

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

PROJET *Gm. 0675*
DE
FIN D'ÉTUDES

Titre Conception d'une charge artificielle pour
l'étude des éoliennes à axe vertical

Auteur Alexis Diong CORREA

Génie Mécanique

Date JUIN 1984

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

PROJET
DE
FIN D'ETUDES

Titre : Conception d'une charge artificielle
pour l'étude des éoliennes à axe vertical.

Auteur : Alexis Diong CORREA

Directeur du projet : Roger MARTIN

Co-directeur du projet : Dinh VO NGOC

Mai 1984

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma reconnaissance :

A mon Directeur de projet, M^r MARTIN, Professeur à l'École Polytechnique de Thiès, pour des efforts remarquables qu'il a déployés pour la réussite de cette étude.

A mon Co-Directeur de projet, M^r DINH, Professeur à l'École Polytechnique de Thiès, pour son soutien.

A M^{rs} BOULET, SIMON, VIGNEAULT, Techniciens à l'École Polytechnique de Thiès, pour des sacrifices qu'ils ont consentis lors de la réalisation du prototype.

Sommaire

Le but de ce travail est de concevoir un système qui permet d'étudier des éoliennes à axe vertical. La particularité de ce système est que non seulement il doit être adapté à l'éolienne Filippini installée à l'École Polytechnique de Thiès, mais il doit aussi pouvoir simuler l'action d'une pompe à piston à simple effet. Il s'agit ensuite de réaliser le système.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	i
Sommaire	ii
Introduction	1
<u>Partie A</u> . Etablissement du cahier des charges	
1. Caractéristiques de l'éolienne FILIPPINI	3
2. Caractéristiques d'une pompe à piston	6
3. Cahier des charges	12
<u>Partie B</u> . Systèmes étudiés	13
1. Frein électrique (électrodynamomètre)	13
1.1 Principe de fonctionnement d'un frein	13
1.2 Fonctionnement du système proposé	13
2. Dynamo-frein	14
2.1 Principe de fonctionnement	14
2.2 Fonctionnement du système proposé	14
3. Frein à bande	17
3.1 Principe de fonctionnement	17
3.2 Etude des éléments du système	20
3.2.1 La roue (disque)	20
3.2.2 Le support	22
3.2.3 Le ressort	22
3.2.4 La bande	22

3.2.5	Le solénoïde	26
3.2.6	Les jauges de contrainte	26
3.2.7	Le système de commande	29
PARTIE C		
	Réalisation et essais	32
	Conclusion-recommandations	35
PARTIE D		
	Annexe I	
	Caractéristiques de l'électrodynamomètre	37
	Annexe II	
	Caractéristiques de la génératrice	40
	Bibliographie	51

INTRODUCTION

La conquête de l'énergie éolienne date de l'Antiquité avec l'existence des moulins à vent. Ces moulins à vent ont fourni à l'homme l'énergie mécanique qui manquait à l'époque. Mais avec l'invention de la machine à vapeur, du moteur à explosion, du moteur diesel, l'exploitation du vent est de plus en plus négligée.

Mais depuis une certaine époque, nous assistons à la diminution du stock mondial d'hydrocarbures, à la demande sans cesse croissante de l'énergie. Pour ces différentes raisons, l'énergie éolienne revient au premier plan de l'actualité. Son exploitation s'avère rentable dans les régions ventées. Aujourd'hui l'une des plus grandes applications de cette énergie réside dans le pompage de l'eau des puits en milieu rural. C'est ainsi que l'on rencontre un peu partout dans les campagnes des éoliennes installées au niveau de puits. Nous noterons que les profondeurs des puits diffèrent suivant les régions. La puissance développée par une éolienne varie donc selon que l'on se trouve dans une région ou une autre. Ainsi il devient intéressant de connaître la capacité d'une éolienne avant de l'installer pour un puits de profondeur donnée. On est donc amené à penser à un système qui simule le fonctionnement d'une pompe à piston (la plus utilisée dans ce domaine).

L'objet de l'étude qui sera faite dans ce présent rapport est la mise au point d'un tel système. Tout le long de notre étude, nous avons eu, comme souci constant la réalisation d'un système

compact, fiable, robuste, simple à mettre en œuvre. Notre système aura pour principal objectif de tester des éoliennes à axe vertical en général, et plus particulièrement l'éolienne du type FILIPPINI installée à l'École Polytechnique de Thiès.

PARTIE A

ETABLISSEMENT DU CAHIER DES CHARGES

1. Caractéristiques de l'éolienne FILIPPINI

Inventée il y a quelques années en Ethiopie, l'éolienne qui porte le nom de son inventeur Armando FILIPPINI, est une machine à axe vertical. En 1979 des études ont été faites dans les laboratoires de l'Ecole Polytechnique de Thiès sur un modèle d'éolienne FILIPPINI. Les résultats expérimentaux ont été assez satisfaisants, et à partir de ceux-ci un prototype a été réalisé.

Le rotor réalisé est constitué de six (6) demi-fûts découpés dans des fûts de commerce de 230 litres.

les dimensions des fûts sont : diamètre $d = 0.58 \text{ m}$

hauteur $h = 0.90 \text{ m}$

Les demi-fûts sont superposés en deux étages; l'étage supérieur étant décalé de 60° par rapport à l'étage inférieur, ceci pour avoir un couple de démarrage le plus régulier possible.

La puissance maximale susceptible d'être développée par l'éolienne est obtenue à partir de la formule :

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \rho C_p S V^3 \quad [4]$$

La vitesse de rotation de l'éolienne est donnée par la relation :

$$N = 60 \frac{\lambda V}{\pi D}$$

Les meilleurs résultats expérimentaux sont obtenus pour des éoliennes construites avec un paramètre de $\frac{d}{D} = \frac{1}{3}$

Le coefficient de puissance maximum est $C_{p_{max}} = 0.325$ pour un rapport de vitesse $\lambda \approx 0.7$.

Pour notre étude

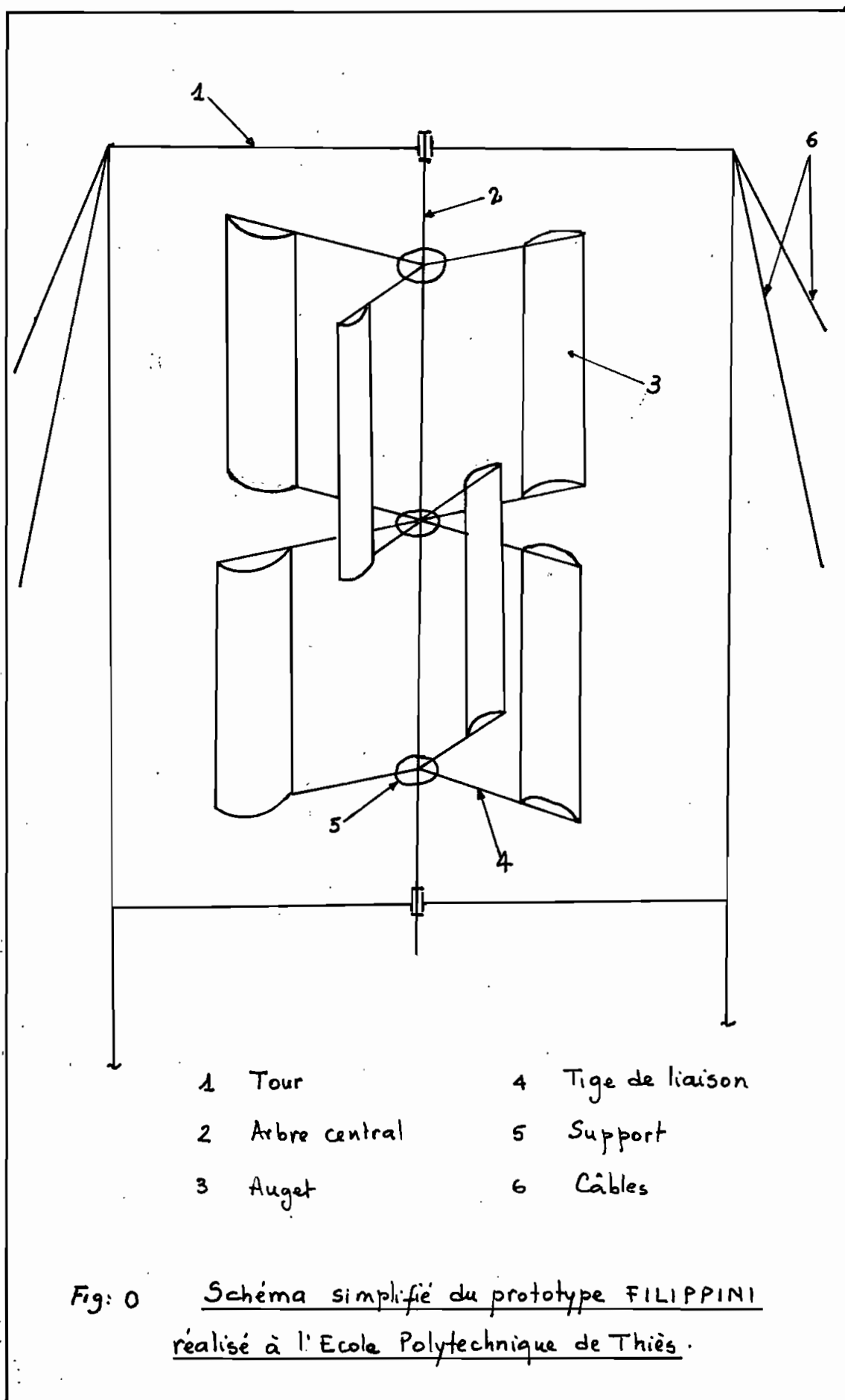
$$S = 6hd = 6 \times 0,90 \times 0,58 = 3.132 \text{ m}^2$$

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{3} \Rightarrow D = 3d = 3 \times 0.58 = 1.74 \text{ m}$$

Pour un vent de vitesse: $V = 6 \text{ m/s}$

$$P_{max} = \frac{1}{2} \times 1.25 \times 0.325 \times 3.132 \times 6^3 \approx 140 \text{ Watts}$$

