

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

PROJET
DE
FIN D'ÉTUDES

Gm. 0389

Titre ÉTUDE EXPÉRIMENTALE SUR MODÈLES
RÉDUITS DE QUELQUES ÉOLIENNES LENTES

Auteur Boulaye - D. CAMARA

Génie mécanique

Date JUIN 1983

ECOLE POLYTECHNIQUE
DE THIES

Genie Mécanique

Projet de Fin d'Etudes

titre: Etude Expérimentale Sur Modèles Réduits
de Quelques Eoliennes lentes

Auteur: Boulaye Dado Camara

Directeur de Projet: Dinh Vo NGOC

date de remise: 18 Mai 1983

A mes parents, à tous, ceux qui de loin
ou de près ont contribué à ma formation,
une profonde reconnaissance.

Remerciements

Nous exprimons notre vive gratitude à M^r Michel NGOC, professeur à l'École Polytechnique de Glij, pour sa disponibilité permanente, ses conseils et les résultats tirés de discussions que nous avons eues avec lui et qui ont été essentielles pour mener à bien ce travail.

Nos remerciements à Messieurs Marcel Blais, Guy Vigneault, Camille Boulet, techniciens aux laboratoires de l'É.P.T., pour leur contribution notable à la réalisation de montages et la construction de modèles essayés.

Nos remerciements s'adressent également à Dr. Beccaria de la mission catholique italienne, pour les entretiens qu'il a bien voulu nous accorder et le prêt de certains appareils et à Mrs Jeanne et Konstante pour la construction de la conduite.

Sommaire

Ce projet consiste en une étude, qui a été effectuée au laboratoire, de performances de modèles réduits d'éoliennes à axe vertical.

Une petite soufflerie constituée par un ventilateur centrifuge et une conduite tuyère à section rectangulaire, permet d'obtenir une vitesse moyenne de l'air, au niveau du modèle essayé, de 6,5 m/s, gardée constante pour tous les essais.

Les modèles au nombre de onze, ont une même diamètre de balayage et même hauteur. Ils ont été installés, durant les essais, à la section terminale de la conduite et sont construits à partir de tôles d'acier d'épaisseur environ de 0,5 mm. Les tôles sont fixées à leur base et leur extrémité supérieure par rivetage.

Un filin de bronze permet la mesure du couple utile. La vitesse de rotation déterminée soit par tachymètre ou stroboscope permet le calcul du coefficient de puissance.

Les huit "Filippini simplifiés" essayés, dont 4 à pâtes sans plaque et 4 autres avec, ont permis d'aboutir à la conclusion que les Filippini simplifiés avec plaque, sont plus performants que celles sans.

Il faut noter cependant que le modèle Savinus ($\tau/d = \frac{1}{6}$) est plus performant que les Filippini avec ou sans plaque.

Le modèle à pâtes en plaque simple ($\tau/d = 0,333$) n'est pas aussi à $v = 6,5 \text{ m/s}$, et celle à pâtes triangulaires ($\tau/d = 0,333$) est plus performant que les "Filippini simplifiés" sans plaque avec ($\tau/d \leq 0,187$)

table des matieres

Index	iii
Remerciements	iii
Sommaire	iii
Table des Matieres	iv
Liste des Symboles utilises	vi
Liste des tableaux - Figures	vii
Introduction	1
Chapitre I: Aperçu historique	
1-1. Origine et Historique de l'énergie eolienne	4
1.1.1. Origine	
1.1.2. Historique	
1-2. Principe de base des éoliennes à axe vertical	
1.2.1. Principe de base des éoliennes à axe vertical	8
a). écoulement autour de corps immergés	
b). Cas particuliers de éoliennes à axe vertical	8
1.2.2 - Coefficient de Puissance	10
1.2.3 - Coefficient de couple.	
Chapitre II: étude de la station d'essai	
2-1. Étude de la conduite	
2-1.1. Conduite à section circulaire	12
- descriptif.	

