 1-2 Emetteurs
- 4 Tube de comparaison
- 5 Tube d'analyse
- 3 Obturateur
- 7 Membrane
- 6-8 Chambre (recepteur)

SCHEMA DE PRINCIPLE DE L'ANALYSEUR

Dans cet analyseur, est utilisée une source de rayonnement infra-rouge non selective, c'est à dire qui ne favorise aucune longueur d'onde particulière. Par contre, le récepteur est sélectif, c'est lui qui distingue les radiations voulues, il contient une masse de gaz G pure.

+CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

-Etendue de mesure :

.minimale (à la pression atmosphérique) .

CO ₂	o à 50 ppm
CO	o à 100 ppm
CH ₄	o à 300 ppm
C ₂ H ₂	o à 500 ppm
SO ₂	o à 1000 ppm
NH ₂	o à 1000 ppm

.maximal de o à 100% .

-Signal de sortie : 0,5 à 5 - 1 à 10 - 2 à 20 - 4 à 20 - 5 à 50 mA
(sous tension maximale 24V).

-longueur des chambres de mesure : 0,5 - 1 - 2,5 - 5 - 10 - 25 - 60 - 133
233 - 270 mm.

-Fidélité : meilleur que 1% de l'étendue de mesure.

-Temp de réponse : fonction de la longueur de la chambre de mesure et du débit . A titre d'exemple 2,8 s (à 90% de l'étendue de mesure) pour un tube de mesure de 1mm de longueur et un débit de 60 l/m.

Alimentation pneumatique :

.Les caractéristiques du gaz : l'appareil résiste à tous les gaz usuels sauf aux vapeurs d'acides.

.Un filtre de sécurité évite toute entrée accidentelle de corps solides dans le circuit pneumatique de l'analyseur .

.Pression d'alimentation

- Pression d'alimentation de 0,5 à 1,5 bar absolus; l'indication en concentration est directement proportionnelle à la pression absolue.
- Debit recommandé 60 l/h sans influence sur la mesure .le debit est fonction de la pression d'alimentation.
- Frequence d'obturation des cellules : 5 cycles/seconde.
- Temperature ambiante de fonctionnement : +15 à +35°C.
- Alimentation : 127 V - 220 V ±15% , 50Hz .
- Consomation : 100 VA environ .

+RECEPTEURS EXTERIEURS :

La sortie de la mesure est en cuorant, et en outre isolée de la masse. Il faut donc toujours shunter la sortie de l'analyseur (bornes E1 et E2 situées à l'arriere de l'appareil par une impédance donnant pour le courant maximal une chute de tension inférieure à 24V.

Exemple :

- Calibre 5 mA impédance admissible de 0 à 4000
- Calibre 10mA impédance admissible de 0 à 2000
- Calibre 20 mA impédance admissible de 0 à 1000
- Calibre 50 mA impédance admissible de 0 à 400

Dans le cas ou il y'a plusieurs recepteurs extérieurs ,il faut les brancher en serie; et le recepteur comporte une commutation mettre toujours le shunte dans le circuit de mesure .

Les raccordements électriques se trouvent sur une plaque situé à l'arriere de l'appareil.

+EXPLOITATION :

La mise en place et les raccordements des différents organes ayant été réalisés et vérifiés, la mise en service de l'analyseur comporte les opérations suivantes :

- Verifications préliminaires.
- Reglage du zero des teneurs.

-Vérifications préliminaire.

-Reglage du zero des teneurs.

-Tarage et pseudo-tarage.

Pour faciliter la tache ,chaque analyseur est livré avec une fiche d'instruction.

EXEMPLE DE FICHES D'INSTRUCTIONS

ANALYSEUR N°

Gaz à doser	CO	CO	CO 2	CO 2
Echelle à réaliser	0,05	1%	10 %	8 à 20 %
Utiliser le récepteur N° et le tube d'analyse de	48 230 mm	48 10 mm	93 0,5 mm	93 0,5 mm
Le commutateur étant sur on doit obtenir un MINIMUM de pour le gain de travail	1 0,3 mA	1 3,3 mA	1 0,3 mA	1 0,3 mA
Régler le zéro des teneurs à Passant le commutateur sur on doit lire comme pseudo- tarage	1 mA 2 7,9 mA	1 mA 3 6,5 mA	1 mA 3 8,2 mA	1 mA 3 8,2 mA
Retoucher le gain en consé- quence. Refaire le zéro et le pseudo- tarage. Passer le commutateur sur pour effectuer les lectures.	1	1	1	4
A la première mise en servi- ce, la gain probable sera voisin de :	3,45	4,60	4,40	4,40
OBSERVATIONS :				
Pour les 2 échelles de CO 2 qui sont complémentaires, les réglages sont les mêmes.				
Seules les positions du commutateur diffèrent pour la mesure.				

-Verifications préliminaires :

.Verifier d'abord que le bloc récepteur et le bloc tubes montés sur l'appareil correspondent bien à l'analyse et à la sensibilité voulues.

.Verifier la position et la fixation du bloc tubes en s'assurant qu'il n'y'a aucun contact entre le tube et le récepteur.

.Verifier la position et la fixation du bloc émetteur, l'obturateur est approché des tubes au maximum, mais il ne doit aucunement frotter lorsqu'il est en rotation.

.Verifier le zero de l'amplificateur; agir si nécessaire, sur le potentiometre situé à l'intérieur de l'appareil, afin d'obtenir 0 mA sur le milliampermetre.

-Reglage du zero des teneurs :

Comme le zero des teneurs ne coïncide jamais avec le zero mécanique de l'appareil de mesure, il est nécessaire de procéder aux opérations suivantes :

.Faire circuler dans le tube d'analyse un gaz neutre (azote ou air) ne contenant pas de gaz à doser.

.Verifier que le commutateur est sur la position mesure (comme indiqué sur la fiche d'instructions) et le gain est à la valeur probable indiquée.

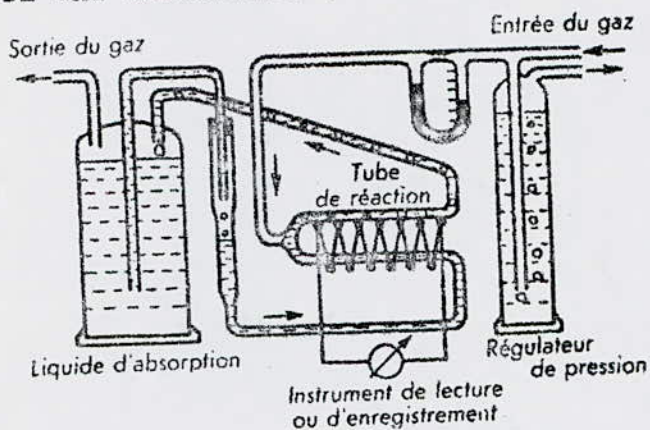
-Tarage et pseudo-tarage :

Cette opération consiste à contrôler le fonctionnement de l'appareil. Balayer le tube d'analyse avec un gaz neutre (N_2); et mettre le commutateur situé sur la face avant, sur la position "pseudo-tarage", (position repérées sur la fiche d'instruction); puis vérifier la correspondance entre la valeur lue sur le milliampermetre et la

I-IV-1-ANALYSEURS A PRINCIPE PHYSICO-CHEMIQUE :

Ce sont des analyseurs spéciaux dont on peut citer l'analyseur de gaz thermoflux .