$$N = 60 \cdot \frac{0.7 \times 6}{\pi \times 1.74} = 46 \text{ rpm.}$$



2. Caractéristiques d'une pompe à piston

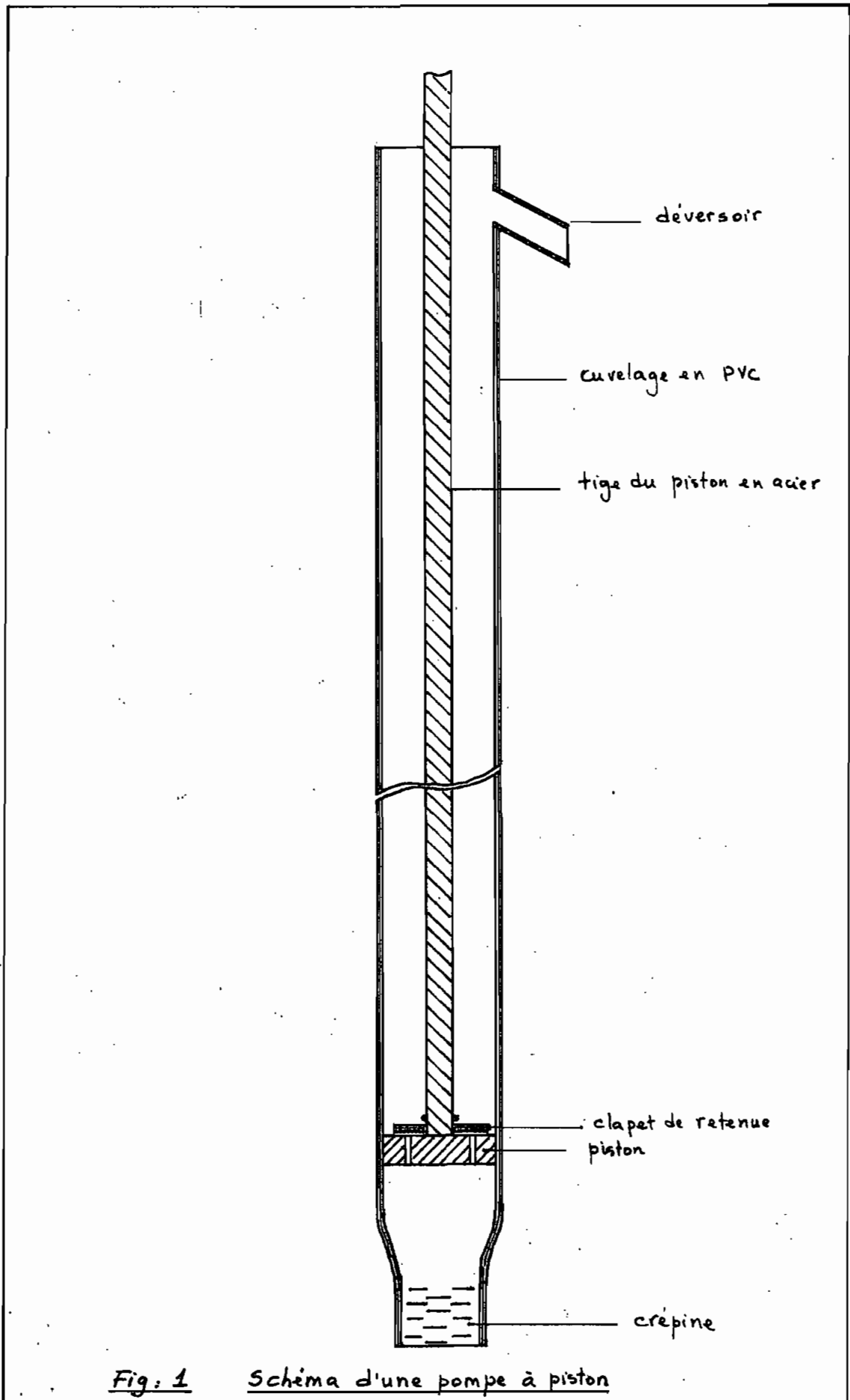
La pompe à piston est une pompe volumétrique, qui elle, est caractérisée par le fait que l'écoulement du liquide est réalisé grâce à la variation du volume d'une ou plusieurs capacités qui, alternativement aspirent et refoulent le liquide. Le mouvement alternatif effectué par le piston caractérise la pompe à piston.

La figure 1 représente le dessin schématique d'une pompe à piston à simple effet c'est-à-dire la pompe dont le piston n'a qu'une seule face active, qui, dans le cas de notre figure est la face supérieure.

Le piston décrit un mouvement alternatif rectiligne dans le cylindre. Il est relié par la tige à un mécanisme de commande qui transforme le mouvement de rotation de l'éolienne en un mouvement alternatif rectiligne.

Le couple de pompage développé est fonction du déplacement du piston. Lorsque le piston est relié à une éolienne, ce déplacement varie en fonction de l'angle de rotation de l'éolienne. On peut donc déterminer la relation entre le couple de pompage et l'angle de rotation de l'éolienne. Pour cela nous considérons :

- un puits de profondeur h
- un diamètre du piston D
- un diamètre de la tige du piston d'
- une longueur de manivelle r
- une longueur de bielle a



Calcul du couple de pompage C en fonction de l'angle de rotation θ de l'éolienne.

Poids de la colonne d'eau

$$P_1 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times H \times \rho_{\text{eau}} \times g$$

Poids de la tige

$$P_2 = \frac{\pi}{4} d^2 \times a \times \rho_{\text{acier}} \times g$$

Poids de l'eau pompée

$$P_3 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times C_1 \times \rho_{\text{eau}} \times g$$

$$C_1 = r - y_1 = r(1 - \cos \theta)$$

La force verticale à vaincre est donc :

$$F = P_1 + P_2 - P_3$$

(le poids du piston est négligé.)

Calculons maintenant le bras de levier qui lui, est fonction de l'angle θ .

le triangle BCD donne

$$x = r \sin \theta$$

$$y_1 = r \cos \theta$$

Du triangle ABD on obtient :

$$\sin \alpha = \frac{x}{a} = \frac{r \sin \theta}{a}$$

$$\text{soit } \alpha = \sin^{-1} \left(\frac{r \sin \theta}{a} \right)$$

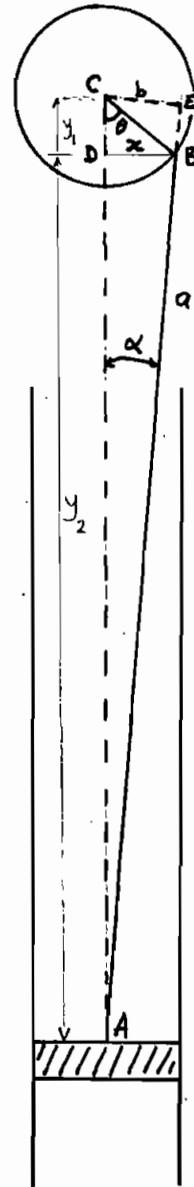


Fig: 2

θ (rad)	0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	π
$P_1 + P_2$ (N)	752	752	752	752	752
P_3 (N)	0	0.41	1.39	2.37	2.77
F (N)	752	751.6	750.6	749.6	749.2
b (m)	0	0.02	0.03	0.02	0
C (Nm)	0	15.0	22.8	15.9	0

Tableau 1.

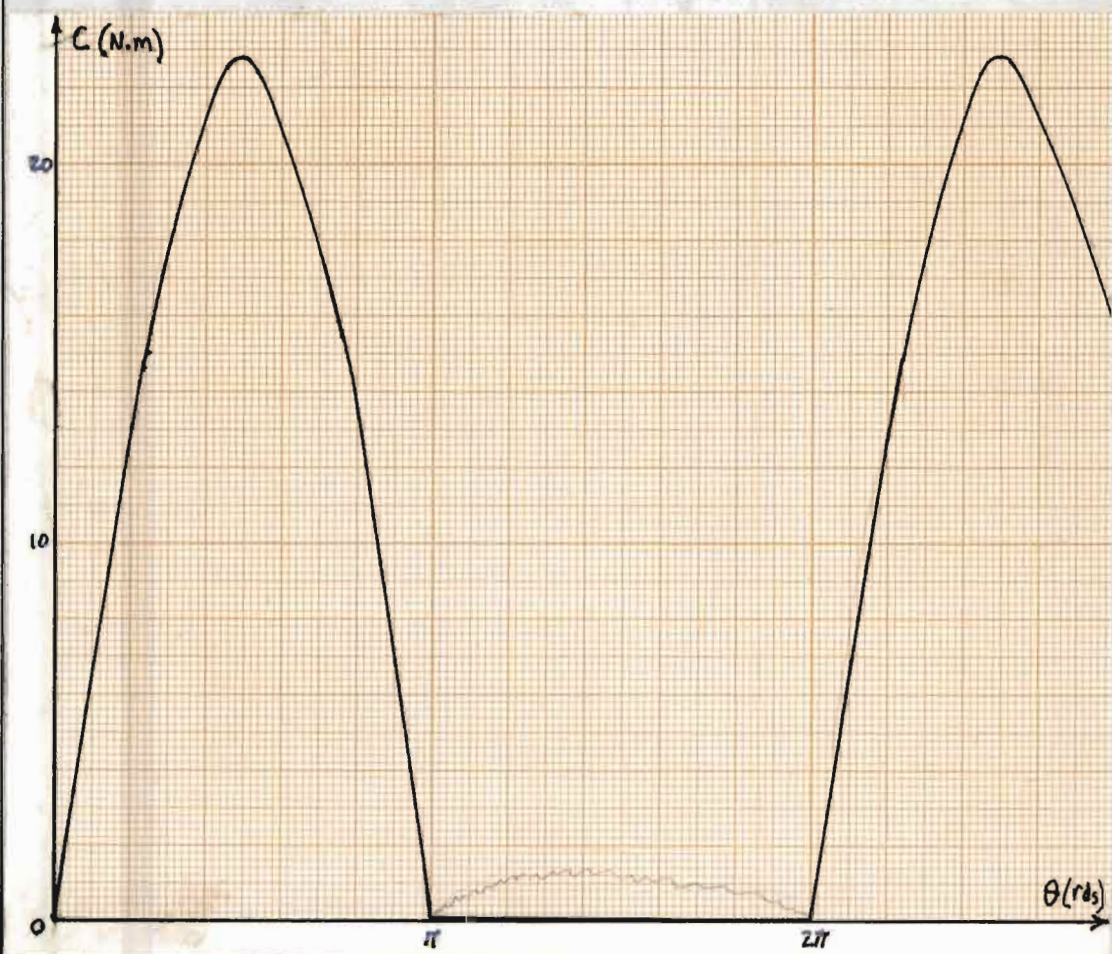


Fig. 3 Couple en fonction de l'angle de rotation
(Pour une pompe à piston)

$$y_2 = a \cos \alpha = a \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{r \sin \theta}{a} \right) \right]$$

$$Y = y_1 + y_2 = r \cos \theta + a \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{r \sin \theta}{a} \right) \right]$$

Enfin le triangle AEC nous donne le bras de levier b

$$b = Y \sin \alpha$$

$$b = \left[r \cos \theta + a \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{r \sin \theta}{a} \right) \right] \right] \frac{r \sin \theta}{a}$$

Le couple de pompage est donc :

$$C = (P_1 + P_2 - P_3) \times b$$

Application numérique :

$$H = 10 \text{ m}$$

$$D = 80 \text{ mm} = 0.080 \text{ m}$$

$$d' = 20 \text{ mm} = 0.020 \text{ m}$$

$$r = 30 \text{ mm} = 0.030 \text{ m}$$

$$a = 12 \text{ m}$$

$$P_1 + P_2 = \frac{\pi}{4} (0.08^2 - 0.02^2) \times 10 \times 1000 \times 9.81 + \frac{\pi}{4} (0.02)^2 \times 12 \times 7850 \times 9.81$$

$$P_1 + P_2 = 462 + 290 = 752 \text{ N}$$

Le poids de l'eau pompée est fonction de l'angle θ .

$$P_3 = \frac{\pi}{4} (D'^2 - d'^2) \times r (1 - \cos \theta) \times \rho_{\text{eau}} \times g$$

Nous pouvons établir le tableau suivant en fonction de valeurs de θ .

En considérant la figure 3 qui présente la caractéristique couple développé en fonction de l'angle de rotation de l'éolienne, nous notons qu'un domaine d'incertitude demeure (domaine compris entre π et 2π radians). Dans la pratique il s'avère difficile d'évaluer le couple développé par l'éolienne dans la phase d'admission. En effet l'on serait amené à croire que lors de la descente du piston aucune force n'est exercée, mais encore faudrait-il reconnaître que dépendant de la vitesse du vent, le piston entraîné par l'éolienne, peut exercer une certaine pression sur l'eau en contact avec sa face inférieure. Cette pression se traduit par une force que doit développer l'éolienne. Pour des fins pratiques, nous retiendrons que, généralement, cette force est inférieure à la force qui correspond à la phase de refoulement. Et pour notre étude, nous considérerons que cette force est nulle.

3. Cahier des charges

L'étude d'une éolienne implique la détermination, pour un vent de vitesse donnée, des caractéristiques suivantes :

- la vitesse de rotation de l'éolienne .
- le couple transmis par l'éolienne (puissance développée) .

Notre travail porte sur la conception d'un système qui simule le fonctionnement d'une pompe et qui permet de faire les deux mesures (vitesse de rotation et couple développé par l'éolienne) .