- Détermination de la vitesse de l'air à l'avant de l'éolienne
- 2.1.2 - Conduite à section rectangulaire utilisée 14
 - Vérification théorique de l'uniformité de la vitesse à la section terminale 15
- 2.2 - Appareils de mesure.
 - 2.2.1 - Le filin de Prouty 20
 - 2.2.2 - Le tube de Pitot 21
 - 2.2.3 - L'anémomètre électrodynamique 21
 - 2.2.4 - Le tachymètre 22
 - 2.2.5 - Le stroboscope. 22
 - 2.2.6 - La balance analytique 23
- 2.3 - Détermination de la vitesse du vent au niveau de l'éolienne
 - 2.3.1 - Equations de Continuité 23
 - 2.3.2 - Vitesse moyenne d'écoulement au niveau de l'éolienne 25
- Chapitre III: Caractéristiques des différents modèles d'éoliennes essayés.
 - 3.1 - Rotor Savonius de Référence 28
 - 3.2 - Rotor filippin 28
 - 3.3 - autres modèles. 28
- Chapitre IV: Discussion et Conclusion.
 - 4.1 - Discussion 31
 - 4.2 - Conclusion 32
- References Bibliographiques 34
- Tableaux numériques et Figures (35 à 39)

Liste des symboles

- e : écart central pour le modèle réduit type Savinuss
- d : diamètre balayé de l'éolienne
- h : hauteur de l'éolienne
- z : hauteur de la section perçonnée des aubes.
- g : accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- V_a : vitesse de l'air indiquée par l'anémomètre électrodynamique.
- V_p (ou V_r): vitesse de l'air calculée par la pression différentielle à l'aide du manomètre du tube de Pitot.
- ρ : masse volumique de l'air
- V : vitesse moyenne de l'air au niveau de l'éolienne
- T_h ; T_s : respectivement température humide et sèche de l'air
- P_s ; P_a : respectivement pression statique et d'accrétion de l'air.
- C_p ; C_T : respectivement coefficient utile de puissance et de couple.
- λ : vitesse spécifique ($= \frac{\omega d}{2V}$)
- ω ; N : respectivement vitesse de rotation de l'éolienne en rad/s et tr/min .
- P : puissance utile développée par l'éolienne.
- T : couple utile développé par l'éolienne.
- l : bras du fleau de Prandtl. (en cm)
- m : masse totale mesurée pour la coupe de bras du fleau de Prandtl à sa position initiale.
- $P_a = P_{ar}$ et $P_s = P_{st}$.

Tableaux - Figures

- Tableau $\bar{N}^{\circ} 1$: 1 dimensions caractéristiques de différents modèles essayés.

Tableau N $^{\circ} 1$: Profil de vitesse à la section terminale de la conduite à section rectangulaire.

Tableau 2a, 2b; 2c; 2d; 2e; 2f; 2g; 2h; 2i; 2j
différentes valeurs de coefficients C_p et C_T
pour les différents modèles essayés.

Fig $\bar{N}^{\circ} 1$: Configurations de différents modèles.

Fig 1: Configuration de la Filippini originale.

Fig 2: Montage avec conduite circulaire.

Fig 3: Conduite tuyère à section rectangulaire.

Fig 4: Montage avec conduite à section rectangulaire.

Fig 5a: Prise de Tube de Pitot

Fig 5b: Anémomètre électrodynamique.

Fig 6: Vue de Face du montage.

Fig 7: Courbe d'étalonnage de l'anémomètre électrodynamique.

Fig 8a: à 8j Coefficient de puissance C_p en fonction de la
vitesse spécifique λ pour les différents modèles essayés

Fig 9a à 9j: Coefficient de poussée C_T en fonction de λ

pour les différents modèles énoncés

Fig 10: Donnée des points C_T versus d

Fig 11: Donnée des courbes C_T versus d

Fig 12: Epaisseur en fonction de (τ/d) pour le modèle "Filippini simplifié" sans plaque

Fig 13: Variation du coefficient C_{pmax} en fonction de (τ/d) pour le "Filippini simplifié" avec plaque

N. B: Les figures autres que les courbes ne sont pas à l'échelle. Elles ont été élaborées de manière à mettre en relief les différentes tendances.

