

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : **Genie mecanique**

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

SUJET

**MODELISATION  
THERMODYNAMIQUE DU  
BANC TD43**

Proposé Par :

**HADJ-AMEUR**

Etudié par :

**A.OUNIS**

Dirigé par :

**HADJ-AMEUR**

PROMOTION : **Janvier 88**



## Dédicaces

Je dédie ce travail à :

- . Mes chers parents pour tous les sacrifices consentis à mon égard .
- . Mon regretté frère .
- . Mes frères et sœurs
- . Toute ma famille
- . Tous ceux qui me sont chers .

A.OUNIS

## Remerciement

A travers cet ouvrage ; j'adresse mes sincères remerciements à M<sup>r</sup> HADJAMEUR mon promoteur pour ces conseils. Ainsi que M<sup>r</sup> M. BENBRAIKA, qui n'a jamais hésité à m'aider chaque fois que je lui fait appel.

Je remercie notamment tous les enseignants qui ont contribué à ma formation de près ou de loin.

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

وزارة التعليم العالي

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

Département Génie mécanique

فوق الهندسة، ميكانيكية

promoteur HADJ AMEUR

الموجه الأستاذ

Élève Ingénieur OUNIS

الطالب، مهندس

الموضوع وضع نموذج ترموديناميكي للجهاز التجريبي TD43  
الملخص: يتمثل العمل الذي قمنا به في وضع قوانين تطبيقية من منحنيات  
تجريبية التي تمكننا من معرفة تغيرات مختلف عوامل الجهاز التجريبي  
TD43 ومن ثم وضعنا برنامج معلوماتي لمحاكاة التجارب على  
الجهاز التجريبي TD43.

subject: Mobilisation thermodynamique du banc TD43

Résumé: Notre travail a porté sur l'établissement de fonction  
de corrélation à partir des courbes expérimentales permettant  
de connaître la variation des différents paramètres du banc  
TD43 à partir de ces fonctions nous avons établi un logiciel  
de simulation d'expériences sur le banc TD43

subject: Thermodynamic mobilisation of the bench TD43.

ABSTRACT: This study consists to establish correlation functions  
from experimental curves allowing to know the variation of  
the different parameters of the bench TD43  
further more a simulation software programm related to  
that bench has been realized.

# SOMMAIRE

Chapitre I	INTRODUCTION	1
Chapitre II	PRESENTATION DES RESULTATS D'EXPERIENCES	3
1.	Description du banc d'essai	3
2.	Experience	3
2.1	Precautionset verifications	3
2.2	Demarrage	4
2.3	Arrêt	5
3.	Methode de calcul	5
3.1	Consommation de carburant	6
3.1.1	Consommation volumique	6
3.1.2	Consommation massique	6
3.1.3	Consommation specifique	6
3.2	Puissance de friction	6
3.3	Rendement s	7
3.3.1	Rendement thermique	7
3.3.2	Rendement volumique	7
3.3.3	Rendement mecanique	8
4.	Tableaux des valeurs	8
4.1	Version essence	9
4.2	Version Diesel	11

4.3 Version Gaz	13
-----------------	----

### Chapitre III : THEORIE DE LISSAGE DES COURBES

#### ET MODELISATION

1. Introduction	21
2. Modèle linéaire	22
3. Mesures de la qualité d'une approximation	23
4. Approximation (ou lissage) et interpolation	24
5. Méthode des moindres carrés pour un modèle linéaire	29
5.1 Formation du système $AC = B$	29
5.2 Solution du système $AC = B$	31
5.2.1 Théorème de Cholevski	31
5.2.2 Méthode de la décomposition de la matrice $A$	32
6. Algorithme de calcul	33

### Chapitre IV : PROGRAMMATION

1. Notation utilisées dans le programme	35
2. Organigramme principale	36
3. Les sous-programme	39

### Chapitre V : PRESENTATION DES RESULTATS

1. Méthode de calcul d'un modèle	43
2. Exemple des modèles établis	47
2.1 Version essence	48
2.2 Version Diesel	51

2.2	Version Gaz	54
3.	Resultat obtenue	57
3.1	Version essence	58
3.2	Version diesel	59
3.3	Version Gaz	60
4.	Confrontation des resultats	61
Chapitre VI : CONCLUSION		63



# CHAPITRE I

## INTRODUCTION

Un système mécanique, physique, chimique, ..., peut se concevoir comme étant une relation entre des causes (ou variables d'entrée) et des conséquences (variables de sortie).

Scientifiquement, étudier un tel système c'est généralement chercher à prévoir son comportement, c'est-à-dire quel sera l'état ou l'évolution des grandeurs de sortie en réponse à une valeur ou une variation des grandeurs d'entrée.

Donc il est intéressant d'établir un modèle dont le comportement soit analogue à celui du système étudié, c'est-à-dire reproduisant les mêmes relations entre ses grandeurs d'entrée et ses grandeurs de sortie ; donc le modèle simule le comportement du système.

Dans notre étude le système un moteur monocylindre du banc TD43, le taux de compression et la vitesse de rotation sont les paramètres d'entrées ; la puissance, le couple, la consommation spécifique, le rendement

mécanique, volumétrique et thermique, sont les paramètres de sorties

Notre étude a porté sur l'analyse des résultats des expériences pour différentes versions du moteur monocylindre du banc TD 43

Pour cela nous avons partagé notre travail en plusieurs étapes nettement distinctes :

- Collecte et présentation des résultats
- Étude théorique de la modélisation
- Algorithme de calcul
- Organigramme
- Programmes
- Exemple de calcul
- Confrontation des résultats obtenus avec le modèle et celle du banc
- Conclusion.

## CHAPITRE II

### PRESENTATION DES RESULTATS D'EXPERIENCES

#### II 1. Description du banc d'essai.

Le banc d'essai TD43 est construit essentiellement à base d'un moteur Diesel marin refroidi par eau, Le moteur est un monocylindre à quatre temps, transformé par l'équipement en vue de lui conférer une certaine universalité.

On peut faire varier le taux de compression entre 9 et 18.

En alimentation normale, le moteur fonctionne à l'essence, au gaz-oil, au propane ou au gaz naturel. Il existe un surpresseur d'alimentation qui peut être utilisé avec la version Diesel ou injection d'essence (suralimentation).

Le moteur est accouplé directement à un dynamomètre électrique qui sert à mettre le moteur en marche et le faire tourner lors des essais de friction.

#### II 2. Experiences.

##### 2.1 Précautions et vérifications

- Vérifier le niveau d'huile et d'eau de refroidissement.

- Brancher l'alimentation.

- Régler le débit d'eau à la valeur maximale.

- Appuyer sur le bouton reset. Les voyants vert s'allument

- Tourner le variateur d'intensité de la charge à fond dans le sens antihoraire.

- Placer le bouton de commande de la vitesse en position minimum.

## 2.2 Démarrage

- Placer le selecteur Motor/generate en position Motor et appuyer sur le bouton "start"

- Accélérer à moitié

- Augmenter lentement la vitesse, et brancher l'allumage.

Quand le moteur démarre, il faut placer le selecteur Motor/generate en position generate, puis laisser chauffer le moteur à une vitesse modérée (1250 tr/min) pour passer ensuite aux essais à

pleine ouverture des gaz.

### 2.3. Arrêt

- Reduire graduellement les gaz et la charge simultanément.
- Couper l'allumage et fermer les robinets
- Placer le selecteur Motor/generate en position "off".

## II 3 Methode de calcul

Les methodes de calcul sont les mêmes pour les différentes version de carburant (essence, gaz oil, gaz) utilisé dans le moteur monocylindre du banc d'essais TD 43, -pour le calcul ou le relevé des différents parametres du moteur monocylindre.

La vitesse de rotation, le couple et la puissance au frein sont relevés directement par lectures.

## II 3.1 Consommation de carburant

Il s'agit de mesurer le temps nécessaire pour la consommation des différents volumes connus  $V_i$ , avec

$$V_i = \{ 8, 16, 32 \} \text{ en ml.}$$

### II 3.1.1 Consommation volumique

$$C_v = \left( \frac{8}{t_1} + \frac{16}{t_2} + \frac{32}{t_3} \right) \times \frac{1}{3} \quad (\text{ml/s})$$

### III 3.1.2 Consommation massique

$$C_m = C_v \cdot \rho \cdot 10^{-3} \cdot 3600 \quad (\text{kg/h})$$

$$C_m = 2,664 \cdot C_v \quad (\text{kg/h})$$

### II 3.1.3 Consommation spécifique

$$S_{fc} = \frac{C_m}{P} \quad (\text{kg/kw.h})$$

## II 3.2 Puissance de friction

Caractériser les pertes mécaniques.

$$P_f = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60 \cdot 10^3} C_f$$

$C_f$ : Couple de friction relevé du couplemètre après avoir accroché des masses à l'arrière du dynamomètre.

## II 3.3 Rendements

### II 3.3.1 Rendement thermique ( $\eta_b$ )

$$\eta_b = \frac{\text{Puissance au frein}}{\text{energie fournie}} = \frac{P}{C_m \cdot P_{ci}}$$

$$\eta_b = \frac{3600}{s_{fc} \cdot P_{ci}}$$

$P_{ci}$  = pouvoir calorifique inferieur

### II 3.3.2 Rendement volumetrique ( $\eta_v$ )

$$\eta_v = \frac{\text{charge admise reellement}}{\text{charge d'air admise theoriquement}} = \frac{P}{C_m \cdot P_{ci}}$$

En assimilant l'air a un gaz parfait

$$C_{HTh} = \frac{P_a \cdot V_h}{t_{cycle}} = \frac{P_a}{r T_a} \frac{V_h}{2.60/N} = \frac{P_a \cdot N \cdot V_h}{120 \cdot r \cdot T_a} = \frac{582 \cdot 10^{-6} \cdot P_a \cdot N}{120 \cdot 287 \cdot T_a}$$

Avec un choix adequats des unites :

$$P_a \text{ [mb]} , N \text{ [tr/min]} , T_a \text{ [K]} , C_{HTh} \text{ [kg/h]}$$

ALORS on a :

$$C_{HTh} = \frac{582 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \cdot 3600}{120 \cdot 287} \frac{P_a \cdot N}{T_a} = 0,00608 \frac{P_a \cdot N}{T_a}$$

$C_{Hr}$  : charge d'air reelie determinee a partir de la courbe de tallonage.

$$\eta_v = \frac{C_{Hr} \cdot T_a}{0,00608 \cdot P_a \cdot N} = 164,37 \frac{C_{Hr} \cdot T_a}{P_a \cdot N}$$

### II 3.3.3 Rendement mécanique

Donné par la formule :

$$\eta_m = \frac{\text{Puissance au frein}}{\text{P. au frein} + \text{P. de friction}}$$

$$\eta_m = \frac{1}{1 + P_f/P_e}$$

### II 4. Tableaux des valeurs

Les tableaux qui suivent, regroupent l'ensemble des valeurs expérimentales, effectués sur le moteur monocylindre du banc d'essai TD43, pour différentes combustibles (essence, diesel, gaz)

Suivi des courbes correspondantes.



## II 4.1 Version essence

4.1.1 Puissance  $P_e$  (Kw)

Vitesse (tr/mn)	1000	1250	1375	1500	1750	2000	2250	2500
$\epsilon=6$ $P_e$	2.5	3.2	3.6	4.1	4.3	4.4	4.5	4.2
$\epsilon=7$ $P_e$	2.75	3.6	4.2	4.6	4.8	4.9	5	4.9
$\epsilon=8$ $P_e$	3.4	4	4.5	4.9	5.6	5.6	5.7	5.2
$\epsilon=9$ $P_e$	3.4	4.2	4.8	5.3	5.7	5.7	6.3	6.5

4.1.2 Couple  $C$  (N.m)

Vitesse (tr/mn)	1000	1250	1375	1500	1750	2000	2250	2500
$\epsilon=6$ $C$	24.5	25.2	26.1	27	24.2	24	18.5	14.8
$\epsilon=7$ $C$	27.5	29	29.8	30.5	27	24	20.5	18
$\epsilon=8$ $C$	27	29	29.8	29.5	29.5	29.5	22.8	17
$\epsilon=9$ $C$	34	34	34.5	35	33	30	27	29

4.1.3 Consommation spécifique :  $S_{fc}$  (kg/Kw.h)

Vitesse (tr/mn)	1000	1250	1375	1500	1750	2000	2250	2500
$\epsilon=6$ $S_{fc}$	0.627	0.599	0.551	0.504	0.584	0.636	0.657	0.738
$\epsilon=7$ $S_{fc}$	0.570	0.544	0.525	0.436	0.526	0.552	0.548	0.668
$\epsilon=8$ $S_{fc}$	0.437	0.440	0.435	0.4237	0.4237	0.4828	0.5119	0.5927
$\epsilon=9$ $S_{fc}$	0.461	0.466	0.440	0.401	0.443	0.449	0.469	0.487

4.1.4 Rendement mecanique  $\eta_m$ 

Vitesse tr/min	1000	1250	1500	1625	1750	1875	2000	2125
$\epsilon=6$ $\eta_m$	0.7	0.684	0.703	0.685	0.677	0.655	0.646	0.62
$\epsilon=7$ $\eta_m$	0.705	0.696	0.701	0.695	0.686	0.670	0.6641	0.635
$\epsilon=8$ $\eta_m$	0.7436	0.7267	0.7157	0.715	0.7098	0.680	0.6764	0.695
$\epsilon=9$ $\eta_m$	0.742	0.743	0.722	0.725	0.712	0.695	0.692	0.725

4.1.5 Rendement volumetrique  $\eta_v$ 

Vitesse tr/min	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2375	2500
$\epsilon=6$ $\eta_v$	0.8676	0.8405	0.7987	0.853	0.8367	0.7184	0.685	0.6332
$\epsilon=7$ $\eta_v$	0.8607	0.8595	0.8987	0.8040	0.7424	0.7070	0.655	0.6174
$\epsilon=8$ $\eta_v$	0.8415	0.7791	0.7574	0.7791	0.7629	0.7502	0.7050	0.6882
$\epsilon=9$ $\eta_v$	0.8735	0.8574	0.8137	0.8566	0.7496	0.7397	0.7450	0.6761

4.1.6 Rendement thermique  $\eta_b$ :

Vitesse tr/min	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2375	2500
$\epsilon=6$ $\eta_b$	0.1366	0.1431	0.1698	0.1442	0.1346	0.1503	0.124	0.116
$\epsilon=7$ $\eta_b$	0.1502	0.1576	0.1967	0.1628	0.1551	0.1562	0.141	0.1283
$\epsilon=8$ $\eta_b$	0.1961	0.1930	0.2023	0.2023	0.1775	0.1674	0.1552	0.1446
$\epsilon=9$ $\eta_b$	0.1858	0.1838	0.2130	0.1933	0.1906	0.1824	0.1810	0.1757

## II 4.2 Version Diesel

### 4.2.1 Puissance $P_e$ (KW)

Vitesse (tr/min)	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
$\epsilon=12$ $P_e$	2.3	2.8	3.5	4	4.8	5.1	5.3	5.7
$\epsilon=14$ $P_e$	2.2	2.8	3.6	4.25	5.1	5.5	5.7	5.8
$\epsilon=16$ $P_e$	2.65	3.45	4.25	5	5.8	6	6.7	7
$\epsilon=18$ $P_e$	2.7	3.5	4.3	4.9	5.9	6.7	6.8	7

