

29/86

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

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

lex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

SUJET

**Logiciel calculant le couple
moteur et l'irregularité
cyclique d'un multicylindre**

Proposé par :

Mr BOUKABACHE M.

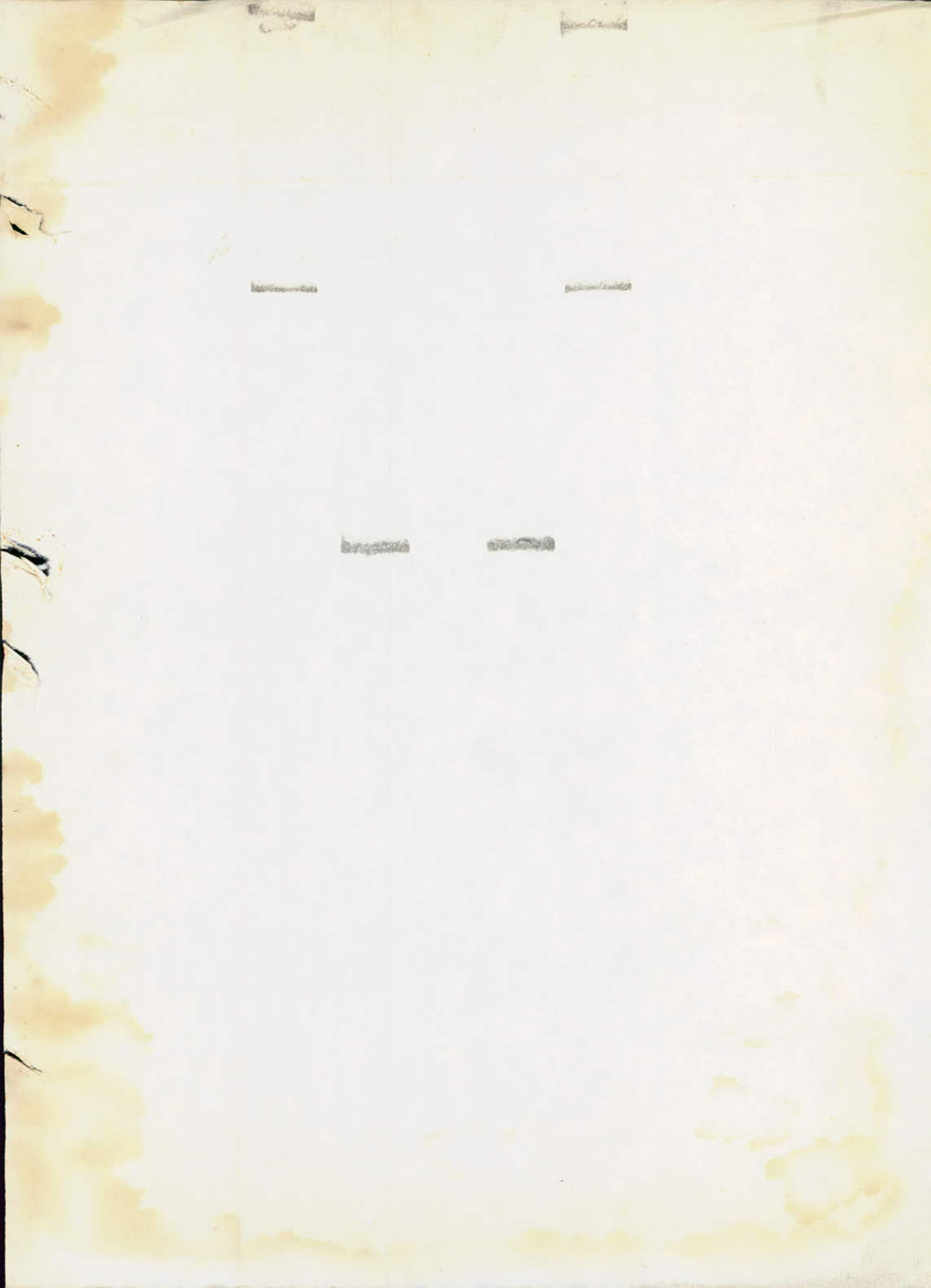
Etudié par :

BOUAFIA A.

Dirigé par :

Mrs BOUKABACHE M.
GAD I.

PROMOTION : JUIN 1986



جمهورية الجزائر الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

SUJET

**Logiciel calculant le couple
moteur et l'irregularité
cyclique d'un multicylindre**

Proposé par :

Mr BOUKABACHE M.

Etudié par :

BOUAFIA A.

Dirigé par :

Mrs BOUKABACHE M.
GAD I.

PROMOTION : JUIN 1986

Departement : Genie mecanique
Promoteurs : BOUKABACHE-GAD
Eleve Ingenieur: BOUAFIA A

وزارة التعليم العالي
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
فرع : الهندسة الميكانيكية
الموجه : بكعياش - جاد
الطالب المهندس : بوعافية

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع: حساب الازدواج اللحضي وعدم الانتظامية الدورية لمحرك
برنامج حساب الازدواج اللحضي لمتعدد الاسطوانات

الملاحظ: إعداد برنامج لحساب الازدواج اللحضي لمحرك متعدد الاسطوانات
مع الاخذ بعين الاعتبار موقع المرافق بالنسبة لبعضها البعض
وترتيب عمليات الاستعمال ثم تحديد عدم الانتظامية
الدورية وحساب عزم العطالة

SUBJECT:

Logiciel calculant le couple moteur et l'irregularité cyclique d'un multicylindre

RESUME:

Elaboration d'un logiciel, permettant d'une part le calcul du couple instantané pour plusieurs cylindres en prenant en compte le maillage du vilebrequin et l'ordre d'allumage, d'autre part la détermination de l'irregularité cyclique et le moment d'inertie du volant.

SUBJECT:

Computation program torque and the irregularity cyclic of one multicylinder

ABSTRACT:

A code enabling the computation of instantaneous angular velocity of a multicylinder engine crank-shaft has been prepared the cyclic irregularity can also be found and determination inertia moment of disk.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer à monsieur BOUKABACHE, chef de département tous mes remerciements pour l'aide et les conseils qu'il m'a donné pendant cette étude, à GAD mon Professeur

Merci aux enseignants qui d'années en années, de semestres en semestres m'ont fait don de leur savoir précieux, en sachant gagner ma sympathie et ma profonde reconnaissance.

DEDICACES

Je dedie ce travail à :

- mon père
- ma mère
- à mes frères et sœurs
- mon oncle MESSAOUD, ma tante ZOHRA
- mes amis

1_	INTRODUCTION	
1.1	GENERALITÉS	
2_	ETUDE THEORIQUE	
2.1	ACTIONS MECANIQUES APPLIQUÉES A LA BIELLE	4
2.2	ACTIONS MECANIQUES APPLIQUÉES AU PISTON	4
2.3	DETERMINATION DU COUPLE MOTEUR POUR un cylindre	6
2.3.1	COUPLE DÙ à la PRESSION DES GAZ	8
2.3.2	COUPLE DÙ AUX INERTIES	9
3_	ETUDE THEORIQUE DU MULTICYLINDRE	11
3.1	NUMEROTAGE DES CYLINDRES.	11
3.1.1	POSITION DE L'OBSERVATEUR.	11
3.1.2	PLAN DE REFERENCE.	11
3.2	MOTEUR EN LIGNE	11
3.3	MOTEUR EN V	12.
3.4	ORDRE D'ALLUMAGE DES MULTICYLINDRES A QUATRE TEMPS.	14
3.5	ETUDE DU MOTEUR EN LIGNE.	
3.5.1	COUPLE DANS LES MOTEURS A DEUX CYLINDRES EN LIGNE.	16
3.5.2	COUPLE DANS LES MOTEURS A quatre cylindres EN LIGNE	17.
3.5.3	COUPLE DANS LES MOTEURS A N cylindres EN LIGNES.	17
3.6	ETUDE DU MOTEUR EN V A 4 TEMPS.	18

3-6.1	COUPLE MOTEUR D'UN 6 CYLINDRES EN V AVEC UN ANGLE D'OUVERTURE DE 60°	19
3-6.2	COUPLE MOTEUR D'UN V6 AVEC UN ANGLE D'OUVERTURE DE 90°	20
3-6.3	COUPLE MOTEUR D'UN MULTICYLINDRE EN V AVEC UN ANGLE D'OUVERTURE QUELCONQUE.	
4	IRREGULARITE CYCLIQUE	22
4-1	REGULATION DU COUPLE MOTEUR	22
4-2	DEFINITION DE L'IRREGULARITE CYCLIQUE	24
4-2.1.	THEOREME DES FORCES VIVES	24
4-2.2	ENERGIE CINETIQUE DES MASSES EN MOUVEMENT DE ROTATION.	24
4-2.3.	ENERGIE CINETIQUE DES MASSES EN MOUVEMENT DE TRANSLATION.	24
4-3	COEFFICIENT D'IRREGULARITE CYCLIQUE	27
4-3.1	COEFFICIENT D'IRREGULARITE CYCLIQUE OPTIMAL	28
5	PROGRAMME DE CALCULS	30
5.1	ORGANIGRAMME	30
	CONCLUSION	35
	APPENDICE : EVOLUTION DE LA PRESSION DANS LE CYLINDRE.	36
	ANNEXE : APPLICATION NUMERIQUE	

NOTATIONS UTILISÉES

- θ
 L'angle de rotation de la manivelle $\theta = (\vec{y}_0, \vec{OA})$
- $\dot{\theta}$
 Vitesse de rotation instantané
- ϕ
 L'angle de rotation de la bielle $\phi = (\vec{y}_0, \vec{BA})$
- $\dot{\phi}$
 Vitesse de rotation instantané de la bielle
- L
 L'entraxe de la bielle en [m]
- M_B
 Masse de la bielle en [kg]
- M_P
 Masse du piston en [kg]
- L_B
 Position du centre de gravité par rapport au point B
- I_{GZ}
 Moment d'inertie Par rapport a GZ en [kg.m²]
- R
 Rayon de manivelle en [m]
- $Y(\theta)$
 Efforts dûs aux gaz $Y(\theta) = \frac{\pi D^2}{4} \cdot P(\theta)$ [N]
- N
 vitesse de rotation [tr/mn]
- M
 Nombre de cylindres

1. INTRODUCTION

1.1 GENERALITÉS.

1.1

La raison d'être d'un moteur est de fournir de la puissance, donc du couple.

Pour fournir un couple, tout moteur thermique doit successivement :

- Comprimer un fluide froid.
- Y introduire de l'énergie calorifique pour augmenter la température du fluide.
- Detendre le fluide pour en extraire le travail moteur.
- Rejeter la chaleur restante pour revenir aux conditions initiales.

Dans un moteur alternatif à combustion interne, la production du couple est assurée par le vilebrequin qui a pour fonction de transformer la force du piston (mouvement alternatif) en un couple sur le volant moteur (mouvement circulaire); et ceci par l'intermédiaire du système bielle-manivelle.

A chaque course du vilebrequin, il en résultent d'énormes efforts dus aux efforts d'inerties et aux pressions des gaz. Ces forces sollicitent le vilebrequin

principalement en torsion et en flexion.

Toutefois, ce couple produit par l'arbre moteur n'est pas constant, mais continuellement variable. Lorsque le piston se déplace vers le bas pendant sa course de combustion, il exerce par l'intermédiaire de la bielle une poussée considérable sur le maneton. Cette force tend à tordre le bras de manivelle, à l'échappement (déplacement du piston vers le haut) cette force disparaît, le bras de manivelle tend alors à reprendre sa position initiale. Cette action répétée à chaque course, tend à imprimer un mouvement oscillant au vilebrequin, c'est les vibrations de torsions.

A certaines fréquences de rotation, (régime critique) elle peuvent s'accroître au point d'entraîner la rupture du vilebrequin.

Pour essayer de palier à l'irrégularité du couple moteur, on installe un volant d'inertie qui a pour fonction d'emmagasiner de l'énergie durant le temps moteur (détente) et la restitue pendant les temps non-moteur (admission, compression, échappement).

Le volant moteur est une masse d'inertie qui régularise et équilibre la rotation du vilebrequin. Pour

une même cylindrée, la masse du volant est d'autant plus grande que le moteur comporte moins de cylindres.

2 ETUDE THEORIQUE

Pour la détermination du couple moteur, on a besoin de connaître l'action de la force exercée par le maneton sur la bielle au point A et ~~l'action de l'axe de piston sur le piston.~~

2.1 ACTIONS MECANQUES APPLIQUEES A LA BIELLE

Isolons la bielle, et appliquons lui les actions vectorielles fondamentales de la dynamique

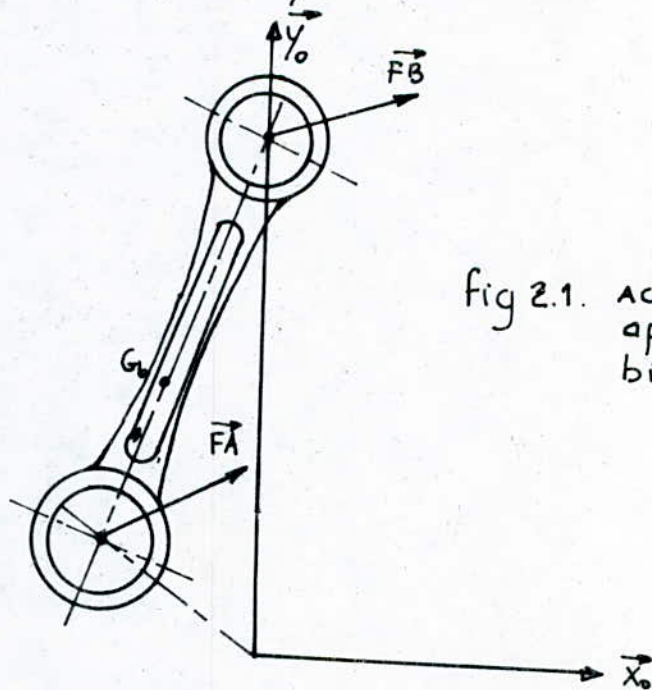


fig 2.1. Actions mécaniques appliquées à la bielle.

$$M_B \vec{T}_0 = \sum \vec{F}_{\text{ext}} / \text{bielle}$$

①

La somme des forces extérieures appliquées à la bielle est égale au produit de la quantité d'accélération du centre de gravité par la masse de la bielle.

Dans la formule ① :

M_B désigne la masse du piston.

Γ_G l'accélération du centre de gravité de la bielle.

$$\sum \vec{F}_{ext/bielle} = \vec{F}_A + \vec{F}_B \quad (\text{voir fig 2-1}) \quad \text{ou :}$$

\vec{F}_A représente l'action du maneton sur la bielle.

\vec{F}_B représente l'action de la bielle sur le piston.

$$\delta(bielle/\Gamma_G) = \sum \vec{m}_{F_{ext}/\Gamma_G} \quad \text{②}$$

Le moment dynamique de la bielle représente la résistance à la rotation de la bielle.

$$\sum \vec{m}_{F_{ext}/\Gamma_G} = \vec{m}_{\vec{F}_A} + \vec{m}_{\vec{F}_B} \quad \text{Par rapport au centre de gravité de la bielle}$$

Le moment dynamique de la bielle par rapport au centre de gravité est égale à la somme des moments des forces extérieures.

La projection de ces deux équations sur les axes ox , oy et oz donne un système de trois équations linéaires à quatre inconnues (x_A, y_A, x_B, y_B).

x_A, y_A représentent les composantes de la force exercée par le maneton sur la bielle au point A;

x_B, y_B étant les composantes de la force exercée par la bielle sur le piston au point B.

Pour pouvoir résoudre le système, on a besoin d'une autre équation, celle-ci est obtenue en isolons le solide voisin, c'est à dire le piston.

2.2 ACTIONS MECANIQUE APPLIQUÉES AU PISTON.

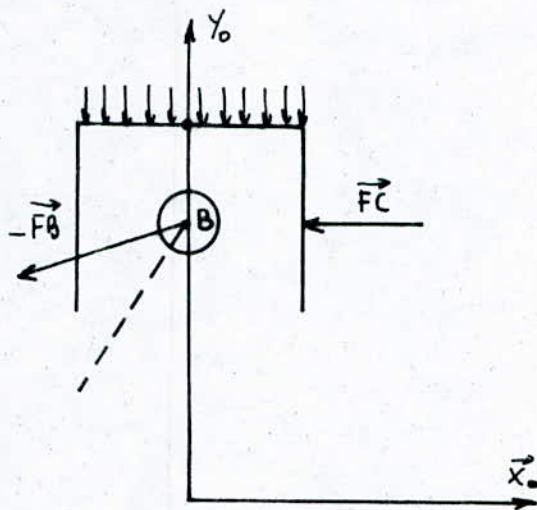


Fig 2.2. Actions mécaniques appliquées au piston.