Ce système devra donc respecter les restrictions qui résultent des caractéristiques de l'éolienne à axe vertical et de la pompe à piston . Pour des fins de réalisations pratiques, nous considérerons que la force correspondant à la phase de refoulement reste constante et que celle qui correspond à la phase d'admission est nulle . Notre système devra donc présenter la caractéristique suivante :

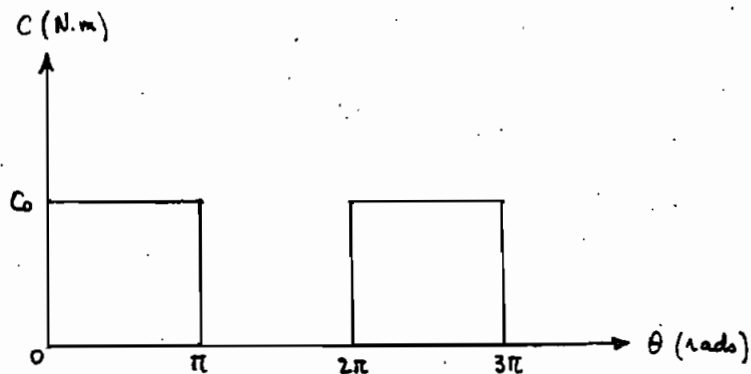


Fig. 4

PARTIE B

SYSTEMES ETUDIES

Au cours de notre étude, nous avons eu à essayer un certain nombre de solutions. Il a fallu faire des essais au laboratoire pour voir si ces solutions correspondent bien à notre application. Ainsi après des études assez précises, il s'est avéré que certains systèmes ne sont pas adéquats. Néanmoins nous sommes arrivés à une solution qui présente un intérêt pour notre étude ; et c'est d'ailleurs celle-ci qui est retenue et réalisée. Il s'agit du frein à bande.

1. Frein électrique (électrodynamomètre)

1.1. Principe de fonctionnement de l'électrodynamomètre

L'électrodynamomètre est un frein contrôlé électriquement. Son rotor, qui est une cage d'écurie, est entraîné par le moteur à freiner. Son stator produit un champ magnétique et peut tourner d'un angle proche de 360° . Sa rotation est contrebalancée par un ressort. Lorsque le rotor tourne, les forces électromotrices sont induites dans son bobinage, et les courants résultant créent une force qui s'oppose à la rotation, ce qui fait tourner le stator dans la même direction. Ce stator porte une graduation en Newton-mètre (N.m).

1.2. Fonctionnement du système proposé.

Avec cette solution, nous nous proposons d'accoupler l'électro-

dynamomètre à l'éolienne. Dans son mouvement de rotation, l'éolienne entraînera le rotor du frein électrique. Alimenté en courant alternatif, l'électrodynamomètre servira à appliquer un couple de freinage à l'éolienne ; et ce couple est lu sur les graduations du stator. Il correspond au couple développé par l'éolienne.

Pour mesurer l'efficacité d'un tel système, des expériences ont été faites au laboratoire d'électrotechnique. A partir des mesures expérimentales, nous avons pu déterminer les caractéristiques du frein électrique (disponible à l'École Polytechnique de Thib) Ces résultats figurent dans l'annexe I.

L'analyse des résultats a permis de noter que la solution du frein électrique n'est pas la bonne pour notre étude car la puissance développée par celui-ci est faible par rapport à la puissance de l'éolienne. Nous noterons également que la vitesse de rotation de l'éolienne (46 tpm) est de loin inférieure à celle de l'électrodynamomètre qui nous permet d'enregistrer un couple appréciable.

2. Dynamo-frein (génératrice de courant continu)

2.1. Principe de fonctionnement de la génératrice.

La dynamo à courant continu utilise les phénomènes d'induction électromagnétique pour transformer l'énergie mécanique en énergie électrique. Le principe est que lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, il naît dans ce conducteur un courant électrique que l'on appelle courant induit. Il s'agit donc de la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

En effet les inducteurs de la dynamo produisent un champ magnétique lorsqu'ils sont alimentés. Ces inducteurs laissent entre eux une cavité cylindrique dans laquelle règne le champ magnétique. Dans cette cavité est placé un induit (anneau en fer doux) de même axe que la cavité. Lorsqu'on fait tourner l'induit autour de son axe, il se crée un courant. C'est là le principe des générateurs de courant continu.

2.2. Fonctionnement du système proposé.

La dynamo à utiliser dans ce système est une machine à courant continu disponible au laboratoire d'électrotechnique. Dans ce cas nous envisageons d'accoupler le rotor de la machine à l'éolienne. Ainsi la machine entraînée par l'éolienne fonctionnera en génératrice et délivrera le courant dans une résistance (énergie dissipée dans une résistance). Les forces électromagnétiques développées s'opposent au mouvement de l'induit, ce qui entraîne le freinage de l'éolienne. Des jauges de contraintes placées sur un bras de levier fixe sur le stator, permettent de mesurer le couple de freinage

appliqué à l'éolienne.

Avant de réaliser ce système, il est important de connaître les caractéristiques de la génératrice disponible. La caractéristique qui nous intéresse surtout c'est la courbe du couple résistant en fonction de la vitesse de rotation de la machine. Nous sommes donc amenés à faire des expériences au laboratoire pour déterminer cette caractéristique (annexe II).

Après analyse des résultats expérimentaux, nous avons dû constater que pour développer un couple assez important, il faudrait entraîner la génératrice à une vitesse voisine de 1000 tours par minute. Nous avons vu plus haut que pour un vent de vitesse $v = 5 \text{ m/s}$, l'éolienne tourne à 38 tours par minute et développe une puissance de 80 watts. Avec cette vitesse de l'éolienne, il nous faudra un système de transmission qui assure un rapport de $\frac{1000}{46} = 22$ pour avoir des résultats satisfaisants. Sur le plan pratique ce rapport de transmission entraînera des pertes de puissance et des problèmes d'inertie. Pour ces différentes raisons, la dynamo-frein est inadéquate pour notre application. Il a fallu abandonner cette solution de la dynamo-frein.

3. Frein à bande

Au cours de notre étude, nous sommes amenés à envisager des solutions qui n'ont pas abouti. C'est ainsi que nous avons pu remarquer que les solutions présentées plus haut ne sont pas satisfaisantes. Celle que nous étudions à présent, présente un certain intérêt pour notre application.

3.1. Principe de fonctionnement.

Le principe consiste à freiner une roue accouplée à l'arbre central de l'éolienne. Pour cela une bande en cuir est placée sur les bords de la roue; et le freinage intervient effectivement lorsqu'on applique des forces opposées sur les deux extrémités de la bande.

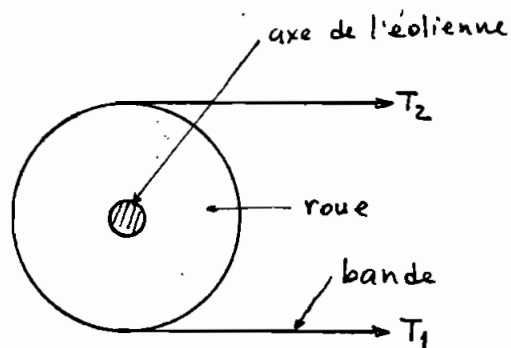


Fig.5: Schema de principe

Lorsque les deux forces T_1 et T_2 sont appliquées, la bande "serre" la roue, assurant ainsi un frottement entre les deux surfaces en contact. La force de freinage résultante est la différence des tensions T_1 et T_2

$$F = T_1 - T_2$$

On en déduit alors le couple de freinage :

$$C = F \cdot d/2 \quad d \text{ étant le diamètre de la roue.}$$

Ce couple correspondra au couple développé par l'éolienne pour le pompage de l'eau.

Plus haut, nous avons retenu que notre système doit pouvoir exercer un couple constant qui s'annule sur une demi-période du cycle pour mieux simuler le fonctionnement d'une pompe à piston (cahier des charges).

Avec cette solution du frein à bande, le couple de freinage reste constant si on maintient les tensions T_1 et T_2 constantes ; ce qui apparemment ne présente pas de difficultés majeures. Par contre il faudra assurer un couple nul sur un demi-cycle (ce qui correspond à la phase d'admission de la pompe). Ceci n'est réalisé que lorsque la bande est détendue. L'utilisation d'un solénoïde permet de contourner la difficulté. Ainsi ce solénoïde relié à la bande appliquera la tension nécessaire lorsqu'il est alimenté par un courant électrique. Et dès que l'alimentation est coupée, le solénoïde n'agit plus et la tension s'annule. Un ressort placé à une extrémité de la bande assurera la détente de celle-ci lorsque la force est nulle. Pour pouvoir mesurer la force de freinage, il convient d'utiliser des jauges de contrainte placées aux extrémités de la bande.

La figure 6 présente le schéma simplifié du système proposé.

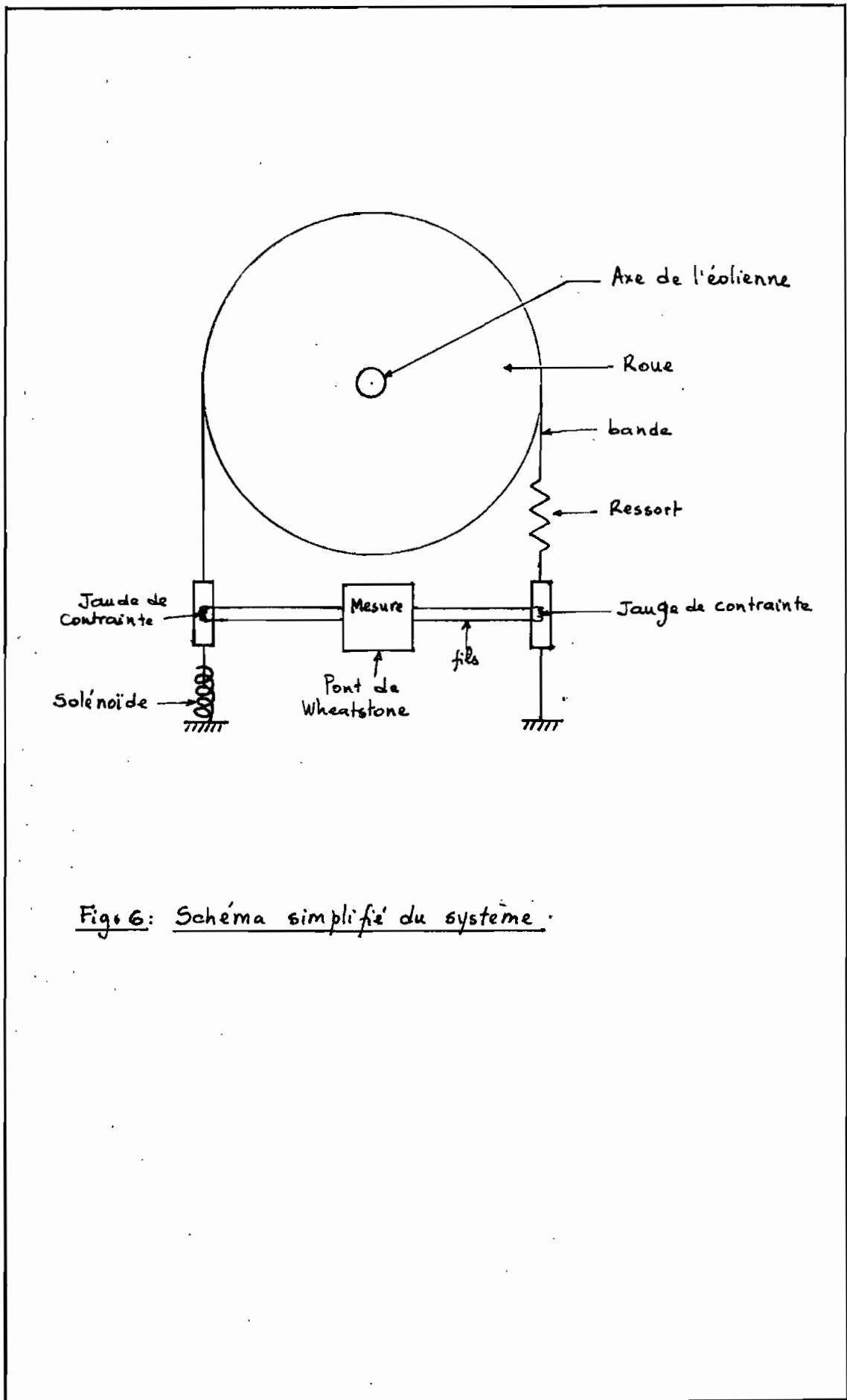


Fig. 6: Schéma simplifié du système.