+ANALYSEUR DE GAZ THERMOFLUX :



Le thermoflux est fondé sur la mesure de la chaleur absorbée par les réactions chimiques; le gaz traverse un régulateur de pression ainsi qu'un indicateur de débit et est conduit à travers un liquide d'absorption agissant très rapidement. ce liquide se trouve en mouvement à travers un circuit fermé aidant ainsi la réaction.

L'absorption d'un gaz par le liquide provoque une élévation de température qui est mesurée par une batterie de couples thermoélectrique.

Le thermoflux permet de doser des gaz tels que la vapeur d'eau , le CO_2 , l'hydrogène sulfureux et d'autres composés de soufre .

Un avantage particulier de l'analyseur de traces thermoflux est son autonomie au point de vue alimentation en courant électrique, en effet, il n'existe aucune alimentation, la batterie de thermo-couple étant capable d'actionner un indicateur ou un enregistreur.

C H A P I T R E : II

INSTALLATION DES ANALYSEURS DE GAZ AU
LABORATOIRE TURBOMOTEUR

II-I-INTRODUCTION :

L'analyseur étant un instrument très sensible, il importe pour assurer son fonctionnement dans les meilleures conditions, de bien suivre les instructions données ci-dessous, la précision et la fiabilité de l'appareil en dépendant en grande partie.

II-II-PLACEMENT DE L'APPAREIL :

Placer l'appareil à l'abri de la poussière, de l'humidité, des variations brusques de température et des vibrations; d'autant plus près du point de prélèvement du gaz à analyser que la rapidité de réponse désirée pour l'appareil doit être grande. Toutefois quelques mètres de canalisation influent peu sur cette rapidité.

D'autre part, placer l'analyseur et l'appareil de mesure de telle manière que l'utilisateur puisse procéder au réglage de l'analyseur en ayant sous les yeux le cadran de l'appareil de mesure.

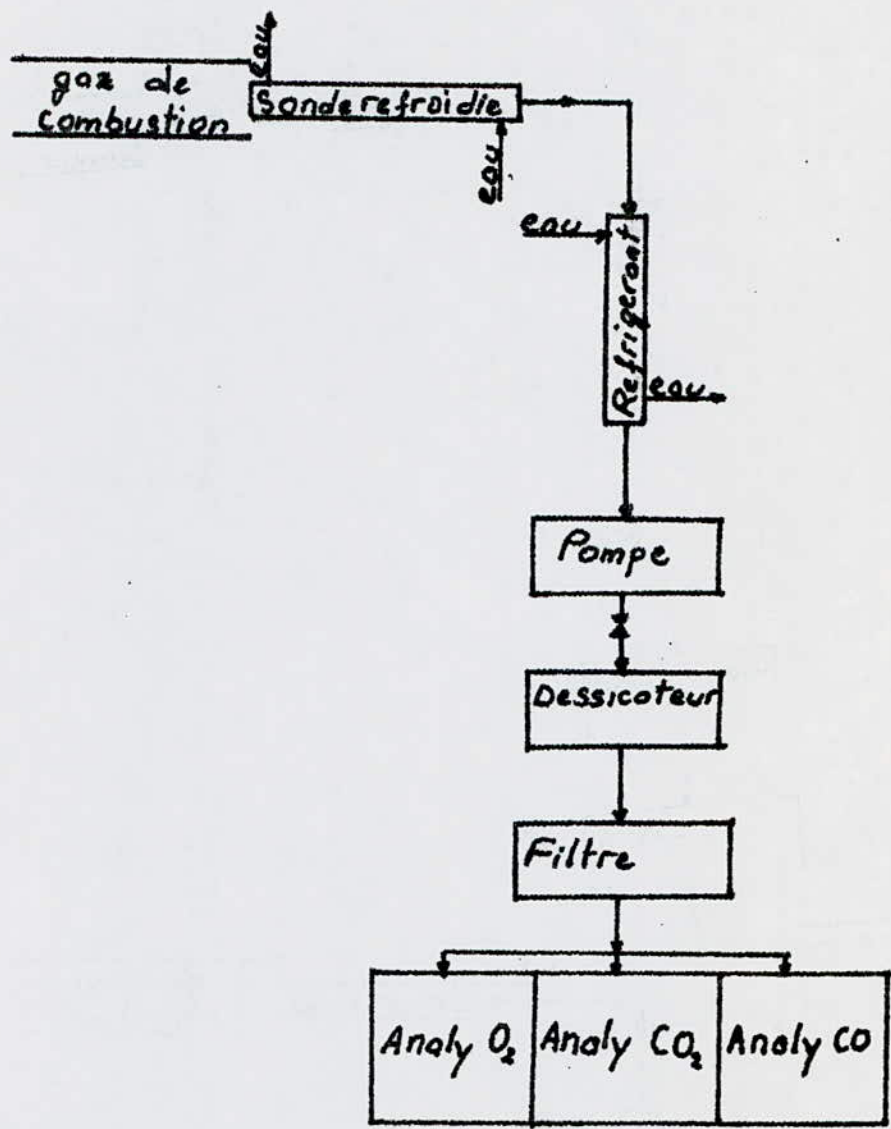
II-III-LE CIRCUIT DE MESURE :

Le circuit de prélèvement et de l'acheminement des gaz échantillon comprend et dans l'ordre les éléments suivants :