Appliquons les équations vectorielles fondamentales de la dynamique au piston.

$$M_P \cdot \vec{\Gamma}_{G_P} = \sum \vec{F}_{ext/G_P} \quad (3)$$

$$\delta(\vec{piston/G_P}) = \sum m \vec{F}_{ext/G_P} \quad (4)$$

ou (3) désigne :

La somme des forces extérieures appliquées au piston est égale au produit de la masse du piston par la quantité d'accélération du centre de gravité.

La masse du piston est désignée par M_P .

L'accélération du centre de gravité du piston est désignée par $\vec{\Gamma}_{G_P}$.

(6)

$$\Sigma \vec{F}_{ext}/G_p = -\vec{F}_B + \vec{F}_C + \vec{F}_p$$

$-\vec{F}_B$ représente la force exercée par la bielle sur le piston.

\vec{F}_C représente l'action de la chemise sur le piston.

\vec{F}_p représente l'action des gaz sur le piston.

$\overrightarrow{\delta \text{ piston}/G_p}$ - représente le moment dynamique du piston par rapport à son centre de gravité, de piston n'a aucune rotation par rapport à 0 donc son moment dynamique est nul

En projetons les équations sur les axes, on obtient deux autres équations à une inconnue.

La résolution de ce système d'équation donne. (Projet de fin d'étude de HAMIDI):

$$. Y_B = -\pi D^2/4 \cdot P(\theta) - M_P (R \ddot{\theta} (\phi - \theta) \cos \theta + R \ddot{\phi} \sin \theta) \quad (5)$$

$$. Y_A = M_B (R \ddot{\theta} \cos \theta (\phi - \theta - \frac{L_B}{L} \phi) + (L - L_B) \ddot{\phi} \sin \phi) - Y_B \quad (6)$$

$$. X_A = (L_B Y_B \sin \phi - (L - L_B) Y_A \sin \phi + M_B L_B^2 \ddot{\theta}^2 \cos \phi \sin \phi - \ddot{\phi} I_{GZ}) / L \cos \phi \quad (7)$$

$$. X_B = -X_A + M_B L_B \dot{\theta}^2 \sin \phi \quad (8)$$

$$. X_C = X_B \quad (9)$$

2.3 DETERMINATION DU COUPLE MOTEUR POUR UN CYLINDRE

Par définition, le couple moteur est égale au produit vectorielle du vecteur force exercé par la bielle sur le maneton par le vecteur bras de levier.

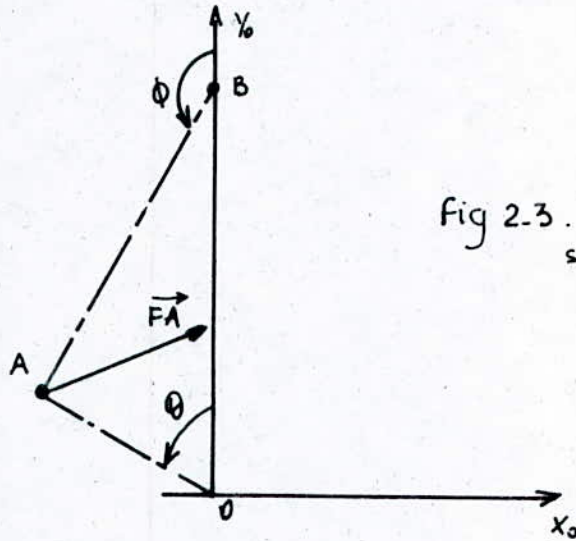


Fig 2.3. Actions de la bielle sur le maneton.

$$\vec{C} = -\vec{F}_A \wedge \vec{OA}$$

$$\vec{F}_A = X_A \cdot \vec{x}_0 + Y_A \cdot \vec{y}_0$$

$$\vec{OA} = -R \sin \theta \cdot \vec{x}_0 + R \cos \theta \cdot \vec{y}_0$$

$$\begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} \vec{x}_0 \\ \vec{y}_0 \\ \vec{z}_0 \end{matrix} \wedge \begin{pmatrix} -R \sin \theta \\ R \cos \theta \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} \vec{x}_0 \\ \vec{y}_0 \\ \vec{z}_0 \end{matrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ R \cos \theta X_A + R \sin \theta Y_A \end{pmatrix} \begin{matrix} \vec{x}_0 \\ \vec{y}_0 \\ \vec{z}_0 \end{matrix}$$

Ce qui donne :

$$C_m = + R (X_A \cos \theta + Y_A \sin \theta)$$

(10)

Le couple moteur total peut être décomposé en couples dus aux pressions des gaz et un couple dû aux forces d'inerties.

2.3.1. couple dû à la Pression des gaz.

La pression régnant dans le cylindre à un instant donné exerce des efforts sur la chemise, la culasse et le piston, les pressions ainsi mises en jeu sont des forces purement intérieures au moteur.

- Les Pressions radiales agissant sur la chemise s'auto équilibrent

- Les forces agissant sur le piston $F(\theta) = P(\theta) \frac{\pi D^2}{4}$ sont de direction et de sens fixe, de grandeur variable et de période 4π

Ces forces ayant agi sur le piston se transmettent intégralement (aux frottements près) au maneton par l'intermédiaire de la bielle. Pour fournir le couple moteur dû à la Pression des gaz.

ce couple étant obtenu en égalant les masses de bielle et de piston à zéro dans la formule du couple total.

$$C_g = R(L.S(P(\theta) - P_0) \sin \phi + I_G \ddot{\phi}) \cos \theta / L \cos \phi + S(P(\theta) - P_0) \sin \theta$$

(11)

2.3.2. couple dû aux inerties

le déplacement alternatif du piston sur oy , et de la manivelle par rapport à l'axe de rotation, engendre une force d'inertie de forme sinusoidale est de période 2π , le couple produit par cette force est de grandeur cycliquement variable et de période 2π . ce dernier est obtenu en égalant à zero la pression dans le cylindre dans la formule du couple total ou bien en faisant la difference entre le couple moteur total et le couple dû à la pression des gaz. ceci nous donne :

$$C_i = C_m - C_g.$$

(12)

3. ETUDE THEORIQUE DU MULTICYLINDRE

3.1 NUMEROTAGE DES CYLINDRES

le moteur est considéré isolément, sans tenir compte de l'orientation qu'il pourrait avoir sur le véhicule à équiper.

3.1.1. Position de l'observateur

le moteur étant en position normale de fonctionnement, l'observateur est supposé regardant face à la sortie de l'arbre d'entraînement (côté volant). sa droite ou sa gauche définit la droite ou la gauche du moteur.

3.1.2. plan de référence.

il est constitué par le demi plan horizontal passant par l'axe d'entraînement et situé à gauche de l'observateur.

3.2 MOTEUR EN LIGNE

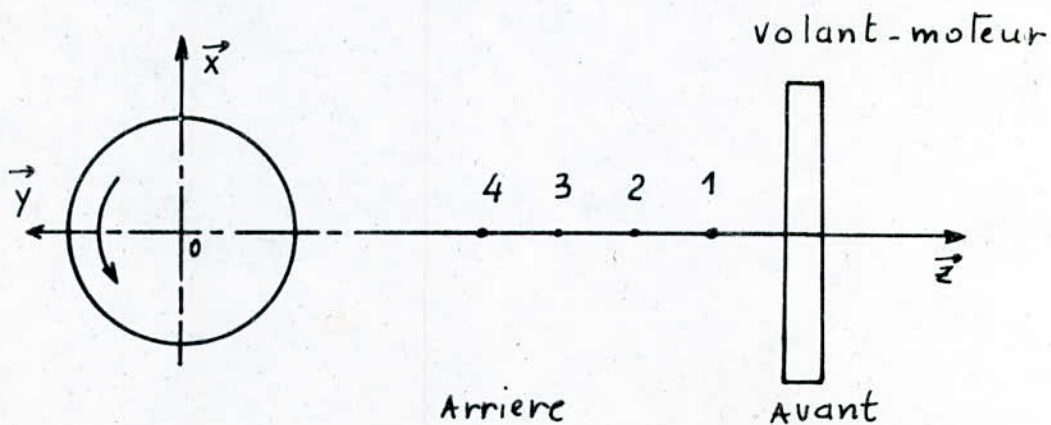


Fig. 3.1 Reperage des cylindres sur un 4 cylindres en ligne.

- l'avant du moteur est le côté volant.
- Un observateur placé devant le moteur le voit tourner dans le sens trigonométrique.
- on numérote les cylindres de l'avant vers l'arrière.

3.3. MOTEUR EN V

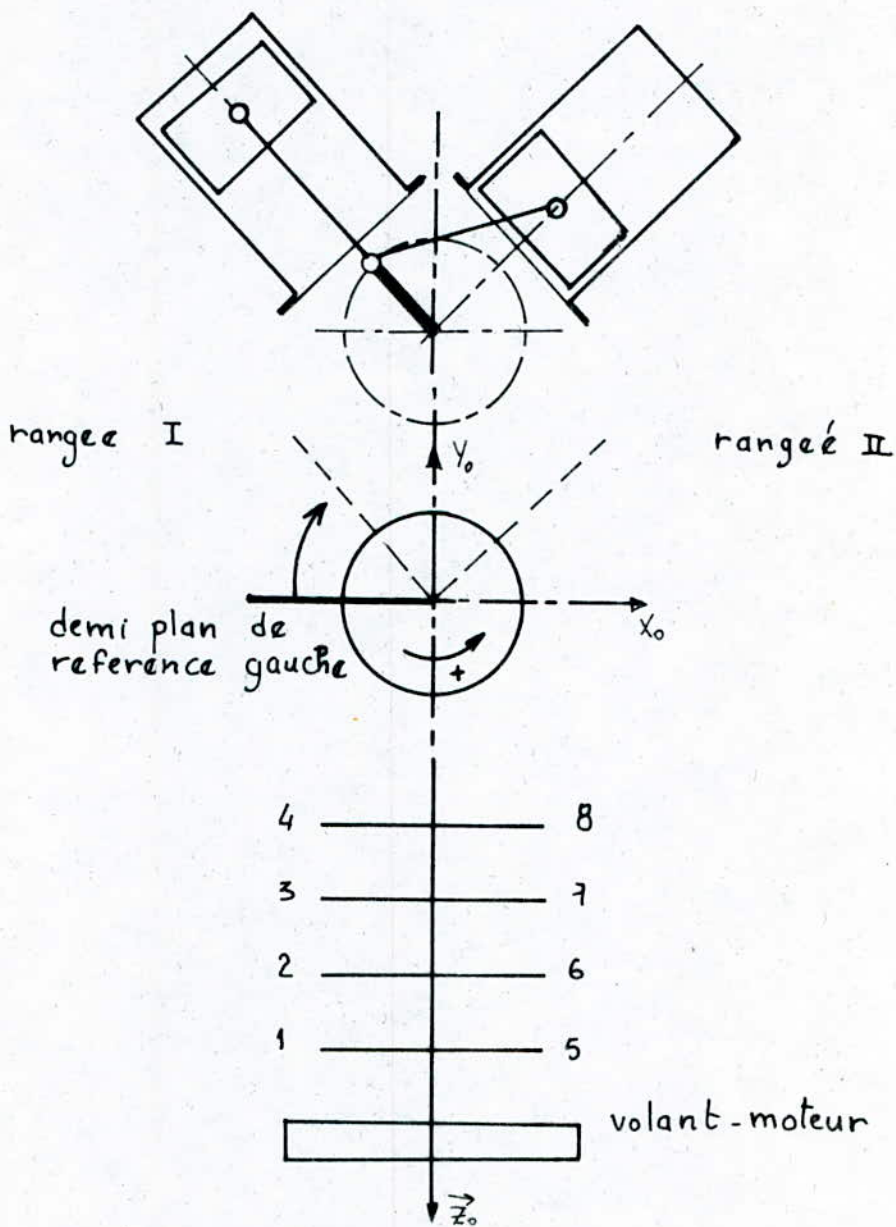


Fig. 3-2 repérage des cylindres sur un V8

Un observateur placé devant le moteur définit un demi plan de référence gauche. on numérote les rangées de cylindres en faisant tourner le demi plan de référence gauche dans le sens des aiguilles d'une montre, sur une rangée donnée, on numérote les cylindres de l'avant vers l'arrière.

3.4 ORDRE D'ALLUMAGE DES MULTICYLINDRES A QUATRE TEMPS

Le couple instantané d'un moteur à n cylindres s'obtient par composition du couple instantané du moteur mono-cylindre.

Le couple instantané dépend :

- du nombre de cylindres et de leurs dispositions
- du vilebrequin utilisé
- de l'ordre d'allumage et de l'intervalle entre deux allumages.

Lorsque le nombre et la disposition des cylindres sont choisis et que le vilebrequin est choisi, il y a $2^{n/2-1}$ ordres d'allumage. Pour en choisir un, il faut tenir compte des paramètres suivants :

1. Possibilité de grouper les admissions.

Le remplissage du moteur dépend pour un ordre d'allumage donné, du groupement des admissions. Selon l'encombrement disponible, on pourra ou non regrouper les admissions conduisant au meilleur remplissage possible.

2. Possibilité de grouper les échappements

Ce groupement dépend de la géométrie du moteur, Pour un moteur en V par exemple, il sera physiquement difficile de

de grouper une sortie d'échappement de la rangée de gauche avec une sortie d'échappement de la rangée de droite. on groupera donc en un m en plusieurs collecteurs, les sorties d'échappement de chaque rangée, ce qui nous interdit d'allumer deux fois de suite sur la même rangée.

3- fréquence de charge des paliers de lignes d'arbre
Pour imaginer cette fréquence on fera un schéma en supposant que seuls les deux paliers situés de part et d'autre du cylindre dans lequel se produit une explosion supportent les efforts de cette explosion. Il faut éviter de charger plusieurs fois de suite le même palier et, pour ce faire, on alternera l'allumage côté avant et côté arrière du moteur

3.5. MOTEUR EN LIGNE.

Dans le but d'obtenir la meilleur régularité possible du couple, on s'efforce en pratique de réaliser l'équidistance des cycles relatifs aux différents cylindres ce qui impose de caler les différents coudes du vilebrequin selon un même angle θ .

Pour un moteur à n cylindres, l'angle de calage θ est de $\frac{4\pi}{n}$ Pour un moteur à 4 temps

3.5.1. couple dans les moteurs à deux cylindres en ligne

Pour avoir un allumage régulier, il faut caler les manetons à

$$\frac{4\pi}{n} = 2\pi$$

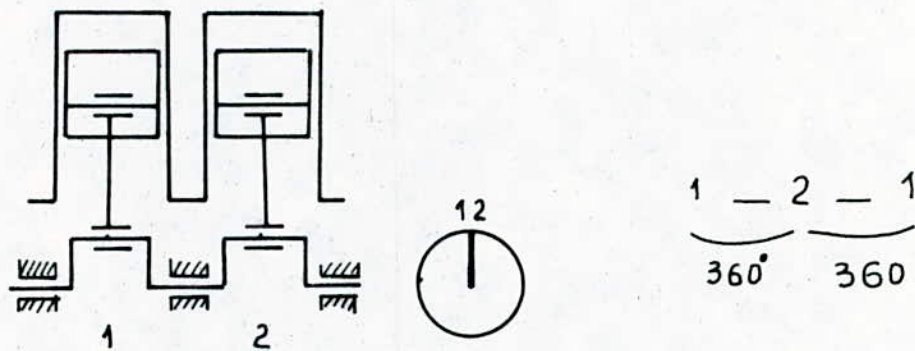


Fig. 3-3 vilebrequin et ordre d'allumage d'un moteur à 2 cylindres en ligne à 4 temps.

La manivelle ① fait avec l'axe du cylindre un angle θ
 La manivelle ② fait au même instant par rapport au même axe un angle égale à $\theta + 2\pi$, or le couple est une

grandeur additif, ce qui donne pour le couple résultant :

$$C_m = C(\theta) + C(\theta + 2\pi)$$

3-5-2. Couple dans les moteurs à 4 cylindres en ligne (4 temps)

les manetons sont calés à $\frac{4\pi}{n} = \pi$, les allumages ont lieu à intervalles réguliers de π

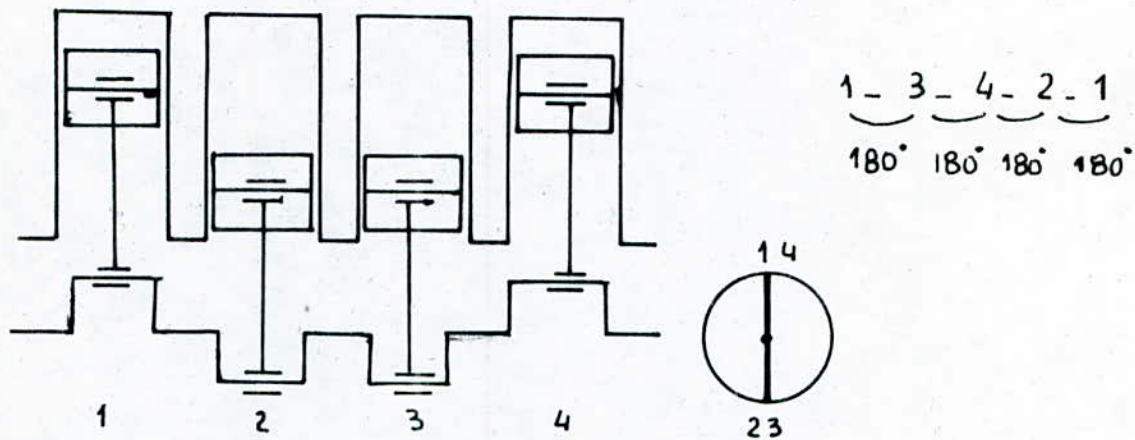


Fig. 3.4 vilebrequin et ordre d'allumage des moteurs à 4 cylindres en ligne à 4 temps.