Introduction

Le développement d'un pays en général, et du tiers monde en particulier, dépend en grande partie de la maîtrise de ses énergies disponibles.

Les sources disponibles comportent certes l'énergie musculaire tirée de l'homme, de sa famille et du bétail, mais leur exploitation se trouve limitée à cause de la faiblesse de leur rendement d'une part, et des surfaces de terre exploitables existantes pour la satisfaction de leurs besoins physiologiques en grand nombre.

Dans la plupart de ces pays y compris le Sénégal, le pétrole et le charbon sont importés, c'est-à-dire que leur utilisation dans les centrales électriques pour la satisfaction des besoins industriels et domestiques, de réfrigération, de chauffage, d'éclairage et même d'exhaure de l'eau en quantité suffisante et à des prix raisonnables, en tout lieu et pour tout citoyen est quasi impossible.

L'alternative qui s'impose, est donc l'exploitation des énergies renouvelables tirées du vent, du soleil et de la biomasse.

Au Sénégal où les campagnes sont éloignées des stations électriques, où les communications domestiques sont essentiellement d'éclairage mais surtout d'exhaure de l'eau et où

la main d'œuvre qualifiée n'est pas suffisante, l'énergie eolienne peut être utilisée à bon terme.

Utilisation à bon terme signifie, certes, installation de systèmes qui valent. Mais dans des pays, comme le Sénégal, on manque à gagner en efficacité avec une complexité de simplicité des installations est, certainement, ce qui permet d'obtenir (à moyen ou long terme) une meilleure rentabilité.

C'est ainsi que depuis quelques années, des essais en soufflerie ont été effectués au niveau de l'École Polytechnique de Blaise pour une comparaison des performances de forme simplifiée d'éoliens à axe vertical, à celle d'une Savonius, conventionnelle de même hauteur et même diamètre de balayage et essayés dans les mêmes conditions.

Le rapport de Mr N. Guyon Duy Vinh intitulé "Etude expérimentale par l'optimisation de la performance de l'Éolienne Filippini simplifiée", présente les courbes de performance de modèles réduits de Filippini simplifiés, qui dérivent de la Filippini originale [cf. fig. 1] (inventée par Armando Filippini en Ethiopie), en partant de aubes demi-cylindriques, les plaques (comme sur l'originale) étant élargies, jusqu'à la limite du diamètre de balayage et partent du centre de l'aube.

Mais reproduisons ces mêmes aubes sur une station d'essai modifiée. Nous comparons leurs performances à celle obtenues avec les mêmes modèles mais sans plaque. Nous essayons également deux éoliennes, une à pales triangulaires et l'autre à pales plates.

Dans j'ai pu varier pour les modèles, le diamètre de l'arçet celui de balayage étant le même.

Notre montage est très semblable à celui utilisé dans les essais précédents réalisés à l'école, à la différence fondamentale de la tuyère à section rectangulaire que nous utilisons à la place de la conduite circulaire.

Dans l'état on en fait les graphiques de C_p , C_T versus λ qui servent de base aux discussions.

Il faut noter en fin que l'aspect comparaison est ce qui nous préoccupe, les valeurs des coefficients que nous obtenons ne peuvent au aucunement être utilisés pour un dimensionnement.

1.1. Origine et historique de l'énergie éolienne

1.1.1. Origine

L'atmosphère essentiellement de l'oxygène, de l'azote et de l'eau, est caractérisée par sa pression, sa température et son humidité (degré hygrométrique, humidité relative).

Les paramètres varient tous avec l'altitude.

D'autre part, le rayonnement solaire est absorbé de façon très différente, aux pôles et à l'équateur, du fait de la rondeur de la terre.