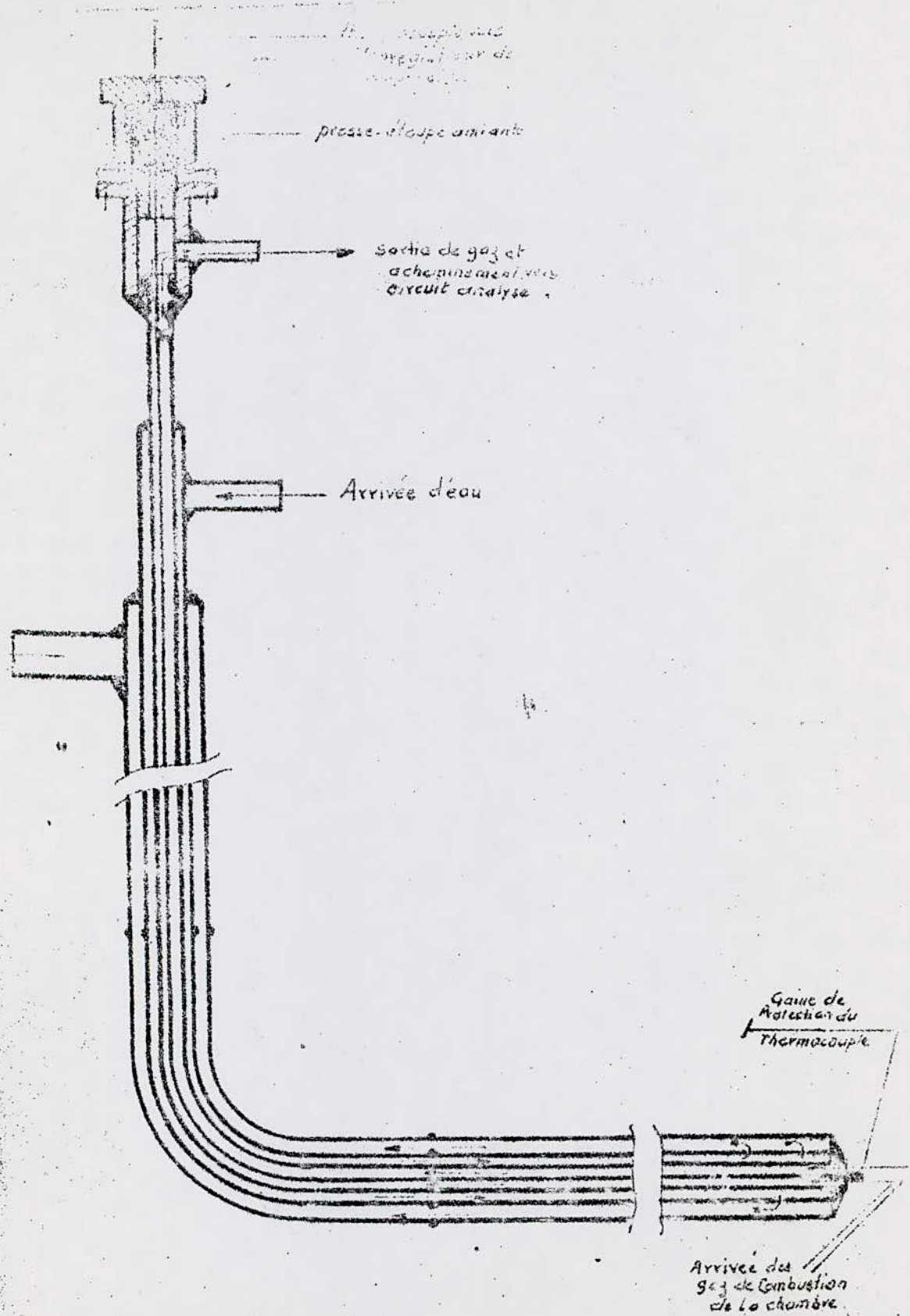
une sonde refroidie - un réfrigérant (si nécessaire) - une pompe à membrane - un dessiccateur - un filtre - et en l'appareil analyseur.

+Sonde refroidie :

Les gaz de combustion sont prélevés au moyen d'une sonde constituée par un tube de 5 mm de diamètre en acier inoxydable entouré de deux tubes concentriques entre lesquels circule un courant d'eau. La circulation de l'eau permet un refroidissement brutal des gaz, ainsi que le métal; les compositions chimiques sont conservées tout le long de la sonde.



Circuit d'analyse des gaz combustion



Sonde Refroidie

Un thermocouple introduit dans le tube de diamètre 5 mm ,permet la mesure de la température en chaque point de prélèvement des gaz .un porte sonde avec deux déplacements,l'un vertical l'autre horizontal ,permet de faire un balayage dans un plan perpendiculaire à l'axe de la chambre.

On place un réfrigérant après la sonde refroidie pour diminuer encore la température du gaz.

+La pompe :

la pompe travaillera au refoulement de préférence sur le gaz relativement propres,sous peine de s'encrasser rapidement;la pompe sera donc installée dans les cas de gaz poussiéreux et humides,après une épuration primaire mais en amont des derniers filtres et dessiccateurs.

Pour diminuer le temps de réponse de l'ensemble,utiliser une pompe ayant un debit supérieur à celui nécessaire à l'analyseur à celui nécessaire à l'analyseur,placer alors en parallèle avec l'analyseur de déverser à l'atmosphère;de plus,cette soupape maintient à son amont une pression constante quelle que soient les variations de pression au point d'aspiration,d'autre part,un robinet de réglage permet d'obtenir un debit constant dans l'analyseur.

+Dessiccateur :

Il faut vérifier au préalable que le gaz à analyser n'est pas soluble dans l'eau de condensations ,ceci étant le cas pour le SO₂ , NH₃,CO₂ (dans un mélange de gaz contenant 10% d'eau sous forme de vapeur,on dissout 140 ppm de CO₂ du fait de la condensation de l'eau)

La deshydratation des gaz se fait nécessairement après la pompe

la ou les gaz sont en surpression ; en generale circuit de deshydratation est placé juste avant l'analyseur.

+Filtre :

Le filtre sert à depoussiérer complètement les gaz et on le place juste après le dessicateur, et avant l'analyseur, c'est à dire qu'il est le dernier élément.

II-IV-CIRCUIT PERMETTANT LE CALCUL DE RENDEMENT DE LA CEMBU- STION :

Le rendement est défini par le rapport de la quantité de CO₂ réellement existant dans les gaz issus de la combustion à la quantité de CO₂ qui devrait exister si la combustion était complète :