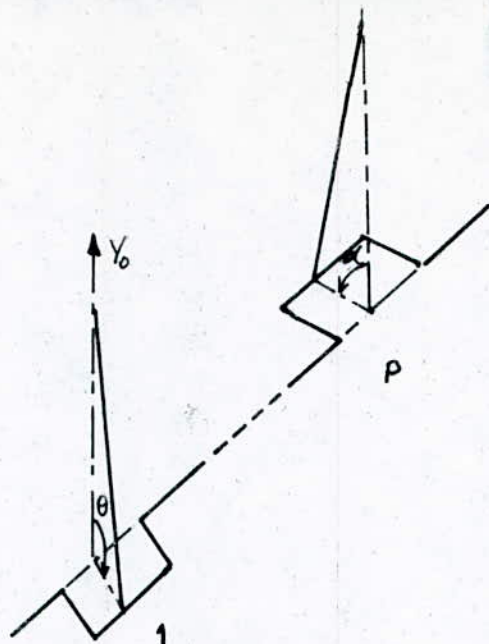
le couple résultant est donné par :

$$C_m = C(\theta) + C(\theta + \pi) + C(\theta + 2\pi) + C(\theta + 3\pi)$$

3-5.3. Couple dans un multicylindre en ligne à 4 temps.

soit un moteur à n cylindres en ligne, l'angle de calage entre deux coudes consécutifs est $\delta = \frac{4\pi}{n}$

considérons le cylindre ① pris comme référence et faisant un angle θ avec Y_0 , alors la manivelle du cylindre p



$$\alpha = \theta + (p-1) \frac{4\pi}{n}$$

Fig-3-5. vilebrequin d'un moteur en ligne.

fait au même instant par rapport - au même axe un angle égale à $\theta + (p-1) \frac{4\pi}{n}$
 le couple d'un ~~multicylindre~~ cylindre N° p est égale au couple de cylindre N° 1 en remplaçant θ par $\theta + (p-1) \frac{4\pi}{n}$
 donc on aura.

$$C_1(\theta) = C(\theta)$$

$$C_p(\theta) = C\left(\theta + (p-1) \frac{4\pi}{n}\right)$$

le couple total pour l'ensemble des cylindres vaut :

$$C_n(\theta) = C(\theta) + C\left(\theta + \frac{4\pi}{n}\right) + C\left(\theta + 2\frac{4\pi}{n}\right) + \dots + C\left(\theta + (n-1) \frac{4\pi}{n}\right)$$

$$C_n(\theta) = \sum_{p=1}^n C\left(\theta + (p-1) \frac{4\pi}{n}\right) \quad (13)$$

3.6. MOTEUR EN V A QUATRE TEMPS

un moteur en V multicylindre est constitué de deux moteurs en ligne décalés entre eux d'un angle δ , appelé angle d'ouverture du V.

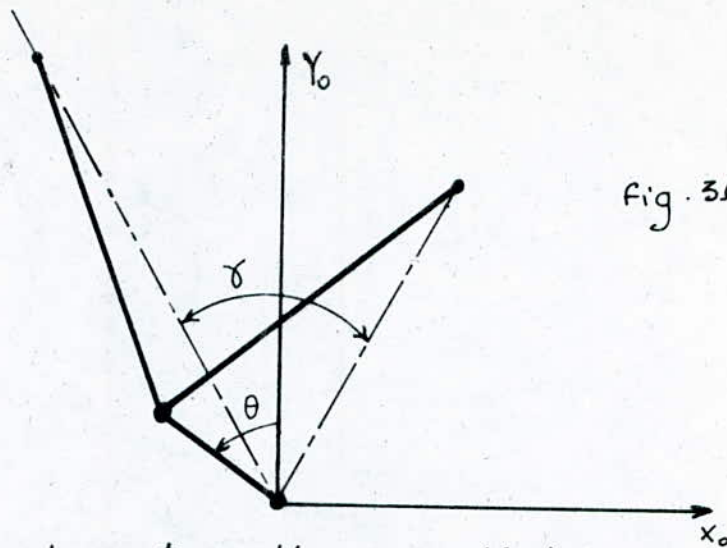


Fig. 3.6 moteur en V

3.6.1 couple moteur d'un 6 cylindres en V avec un angle d'ouverture de 60°

Pour le moteur en V avec 6 cylindres, on prend le vilebrequin du moteur 3 cylindres en ligne dont les manetons sont calés à $\frac{4\pi}{3}$, l'angle d'ouverture du V est de 60° . Les intervalles entre deux allumages ne sont pas réguliers il valent $(240^\circ - 60^\circ)$ et 60° .

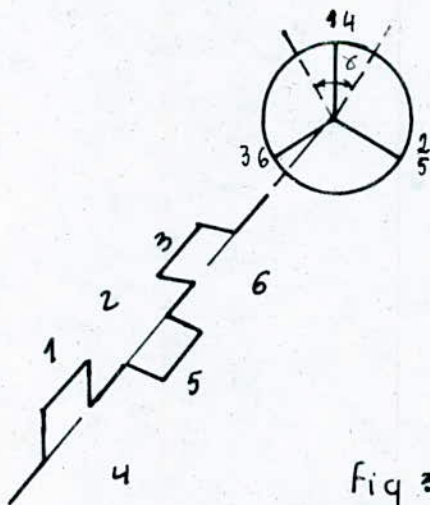


Fig 3-7 vilebrequin d'un moteur V6 ouvert à 60° utemps

Le moteur V6 à 60° est composé de deux moteurs trois cylindres en ligne décalés de 60° , Pour avoir le couple du V6 à 60° , on peut composer le couple moteur du trois

du trois cylindres en ligne avec ce même couple décalé de 60° ou de 180°

Le couple résultant est donné par :

$$C_m = C(\theta) + C(\theta + \pi) + C(\theta + \frac{4\pi}{3}) + C(\theta + \frac{7\pi}{3}) + C(\theta + \frac{8\pi}{3}) + C(\theta + \frac{11\pi}{3})$$

3.6.2. couple moteur d'un V6 avec un angle d'ouverture de 90°

on prend le même vilebrequin, les intervalles entre deux allumages ne sont pas réguliers. il valent 90° et $(240^\circ - 90^\circ)$

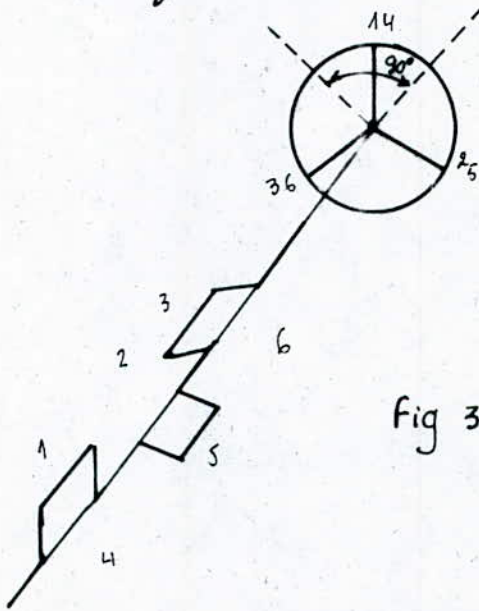


Fig 3-8 vilebrequin d'un moteur à trois cylindres.

le moteur V6 avec un angle d'ouverture de 90° est composé de deux moteurs trois cylindres en ligne décalés de 90° .

Pour avoir le couple du V6 à 90° on peut composer le couple moteur du trois cylindres en ligne, avec ce même couple décalé de 90° ou de 150°

le couple résultant est donné par :

$$C_m = C(\theta) + C(\theta + \frac{5\pi}{6}) + C(\theta + \frac{4\pi}{3}) + C(\theta + \frac{13\pi}{6}) + C(\theta + \frac{2\pi}{3}) + C(\theta + \frac{7\pi}{6})$$

3.6.3. couple moteur d'un multicylindre en V avec un angle d'ouverture quelconque.

On prend un vilebrequin dont l'angle de calage est de $\frac{4\pi}{n/2}$, n étant le nombre de cylindres

L'ouverture du V est quelconque, les allumages ne sont pas réguliers et valent $(\frac{2\pi}{n} - \gamma)$ et γ pour n cylindres le couple résultant sera donné par :

$$C_n(\theta) + C(\theta) + C(\theta + \frac{2\pi}{n} - \gamma) + C(\theta + \frac{2\pi}{n} - \gamma + \gamma) + \dots \\ C(\theta + p \frac{2\pi}{n} - \gamma) + C(\theta + \frac{2\pi}{n} (p-1))$$

$$C_n(\theta) = C(\theta) + C(\theta + \frac{2\pi}{n}) + C(\theta + 2 \cdot \frac{2\pi}{n}) + \dots + C(\theta + (p-1) \frac{2\pi}{n}) \\ + C(\theta + \frac{2\pi}{n} - \gamma) + C(\theta + 2 \cdot \frac{2\pi}{n} - \gamma) + \dots + C(\theta + p \frac{2\pi}{n} - \gamma)$$

$$C_n(\theta) = \sum_{p=1}^{n/2} C(\theta + (p-1) \frac{2\pi}{n}) + C(\theta + p \cdot \frac{2\pi}{n} - \gamma) \quad (14)$$

lorsque l'angle d'ouverture du V est égale à la moitié de l'angle de calage des manetons, le couple moteur d'un multicylindre en V est égale au multicylindre en ligne

Remplaçons dans la formule γ par $\frac{4\pi}{n}$; $C_n(\theta)$ devient :

$$C_n(\theta) = C(\theta) + C(\theta + 2 \cdot \frac{4\pi}{n}) + C(\theta + 4 \cdot \frac{4\pi}{n} + \dots + C(\theta + 2 \cdot (p-1) \frac{4\pi}{n}) \\ + C(\theta + \frac{4\pi}{n}) + C(\theta + 3 \cdot \frac{4\pi}{n}) + C(\theta + 5 \cdot \frac{4\pi}{n}) + \dots + C(\theta + (2p-1) \frac{4\pi}{n})$$

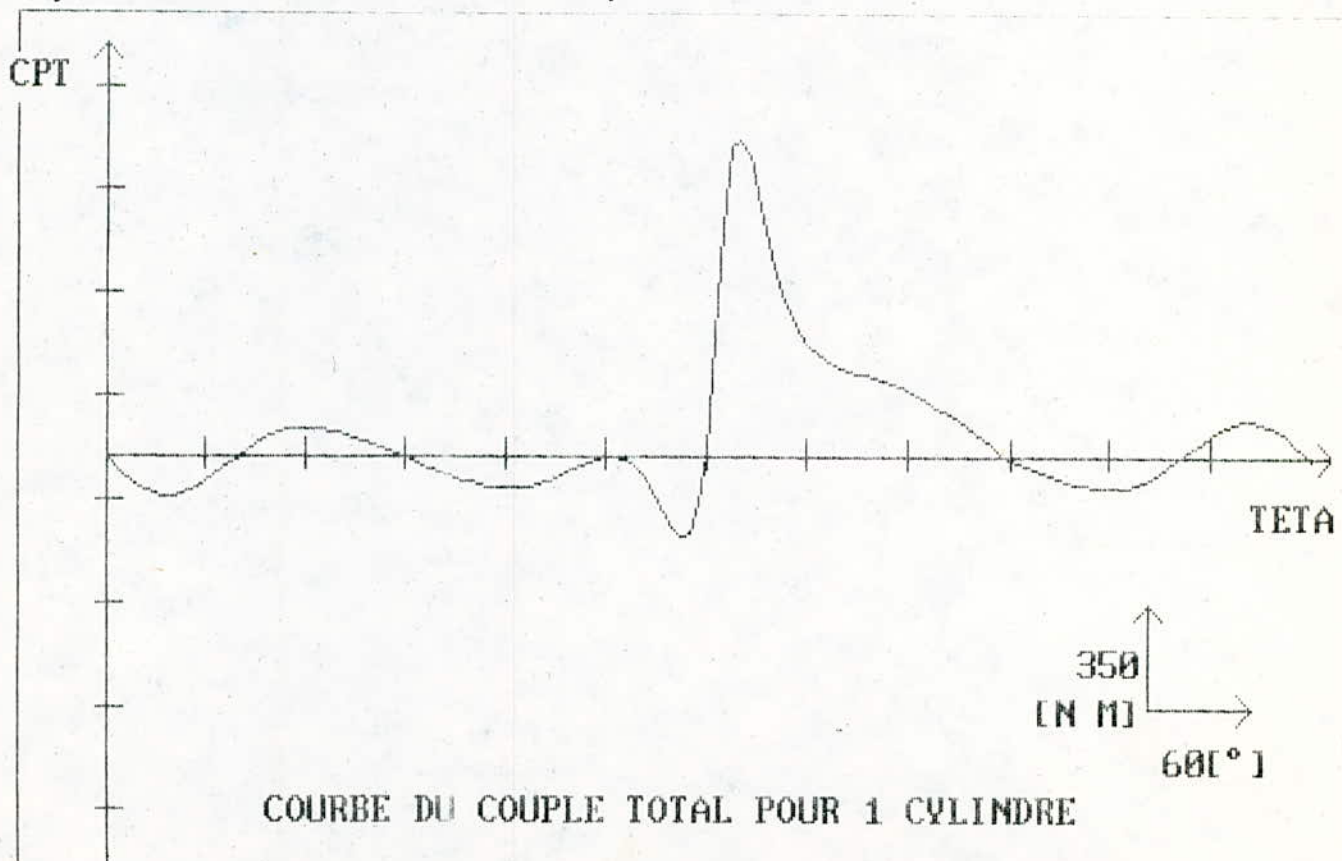
$$C_n(\theta) = \sum_{k=1}^n C(\theta + (k-1) \frac{4\pi}{n})$$

4 IRREGULARITE CYCLIQUE

4.1. REGULATION DU COUPLE MOTEUR.

Pendant le temps moteur, le couple est continuellement variable, de plus dans un moteur à 4 temps a un cylindre, le temps moteur ne se produit qu'une fois pour deux tours du vilebrequin

Dans un tel moteur, le couple variera dans de très grandes proportions au cours d'un cycle et on peut en deduire que le moteur travaillera par à coups, entraînant des variations de regime importantes et des vibrations préjudiciables à la mecanique.



Ainsi, nous avons été amené à chercher des solutions pour régulariser le couple moteur, afin d'obtenir dans des conditions d'alimentation déterminées, une vitesse de rotation à peu près uniforme.

On peut obtenir ce résultat en combinant deux moyens.

— Fixer sur le vilebrequin une pièce fixe relativement lourde appelé volant qui pendant le temps moteur, emmagasiner de l'énergie pour la restituer pendant les temps morts.

— Augmenter le nombre de cylindre en répartissant les différents temps moteur au cours d'un cycle, mais il ne faut perdre de vue qu'on peut pas augmenter indéfiniment le nombre de cylindre, car on est limité par l'encombrement.

4.2. DEFINITION DE L'IRREGULARITE CYCLIQUE .

L'irrégularité du couple entraîne évidemment des variations de la vitesse de rotation instantanée auxquelles on remédie généralement grâce à l'artifice du volant d'inertie.

L'équation d'équilibre dynamique du vilebrequin peut être obtenue directement par l'application du théorème des forces vives.

4.2.1. Théorème des forces vives

Dans un système matériel indéformable et sans frottement, le travail total des forces appliquées au système est égale à la somme de son énergie cinétique.