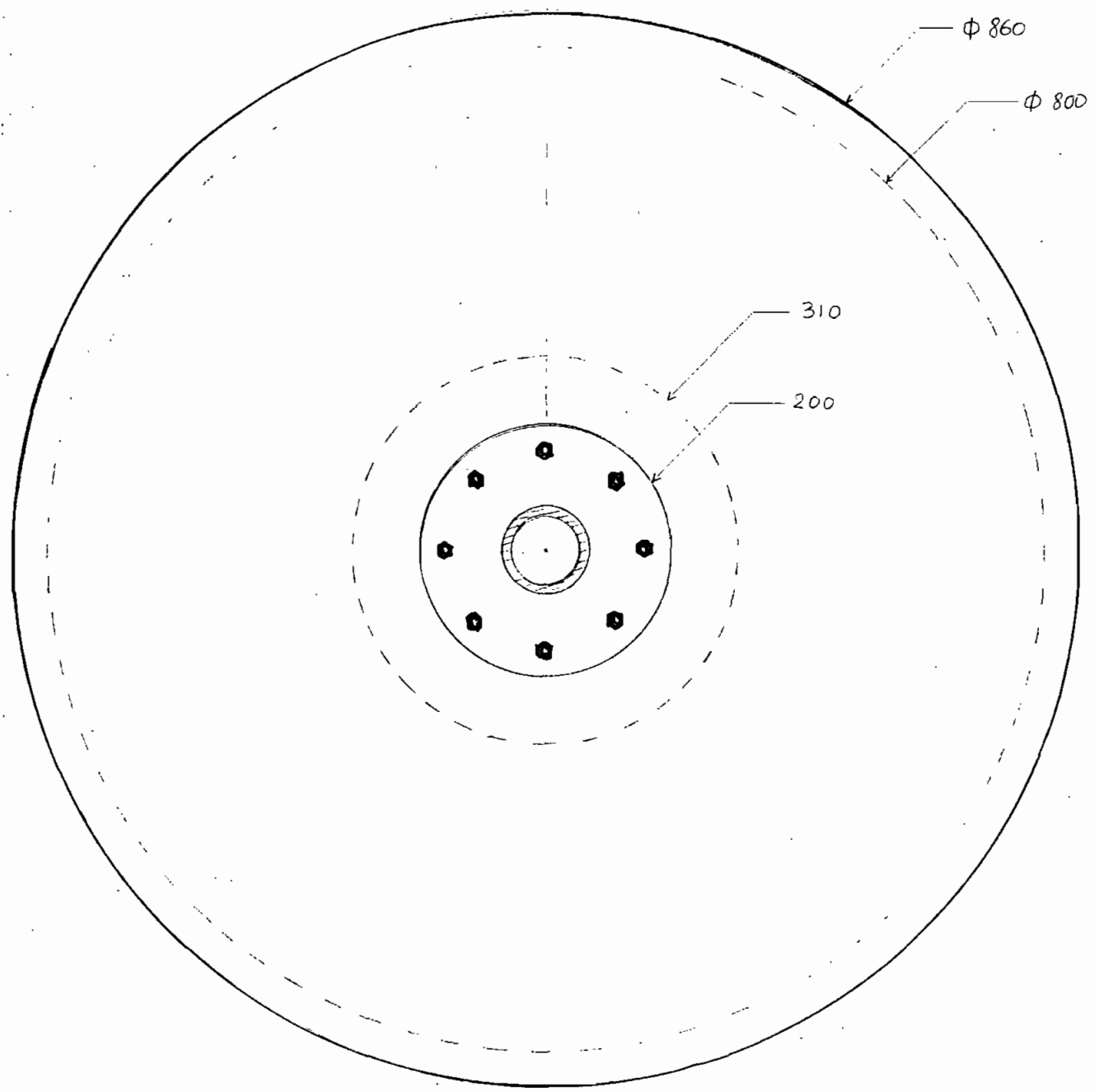
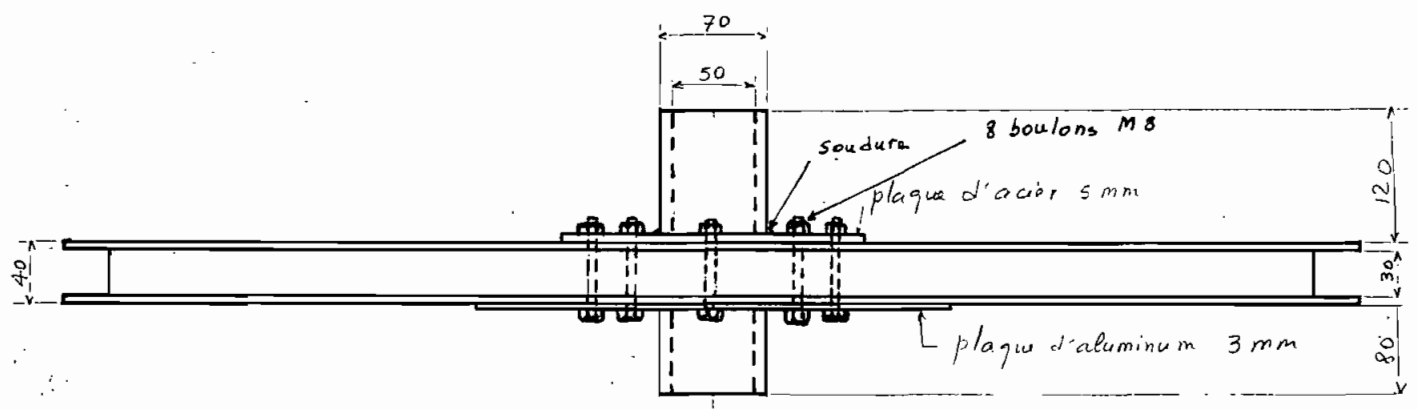
3.2 Etude des éléments du système.

3.2.1 La roue (disque)

Nous nous sommes proposé de freiner l'éolienne par l'intermédiaire d'une roue fixée à l'axe (principe du frein à bande). Pour réduire la force à appliquer, il convient d'utiliser une roue de grand diamètre. Le solénoïde utilisé pour notre étude exerce une force d'attraction d'environ 20 N au début de course. Pour cela, nous nous sommes fixé un diamètre de la roue de 800 mm. Ce qui, au départ, nous donne donc un couple égal à :

$$C = 20 \times \frac{0,800}{2} = 8 \text{ N.m}$$

Cette roue est conçue en contre-plaqué de bois. Pour assurer une bonne surface de contact avec la bande, deux contre-plaques de 15 mm sont superposés. Nous obtenons alors une épaisseur de 30 mm. Un tube en acier, long de 240 mm et ayant un diamètre de 70 mm est placé au centre de la roue pour permettre de la fixer ^{à l'axe} de l'éolienne. Tous les détails de construction de la roue sont montrés à la figure 7.



echelle 1/5

Fig. 7.

La roue

3.2.2 Le support

Un support adapté à l'éolienne FILIPPINI installée à l'École Polytechnique de Thies permet de fixer les différents éléments du système. Il est fabriqué à partir de profils L 70x70. Ces profils sont assemblés par soudage. Le support est fixé à la tour de de l'éolienne par deux boulons ordinaires (M20).

La figure 8 montre les caractéristiques du support.

3.2.3 Le ressort

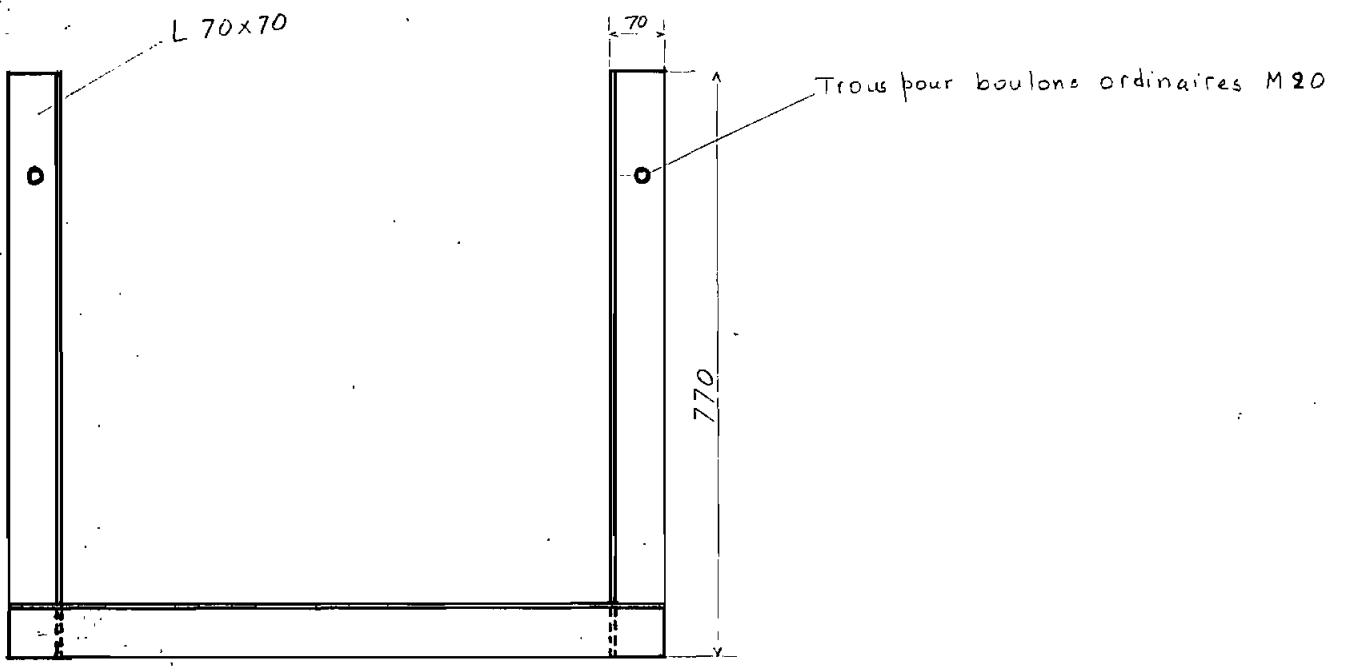
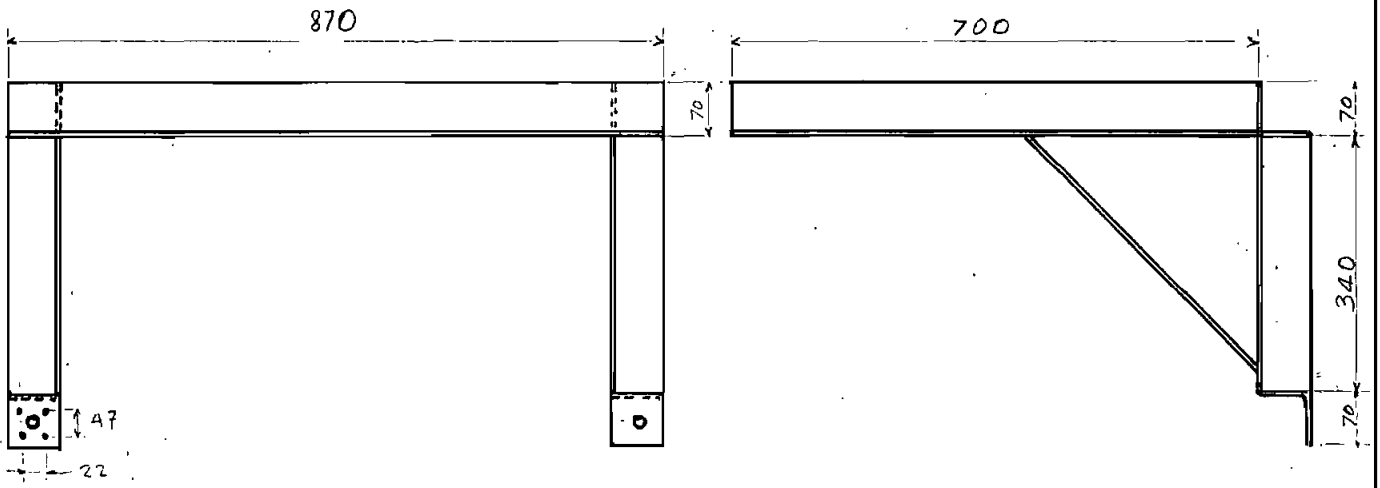
Nous envisageons utiliser un ressort qui s'allonge de 12 mm sous une force de 20 N. La constante du ressort est donc :

$$k = \frac{20}{12 \cdot 10^{-3}} = 1667 \text{ N/m}$$

Nous pouvons utiliser un ressort dont la constante est $k = 2000 \text{ N/m}$. Ce ressort servira à détendre la bande lorsque la force de freinage est nulle.