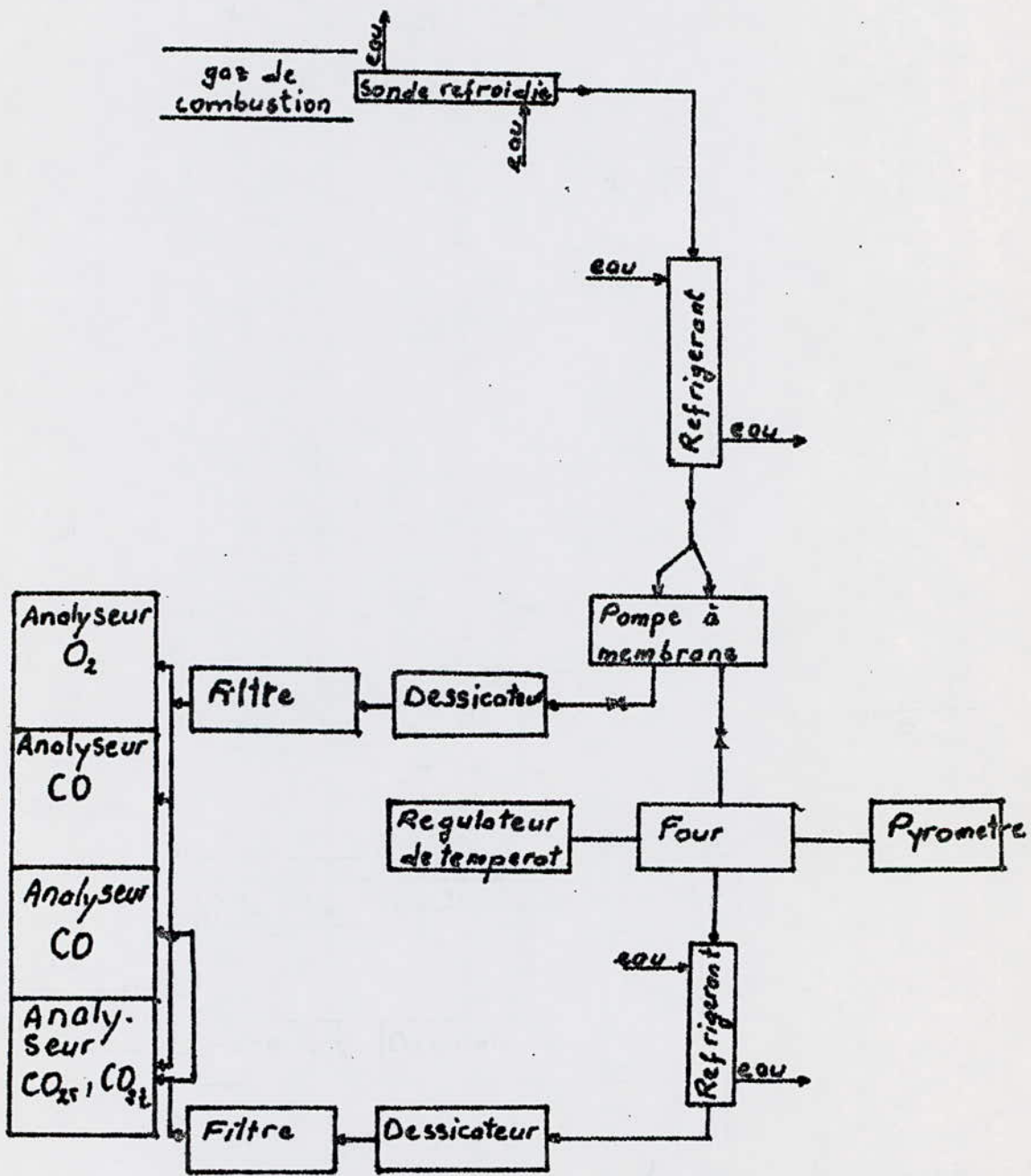
$$\eta = \frac{CO_{2r}}{CO_{2t}}$$

CO_{2r}: quantité de CO₂ réellement existant dans les gaz.

CO_{2t}: quantité de CO₂ qui devrait exister si la combustion était complète.

Le principe de la méthode consiste à mesurer alternativement les concentrations en CO₂, CO, O₂, existant réellement dans les gaz et la quantité de CO₂ qui devrait exister si la combustion était totale et parfaite, les gaz d'échappement sont prélevés de la chambre de combustion au moyen de la sonde refroidie, puis acheminés vers les analyseurs par deux circuits indépendants.

Le CO₂ réel et les imbrulés sont dosés directement dans les gaz d'échappement tandis que pour mesurer le CO₂ total, on réalise préalablement la combustion des imbrulés (constitués essentiellement de CO), dans un four électrique chauffé à 1000°C. Le four électrique doit être placé le plus près possible du lieu de prélèvement, la transformation du CO, contenu dans les imbrulés en CO₂ a lieu dans un tube en acier inoxydable contenant de la tournure de cuivre oxydée (CuO). L'oxygène non utilisé au cours de la combustion permet la transformation du CO en CO₂. A la sortie du jour, les gaz passent dans un réfrigérant, celui-ci permet leur refroidissement avant l'entrée dans les analyseurs, Pour l'acheminement des gaz du fait de leur énergie cinétique insuffisante et les pertes



Circuit d'analyse des gaz de combustion

du fait de leur énergie cinétique insuffisante et les les pertes de charge dans les conduites, on utilise une pompe à membrane à deux circuits montés en parallèles , ainsi les gaz de combustion sont aspirés à travers le four, la réfrigérant, vers les analyseurs mais avant d'atteindre les analyseur, les gaz passent à travers un dessiccateur et un filtre afin de dessécher les gaz et les débarrasser des particules solides .

C H A P I T R E : III

ESSAIS D'ANALYSE SUR BANC D'ESSAI MOTEUR
RENAULT I6

Nous avions l'intention de faire les essais sur le banc d'essais turbine à gaz ROVER I 560, mais des problèmes imprévus qui ont surgissent au dernier moment nous ont obligé de refaire l'installation pour analyser les gaz d'échappement d'un moteur d'une voiture (Renault 16), malgré ça on n'est pas éloigné du but qui est l'analyse des gaz d'échappement, pour avoir des informations sur la combustion. Bien que les mesures ont été prélevé dans des conditions difficiles et dans une ambiance polluée (fuites dans la conduite d'échappement) cela n'empêche pas qu'elles soient d'une valeur importante, parcequ'elles donnent des renseignements plus ou moins sincères sur la qualité de la combustion.

Après avoir pris les mesures, on trace les graphes et on les interprète, autrement dit, avoir une description réelle du phénomène physique, notre travail consiste à charger le frein, et à varier les positions de l'accélérateur en croissance pour chaque valeur de la charge.

L'accélérateur qui se présente sous forme de levier se déplace à des positions gradués sans que cela exprime une linéarité dans l'échelle.

En accélérant, le débit du carburant augmente (augmentation de la richesse).

On charge aussi le frein par position gradués en croissance.