L'énergie absorbée à l'équateur (par unité. carré de surface de la terre) est donc supérieure à celle des pôles. Les variations de température résultant font que les masses d'air ont des densités différentes au niveau des pôles et de l'équateur.

Il s'en suit leur déplacement, s'effectuant d'une latitude à une autre, c'est des zones de plus forte densité (pression atmosphérique) vers celles de densité moindre.

Il s'établit ainsi un certain équilibre par transfert d'énergie vers les zones à températures extrêmes, qui sans cela ne seraient pas vivables. Les déplacements sont influencés par la force de Coriolis qui s'exerce perpendiculairement à la direction du mouvement, vers la droite dans l'hémisphère Nord, vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

chapitre I

aperçu théorique

C'est tout justement la résultante de tous ces pleuvonnés qui donne naissance aux vents; qui ne sont donc rien d'autre qu'une masse d'air en mouvement.

Par la dynamique, on sait que tout corps en mouvement avec une vitesse v et de masse m , possède une énergie cinétique $E_c = \frac{1}{2} m v^2$. C'est tout justement ^{ce} qui constitue l'énergie éolienne.



Le rayonnement solaire est uniforme, mais dès qu'il se répartit sur une plus grande surface qu'à l'équateur.

1-1.2 - Historique.

Théoriquement, le vent distribue entre 2,5 et $5 \cdot 10^5$ kWh/an. Evanes? Mais très difficilement récupérable car cette énergie est très diluée.

Il est vraisemblable que l'énergie éolienne reste un moyen

pour nous d'alimenter en énergie électrique des int^s très.
ind^s dont les besoins énergétiques sont réduits, ou de passer à
peu de frais et de façon plus silencieuse qu'avec un moteur
thermique.

Transformes de l'énergie éolienne pas par pas de l'eau
ou moulin à grain etc, déjà au 1^{er} S avant J.C les
premiers aéromoteurs existaient en Asie.

Depuis 1802, on a déjà osé à transformer l'énergie
éolienne en électrique. Cette nouvelle application de l'énergie
éolienne, connaît un certain succès et l'on comptait en
1920 jusqu'à 300 centrales d'aérogénérateurs.

Les recherches aérodynamiques importantes pour l'aéronautique
permirent aux moteurs éoliens de faire des progrès sensibles.
Malheureusement à cette époque le coût du pétrole avait mis
le kWh thermique à un niveau de compétitivité inaccessible
à l'énergie éolienne. Mais 1973 le processus inverse
a petit à petit relancé le programme d'étude et de réalisa-
tions d'aéromoteurs.

Il faut du moment où l'on a un dispositif permettant
de créer des forces symétriques par rapport à un axe, on peut
obtenir un mouvement (rotation, déplacement, battement
par exemple) pouvant produire de l'énergie mécanique
transformable en énergie électrique.

Mais il reste bien sûr les questions essentielles auxquelles

On essaye de répondre à ce jour : quelle sera la taille du dispositif?
Combien coûtera-t-il ? Comment obtenir un extrait en facile ?
Pendant combien de temps pourra-t-il fonctionner ? et avec
des vents de quelle force en regard à l'énergie récupérée ?

1.2. Principe de Base des éoliennes à axe vertical

Les aéromoteurs sont en général définis par l'orientation de leur axe par rapport à la direction du vent.

On distingue ainsi :

- Les aéromoteurs à axe horizontal
 - Axe horizontal parallèle à la direction du vent
 - Axe horizontal perpendiculaire à la direction du vent
- Les aéromoteurs à axe vertical : dont les Savonius et les Filippini
- Les aérogénérateurs qui utilisent le déplacement d'un mobile
- Les dispositifs statiques de récupération de l'énergie.

Notre étude concerne les aéromoteurs à axe vertical (notés Savonius ou Filippini)

1.2.1. Principe de Base des éoliennes à axe vertical

a) Écoulement autour des corps immergés.

Quand il existe un mouvement relatif entre un corps solide et un fluide dans lequel ce corps baigne, il y a une force nette créée par le fluide sur ce corps.