### 4.2.2 Couple $C$ (N.m)

Vitesse (tr/min)	1000	1250	1750	2000	2125	2250	2375	2500
$\epsilon=12$ $C$	25	26	27.1	28.3	28.2	27.6	27	26
$\epsilon=14$ $C$	26.2	27.2	28.6	30	29.6	29.2	28.1	26.7
$\epsilon=16$ $C$	28	29.9	30.7	31	30.8	30	29.1	28
$\epsilon=18$ $C$	29	30.6	31.3	33	32.8	33.6	32	31

### 4.2.3 Consommation spécifique $S_{fc}$ (Kg/kw.h)

Vitesse tr/min	1000	1250	1500	1750	1875	2000	2250	2500
$\epsilon=12$ $S_{fc}$	0.324	0.332	0.35	0.381	0.39	0.398	0.445	0.47
$\epsilon=14$ $S_{fc}$	0.322	0.325	0.332	0.346	0.356	0.367	0.414	0.445
$\epsilon=16$ $S_{fc}$	0.277	0.286	0.304	0.305	0.322	0.343	0.37	0.397
$\epsilon=18$ $S_{fc}$	0.241	0.254	0.274	0.299	0.298	0.317	0.332	0.378

4.2.4 Rendement mecanique  $\eta_m$ 

Vitesse (tr/min)	1000	1250	1500	1750	1875	2000	2250	2500
$\epsilon=12 \eta_m$	0.7325	0.7175	0.7025	0.6925	0.6775	0.6725	0.660	0.64
$\epsilon=14 \eta_m$	0.745	0.735	0.725	0.7025	0.6925	0.695	0.68	0.655
$\epsilon=16 \eta_m$	0.77	0.7675	0.75	0.735	0.715	0.71	0.7025	0.6775
$\epsilon=18 \eta_m$	0.81	0.8	0.77	0.7575	0.737	0.7375	0.7225	0.6975

4.2.5 Rendement volumetrique  $\eta_v$ 

Vitesse (tr/min)	1000	1250	1500	1750	2000	2112	2250	2500
$\epsilon=12 \eta_v$	0.825	0.865	0.89	0.915	0.927	0.93	0.925	0.93
$\epsilon=14 \eta_v$	0.815	0.84	0.8675	0.8875	0.9125	0.90	0.895	0.90
$\epsilon=16 \eta_v$	0.915	0.915	0.915	0.915	0.915	0.915	0.915	0.915
$\epsilon=18 \eta_v$	0.80	0.84	0.885	0.942	0.942	0.945	0.95	0.945

4.2.6 Rendement thermique  $\eta_{th}$ 

Vitesse (tr/min)	1000	1250	1500	1750	1875	2000	2250	2500
$\epsilon=12 \eta_{th}$	0.288	0.28	0.267	0.247	0.246	0.233	0.207	0.193
$\epsilon=14 \eta_{th}$	0.288	0.284	0.28	0.268	0.263	0.254	0.225	0.207
$\epsilon=16 \eta_{th}$	0.336	0.327	0.31	0.30	0.287	0.274	0.24	0.229
$\epsilon=18 \eta_{th}$	0.367	0.366	0.34	0.326	0.322	0.294	0.28	0.253

## I 4.3 Version Gaz (butane)

### 4.3.1 Puissance $P_e$ (Kw)

Vitesse (tr/min)	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
$\epsilon=6$ $P_e$	3.25	4.25	4.75	5.25	5.25	4.5	4.25	4.0
$\epsilon=7$ $P_e$	3.5	4.3	5	5.5	6	5.2	5.25	4.7
$\epsilon=8$ $P_e$	3.75	4.75	5.75	6.25	6.75	6.7	6.80	6.75
$\epsilon=9$ $P_e$	3.75	4.75	5.7	6.3	6.5	6.2	5.25	2.5

### 4.3.2 Couple $C$ (N.m)

Vitesse (tr/min)	1000	1250	1500	1750	1875	2000	2250	2500
$\epsilon=6$ $C$	32	31.5	30	25.5	27	25	16	14
$\epsilon=7$ $C$	34	33.5	33	31	30	29	22.5	18
$\epsilon=8$ $C$	36.5	37	36.5	35	34	33	29.5	29
$\epsilon=9$ $C$	35	36	36	33.5	32.5	31	29.5	7

### 4.3.3 Consommation spécifique $S_{fc}$

Vitesse (tr/min)	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
$\epsilon=6$ $S_{fc}$	0.6	0.515	0.524	0.488	0.503	0.520	0.556	0.606
$\epsilon=7$ $S_{fc}$	0.549	0.500	0.463	0.469	0.456	0.480	0.452	0.533
$\epsilon=8$ $S_{fc}$	0.491	0.442	0.424	0.437	0.418	0.425	0.310	0.440
$\epsilon=9$ $S_{fc}$	0.446	0.396	0.386	0.398	0.356	0.350	0.352	0.785

4.3.5 Rendement mecanique  $\eta_m$ 

Vitesse (tr/min)	1000	1125	1250	1375	1500	1750	1875	2000
$\epsilon=6 \eta_m$	0.827	0.825	0.823	0.807	0.791	0.771	0.75	0.736
$\epsilon=7 \eta_m$	0.848	0.845	0.835	0.822	0.809	0.790	0.78	0.771
$\epsilon=8 \eta_m$	0.808	0.805	0.801	0.7975	0.794	0.773	0.79	0.782
$\epsilon=9 \eta_m$	0.782	0.775	0.744	0.7515	0.759	0.776	0.740	0.749

4.3.5 Rendement volumetrique  $\eta_v$ 

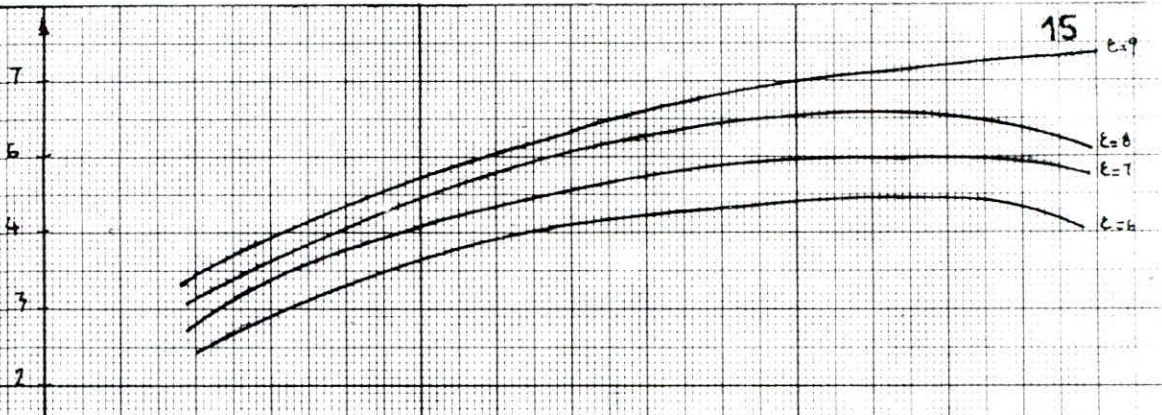
Vitesse (tr/min)	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
$\epsilon=6 \eta_v$	0.926	0.895	0.873	0.812	0.775	0.73	0.717	0.594
$\epsilon=7 \eta_v$	0.866	0.811	0.845	0.820	0.739	0.74	0.741	0.616
$\epsilon=8 \eta_v$	0.844	0.828	0.873	0.833	0.781	0.75	0.770	0.650
$\epsilon=9 \eta_v$	0.739	0.777	0.802	0.857	0.739	0.77	0.732	0.659

4.3.6 Rendement thermique  $\eta_{th}$ 

Vitesse (tr/min)	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
$\epsilon=6 \eta_{th}$	0.131	0.153	0.150	0.161	0.156	0.142	0.150	0.130
$\epsilon=7 \eta_{th}$	0.144	0.158	0.17	0.168	0.173	0.166	0.174	0.148
$\epsilon=8 \eta_{th}$	0.161	0.178	0.186	0.180	0.189	0.186	0.202	0.186
$\epsilon=9 \eta_{th}$	0.177	0.199	0.204	0.198	0.222	0.222	0.224	0.180