-Charge : 0

Positions de l'accélérateur	0	2	4	6	8	10
% O ₂	3,50	3,40	3,50	3,15	2,60	0;40
% CO	3,64	3,92	3,92	4,42	4,12	8,02

-Charge : 3

Positions de l'accélérateur	0	2	4	6	8	10
% O ₂	3,45	3,50	3,70	4,05	2,90	0
% CO	3,37	2,72	2,56	3,10	3,21	6,56

Charge 6

Positions de l'accélérateur	0	2	4	6	8	10
% O ₂	4,30	5,00	3,20	2,90	3,50	3,00
% CO	2,01	2,19	3,24	3,01	3,01	3,19

Charge : 9

Positions de l'accélérateur	0	2	4	6	88	10
% O ₂	7,00	6,50	5,50	4,90	3,90	3,50
% CO	1,50	2,25	2,90	3,30	3,30	4,00

Position de l'accélérateur : 0

Charges	0	3	6	9
% O ₂	3,50	3,45	4,50	7,00
% CO	3,64	3,37	2,01	1,50

Position de l'accélérateur : 2

Charge	0	3	6	9
% O ₂	3,40	3,50	5,00	6,50
% CO	3,92	2,72	2,19	2,25

Position de l'accélérateur : 4

Charges	0	3	6	9
% O ₂	3,50	3,70	3,20	5,50
% CO	3,92	2,56	3,24	2,90

Position de l'accélérateur : 6

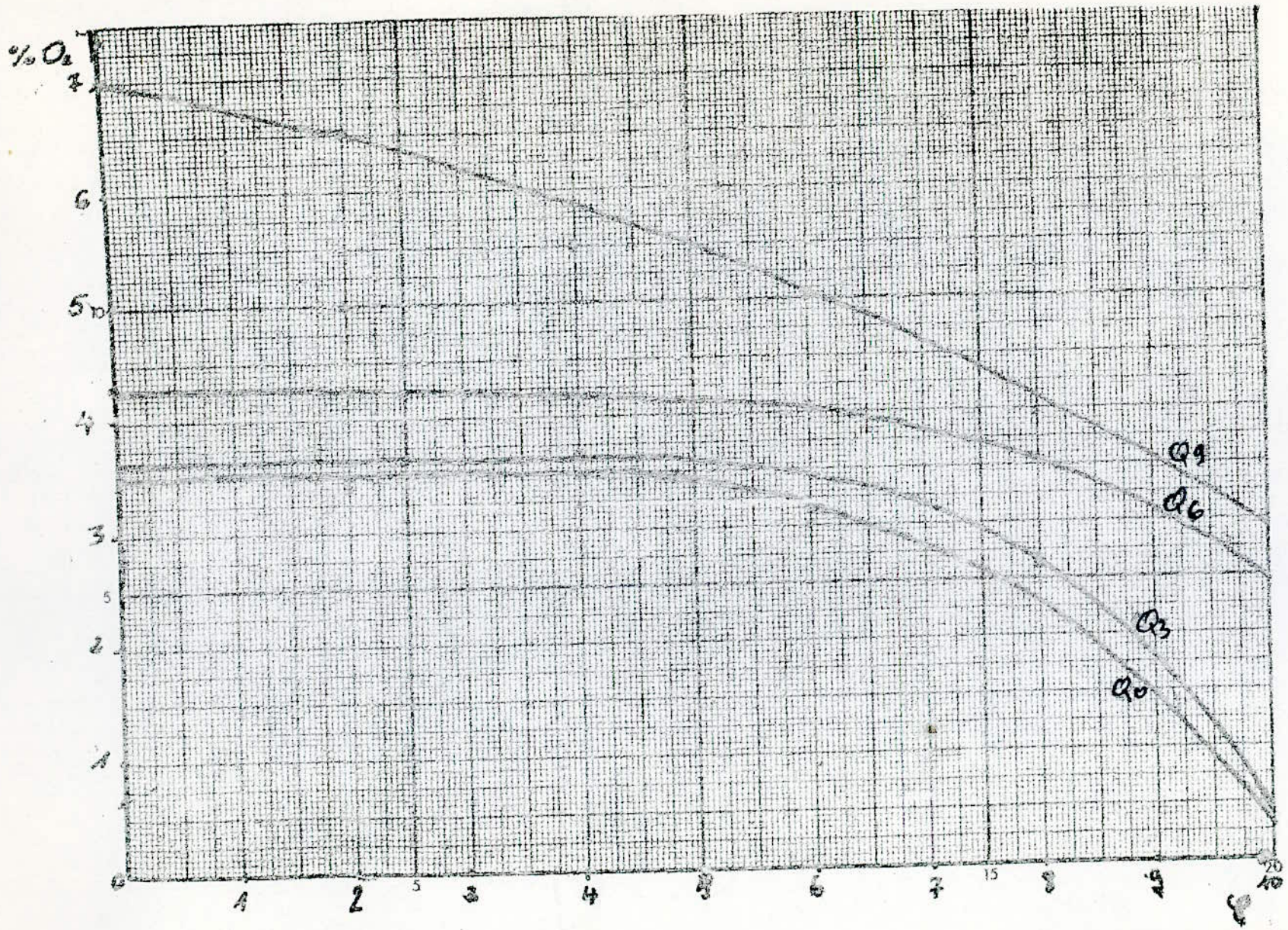
Charges	0	3	6	9
% O ₂	3,15	4,05	2,90	4,90
% CO	4,42	3,10	3,01	3,30

