



école polytechnique de thiès

**PROJET
DE**

GM.04457

FIN D'ETUDES

titre **ÉTUDE** DE LA PERFORMANCE
D'UNE ÉOLIENNE SAVONIUS DANS UNE VEINE
FERMÉE AVEC DIVERSES VALEURS DE L'ÉCART
CENTRAL

auteur : ALASSANE SARR

génie : MÉCANIQUE

date : MAI 1979

ÉCOLE POLYTECHNIQUE
DE THIES

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE : ETUDE DE LA PERFORMANCE D'UNE EOLIENNE
SAVONIUS DANS UNE VEINE FERMEE AVEC
DIVERSES VALEURS DE L'ECART CENTRAL

Auteur : Alassane SARR

Génie : Mécanique

Date : Mai 1979

REMERCIEMENTS

Je ne peux commencer la rédaction de ce modeste travail sans adresser mes plus sincères remerciements à tous ceux qui m'ont aidé sous quelque forme que ce soit, lors de sa réalisation.

Cette aide m'a été des plus précieuses et sans elle, je n'aurais jamais pu mener à bien ce travail combien modeste répétons le ; tant le temps et les moyens disponibles étaient réduits.

Aussi mes directeurs de projet messieurs Pierre RICHARD et Vinh NGUYEN-DUY ; surtout ce dernier, en même temps coordonnateur des projets de fin d'études pour le département de mécanique ; n'ont ménagé aucun effort, malgré leur horaire chargé, pour m'assister et me mettre constamment sur la bonne voie ; je leur en suis reconnaissant et les remercie très vivement.

Ces mêmes remerciements vont aussi aux techniciens ci-dessous ; monsieur François HOUMAIRE pour la réalisation des divers montages, messieurs Claude BERTRAND et Marcel ELAIS pour l'assistance et le prêt d'outillage lors des changements de configuration sur l'éoliennne ; et enfin mademoiselle Assiétou GAYE qui, par sa gentillesse, a bien voulu assurer la dactylographie du manuscrit dans le délai prévu.

S U M M A I R E

Il s'agit d'étudier la performance d'une éolienne SAVONIUS dans une veine fermée, pour diverses valeurs de l'écart central qui se trouve de part et d'autre de l'axe de rotation.

La veine fermée est obtenue en plaçant le rotor dans la sortie même de la soufflerie constituée d'une simple conduite circulaire.

Avec ce montage, on introduit un certain blocage de l'écoulement, dû aux parois qui délimitent la veine et à la surface projetée de l'éolienne qui obstrue le passage. Ceci nous permet d'avoir des vitesses effectives plus grandes au niveau du rotor.

Cette étude nous permet de voir l'effet du carénage de l'écoulement car l'emploi d'une veine fermée pour accélérer la vitesse de l'air au niveau de l'éolienne augmente la puissance de l'éolienne. ^{en effet} Puissance disponible dans le vent est une fonction du cube de la vitesse, donc même un léger accroissement de la valeur de ce facteur peut être très important sur la performance finale.

Nous avons dû concevoir un montage expérimental dont les principaux éléments sont une soufflerie avec ses instruments de mesure de la vitesse du vent et du ventilateur, un modèle réduit de rotor SAVONIUS, un frein de **Prong** pour la mesure de la puissance, un stroboscope et une balance analytique.

Pour aboutir aux résultats, on a fait en premier lieu une analyse dimensionnelle qui nous a permis de déterminer les paramètres les plus importants du problème. Ensuite on a fait l'expérience en maintenant constants certains de ceux-ci et en faisant varier d'autres.

.../...

Enfin en traçant des courbes on a essayé de trouver les relations qui relient ces facteurs et tiré des conclusions.

.../...

<u>T A B L E D E S M A T I E R E S</u>	Pages
Sommaire	IV
Table de notations générales	VII
Introduction	1
Chapitre I : - Analyse dimensionnelle	3
1.1 - Sélection des paramètres significatifs.	4
1.2 - Détermination des groupes adimensionnels	5
Chapitre II :- Conception et description du montage expérimental	11
2.1 - La soufflerie	11
2.2 - Modèle expérimental (Rotor SAVONIUS)	11
2.3 - Les instruments de mesure	16
Chapitre III : - Résultats	24
3.1 - Variation de C_p en fonction de s/D	26
3.2 - Variation de C_T en fonction de s/D	28
CONCLUSION	30
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	34
ANNEXE (1) - Programme de calcul en langage Basic	36
ANNEXE (2) - Tableaux des mesures et résultats	43
ANNEXE (3) - Figures, dessins et courbes	54

TABLE DE NOTATIONS GENERALES

. Coefficient de puissance	C_P	Unités
. Coefficient de couple	C_T	-
. Vitesse de rotation du Rotor	Ns	tr./min
. Vitesse de rotation du Rotor	ω	rd/sec.
. Rapport de vitesse	$\lambda = \frac{u}{V}$	-
. Nombre de Reynolds	Re	-
. Force sur le bras du frein	F	grammes
. Couple sur le frein	T	N-m
. Puissance disponible sur l'axe	P	W
. Vitesse du vent	V	m/sec
. Masse volumique de l'air	P	kg/m ³
. Hauteur du rotor	H	m
. Diamètre du Rotor	D	m
. Ecart central	s	m
. Surface projetée du rotor	$S = H \times D$	m ²
. Masse volumique du rotor	δ	kg/m ³
. Diamètre des plaques terminales	d	m
. Viscosité dynamique de l'air	μ	$\frac{N-S}{m^2}$
. Tours par minute	TPM	-
. Vitesse circonférentielle de l'éolienne	u	m/s

.../...

I N T R O D U C T I O N

L'homme dispose de plusieurs sources d'énergie parmi lesquelles on peut citer, le pétrole, le charbon, le soleil, les vagues, les atomes et enfin le vent.

Parmi celles-ci, le vent est l'une des plus anciennes sources domestiquées par l'homme sous forme mécanique. En effet depuis toujours, l'homme a essayé d'utiliser cette énergie "gratuite" et inépuisable pour ses propres fins. C'est ainsi qu'il y a longtemps, il l'utilisait pour propulser à travers les océans ses navires à voiles et pour moulinier les céréales ou puiser de l'eau avec les moulins à vent.

De nombreuses études furent faites pour une meilleure utilisation de cette puissance disponible presque partout. Et à l'heure actuelle où les réserves en combustibles fossiles traditionnels s'épuisent, où nous sommes en pleine crise énergétique et où les défenseurs de l'environnement, ces nostalgiques des énergies propres commencent à s'indigner ; la question sur l'utilisation de l'énergie éolienne comme source de remplacement se pose avec acuité.

En effet PRUNT (cf. [2]) estime la puissance totale disponible dans l'atmosphère à 3×10^{17} kilowatts en prenant une vitesse et un poids moyen pour l'enveloppe atmosphérique. Mais seulement la portion se trouvant dans les plus basses couches de l'atmosphère **est** disponible pour l'homme. WILLET (cf. [2]) après certaines suppositions conclut que la puissance du vent disponible pour les éoliennes est approximativement de 20 billions de kilowatts (2×10^{10}).

.../...

Si on compare cette puissance du vent avec des estimations sur l'énergie potentielle totale disponible dans l'eau de part le monde, et basées sur le débit moyen qui s'écoule vers la mer ou les lacs intérieurs et leur hauteur moyenne, cette dernière s'élève à 5×10^8 kilowatts dont 10 % est déjà utilisé. Ceci met en évidence l'importance du problème soulevé.

Un des principaux soucis réside dans l'amélioration de la performance des machines nous permettant de capter cette énergie qui est en général faible pour les machines à trainée ; particulièrement celles du type SAVONIUS ayant cependant l'avantage bien connu d'être d'une réalisation simple et peu coûteuse.

Parmi les techniques d'amélioration de puissance des éoliennes de ce type, nous nous intéressons à la méthode de carénage. Elle consiste à placer l'éolienne à l'intérieur d'une enceinte fermée qui peut être soit des volets de guidage comme suggéré par ROMANI (cf. [11]), soit une simple tuyère pour accélérer la vitesse au passage de l'éolienne.

Comme il n'existe pas d'informations sur la variation de l'écart central s (figure 12 page 70) d'une éolienne SAVONIUS conventionnelle placée dans une conduite, nous nous proposons de l'étudier par l'emploi d'un modèle réduit. Les résultats sont présentés et discutés dans les chapitres qui suivent.

.../...

CHAPITRE I

ANALYSE DIMENSIONNELLE

L'essai sur les modèles réduits et l'analyse dimensionnelle sont deux outils très utilisés en ingénierie pour l'étude expérimentale de problèmes dont les solutions mathématiques, graphiques ou même par ordinateur sont trop complexes. On l'utilise aussi pour vérifier les solutions d'un problème obtenues analytiquement et la validité des hypothèses faites en cours de résolution. C'est la conjonction des deux qui permet d'obtenir des modèles mathématiques presque parfaits représentant la réalité.

Cette expérimentation peut se faire soit sur des prototypes, ce qui est généralement très dispendieux, soit sur des modèles réduits dont la similitude complète avec le vrai prototype est indispensable. (cf. [1] et [8])

Trois conditions doivent être remplies :

- La similitude géométrique c'est-à-dire l'existence d'une forme similaire entre le modèle et le prototype et ^{que} les dimensions linéaires de l'un à l'autre soient reliées par un facteur d'échelle constant.
- La similitude cinématique c'est-à-dire que par exemple, s'il s'agit d'un écoulement sur deux objets géométriquement similaires, les champs d'écoulement doivent avoir la même forme et les rapports de vitesses et d'accélération correspondantes doivent être identiques. Ceci implique la similitude géométrique des lignes de courant.
- La similitude dynamique, c'est une conséquence des deux premières. Pour maintenir la similarité géométrique et cinématique, les forces agissant sur les masses de fluide correspondantes doivent être reliées entre elles par des rapports constants.

.../...

Si nous sommes dans cette situation, nous pourrions passer directement des résultats expérimentaux sur le modèle à l'extrapolation sur le vrai prototype.

D'autre part l'intérêt de l'analyse dimensionnelle réside dans le fait qu'elle nous permet d'obtenir le maximum d'informations à partir de très peu d'expériences ; ce qui est une source d'économie financière ainsi que de temps.

En effet les paramètres dimensionnels obtenus peuvent être utilisés pour corréler les données dont la présentation demande un nombre minimum de courbes.

Ainsi devant la complexité de l'écoulement turbulent développé sur une éolienne qui tourne à une vitesse constante, nous allons nous limiter à une simple analyse dimensionnelle.

Cette analyse est basée sur deux théorèmes :

- a) Toute équation qui est homogène sur le plan dimensionnel peut être mise sous une forme telle que les variables se retrouvent dans l'équation uniquement à l'intérieur de certains groupes adimensionnels.
- b) On peut montrer que toute combinaison adimensionnelle peut être exprimée sous forme de produits des variables élevées à certaines puissances.

I.1. Sélection des paramètres significatifs

Cette partie demande une certaine expérience et un minimum de connaissance sur le phénomène à analyser. Il s'agit de faire la liste de tous les paramètres qui affectent le rendement de l'éolienne.

D'ailleurs mieux vaut en inclure trop que pas assez, ceci n'est pas grave car si le terme n'est pas significatif l'expérimentation le montrera. Mais d'autre part il faut éviter ces termes redoutants qui augmentent le nombre des groupes adimensionnels et par conséquent le nombre d'expériences pour faire leurs corrélations.

.../...

Pour le rotor Savonius, les principales variables pouvant affecter la puissance P sont :

- le couple sur l'axe de rotation T
- la vitesse angulaire du rotor ω
- la vitesse du vent V
- la masse volumique de l'air ρ
- la viscosité dynamique (absolue) de l'air μ
- la hauteur du rotor H
- le diamètre du rotor D
- l'écart central s

I.2 Détermination des groupes adimensionnels

Ces groupes sont souvent désignés sous le nom de groupes π et le théorème de "Vaschy-Buckinhan" permet de les déterminer.

a) Equation symbolique exprimant la puissance :

$$P = f(T, \omega, V, \rho, \mu, H, D, s)$$

ou encore :

$$g(P, T, \omega, V, \rho, \mu, H, D, s) = 0$$

Dans ces relations f et g sont des fonctions qui ne peuvent être déterminées que par l'expérience.

b) Choix des dimensions primaires fondamentales:

Les variables figurant dans l'équation symbolique peuvent s'exprimer en fonction de ces dimensions de base qui peuvent être soit la masse (M), la longueur (L) et le temps (t) ; soit la force (F), la longueur (L) et le temps.

Le choix adéquat dépend de la simplicité de l'expression des paramètres de l'équation symbolique.

Choisissant F, L, t, nous aurons :

.../...

Les 9 variables de l'équation symbolique	P	T	w	V	ρ	μ	H	D	s
Expression en fonction de F, L et t	FLt^{-1}	FL	t^{-1}	Lt^{-1}	Ft^2L^2	FLt^2	L	L	L

Choisissant M, L, t par contre on aura :

Variables de l'équation symbolique	P	T	w	V	ρ	μ	H	D	s
Expression en fonction de M, L, t	M^2t^3	M^2t^2	t^{-1}	Lt^{-1}	ML^{-3}	MLt^{-1}	L	L	L

Nous prenons arbitrairement ce deuxième tableau, puisque les expressions des variables sont presque identiques du point de vue simplicité.

D'autre part on constate que les trois dimensions primaires sont nécessaires pour exprimer les **neufs** variables de notre équation.

C) Nombre de paramètres répétitifs et leur choix:

Formons la matrice dimensionnelle, on aura

	P	T	w	V	ρ	μ	H	D	s
M	1	1	0	0	1	1	0	0	0
L	2	2	0	1	-3	-1	1	1	1
t	-3	-2	-1	-1	0	-1	0	0	0

Le rang de la matrice est au maximum égal à trois, car M, L et t engendrent l'ensemble des variables.

.../...

Calculons le déterminant suivant :

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 1 \\ -3 & -2 & 0 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ -3 & -2 \end{vmatrix} = -1 \neq 0$$

Donc le rang de la matrice est trois, d'où la nécessité de choisir trois paramètres répétitifs parmi les **neufs** variables et de s'en servir pour exprimer toutes les autres.

Mais il faut choisir les bon paramètres, ceci implique une analyse de la nature du problème. Dans notre cas, la forme du rotor, son principe et le brassage de l'air, nous font penser que sûrement les forces d'inertie et forces visqueuses vont influencer la performance ; donc le nombre de Reynolds devra être parmi les groupes adimensionnels. Par conséquent on choisit comme variables répétitifs ρ , V et D .

d) Groupes adimensionnels:

Un théorème nous dit que le nombre de ces groupes est égal au nombre de paramètres de l'équation symbolique diminué du rang de la matrice dimensionnelle ; d'où on aura ici

$$9 - 3 = 6 \text{ groupes}$$

Exemples de calculs :

$$* \Pi_1 = \rho^a V^b D^c P$$

$$\text{donc on doit avoir } M^0 L^0 t^0 = (ML^{-3})^a \times (Lt^{-1})^b \times (L)^c \times (ML^2 t^{-3})$$

$$\text{soit } M^0 L^0 t^0 = M^a L^{-3a} \times L^b t^{-b} \times L^c \times ML^2 t^{-3}$$

$$\text{ou encore } M^0 L^0 t^0 = M^{(a+1)} \times L^{(-3a+b+c+2)} \times t^{-(b+3)}$$

.../...

$$\text{d'où} \quad \begin{cases} a + 1 = 0 \\ -3a + b + c + 2 = 0 \\ -b - 3 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} a = -1 \\ b = -3 \\ c = -2 \end{cases}$$

$$\text{alors } \pi_1 = \frac{P}{\rho v^3 D^2}$$

Ce paramètre est à une constante près égal au coefficient de puissance qui est défini comme étant le rapport entre la puissance disponible sur l'axe de rotation de l'éolienne $P = T \times \omega$ et la puissance totale maximale disponible dans l'air traversant la section occupée par le rotor c'est-à-dire l'énergie cinétique de cet air.

Si on pose $S = H \times D$; alors ce nouveau coefficient qu'on emploie en général à la place de π_1 sera :

$$C_p = \frac{T\omega}{\frac{1}{2} \rho S v^3}$$

$$* \pi_2 = \rho^d v^e D^f T$$

Donc on doit avoir $M^0 L^0 T^0 = M^d L^{-3d} \times L^e t^{-e} \times L^f \times ML^2 t^{-2}$

$$\text{d'où} \quad \begin{cases} d = -1 \\ e = -2 \\ f = -3 \end{cases}$$

$$\text{et } \pi_2 = \frac{T}{\rho v^2 D^3}$$

Mais comme pour π_1 , on préfère utiliser à la place de π_2

$$\text{le coefficient } C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho v^2 S^2 D} \quad \text{avec } S = H \times D$$

Il est égal au rapport du couple disponible sur l'axe de rotation au couple disposé dans l'écoulement et égal à

$$(\rho S v) \times v \times \frac{D}{2}$$

.../...

Soit $\frac{\text{masse d'air}}{\text{seconde}} \times \text{vitesse} \times \text{Rayon du rotor}$.

$$\bullet \pi_3 = \rho^g v^h D^i \omega$$

et on trouve après calculs $\pi_3 = \frac{D\omega}{V} = \lambda$, et porte le nom de rapport de vitesse ; c'est-à-dire le rapport entre la vitesse circonférentielle du rotor et la vitesse du vent.

$$\bullet \pi_4 = \rho^j v^k D^l \mu$$

on trouve $\pi_4 = \frac{\mu}{\rho V D} = \frac{1}{Re}$ c'est-à-dire l'inverse du nombre de Reynolds.