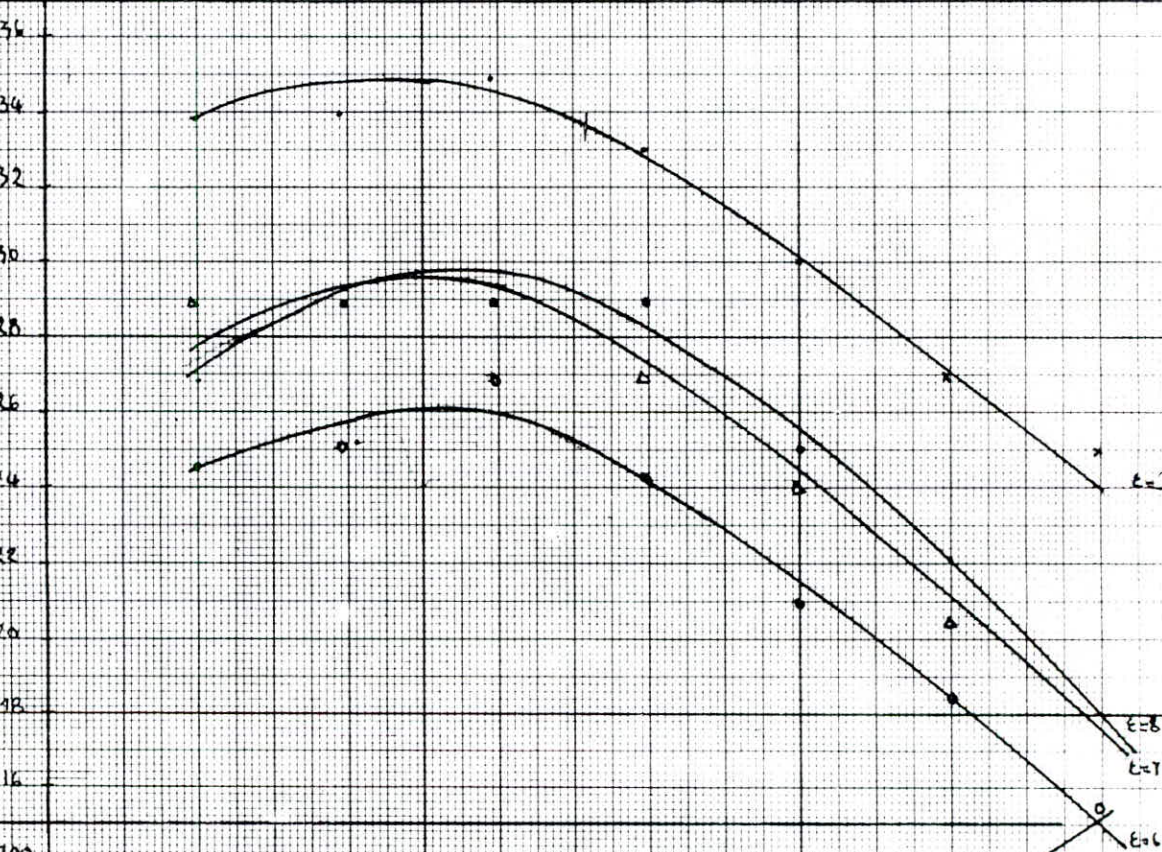
Puissance au frein

$$P_e = f_e(N)$$



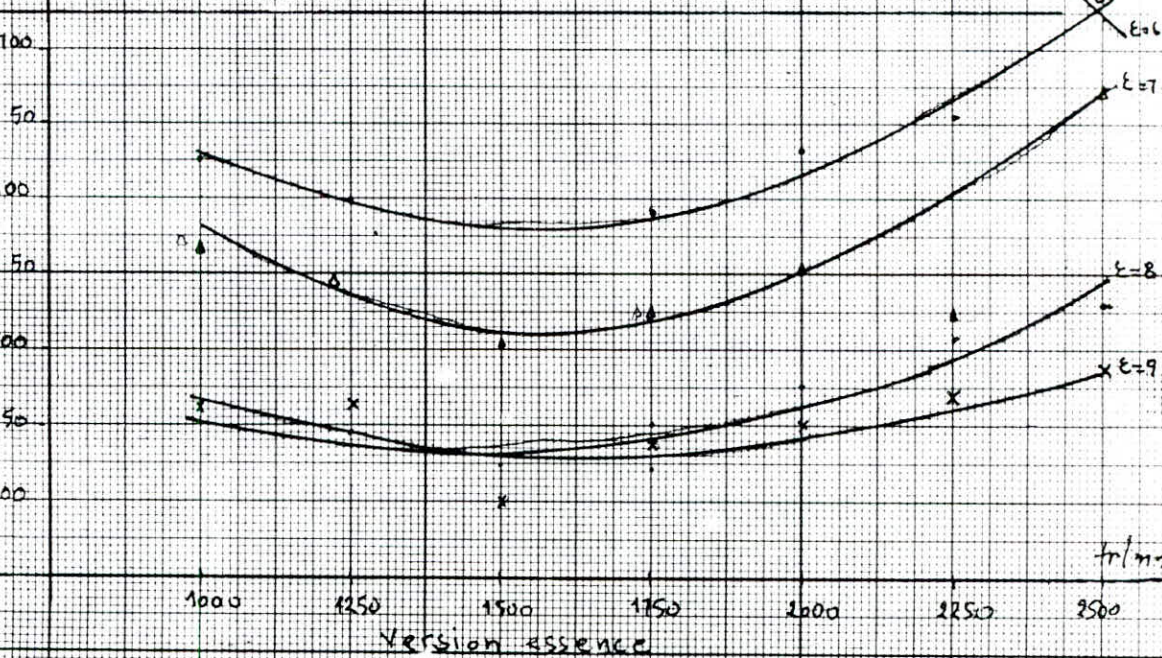
Couple au frein

$$C_e = f_e(N)$$



Consommation spécifique

$$S_{pe} = f_e(N)$$



Version essence

tr/mn

Rendement mécanique

$$\eta_m = \frac{f_c}{N}$$

.80  
.70  
.60

Rendement volumétrique

$$\eta_v = \frac{f_c}{N}$$

.80  
.70  
.60

Rendement thermique

$$\eta_{th} = \frac{f_c}{N}$$

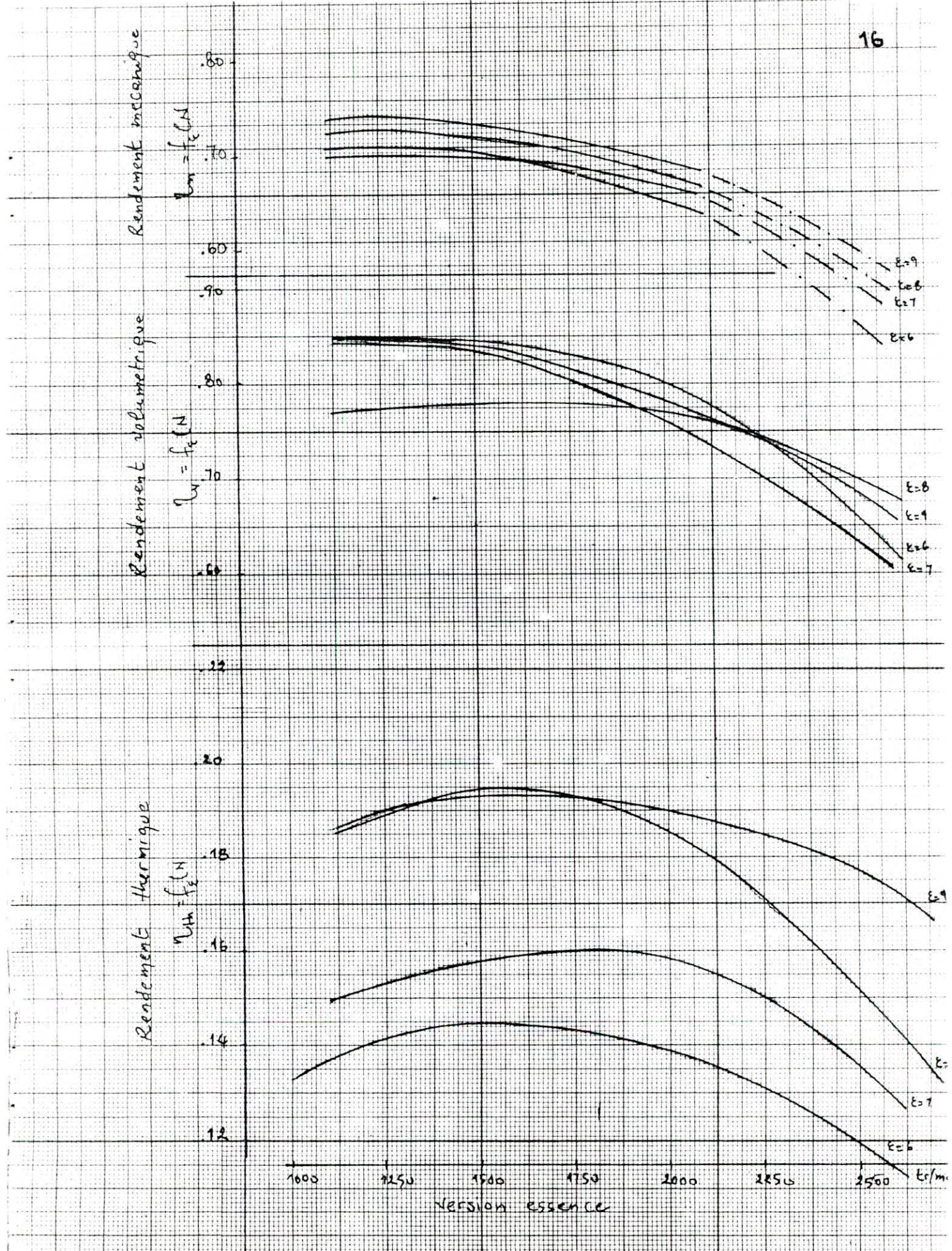
.22  
.20  
.18  
.16  
.14  
.12

1000 1250 1500 1750 2000 2250 2500  $\text{kg/m}^3$   
VERSION ESSENCE

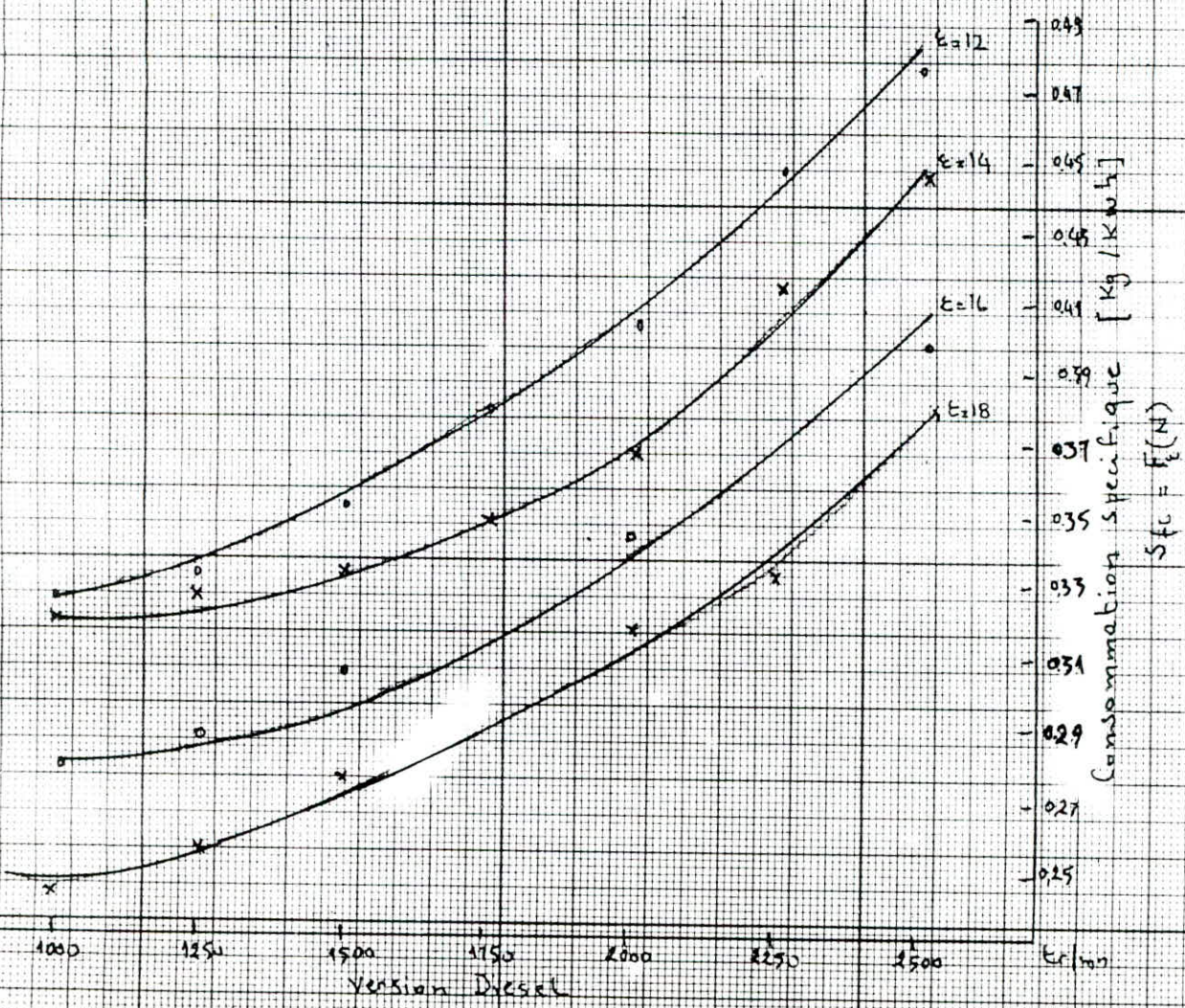
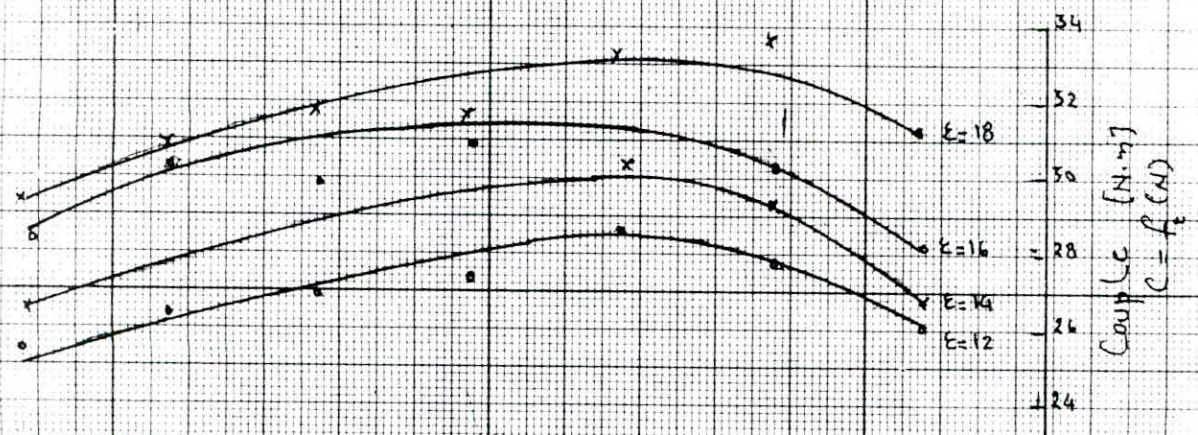
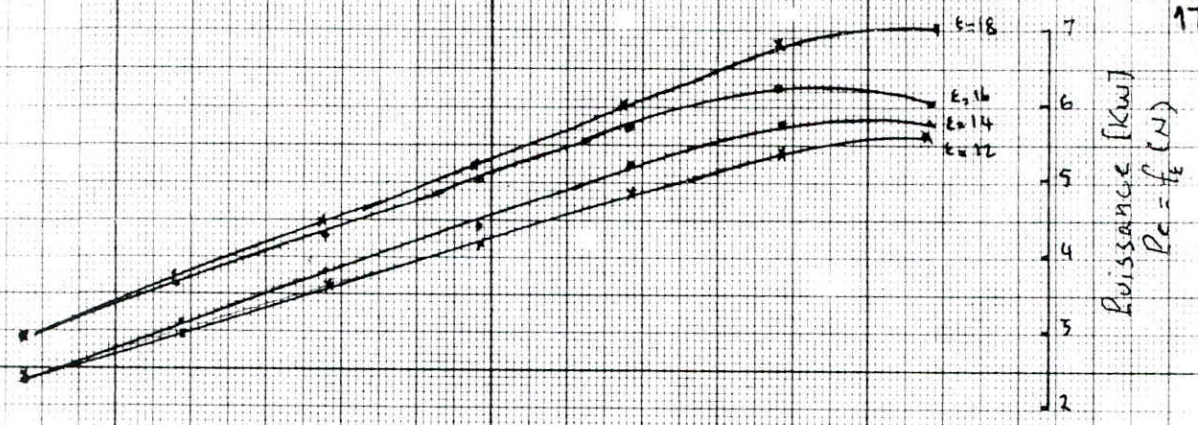
$\epsilon=9$   
 $\epsilon=8$   
 $\epsilon=7$   
 $\epsilon=6$

$\epsilon=8$   
 $\epsilon=9$   
 $\epsilon=6$   
 $\epsilon=7$

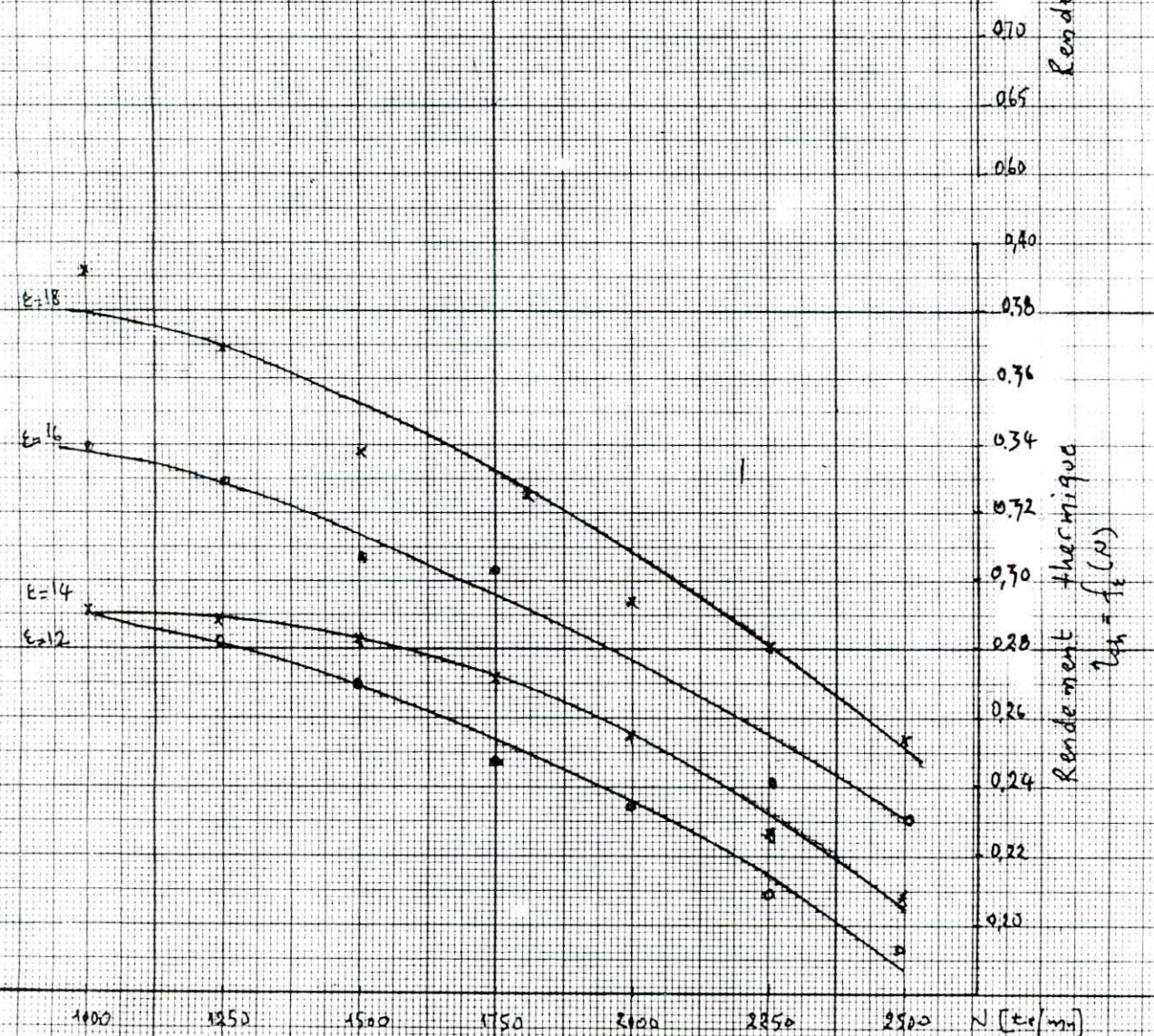
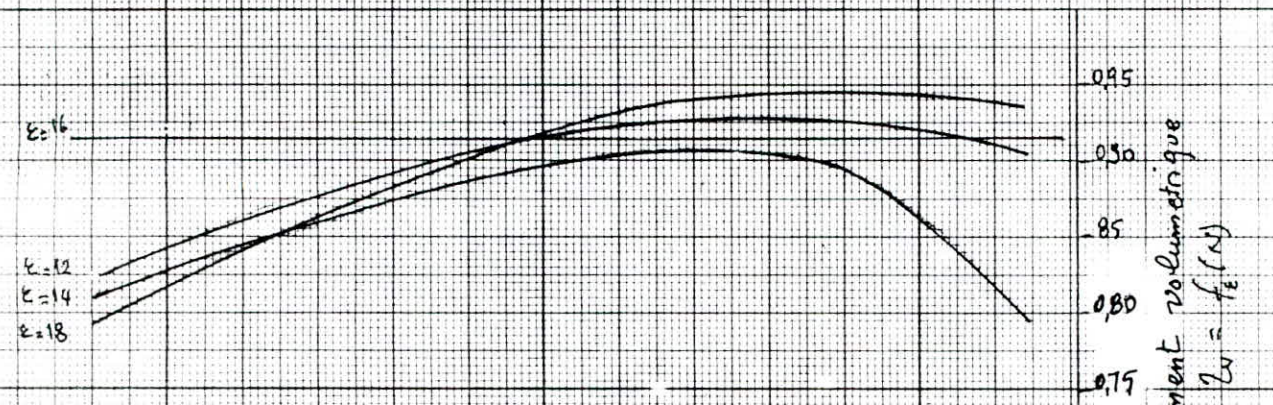
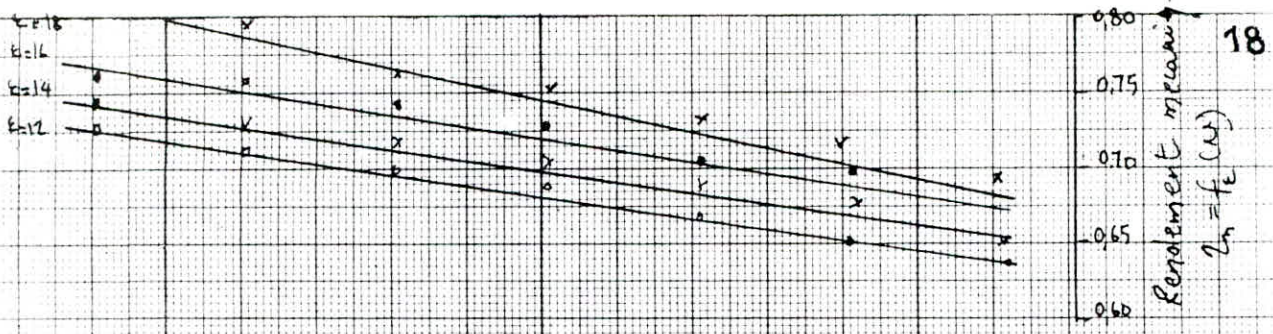
$\epsilon=9$   
 $\epsilon=7$   
 $\epsilon=6$