3.2.4 La bande

Elle est en cuir et mesure 2 mètres. Sa largeur est 25 mm.



echelle 1/10

Fig. 8

Le support

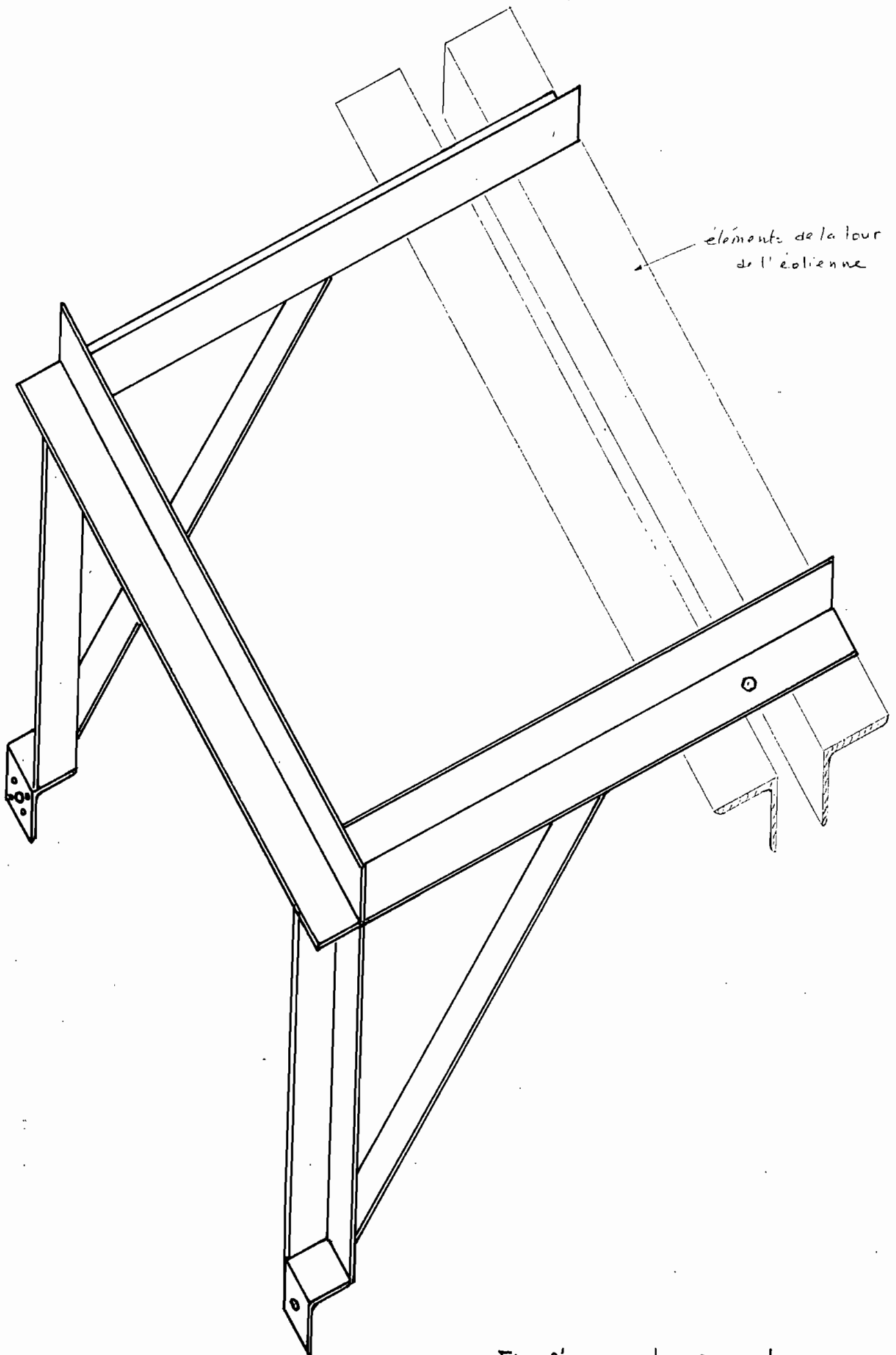


Fig. 8'

Le support

échelle 1/5

r = 0.7

3.2.5 Le solénoïde

Pour simuler le fonctionnement d'une pompe à piston, il a fallu utiliser un solénoïde qui nous permet d'annuler la force de freinage sur une demi-période (correspondant à la phase d'admission de la pompe).

Le solénoïde est un fil métallique enroulé en hélice sur un cylindre, et qui, parcouru par un courant, crée un champ magnétique comparable à celui d'un aimant droit. Ce champ magnétique crée donc une force qui attire un noyau (fer doux) placé dans le cylindre. Et c'est cette force qui va servir à appliquer une tension à la bande.

Pour notre application, nous nous sommes proposés d'utiliser un contacteur de voiture qui fonctionne suivant le principe du solénoïde énoncé plus haut. Cet appareil, alimenté à 12 volts, exerce une force d'environ 20 Newtons en début de course, et nous "offre" un déplacement de 12 mm.

3.2.6 Les jauges de contrainte

La force de freinage appliquée à la roue est la différence des tensions, aux deux extrémités de la bande. L'utilisation des jauges permet de déterminer cette force.

La jauge de contrainte est un petit élément résistif qui est collé sur une pièce au point où l'on veut mesurer la contrainte (déformation). Lorsque la pièce est soumise à un chargement, sa déformation est transmise à travers la colle à la jauge. Un changement proportionnel de la résistance de la jauge en résulte d'après la relation :

$$\frac{\Delta R}{R} = F \frac{\Delta L}{L}$$

R et L sont la résistance et la longueur initiale de l'élément résistif de la jauge.

$\frac{\Delta R}{R}$ et $\frac{\Delta L}{L}$ sont les changements unitaires de résistance et de longueur.

F est le facteur de sensibilité de la jauge.

La jauge, placée sur une pièce, se présente comme suit :

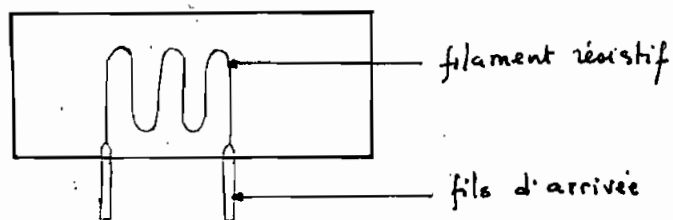


Fig: 9

Choix des capteurs

La pièce fondamentale d'un capteur est le corps d'épreuve qui subit des déformations et sur lequel les jauges sont collées. Le choix de cette pièce dépend des caractéristiques des jauges et de la force maximale à appliquer.

Les jauges disponibles à l'École Polytechnique de Tsis acceptent un allongement unitaire maximum de $1000 \mu\epsilon$, soit $\frac{\Delta L}{L} = 10^{-3}$, et sont collées sur une largeur minimale de 6 mm.

Avec notre solénoïde nous pouvons atteindre une force de 30 N. Vu que la force à appliquer n'est pas grande, nous utiliserons des étriers en flexion pour corps d'épreuve (fig. 10).

Le matériau utilisé est l'aluminium profilé par laminage (module d'élasticité $E = 7400 \text{ daN/mm}^2$). Deux jauges sont collées en opposition sur chaque corps d'épreuve. Pour chaque jauge l'allongement unitaire maximum sera donc $0,5 \cdot 10^{-3}$.

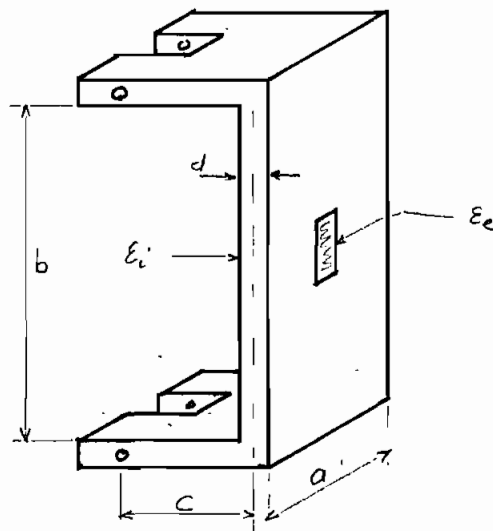


Fig. 10: un capteur

Pour la jauge extérieure l'allongement unitaire est E_e

$$E_e = \frac{F}{Ead} \left(\frac{6C}{d} - 1 \right) \quad [6]$$

L'allongement de la jauge intérieure

$$E_i = -\frac{F}{Ead} \left(\frac{6C}{d} + 1 \right) \quad [6]$$

L'allongement unitaire désiré est obtenu pour les dimensions suivantes du capteur :

$$a = 26 \text{ mm}$$

$$b = 44 \text{ mm}$$

$$c = 20 \text{ mm}$$

$$d = 3.5 \text{ mm}$$

La flèche du corps d'épreuve est donc :

$$\Delta b = \frac{4Fc^2}{Ea} \left(\frac{3b+2c}{d^3} \right) = 0.30 \text{ mm} \quad [6]$$

3.2.7 Le système de commande

Nous avons vu que le système à concevoir (charge) doit assurer un couple constant qui s'annule sur un demi-cycle. Avec le système envisagé, le couple n'est nul que lorsque le circuit d'alimentation du solénoïde est coupé. Un contact électronique est conçu par M^r MARTIN pour assurer la coupure et le rétablissement du circuit d'alimentation du solénoïde, de façon périodique. Le schéma de principe de ce système de commande (contact) est présenté à la figure 11.

Principe de fonctionnement

Ce système de commande est adapté au mécanisme de transmission du mouvement de rotation en mouvement linéaire alternatif. Le principe utilisé est celui du flip-flop. Les contacts 1 et 3, fixes, sont branchés aux entrées des deux portes NAND. Le contact 2, mobile, fixé à la tige, est relié à la terre. Lorsque le contact entre 1 et 2 est établi, l'entrée de la première porte NAND est 0. La sortie est donc 1. Avec cette sortie 1, un courant passe à travers la résistance de 10 k Ω . Ce faible courant de 1,2 mA ($\frac{12}{10000}$) est amplifié par le transistor 2N3566. Le courant amplifié alimente le petit relais de 12 V qui commande le contacteur télé-mécanique de 220 V, qui lui contrôle le solénoïde alimenté à 12 V. Dans cette phase, le solénoïde "applique" le couple nécessaire au freinage. Ce qui correspond à la montée du piston.

Lorsque 2 et 3 sont en contact, l'entrée de la deuxième porte

NAND est 0. La sortie 4 passe à l'entrée de la première porte NAND, ce qui donne une sortie 0. Dans ce cas aucun courant ne passe dans le transistor et le circuit du contacteur est ouvert. Le solénoïde n'est donc pas alimenté, et on a un couple nul.