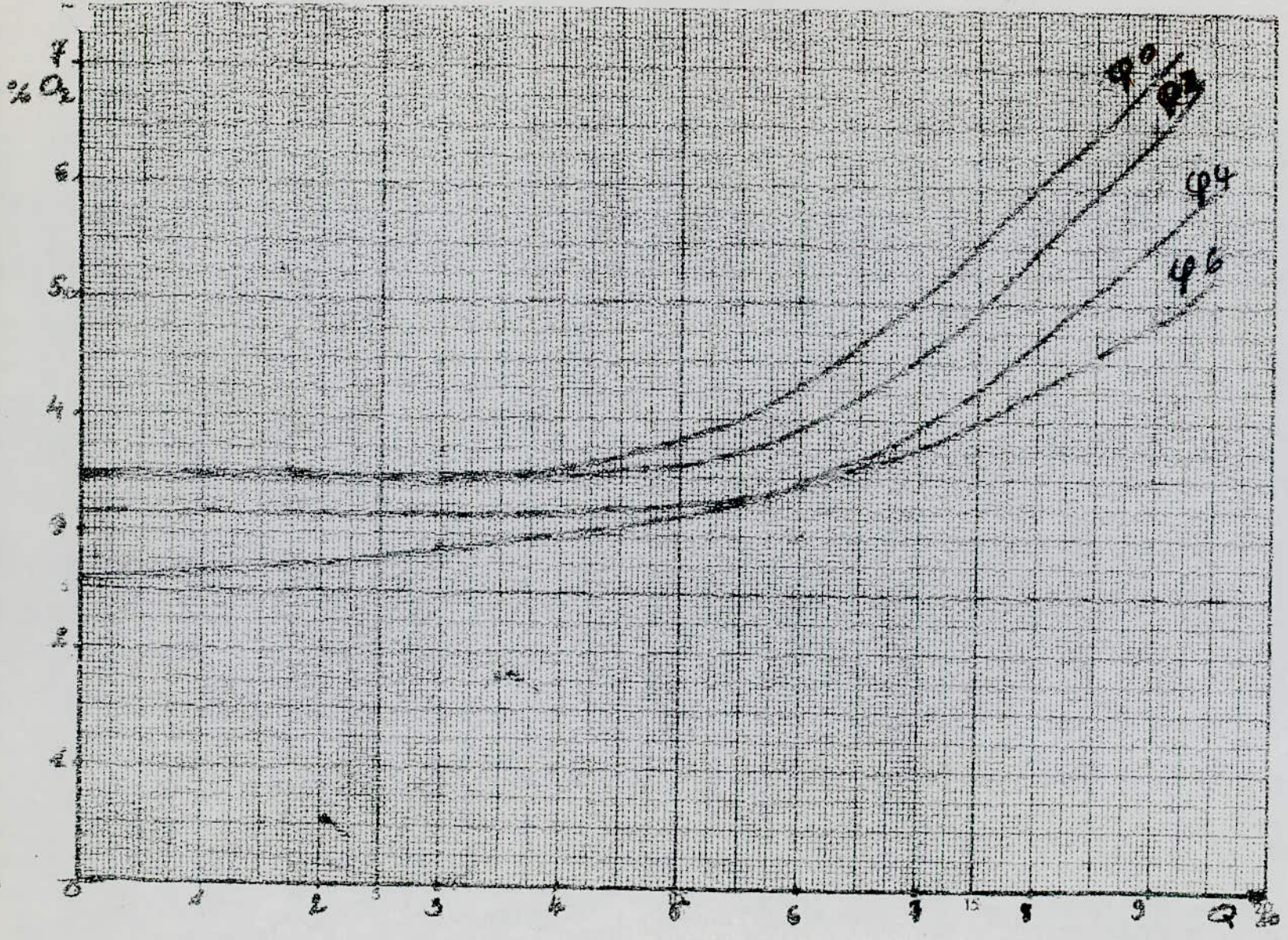
Position de l'accélérateur : 8

Charges	0	3	6	9
% O ₂	2,60	2,90	3,50	3,90
% CO	4,12	3,21	3,01	3,30

Position de l'accélérateur : 10

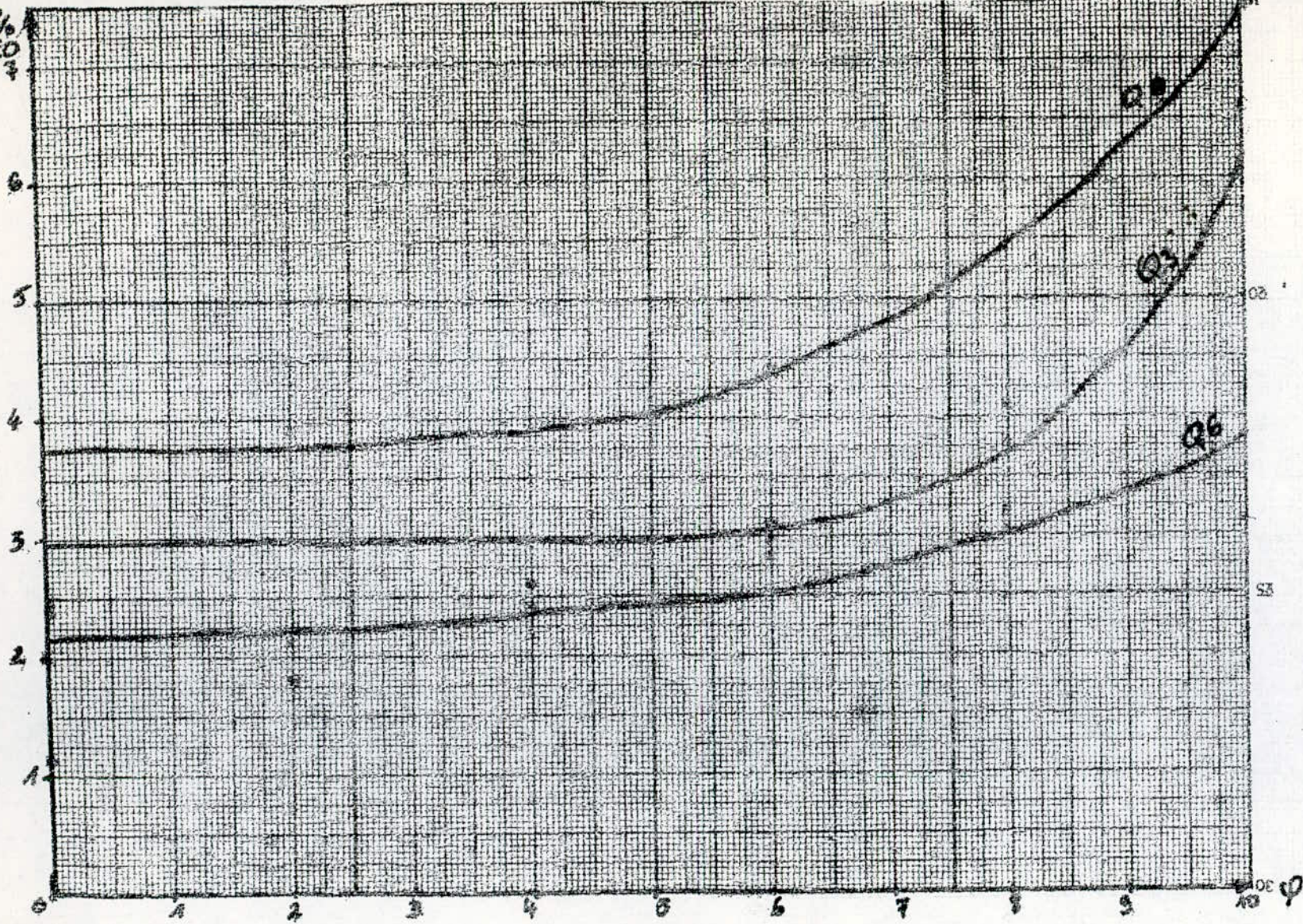
Charges	0,40	3	6	9
% O ₂	0,40	0	3,00	3,50
% CO	8,02	6,56	3,19	4,00