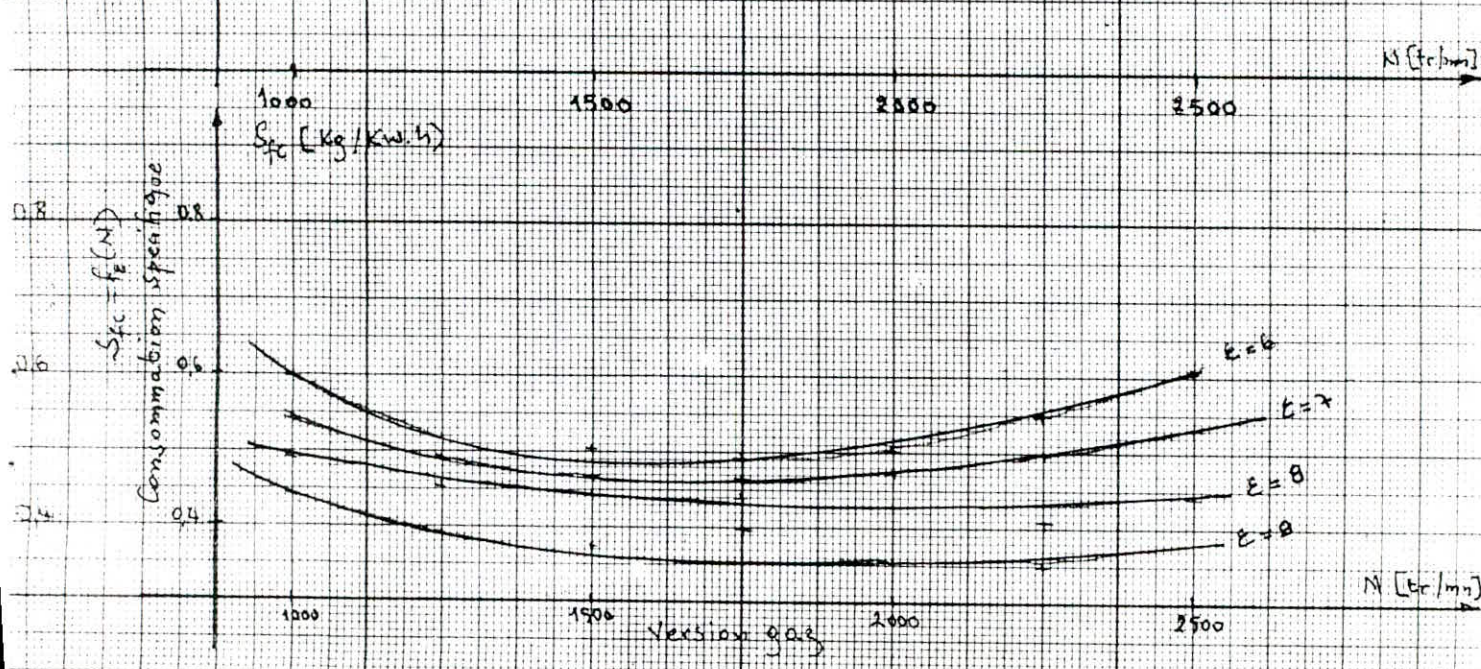
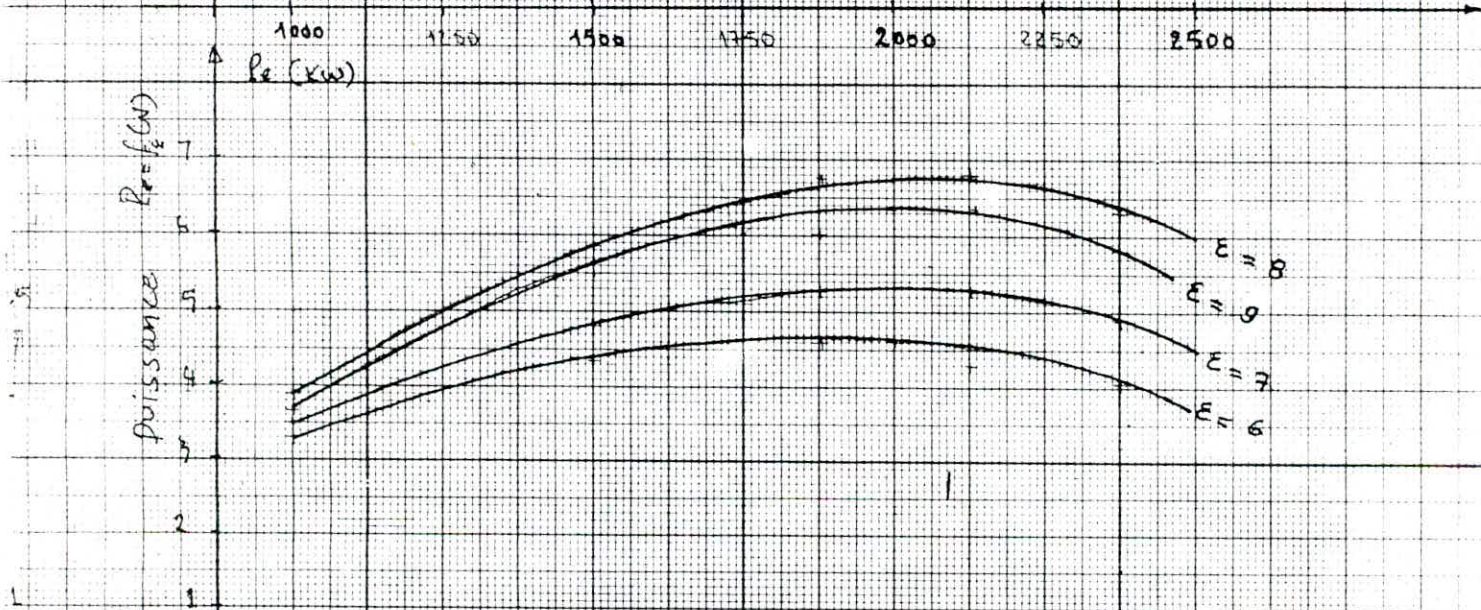
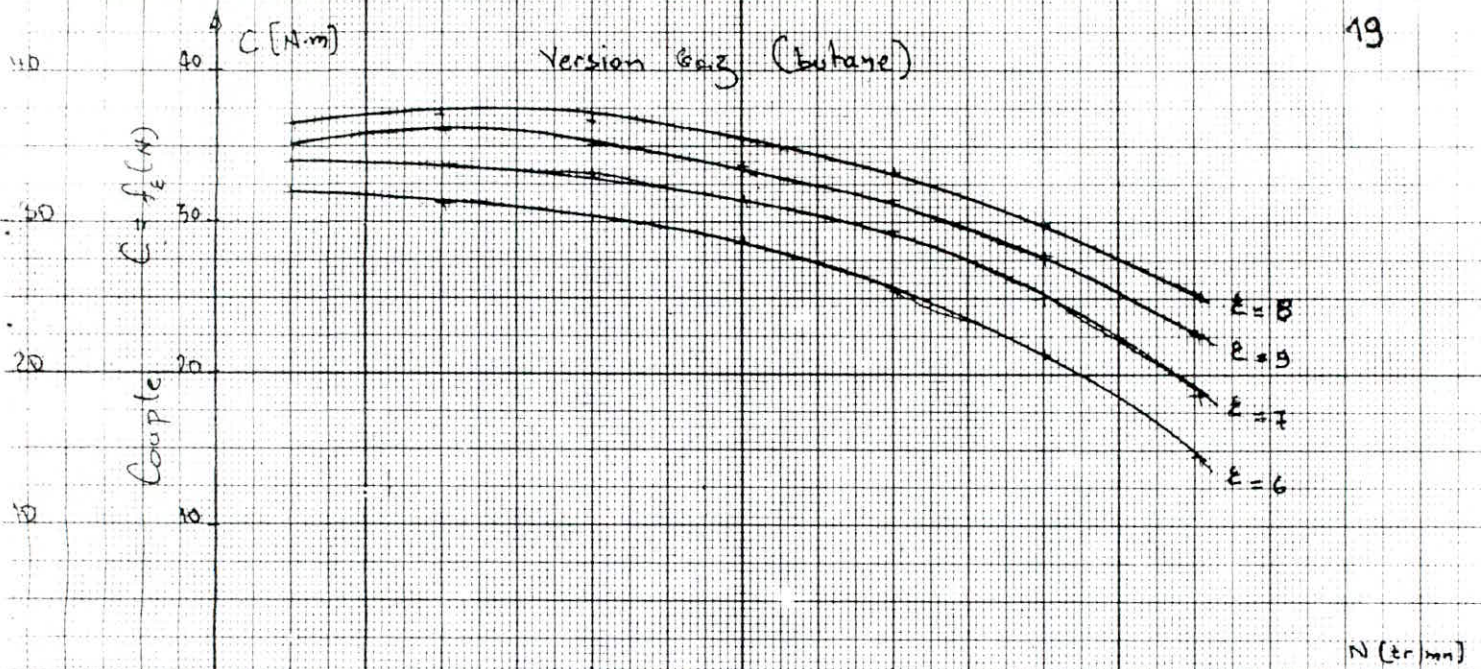