De même pour les autres groupes on trouve après calculs :

$$\bullet \pi_5 = \frac{H}{D}$$

$$\bullet \pi_6 = \frac{s}{D}$$

e) Vérification :

Puisque nous avons utilisé les dimensions primaires M, L et t pour faire les calculs, nous allons vérifier avec les dimensions F, L et t si les groupes obtenus sont bien sans dimension.

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{P}{\rho^3 V^3 D^2} = \frac{FLt^{-1}}{Ft^2 L^{-4} (Lt^{-1})^3 L^2} = \frac{FLt^{-1}}{FL^{(-4+3+2)} (2-3) \times t} \\ &= \frac{FLt^{-1}}{FLt^{-1}} = 1 \end{aligned}$$

$$\pi_2 = \frac{T}{\rho V^2 D^3} = \frac{FL}{FL^{-4} (2(Lt^{-1})^2 \times L)^3} = \frac{FL}{FL^{(-4+3+2)}} = \frac{FL}{FL} = 1$$

$$\pi_3 = \frac{D \omega}{V} = \frac{Lt^{-1}}{Lt^{-1}} = 1$$

.../...

$$\pi_4 = \frac{\mu}{\rho V D} \cdot \frac{FL^{-2} t}{\rho t^2 L^{-4} (Lt^{-1}) L} \cdot \frac{FL^{-2} t}{FL^{-2} t} = 1$$

$$\pi_5 = \frac{H}{D} = \frac{L}{L} = 1$$

$$\pi_6 = \frac{s}{D} = \frac{L}{L} = 1$$

Donc les groupes π obtenus sont corrects et l'équation symbolique devient :

$$\frac{P}{\rho V^3 D^2} = f \left(\frac{T}{\rho V^2 D^3} ; \frac{D \omega}{V} ; \frac{\mu}{\rho V D} ; \frac{H}{D} ; \frac{s}{D} \right)$$

ou encore en prenant les coefficients ci-dessus mentionnés et qui ont plus de signification physique on obtient :

$$C_D = f_1 \left(C_T ; \lambda ; Re ; \frac{H}{D} ; \frac{s}{D} \right)$$

La fonction f_1 peut être connue expérimentalement.

I-3 Relations entre les groupes II

Cette partie qui met fin à l'analyse sera traité dans le chapitre III consacré à la présentation des résultats expérimentaux.

.../...

CHAPITRE II

CONCEPTION ET DESCRIPTION DU MONTAGE EXPERIMENTAL

On distingue principalement trois parties dans l'installation finale : la soufflerie qui va simuler le vent ; le rotor SAVONIUS étudié et enfin les divers appareils de mesure qui nous permettent de mesurer la performance de l'éolienne (Fig. 1 p. 59)

2.1 La soufflerie

Elle est constituée d'un ventilateur centrifuge aspirant l'air ambiant et le refoulant dans une conduite horizontale de diamètre ($\emptyset = 30$ cm). Pour éviter le développement d'une couche limite sur la paroi, nous choisissons une conduite de longueur **0,975** m. A l'entrée de la conduite, nous avons pris soin de placer une grille afin d'uniformiser l'écoulement tout en réduisant le niveau de turbulence dans la conduite.

C'est tout juste à la sortie de ce tuyau que devra être placé le modèle dont les dimensions ne doivent pas dépasser celles de la sortie de la soufflerie.

Le ventilateur est entraîné par un moteur monophasé à courant alternatif, dont on peut varier la vitesse entre 650 TPM et 2600 TPM, grâce à un réducteur à engrenages. La puissance nominale de ce moteur est de **3 H.P.** à 1730 TPM, la tension de service 230 V et le courant absorbé 17.6 A.

C'est un appareil distribué par la Reliance Electric Company/Cleveland Ohio sous le numéro C18G 2530ZB.

2.2 Modèle Expérimental (Rotor SAVONIUS)

Deux points fondamentaux nous ont guidé au cours de cette réalisation. D'abord la limite de nos moyens et ensuite le temps que le technicien chargé de la réalisation pouvait consacrer à ce travail.

.../...

Ceci ne nous permettait pas de faire plusieurs éoliennes avec des dimensions géométriques différentes, mais nous imposait de réaliser un seul modèle dont la configuration pouvait à volonté se changer facilement.

En second lieu, il fallait que le montage fût pratique, que tout puisse se démonter facilement, d'où on a évité au maximum l'emploi de moyens d'assemblage permanent, permettant des modifications subséquentes sur les différentes composantes et un travail plus aisé lors de la réalisation des différentes configurations.

Les dessins des différents éléments de ce rotor expérimental sont joints ci-après (voir fig. 2-9 p. 60) ils se composent pour l'essentiel de :

- L'axe de rotation en aluminium, dont on a été obligé d'amincir la partie centrale pour ne pas gêner l'écoulement dans l'écartement central. (fig. 5 p. 61)

Cet axe porte deux filetages qui par l'intermédiaire d'écrous et de contre-écrous permet^{tent} de centrer et serrer les deux plaques terminales à l'extrémité des demi-cylindres du rotor. D'autre part il porte deux parties moletées à ses extrémités pour entraîner les bagues intérieures des roulements à billes qui servent en même temps de butée et une autre partie filetée plus grande que les autres servant à fixer le tambour de frottement sur lequel agira le frein de Prony.

- Deux demi-cylindres en fer blanc provenant de boîtes de conserves que l'on trouve dans le commerce. (fig. 4 p. 62)
- On a d'abord essayé de faire un choix nous permettant de répondre aux dimensions d'une éolienne SAVONIUS à deux étages comme celles trouvées dans le rapport de Simonds & Bedek (Grace Research Institute),

.../...

où l'on a $\frac{H}{D} = 3.11$. ne pouvant pas l'obtenir avec une simple boîte tout en étant limité par la dimension de la conduite (30 cm) on a essayé d'avoir un rapport $\frac{H}{D} = 1.55$ correspondant à un étage c'est-à-dire l'éolienne SAVONIUS conventionnelle.

Parmi les boîtes qui étaient disponibles on avait :

Genre de boîte	Hauteur et Diamètre	$\frac{H}{D}$ pour 1 étage
Tomates entières ABC (France) 425 cm ³ , 230 g	H = 11.5 cm D = 7.3 cm	1.57
Ovaltine 16 oz	H = 15 cm D = 9.5 cm	1.57
Quakers (white Oats)	H = 13 cm D = 9.1 cm	1.428
Gloria écrémé (Lait en poudre)	H = 14.6 cm D = 11 cm	1.32
Nescafé instantané (Nestlé)	H = 13.2 cm D = 11 cm	1.2
Nestlé instantané (Lait entier en poudre)	H = 18.4 cm D = 13 cm	1.41

D'après le tableau on voit que pour une éolienne à simple étage on a l'Ovaltine et la boîte de tomate qui ont un rapport $\frac{H}{D} = 1.57$ qui est très proche de 1.55.

D

.../...

D'autre part avec le choix de la boîte d'Ovaltine ; après les expériences si on avait à faire un prototype, on trouve au Sénégal des barils dont $\frac{H}{D} = \frac{93.5}{58} = 1.6$.

Pour quelqu'un qui ne connaît pas le rotor SAVONIUS, il peut lui sembler bizarre que l'on s'intéresse dans notre étude à des boîtes de conserve. C'est pourquoi il faut préciser que ce rotor est obtenu en coupant un cylindre suivant deux génératrices diamétralement opposées et en décalant ces deux parties suivant le diamètre de coupe ; de sorte que le rotor a la forme d'un "S" lorsqu'on regarde l'axe de rotation en bout. Mais d'habitude ce "S" n'est pas fermé dans sa partie centrale. On laisse un écart entre les demi-cylindre qui au lieu d'être tangents par une génératrice se chevauchent ; ceci afin que le vent ayant frappé la partie concave du rotor qui fait face au vent, passe par cette fente et vient frapper l'autre moitié dans la seconde boucle du "S". D'où intuitivement cette configuration permet d'augmenter le rendement car l'air qui passe par le centre fait une double contribution à la rotation. Rotation qui se fait dès qu'un tel dispositif est placé dans un écoulement fluide car les coefficients de traînée ne sont pas les mêmes pour la partie concave et la partie convexe ; si bien que la poussée sera plus grande dans la partie creuse due principalement à un changement de quantité de mouvement du fluide, créant un déséquilibre de part et d'autre de l'axe, d'où le mouvement s'amorce.

- Deux plaques terminales circulaire en aluminium de diamètre $\emptyset = 23.5$ cm : Elles servent à fixer les demi-cylindre. (fig 2 p 14)

.../...

Elles sont percées en leur centre d'un trou permettant le passage de l'arbre de l'éolienne et portent chacune deux rainures permettant à chaque demi-cylindre de pouvoir glisser diamétralement de manière aisée.

Ceci nous permet de faire varier à volonté la valeur de l'écart central et du grand diamètre du rotor. Il suffit de desserrer les vis et de déplacer les deux parties du "S" symétriquement à l'axe de rotation, jusqu'à obtenir la valeur voulue de l'écartement.

- Quatre plaques de téflon qui ont à peu près la forme d'un demi-cercle et que l'on interpose entre les plaques terminales et les moitiés de boîtes de conserve : Elles ont pour rôle d'augmenter la rigidité lors de la fixation ; car les extrémités des boîtes ne sont pas planes mais plutôt un peu creuses et l'adjonction du téflon sert à aplanir et renforcer ces extrémités qui sont en fer blanc très mince. (fig 7 p 14)
- Et enfin deux blocs en plexiglass qui servent à loger des roulements à billes dont les baques intérieures sont entraînées par l'arbre de l'éolienne. Ces blocs ont des épaulements et reposent par gravité dans des logements (trous) pratiqués dans les supports de l'éolienne devant la soufflerie. (fig 7 p 14)

Après la conception du rotor et sa réalisation il nous fallait l'équilibrer statiquement et dynamiquement, pour éviter les vibrations lors de la rotation de notre machine. Le premier équilibrage est facile et se fait en disposant le rotor sur deux appuis horizontaux, l'axe étant horizontal lui aussi. Si le rotor est statiquement équilibré, après l'avoir placé sur les appuis pour diverses positions, il ne doit pas tourner. Tandis que s'il est déséquilibré statiquement il aura tendance à

.../...

tourner jusqu'à ce que son centre de gravité vienne sous l'axe de rotation dans un plan vertical contenant ce dernier. Si ce cas se produit, il suffit de ramener le centre de gravité du rotor sur l'axe de rotation soit en enlevant du métal de l'éolienne dans la partie la plus lourde du rotor, soit en ajoutant du métal dans la partie la plus légère. Heureusement, l'éolienne est bien symétriquement construite et nous n'avons observé aucun déséquilibre statique.

Pour le second équilibrage qui est très important et qui peut s'il n'est pas réalisé mettre en jeu des forces centrifuges énormes surtout à grande vitesse de rotation ; nous n'avons pas les appareils nécessaires pour le réaliser, d'où on n'a pu rien faire dans ce domaine.

2.3 Les instruments de mesure

a) Frein de Prony :

Il fallait en premier lieu déterminer un moyen simple de mesurer la puissance disponible sur l'axe de rotation. Plusieurs méthodes étaient possibles, mais nous étions limité par la petitesse de la grandeur à mesurer. Après analyse on se retrouvait devant deux alternatives, ou bien construire un frein hydraulique ou bien un frein de Prony.

Enfin de compte nous avons opté pour le frein de Prony à cause de sa simplicité de fabrication et d'opération. Mais en cours d'expérience on s'est rendu compte que le frein hydraulique aurait été plus précis et plus fiable.

Le manque de précision du frein de Prony pour ce genre de mesure vient du fait que le coefficient de frottement n'est pas constant à grands serrages d'où la stabilité du bras.

.../...

Ceci n'est pas un empêchement majeur car dans cette partie de mesure, on observe une variation linéaire de C_p versus λ et une extrapolation jusqu'à zéro peut être obtenue.

D'autre part à cause du frottement, une partie de l'énergie cinétique de rotation est transformée en chaleur, d'où un échauffement du frein qui est normalement fonction de la vitesse de rotation et du serrage. Dans notre gamme de mesure, cet échauffement peut être considéré comme constant et pour le minimiser, nous ajoutons fréquemment de l'huile pour lubrifier. Ce problème est toutefois supprimé car c'est le couple utile que nous mesurons.

Le frein de Prony que nous avons construit est constitué d'un cylindre creux en aluminium, percé sur la surface latérale de quatre trous par où passent les tampons de téflon qui sont fixés sur un anneau non fermé en cuivre, concentrique au cylindre. On peut diminuer ou augmenter le diamètre de cet anneau en faisant tourner dans un sens ou l'autre un bouton muni de filets et qui relie les deux extrémités de l'anneau ouvert. Ceci a pour effet d'enfoncer plus ou moins les blocs de réflon dans les trous du cylindre ; ce qui leur permet de venir serrer le tambour de frottement en acier qui est serré sur la troisième partie moletée de l'axe de rotation. (fig. 8.19 p. 66-67)

On a été obligé de faire le tambour de frottement en acier car le premier qu'on avait en aluminium s'échauffait trop rapidement si bien que le téflon se grippait dessus.

Avec un tel dispositif il nous est très facile de faire varier le couple sur l'axe de rotation.

En ce qui concerne le cylindre portant les trous, il est fait en aluminium et porte des rainures concentriques pour le rendre le plus léger possible. (fig. 8 p. 66)

.../...

Il n'est fermé qu'à une de ses extrémités où on a logé un roulement (ajustage serré) et ménagé un trou de diamètre légèrement supérieur à celui de l'alésage de la bague intérieure du roulement et par où doit passer l'axe de rotation. Tel un chapeau, lorsqu'il est en position il vient envelopper le cylindre de frottement et n'appuie sur l'axe que par le roulement à billes qui repose sur un épaulement de ce dernier. Il porte aussi une tige horizontale de longueur 30 cm qui passe entre les branches d'un "U" fixé sur le support supérieur de l'éolienne. A l'équilibre, la tige doit être exactement au milieu du "U" ; et à son bout est attachée une ficelle de longueur 69 cm qui passe sur une poulie fixée sur le même support et dont la gorge est perpendiculaire au bras du frein. De ce fait le couple s'obtient directement en multipliant la force appliquée à l'autre bout du fil par la longueur du bras. Avec le serrage désiré, lorsque l'éolienne tourne, le tambour entraîne par frottement sur le téflon, le cylindre portant le bras et ce dernier vient buter contre une des branches du "U". Pour ramener la tige à la position d'équilibre il faut ajouter des masses au bout du fil passant par la poulie, si la masse est trop grande le bras vient buter contre l'autre branche.

b) Balance Analytique.

Etant donné que les couples disponibles sur le modèle sont faible, il faut un dispositif très précis pour la mesure des faibles poids (max : 10 gr) qu'on accroche au bout du fil.

Pour cela on a utilisé une balance analytique distribuée par Fisher Scientific et dont la marque est Mettler P1210. Sa tension de service est de 110 V d'où l'utilisation d'un transformateur est nécessaire car cette tension n'est pas disponible à l'école. La gamme d'utilisation est de 0 à 100 grammes avec une précision de $\frac{1}{100}$ e de gramme.

Avant l'utilisation, on commence par centrer le niveau à bulles en jouant sur les rapports de la balance même, celles-ci peuvent s'allonger ou se raccourcir. On pose ensuite la masse à déterminer sur le plateau, puis grâce à un bouton latéral de la balance on fait coïncider sur l'écran, un des trois traits fins qui y apparaissent avec une fenêtre délimitée par deux traits épais. Au fur et à mesure que l'on fait tourner ce bouton des chiffres apparaissent sur le cadran lumineux et lorsqu'on obtient la coïncidence mentionnée ci-dessus, on lit directement la valeur de la masse cherchée.

c) Masses utilisées

Vu nos moyens et la petitesse des masses à utiliser ; nous avons été obligé de fabriquer celles-ci. On a pris du fil de fer qu'on a coupé par groupes de différentes longueurs, ensuite on les a pliés en leur milieu pour permettre de les accrocher au bout du fil du frein.

Bien que ceci peut paraître rudimentaire, on obtient quand même une très bonne précision.

d) Stroboscope, compte-tours magnétique et tachymètre

Afin de déterminer pour chaque serrage du frein la vitesse de rotation du rotor, on a utilisé un stroboscope. Le principe de fonctionnement de cet appareil est très simple.

.../...

Lorsqu'on veut déterminer la vitesse de rotation d'un corps, on l'éclaire par une série d'éclairs très brefs dont on peut faire varier la fréquence en faisant tourner un bouton portant un indice qui nous indique directement la fréquence en T.P.M. Si la fréquence des éclairs est égal à celle du corps en rotation, ce dernier sera éclairé une fois par tour et s'il porte une marque (ou est un corps à symétrie imparfaite), celle-ci apparaîtra constamment éclairé et immobile car on l'éclaire toujours au même moment et que du fait de la persistance rétinienne de l'oeil humain, chaque image reste visible $1/10^e$ de seconde après l'éclair. Par conséquent la seule condition à respecter pour que la mesure puisse se faire est que la vitesse de l'objet en mouvement de révolution ne soit pas trop faible et que le nombre d'éclairs par seconde soit suffisant pour que chaque image persiste sur la rétine jusqu'à l'apparition de la suivante.

Mais il faut faire attention, car si la fréquence des éclairs est n fois plus faible que celle de l'objet (n entier positif), on a encore la même impression de l'image immobile et constamment éclairée. Donc pour que la lecture lue soit la vraie vitesse, il faut trouver la plus grande fréquence d'émission des éclairs qui donne une image nette et immobile.