4.2.2. Énergie cinétique des masses en mouvement de rotation.

soit I le moment d'inertie résultant rapporté à l'axe du vilebrequin, de toutes les masses du moteur en mouvement de rotation, leur énergie cinétique est :

$$E_1 = \frac{1}{2} I \omega^2. \quad (15)$$

4.2.3. Énergie cinétique des masses en mouvement de translation

en ce qui concerne les masses en translation, nous savons que la vitesse est à un instant donné fonction de

L'angle de rotation θ , est proportionnelle à $R\omega$,
 l'expression de leur énergie cinétique peut se mettre
 sous la forme.

$$E_2 = \frac{1}{2} F(\theta) \cdot \omega^2. \quad (16)$$

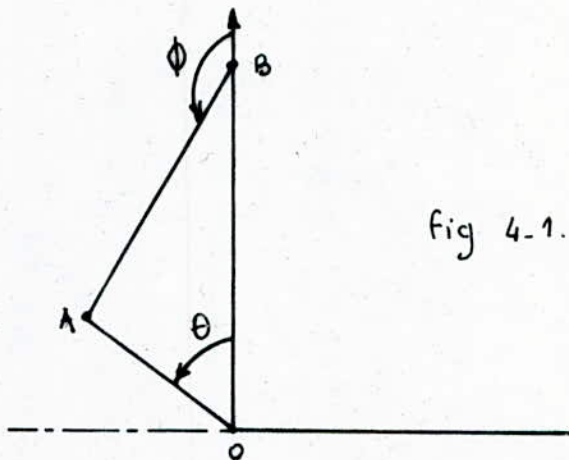


fig 4-1. système bielle manivelle.

- Demonstration .

Position du Point B.

$$\vec{OB} = \vec{OA} + \vec{AB} = -R \sin \theta \vec{x}_0 + R \cos \theta \vec{y}_0 + L \sin \phi \vec{x}_0 - L \cos \phi \vec{y}_0$$

$$\vec{OB} = (R \cos \theta - L \cos \phi) \vec{y}_0$$

la vitesse linéaire du point B est obtenu en dérivant \vec{OB} par rapport au temps.

$$\vec{V}_B = (R \dot{\theta} \sin \theta - L \dot{\phi} \sin \phi) \vec{y}_0$$

la relation fondamentale de la cinématique donne :

$$R \sin \theta = L \sin \phi \rightarrow \sin \phi = \frac{R}{L} \sin \theta .$$

ce qui donne pour $\cos \phi$:

$$\cos \phi = - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \theta}$$

Pour faire apparaître $\dot{\phi}$, il suffit de dériver la relation cinématique par rapport au temps :

$$\frac{d(R \sin \theta)}{dt} = \frac{d(L \sin \phi)}{dt}$$

$$R \dot{\theta} \cos \theta = L \dot{\phi} \cos \phi$$

$$\dot{\phi} = \frac{R}{L} \frac{\cos \theta}{\cos \phi}$$

$$\vec{v}_B = R(\dot{\phi} - \dot{\theta}) \sin \theta \vec{y}_0 = R \dot{\theta} \left(\frac{\cos \theta}{\cos \phi} \frac{R}{L} - 1 \right) \sin \theta \vec{y}_0$$

$$\vec{v}_B = R \dot{\theta} \left(\frac{\cos \theta}{-\sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \theta}} \frac{R}{L} - 1 \right) \sin \theta \vec{y}_0$$

$$E_2 = \frac{1}{2} m v_B^2 = \frac{1}{2} m (R \dot{\theta})^2 f(\theta) \text{ avec}$$

$$f(\theta) = \left(\frac{\cos \theta}{-\sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \theta}} \frac{R}{L} - 1 \right)^2 \sin^2 \theta$$

En conclusion, on peut dire que la somme des énergies cinétiques de toutes les masses en mouvement, dans un moteur, peut par conséquent se mettre sous la forme

$$E = \frac{1}{2} \omega^2 [I + g(\theta)]$$

(17)

Si on admet que le système matériel en mouvement est constitué par l'ensemble mécanique formé du vilebrequin, des bielles et des pistons, on peut considérer que les forces qui lui sont appliquées se composent d'une part, d'un couple moteur C_m , et du couple résistant C_R (négatif) correspondant à la réaction de l'arbre sur le moteur.

Dans un mouvement de rotation, pour une variation

angulaire $d\theta$, le travail élémentaire est égale à $C d\theta$,
donc :

$$(C_m - C_r) d\theta = dE$$

ce qui donne en intégrant entre θ_1 et θ_2

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} (C_m - C_r) d\theta = \frac{1}{2} \left[(I + g(\theta_2)) \omega_2^2 - (I + g(\theta_1)) \omega_1^2 \right]$$

4-3. COEFFICIENT D'IRRÉGULARITÉ CYCLIQUE

soit Ω_m La valeur maximale de la vitesse angulaire instantanée au cours d'un cycle.

Ω_m La valeur minimal de la vitesse angulaire instantanée au cours d'un cycle.

Ω_{moy} La valeur moyenne de la vitesse angulaire au cours d'un cycle.

on a Par définition :

$$R = \frac{\Omega_m - \Omega_m}{\Omega_{moy}} \quad (18)$$

R étant le coefficient d'irrégularité cyclique, admettons pour simplifier que $F(\theta)$ est négligeable devant I (ce qui se fait couramment en pratique et remplaçons le couple résistant C_r par le couple moyen \bar{C} constant.

L'équation d'équilibre dynamique entre les deux abscisses θ_1 et θ_2 correspondant à l'aire maxi sous-tendue à la courbe du couple

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} (C_m - \bar{C}) d\theta = \frac{1}{2} I (\Omega_2^2 - \Omega_1^2) = A$$

A étant l'aire sous tendue à la courbe

$$(\Omega_H + \Omega_m)(\Omega_H - \Omega_m) = \frac{2A}{I}$$

Posons $\frac{\Omega_H + \Omega_m}{2} = \Omega_{moy}$

nous en déduisons que : $(\Omega_H - \Omega_m) = \frac{A}{\Omega_{moy} I}$

ce qui donne pour le coefficient d'irrégularité cyclique :

$$R = \frac{A}{\Omega_{moy}^2 I}$$

(19)

4.3.1. irrégularité cyclique optimale

Pour réduire l'irrégularité cyclique, il faut donc, soit augmenter le régime ce qui nous amène à augmenter le nombre de cylindres, soit augmenter l'inertie, ce dernier résultat est obtenu en ajoutant aux pièces en mouvement de rotation un volant.

soit R_1 le coefficient d'irrégularité cyclique maximum admis et I_V le moment d'inertie polaire du volant.

Donc il faut avoir $R_1 = \frac{A}{(I + I_V) \Omega_{moy}^2}$ (20)

ce qui nous permet de dimensionner le volant en fonction de l'irrégularité cyclique optimal, en divisons (19) par (20)

on aura :

$$I_V = I \left(\frac{R}{R_1} - 1 \right)$$

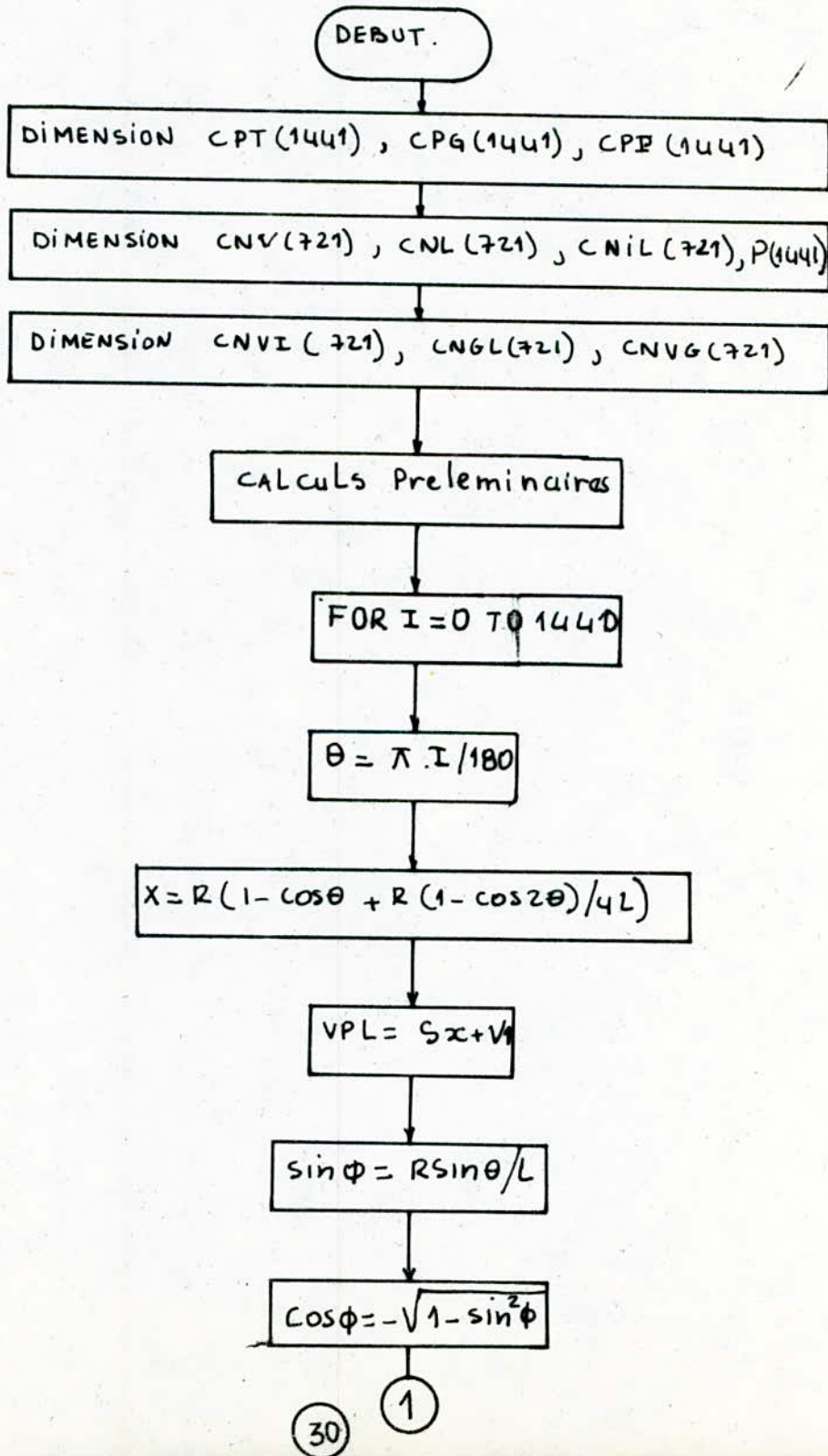
(28)

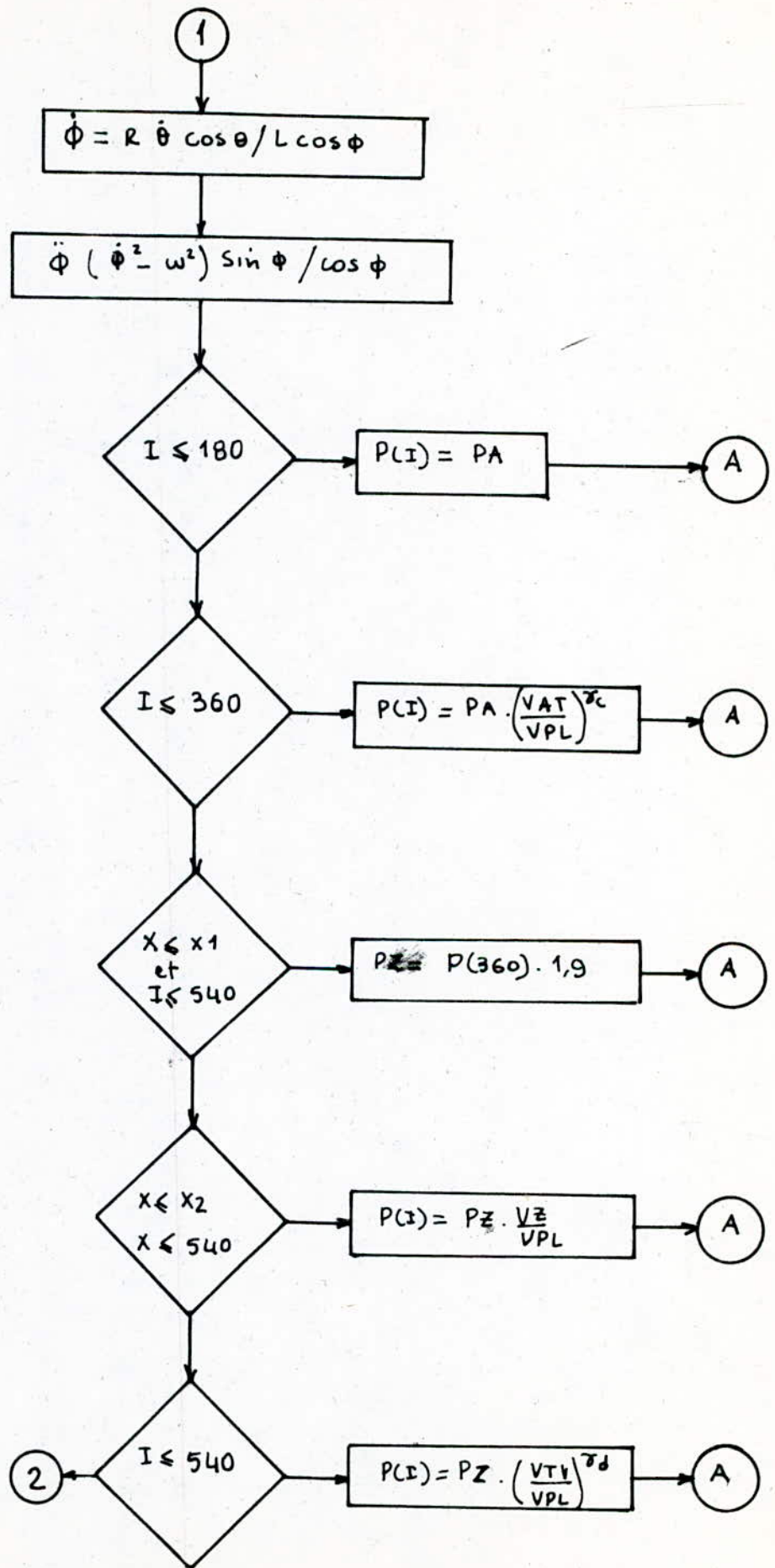
NOTATIONS UTILISÉES DANS LE PROGRAMME

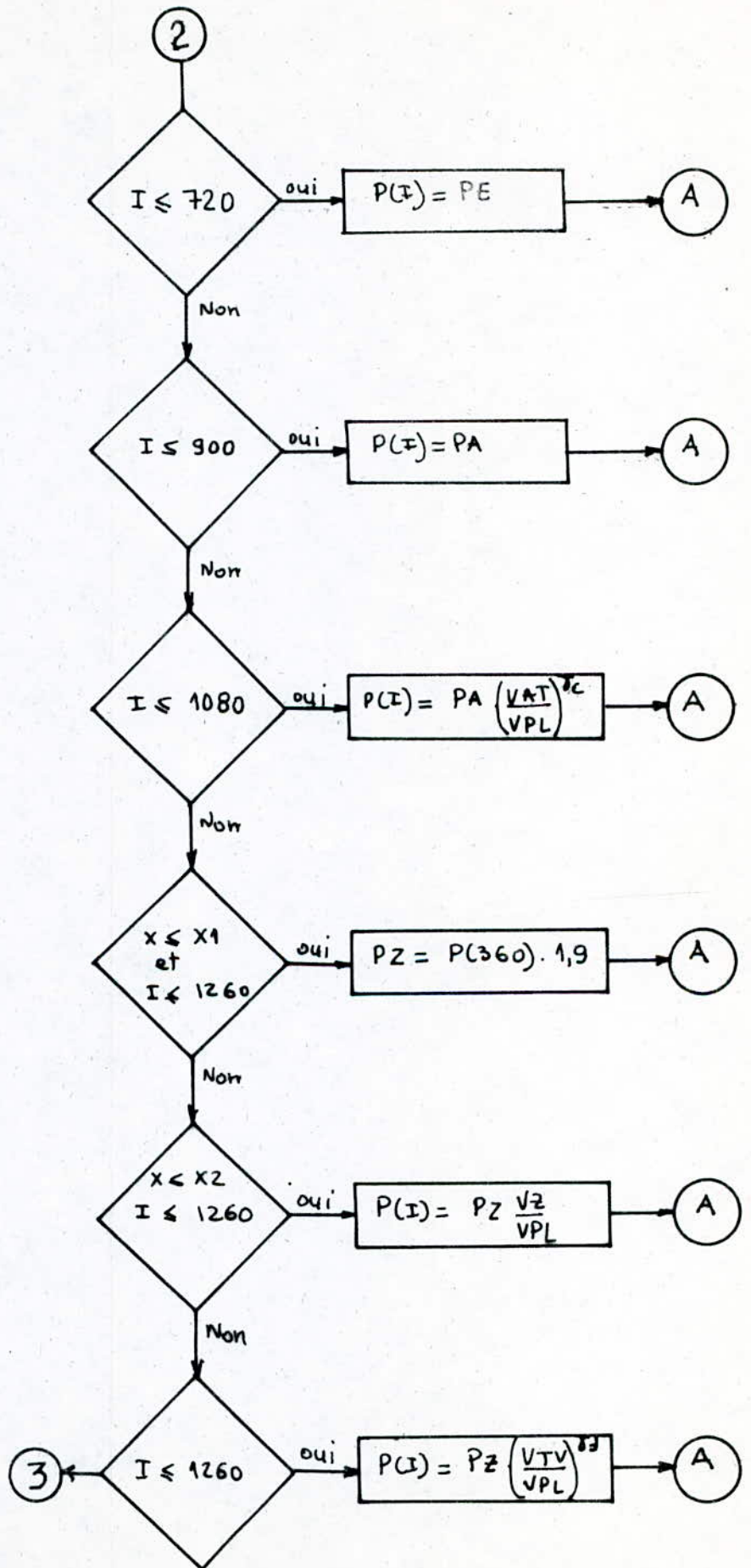
- CPT . Couple total pour un cylindre
- CPG . Couple dû aux gaz pour un cylindre
- CPI . Couple dû aux inerties pour un cylindre
- CNL . Couple total d'un multicylindre en ligne
- CNGL . Couple d'un multicylindre dû aux gaz en ligne
- CNIL . Couple d'un multicylindre dû aux inerties en ligne
- CNV . couple total d'un multicylindre en V
- CNVG . Couple d'un multicylindre dû aux gaz
- CNVI . couple d'un multicylindre en V dû aux inerties
- VPL . Volume variable
- V_i . volume mort
- VAT . volume total
- VTV . volume au point t (début de la détente polytropicque)
- SPH . $\sin \phi$
- CPH . $\cos \phi$
- TT . θ
- PHP . $\dot{\phi}$
- PHPP . $\ddot{\phi}$
- IRCI . Irregularité cyclique pour un moteur à un cylindre
- IRCNL . Irregularité cyclique pour un multicylindre en ligne
- IRCNV . Irregularité cyclique pour un multicylindre en V
- INL . Moment d'inertie pour un multicylindre en ligne
- INV . Moment d'inertie pour un multicylindre en V
- WM . vitesse de rotation moyenne.