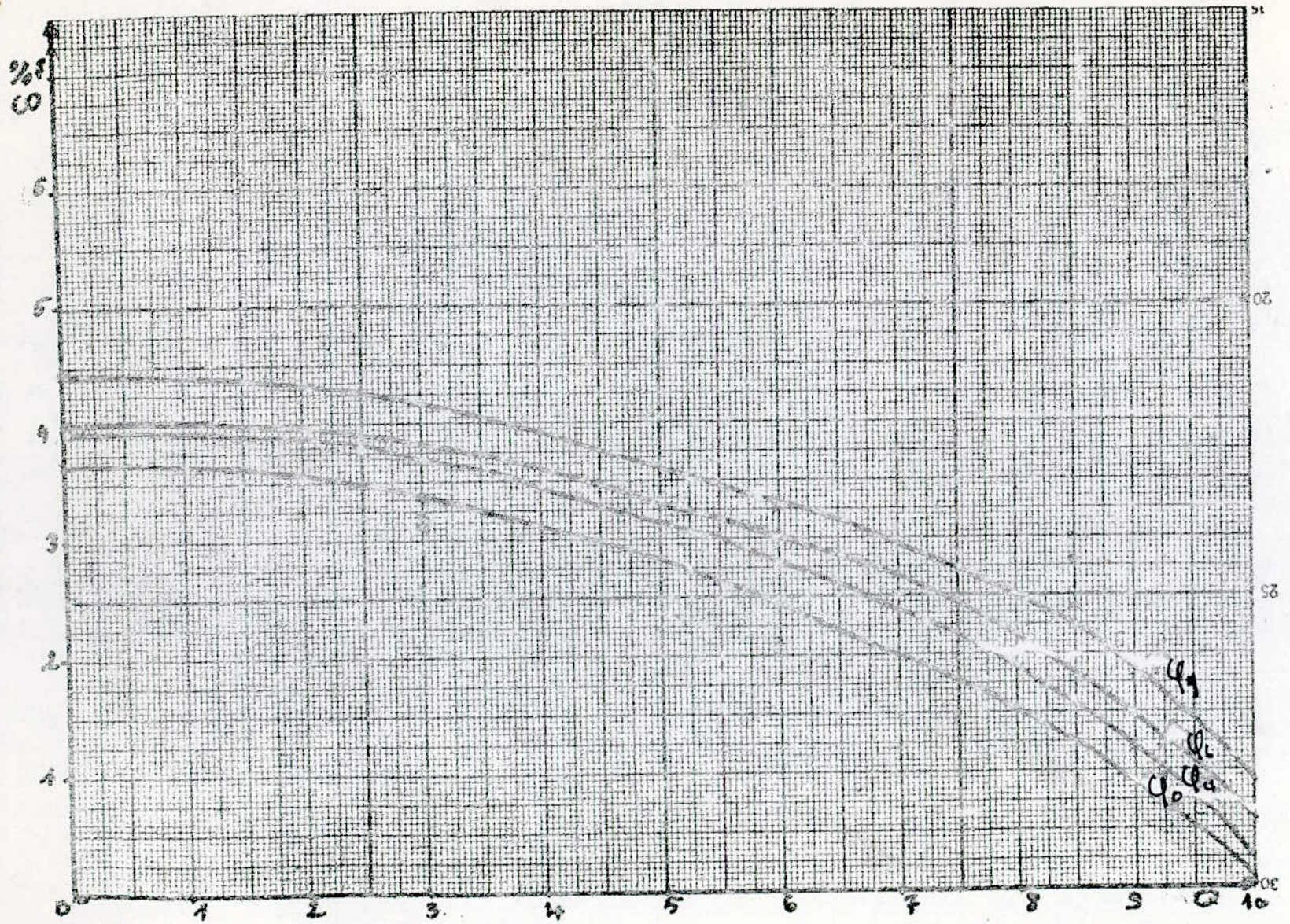




40

% CO₂





+ DESCRIPTION ET INTERPRETATIONS : $\%O_2 = F(\varphi)$

- On remarque que les courbes correspondant aux charges Q_0 , Q_3 , Q_6 ont la meme allure, et les quantités de O_2 dans les gaz d'echappement, augmentent avec la charge. Ca veut dire que pour des puissances elevée, on a plus d'oxygene brulé .

- Les courbes gardent une allure canstante jusqu'a des valeurs bien determinées de la richesse, puis deviennent paraboliques (on observe la forte decroissance sur le graphe), ceci montre q'en q'en debitant plus de carburant, on brule autant d'oxygene.

Par exemple :

Pour la charge Q_0 , l'allure parabolique commence à la position 3 de l'accelerateur.

Pour la charge Q_3 , à la position 5 .

Pour la charge Q_6 , à la position 6 .

+ DESCRIPTION ET INTERPRETATIONS : $\%CO = F(\varphi)$

- On remarque que les courbes ont des allures semblables pour les charges, Q_0, Q_3, Q_6 . Les quantités de CO deviennent grandes en réduisant la charge.

Ca veut dire qu'avec l'augmentation de la puissance, on a moins de CO dans le gaz d'échappement

- Les quantités de CO restent presque constantes (correspondant à la même charge) pour les premières positions de l'accélérateur, ensuite, et à une valeur de la richesse, elles deviennent de plus en plus grandes ; ceci se présente graphiquement avec une allure parabolique

Par exemple :

pour la courbe correspondant à la charge Q_0 , l'allure parabolique commence dès la position 3 de l'accélérateur

Pour Q_3 , à la position 3

Pour Q_6 , à la position 6

Ce phénomène est dû à l'insuffisance de l' O_2 , qui rend la combustion incomplète .

C H A P I T R E : I V

TRAVAUX FUTURS A REALISER

Après avoir une idée sur l'importance de l'analyse des gaz brûlés, il est commode d'expliquer les grands possibilités d'application de cette méthode pour en tirer le maximum de profit lors de l'étude de la combustion sous ces différentes formes, et plus que le matériel est sûr plus que les résultats sont sûrs et précises à un degré suffisant ou dans le pire des cas acceptable.

En sachant qu'il y'a plusieurs si complexes qui influent sur le rendement de la combustion, et ces facteurs peuvent changer d'une machine thermique à une autre, ou d'un foyer à un autre, l'analyse sous ces différents formes (chimique, physique, ou physico-chimique) peut nous révéler des renseignements intéressantes sur le gaz.

Bien que les analyseurs qu'on a utilisés, sont fabriqués et réglés pour une grande précision, sensibilité, et fidélité, leurs entretiens pose un grand problème, et une fois déréglés, leurs réglage exige de l'expérience, sinon il devient aléatoire et on risque de perdre les caractéristiques des appareils; tel que la linéarité de l'échelle de mesure par exemple....etc.

On peut ajouter à ça le soin qu'exige ce genre d'appareils, lors de l'installation, et de l'utilisation; les exigences sur la pression et la température, le risque que présente certains compositions chimiques, et enfin le circuit d'échantillonnage et d'acheminement des gaz qui fait - lui seul - un objet d'étude.