Cette force s'écrit :
$$\vec{F} = \iint_{\text{surface du corps}} d\vec{F} = \iint_{S.C} d\vec{F}_{\text{pression}} + \iint_{S.C} d\vec{F}_{\text{viscosité}}$$

S.C : surface de contrôle

La force \vec{F} peut être décomposée en deux composantes

- \perp parallèle à la direction de l'écoulement et appelée traînée.
- \perp perpendiculaire à la direction de l'écoulement appelée portance.

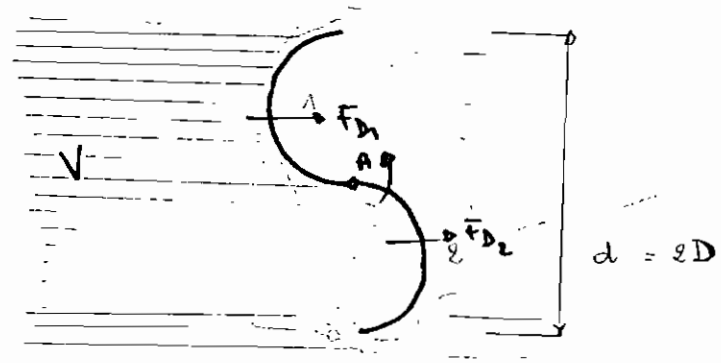
b) Cas particulier des colonnes à axe vertical (Savinius ou Flippin)

- Force de traînée différentielle.

Dans le cas de ces colonnes, le mouvement vertical du rotor est empêché par des brâtes aux deux extrémités (supérieure et inférieure).

En définitive, la seule force utile est celle due à la traînée.

Preons le cas simple d'un rotor Savinius à écartement limite nulle entre les pâles



En considérant l'écoulement incompressible (ce qui est raisonnable, puisque V est petite par rapport à celle du son et d'échanges thermiques de l'air sont quasiment nul)

$$\text{On aura: } F_{D1} = C_{D1} \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 A$$

$$F_{D2} = C_{D2} \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 A$$

$$\text{avec } A = D \cdot h$$

Expérimentalement, il est obtenu que C_{D1} obtenu lorsque la convexité est au vent et C_{D2} la concavité au vent, sont différents. On a $C_{D2} > C_{D1}$

Il y a donc une force résultante $(C_{D2} + C_{D1}) \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 A$

qui peut être appliquée au point A mais avec un moment résultant provoquant la rotation de l'ensemble autour de l'axe A dans le sens anti-horaire.

C'est pourquoi les rotors Savonius et Filippini sont dits machines à traînée différentielle.

1.2.2. Coefficient de Puissance C_p

Considérons la section projetée de l'éolienne dans un plan perpendiculaire à la direction de l'écoulement et contenant l'axe A.

In considérant le cas limite d'une vitesse à l'avant de l'éolienne nulle on a: $\Delta E_{car} = \frac{1}{2} \rho V^2$

$$\text{Or } \dot{m} = \rho h \cdot v \quad \rightarrow \quad \Delta E_o = \frac{1}{2} \rho \dot{m} V^2$$

Suivant la valeur de l'écartement entre les ailettes et la qualité du dispositif d'exploitation, soit P l'énergie utile obtenue. Le rapport de cette puissance sur celle maximale théorique est appelé coefficient de puissance.

$$\text{On note} \quad C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho \dot{m} V^2}$$

1.2.3. Coefficient de Couple.

Considérons la même figure. Soit cette fois-ci V_1 et V_2 respectivement les vitesses à l'avant et à l'aval du rotor Savonius.

In considérant un volume de contrôle renfermant tout juste le rotor, l'air qui le frappe en amont et celui qui le quitte.

en axial, on a un changement de quantité de mouvement
 $m V_1 - m V_2$. Ce changement favorise la rotation de
 l'hélicoptère.