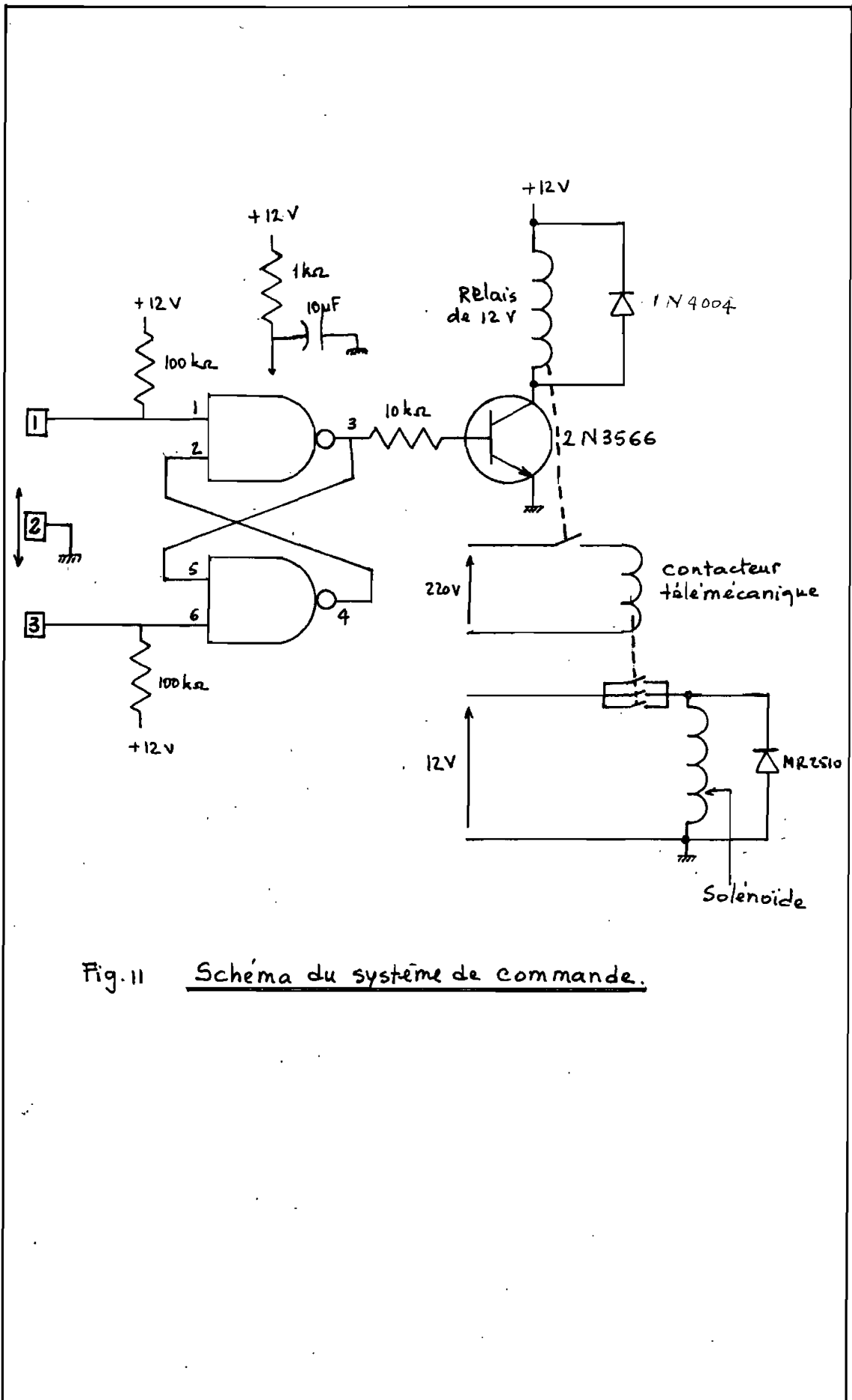


Fig. 11 Schéma du système de commande.

PARTIE C

REALISATION - ESSAIS

Après l'étude de différents éléments, le système a été intégralement réalisé et installé sur l'éolienne FILIPPINI. Les figures 12 et 13 montrent le système installé. Sur ces photos, les jauges de contrainte et le système de commande ne figurent pas.

Pour des raisons de manque de temps, des essais n'ont pu être réalisés pour déterminer les performances du système. C'est ainsi que des résultats d'essais ne figurent pas dans ce présent rapport.



Fig. 12 Photo du système installé



Fig. 13 Photo du système installé

CONCLUSION - RECOMMANDATIONS

A cette époque où nous assistons à l'utilisation massive des éoliennes dans l'exhaure de l'eau, la mise sur pied d'un système tel que présenté plus haut revêt une importance particulière. Ce système permet donc d'étudier les performances d'une éolienne. Notre étude visait deux buts :

- la conception et la réalisation d'un prototype.
- l'étude expérimentale du système.

Par manque de temps, l'étude n'a pu porter que sur la conception et la réalisation du prototype. Une étude expérimentale du système viendrait compléter notre travail. Les résultats obtenus pourraient être analysés et joints à ce présent rapport pour permettre de tirer une conclusion finale sur la viabilité du système.

du cours de notre étude certains détails ^{sont omis.} Nous citerons par exemple le calcul de vérification de la fixation du support sur la toue de l'éolienne par des boulons ordinaires. Le solénoïde utilisé développe une force maximum d'environ 100 N (force assez faible). Cette assemblée est donc largement surdimensionnée quand on sait que ces boulons ordinaires (A307) ont une contrainte de rupture minimale de 415 N/mm^2 .

D'autre part, nous sommes conscients de l'imperfection de cette étude qui, il convient de le dire, nécessite un peu plus de

temps. Il a fallu essayer différents systèmes qui n'ont pas abouti. Avec ce système réalisé, nous sommes néanmoins optimistes pour les essais. Une étude économique pourrait être envisagée pour estimer les coûts de fabrication et d'installation.

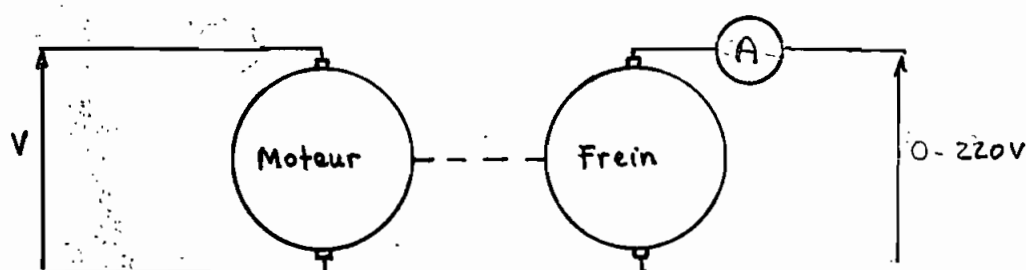
ANNEXE I

CARACTERISTIQUES DE L'ELECTRODYNAMOMETRE

Des expériences au laboratoire d'Électrotechnique ont permis de déterminer les caractéristiques de l'électrodynamomètre disponible à l'École Polytechnique de Thiès.

Manipulation

Le moteur d'entraînement utilisé est une machine à courant continu. L'électrodynamomètre est accouplé à ce moteur au moyen d'une courroie. Ce moteur, alimenté à une tension donnée, est freiné à l'aide de l'électrodynamomètre. En maintenant le courant consommé par le moteur constant, on fait varier le couple de freinage. On note alors le couple appliqué et la vitesse de rotation.

Schéma du montage.

Pour différentes valeurs de la tension d'alimentation nous obtenons le tableau 2.

Les courbes caractéristiques sont présentées à la figure 14.

$V = 100 \text{ V}$ $I = 0.30 \text{ A}$						
C (N.m)	1.01	1.20	1.38	1.35	1.27	0.94
N (rpm)	145	180	250	310	390	780
$V = 138 \text{ V}$ $I = 0.45 \text{ A}$						
C (N.m)	1.03	1.44	1.67	2.17	2.38	1.59
N (rpm)	75	145	175	255	330	780
$V = 150 \text{ V}$ $I = 0.60 \text{ A}$						
C (N.m)	0.82	1.38	1.79	2.38	2.87	2.96
N (rpm)	75	105	145	210	290	300
$V = 220 \text{ V}$ $I = 0.75 \text{ A}$						
C (N.m)	1.04	1.76	2.21	2.73	2.94	2.95
N (rpm)	80	140	170	230	250	260

Tableau 2

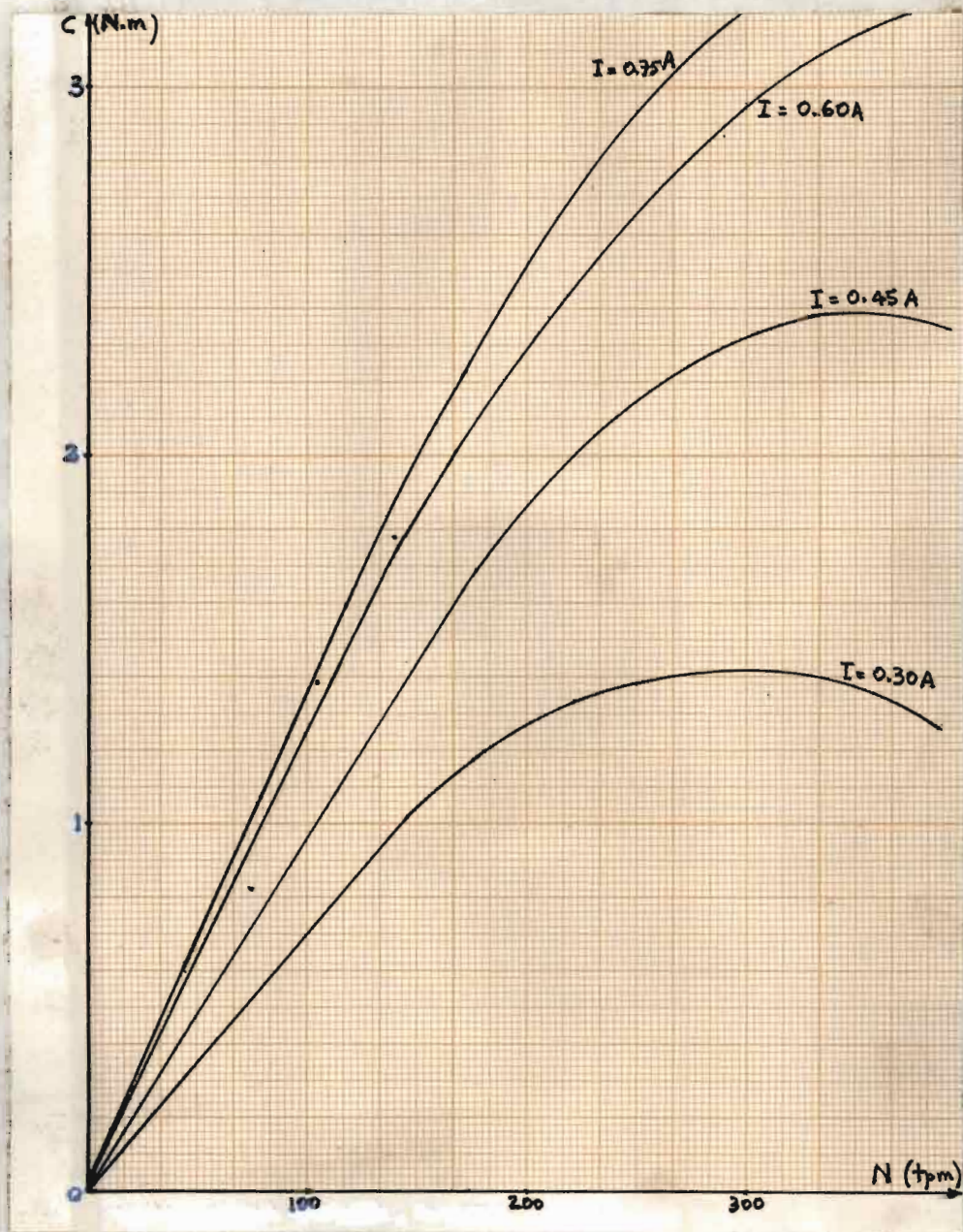


Fig. 14

La puissance de freinage est $P = \frac{C \cdot 2\pi \cdot N}{60}$. La puissance maximale pourrait être obtenue pour 267 rpm, $C_u = 3$ N.m

$$P = \frac{3 \times 2\pi \times 267}{60} = 83 \text{ W}$$

ANNEXE II

CARACTERISTIQUES DE LA GENERATRICEManipulation

Pour notre étude, la caractéristique recherchée est la courbe du couple résistant en fonction de la vitesse de rotation de la génératrice. Une manipulation ne nous permet pas d'obtenir cette caractéristique. Nous procédons alors par étape. Ainsi nous commençons par le tarage du moteur d'entraînement de la génératrice.