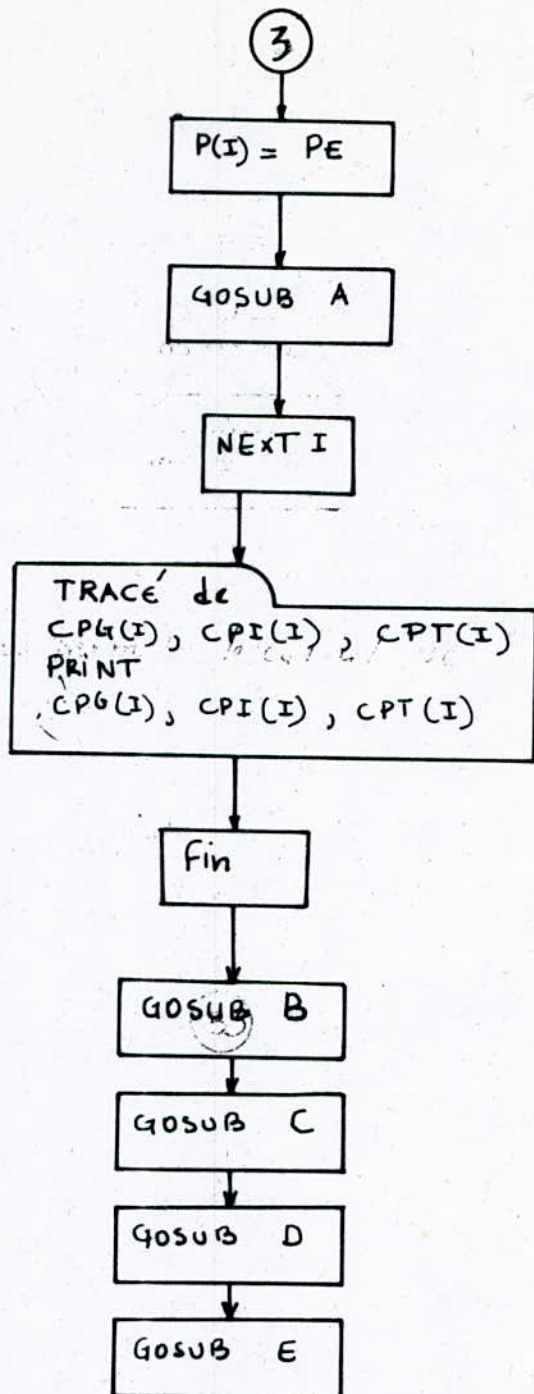
5 PROGRAMME DE CALCULS.

5.1. ORGANIGRAMME.









GOSUB A . Nous permet le calcul de :

- $y_B = \text{formule 5}$
- $y_A = \text{formule 6}$
- $x_A = \text{formule 7}$
- $CPT = R(x_A \cos \theta + y_A \sin \theta)$
- $CPG = \text{formule 11}$
- $CPI = \text{formule 12}$

- GOSUB B. Nous permet le calcul de l'irregularité cyclique pour un cylindre
- GOSUB C. Nous permet le calcul du couple total, dû aux gaz et dû aux inertias d'un multicylindre en ligne, le tracé de $CNIL(I)$, $CNGL(I)$, $CNL(I)$
- GOSUB D. Nous permet le calcul de l'irregularité cyclique d'un multicylindre en ligne et l'inertie du volant.
- GOSUB E. Nous permet le calcul du couple total, dû aux gaz et dû aux inertias d'un multicylindre en V, le tracé de $CNVG(I)$, $CNVI(I)$, $CNV(I)$
- GOSUB F. Nous permet le calcul de l'irregularité cyclique d'un multicylindre en V et l'inertie du volant I_v .

CONCLUSION .

ce travail a été fait en vue de la détermination du couple moteur d'un multicylindre en ligne et en V, l'irrégularité cyclique et le moment d'inertie du volant. Pour mener à bien cette étude nous avons opté pour une divisions des différents matières en plusieurs parties essentielles .

La première porte sur l'étude dynamique du système bielle manivelle par la méthode vectorielle, celle-ci se trouve être la plus élaborés et la plus contemporaine des méthodes mise à la disposition des constructeurs qui opte pour une informatisation des calculs de conception d'un moteur à combustion interne

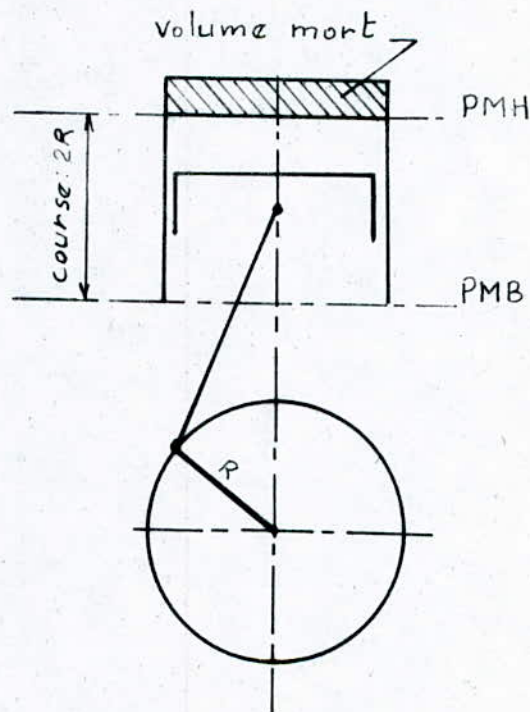
la seconde est consacré pour la détermination du couple moteur en généralisant les calculs pour le cas particulier d'un multicylindre en ligne et d'un multicylindre en V le couple ainsi calculé sera utilisé dans la troisième partie pour la détermination de l'irrégularité cyclique, celle-ci a son importance dans la construction du moteur car effectivement elle nous renseigne sur l'intensité des vibrations qui pourraient apparaître lors de l'exploitation. Pour terminer, notre étude il nous a semblé, intéressant de consacrer un bref

Chapitre qui nous donnerait un aperçu, quoique bref mais nécessaire, pour le calcul du moment d'inertie du Volant. Ceci permettra à l'étudiant qui entamera la suite de dimensionner ce volant

ceci dit, l'intérêt de ce projet réside surtout dans l'utilisation de l'ordinateur pour la détermination des paramètres tel que le couple moteur, l'irrégularité cyclique et le moment d'inertie du volant.

quant aux résultats obtenus, il corrobore tout à fait avec la théorie déjà établie dans les livres.

Le moteur à combustion interne (Par allumage commandé ou autoinflammation) transforme l'énergie apportée par le carburant en énergie cinétique



course - est égale au déplacement du piston entre le PMH et le PMB, elle a pour valeur $2R$

La cylindrée unitaire - c'est le volume balayé par le piston entre le PMH et le PMB, elle a pour valeur $2R^2$.

Le volume mort - c'est le volume occupé par les gaz lorsque le piston est au PMH, il a pour valeur $V_0/E-1$ V_0 étant la cylindrée unitaire.

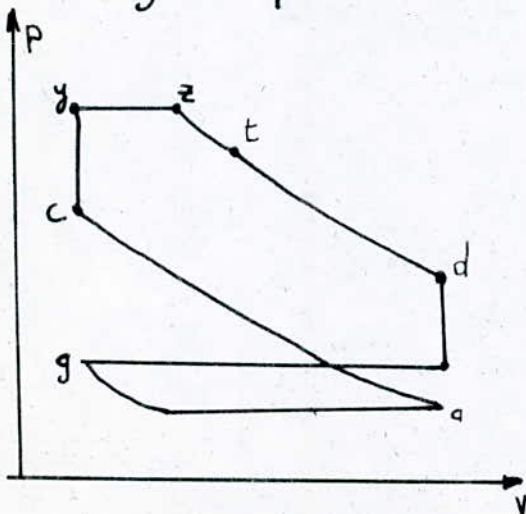
EVOLUTION DE LA PRESSION DANS LE CYLINDRE

Normalement l'évolution de la Pression dans le cylindre est une donnée du Problème, faute de documentation et de relevé de pression auprès des organismes concernés, on a été obligé de prendre, pour fonctionner notre programme l'avant Projet de Machine Thermique "Un" (MTH1)
Dans ce dernier on a pris un cycle Diesel quasi-réel à quatre temps.

CYCLE

c'est une suite de transformations que l'on fait subir à une masse de gaz dans un cylindre de machine, de façon que cette masse de gaz revienne périodiquement à son état initial

cycle quasi-réel



Expression de la Pression pendant les phases du cycle.

Admission.

L'admission de l'air occupe la totalité d'une course descendante du piston, le piston aspire l'air relevé dans un collecteur d'admission, mis en communication avec le cylindre par l'ouverture des soupapes. on suppose le gaz parfait, l'écoulement isentropique, l'admission isobare

D'après l'avant projet de MTH1, PA est donné Par :

$$PA = 1,03 \cdot P_0 \left[1 - (N \cdot (\epsilon - 0,5) / (\epsilon - 1))^2 / 1,2485 \cdot 10^8 \right]^{3,5}$$

PA étant la pression d'admission.

cette formule est obtenu après simplification de la formule de la Pression donné Par GAD. en MTH1.

Compression.

La compression à lieu pendant la course montante suivant la course montante après fermeture des soupapes d'admissions. la compression dure du PMB au PMH, on a pris cette dernière polytropicque d'exposant constant γ_c , connaissant les Parametres du point en fin d'admission et en appliquons l'equation d'état de la thermodynamique, pour une evolution polytropicque on obtient .

$$P = PA \cdot (VA/V)^{\gamma_c}$$

P et V étant la Pression et le volume dans la phase de compression.

$$V = Sx + V_1$$

V_1 volume mort

S section du piston.

x déplacement du piston à partir du PMB

$$x = r(1 - \cos \theta) + \frac{r}{4L}(1 - \cos 2\theta)$$

Combustion.

la combustion est supposée se déclencher instantanément à 360°

$$P_z = \Omega \cdot P_c$$

$$\Omega \in [1,4 - 2]$$

La combustion dure du PMH au point z caractérisé par

$$V_z = 0,085 V_A.$$

on a abouti à cette équation après résolution de l'équation du 5^{ème} degré en Tz puis simplification de l'équation donnée par GAD en $MT+11$.

Detente.

Sous l'effet de la pression des gaz élevée, le piston est repoussé vers le bas, c'est la course motrice à l'issue de laquelle la pression des gaz tombe à quelques bars elle est supposée se passer en deux phases, une phase isothermique et une phase polytropique d'exposant constant γ_f .

— Detente isothermique.

soit P et V , la pression et le volume sur la courbe de l'isotherme d'après la loi de MARIOTTE

$$PV = \text{constante.}$$

$$P_2 \cdot V_2 = PV \quad \text{d'où} \quad P = P_2 (V_2/V)$$

$$\text{avec } V = s x + V_1$$

— Detente polytropique.

$$PV^{\gamma_d} = \text{constante.}$$

$$P_t V_t^{\gamma_d} = PV^{\gamma_d} \quad \text{d'où} \quad P = P_t (V_t/V)^{\gamma_d}$$

P_t étant la pression de fin de detente isothermique

$$P_t = P_2 \cdot (V_2/V_t) \quad \text{avec } V_t = 0,1561 V_A, \text{ après simplification de formule donné en MTH1}$$

Echappement.

d'échappement des gaz brûlés débute au PMB et se termine au PMH, on a supposé qu'elle se fait à pression constant supérieur à la pression atmosphérique la valeur est prise de la Plage donné en MTH1.

$$P_g \in [1,05 \div 1,15] \quad \text{on a pris } P_g = 1,12 \text{ bars.}$$

APPLICATION NUMERIQUE .

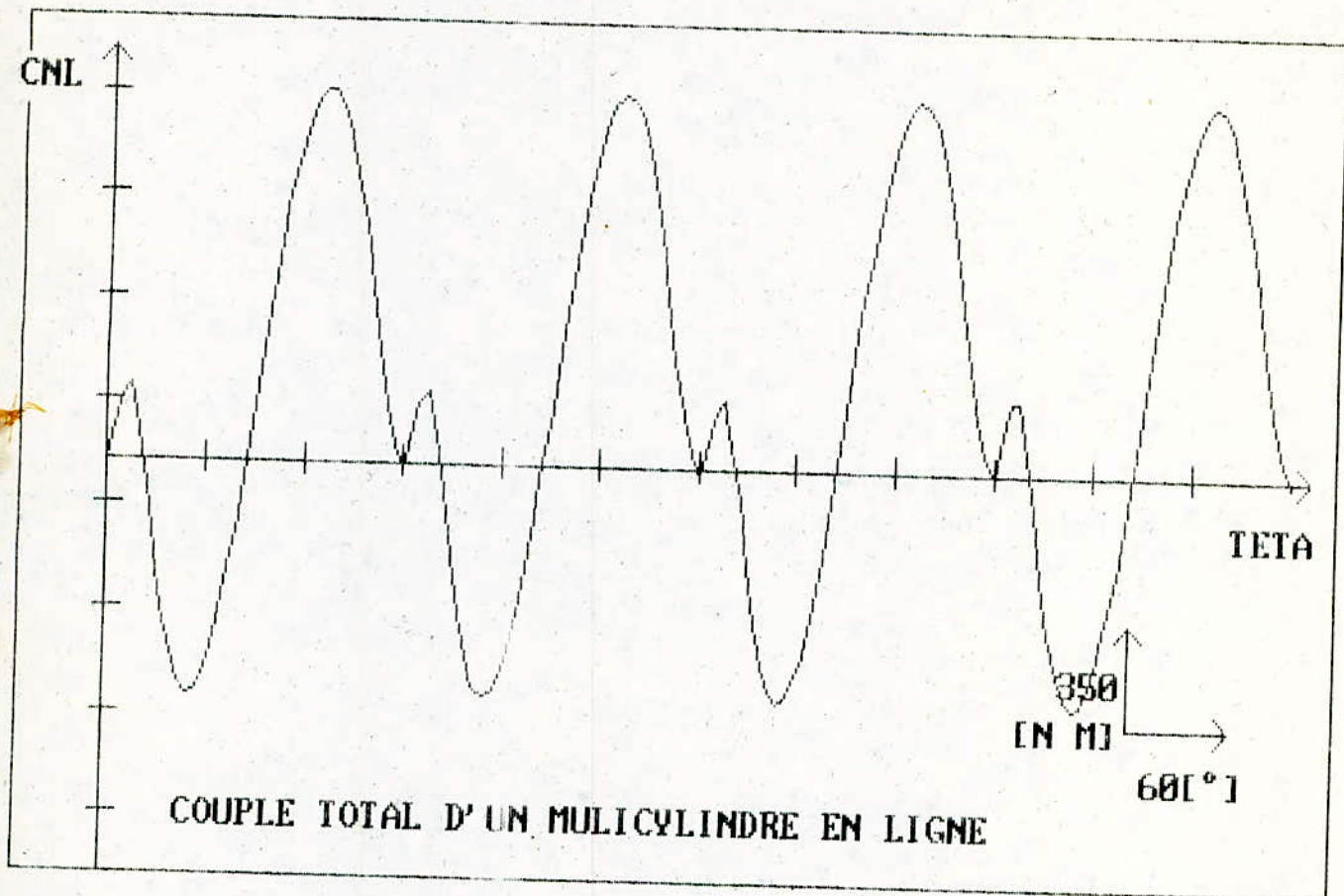
Pour faire fonctionner notre programme , on a pris le moteur F4L 912 . ce type de moteur est fabriqué Par la C.MO.TRA (Complexe moteurs - tracteurs) à Constantine

les données qui nous ont été fournis par cette société sont :

- la masse du piston $M_P = 1,635 \text{ kg}$
- la masse de la bielle $M_B = 1,700 \text{ kg}$
- l'alesage du piston $D = 0,1 \text{ m}$
- la course du piston $C = 0,12 \text{ m}$
- le taux de compression $E = 17.$

pour mettre en évidence comment varie l'allure du couple on a fait varier le nombre de cylindre , l'angle d'ouverture du V et la vitesse de rotation , tout en gardant les mêmes données du moteur F4L 912 .