"Le couple maximum théorique que l'on peut obtenir,
 dérive de l'équation d'Euler et est:

$$T = m V_1 \frac{d}{2} - m V_2 \frac{d}{2}$$

$$\text{or } m = \rho h d V_1$$

Mathématiquement, on obtient la valeur maximum de couple
 pour une V_1 donnée, est obtenue lorsque $V_2 = 0$

$$\text{A ce moment on aura: } T_{\text{max}} = \frac{1}{2} \rho h d^2 V_1^2$$

Soit un dispositif permettant de récupérer un couple
 utile T_u . On définit le coefficient de couple

$$C_T = \frac{T_u}{\frac{1}{2} \rho h d^2 V^2}$$

1.2.4 - Conclusion

On va venir de définir C_T et C_P respectivement les
 coefficients de couple et de puissance, ce sont tout justement
 les variations de C_T ou C_P en fonction de $\lambda = \frac{\omega d}{2V}$ et
 des différents modèles, qui constituent l'objet des essais

ω : vitesse de rotation du rotor

d : diamètre de balayage du rotor

V : vitesse du vent au niveau de l'hélicoptère.

h.e.

chapitre II

etude de la station d'essai

2.1. Étude de la conduite

2.1.1. Conduite à section circulaire

C'est la conduite qui a été utilisée dans les essais effectués à l'école jusqu'à date.

- Description

Elle est reliée à la section de sortie rectangulaire du compresseur par un raccord décalé - de rectangulaire à rond.

La longueur était de 218 cm avec un diamètre de 30 cm.

L'uniformité de la vitesse de l'air à la section terminale était assurée par un filet à mailles de dimensions différentes pour provoquer un freinage différentiel.

- Détermination de la vitesse de l'air à l'avant de l'éolienne.

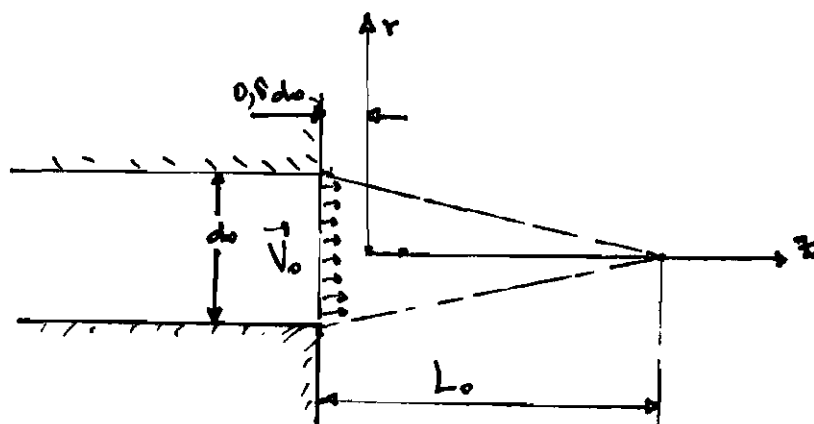
Compte tenu du diamètre de la conduite, l'éolienne ne pouvait être placée en son succinte.

Son axe était supporté par 2 membrures horizontales d'une poutre dont les membrures verticales sur appui simple sont nivelées par le ponton - appui de la conduite dans ce cas, en dehors la vitesse était déterminée par les équations relatives à un jet libre d'une section circulaire.

$$P_{m,1} = 29^{\circ}\text{C} ; \mu \approx 1,7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \text{ et } \rho_a \approx 1,25 \text{ kg/m}^3.$$

$$Re = \frac{u \cdot D}{\nu} \approx 20294 u \quad (u \text{ en m/s})$$

Le nombre par la pite de Pitot est toujours > 1 dans les essais. On est donc en régime turbulent.