Pour éviter tout risque d'erreurs lors des mesures, on détermine d'abord l'ordre de grandeur de la vitesse grâce à un tachymètre appliqué sur l'axe de rotation.

Cet appareil combiné avec un mouvement d'horlogerie interne, indique automatiquement la vitesse moyenne de rotation exprimée en TPM.

.../...

Il comprend un boîtier, un cadran gradué avec son aiguille et enfin une tige coaxiale dont la partie centrale est reliée au mécanisme interne qu'elle peut entraîner en tournant. D'autre part on peut y fixer un cône d'entraînement (mâle ou femelle) dont le bout est en caoutchouc ; c'est cette extrémité que l'on appuie sur l'axe du corps tournant et dans le prolongement de ce dernier. Le mouvement de rotation est alors transmis au mécanisme interne du boîtier lorsque le cône tourne grâce au frottement entre le caoutchouc et l'arbre.

L'aiguille nous indique alors la vitesse de rotation ; mais cette lecture est moins précise que celle donnée par le stroboscope car il peut y avoir glissement en cours de mesure si on n'appuie pas assez, ou mauvaise mesure si on appuie trop.

Enfin la vitesse de rotation du ventilateur dont dépend la vitesse du vent dans la soufflerie nous ^{est} donné par un compte-tours magnétique. Cet appareil est constitué d'une sonde de mesure émettant un signal à la présence d'un point magnétisé relié à l'arbre du ventilateur. Les impulsions sont ainsi comptées à l'aide d'un compteur-intégrateur nous donnant directement des fréquences de rotation en TPM après un temps d'intégration réglable.

La durée d'une période de mesure est de l'ordre d'une seconde et les mesures se répètent toutes les secondes. Afin d'éviter le papillotement sur le cadran lumineux, on met avant l'écran une mémoire qui conserve l'affichage de la mesure pendant une seconde.

.../...

e) Tube de Pitot :

Pour la détermination de la vitesse moyenne du vent dans la conduite de la soufflerie nous utilisons un tube de Pitot.

On mesure la différence de pression totale et statique Δp et on calcule la vitesse par l'équation :

$$v = \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$$

Ce pitot comporte deux tubes concentriques dont celui du milieu, ouvert à l'avant est une prise de pression totale et l'autre portant plusieurs orifices latéraux mesure la pression statique. Les extrémités de ces tubes aboutissent aux deux branches d'un manomètre différentiel qui par conséquent nous donne directement la pression dynamique, par le niveau du liquide devant la graduation du manomètre qui a été faite en tenant compte du coefficient d'étalonnage.

Lors de la mesure il faut prendre une précaution particulière afin que le tube soit parfaitement orienté dans la direction de l'écoulement avec son ouverture contre le courant. Cependant jusqu'à un écart angulaire de 15° l'erreur n'excède pas 1 %.

L'influence de la turbulence sur la mesure de la pression dynamique est pratiquement négligeable. L'inconvénient majeur de cet instrument est qu'il ne donne la vitesse qu'en un seul point, or en général c'est la vitesse moyenne qui nous intéresse. Nous sommes obligés de calculer la vitesse moyenne à partir des mesures ponctuelles.

.../...

f) Règle métallique et Pied à coulisse

Ces instruments qui sont d'un emploi courant, vont nous servir à faire les mesures de dimensions ; nous nous en servons surtout pour les valeurs de l'écart central s et de la hauteur H lors des changements de configuration sur l'éolienne.

CHAPITRE III

- R E S U L T A T S -

Comme indiqué au chapitre II, l'exploitation des mesures expérimentales se fait en traçant des courbes qui vont mettre en évidence les relations qui peuvent exister entre les divers paramètres trouvés dans l'analyse dimensionnelle. Ensuite l'analyse de ces courbes permet de tirer des conclusions sur l'étude menée.

Ce chapitre comprend deux parties et pour chacune d'elles, les résultats se rapportent à deux vitesses différentes du vent. Dans un premier temps nous avons pris la vitesse en amont de l'éolienne qui est donnée par le tube de Pitot en lisant la valeur indiquée par le manomètre différentiel et en utilisant les abaques fournies par le manufacturier. Dans un second temps nous avons utilisé la vitesse effective au niveau de l'éolienne ; celle-ci se déduit de la vitesse amont en tenant compte du blocage de la section de passage de l'air par la présence du rotor.

Lorsque l'éolienne tourne, la surface projetée des demi-cylindres dans un plan perpendiculaire à l'axe de la conduite change. Les deux positions extrêmes correspondant au maximum et minimum de la surface projetée $S = H \times D$ sont obtenues lorsque respectivement le grand diamètre (D) et le petit diamètre (D1) du rotor sont dans un plan parallèle à une section droite (A1) de la conduite. (Voir figure 10.p.68)

Le blocage est maximum dans la position 1, d'où la vitesse correspondante V_2 est aussi plus grande pour satisfaire l'équation de continuité de l'écoulement et son incompressibilité. Tandis qu'on obtient exactement le contraire pour la position 2 où la vitesse sera V_3 . Donc la vitesse moyenne effective du vent passant l'éolienne sera égale à la demi-somme des vitesses : V_2 et V_3 .

.../...

L'équation de continuité appliquée entre un point en amont et un autre au niveau de l'éolienne pour les positions extrêmes mentionnées ci-dessus nous permet d'écrire :

$$A_1 V_1 = V_2 \times (A_1 - HD_1) = V_3 \times [A_1 - (D - S) \times H]$$

On suppose qu'il y a écoulement d'air par l'écart central "s" dans la position 1 ; tandis que l'on néglige celui-ci dans la position 2. D'autre part la vitesse V_1 en amont de l'éolienne est obtenue en prenant différentes valeurs données par le tube de Pitot alors qu'on faisait une traverse dans la section de la conduite, on déduit en général que la vitesse moyenne dans la section est égale à la vitesse maximale mesurée au centre multipliée par un facteur de l'ordre de 0,8.

Donc en fin de compte on a :

$$V_3 = \frac{A_1 V_1}{A_1 - (D - S)H}$$

$$V_2 = \frac{A_1 V_1}{A_1 - D_1 H}$$

d'où la vitesse moyenne au niveau de l'éolienne =

$$V = \frac{V_2 + V_3}{2} = \frac{1}{2} A_1 V_1 \left[\frac{1}{A_1 - (D-S)H} + \frac{1}{A_1 - D_1 \times H} \right]$$

.../...

3.1 Variation de C_p en fonction de s/D

a) En se rapportant à la vitesse en amont de l'éolienne :

- En analysant les résultats (cf courbes 1 p.55 tableaux p 44-53) on voit nettement que les courbes sont différentes pour les divers écarts central. D'autre part C_p varie inversement par rapport à l'écartement s et que l'optimum est atteint pour des valeurs du rapport de vitesse de plus en plus grande lorsque l'écart central diminue. Ceci montre que le choix de s/D est important pour une application donnée lorsqu'on ne veut pas dépasser une valeur limite de la puissance.

Enfin on remarque que les valeurs de C_p sont assez élevées, on obtient notre maximum à $C_p \approx 0.50$; ce qui voudrait dire qu'on est parvenu à retirer 50 % de l'énergie cinétique que contenait le vent. Alors que les meilleures performances obtenues dans l'air libre ne dépassent pas 30 % (cf. [10])

Le tableau suivant résume la localisation des optimums :

s/D	0.00	0.0549	0.0905	0.1937	0.3034
λ	1.20	1.15	1.10	1.05	0.88
C_p max.	0.50	0.45	0.41	0.35	0.275

On peut dire qu'une éolienne se trouvant dans une conduite permettant de caréner l'écoulement du fluide moteur, a une performance optimale lorsque l'écart central est nul.

.../...

Enfin on peut noter que les résultats obtenus sont différents de ce qu'on trouve pour une éolienne se trouvant dans l'air libre car dans ce cas des chercheurs ont trouvé que l'optimum est atteint pour $S/D \approx 0.0909 \approx \frac{1}{11}$ et $\lambda \approx 0.9$

(cf. [10])

b) En se rapportant à la vitesse au niveau de l'éolienne :

D'après le tracé des courbes, on voit que cette vitesse permet de bien corréliser tous les résultats. En effet l'ensemble des points suit assez bien une seule courbe moyenne avec une dispersion minime. Cependant sur cette dispersion bien que très petite, nous constatons que le coefficient de puissance C_p varie aussi de manière inverse par rapport à l'écart central s pour des vitesses de rotation assez élevées c'est-à-dire un rapport de vitesse $\lambda \geq 0.65$ et que c'est tout à fait l'inverse pour $\lambda < 0.60$. La corrélation indiquée ci-dessus, qui fait que le rapport s/D est sans grande importance sur le coefficient de couple est très importante. Elle permet de faire l'expérimentation sur un modèle ayant s/D quelconque ; ensuite en faisant la corrélation grâce à l'emploi de la vitesse au niveau du rotor, on est sûr d'obtenir avec une très bonne approximation la courbe pour l'éolienne ayant le s/D qui donne la performance maximale. Donc ceci peut permettre de simplifier la conception des modèles expérimentaux subséquents et de réduire considérablement le nombre d'expériences à faire.

La courbe unique représentant l'ensemble des points a un optimum $C_p \approx 0.175$ pour $\lambda = 0.80$. (Courbe 2 p.56 Tableaux p.44-53)

.../...

Donc on voit qu'en se rapportant à la vitesse au niveau de l'éolienne le coefficient devient trois fois plus faible qu'en se rapportant à la vitesse en amont :

$$\left(\frac{C_{p1}}{C_{p2}} = \frac{0.50}{0.175} \approx 2.86 \right)$$

Ceci montre la grande importance que peut avoir le fait d'envelopper le rotor dans une enceinte ; dans notre cas où l'enveloppe est une conduite cylindrique, nous pouvons dire que le coefficient de notre machine a presque doublé si l'on compare au coefficient de l'éolienne Savonius sans enceinte.

3.2 Variation de C_T en fonction de s/D

Cette partie est moins importante que la précédente, car la puissance étant une fonction du couple disponible sur l'axe ($P = T\omega$) ; les conclusions seront à peu près identiques. (Courbes 3 et 4 p. 51-58 Tableaux p 44-53)

a) En se rapportant à la vitesse en amont de l'éolienne :

On peut dire comme pour l'analyse de C_p que le couple varie inversement par rapport à l'écart central et est plus grand ici pour les faibles vitesses.

Il faut noter aussi que le maximum pour le couple ne correspond pas au maximum de la puissance ; alors qu'on aurait tendance à croire le contraire. En effet la vitesse de rotation intervient.

b) En se rapportant à la vitesse au niveau de l'éolienne :

On remarque la même corrélation que pour l'étude des variations de C_p . Une seule courbe permet de représenter tous les points expérimentaux surtout pour $\lambda \geq 0.5$.

.../...

Tandisque pour $\lambda < 0.5$ on constate que la dispersion augmente et le couple et l'écart central varient dans le même sens.

Ceci nous permet de dire qu'un grand écartement central augmente le couple de démarrage et par conséquent est utile seulement pour vaincre l'inertie de notre système au moment où on le met en marche. Mais dès que le mouvement est amorcé, cet avantage se perd et même devient un inconvénient pour les grandes vitesses de rotation.

Enfin pour terminer, on peut noter sur la courbe que C_T varie de 0.164 à 0.047 pour λ variant de 0.165 à 1.04.

- CONCLUSIONS -

Nous pouvons noter plusieurs points :

- 1°) La vitesse du vent au niveau de l'éolienne permet une très bonne corrélation des résultats du coefficient de puissance et du coefficient de couple.
- 2°) En se rapportant à la vitesse du vent au niveau de l'éolienne nous constatons que le coefficient de puissance prend une valeur maximale $C_p \simeq 0.175$ pour $\lambda \simeq 0.8$. Alors que si on se rapporte à la vitesse du vent en amont du rotor, nous obtenons $C_{p_{\max.}} \simeq 0.50$ pour $\lambda = 1.2$.
- 3°) Nous constatons qu'un grand écart central n'est utile que pour les faibles vitesses. Il facilite les démarrages.
- 4°) Lorsque l'écoulement est caréné par une enveloppe qui permet de diriger le vent et de l'accélérer grâce à l'effet de blocage de la section de passage, nous constatons qu'on obtient une bonne corrélation des mesures en se rapportant à la vitesse effective du vent et que d'autre part la performance est optimale lorsque l'écart central est nul.

Ce résultat semble intuitivement bon, car c'est cette configuration qui offre la plus grande surface projetée de l'éolienne dans la section droite de la conduite, ce qui offre un blocage maximum et donc une vitesse maximale au passage du rotor.

Pour notre étude, nous constatons qu'avec cette géométrie du rotor la vitesse passe de 6.3 m/s en amont à 9.4 m/s au niveau de l'éolienne.

.../...

Ceci est très important si on sait que la puissance qu'une éolienne efficace peut retirer du vent augmente très vite, et disons même pour être plus précis, avec le cube de la vitesse.

Donc le fait de caréner l'écoulement est un moyen qui peut être envisagé pour augmenter la performance des éoliennes et aussi rendre leur utilisation possible dans des zones où la vitesse du vent est très faible. C'est le cas en Afrique Occidentale (cf. [3]) et particulièrement au Sénégal où le meilleur endroit pour l'utilisation de l'éolienne est limitée à la petite zone des Niayes. (fig. 11 p. 69)

Nous proposons pour un meilleur rendement, d'utiliser une éolienne qui se trouve à l'intérieur d'une enveloppe qui dirigera et assurera l'accélération de la vitesse du vent. Nous pensons que la meilleure solution serait d'utiliser au lieu d'un tuyau cylindrique comme ci-dessus qui augmente le coefficient maximum de puissance, une enveloppe à panneau (ou ailette), auto-orientable en fonction du vent grâce à un système comme celui qui est utilisé pour l'orientation des éoliennes à axe horizontal (voir figure 12 p. 70) Mais cette enveloppe aura la forme d'une tuyère convergente-divergente dont le rotor SAVONIUS occupera le col. De ce fait la dépression entre l'amont et l'aval du col sera plus grande et par conséquent la vitesse du vent sera ^{aussi} plus grande au col. (fig. 12 p. 70).

En plus vient se superposer l'effet de blocage. Donc si on choisit bien le site où devra être placé notre éolienne ; le rendement sera appréciable et même disons très élevé si on compare à ce que nous avons trouvé avec une simple tuyau cylindrique.

.../...

Par contre on voit qu'avec une telle construction l'encombrement augmente de beaucoup ; ce qui était déjà un inconvénient en plus du coût plus élevé. En effet une éolienne représente un coût onéreux pour une puissance installée faible ; le prix d'un moteur à essence qui fournirait une puissance comparable est estimée au quart de celui de l'éolienne (cf. [3]). Mais on peut noter que l'écart n'est pas réellement aussi élevé si on tient compte du fait qu'en fonctionnement l'éolienne est peu coûteuse alors que le moteur exige non seulement du carburant qui n'est pas à l'abri des pressions politiques (crise actuelle du pétrole) ; mais surtout un entretien bien considérable. En terme d'amortissement à long terme, l'éolienne est donc plus rentable.

Mais malgré ces considérations ; vu la configuration très simple du rotor SAVONIUS et l'utilisation de matériaux locaux, nous pensons que ce type de construction pourrait rendre de très grands services aux populations autochtones d'Afrique notamment pour l'exhaure de l'eau nécessaire aux hommes, au bétail et à l'irrigation. Mais aussi pour l'électrification qu'on ne peut obtenir par aucun des procédés traditionnels. Cependant dans toutes ces applications, il faudra résoudre le problème de l'intermittence du vent. Ceci peut être résolu en créant des réservoirs pour emmagasiner l'eau et des accumulateurs pour stocker l'électricité. Ainsi on ne sera pas au dépourvu pendant les périodes de calme.

Enfin pour terminer, disons que l'énergie éolienne a des potentialités énormes et par conséquent des recherches pour une meilleure et plus grande utilisation de celle-ci ne peuvent être qu'encouragées.

.../...

Nous pensons aussi que les conclusions auxquelles nous avons abouties et la solution que nous proposons pourraient servir à des applications ou des études subséquentes dans ce très vaste domaine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Groupe de Spécialistes - Standard Handbook for Mechanical engineers, 7° édition, p.9-6 à 9-13 et p. 3 -73 à 3 -76, Mc. Graw-Hill Book Company, 1966.
- [2] Palmer C. Putnam - Power From the wind, 1ère édition, p.15, 23, 28, 32, 88, 101 et 208 - 212 VanNostrand Reinhold Company, 1948.
- [3] I. CHERET - Etude du régime des vents en Afrique Occidentale, 1ère édition, p.5-12 et 21-44, Service de l'hydraulique de l'A.O.F.- 1962.
- [4] MARSHAL F. MERRIAM - Is there a place for the windmill in the less developed countries ? East-West technology and development institute, 1972.

.../...

- [5] R. Bonnefille - Les réalisations d'électricité de France concernant l'énergie Eolienne.
p. 1-3, Direction des études et recherches d'électricité de France, 1975.
- [6] Guy Pieuchard (Groupe de spécialistes) - R4 Mesures et contrôle, 1ère édition
Technique de l'ingénieur, 1977.
- [7] Guy Pieuchard (Groupe de spécialistes) - R5 Mesures et contrôle 1ère édition, Techniques de l'ingénieur, 1977.
- [8] Vinh NGUYEN-DUY - Notes de cours HYD 312
E.P.T., 1978
- [9] D. Le Gourrières - Documents du colloque sur l'énergie
E.P.T., 1978
- [10] - Compte-rendu du colloque sur "l'Energie Eolienne : Réalisations et possibilités" Université de Sherbrooke le 29 mai 1974.
- [11] - Revue "Ecologie"
Numéro Spécial sur l'énergie Eolienne.