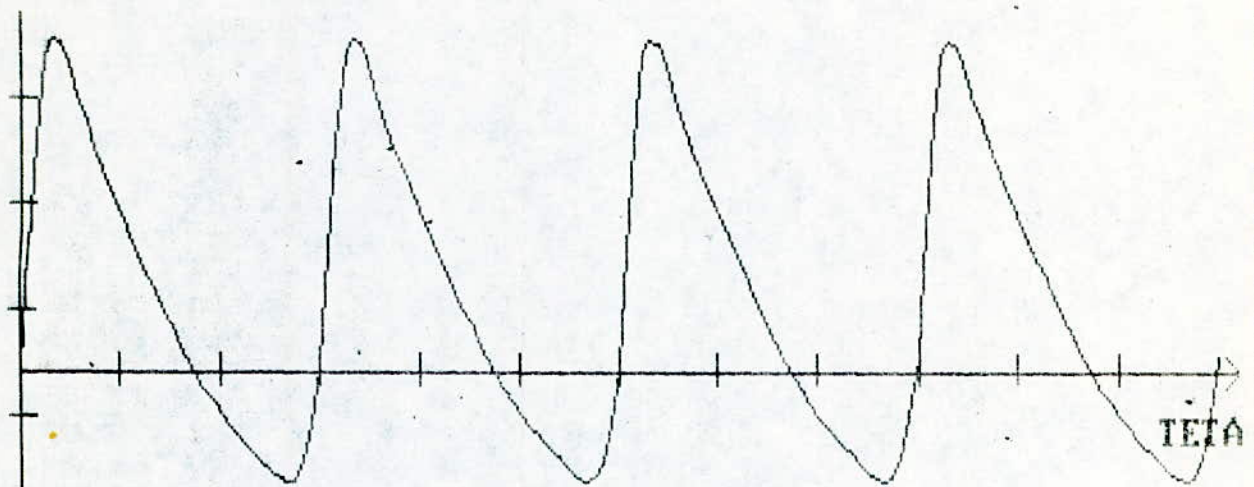
les résultats sont donnés sous forme de courbes . les courbes de couples sont tracées en coordonnées cartésiennes en fonction de θ .



$$CNL(\theta) = \sum_{p=1}^n CPT \left(\theta + (p-1) \frac{4\pi}{n} \right)$$

la courbe tracée représente l'évolution du couple moteur d'un moteur à 4 cylindres, d'où $n=4$.

CNGL

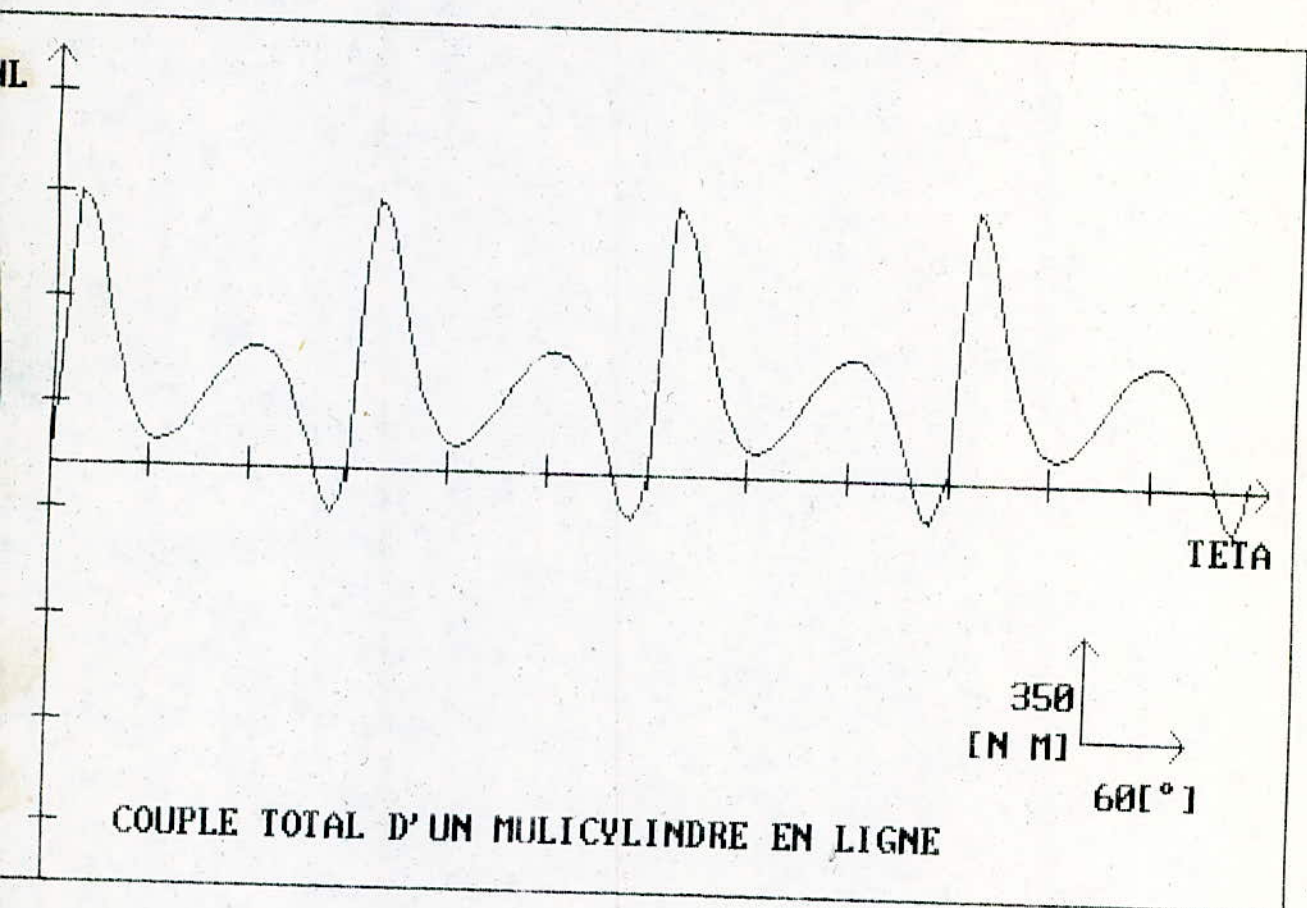


350
[N M]
60 [°]

COUPLE MULICYLINDRE DU AUX GAZ EN LIGNE

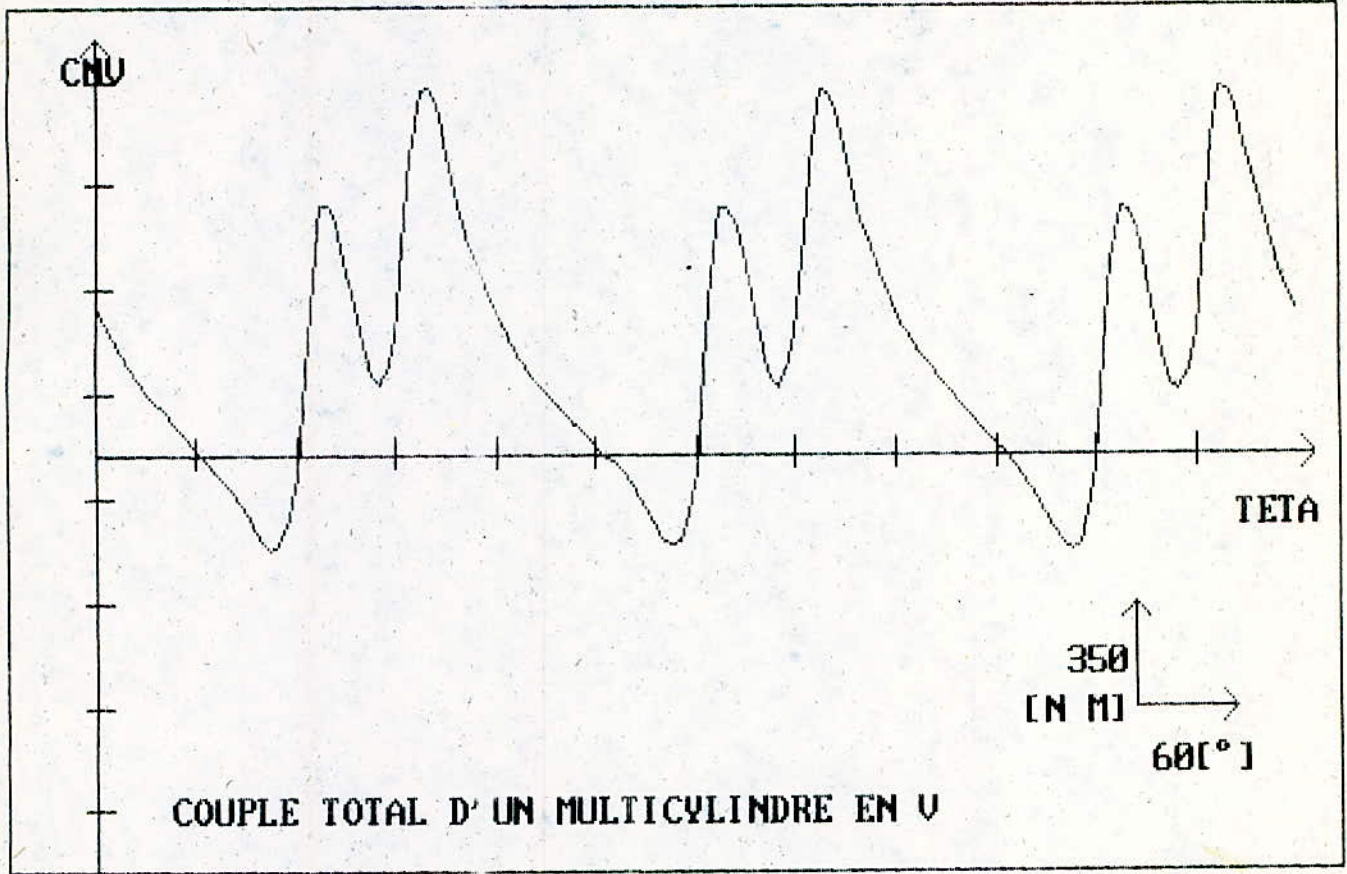
$$CNGL(\theta) = \sum_{p=1}^4 CPG(\theta + (p-1)\pi)$$

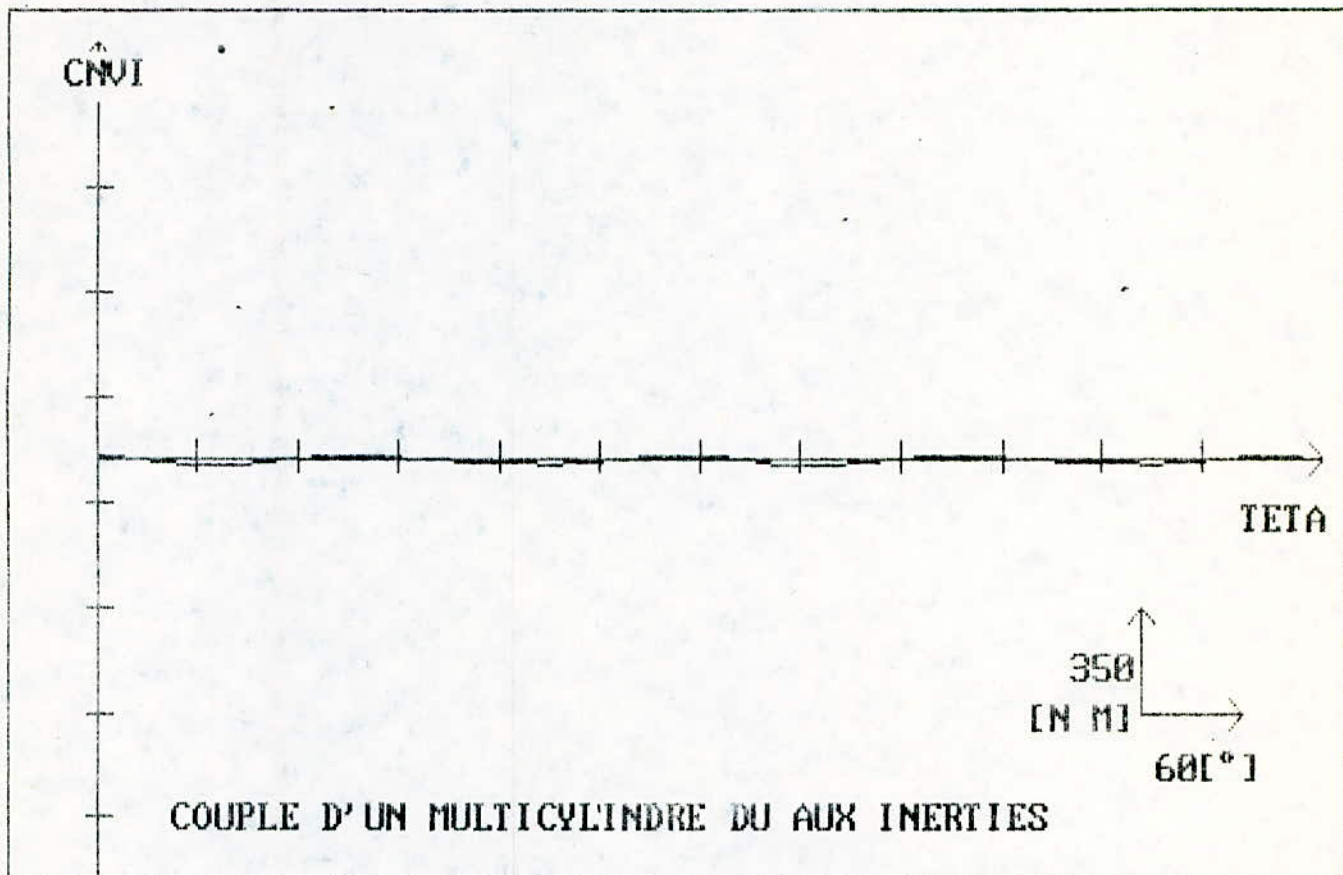
la courbe represente l'evolution du couple dû
au gaz d'un moteur à 4 cylindres à 4 temps.
la vitesse de rotation est : $N = 2800 \text{ tr/mn}$.