Il est bon de signaler que l'existence d'un circuit électronique si complexe ne nous donne pas la possibilité de suivre l'opération et nous oblige à réserver la réparation - en cas de défaillance - à un spécialiste; problème qui ne se pose pas pour le circuit pneumatique.

Pour tous cela, l'option pour l'analyseur chimique d'ORSAT trouvera ces raisons. En dépit de l'inconvénient de la non continuité de mesure, on trouve qu'une précision de 0,2% est valable. L'analyseur simple d'ORSAT n'exige pas beaucoup de connaissance pour comprendre le déroulement de l'opération, et ça depuis l'entrée du gaz à la prise de mesure.

Et puis la réalisation d'un tel appareil est dans notre possibilité, et les éléments de réalisation sont disponibles à niveau de l'école.

IV-I-CALCUL DU POUVOIR CALORIFIQUE D'UN GAZ A PARTIR DE SON ANALYSE CHIMIQUE :

Il est possible de calculer le pouvoir calorifique d'un gaz composé à partir de son analyse chimique, cette analyse s'effectuera, soit :

- A l'aide d'un appareil d'ORSAT.
- A l'analyseur automatique

Prenons un exemple et supposons que l'analyse d'un gaz pauvre à l'appareil, donne les valeurs suivantes :

$$\text{CO}_2 = 10 \%$$

$$\text{CO} = 30 \%$$

$$\text{H}_2 = 2 \%$$

$$\text{N}_2 = 57 \%$$

L'azote, gaz inerte, et l'anhydride carbonique, résidu de combustion n'ont pas de pouvoir calorifique ; il reste donc :

-Le CO, dont le pouvoir calorifique inférieur est de 3020 Kcal/m³.

-L' H₂, dont le pouvoir calorifique inférieur est de 2580 Kcal/m³.

D'où :

$$\text{CO} = 3020 \cdot \frac{30}{100} = 906 \text{ Kcal/m}^3.$$

$$\text{H}_2 = 2580 \cdot \frac{2}{100} = 51,6 \text{ Kcal/m}^3.$$

Le pouvoir calorifique inférieur de ce gaz sera donc de 957,6 Kcal/m³

Sachant que le pouvoir calorifique supérieur de l'hydrogène est de 3052 Kcal/m³, le pouvoir calorifique supérieur sera de :

$$906 + 3052 \cdot \frac{2}{100} = 967 \text{ Kcal/m}^3.$$

Généralement, si on a un carburant gazeux composée de, $C_{x_1}H_{y_1}$, $C_{x_2}H_{y_2}$:

..etc, dans les opérations suivantes (volumique) :

$$C_{x_1}H_{y_1} \dots\dots A_1 \%$$

$$C_{x_2}H_{y_2} \dots\dots A_2 \%$$

$$C_{x_n}H_{y_n} \dots\dots A_n \%$$

$$A_1, A_2, \dots\dots A_n.$$

En sachant les pouvoirs calorifiques inférieurs :

$$C_{x_1}H_{y_1} \dots\dots B_1 \text{ Kcal/m}^3.$$

$$C_{x_2}H_{y_2} \dots\dots B_2 \text{ Kcal/m}^3.$$

$$C_{x_n}H_{y_n} \dots\dots B_n \text{ Kcal/m}^3.$$

Le pouvoir calorifique de notre gaz composé sera :

$$PC_1 = B_1 \cdot \frac{A_1}{100} + B_2 \cdot \frac{A_2}{100} + \dots\dots + B_n \cdot \frac{A_n}{100}$$

En sachant les pouvoirs calorifiques supérieurs :

$$C_{x_1}H_{y_1} \dots\dots C_1 \text{ Kcal/m}^3.$$

$$C_{x_2}H_{y_2} \dots\dots C_2 \text{ Kcal/m}^3.$$

$$C_{x_n}H_{y_n} \dots\dots C_n \text{ Kcal/m}^3.$$

Le pouvoir calorifique supérieur sera :

$$PC_2 = C_1 \cdot \frac{A_1}{100} + C_2 \cdot \frac{A_2}{100} + \dots\dots + \frac{A_n}{100} \cdot C_n.$$

IV-II-CALCUL DE LA DENSITE D'UN GAZ A PARTIR DE SON ANALYSE

CHIMIQUE :

On peut calculer la densité d'un gaz composé à partir de son analyse chimique :

Supposons que notre gaz composé contient en proportions volumiques les quantités suivantes :

- $A_1 \dots\dots\dots X_1 \%$
- $A_2 \dots\dots\dots X_2 \%$
- $A_n \dots\dots\dots X_n \%$

En sachant la densité de chaque composé ρ

- $A_1 \dots\dots\dots \rho_1 \text{ Kg/m}^3$
- $A_2 \dots\dots\dots \rho_2 \text{ Kg/m}^3$
- $A_n \dots\dots\dots \rho_n \text{ Kg/m}^3$

La densité de notre gaz sera :

$$d = d_1 \cdot \frac{A_1}{100} + d_2 \cdot \frac{A_2}{100} + \dots\dots\dots + d_n \cdot \frac{A_n}{100}$$

IV-III-CALCUL DU RENDEMENT DE LA COMBUSTION A PARTIR DE SON

ANALYSE CHIMIQUE :

Comme on l'a déjà vu les résultats d'analyse des gaz brûlés sont utiles pour juger la qualité de la combustion :

Rendement :

$$\eta = \frac{CO_{2r}}{CO_{2t}}$$

Cette méthode a été déjà expliquée dans le deuxième chapitre, lorsque l'on a parlé de l'installation servant à calculer le rendement.

On peut avoir une idée sur la combustion, en prélevant des mesures exprimant les quantités.

CONCLUSION

Ce projet de fin d'études nous a permis d'avoir une idée sur l'importance de l'analyse chimique des gaz d'échappement, pour déterminer plusieurs facteurs, ayant des influences sur le déroulement et le résultats de la combustion.

En effet les essais menés au laboratoire turbomachines ont donné des résultats satisfaisantes, dus à l'état des analyseurs, et aux précautions prises lors de la manipulation.

BIBLIOGRAPHIE

- 6 Pratique de la mesure et du contrôle
dans l'industrie- 3J.BURTON
- 6 Traité de manipulation et d'analyse
des gaz.....H.GUERIN
- Combustion.....SURUGUE
BARRERE
- Etude théorique et expérimentale sur
chambre de combustion.
Projet de fin d'étude1974
- Analyseur d'oxygène OSCAR.....Notice technique
NT 34-147
- Analyseur de gaz à absorption de
de rayonnement infrarouge.....Notice technique
NT 34-107