ANNEXE (1) PROGRAMME DE CALCUL EN LANGAGE BASIC

ANNEXE (1) PROGRAMME DE CALCUL EN LANGAGE BASICa/ NOMENCLATURE POUR LE PROGRAMME

Choix du programme à exécuter	U
Vitesse de rotation du Rotor	R(I)
Vitesse angulaire du Rotor	W(I)
Couple sur l'arbre de l'éolienne	T(I)
Coefficient de Puissance	P(I)
Coefficient de couple	C(I)
Rapport de vitesse	M(I)
Masse accrochée au bras du frein	F(I)
Compteur pour le nombre de tableaux à imprimer	C
Masse volumique de l'air	R2
Hauteur du Rotor	H
Vitesse du vent en amont de l'éolienne	V1
Ecart central	S2
Rapport S/D	Q1
Section ^{droite} de la conduite	A1
Corrections de la vitesse amont	V2 ; V3
Vitesse au niveau de l'éolienne	V
Surface projetée de l'éolienne	S
Nombre de Reynolds dans la conduite	N1
Compteurs	X ; Y

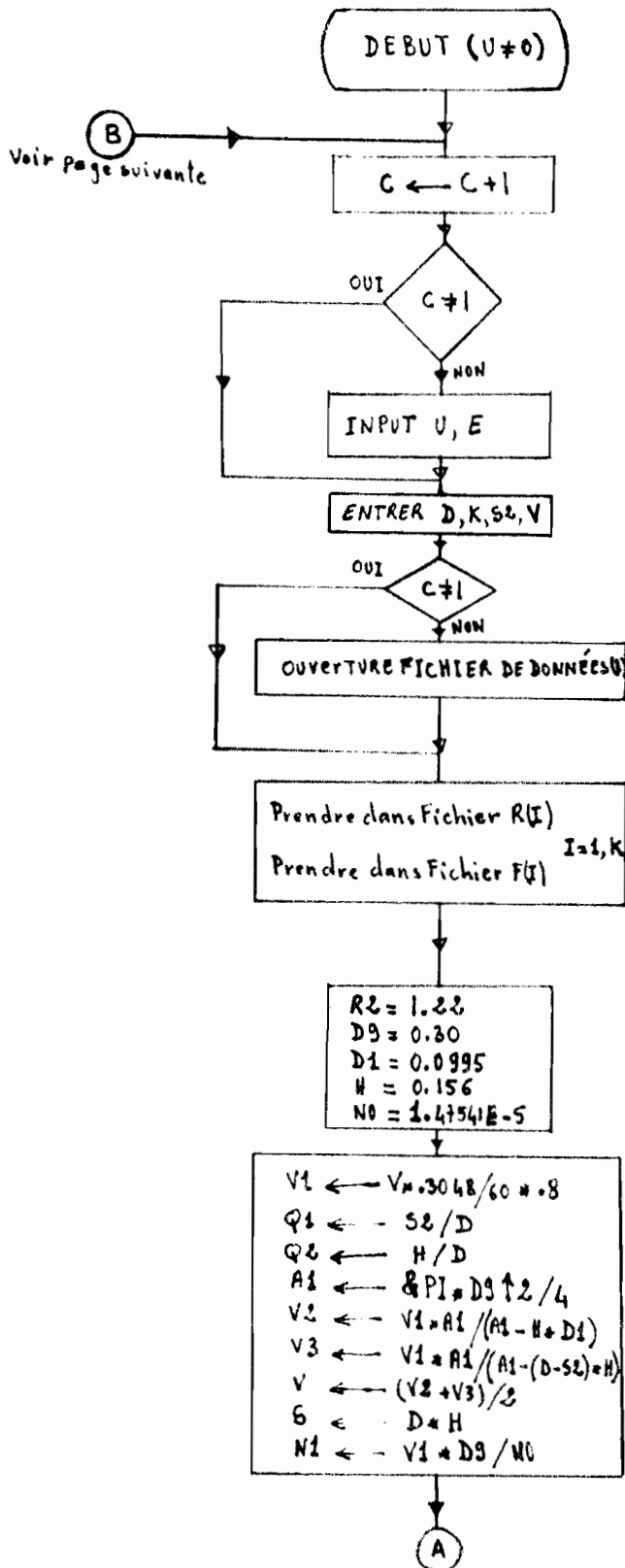
* Pour les constantes caractères voir les énoncés DATA
(fin programme)

* D'autre part les autres symboles sont spécifiés par une instruction PRINT.

.../...

b) Organigramme et listing

N.B. - Organigramme pour l'éolienne placée dans une veine fermée (sans présentation des résultats)



C = compteur

E = Nombre de fois que le programme devra être exécuté.

X = Compteur

K = nombre de lignes de Tableaux

V2 = Vitesse amont

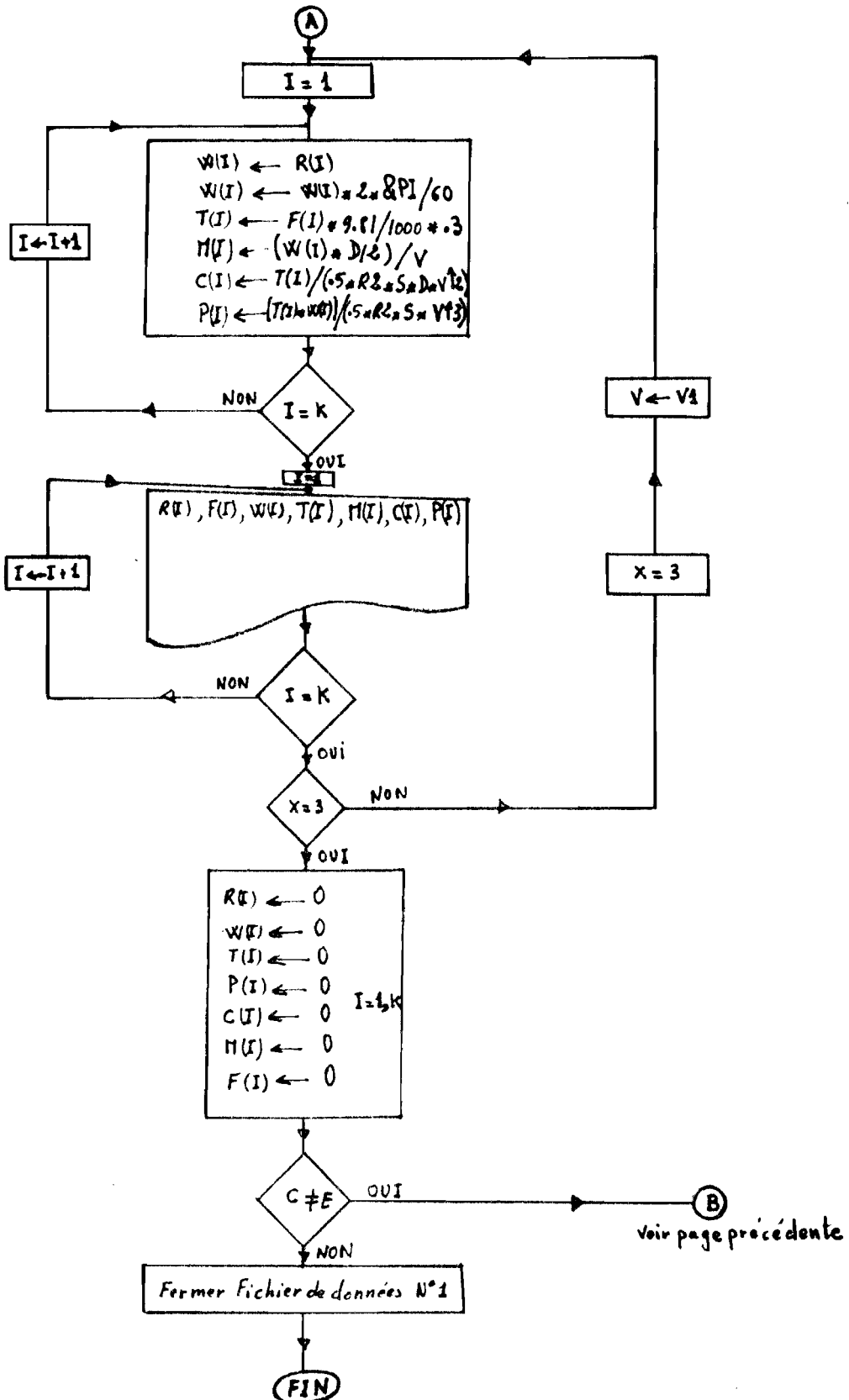
V = Vitesse au niveau de l'éolienne

D9 = Diamètre de la conduite

D1 = Petit diamètre du Rotor

* Pour le reste voir Nomenclature p. 36 bis.

Organigramme (Suite)



N.B. - Listing pour l'éolienne dans une veine fermée ($U \neq 0$) ou dans un jet libre ($U = 0$) -

```

0010 REM PROGRAMMEUR ALASSANE SARR (PROJET DE FIN D'ETUDES
0020 REM CE PROGRAMME CALCULE LE RAPPORT DE VITESSE,
0030 REM LES COEFFICIENTS DE COUPLE ET DE PUISSANCE;
0040 REM ET LE NOMBRE DE REYNOLDS CONNAISSANT: LA
0050 REM VITESSE DU VENT, LA VITESSE DU ROTOR ET LE
0060 REM POIDS NECESSAIRE POUR EQUILIBRER LE COUPLE
0070 REM SUR LE FREIN DE PRONY.
0080 DIM R(30),W(30),T(30),P(30),C(30)
0090 DIM M(30),F(30)
0100 X=0
0110 Y=0
0120 C=C+1
0130 IF C#1 GOTO 0220
0140 REM ARTIFICE POUR POUVOIR UTILISER CE PROGRAMME AUSSI
0150 REM BIEN POUR UNE EOLIENNE PLACEE DANS UNE VEINE FERMEE
0160 REM QUE DANS UN JET LIBRE
0170 PRINT 'NOTA: DONNER A (U) CI-DESSOUS UNE VALEUR'
0180 PRINT 'ZERO SI ON FAIT DES CALCULS DANS UN JET LIBRE'
0190 PRINT 'SINON U#0 DANS UNE VEINE FERMEE'
0200 INPUT U
0210 READ V$,F$,A$,D$,H$,B$,C$,N$,Q$,E$,M$,P$
0220 PRINT 'GRAND DIAMETRE DU ROTOR =?'
0230 INPUT D
0240 PRINT 'NOMBRE DE LIGNES DU TABLEAU DE RESULTATS =?'
0250 INPUT K
0260 IF C#1 GOTO 0290
0270 PRINT 'NOMBRES DE TABLEAUX DESIRES=(FICHER DATA)'
0280 INPUT E
0290 PRINT 'ECART CENTRAL=?'
0300 INPUT S2
0310 IF U=0 GOTO 0350
0320 PRINT 'VITESSE DU VENT (FEET/MIN)=?'
0330 INPUT V
0340 IF U#0 GOTO 0400
0350 IF C#1 GOTO 0380
0360 REM VITESSE DU ROTOR
0370 OPEN FL2,'E80',006,'LISTE DATA #2',IN
0380 MAT GET FL2,R(K),EOF 0430
0390 GOTO 0430
0400 IF C#1 GOTO 0420
0410 OPEN FL1,'E80',004,'LISTE DATA #1',IN
0420 MAT GET FL1,R(K),EOF 0430
0430 REM FORCE POUR EQUILIBRER LE COUPLE
0440 IF U#0 GOTO 0470
0450 MAT GET FL2,F(K),EOF 0480
0460 GOTO 0480
0470 MAT GET FL1,F(K),EOF 0480
0480 R2=1.22
0490 IF U#0 GOTO 0530
0500 PRINT 'HAUTEUR DU ROTOR =?'
0510 INPUT H
0520 GOTO 0600

```

```

0530 REM DIAMETRE SOUFFLERIE
0540 D9=.3
0550 REM PETIT DIAMETRE DU ROTOR
0560 D1=.0995
0570 REM VITESSE AMONT
0580 H=.156
0590 V1=V*.3048/60*.8
0600 REM VISCOSITE CINEMATIQUE
0610 N0=1.47541E-05
0620 REM CALCUL DES RESULTATS
0630 Q1=S2/D
0640 Q2=H/D
0650 IF U=0 GOTO 0740
0660 A1=&PI*D9^2/4
0670 REM (EFFET DE BLOCAGE:POSITION 1)
0680 V2=V1*A1/(A1-H*D1)
0690 REM (EFFET DE BLOCAGE:POSITION2)
0700 V3=V1*A1/(A1-(D-S2)*H)
0710 REM VITESSE MOYENNE AU NIVEAU DE L'EOLIENNE
0720 V=(V2+V3)/2
0730 IF U#0 GOTO 0780
0740 PRINT 'VITESSE DU VENT(POUR JET LIBRE)=?'
0750 INPUT V
0760 V1=V
0770 D9=D
0780 S=D*H
0790 N1=V1*D9/N0
0800 FOR I=1 TO K
0810 W(I)=R(I)
0820 W(I)=W(I)*2*&PI/60
0830 T(I)=F(I)*9.81/1000*.3
0840 M(I)=(W(I)*D/2)/V
0850 C(I)=T(I)/(.5*R2*S*D*V^2)
0860 P(I)=(T(I)*W(I))/(.5*R2*S*V^3)
0870 NEXT I
0880 IF Y=2 GOTO 1560
0890 PRINT FLP,
0900 PRINT FLP,
0910 PRINT FLP,TAB(24);'$'
0920 FOR L=1 TO 60
0930 PRINT FLP,'$';
0940 NEXT L
0950 PRINT FLP,'$'
0960 IF X=1 GOTO 1100
0970 PRINT FLP,TAB(24);'$';TAB(85);'$'
0980 PRINT FLP,TAB(24);'$';' ETUDE D'UNE EOLIENNE SAVONIUS ';
0990 IF U#0 GOTO 1020
1000 PRINT FLP,' PLACEE DANS UN JET LIBRE $'
1010 GOTO 1030
1020 PRINT FLP,' PLACEE DANS UNE CONDUITE ';'$'
1030 X=X+1

```

```

1040 PRINT FLP,TAB(24); '$ ' ;
1050 FOR J=1 TO 55
1060 PRINT FLP, ' ' ;
1070 NEXT J
1080 PRINT FLP, ' ' $ '
1090 GOTO 0910
1100 PRINT FLP,
1110 PRINT FLP,TAB(31); 'CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE ' ;
1120 PRINT FLP, 'L' 'EOLIEENNE: '
1130 PRINT FLP,TAB(31); '-----';
1140 PRINT FLP, '-----';
1150 PRINT FLP,TAB(34); 'H = ' ;
1160 PRINT USING FLP,1170,H
1170 :#.### M *****
1180 PRINT FLP,TAB(34); 'S = ' ;
1190 PRINT USING FLP,1200,S2,01,02
1200 :#.#### M * S/D = H.#### * * H/D = H.#### *
1210 PRINT FLP,TAB(34); 'D = ' ;
1220 PRINT USING FLP,1230,D
1230 :#.### M *****
1240 PRINT FLP,
1250 PRINT FLP,TAB(31); 'QUELQUES DONNEES SUR L' 'ECOULEMENT ' ;
1260 IF U≠0 GOTO 1300
1270 PRINT FLP, ' ' ;
1280 PRINT FLP,TAB(31); '-----';
1290 GOTO 1360
1300 PRINT FLP, 'DANS LA CONDUITE: '
1310 PRINT FLP,TAB(31); ' ' ;
1320 FOR Z=1 TO 48
1330 PRINT FLP, ' ' ;
1340 NEXT Z
1350 PRINT FLP, ' ' ;
1360 PRINT FLP,TAB(33); '-VITESSE MOYENNE DU VENT EN AMONT DE ' ;
1370 PRINT FLP, 'L' 'EOLIEENNE = ' ;
1380 PRINT USING FLP,1390,V1
1390 :#.## M/SEC
1400 IF U=0 GOTO 1450
1410 PRINT FLP,TAB(33); '-VITESSE MOYENNE DU VENT AU NIVEAU DE ' ;
1420 PRINT FLP, 'L' 'EOLIEENNE= ' ;
1430 PRINT USING FLP,1440,V
1440 :#.## M/SEC
1450 PRINT FLP,TAB(33); '-NOMBRE DE REYNOLDS ' ;
1460 IF U≠0 GOTO 1490
1470 PRINT FLP, ' ' ;INT(N1)
1480 GOTO 1500
1490 PRINT FLP, 'DANS LA CONDUITE ' ;INT(N1)
1500 PRINT FLP,
1510 IF U=0 GOTO 1550
1520 PRINT FLP,TAB(18); '(1):EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE AU ' ;
1530 PRINT FLP, 'NIVEAU DE L' 'EOLIEENNE-'
1540 PRINT FLP,
1550 IF U≠0 GOTO 1560