$$CNL(\theta) = \sum_{p=1}^4 CPT(\theta + (p-1)\pi)$$

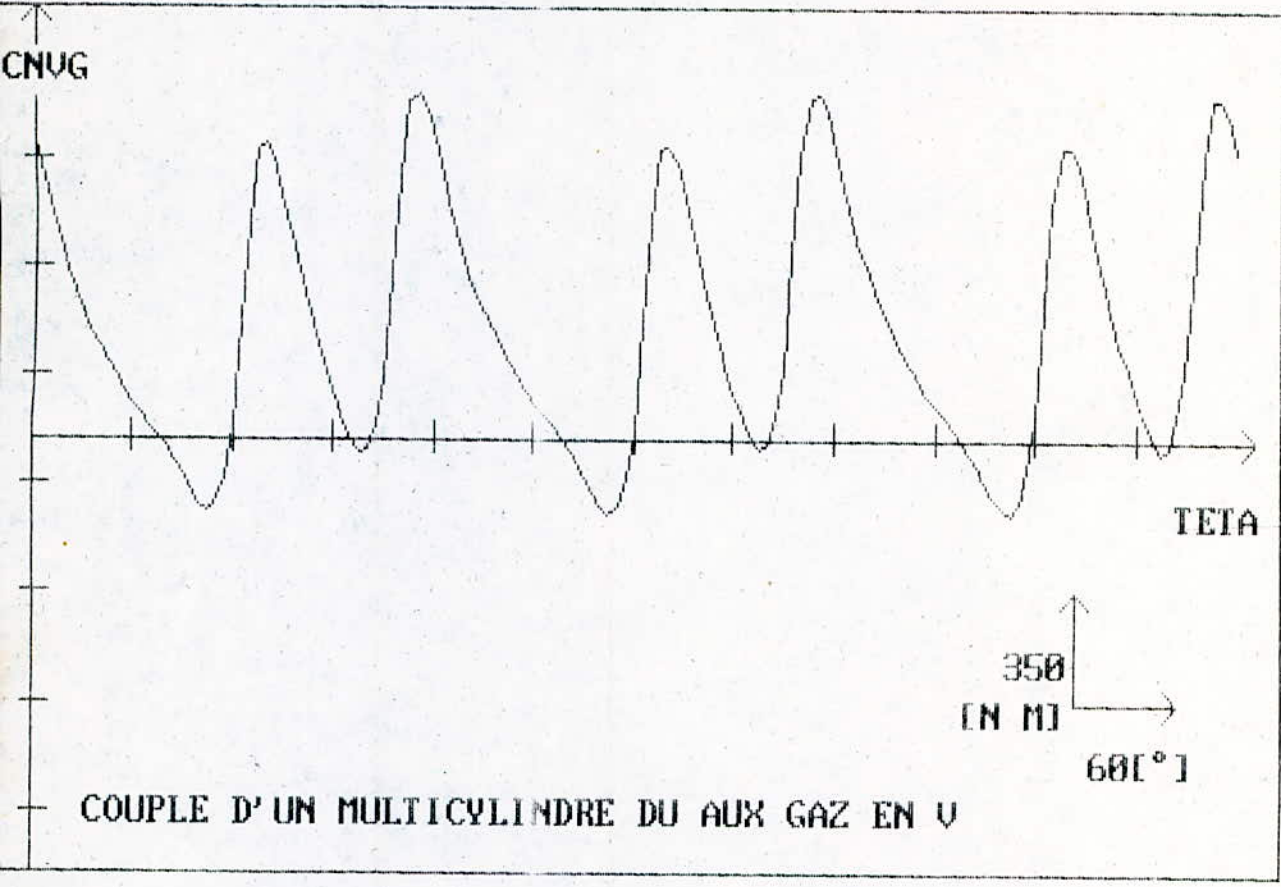
la courbe représente l'évolution du couple moteur total d'un multicylindre à 4 cylindres, la vitesse AVEC LAQUEL on a tracé cette dernière est de :
 $N = 1600 \text{ tr/mn.}$

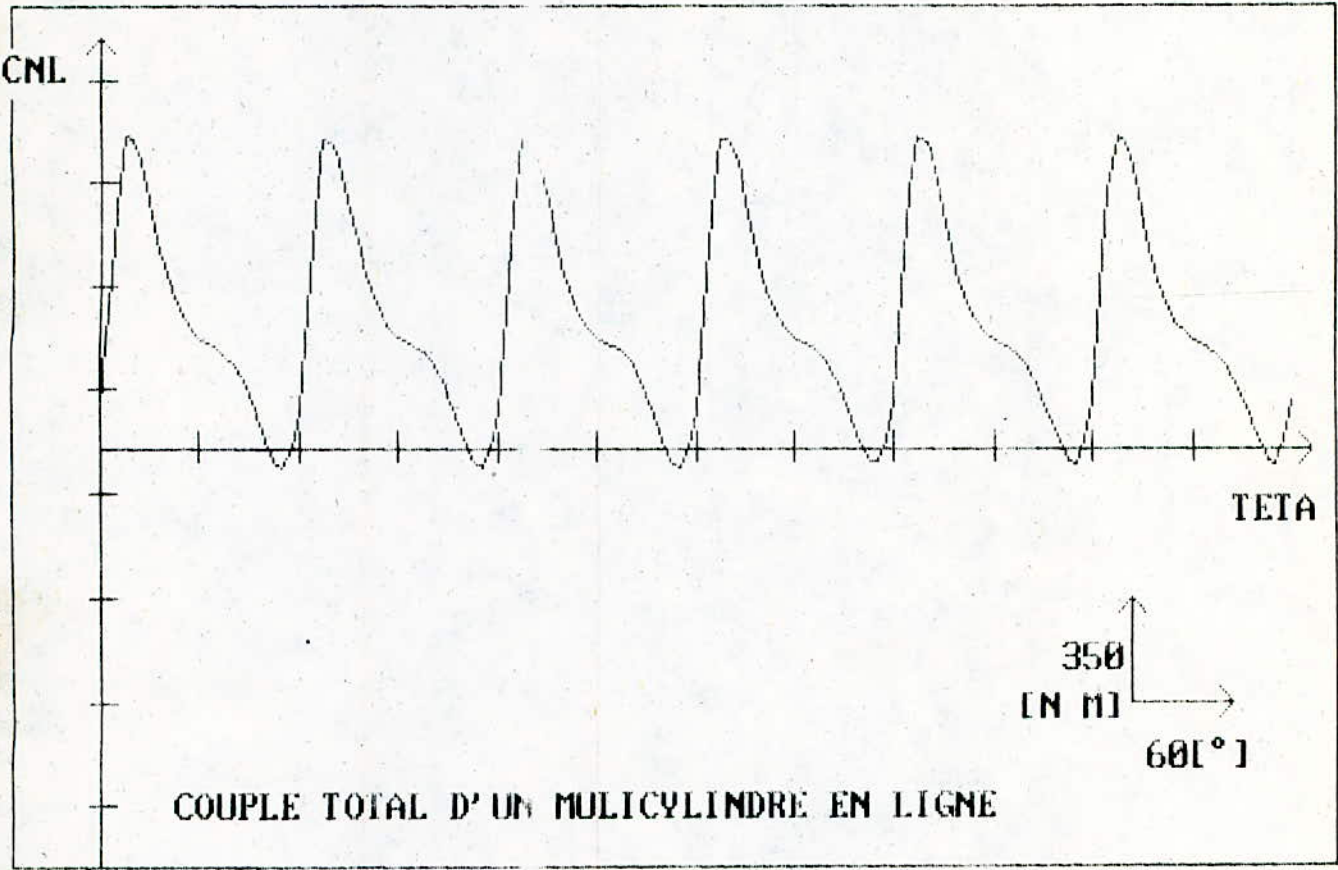




$$CNVI(\theta) = \sum_{p=1}^{n/2} CPI\left(\theta + (p-1)\frac{\theta\pi}{n}\right) + CPI\left(\theta + p\frac{\theta\pi}{n} - \sigma\right)$$

cette courbe represente l'evolution du couple dû aux inerties d'un moteur à 6 cylindres en V avec un angle d'ouverture de 60° . la vitesse de rotation est de 2800tr/mn.

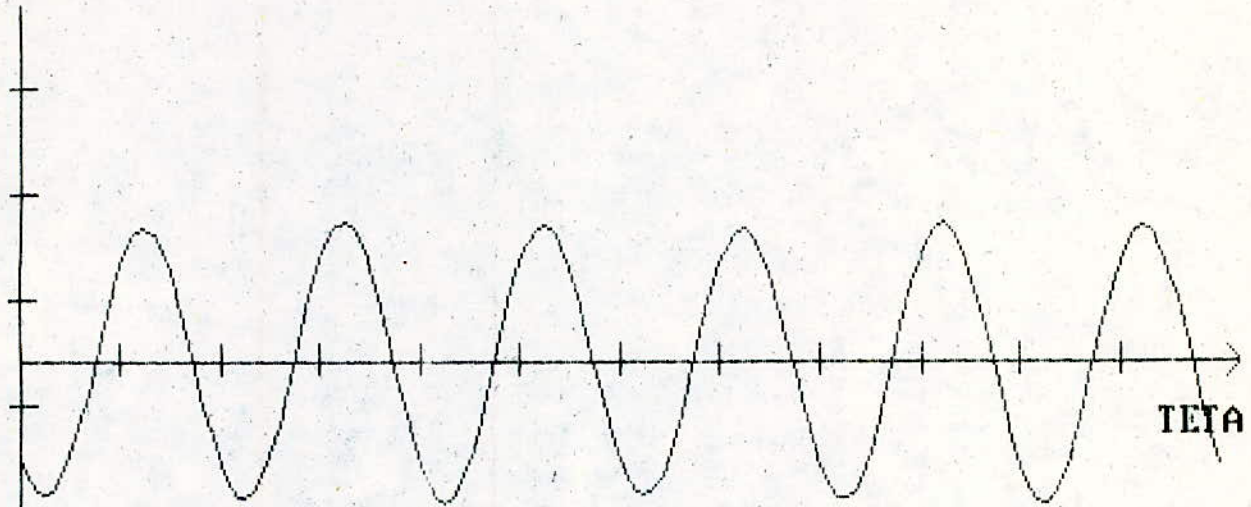




$$CNL(\theta) = \sum_{p=1}^6 CPT(\theta + (p-1) \frac{2\pi}{3})$$

cette courbe represente l'evolution du couple d'un multicylindre à 6 cylindres, la vitesse avec laquelle on a tracé ce dernier est de : $N = 1600 \text{ tr/mn}$.

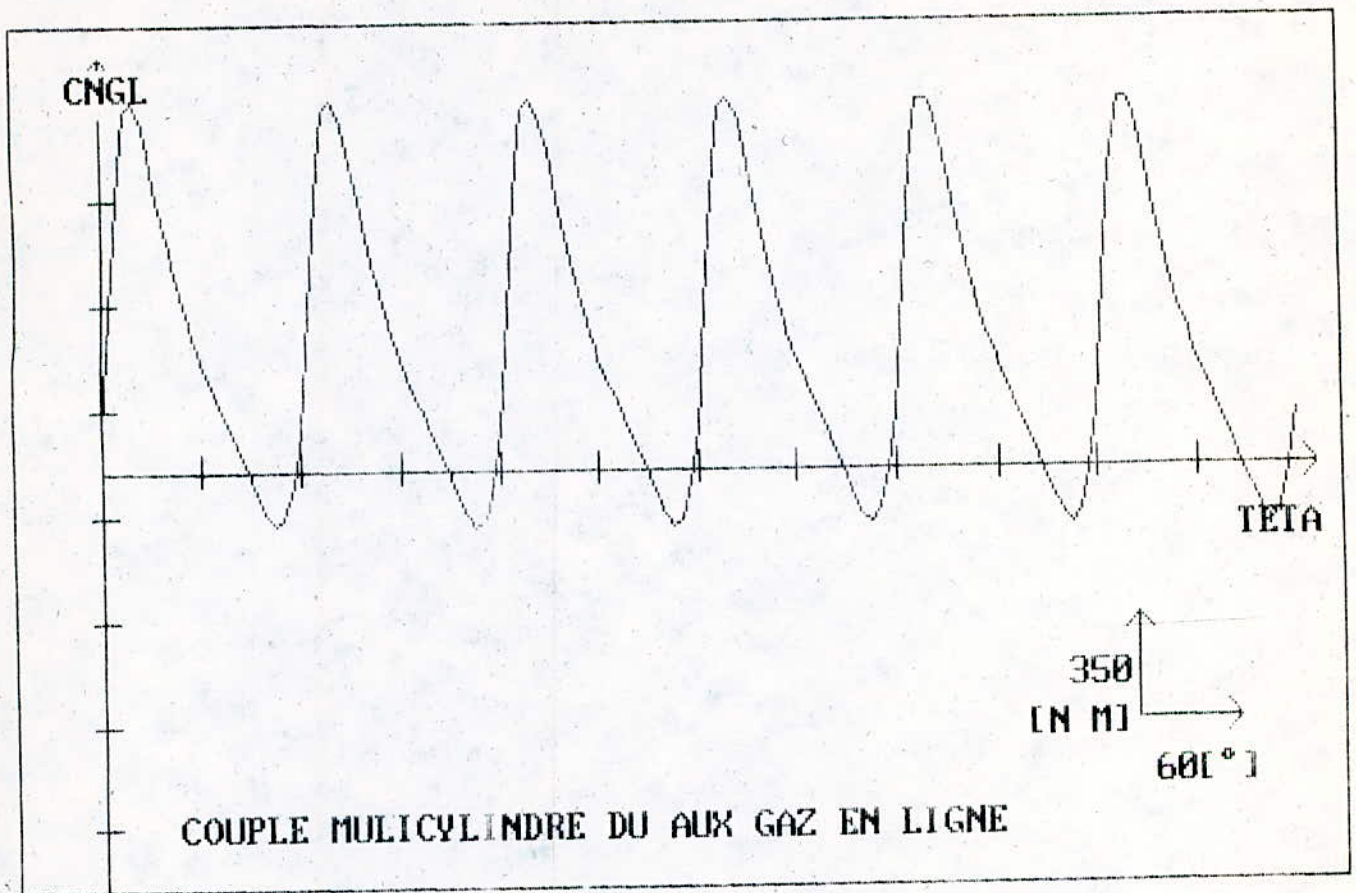
CNVI



TETA

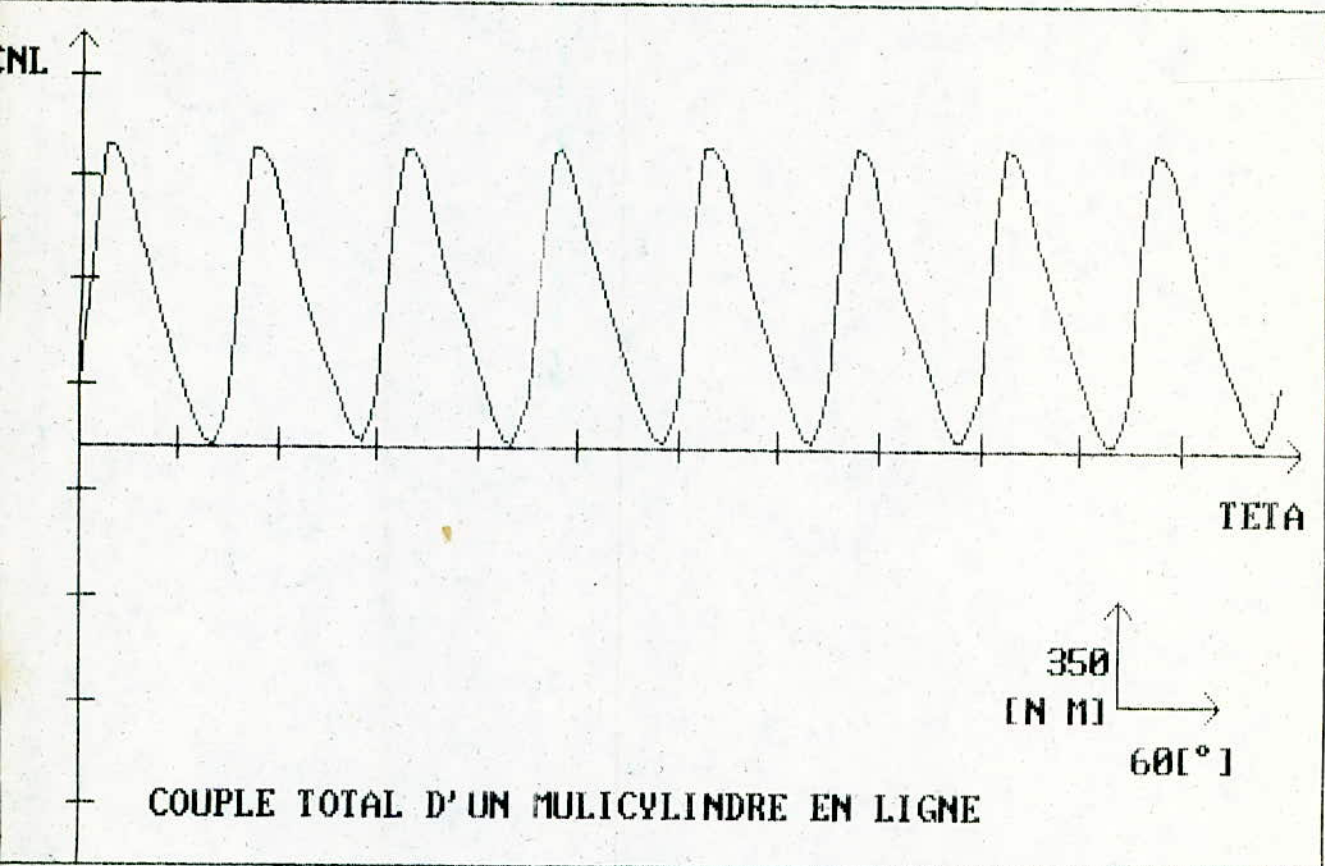
350
[N M]
60[°]