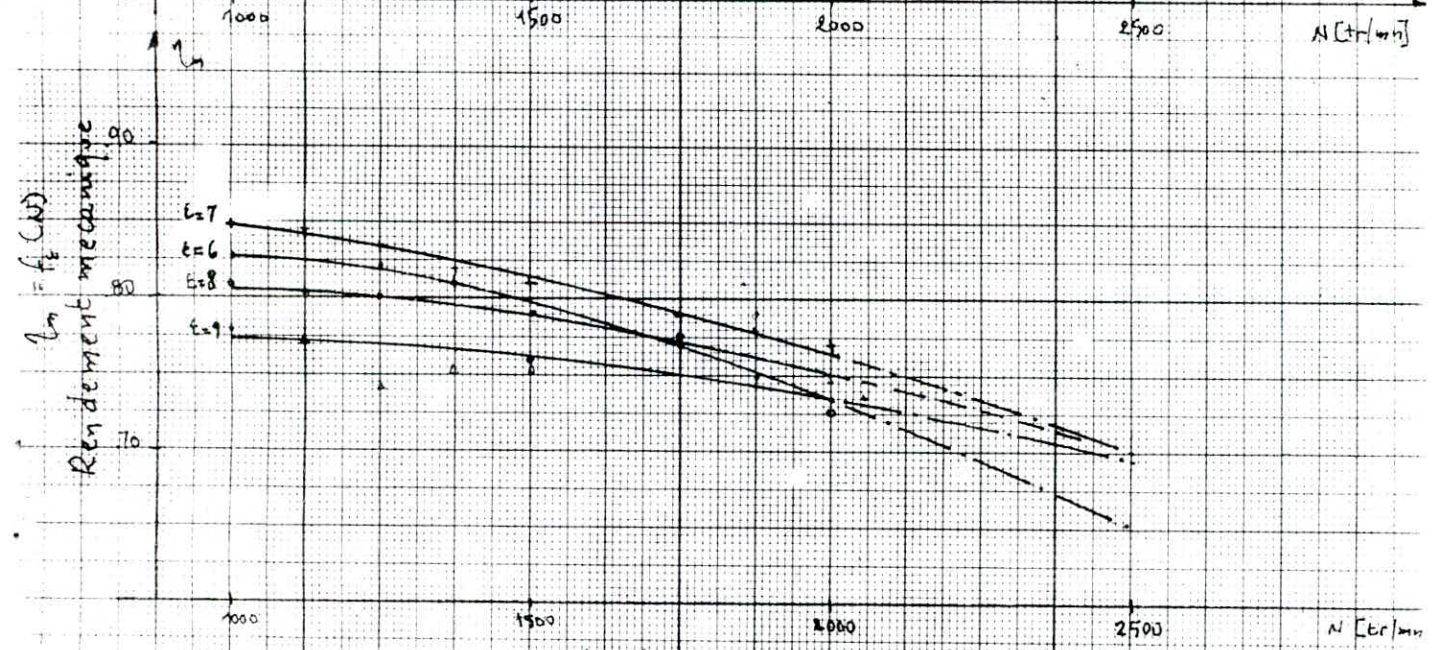
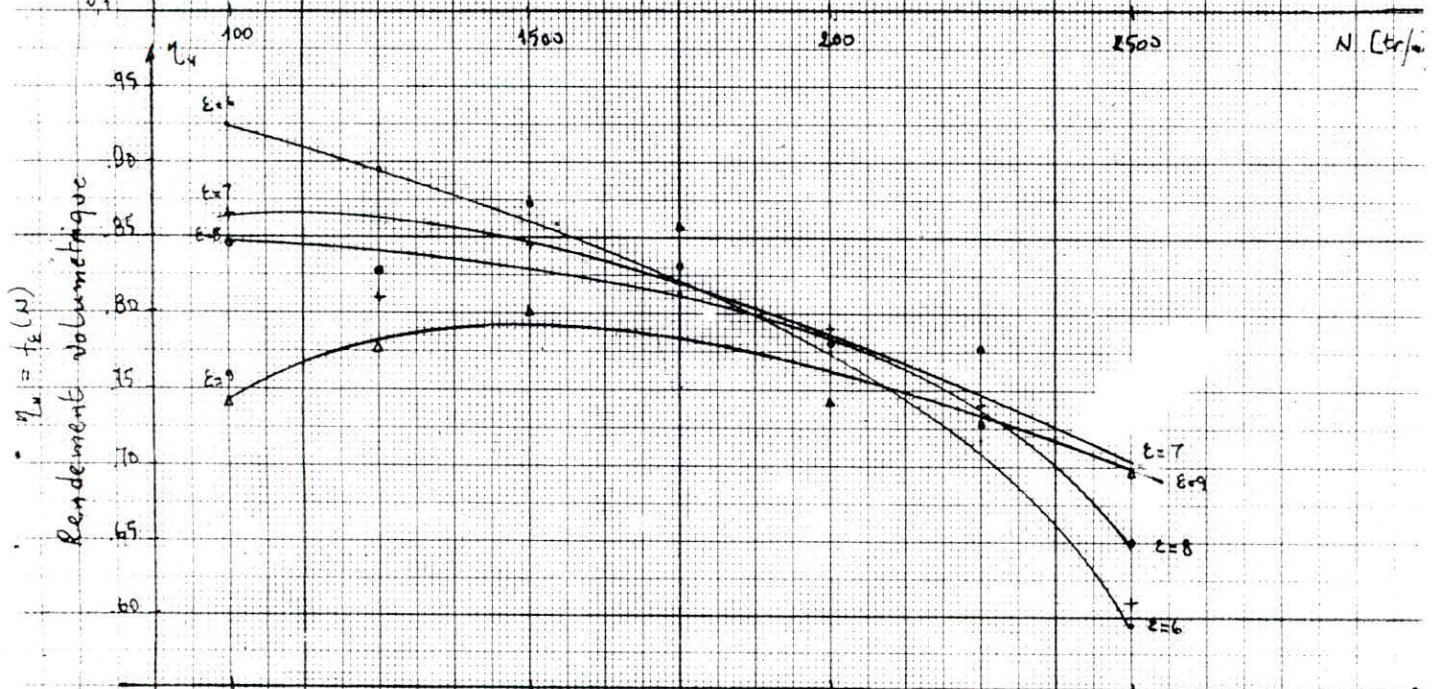
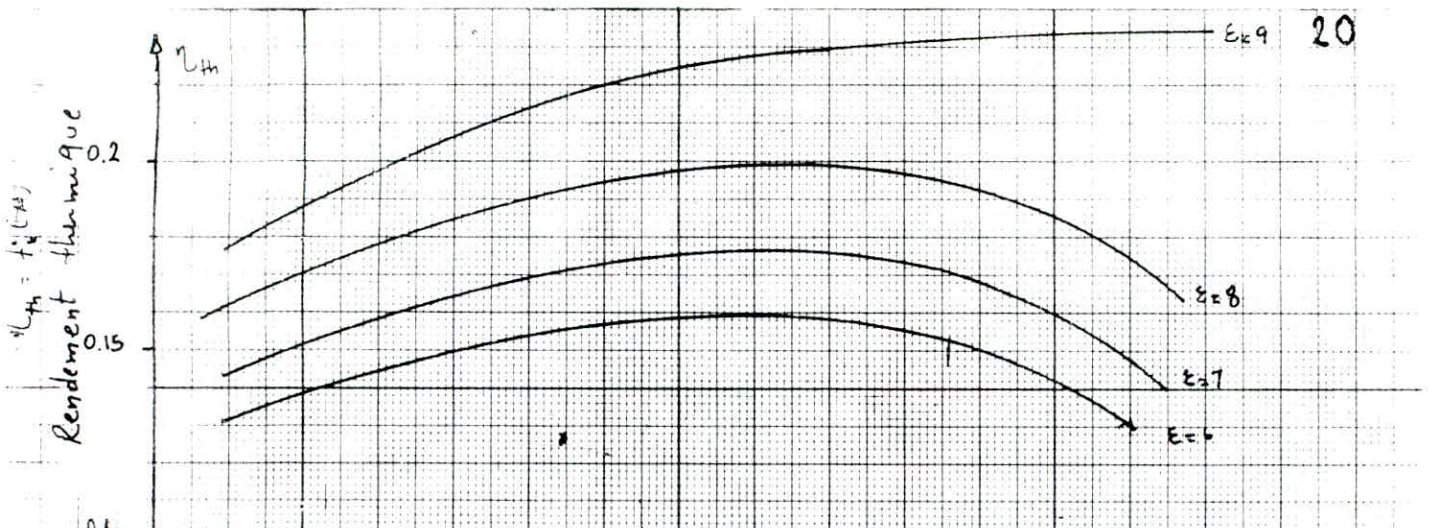
Version Diesel



Version Diesel

Version gaz (butane)





Version gaz

## CHAPITRE III

### THEORIE DE LISSAGE DES COURBES ET MODELISATION

#### III 1. Introduction

Des ingénieurs ont souvent à prendre des décisions au sujet de phénomène dont ils ne connaissent le comportement qu'à partir de données (mesures) expérimentales.

Dans certain cas, la connaissance fondamentale des phénomènes en question nous permet de proposer un modèle mathématique précis que l'on nomme modèle de connaissance.

Mais souvent, on ignore les mécanismes précis du phénomène ou encore les mesures effectuées sur le phénomène peuvent être influencées par les variations aléatoires de variables incontrôlables (bruits). On peut alors proposer un modèle statistique dont on cherchera à estimer les paramètres à partir de l'échantillon de mesures. C'est le but de ce chapitre.

Dans un troisième type de cas, on s'est rendu compte qu'il n'était pas toujours possible de proposer un modèle précis et de faire des hypothèses a priori sur les données. Le champ d'étude de la statistique sans modèle est celui de "l'analyse des données"

### III 2. Modèle Linéaire :

Etant donné une fonction réelle  $y = g(x)$  définie sur  $x \in [a, b]$  de  $\mathbb{R}$  et connue en un ensemble de points  $x_i$ , nous voulons approximer  $g(x)$  par une fonction simple.

Le type de modèles le plus commun dérivés de la classe de fonctions de la forme :

$$y^* = c_1 f_1(x) + c_2 f_2(x) + \dots + c_m f_m(x) \quad (3.1)$$

Où les fonctions  $\{f_j(x)\}$  constituent un sous espace vectoriel de dimension  $m$ .

Les paramètres  $[c_1, c_2, \dots, c_m]$  apparaissent sous forme linéaire. On dira que le modèle (3.1) est linéaire.

Notons que cette forme linéaire inclut les polynômes simple :

$$y^* = c_1 + c_2 x + c_3 x^2 + \dots + c_m x^{m-1} \quad (3.2)$$

les formes exponentielles :

$$y^* = c_1 e^{\alpha_1 x} + c_2 e^{\alpha_2 x} + \dots + c_m e^{\alpha_m x} \quad (3.3)$$

les formes de Fourier :

$$y^* = c_1 \sin(\omega x) + c_2 \sin(2\omega x) + \dots + c_m \sin(m\omega x) \quad (3.4)$$

### III 3. Mesures de la qualité d'une approximation

Quand on approxime une fonction réelle continue  $\{y(x) / x \in [a, b]\}$  ou un ensemble de données numériques  $\{y(x_i) / i = 1, n\}$  par une fonction analytique  $y(x)$  ou  $y(x_i)$ , on veut faire une bonne approximation.

Par bonne approximation, nous entendons que la différence  $y - y^*$  doit être petite dans un certain sens. La distance entre la fonction réelle  $y$  et son modèle  $y^*$  peut être mesurée par la norme :

$$Z = \|y - y^*\|$$

Les normes les plus courantes pour l'approximation d'un ensemble de données numériques  $(x_i, y_i)$  sont en notant  $y_i$  la valeur  $y(x_i)$  :

$L_1$  : la norme de Laplace :

$$\|y_i - y_i^*\|_1 = \sum_{i=1}^n |y_i - y_i^*| \quad (3.5)$$

$L_2$  : la norme Euclidienne :

$$\|y - y^*\|_2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2 \quad (3.6)$$

$L_\infty$  : la norme du minimax de Laplace - Tchebychef :

$$\|y - y^*\|_\infty = \max |y_i - y_i^*| \quad (3.7)$$

Par définition la meilleure approximation  $y^*$  de  $y$  au

sens de la méthode des moindres carrés sera celle qui minimisera  $L_2$ .

### III 4. Approximation (ou lissage) et interpolation :

Généralement le problème est posé comme suit

Soit un ensemble de  $n$  valeurs  $x_i$  d'une grandeur  $x$  auxquelles correspond un ensemble de valeurs  $y_i$  d'une grandeur  $y$ .

On veut représenter la liaison entre  $x$  et  $y$  par une relation de la forme :

$$y_i^* = f(x_i, c_1, c_2, \dots, c_m) \quad i=1, n \quad (3.8)$$

Dù la fonction  $f$  est connue, mais, les valeurs des paramètres  $[c_1, c_2, \dots, c_m]$  restent à définir.

On supposera pour commencer, que les paramètres  $[c_1, c_2, c_3, \dots, c_m]$  apparaissent sous formes linéaires dans la relations (3.8)

Si le modèle (3.8) est parfait, alors  $y_i^*$  représente exactement  $y_i$  aux points  $x_i$  donnés et l'on a

$$y_i - y_i^* = 0 \quad i=1, n \quad (3.9)$$

Soit :

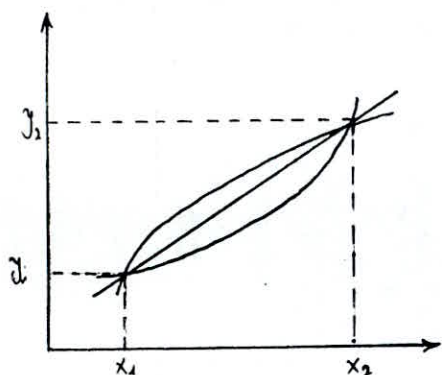
$$y_i - f(x_i, c_1, c_2, \dots, c_m) = 0 \quad i=1, n \quad (3.10)$$



Le système (3.10) est un système linéaire par hypothèse.  
de  $m$  équations inconnues  $(c_1, c_2, \dots, c_m)$

Trois cas se présentent :

- Premier cas :  $n < m$

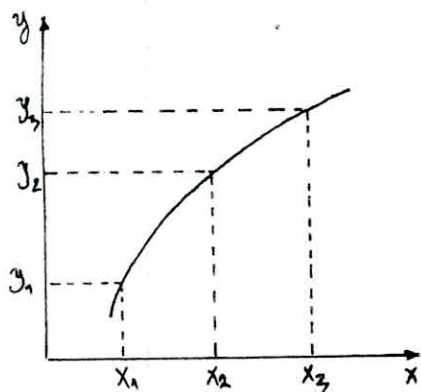


Il y a plus d'inconnues que d'équations et une infinité de solutions  $[c_1, c_2, \dots, c_m]$  existe pour la relation (3.10). Il y a indétermination d'ordre  $(m-n)$

Exemple: Soit

$$y_i^* = \sum_{j=1}^m c_j x^{j-1} \quad i=1, n \quad \text{Avec } n=2 \text{ et } m=3$$

- Deuxième cas :  $n = m$



Si les  $n$  équations de la relation (3.10) sont indépendantes, alors une solution unique  $[c_1, c_2, \dots, c_m]$  existe et l'on peut définir la fonction

$$y_i^* = f(x_i, c_1, c_2, \dots, c_m) \text{ passant par}$$

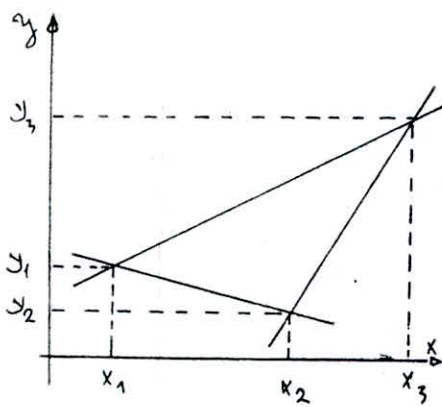
chacune des  $n$  points.

On dit que l'on opère une interpolation

Exemple : soit

$$y_i = \sum_{j=1}^m c_j x_i^{j-1} \quad i=1, n \quad \text{Avec } m=3 \text{ et } n=3$$

- Troisième cas :  $n > m$



On a un système surdéterminé de  $n$  équations à  $m$  inconnues, il n'y a généralement aucune solution et aucune fonction  $f(x_i, c_1, c_2, \dots, c_m)$  ne peut passer par tous les points.

Exemple :

$$y_i^* = \sum_{j=1}^m c_j x_i^{j-1} \quad i=1, n \quad \text{Avec } m=2 \text{ et } n=3$$

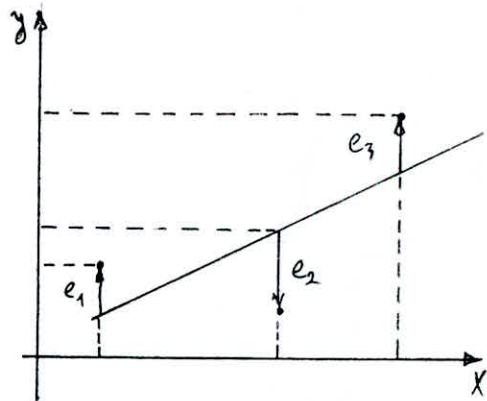
Dans ce troisième cas supposons que l'on propose un ensemble quelconque de valeurs  $[c_1, c_2, \dots, c_m]$ , alors aux points supports  $x_i$  la valeur calculée  $y_i^*$  diffère certainement de  $y_i$ .

Exemple :

$$y_i = \sum_{j=1}^m c_j x_i^{j-1} \quad i=1, n$$

Avec  $m=2$  et  $n=3$  et

$[c_1, c_2, c_3]$  quelconques. Définissons l'erreur commise au point  $i$  en



approximant  $y_i$  par  $y_i^*$

$$e_i = y_i - y_i^* \quad i=1, n \quad (3.11)$$

Introduisons dans la relation (3.8)

$$e_i = y_i - f(x_i, c_1, c_2, \dots, c_n) \quad i=1, n \quad (3.12)$$

Ce système est de  $n$  équations linéaires à  $(n+n)$  inconnues  
 Le système (3.12) possède donc une infinité de solutions  
 parmi cette infinité, nous choisissons celle qui minimise une des  
 normes définies par les relations (3.5) à (3.7)

Nous avons défini mathématiquement deux types de  
 problèmes de modélisation d'un ensemble de  $n$  couples  
 $(x_i, y_i)$  par un modèle à  $m$  paramètres.

1. Le problème d'interpolation où  $n=m$
2. Le problème d'approximation où  $n > m$

Dans la pratique, ces deux problèmes dont l'un semble être  
 le cas particulier de l'autre sont fondamentalement  
 différents:

- L'interpolation est utilisée dans le cas de données  
 $(x_i, y_i)$  connues "précisément", lorsque l'on veut prédire les  
 valeurs  $y$  en des points  $x$  ne coïncidant pas avec les  
 supports  $x_i$ .

- Dans le cas de mesures, dont la précision est rendue  
 douteuse à cause des perturbations incontrôlées, le but

de l'approximation (que l'on appelle aussi lissage) est d'essayer d'éliminer autant que possible l'influence du bruit de mesure (donc séparer l'information du bruit).