```

```

1560 PRINT FLP,TAB(8);'(';
1570 FOR J=1 TO 95
1580 PRINT FLP,'#';
1590 NEXT J
1600 PRINT FLP,')'
1610 IF Y=2 GOTO 1660
1620 IF X=3 GOTO 1880
1630 IF Y=3 GOTO 1800
1640 IF X=2 GOTO 1880
1650 IF Y=1 GOTO 1800
1660 PRINT USING FLP,1670,V$,F$,V$,A$;
1670 : ( ##### | ##### | ##### | ##### |
1680 PRINT USING FLP,1690,D$,H$,H$
1690 : ##### | ##### | ##### )
1700 PRINT USING FLP,1710,B$,C$,N$,Q$;
1710 : ( ##### | ##### | ##### | ##### |
1720 PRINT USING FLP,1730,E$,M$,P$
1730 : ##### | ##### | ##### )
1740 PRINT FLP,TAB(8);'( TR./MIN. | GRAMMES | RAD./SEC. |';
1750 PRINT FLP,'';
1760 PRINT FLP,'N-M | - | - |';
1770 PRINT FLP,'- )';
1780 Y=Y+1
1790 GOTO 1560
1800 FOR I=1 TO K
1810 PRINT USING FLP,1820,R(I),F(I),W(I),T(I);
1820 : ( ####.# | ##.## | ##.## | #.#### |
1830 PRINT USING FLP,1840,M(I),C(I),P(I)
1840 : #.#### | #.#### | #.#### )
1850 NEXT I
1860 X=X+1
1870 GOTO 1560
1880 PRINT FLP,
1890 IF U=0 GOTO 1970
1900 IF X=3 GOTO 1970
1910 PRINT FLP,TAB(18);'(2) EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE';
1920 PRINT FLP,'EN AMONT DE L''EOLIENNE-';
1930 PRINT FLP,
1940 Y=Y+1
1950 V=V1
1960 GOTO 0800
1970 PRINT FLP,TAB(51);'-----'
1980 PRINT FLP,TAB(52);'-----'
1990 PRINT FLP,TAB(53);'----'
2000 PRINT FLP,TAB(54);'-'
2010 PRINT FLP,
2020 FOR I=1 TO K
2030 R(I)=0
2040 W(I)=0
2050 T(I)=0
2060 P(I)=0
2070 C(I)=0

```

```
2080 M(I)=0
2090 F(I)=0
2100 NEXT I
2110 IF C#E GOTO 0100
2120 IF U#0 GOTO 2160
2130 RESET FL2
2140 CLOSE FL2
2150 GOTO 9999
2160 RESET FL1
2170 CLOSE FL1
2180 DATA 'VITESSE DU ', ' FORCE ', ' COUPLE ', ' RAPPORT DE '
2190 DATA ' COEFFICIENT DE ', ' ROTOR (NS) ', ' (F) '
2200 DATA ' ROTOR (WS) ', ' (T) ', ' VITESSE (MU) ', ' COUPLE (CT) '
2210 DATA ' PUISSANCE (CP) '
9999 END
```

ANNEXE (2) TABLEAUX DES MESURES ET RESULTATS

ETUDE D'UNE EOLIENNE SAVONIUS PLACÉE DANS UNE CONDUITE

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE L'EOLIENNE:

H = .156 M
S = 0.0000 M
D = .189 M
S/D = 0.0000
H/D = .825

QUELQUES DONNEES SUR L'ECOULEMENT DANS LA CONDUITE:

-VITESSE MOYENNE DU VENT EN AMONT DE L'EOLIENNE = 6.30 M/SEC
-VITESSE MOYENNE DU VENT AU NIVEAU DE L'EOLIENNE = 9.44 M/SEC
-NOMBRE DE REYNOLDS DANS LA CONDUITE = 128083

(1): EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE AU NIVEAU DE L'EOLIENNE-

Table with 10 columns: (FORCE, (F), ROTOR (WS), (T), VITESSE (MU), COUPLE (CT), COEFFICIENT DE RAPPORT DE COUPLE, COEFFICIENT DE PUISSANCE (CP), RAD./SEC., N-M). Rows show data for various wind speeds from 992.0 to 510.0.

Handwritten signature and date: 20/05/2008

(2) : EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE EN AMONT DE L'EOLIENNE-

(#	VITESSE DU ROTOR (NS)	FORCE (F) GRAMMES	VITESSE DU ROTOR (WS)	COUPLE (T)	N-M	VITESSE (MU)	COEFFICIENT DE COUPLE (CT)	COEFFICIENT DE PUISSANCE (CP)
<	992.0	4.85	103.88	.0143	-	1.5584	.1058	.3298
<	975.0	5.22	102.10	.0154	-	1.5317	.1139	.3489
<	950.0	6.12	99.48	.0180	-	1.4924	.1335	.3986
<	942.0	6.46	98.65	.0190	-	1.4799	.1410	.4172
<	925.0	6.64	96.87	.0195	-	1.4532	.1449	.4211
<	920.0	6.84	96.34	.0201	-	1.4453	.1492	.4314
<	920.0	6.81	96.34	.0200	-	1.4453	.1486	.4295
<	920.0	7.12	96.34	.0210	-	1.4453	.1554	.4491
<	915.0	6.79	95.82	.0200	-	1.4375	.1482	.4259
<	877.0	6.49	91.84	.0191	-	1.3778	.1416	.3902
<	860.0	8.23	90.06	.0242	-	1.3511	.1796	.4852
<	810.0	8.96	84.82	.0264	-	1.2725	.1955	.4976
<	800.0	9.15	83.78	.0269	-	1.2568	.1996	.5018
<	762.0	9.50	79.80	.0280	-	1.1971	.2073	.4963
<	712.0	10.18	74.56	.0300	-	1.1185	.2221	.4969
<	650.0	11.07	68.07	.0326	-	1.0211	.2415	.4933
<	650.0	10.52	68.07	.0310	-	1.0211	.2295	.4688
<	630.0	11.07	65.97	.0326	-	.9897	.2415	.4781
<	510.0	11.39	53.41	.0335	-	.8012	.2485	.3982
<	210.0	11.61	21.99	.0342	-	.3299	.2533	.1671

ETUDE D'UNE EOLIENNE SAVONIUS PLACÉE DANS UNE CONDUITE

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE L'EOLIENNE:

H = .156 M
 S = .0098 M
 D = .179 M

S/D = .0549
 H/D = .874

QUELQUES DONNEES SUR L'ECOULEMENT DANS LA CONDUITE:

-VITESSE MOYENNE DU VENT EN AMONT DE L'EOLIENNE = 6.30 M/SEC
 -VITESSE MOYENNE DU VENT AU NIVEAU DE L'EOLIENNE = 9.05 M/SEC
 -NOMBRE DE REYNOLDS DANS LA CONDUITE = 128083

(1) EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE AU NIVEAU DE L'EOLIENNE-

TR./MIN.	GRAMMES	RAD./SEC.	N-M	VITESSE (WS)	(T)	VITESSE (MU)	COUPLE (CT)	COEFFICIENT DE PUISSANCE (CP)
940.0	5.63	98.44	.0166	.9704	.0667	.1294		
915.0	5.63	95.82	.0166	.9446	.0667	.1259		
910.0	5.89	95.29	.0173	.9394	.0697	.1310		
880.0	6.43	92.15	.0189	.9084	.0761	.1383		
865.0	6.49	90.58	.0191	.8930	.0769	.1373		
850.0	6.90	89.01	.0203	.8775	.0817	.1434		
840.0	6.99	87.96	.0206	.8671	.0828	.1436		
800.0	7.52	83.78	.0221	.8259	.0890	.1471		
780.0	7.95	81.68	.0234	.8052	.0941	.1515		
755.0	8.09	79.06	.0238	.7794	.0958	.1493		
725.0	8.28	75.92	.0244	.7484	.0980	.1468		
675.0	8.86	70.69	.0261	.6968	.1049	.1462		
675.0	8.61	70.69	.0253	.6968	.1020	.1421		
505.0	9.22	52.88	.0271	.5213	.1092	.1138		
500.0	9.05	52.36	.0266	.5162	.072	.1106		
345.0	9.67	36.13	.0285	.3562	.15	.0816		
307.0	9.76	32.15	.0287	.3169		.0733		
280.0	10.39	29.32	.0306	.2890		.0711		

(2): EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE EN AMONT DE L'EOLIERNE-

(VITESSE DU ROTOR (NS))	(FORCE (F))	(VITESSE DU ROTOR (WS))	(COUPLE (T))	(VITESSE (MU))	(COEFFICIENT DE COUPLE (CT))	(COEFFICIENT DE PUISSANCE (CP))
(TR./MIN.)	(GRAMMES)	(RAD./SEC.)	(N-M)	()	()	()
940.0	5.63	98.44	.0166	1.3947	.1377	.3842
915.0	5.63	95.82	.0166	1.3576	.1377	.3739
910.0	5.89	95.29	.0173	1.3502	.1441	.3891
880.0	6.43	92.15	.0189	1.3057	.1573	.4107
865.0	6.49	90.58	.0191	1.2834	.1588	.4075
850.0	6.90	89.01	.0203	1.2612	.1688	.4257
840.0	6.99	87.96	.0206	1.2463	.1710	.4262
800.0	7.52	83.78	.0221	1.1870	.1840	.4367
780.0	7.95	81.68	.0234	1.1573	.1943	.4498
755.0	8.09	79.06	.0238	1.1202	.1979	.4434
725.0	8.28	75.92	.0244	1.0757	.2025	.4358
675.0	8.86	70.69	.0261	1.0015	.2167	.4341
675.0	8.61	70.69	.0253	1.0015	.2106	.4219
505.0	9.22	52.88	.0271	.7493	.2255	.3380
500.0	9.05	52.36	.0266	.7419	.2214	.3285
345.0	9.67	36.13	.0285	.5119	.2365	.2422
307.0	9.76	32.15	.0287	.4555	.2387	.2175
280.0	10.39	29.32	.0306	.4154	.2542	.2112
212.0	11.13	22.20	.0328	.3145	.2723	.1713

ETUDE D'UNE EOLIENNE SAVONIUS PLACÉE DANS UNE CONDUITE

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE L'EOLIENNE:

H = .156 M
 S = .0157 M
 D = .173 M
 S/D = .0905
 H/D = .902

QUELQUES DONNEES SUR L'ÉCOULEMENT DANS LA CONDUITE:

-VITESSE MOYENNE DU VENT EN AMONT DE L'EOLIENNE = 6.30 M/SEC
 -VITESSE MOYENNE DU VENT AU NIVEAU DE L'EOLIENNE = 8.86 M/SEC
 -NOMBRE DE REYNOLDS DANS LA CONDUITE = 128083

(1) EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE AU NIVEAU DE L'EOLIENNE-

FORCE (F) GRAMES	VITESSE DU ROTOR (WS) (T)	COUPLE (CT)	RAPPORT DE VITESSE (MU)	COEFFICIENT DE PUISSANCE (CP)
920.0	96.34	0.155	0.9405	0.694
915.0	95.82	0.156	0.9354	0.699
900.0	94.25	0.166	0.9200	0.744
895.0	93.72	0.171	0.9149	0.765
877.0	91.84	0.172	0.8965	0.767
875.0	91.63	0.177	0.8945	0.791
870.0	91.11	0.177	0.8894	0.791
830.0	86.92	0.187	0.8485	0.838
780.0	81.68	0.206	0.7974	0.921
765.0	80.11	0.210	0.7820	0.940
672.0	70.37	0.235	0.6870	1.052
650.0	68.07	0.234	0.6645	1.048
625.0	65.45	0.234	0.6389	1.048
595.0	62.31	0.234	0.6082	1.048
585.0	61.26	0.246	0.5980	1.099
542.0	56.76	0.246	0.5541	1.099
420.0	43.98	0.257	0.4293	1.114
335.0	35.08	0.267	0.3425	1.099
250.0	26.18	0.288	0.2556	1.099
218.0	22.83	0.299	0.2229	1.099

(2): EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE EN AMONT DE L'EOLIENNE-

(#	VITESSE DU ROTOR (NS)	FORCE (F)	GRAMMES	TR./MIN.	VITESSE DU ROTOR (WS)	COUPLE (T)	N-M	VITESSE (MU)	COUPLE (CT)	COEFFICIENT DE PUISSANCE (CP)
(	920.0	5.27		96.34	.0155		1.3230		.1372	.3631
(	915.0	5.31		95.82	.0156		1.3158		.1383	.3639
(	900.0	5.65		94.25	.0166		1.2942		.1471	.3808
(	895.0	5.81		93.72	.0171		1.2870		.1513	.3895
(	877.0	5.83		91.84	.0172		1.2611		.1518	.3829
(	875.0	6.01		91.63	.0177		1.2583		.1565	.3939
(	870.0	6.01		91.11	.0177		1.2511		.1565	.3916
(	830.0	6.37		86.92	.0187		1.1935		.1659	.3960
(	780.0	7.00		81.68	.0206		1.1216		.1823	.4089
(	765.0	7.14		80.11	.0210		1.1001		.1859	.4091
(	672.0	7.99		70.37	.0235		.9663		.2081	.4021
(	650.0	7.96		68.07	.0234		.9347		.2073	.3875
(	625.0	7.96		65.45	.0234		.8988		.2073	.3726
(	595.0	7.96		62.31	.0234		.8556		.2073	.3547
(	585.0	8.35		61.26	.0246		.8412		.2174	.3659
(	542.0	8.35		56.76	.0246		.7794		.2174	.3390
(	420.0	8.72		43.98	.0257		.6040		.2271	.2743
(	335.0	9.08		35.08	.0267		.4817		.2365	.2278
(	250.0	9.80		26.18	.0288		.3595		.2551	.1834
(	218.0	10.17		22.83	.0299		.3135		.2648	.1661
(	199.0	10.48		20.84	.0308		.2862		.2729	.1562

ETUDE D'UNE EOLIEENNE SAVONIUS PLACEE DANS UNE CONDUITE

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE L'EOLIEENNE:

H = .156 M
 S = .0306 M
 D = .158 M
 S/D = .1937
 H/D = .987

QUELQUES DONNEES SUR L'ECOULEMENT DANS LA CONDUITE:

-VITESSE MOYENNE DU VENT EN AMONT DE L'EOLIEENNE = 6.30 M/SEC
 -VITESSE MOYENNE DU VENT AU NIVEAU DE L'EOLIEENNE = 8.42 M/SEC
 -NOMBRE DE REYNOLDS DANS LA CONDUITE = 128083

(1) EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE AU NIVEAU DE L'EOLIEENNE-

VITESSE DU ROTOR (NS)	FORCE (F) GRAMMES	VITESSE DU ROTOR (WS) (T)	COUPLE (CT)	VITESSE (MU)	RAPPORT DE COEFFICIENT DE PUISSANCE (CP)
895.0	4.66	93.72	0.137	0.8796	0.815
870.0	4.70	91.11	0.138	0.8551	0.822
865.0	4.70	90.58	0.138	0.8501	0.822
820.0	5.06	85.87	0.149	0.8059	0.885
810.0	5.27	84.82	0.155	0.7961	0.921
785.0	5.43	82.21	0.160	0.7715	0.949
767.0	5.31	80.32	0.156	0.7538	0.928
745.0	5.65	78.02	0.166	0.7322	0.988
720.0	5.65	75.40	0.166	0.7076	0.988
640.0	6.02	67.02	0.177	0.6290	1.053
620.0	6.16	64.93	0.181	0.6094	1.077
586.0	6.35	61.37	0.187	0.5759	1.110
500.0	7.25	52.36	0.213	0.4914	1.268
370.0	7.60	38.75	0.224	0.3636	1.799
355.0	7.60	37.18	0.224	0.3489	1.799
315.0	7.97	32.99	0.235	0.3096	1.893
238.0	8.54	24.92	0.251	0.2339	1.713

(2) EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE EN AMONT DE L'EOLIENNE-

(	VITESSE DU	ROTOR (NS)	FORCE (F)	GRAMMES	VITESSE DU ROTOR (WS)	COUPLE (T)	N-M	VITESSE (MU)	COEFFICIENT DE COUPLE (CT)	COEFFICIENT DE PUISSANCE (CP))
(	TR./MIN.				RAD./SEC.)
(	895.0		4.66		93.72	.0137		1.1754	.1455	.3420)
(	870.0		4.70		91.11	.0138		1.1426	.1467	.3353)
(	865.0		4.70		90.58	.0138		1.1360	.1467	.3334)
(	820.0		5.06		85.87	.0149		1.0769	.1580	.3403)
(	810.0		5.27		84.82	.0155		1.0638	.1645	.3501)
(	785.0		5.43		82.21	.0160		1.0310	.1695	.3496)
(	767.0		5.31		80.32	.0156		1.0073	.1658	.3340)
(	745.0		5.65		78.02	.0166		.9784	.1764	.3452)
(	720.0		5.65		75.40	.0166		.9456	.1764	.3336)
(	640.0		6.02		67.02	.0177		.8405	.1880	.3160)
(	620.0		6.16		64.93	.0181		.8143	.1923	.3132)
(	586.0		6.35		61.37	.0187		.7696	.1983	.3052)
(	500.0		7.25		52.36	.0213		.6567	.2264	.2973)
(	370.0		7.60		38.75	.0224		.4859	.2373	.2306)
(	355.0		7.60		37.18	.0224		.4662	.2373	.2213)
(	315.0		7.97		32.99	.0235		.4137	.2488	.2059)
(	238.0		8.54		24.92	.0251		.3126	.2666	.1667)
(	180.0		8.67		18.85	.0255		.2364	.2707	.1280)

 # ETUDE D'UNE EOLIENNE SAVONIUS PLACEE DANS UNE CONDUITE #
 #####

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE L'EOLIENNE:

H = ,156 M
 S = ,0440 M
 D = ,145 M
 * S/D = ,3034 *
 * H/D = 1,076 *

QUELQUES DONNEES SUR L'ECOULEMENT DANS LA CONDUITE:

-VITESSE MOYENNE DU VENT EN AMONT DE L'EOLIENNE = 6.30 M/SEC
 -VITESSE MOYENNE DU VENT AU NIVEAU DE L'EOLIENNE = 8.09 M/SEC
 -NOMBRE DE REYNOLDS DANS LA CONDUITE = 128083

(1): EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE AU NIVEAU DE L'EOLIENNE-