COUPLE D'UN MULTICYLINDRE DU AUX INERTIES



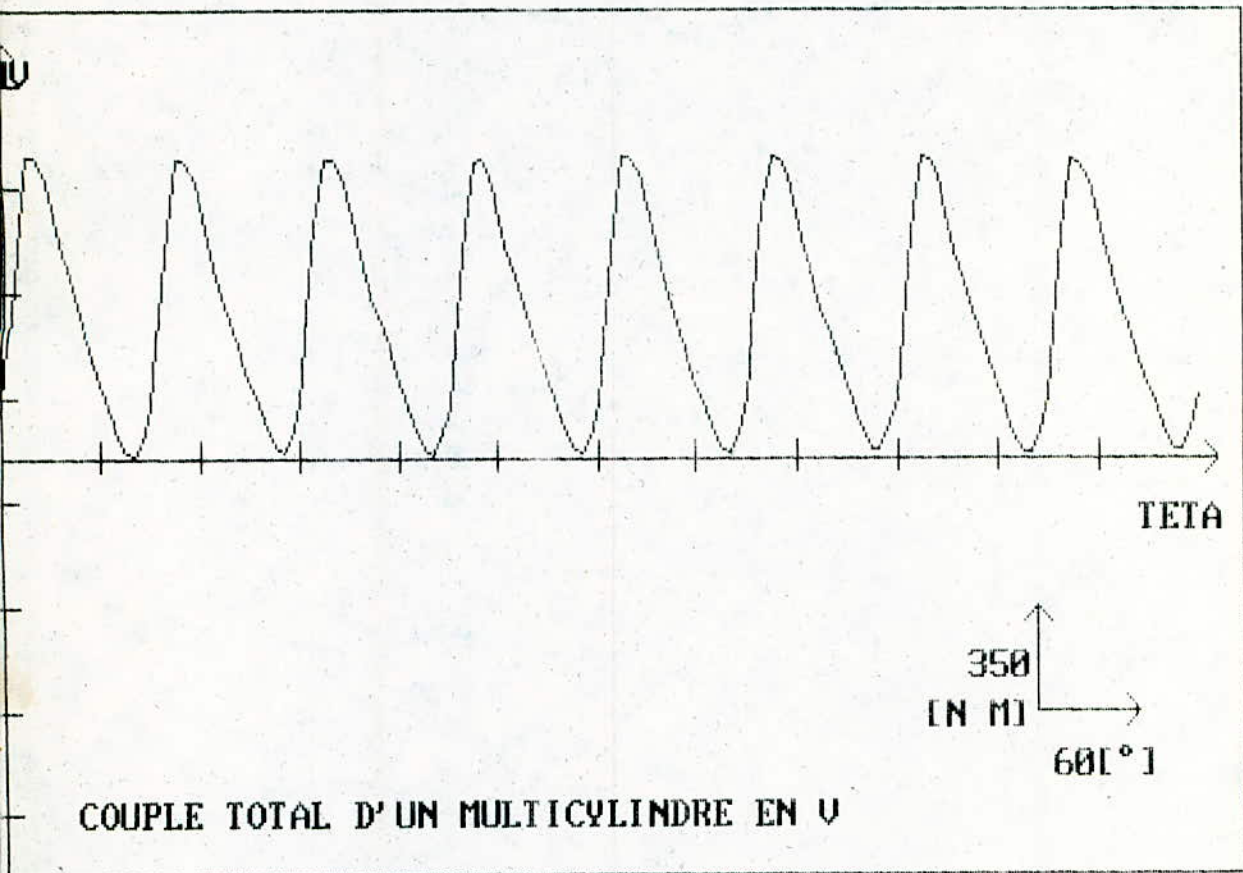
$$CNGL(\theta) = \sum_{p=1}^6 CPG(\theta + (p-1) \cdot \frac{2\pi}{3})$$

cette courbe represente l'evolution du couple d'un multicylindre à 6 cylindres dû aux gaz, la vitesse avec laquelle on a trace ce dernier est de : $N = 1600 \text{ tr/mm}$.



$$CNL(\theta) = \sum_{p=1}^n CPT\left(\theta + (p-1) \cdot \frac{4\pi}{n}\right) \quad n=8$$

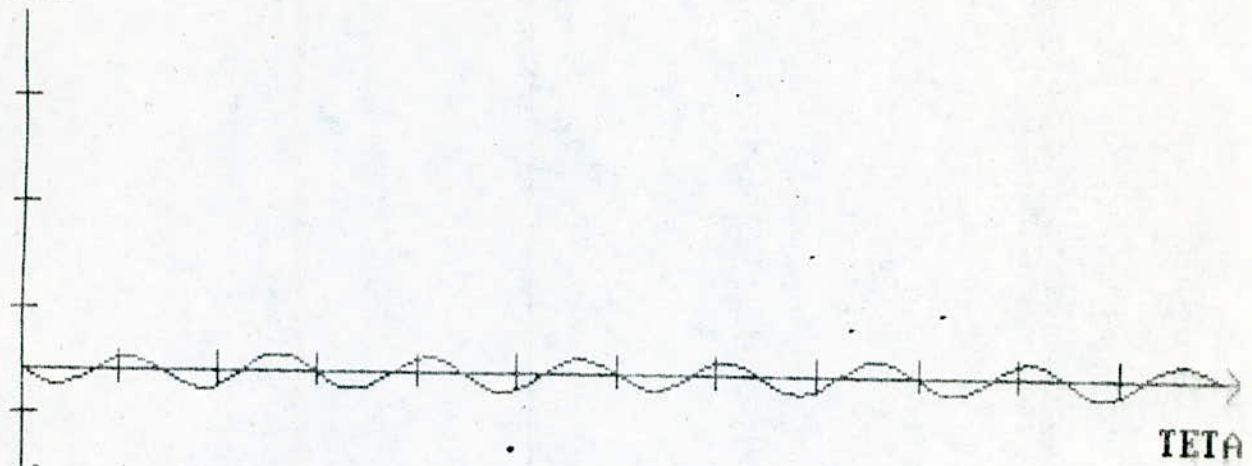
cette courbe represente l'evolution du couple total d'un mulicylindre à 8 cylindres en ligne la vitesse de rotation est de 2800 tr/mn.



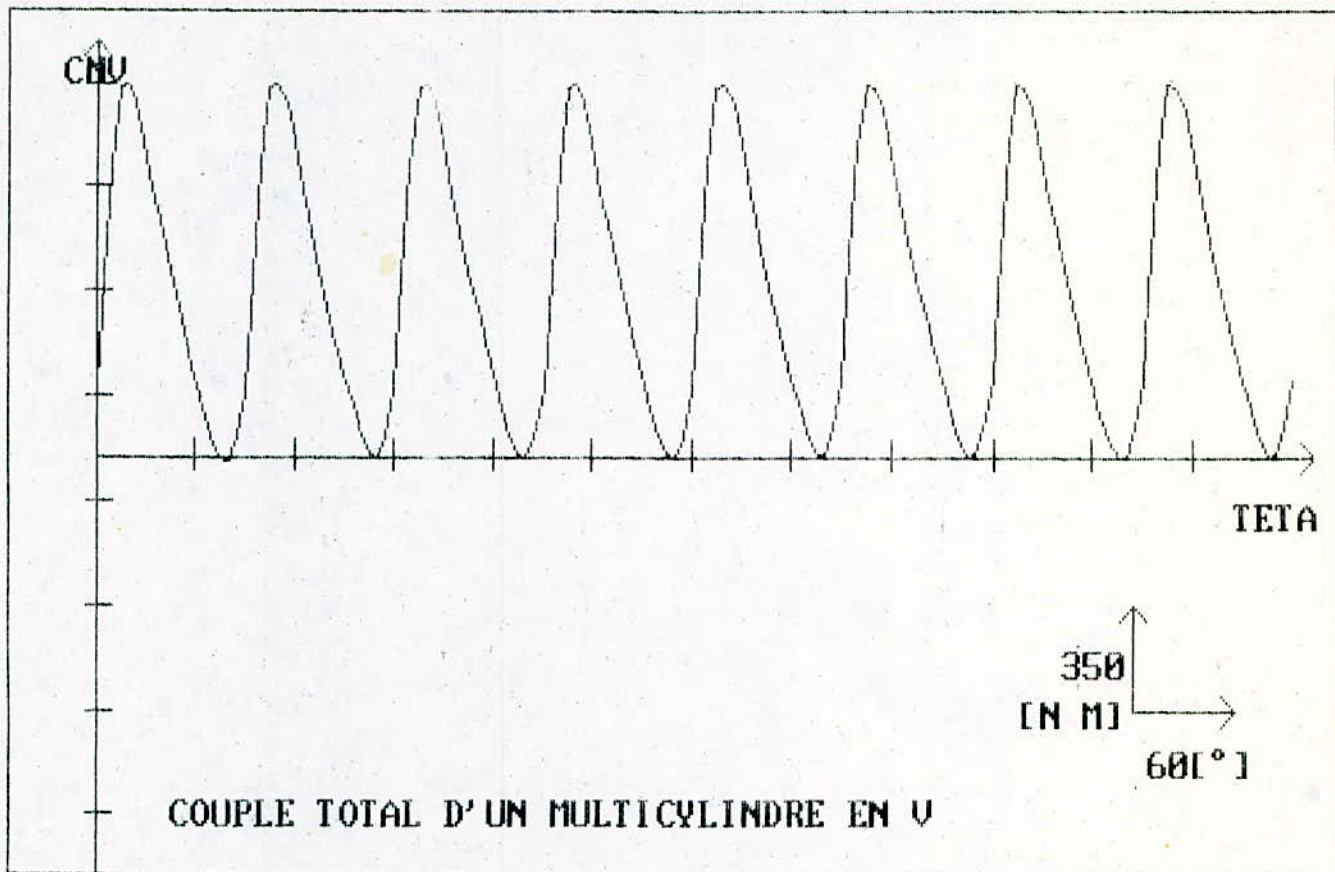
$$C_{NV}(\theta) = \sum_{p=1}^{n/2} c_p \tau(\theta + (p-1) \frac{2\pi}{n}) + c_p \tau(\theta + p \frac{2\pi}{n} - \sigma)$$

cette courbe représente l'évolution du couple total d'un moteur à 8 cylindres avec un angle d'ouverture de 90° . la vitesse de rotation est de 2800 tr/mn.

CNVI

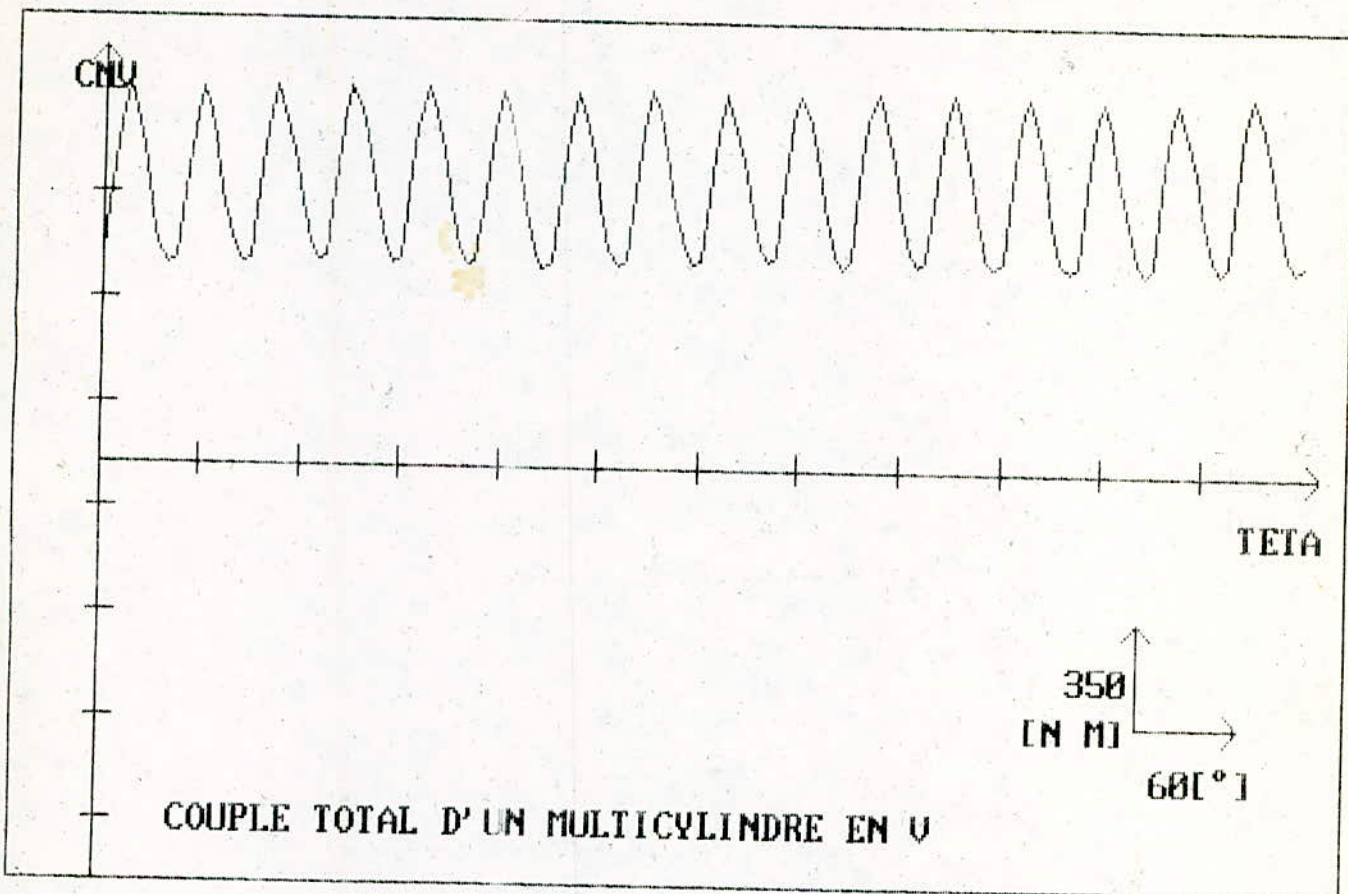


COUPLE D'UN MULTICYLINDRE DU AUX INERTIES



$$C_{NU}(\theta) = \sum_{p=1}^{n/2} C_{PT}\left(\theta + (p-1) \frac{2\pi}{n}\right) + C_{PT}\left(\theta + p \frac{2\pi}{n} - \sigma\right)$$

cette courbe represente l'evolution du couple total d'un moteur à 8 cylindres avec un angle d'ouverture de 90° . La vitesse de rotation est de 1600 tr/min



$$C_{NV}(\theta) = \sum_{p=1}^{n/2} C_{PT}(\theta + (p-1)\frac{\theta}{n}) + C_{PT}(\theta + p \cdot \frac{\theta}{n} - \delta) \quad n=16$$

cette courbe represente l'évolution du couple moteur d'un multicylindre en V à 16 cylindres avec un angle d'ouverture du V de 45° . la vitesse de rotation est de 2800 tr/mn.

INTERPRETATIONS

chaque pique représente le passage du piston au Point Mort Haut en début de chaque combustion. l'intervalle entre deux piques est imposé par le temps s'écoulant entre deux allumages successifs.

Pour un moteur en ligne il est égale à $\frac{4\pi}{n}$

Pour un moteur en V il est égal alternativement à $\frac{2\pi}{n} - \sigma$ et σ - on constate que lorsque le nombre de cylindres augmente, le couple moteur devient plus régulier ce qui est en accord avec la théorie (voir courbe du couple moteur pour un moteur à 8 cylindres en ligne et le V16 avec une ouverture d'angle de 45°)

- lorsqu'on a fait le tracé du couple moteur d'un V6 avec les angles d'ouverture du V de 60° et 90°

on a remarqué que la différence entre deux piques successifs est plus accentuée pour une ouverture de 60° que pour une ouverture de 90°

le couple est plus régulier lorsque l'angle d'ouverture du V tend vers un angle égale à la moitié de l'angle de calage

BIBLIOGRAPHIE

- | | | |
|------------------------------|---|-------------------------------------|
| 1. R. ROUDIL | Les moteur diesel | DUNOD |
| 2. J. LAMOITIER | Le basic par la pratique | SYBEX |
| 3. B. SWOBODA | Mecanique des Moteurs alternatifs | TECHNIP |
| 4. M. BOUKABACHE | These de magister | . |
| 5. QUILLET | Encyclopedie Industrielle tome II | QUILLET |
| 6. SERRUYS. M | Etude et realisation mecanique du
moteur | RIBER |
| 7. J.C. LARRECHE | Introduction à la programmation
basic | DUNOD. |
| 8. I GAD | Cours de MTH1 | |
| 9. M. MENARDON
D. JOLIVET | Les moteurs. | CHOTARD ET
ASSOCIES
EDITEURS. |