En supposant que l'écoulement se comporte comme dans un jet (figure ci-dessus), on a donc:

Pour une section transversale d'abscisse z au delà de L_0

$$L_0 \frac{V_z}{V_{zmax}} = \frac{1}{[1 + r^2 / 0,018 z^2]} e \quad (1)$$

$$\frac{V_{zmax}}{V_0} = 6,4 (d_0 / z) \quad (2)$$

Dans le cas de cette conduite, l'éolienne était placée à 50 cm de l'ouverture c'est à dire à $z = 50 \text{ cm} - 0,6 d_0 = 32 \text{ cm}$

Il s'agit donc que le problème de la vitesse à l'avant de notre éolienne reste entier puisque le profil de vitesse n'est pas connu.

Toutefois dans toute section transversale, la vitesse reste constante et égale à V_0 dans le cône de base l'ouverture de la conduite et de hauteur $L_0 = 7 d_0$.

Ceci s'applique également dans le plan avant à notre éolienne et c'est ce deuxième aspect qui était exploité par les rapports qui nous ont précédé.

In fait l'autre alternative qui consistait à éloigner davantage l'éolienne de manière à la placer dans le domaine de l'écoulement pleinement développé, où les équations (1) et (2) seraient applicables à nouveau, est écartée pour deux raisons:

- Notre compresseur n'allait pas permettre d'obtenir une vitesse de l'air suffisante pour la rotation de l'éolienne.

- La position de la soufflerie et celle de l'éolienne par rapport au sol, le système de fixation de l'éolienne, allaient introduire des perturbations qui nous écarteraient davantage des conditions d'application des équations (1) et (2).

La vitesse était déterminée en supposant que l'écoulement est le même que celui dans une conduite prolongée jusqu'au niveau de l'éolienne, avec une vitesse au centre égale à celle obtenue dans le rayon potentiel (cas de flow inviscid et de hauteur L_0). L'équation de Prandtl - Glauert de l'écoulement turbulent dans une conduite circulaire aurait pu être appliquée.

$$\frac{V_{\text{moy}}}{V_{\text{centre}}} = \frac{1}{1 + 4,07 (\frac{r}{L_0})^{1/2}}$$

On obtient ainsi la vitesse moyenne qui n'est pas forcément celle réelle moyenne à l'avant de l'éolienne.

2.2.2 - Conduite à section rectangulaire utilisée.

Comme précédemment, il s'agit de deux souffleries près dans dans le cas de la conduite circulaire.

• Le problème d'un profil de vitesse, comme trait justifié à l'avant de l'écloune.

• Le problème d'une section de contrôle de l'écloument.

La conduite tuyère est tout justement une solution à ces deux problèmes.

• Par sa forme, elle permet sous grille de dessinage différentiel, l'obtention d'une variation assez faible de la vitesse sur l'aire de la section terminale. Ceci a été vérifié en balayant toute la section aval de la conduite avec un tube de Pitot [cf tableau N°1].

On fait la vitesse moyenne est de: $4,32 \text{ m/s}$. L'intervalle de variation de la vitesse étant $[3,7 \text{ m/s}; 4,9 \text{ m/s}]$. C'est à dire pratiquement la section, on a: $V = 4,32 \text{ m/s} \pm 14,3\%$. Ce qui est raisonnable.

• La section terminale permet de placer l'écloune directement à l'ouverture du conduit. Ainsi le problème de section de contrôle ne se pose plus, l'équation de continuité pourra donc être appliquée et à juste raison entre l'avant et le niveau de l'écloune.

• Nous avons relié la section aval à la tuyère, à la sortie du compresseur, par un joint (constitué d'une bande en plastique, collée de part et d'autre) qui absorbe quasiment totalement les vibrations et permet une stabilisation plus rapide du bras du fusil de Prouy, donc des mesures beaucoup plus précises.

Vérification théorique de l'uniformité de la vitesse à la section terminale

La section terminale a une aire d'écloument: $55,4 \text{ cm} \times 48 \text{ cm}$ sur une hauteur de $2,3 \text{ m}$. On peut donc supposer qu'un tube de Pitot placé au milieu de la section

est en dehors de la couche limite.