(#	VITESSE DU ROTOR (NS)	(F)	GRAMMES	RAD./SEC.	N-M	VITESSE (MU)	COUPLE (CT)	COEFFICIENT DE PUISSANCE (CP)
(	730.0	4.23	76.45	.0124	.6852	.0951	.1303	
(	690.0	4.38	72.26	.0129	.6476	.0985	.1275	
(	655.0	4.57	68.59	.0134	.6148	.1027	.1263	
(	615.0	4.77	64.40	.0140	.5772	.1072	.1238	
(	561.0	4.94	58.75	.0145	.5266	.1111	.1170	
(	550.0	5.07	57.60	.0149	.5162	.1139	.1176	
(	460.0	5.63	48.17	.0166	.4318	.1266	.1093	
(	370.0	6.12	38.75	.0180	.3473	.1376	.0956	
(	305.0	6.53	31.94	.0192	.2863	.1468	.0841	
(	210.0	7.00	21.99	.0206	.1971	.1574	.0620	

(2) EN SE RAPPORTANT A LA VITESSE EN AMONT DE L'EDLIENNE-

(VITESSE DU ROTOR (NS))	(FORCE (F))	(VITESSE DU ROTOR (WS))	(COUPLE (T))	(RAPPORT DE COEFFICIENT DE)	(VITESSE (MU))	(COUPLE (CT))	(COEFFICIENT DE)	(PUISSANCE (CP))
(TR./MIN.)	(GRAMMES)	(RAD./SEC.)	(N-M)	()	()	()	()	()
730.0	4.23	76.45	.0134	.8798	.1568	.2759		
690.0	4.38	72.26	.0129	.8316	.1624	.2701		
655.0	4.57	68.59	.0134	.7894	.1694	.2675		
615.0	4.77	64.40	.0140	.7412	.1768	.2621		
561.0	4.94	58.75	.0145	.6762	.1831	.2476		
550.0	5.07	57.60	.0149	.6629	.1878	.2489		
460.0	5.63	48.17	.0166	.5544	.2087	.2314		
370.0	6.12	38.75	.0180	.4459	.2269	.2023		
305.0	6.53	31.94	.0192	.3676	.2421	.1780		
210.0	7.00	21.99	.0206	.2531	.2595	.1314		
177.0	7.32	18.54	.0215	.2133	.2714	.1158		

ANNEXE (3) COURBES, FIGURES ET DESSINS

CP

1-Cp en fonction de λ en se rapportant à la vitesse en amont de l'éolienne

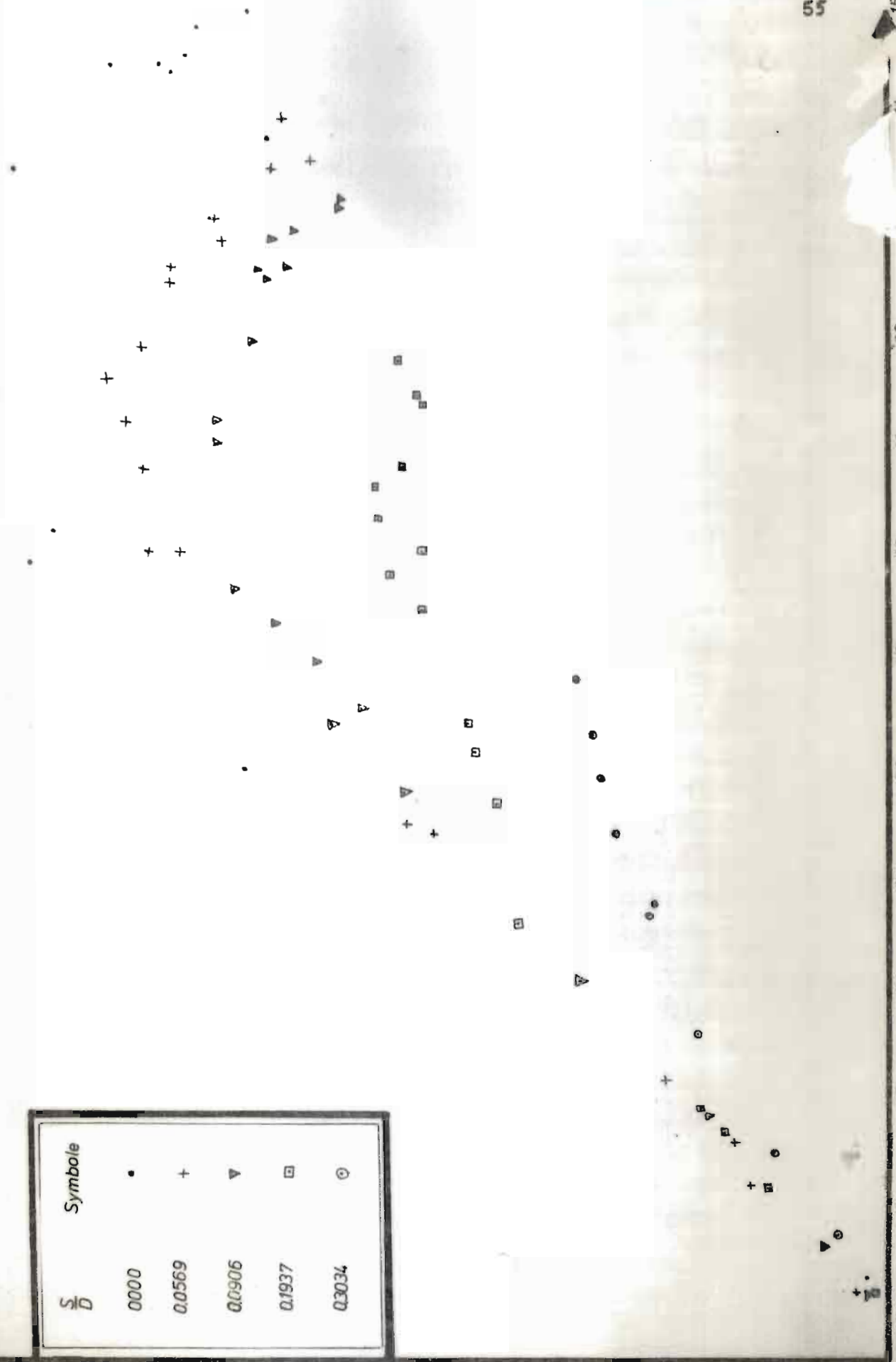
$\frac{S}{D}$	Symbole
0000	•
0.0569	+
0.0906	▽
0.1937	□
0.3034	⊙

0.40

0.30

0.20

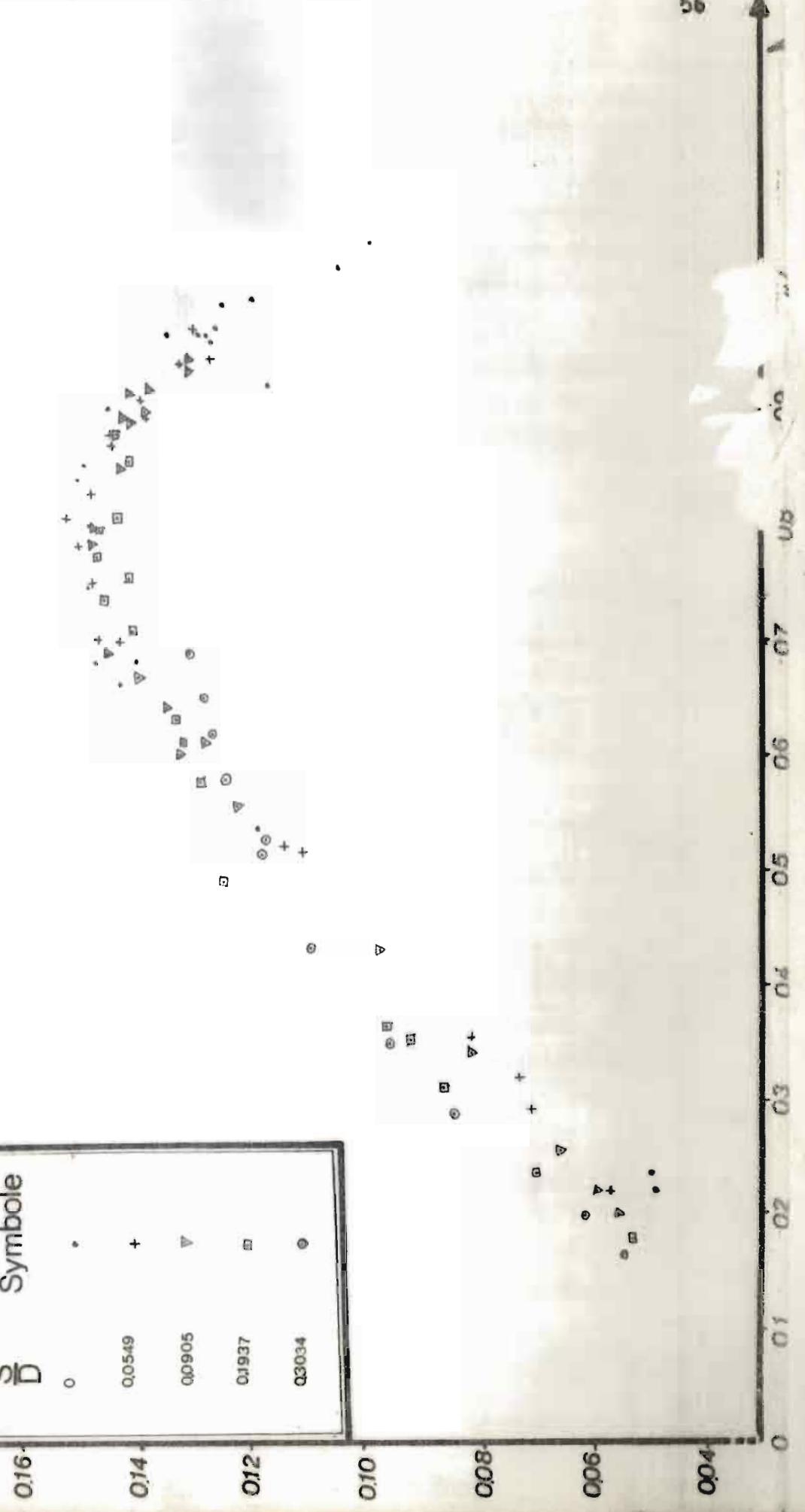
0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5