Tarage du moteur

Le moteur est accouplé à l'électrodynamomètre. Alimenté à une tension donnée, ce moteur est soumis à différents couples de freinage. On note ainsi le couple appliqué, la vitesse de rotation et le courant consommé.

Les résultats sont présentés dans le tableau qui suit:

V = 60 V								
C (Nm)	0.04	0.10	0.18	0.24	0.34	0.45	0.73	
N (tr/m)	745	630	525	455	355	300	170	
I (A)	0.42	0.48	0.54	0.60	0.70	0.81	0.99	
V = 80 V								
C (Nm)	0.05	0.10	0.17	0.26	0.35	0.63	0.88	1.05
N (tr/m)	1105	940	830	720	600	320	300	240
I (A)	0.38	0.48	0.54	0.60	0.69	0.90	1.08	1.20

Tableau 3

V = 100 V								
C (N.m)	0.09	0.18	0.25	0.41	0.54	0.98	1.17	1.30
N (rpm)	1265	1075	955	755	660	430	360	315
I (A)	0.45	0.54	0.60	0.75	0.84	1.14	1.26	1.35
V = 120 V								
C (N.m)	0.05	0.22	0.39	0.55	0.71	0.90	1.18	1.57
N (rpm)	1710	1240	990	835	710	620	500	380
I (A)	0.39	0.57	0.72	0.84	0.96	1.08	1.26	1.50
V = 140 V								
C (N.m)	0.05	0.26	0.39	0.52	0.64	0.82	1.15	1.37
N (rpm)	2040	1400	1190	1050	935	820	690	595
I (A)	0.40	0.60	0.72	0.81	0.90	1.02	1.20	1.35
V = 160 V								
C (N.m)	0.05	0.28	0.41	0.58	0.74	0.93	1.20	1.60
N (rpm)	2380	1640	1380	1190	1055	945	810	660
I (A)	0.39	0.60	0.72	0.84	0.96	1.08	1.26	1.50
V = 200 V								
C (N.m)	0.06	0.30	0.42	0.71	1.04	1.36	1.69	2.17
N (rpm)	2930	2075	1830	1475	1205	1060	945	790
I (A)	0.39	0.60	0.69	0.90	1.14	1.32	1.50	1.80
V = 220 V								
C (N.m)	0.06	0.29	0.58	1.06	1.52	1.77	1.97	2.36
N (rpm)	3230	2205	1660	1250	1060	970	910	790
I (A)	0.39	0.60	0.94	1.14	1.35	1.56	1.68	1.92

Tableau 4

Les figures 15 et 16 présentent les caractéristiques de moteurs à tarage : Couple de freinage en fonction du courant I .

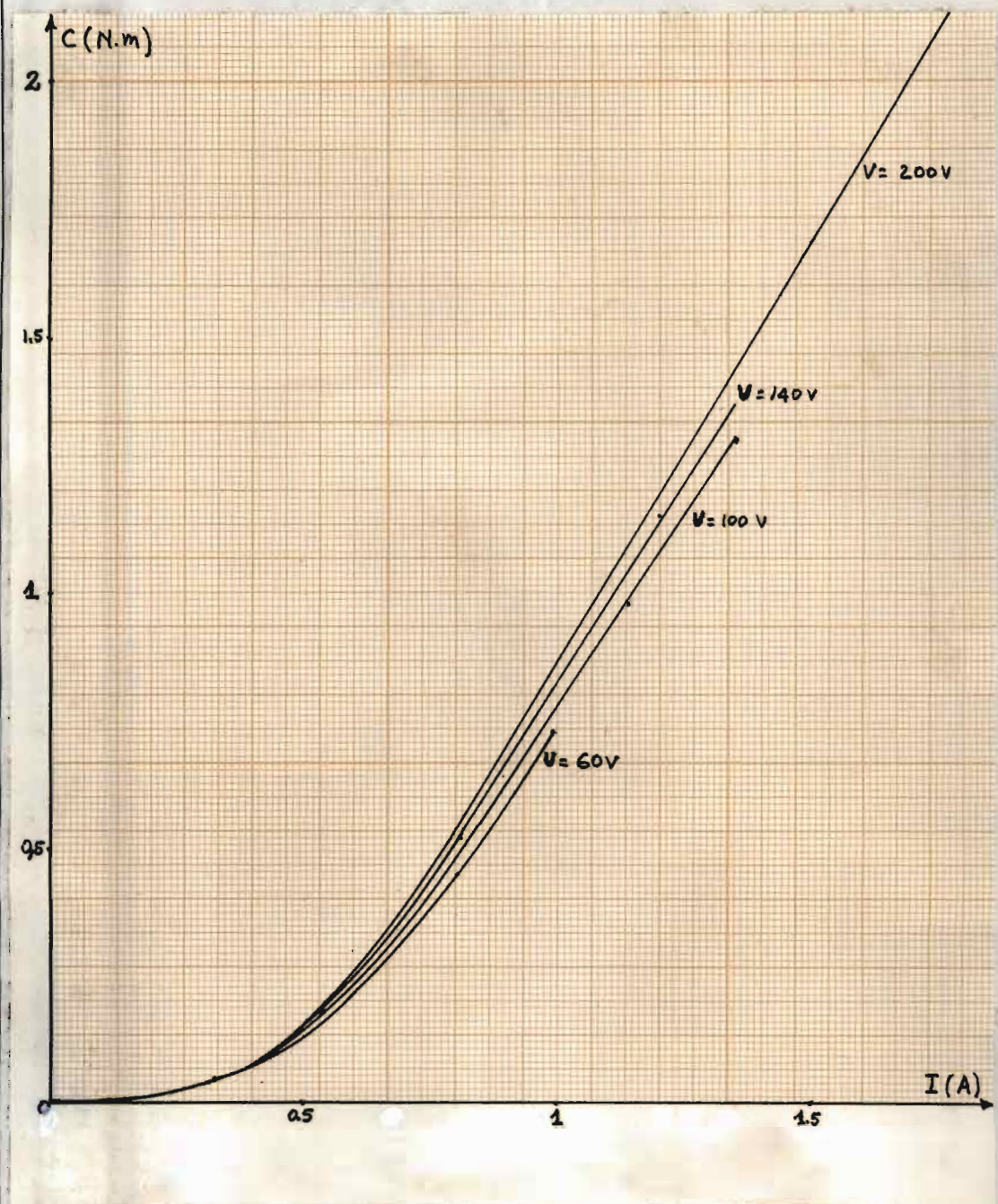


Fig. 15

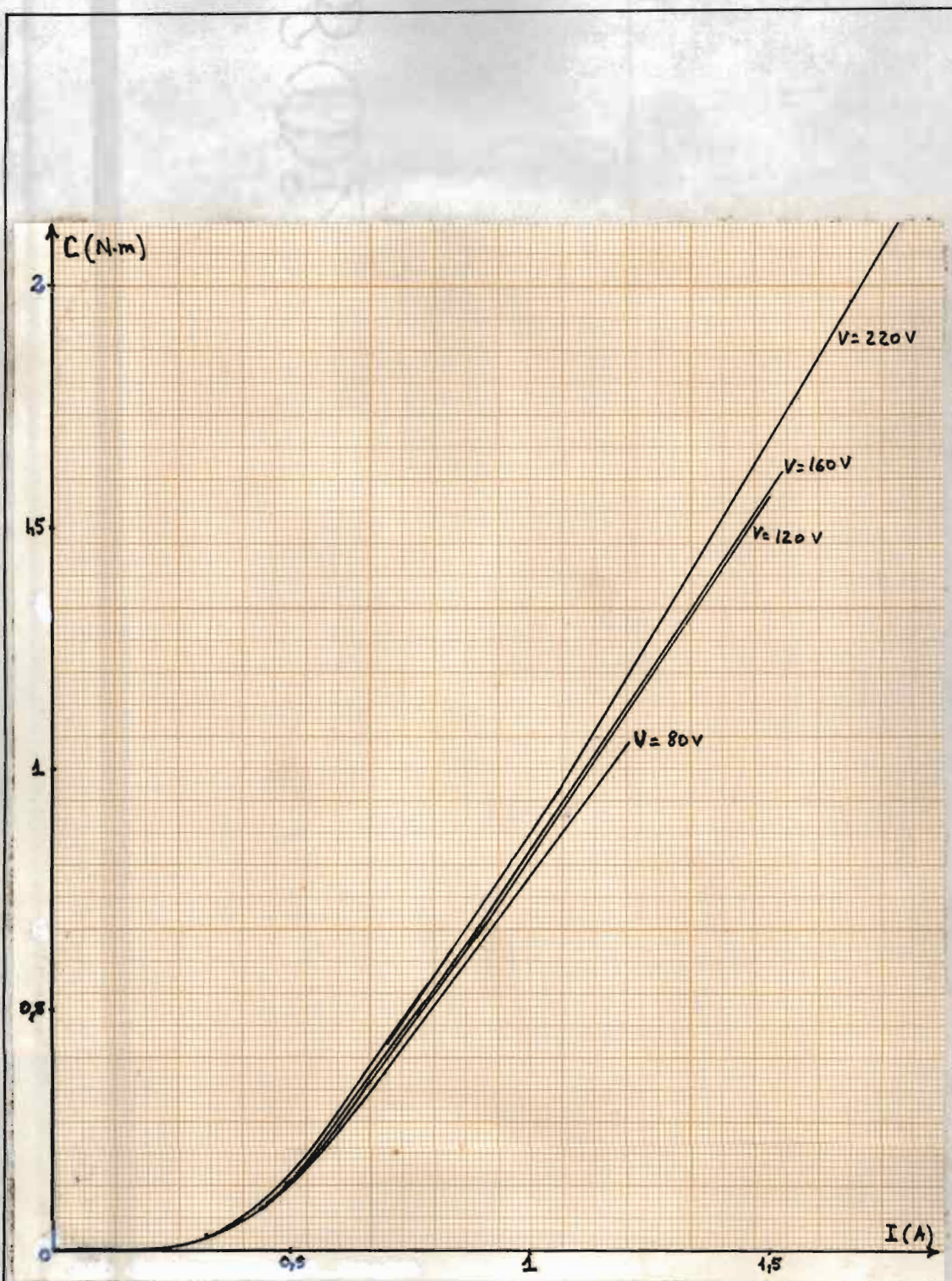


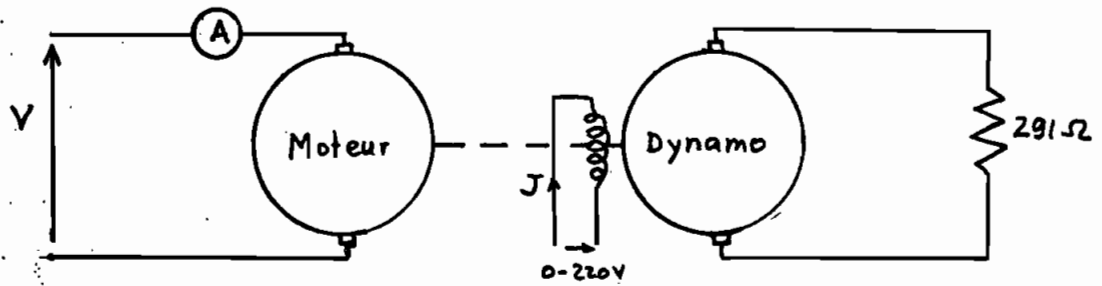
Fig. 16

Caractéristiques de la dynamo.

Le moteur taré est accouplé à la génératrice qui est une machine à courant continu. Ce moteur alimenté entraîne la génératrice qui débite sur une résistance de 291Ω .

Pour un courant d'excitation J donné, on note pour différentes valeurs de la tension, la vitesse de rotation et le courant consommé par le moteur.

Schéma du montage.



Les résultats sont présentés au tableau 5.