Donc notre problème est posé comme suit :

On a un ensemble de mesures qui nous a permis de tracer, les courbes des différents paramètres caractéristiques du moteur monocylindre du banc TD43. Tel que : puissance, couple, consommation spécifique et le rendement mécanique volumétrique et thermique.

L'allure de ces courbes diffère d'un paramètre à un autre, mais on peut trouver :

- des courbes croissantes
- des courbes décroissantes
- des courbes présentant un maximum ou un minimum

Pour un bon lissage de ces courbes, on a partagé l'intervalle de ces dernières en deux parties ou chaque partie a un signe différent.

Cela nous a permis de garder les mêmes variations dans notre modèle que celle des courbes expérimentales.

Le modèle utilisé est de type polynôme simple (3.2)

Ce qui suit est le détail de la méthode utilisée.

III 5. Methode des moindres carres pour un modèle linéaire:

III 5.1 Formation du système  $AC=b$

On propose le modèle linéaire (en termes des coefficients inconnus  $c_j, j=1, m$ )

$$y_i^* = c_1 \cdot f_1(x_i) + c_2 \cdot f_2(x_i) + \dots + c_m f_m(x_i) \quad i=1, n \quad (3.13)$$

L'erreur commise au point  $i$  en approximant la valeur mesurée  $y_i$  par  $y_i^*$  s'écrit :

$$e_i = y_i - y_i^* \quad (3.14)$$

Combinant les relations (3.13) et (3.14) on a :

$$y_i - \sum_{j=1}^m c_j f_j(x_i) = e_i \quad i=1, n \quad (3.15)$$

Ce système de  $n$  équations à  $(n+m)$  inconnues ( $c_j, j=1, m, e_i, i=1, n$ ) admet une infinité de solutions.

Parmi toutes ces solutions, nous définissons la meilleure, comme celle qui rend minimale la quantité scalaire.

$$Z = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (3.16)$$

On cherche à minimiser  $Z$  en réglant la valeur des paramètres  $[c_1, c_2, \dots, c_m]$ . Autrement dit, on cherche à définir le minimum de la fonction  $Z$  dans l'espace  $[c_1, c_2, \dots, c_m]$  des paramètres.

Une condition nécessaire pour que  $Z$  soit minimale dans

L'espace  $\{c_1, c_2, \dots, c_m\}$  est que :

$$\frac{\partial Z}{\partial c_k} = 0 \quad k = 1, m \quad (3.17)$$

Ce qui peut s'écrire, d'après la relation (3.16)

$$\frac{\partial}{\partial c_k} \sum_{i=1}^n (c_i^2) = 0 \quad k = 1, m \quad (3.18)$$

En permutant les opérations de sommation et de dérivation partielle puis en dérivant, on a :

$$2 \sum_{i=1}^n c_i \frac{\partial c_i}{\partial c_k} = 0 \quad k = 1, m \quad (3.19)$$

En dérivant la relation (3.15), on obtient

$$\frac{\partial c_i}{\partial c_k} = f_k(x_i) \quad (3.20)$$

Remplaçons dans la relation (3.19) ;  $c_i$  par son expression dans la relation (3.14) et  $\partial c_i / \partial c_k$  par son expression dans la relation (3.20)

On obtient :

$$\sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{j=1}^m c_j f_j(x_i)] f_k(x_i) = 0 \quad \begin{matrix} k=1, m \\ i=1, n \end{matrix} \quad (3.21)$$

soit :

$$\sum_{j=1}^m c_j \sum_{i=1}^n f_j(x_i) f_k(x_i) = \sum_{i=1}^n y_i f_k(x_i) \quad k=1, m \quad (3.22)$$

Definissant :

$$b_k = \sum_{i=1}^n y_i f_k(x_i) \quad k=1, m \quad (3.23)$$

$$a_{kj} = \sum_{i=1}^n f_j(x_i) \cdot f_k(x_i) \quad \begin{matrix} k=1, m \\ j=1, m \end{matrix} \quad (3.24)$$

Le système (3.22) s'écrit :

$$\sum_{j=1}^m a_{kj} \cdot c_j = b_k \quad k=1, m \quad (3.25)$$

Sous notation matricielle :  $AC = B$

Ou sous forme développée :

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Les quantités  $a_{kj}$  et  $b_k$  des relations (3.23) et (3.24) sont entièrement déterminées car on connaît les couples  $\{x_i, y_i\}$  et le modèle que l'on propose, c'est-à-dire les fonctions  $f_j(x)$ .

Dans le système linéaire (3.26), il ne reste donc que  $m$  inconnues :  $[c_1, c_2, \dots, c_m]$

Ce système de  $m$  équations à  $m$  inconnues :  $[c_1, c_2, \dots, c_m]$ , est à matrice symétrique définie positive par construction, l'emploi de la méthode de CHOLEVSKI est tout à fait indiqué.

### III 5.2 Solution du système $AC = B$

#### 5.2.1 Théorème de Cholevski

Si  $A$  est une matrice symétrique définie positive, alors elle peut être décomposée en :

$$A = LL^t \quad (3.27)$$

Où  $L$  est une matrice réelle triangulaire inférieure.

### III 5.2.2 Méthode de décomposition de la matrice $A$

Développons l'équation (3.27)

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^n L_{ik} \cdot L_{jk} \quad (3.28)$$

$$L_{ik} = 0 \quad \text{si } k > i$$

$$L_{jk} = 0 \quad \text{si } k > j$$

On a donc :

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^{\min(i,j)} L_{ik} \cdot L_{jk} \quad \begin{matrix} i=1, n \\ j=1, n \end{matrix} \quad (3.29)$$

Pour la partie triangulaire supérieure de  $A$ , la rième ligne s'écrit :

$$a_{rj} = \sum_{k=1}^r L_{rk} \cdot L_{jk} \quad j=r, n \quad (3.30)$$

Soit :

$$a_{rj} = \sum_{k=1}^{r-1} L_{rk} \cdot L_{jk} + L_{rr} \cdot L_{jr} \quad j=r, n \quad (3.31)$$

Où encore :

$$\left. \begin{aligned} L_{rr} &= \left[ a_{rr} - \sum_{k=1}^{r-1} L_{rk}^2 \right]^{1/2} \\ L_{jr} &= \left[ a_{rj} - \sum_{k=1}^{r-1} L_{rk} \cdot L_{jk} \right] / L_{rr} \quad j=r+1, n \end{aligned} \right\} \quad r=1, n \quad (3.32)$$

Après calcul des éléments de la matrice  $L$  qui est une matrice triangulaire inférieure, on peut calculer sa



transposé  $L^t$

Après décomposition de la matrice  $A$  par la méthode de Cholevski le système  $AC = b$  devient :

$$LL^t.C = b$$

Du la matrice triangulaire inférieure  $L^t$  sa transposée c'est-à-dire une matrice triangulaire supérieure. Donc la solution du système précédent est la solution des deux systèmes suivant :

$$\begin{cases} LY = b \\ L^t C = y \end{cases} \quad (3.33)$$

Solution du système à matrice triangulaire inférieure est :

$$y_i = \frac{1}{L_{ii}} \left[ b_i - \sum_{j=1}^{i-1} L_{ij} y_j \right] \quad i=1, n \quad (3.34)$$

Solution du système à matrice triangulaire supérieure,

Après calcul des solution du système précédent est :

$$C_i = \frac{1}{L_{ii}^t} \left[ y_i - \sum L_{ij}^t C_j \right] \quad i = n, n-1, \dots, 1 \quad (3.35)$$

### III 6. Algorithme de calcul :

d'approximation, d'un ensemble de  $n$  valeurs numériques  $y_i$  par un modèle linéaire (3.13) se réduit à la résolution d'un système linéaire d'ordre  $n$ .

L'algorithme complet s'écrit :

des  $n$  ensembles  $(x_i, y_i)$  étant donnés

1. Proposer un modèle, c'est-à-dire définir les fonctions  $f_j(x)$

Composant le modèle :

$$y_i^* = \sum_{j=1}^m c_j f_j(x_i)$$

2. Calculer les termes :

$$a_{kj} = \sum_{i=1}^n f_j(x_i) f_k(x_i) \quad \begin{matrix} k=1, m \\ j=1, m \end{matrix}$$

$$b_k = \sum_{i=1}^n y_i f_k(x_i) \quad k=1, m$$

3. Résoudre le système linéaire à matrice symétrique :

$$\sum_{j=1}^m a_{kj} c_j = b_k \quad k=1, m$$

3.1 Décomposition de  $A$  en  $LL^t$

$$\left. \begin{aligned} L_{rr} &= \left[ a_{rr} - \sum_{k=1}^{r-1} L_{rk}^2 \right]^{1/2} \\ L_{jr} &= \left[ a_{rj} - \sum_{k=1}^{r-1} L_{rk} \cdot L_{jk} \right] / L_{rr} \quad j=r+1, n \end{aligned} \right\} r=1, n$$

3.2 Solution du système

$$LL^t c = b \Rightarrow \begin{cases} Ly = b \\ L^t c = y \end{cases}$$

$$y_i = \frac{1}{L_{ii}} \left[ b_i - \sum_{j=1}^{i-1} L_{ij} y_j \right] \quad i=1, n$$

$$c_i = \frac{1}{L_{ii}^t} \left[ y_i - \sum_{j=i+1}^n L_{ij}^t c_j \right] \quad i=n, n-1, \dots, 1$$

A la fin du calcul les termes  $c_j$  du modèle (3.2) choisie sont définies.

## CHAPITRE IV

### Programmation.

#### 1. Notations utilisées dans Le programme

PE, PD, PG : Puissance effective, dans les versions Essen, Diesel et gaz.

CE, CD, CG : Couple effective, dans les versions Essence, Diesel, gaz

CSE, CSD, CSG : Consommation spécifique dans les versions Essence Diesel et gaz.

RME, RMD, RMG: Rendement mecanique dans les trois versions

RVE, RVD, RVG: Rendement volumetrique dans les trois versions

RTE, RTD, RTG: Rendement thermique dans les trois versions

NE, ND, NG : Vitesse de rotation dans les trois versions

EP : Taux de compression

$N\phi$  : Vitesse de rotation du paramètre a calculer.

$X_i$  : Vitesse de rotation (pour la notation dans les equations

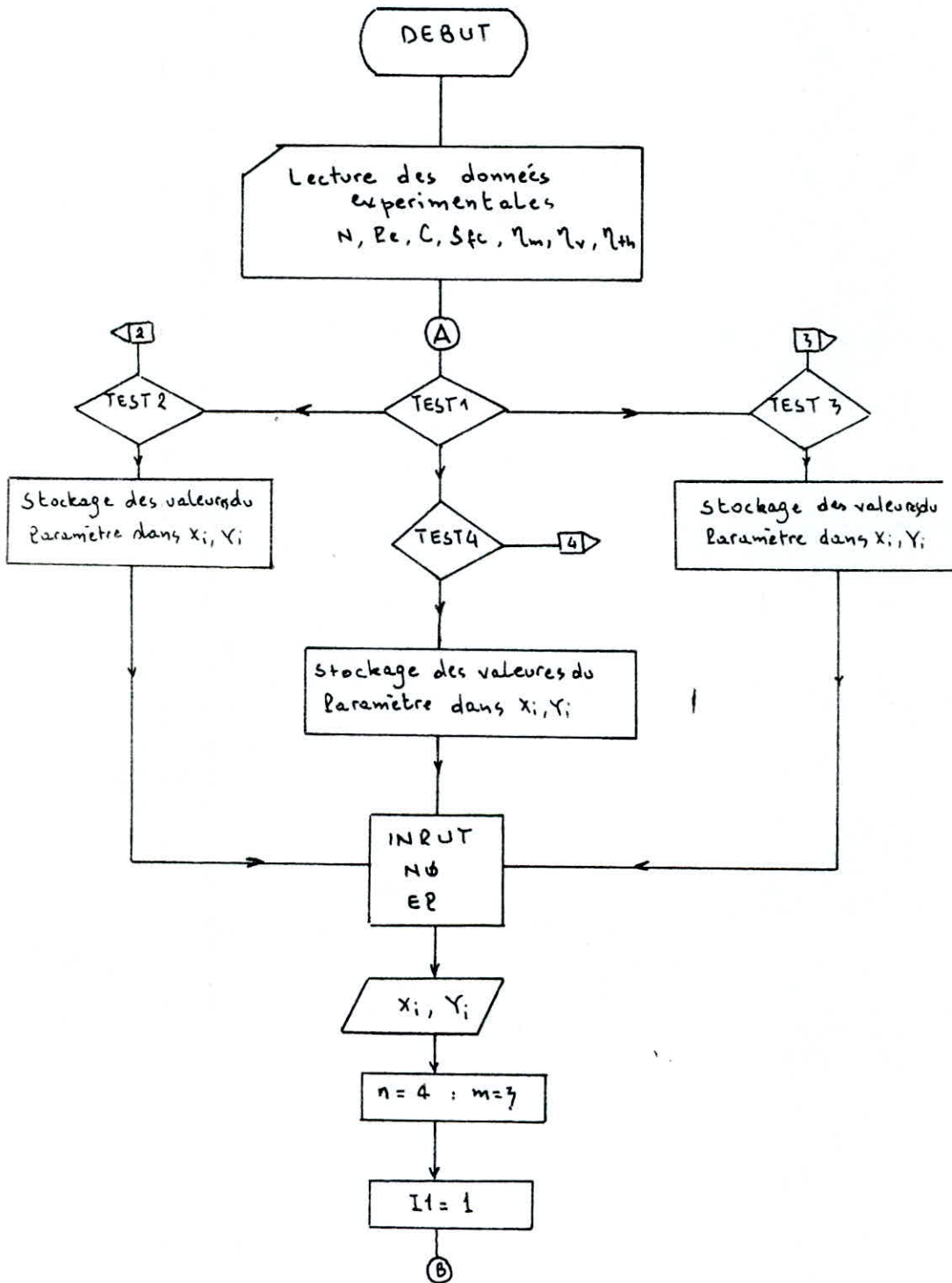
$Y_i$  : different paramètres experimentales selon le cas

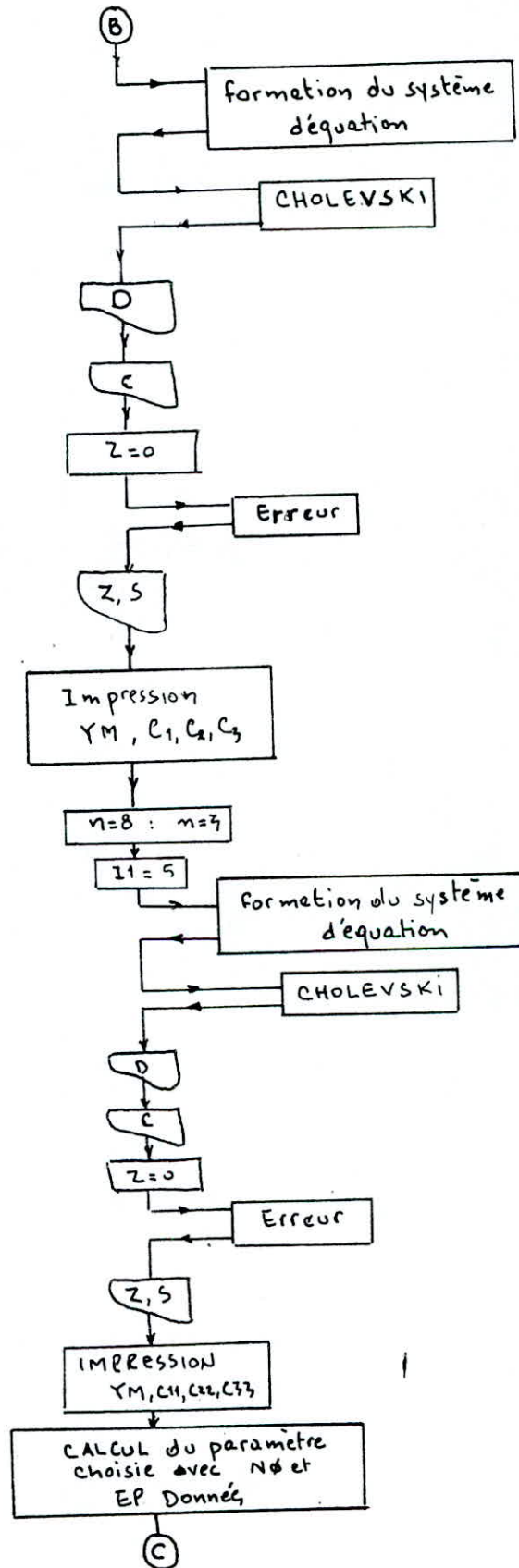
$Y_{mi}$ : Model établie pour le paramètre étudié.