C_p

C_p en fonction de λ en se rapportant à la vitesse au niveau de l'éolienne

$\frac{S}{D}$	Symbole
0	.
0,0549	+
0,0905	▽
0,1937	□
0,3034	○



3 - C_{1T} en fonction de λ en se rapportant à la vitesse en amont de l'éolienne

λ

0,3

0,2

0,1



$\frac{s}{D}$	Symbole
0	.
0,0549	+
0,0905	△
0,1937	□
0,3034	○

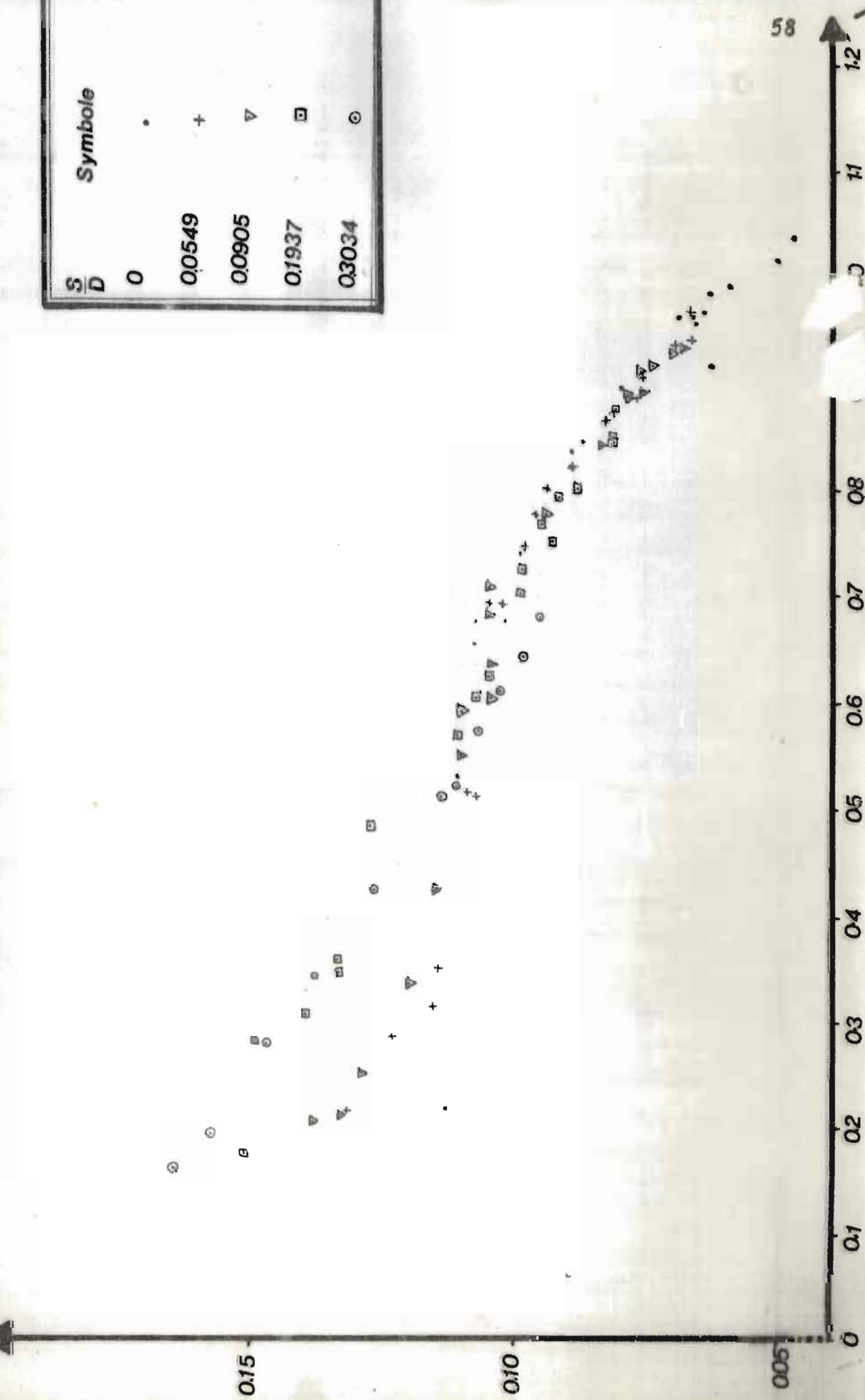
0,1

0,2

0,3

CT

4- C_T en fonction de λ en se rapportant à la vitesse au niveau de l'édiénne



$\frac{S}{D}$	Symbole
0	.
0.0549	+
0.0905	▽
0.1937	□
0.3034	○

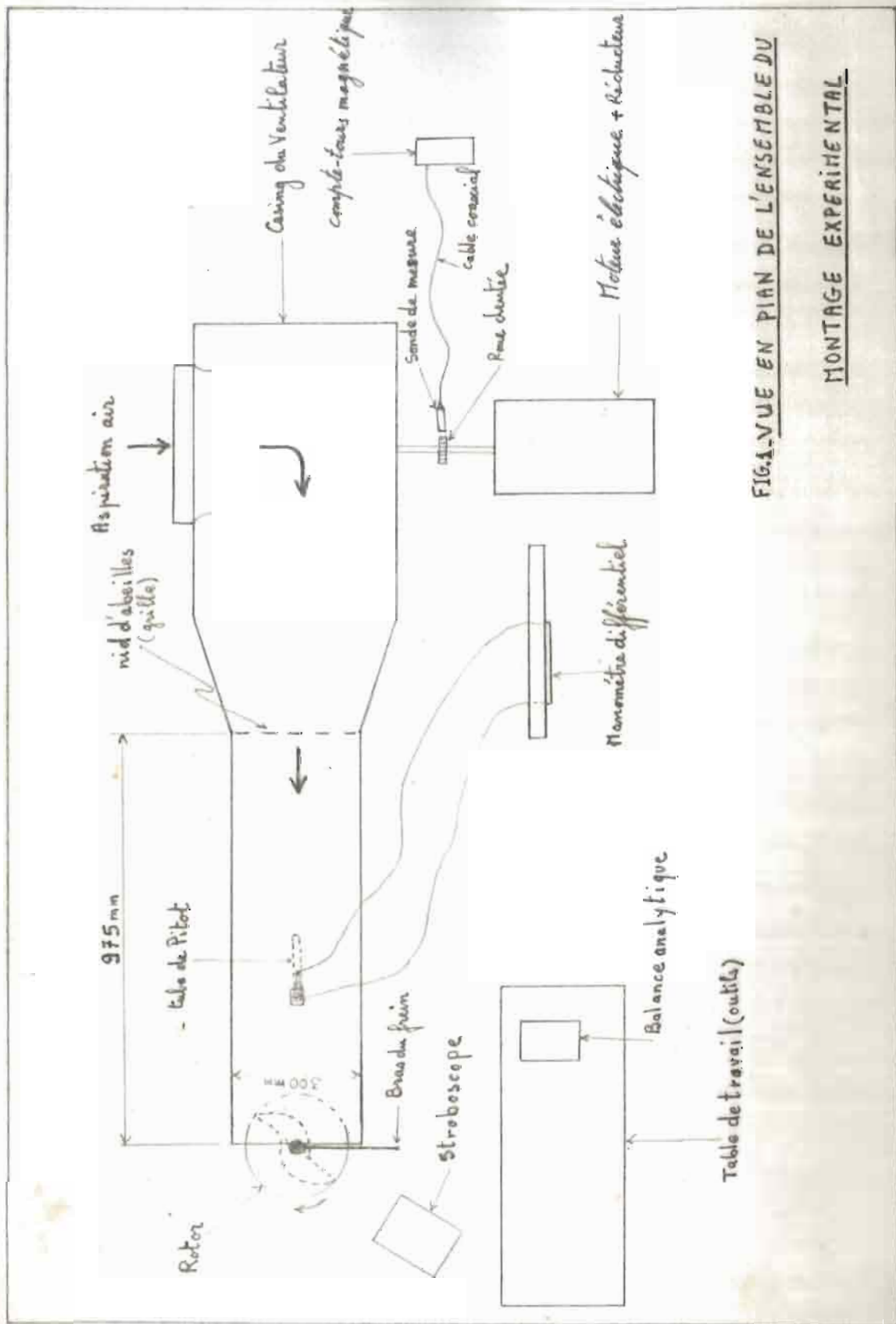
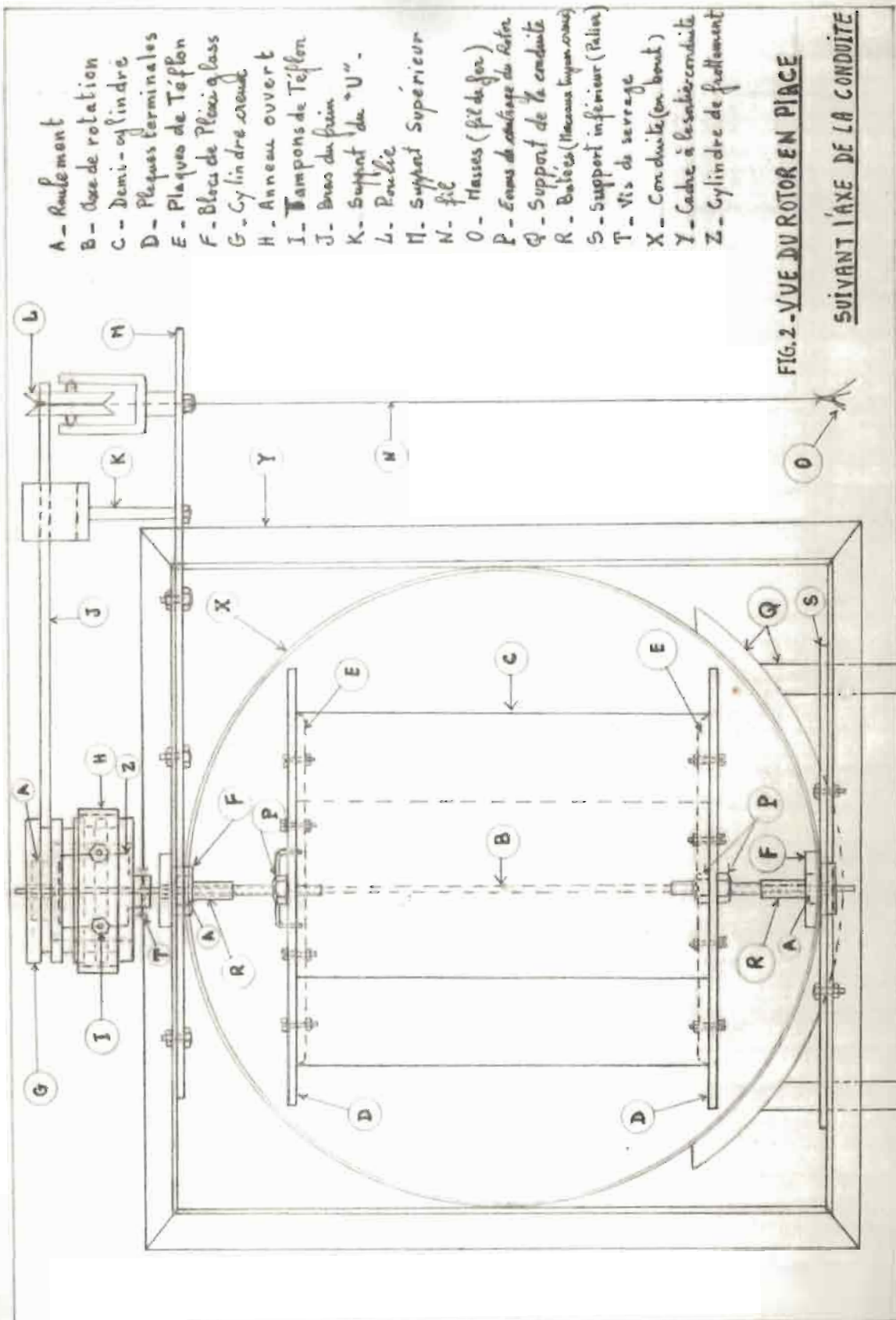
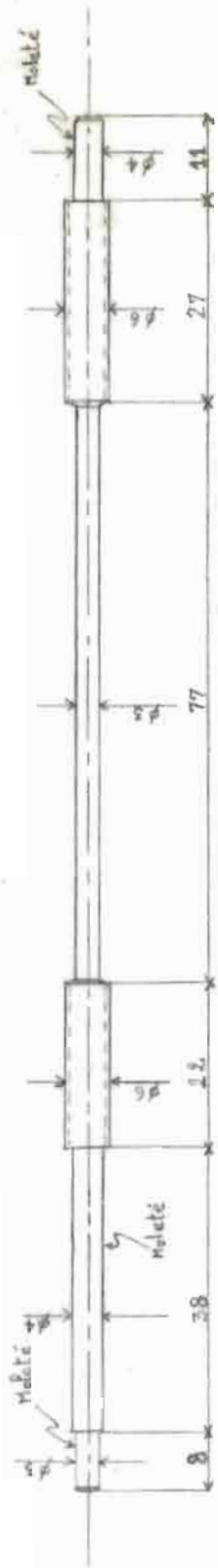


FIG.1-VUE EN PLAN DE L'ENSEMBLE DU

MONTAGE EXPERIMENTAL



ECHELLE 1:2



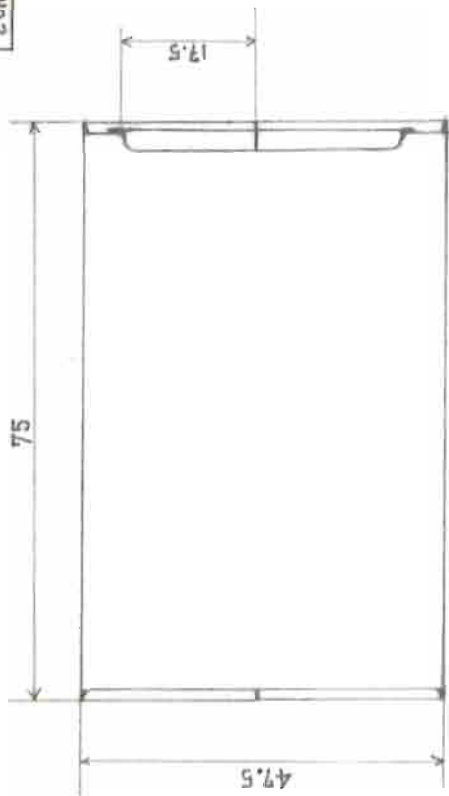
B. AXE DE ROTATION



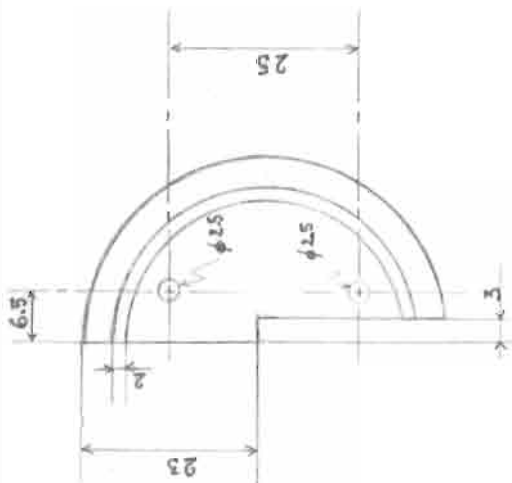
J. BRAS DU FREIN

FIG. 3. PIÉCES B ET J (PAGE 60)

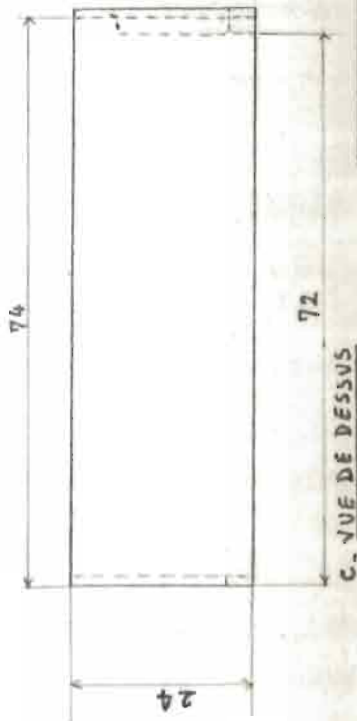
ECHELLE 1:2



C - VUE DE FACE D'UN DEMI-CYLINDRE



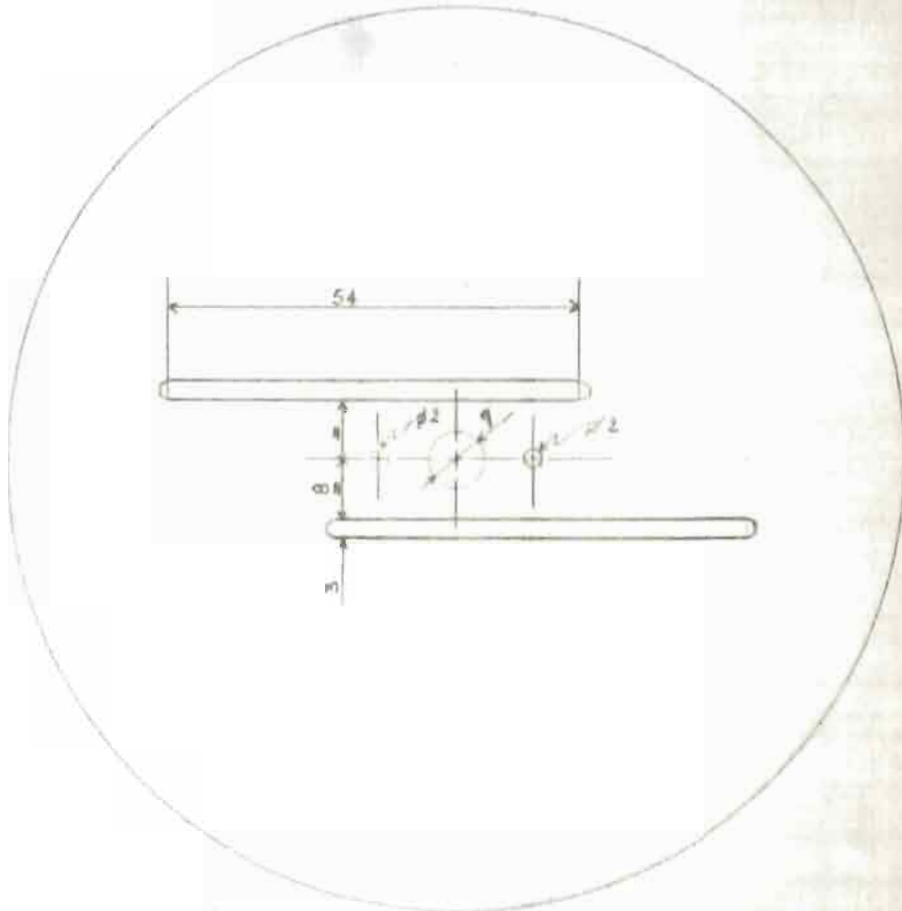
C - VUE DE GAUCHE



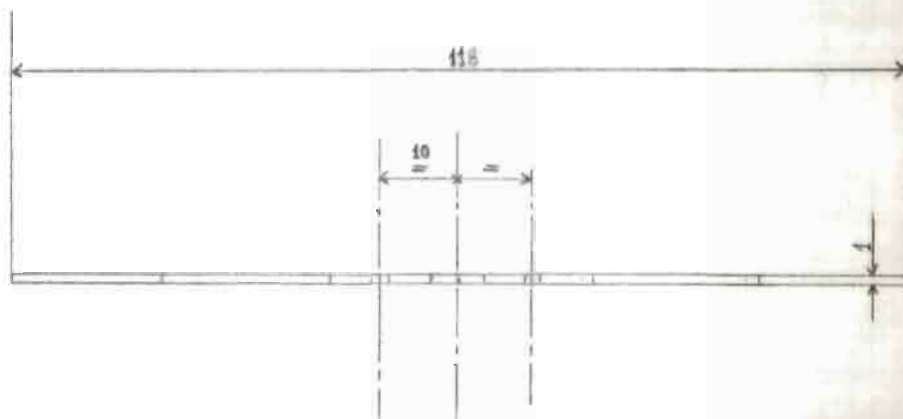
C - VUE DE DESSUS

FIG.4. - PIECE C (PAGE 60)

ECHELLE 1:2



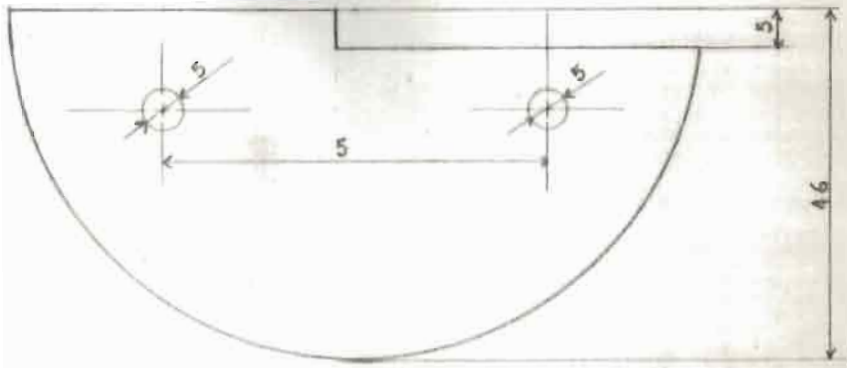
D. VUE DE FACE PLAQUE TERMINALE



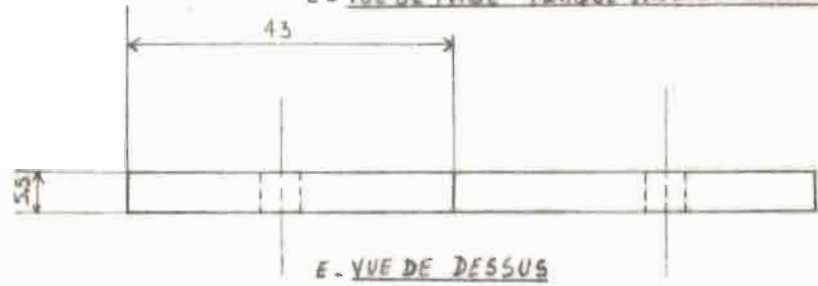
D. VUE DE DESSUS

FIG. 5 - PIECE D (PAGE 60)

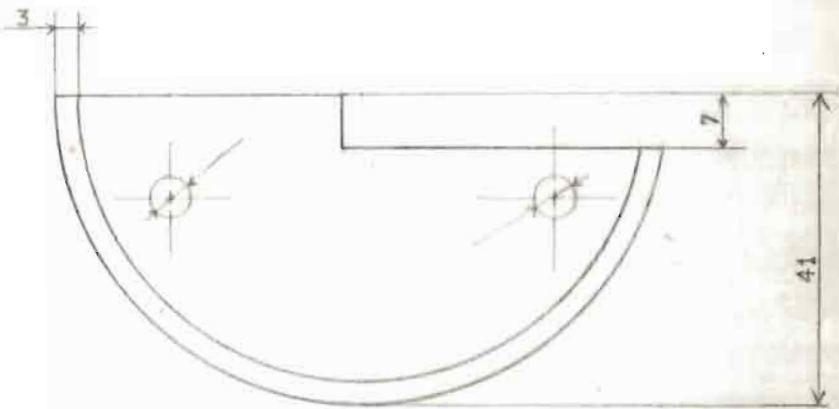
ECHELLE 1:1



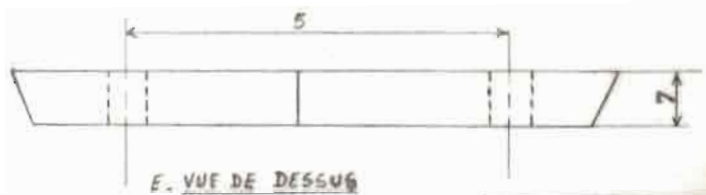
E - VUE DE FACE PLAQUE INFÉRIEURE DE TEFLON



E - VUE DE DESSUS



E - VUE DE FACE PLAQUE SUPÉRIEURE DE TEFLON



E - VUE DE DESSUS

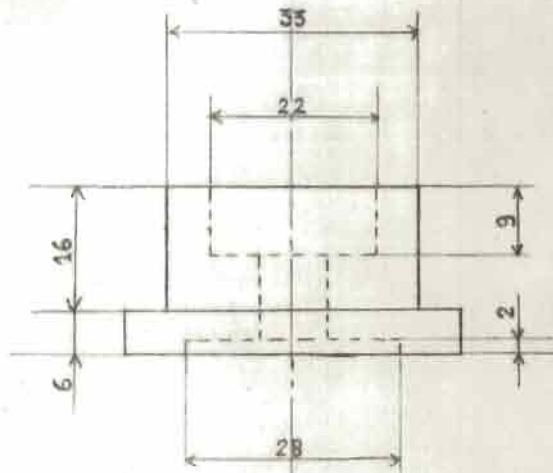
FIG.6 - PIECE E (PAGE 60)