J = 0.15 A								
V (v)	60	80	100	120	140	160	200	220
N (tr/m)	510	610	720	980	1025	1160	1410	1510
I (A)	0.82	0.87	0.90	1.14	1.17	1.20	1.26	1.35
J = 0.20 A								
V (v)	60	80	100	120	140	160	200	220
N (tr/m)	440	520	660	890	945	1065	1315	1400
I (A)	0.87	0.90	0.98	1.17	1.20	1.22	1.38	1.47
J = 0.30 A								
V (v)	60	80	100	120	140	160	200	220
N (tr/m)	390	460	710	810	860	970	1200	1285
I (A)	0.96	0.98	1.07	1.25	1.30	1.32	1.53	1.62
J = 0.35 A								
V (v)	60	80	100	120	140	160	200	220
N (tr/m)	365	435	570	770	835	950	1155	1255
I (A)	0.78	0.96	1.10	1.30	1.32	1.41	1.59	1.68
J = 0.40 A								
V (v)	60	80	100	120	140	160	200	220
N (tr/m)	360	420	560	760	815	930	1130	1235
I (A)	0.98	1.00	1.13	1.30	1.35	1.40	1.65	1.74

Tableau 5

A partir des courbes des figures 15 et 16 et du tableau 5 nous pouvons déduire la caractéristique : couple en fonction de la vitesse de rotation pour différents courants d'excitation.

Exemple : à 60 V le moteur tourne à 510 tpm (tours par minute) et consomme un courant de 0.82 A (tableau 5). La valeur 0.82 A portée sur la figure à 60 V, donne un couple $C = 0.45 \text{ N.m}$.

Nous obtenons alors le tableau 6 de la page suivante. A partir de ce tableau nous traçons les courbes : $C = f(N)$ qui sont des droites.

V (V)	60	80	100	120	140	160	200	220
$J = 0.15 A$								
I (A)	0.82	0.87	0.90	1.10	1.12	1.14	1.26	1.35
N (rpm)	510	610	720	980	1025	1160	1410	1570
C (N.m)	0.45	0.57	0.63	0.93	1.03	1.04	1.27	1.40
$J = 0.20 A$								
I (A)	0.87	0.90	0.98	1.17	1.20	1.22	1.38	1.47
N (rpm)	440	520	660	890	945	1065	1315	1400
C (N.m)	0.53	0.60	0.76	1.04	1.14	1.17	1.48	1.63
$J = 0.30 A$								
I (A)	0.93	0.96	1.07	1.29	1.32	1.32	1.53	1.62
N (rpm)	390	460	710	810	860	970	1200	1285
C (N.m)	0.62	0.70	0.90	1.24	1.33	1.40	1.74	1.87
$J = 0.35 A$								
I (A)	0.98	0.96	1.10	1.30	1.32	1.41	1.59	1.68
N (rpm)	365	435	570	770	835	950	1155	1255
C (N.m)	0.41	0.71	0.94	1.25	1.33	1.47	1.83	1.98
$J = 0.40 A$								
I (A)	0.88	1.00	1.13	1.30	1.35	1.40	1.65	1.74
N (rpm)	360	420	560	760	815	930	1130	1235
C (N.m)	0.60	0.75	0.98	1.23	1.40	1.48	1.95	2.07

Tableau 6

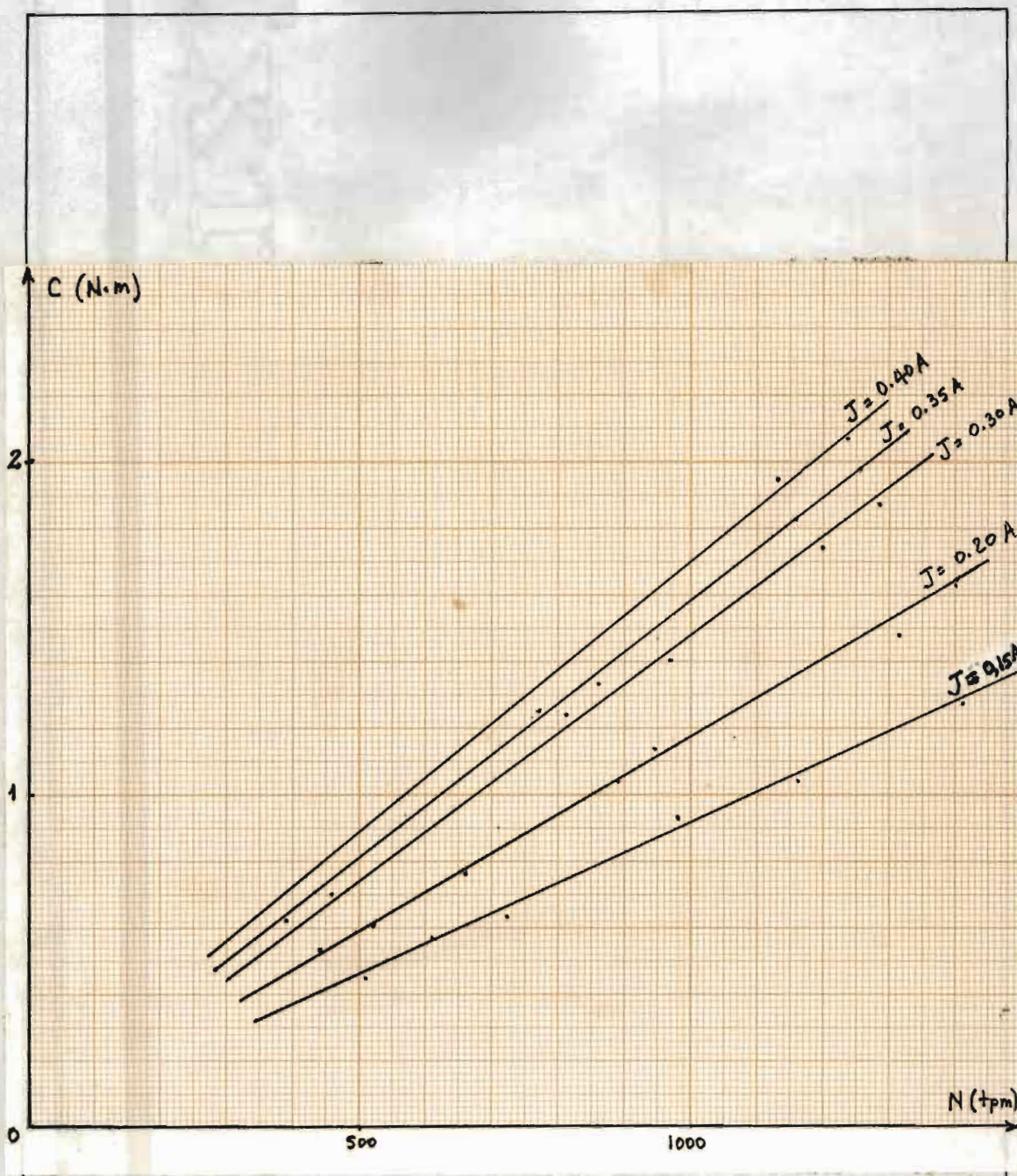


Fig. 17

Les courbes de la figure 17 nous permettent de déterminer la caractéristique courant d'excitation J en fonction de la vitesse de rotation N , pour un couple constant. D'où le tableau suivant:

$J(A)$	0.15	0.20	0.30	0.35	0.40
$C = 2 \text{ N.m}$					
$N(\text{tr/m})$			1350	1270	1185
$C = 1.5 \text{ N.m}$					
$N(\text{tr/m})$		1270	1010	945	875
$C = 1.25 \text{ N.m}$					
$N(\text{tr/m})$	1365	1065	850	785	725
$C = 1 \text{ N.m}$					
$N(\text{tr/m})$	1090	850	680	620	570

Tableau 7

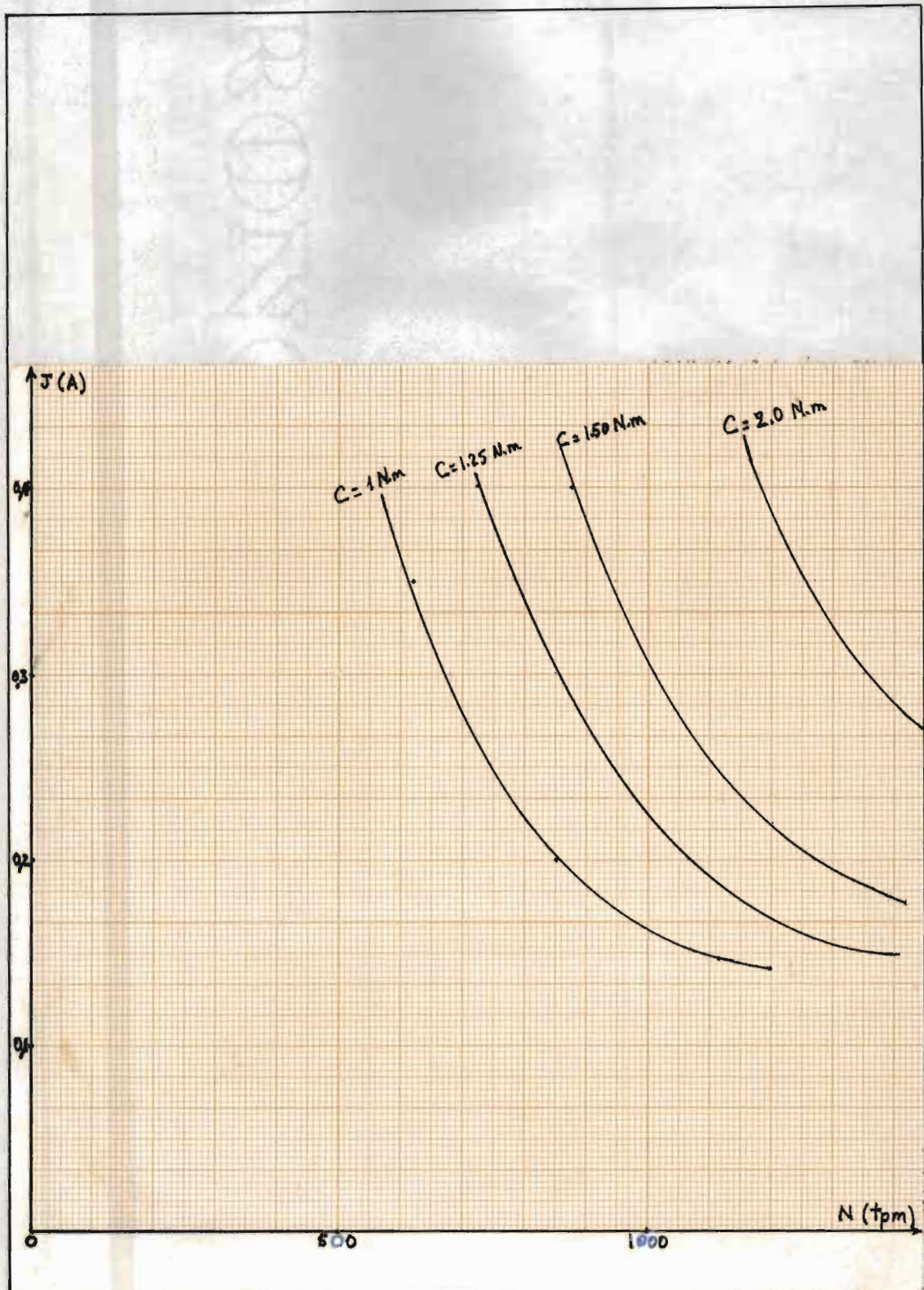


Fig. 18

Pour des couples appréciables il faut entraîner la génératrice à une vitesse assez grande (~ 1000 tours par minute).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DESIRE LE GOURIERES, Energie éolienne ; Théorie
Conception et calcul pratique des installations.
Eyrolles - 1981
- [2] Techniques de l'ingénieur - B4
- [3] CHARLES SUCHET, Cours d'électrotechnique générale
Tome 1 et 2 - Eyrolles - 1961
- [4] M.H. SIMONDS, B.E and A. BODEK Performance Test
of a Savonius Rotor - Mc Gill University - January 1964
- [5] ANDRE BAZERGUI, Analyse expérimentale des
Contraintes - Notes de cours. Ecole Polytechnique
de Montréal Juin 1978
- [6] Encyclopédie Vishay d'analyse des contraintes - 1974
- [7] Projet de fin d'études " Réalisation d'un montage prototype
d'éolienne lente type FILIPPINI" de MANKEUR
THIAM - Juin 1983