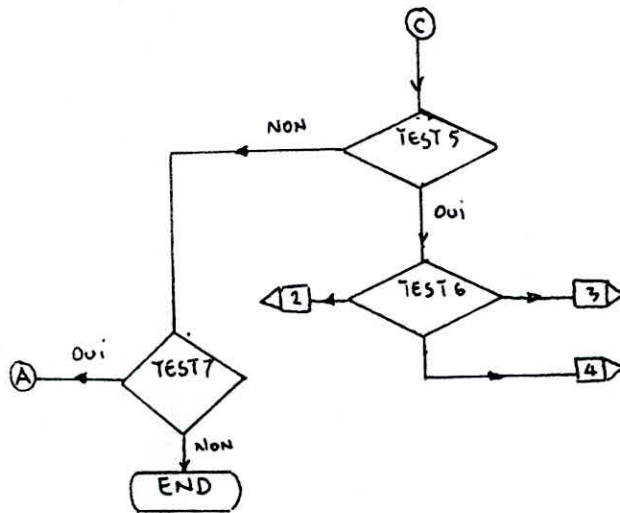
$n$  : Nombre de donnée dans un exemple.

$m$  : Rang de la matrice symetrique utilise pour le Calcul du model

## 2. Organigramme principale :







TEST 1 : Choix de la version à étudier essence, Diesel ou gaz.

TEST 2 : Choix du paramètre à étudier dans la version essence avec lecture des données correspondant.

TEST 3 : même test que 2 dans la version Diesel.

TEST 4 : même test que 2 dans la version Gaz.

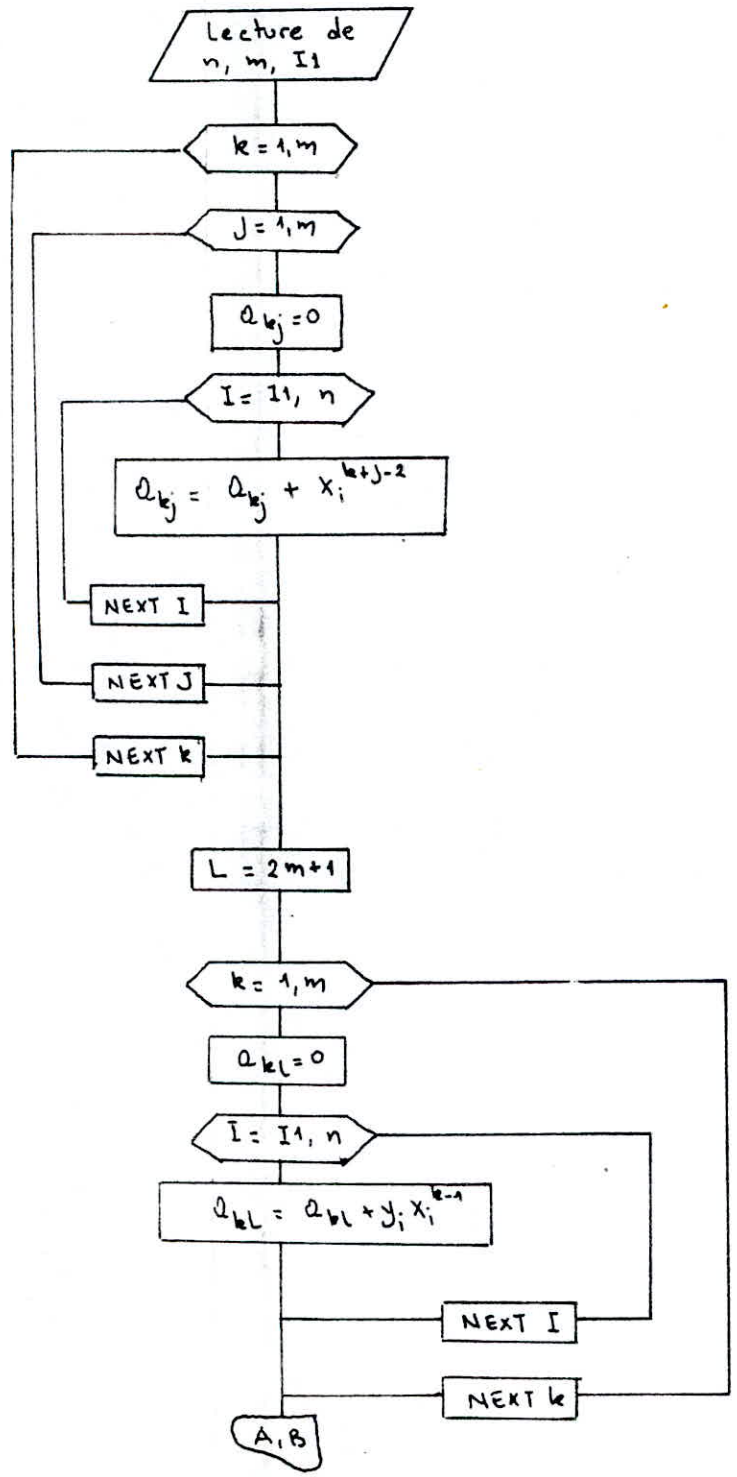
TEST 5 : Voulez vous calculer un autre paramètre dans la même version

TEST 6 : Localisation de la version d'étude et retour au même de la version

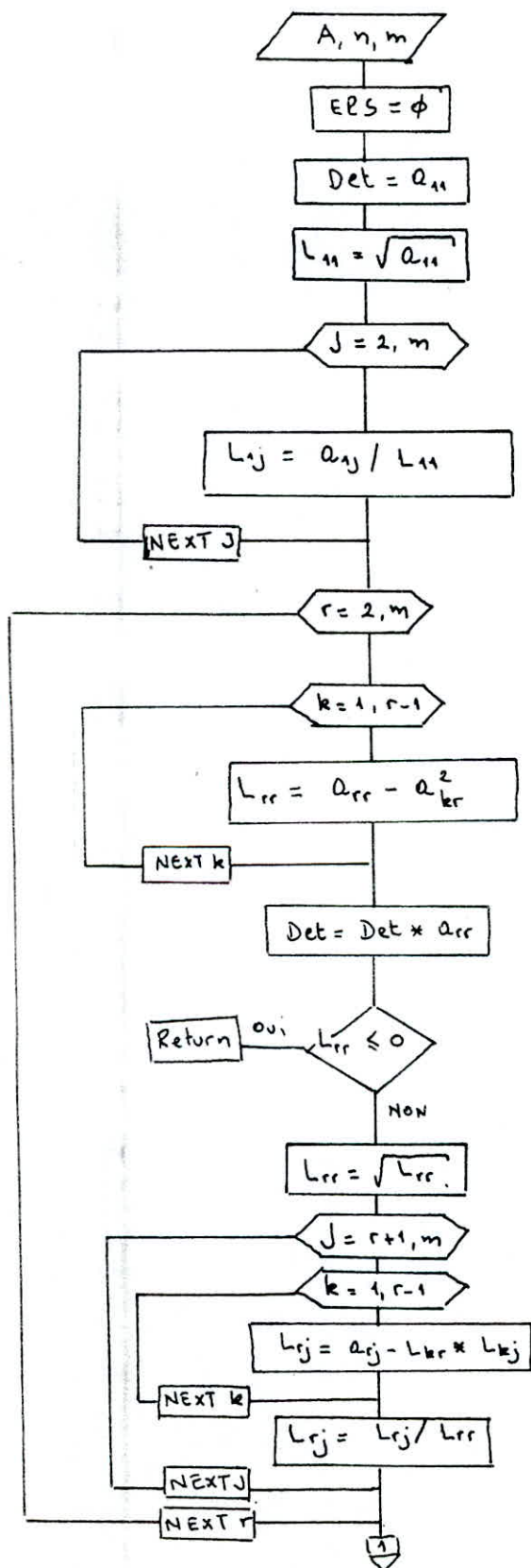
TEST 7 : Voulez vous une autre version.

### 3 Les sous programmes

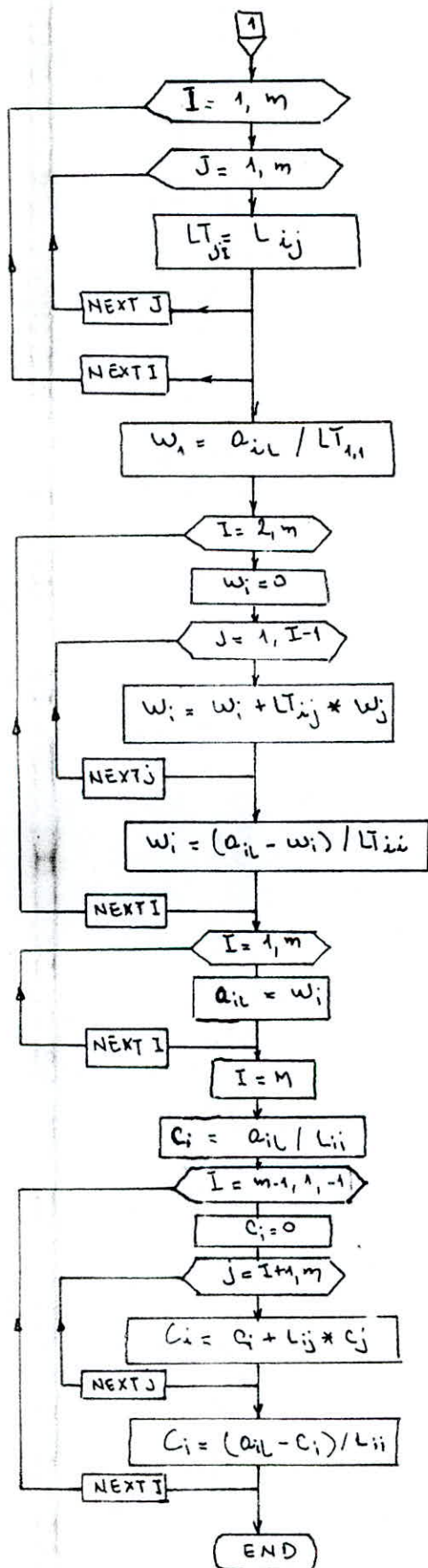
Formation des systèmes d'équations



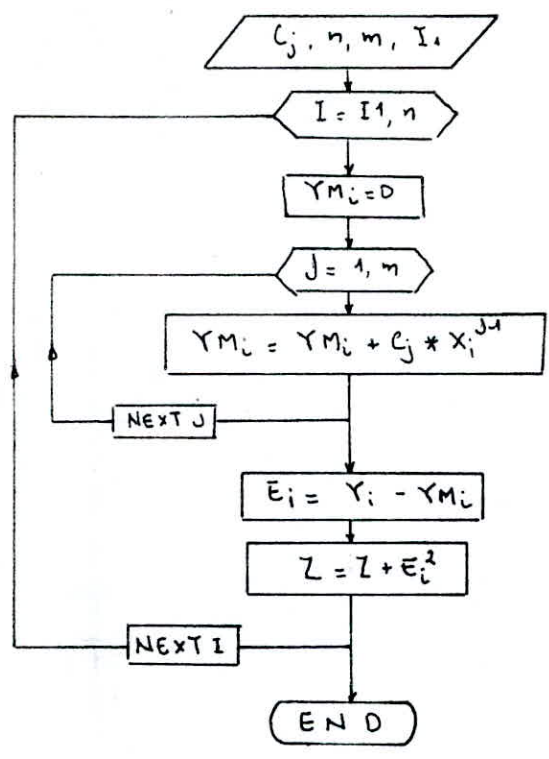
Decomposition de A en  $LL^t$  de CHOLEVSKI







### Erreur



Pour calculer les différents paramètres du banc d'essai du moteur monocylindre, on a réalisé un programme qui est centrée autour de l'algorithme cité à la fin du chapitre III.

Le nombre élevé d'informations et l'allure des différentes courbes nous ont contraint à partager le domaine d'étude des courbes expérimentales en deux parties distinctes, l'une croissante et l'autre décroissante.

## CHAPITRE V

### Presentation des resultats

#### V 1. Methode de calcul d'un model

Le grand nombre de resultat obtenue ne nous a pas permis de les presenter tous. On a preferé donner un exemple de calcul d'un model.

L'exemple choisie :

Version essence , pour le calcul de puissance avec un taux de compression  $\epsilon = 8$ .

Les resultats obtenues sont :

Le premier tableau sont les valeurs experimentales de la puissance pour differentes vitesse de rotation

Pour les quatre premieres valeurs et un rang de matrice  $m=4$  on construit la matrice symetrique A et le deuxieme terme B, du systeme  $AC = B$

On obtient aussi le determinant de la matrice A, ainsi que les solutions  $c_j$  du systeme  $AC = B$

Les valeurs qui suivent sont  $y_i$  et  $y_{m_i}$  avec leurs ecartes respectives.

Z La norme euclidienne.

$S^2$  l'estimateur.

On obtient les mêmes résultats pour les quatre autres points du premier tableau.

En récapitulatif, on obtient le modèle établie avec les différents  $G_j$  pour les deux intervalles, en fin on obtient le tableau de puissance calculé pour les différentes vitesses de rotation calculé à partir du modèle; ces valeurs sont très proches de celle de l'expérience.

les résultats sont les suivants:

Exemple: Version Essene

Calcul du modele de la puissance avec  $\epsilon = 8$

X(I)	1	1.25	1.375	1.5	1.75	2	2.25	2.5
Y(I)	3.4	4	4.5	4.9	5.6	5.6	5.7	5.2

M= 3

4.	5.	6.	16.80
5.	6.	8.	21.94
6.	8.	12.	29.18

} matric A et Colonne B

DET= 6.14471

C1= .3350592 C2= 3.015864 C3= 5.163879E-04

3.351439 3.4 4.856086E-02

4.105696 4 -.1056957

4.482848 4.5 1.715231E-02

4.860017 4.9 3.998327E-02

Z= 1.542261E-02

S= 1.542261E-02

}  $y_i, y_{Mi}$  ecarts entre eux.