ECHELLE 1:1

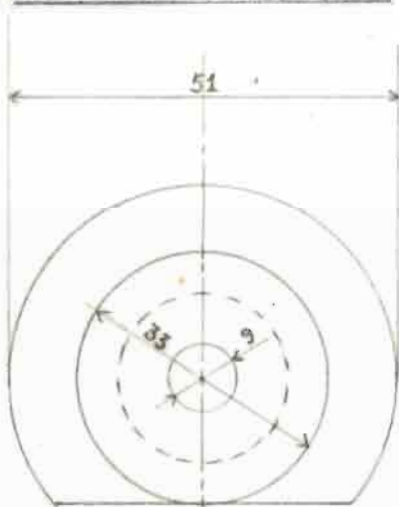


VUE DE DESSUS

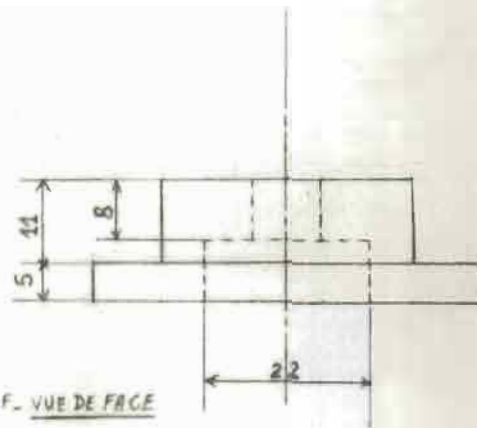
F. BLOC SUPERIEUR DE PLEXIGLASS



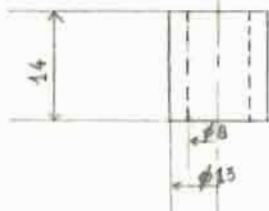
F. VUE DE FACE



F. BLOC INFERIEUR DE PLEXIGLASS



F. VUE DE FACE

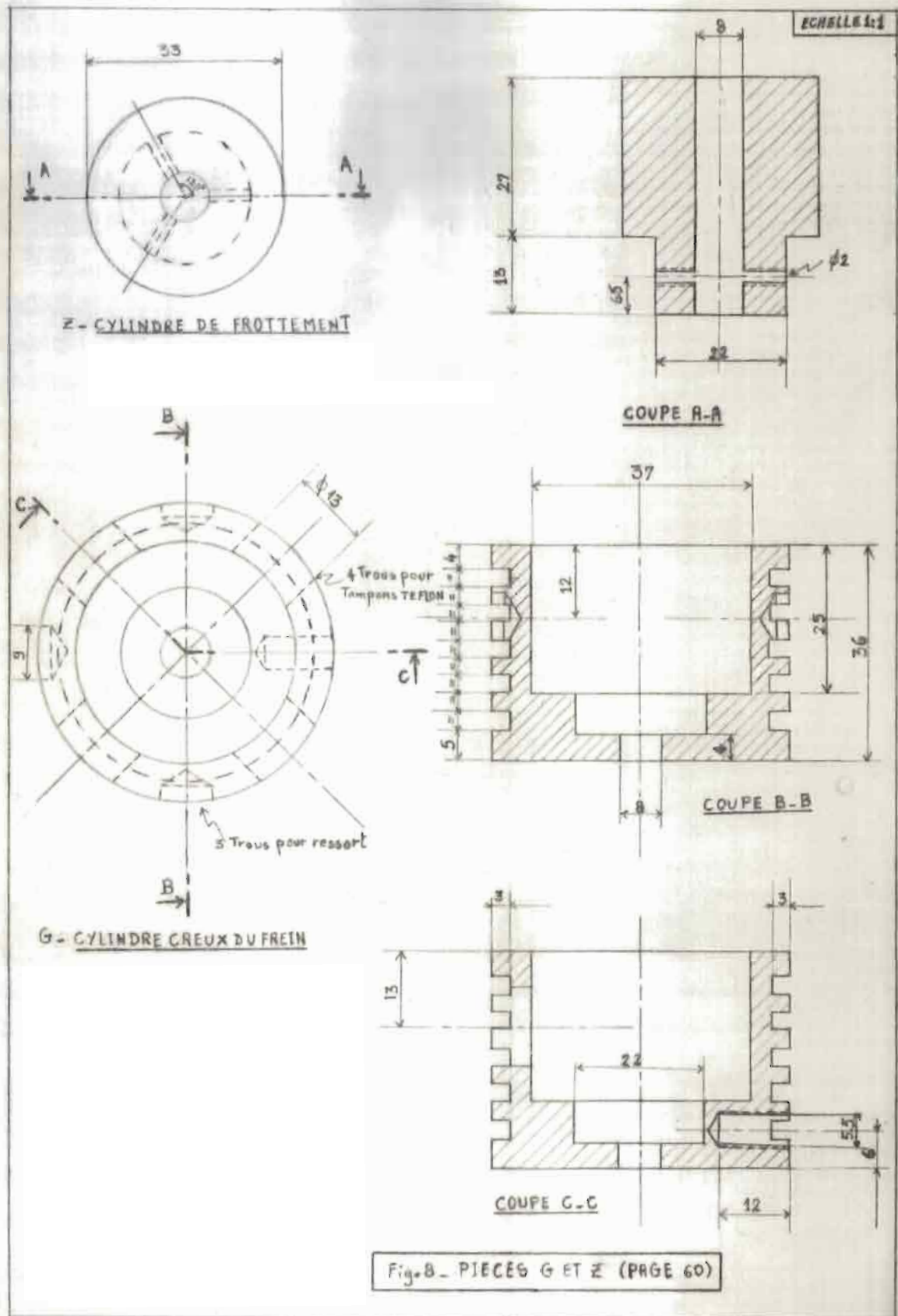


PIECE R (SUPERIEURE)

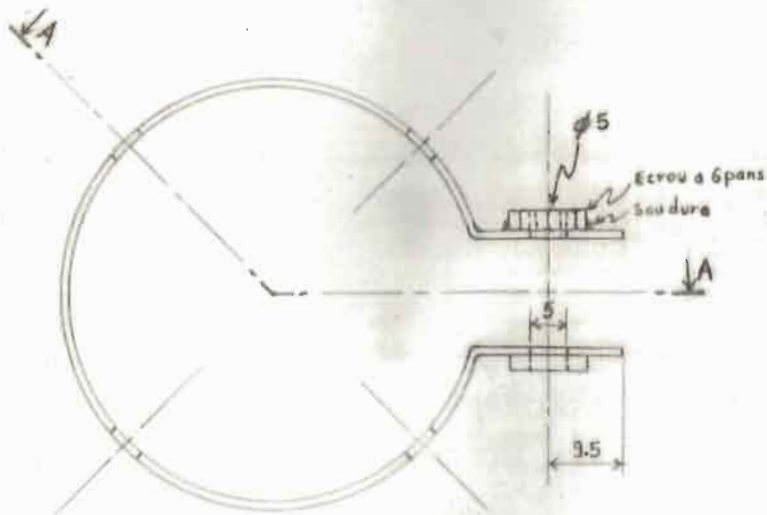


R. PIECE INFERIEURE

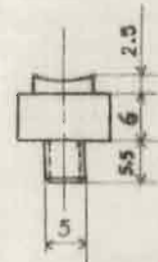
Fig. 7- PIECES F ET R (PAGE 60)



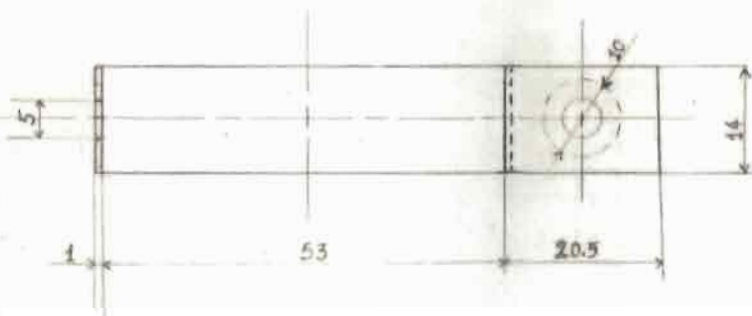
Echelle 1:1



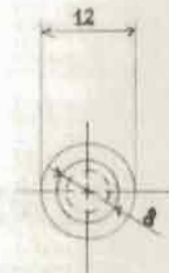
M-VUE DE DESSUS DE L'ANNEAU OUVERT DU FREIN



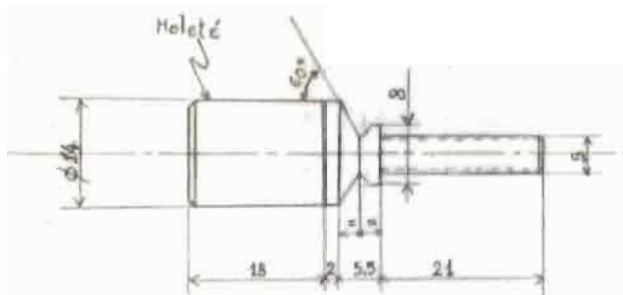
I - VUE DE FACE (TAMPON)



COUPE A-A

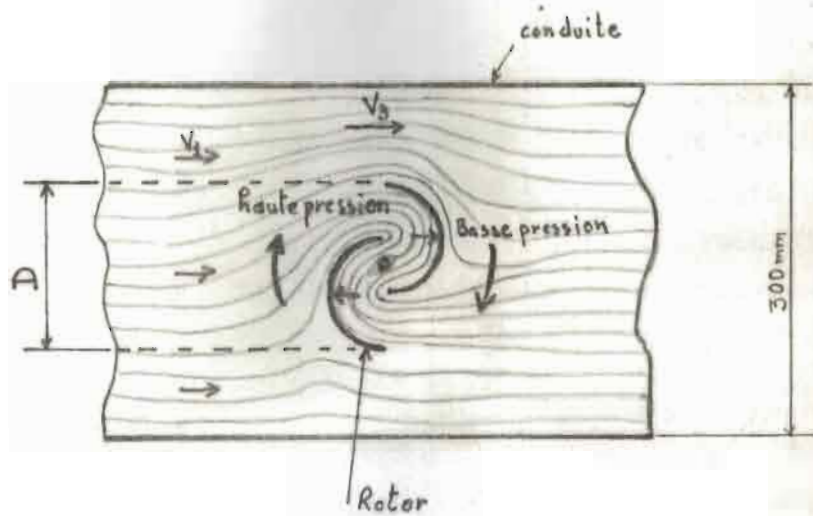


I - VUE DE DESSUS

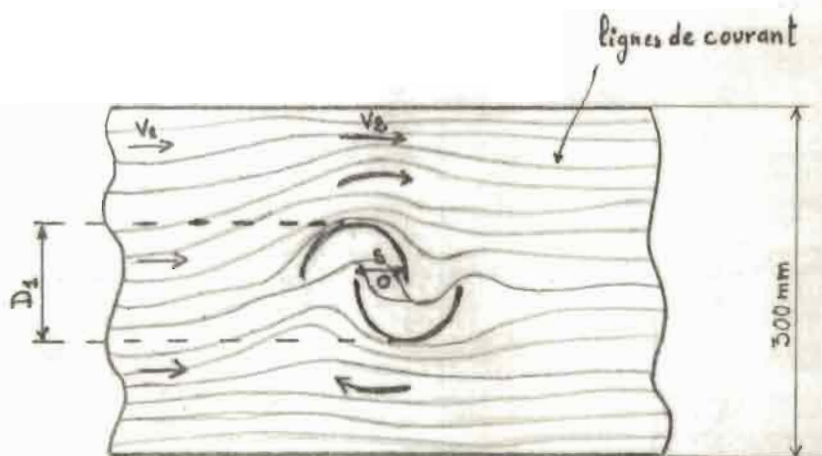


VIS DE SERRAGE DE L'ANNEAU OUVERT DU FREIN

Fig. 9 - PIECES M ET I (PAGE 60)



Position N°1



Position N°2

Fig.10 - Positions extrêmes du rotor dans la conduite

Moyennes des observations quotidiennes à 06, 12 et 18 h TU; sur la période 1951-1955

Vitesses en mètres par seconde

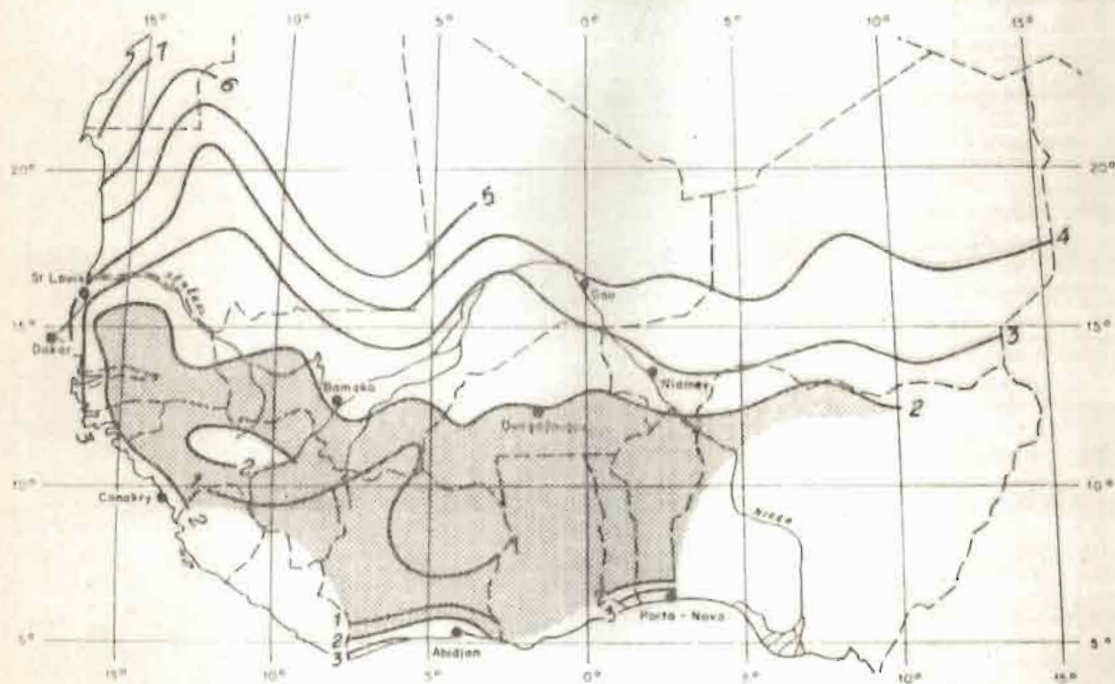
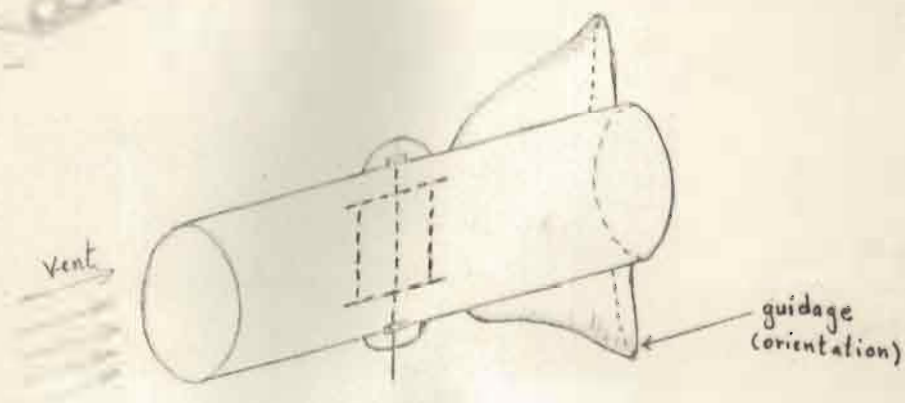
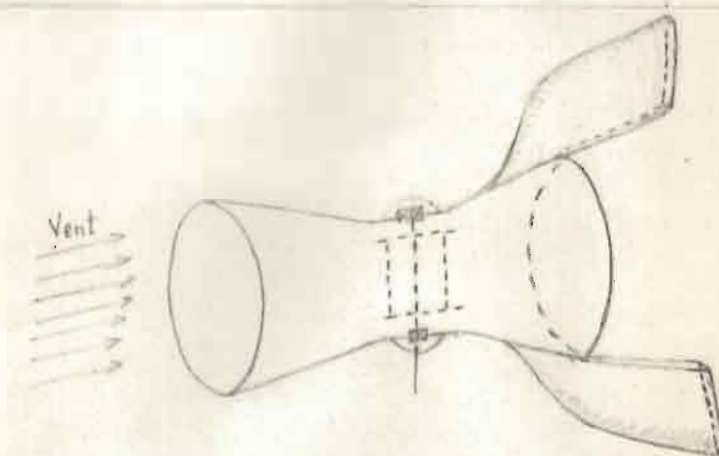


Fig.11 - Isotaches moyennes annuelles de vent (Service Météorologique)



Cylindrique



Convergente-divergente (Section circulaire)

Convergente-divergente (Section rectangulaire)

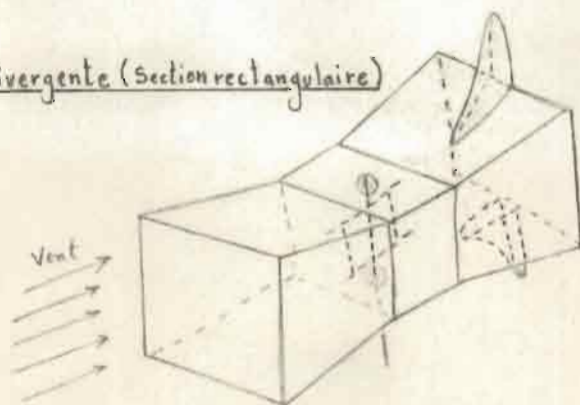


FIG.12 _TYPES D'ENVELOPPES POUR CARENER LE VENT