4.	8.	18.	22.10
8.	18.	40.	46.83
18.	40.	90.	100.91

DET= 105.5322

C1= 6.458337 C2=-.4384171 C3=-3.701476E-04

5.689973 5.6 -8.997298E-02

5.580022 5.6 1.997852E-02

5.470024 5.7 .2299757

5.35998 5.2 -.1599803

Z= 8.697679E-02

S= 1.739536E-02

## CALCUL DE LA PUISSANCE

Pour un taux de compression EP= 8

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N) = C(1) + C(2) * N + C(3) * N^2$$

Entre 1000 et 1750 r/mn

$$C(1) = .3350592 \quad C(2) = 3.015864 \quad C(3) = 5.163879E-04$$

Entre 1750 et 2500 tr/mn

$$C11 = 6.458337 \quad C22 = -.4384171 \quad C33 = -3.701476E-04$$

## CALCUL DE LA PUISSANCE

N (tr/mn)	1000	1250	1375	1500	1750	2000	2250	2500
Pe (kw)	3.3514	4.1056	4.4828	4.8600	5.6899	5.5800	5.4700	5.35998

## ∇ 2. Exemple des modèles établis

Les résultats suivants sont un exemple sur les modèles établis, on présente les différentes fonctions de corrélation des paramètres du moteur monocylindre pour un taux de compression

les exemples sont

### 1. Version essence

Avec : taux de compression  $\epsilon = 6$

### 2. Version Diesel

Avec : taux de compression  $\epsilon = 12$

### 3. Version Gaz

Avec : taux de compression  $\epsilon = 9$

On a recueillie les modèles suivants :

## 2.1. Version essence

## CALCUL DE LA PUISSANCE

Pour un taux de compression  $EP = 6$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N) = C(1) + C(2) * N + C(3) * N^2$$

Entre 1000 et 1750 tr/mn

$$C(1) = -.6907068 \quad C(2) = 3.153099 \quad C(3) = 4.770052E-04$$

Entre 1750 et 2500 tr/mn

$$C(1) = 4.518697 \quad C(2) = -.0787463 \quad C(3) = -2.961361E-04$$

## CALCUL DU COUPLE

Pour un taux de compression  $EP = 6$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N) = C(1) + C(2) * N + C(3) * N^2$$

Entre 1000 et 1750 tr/mn

$$C(1) = 19.37769 \quad C(2) = 4.931627 \quad C(3) = 2.186416E-03$$

Entre 1750 et 2500 tr/mn

$$C(1) = 45.71831 \quad C(2) = -12.27841 \quad C(3) = -3.705091E-04$$



## CALCUL DE LA CONSOMMATION SPECIFIQUE

Pour un taux de compression  $EP = 6$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N) = C(1) + C(2) * N + C(3) * N^2$$

Entre 1000 et 1875 tr/mn

$$C(1) = .880455 \quad C(2) = -.2418396 \quad C(3) = -1.331074E-04$$

Entre 1875 et 2500 tr/mn

$$C(1) = .2713289 \quad C(2) = .1810769 \quad C(3) = 2.887259E-05$$

## CALCUL DU RENDEMENT MECANIQUE

Pour un taux de compression  $EP = 6$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N) = C(1) + C(2) * N + C(3) * N^2$$

Entre 1000 et 1750 tr/mn

$$C(1) = .7061448 \quad C(2) = -9.803131E-03 \quad C(3) = 1.51008E-05$$

Entre 1750 et 2500 tr/mn

$$C(1) = .9284965 \quad C(2) = -.1439961 \quad C(3) = -1.071614E-06$$

### CALCUL DU RENDEMENT VOLUMETRIQUE

Pour un taux de compression  $EP= 6$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1)= .8876252 \quad C(2)=-3.514227E-02 \quad C(3)= 3.278355E-04$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1)= 1.636739 \quad C(2)=-.4026044 \quad C(3)= 5.239233E-06$$

### CALCUL DU RENDEMENT THERMIQUE

Pour un taux de compression  $EP= 6$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1)= .1209651 \quad C(2)= 2.015591E-02 \quad C(3)=-1.29283E-04$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1)= .2238416 \quad C(2)=-4.057914E-02 \quad C(3)=-8.675578E-06$$

## 2.2 Version Diesel

## CALCUL DE LA PUISSANCE

Pour un taux de compression  $EP= 12$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1)=-3.999281E-02 \quad C(2)= 2.319995 \quad C(3)= 1.228999E-07$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1)= 1.319801 \quad C(2)= 1.760161 \quad C(3)=-3.190179E-05$$

## CALCUL DU COUPLE

Pour un taux de compression  $EP= 12$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 2250 tr/mn.

$$C(1)= 21.98168 \quad C(2)= 3.077582 \quad C(3)= 8.078268E-04$$

Entre 2250 et 2500 tr/mn

$$C(1)= 40.51962 \quad C(2)=-5.759711 \quad C(3)=-5.402851E-05$$

## CALCUL DE LA CONSOMMATION SPECIFIQUE

Pour un taux de compression  $EP= 12$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1)= .2429689 \quad C(2)= .0753445 \quad C(3)= 9.265115E-05$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1)= .1319052 \quad C(2)= .1362809 \quad C(3)=-2.291887E-06$$

## CALCUL DU RENDEMENT MECANIQUE

Pour un taux de compression  $EP= 12$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 1875 tr/mn

$$C(1)= .7855378 \quad C(2)=-5.405628E-02 \quad C(3)= 2.015558E-05$$

Entre 1875 et 2500 tr/mn

$$C(1)= .7911271 \quad C(2)=-5.964495E-02 \quad C(3)=-3.744492E-06$$

## CALCUL DU RENDEMENT VOLUMETRIQUE

Pour un taux de compression  $EP = 12$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N) = C(1) + C(2) * N + C(3) * N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1) = .7113894 \quad C(2) = .118167 \quad C(3) = -6.043602E-05$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1) = .9845809 \quad C(2) = -2.718569E-02 \quad C(3) = -2.561458E-06$$

## CALCUL DU RENDEMENT THERMIQUE

Pour un taux de compression  $EP = 12$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N) = C(1) + C(2) * N + C(3) * N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1) = .3452111 \quad C(2) = -5.426612E-02 \quad C(3) = -4.836111E-05$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1) = .4054315 \quad C(2) = -8.612427E-02 \quad C(3) = 5.089496E-06$$

## 2.3 Version Gaz

## CALCUL DE LA PUISSANCE

Pour un taux de compression  $EP= 9$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1)= .3920775 \quad C(2)= 3.444433 \quad C(3)=-1.610972E-03$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1)= 23.54517 \quad C(2)=-8.306788 \quad C(3)=-3.995874E-04$$

## CALCUL DU COUPLE

Pour un taux de compression  $EP= 9$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 1875 tr/mn

$$C(1)= 37.57445 \quad C(2)=-1.761238 \quad C(3)=-1.409514E-02$$

Entre 1875 et 2500 tr/mn

$$C(1)= 113.0791 \quad C(2)=-41.88528 \quad C(3)=-2.975967E-03$$

## CALCUL DE LA CONSOMMATION SPECIFIQUE

Pour un taux de compression  $EP = 9$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N) = C(1) + C(2) * N + C(3) * N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1) = .4916522 \quad C(2) = -6.228628E-02 \quad C(3) = 2.496558E-04$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1) = -1.503922 \quad C(2) = .8852626 \quad C(3) = 9.997447E-05$$

## CALCUL DU RENDEMENT MECANIQUE

Pour un taux de compression  $EP = 9$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N) = C(1) + C(2) * N + C(3) * N^2$$

Entre 1000 et 1500 tr/mn

$$C(1) = .8795361 \quad C(2) = -9.806383E-02 \quad C(3) = 2.769935E-05$$

Entre 1500 et 2500 tr/mn

$$C(1) = .8145915 \quad C(2) = -3.286806E-02 \quad C(3) = -1.409305E-05$$

|

### CALCUL DU RENDEMENT VOLUMETRIQUE

Pour un taux de compression  $EP= 9$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1)=-1191.765 \quad C(2)= 1018.041 \quad C(3)= 3.44793$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1)= 1.140753 \quad C(2)=-.1873342 \quad C(3)=-2.125816E-05$$

### CALCUL DU RENDEMENT THERMIQUE

Pour un taux de compression  $EP= 9$

Le modele etablie avec la methode de CHOLEVSKI est de la forme :

$$Y(N)=C(1)+C(2)*N+C(3)*N^2$$

Entre 1000 et 2000 tr/mn

$$C(1)= .1568952 \quad C(2)= 2.751045E-02 \quad C(3)=-1.12776E-04$$

Entre 2000 et 2500 tr/mn

$$C(1)= .661422 \quad C(2)=-.2092636 \quad C(3)=-2.388753E-05$$



V 3. Resultat obtenue :

A partir des fonctions de correlation etablie on obtient les resultat suivant :

On peut les comparer avec ceux du premier chapitre c'est-à-dire les valeur experimentales on trouve que les valeurs des model approche très sensiblement les valeur des experience.

3.1 Essence :  $\epsilon=6$ 

## CALCUL DE LA PUISSANCE

N	1000	1250	1375	1500	1750	2000	2250	2500
Pe	2.4628	3.2514	3.6457	4.0400	4.3799	4.3600	4.3400	4.31998

## CALCUL DU COUPLE

N	1000	1250	1375	1500	1750	2000	2250	2500
C	24.311	25.545	26.162	26.780	24.229	21.160	18.090	15.01998

## CALCUL DE LA CONSOMMATION SPECIFIQUE

N	1000	1250	1375	1500	1750	2000	2250	2500
Sfc	.63848	.57794	.54767	.51739	.58830	.63359	.67889	.7242017

## CALCUL DU RENDEMENT MECANIQUE

N	1000	1250	1500	1625	1750	1875	2000	2125
Rm	.69635	.69391	.69147	.69025	.6765	.6585	.6405	.6225

## CALCUL DU RENDEMENT VOLUMETRIQUE

N	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2375	2500
Rv	.85281	.84420	.83564	.82713	.83155	.73090	.68058	.6302605

## CALCUL DU RENDEMENT THERMIQUE

N	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2375	2500
Rth	.14099	.14595	.15090	.15584	.14264	.13249	.12741	.1223395

3.2 Diesel:  $\epsilon=12$ 

## CALCUL DE LA PUISSANCE

N	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
Pe	2.2800	2.8600	3.4399	4.0199	4.8399	5.0599	5.2800	5.720004

## CALCUL DU COUPLE

N	1000	1250	1750	2000	2125	2250	2375	2500
C	25.060	25.829	27.369	28.140	28.279	27.56	26.840	26.12001

## CALCUL DE LA CONSOMMATION SPECIFIQUE

N	1000	1250	1500	1750	1875	2000	2250	2500
Sfc	.31840	.33729	.35619	.37510	.38742	.40445	.43852	.472593

## CALCUL DU RENDEMENT MECANIQUE

N	1000	1250	1500	1750	1875	2000	2250	2500
Rm	.73150	.71799	.70449	.69100	.67927	.67182	.65690	.6419913

## CALCUL DU RENDEMENT VOLUMETRIQUE

N	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
Rv	.82949	.85900	.88850	.91799	.93019	.92679	.92340	.9166006

## CALCUL DU RENDEMENT THERMIQUE

N	1000	1250	1500	1750	1875	2000	2250	2500
Rth	.29089	.27730	.26370	.25009	.24396	.23320	.21167	.1901527

3.3 Gaz :  $\epsilon = 8$

CALCUL DE LA PUISSANCE

N	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
Pe	3.8498	4.7001	5.5501	6.3998	6.7400	6.7457	6.7514	6.762854

CALCUL DU COUPLE

N	1000	1250	1500	1750	1875	2000	2250	2500
C	36.999	36.500	36.000	35.499	34.474	32.652	29.008	25.36438

CALCUL DE LA CONSOMMATION SPECIFIQUE

N	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
Sfc	.47551	.45748	.43948	.42151	.39480	.39677	.39874	.4026858

CALCUL DU RENDEMENT MECANIQUE

N	1000	1125	1250	1375	1500	1750	1875	2000
Rm	.8082	.80465	.80110	.79755	.78957	.78528	.78314	.7810006

CALCUL DU RENDEMENT VOLUMETRIQUE

N	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
Rv	.84269	.84390	.84510	.84629	.79260	.76125	.72991	.6672272

CALCUL DU RENDEMENT THERMIQUE

N	1000	1250	1500	1750	2000	2125	2250	2500
Rth	.16649	.17300	.17950	.18599	.19099	.19085	.19071	.1904287

#### V 4. Confrontation des resultat :

Pour connaitre la validité des resultats obtenue par les differents modeles on calcule dans la version essence avec un taux de Compression  $\epsilon = 8$  , on a obtenue le resultat suivant .

Vitesse tr/mn	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
$P_e$ (Kw)	3.35	3.95	4.55	5.16	5.66	5.58	5.49
$C$ (N.m)	27.28	28.38	29.47	30.56	28.92	25.71	22.49
$S_{fc}$ kg/Kw.h	0.4404	0.4358	0.4311	0.4264	0.4218	0.4759	0.5188

On a réalise une experience avec l'essence pour un taux de compression  $\epsilon = 8$  ; les resultats obtenue sont:

Vitesse tr/mn	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
$P_e$ (Kw)	3.2	3.9	4.6	5.1	5.4	5.7	5.6
$C$ (N.m)	27.2	28.8	28.8	28.4	28	25.6	22.6
$S_{fc}$ kg/Kw.h	0.451	0.422	0.430	0.435	0.450	0.475	0.505

Les valeur trouvé lors de la réalisation de l'experience sont tres proche de celle etablie par le modèle .

On remarque aussi que les valeurs des différents paramètres calculé à partir des modèles sont très proche ou même exacte avec les valeurs expérimentales dans le cas de lissage de courbe ayant une allure parabolique modère ou une droite .

## CHAPITRE VI

### CONCLUSION

Cette étude nous a permis de concevoir un logiciel de simulation du moteur monocylindre du banc d'essais TD 43 à partir des courbes expérimentales obtenues lors des différents projets de fin d'étude pour trois versions de combustible.

Donc on peut calculer les différents paramètres du banc (Puissance, Couple, Consommation spécifique, rendement mécanique, volumétrique et thermique) pour un nombre de tours donné et un taux de compression donné.

Le programme établi à l'issue de cette étude peut augmenter la durée de vie du banc, puisqu'il nous permet de connaître la valeur des différents paramètres du banc de moteur monocylindre pour une vitesse de rotation et un taux de compression et cela sans passer par le banc.

Pour conclure, je souhaite que cette étude sera d'un apport appréciable aux étudiants qui travailleront sur ce banc.

## BIBLIOGRAPHIE

1. M. Boumahrat, A. Gourdin  
Methode numerique appliquees
2. J.P. Pelletier  
Technique numerique appliqué au calcul scientifique
3. J.P. Lamoitier  
Le Language basique et La nouvelle norme
4. Alain Reverchon  
Mathematique sur micro-ordinateur
5. Projets de fin d'etudes
  - A. Baghdadi  
Etude d'un banc d'essai pour moteur a taux de  
Compression variable (Version essence) juin 87
  - Baleh Rachid  
Banc d'essai d'un moteur C.F.R à Taux de  
Compression variable (Version Diesel) juin 87
  - Amar Khodjo  
Banc d'essai d'un moteur a taux de compression  
variable (Version Gaz) janvier 88