1) Lorsque l'air est rejeté dans l'atmosphère, sa vitesse est très faible par rapport à celle du m. et que le débit est constant, ce qui est avec la même vitesse de rotation du vortex qui entraîne le, on passe un centrifuge, nous pouvons supposer:

1) le long des lignes des courants en dehors de la couche limite, les particules de fluide bougent sans frottement.

2) l'écoulement est permanent

3) le fluide (air) est incompressible.

Ainsi donc, le long d'une ligne de courant, l'équation de Bernoulli obtenue à partir de celle d'Euler est applicable.

Qu'on a donc:

$$\frac{P}{\rho g} + z + \frac{V^2}{2} = \text{cte}$$

V : vitesse de la particule fluide au point considéré

z : altitude de la particule par rapport à une ligne de référence

P : pression du fluide au niveau de la particule

ρ : masse volumique du fluide (air)

En considérant qu'au centre (en dehors de la couche limite) la vitesse est orientée dans la direction de la ligne des courants; deux points, sur un

centre de la section avant et le deuxième au centre de la section aval, on peut supposer qu'ils se situent sur la même ligne de courant.

Sont A_1 et A_2 respectivement, ces points et V_1 et V_2 la vitesse en ces points.

$$\text{On a: } \frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2}$$

Pour notre tube de Pitot, on a mesuré $V_1 = V_2 = 5,6 \text{ m/s}$.

Et puisque $z_1 = z_2$ on lui donc l'équation de Bernoulli $\Delta P = P_1 - P_2 = 0$

Pu considérant que l'axe des x est confondu avec cette ligne d'écoulement, nous pouvons écrire:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

épaisseur de la couche limite.

On la désigne par la lettre δ . C'est la distance à la paroi où la vitesse de l'écoulement atteint $0,99 u_c$ où u_c est la vitesse de l'écoulement au centre de la conduite donc $u_c = 5,6 \text{ m/s}$.

Pour notre dispositif, la section terminale est située à $x = 2,30$ de la section avant de la conduite.

$$\text{On a donc } Re_x = Re_h = \frac{u_c h}{\nu}$$

$$\text{à } x = 2,30 \text{ m: } \nu_{\text{air}} = \frac{\mu}{\rho} \approx \frac{1,7 \cdot 10^{-4}}{1,25} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 1,48 \cdot 10^{-5}$$

$$Re_h = \frac{5,6 \times 2,3}{1,48 \cdot 10^{-5}} \approx 8,7 \cdot 10^5 > 4 \cdot 10^5$$

l'écoulement est donc turbulent à la section terminale de notre conduite.

d'équation intégrale de Von Karman reliant le gradient de pression, la contrainte de cisaillement au niveau de la paroi et la vitesse u dans la couche limite s'écrit

$$-\delta \frac{\partial p}{\partial x} - \tau_0 = \frac{\rho}{\mu} \int_0^{\delta} u \rho u \, dy - \mu \frac{\partial}{\partial x} \int_0^{\delta} \rho u \, dy \quad (1)$$

y étant la distance à la paroi

A la section terminale on est en régime turbulent.

Selon les notes de cours de Hyd 4.12. de M^r D.V. Nguyen, Chapitre:

Couche limite, on peut supposer un profil de vitesse de Prandtl

$$\frac{u}{u_c} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7} \quad (2)$$

et la contrainte de cisaillement à la paroi est donnée par

$$\text{la formule expérimentale } \tau_0 = 0,0225 \rho u_c^2 \left(\frac{\nu}{u_c \delta}\right)^{1/4} \quad (3)$$

Avec $\frac{\partial p}{\partial x} = 0$, en remplaçant (2) et (3) dans (1) on obtient

$$\delta_L = \frac{0,376}{[Re_L]^{1/5}} \quad \text{avec la condition } \delta_L = 0 \text{ si } x = 0$$

Pour la section terminale, $x = L = 2,3 \text{ m}$

$$\delta_L = \frac{0,376 \times L}{[Re_L]^{1/5}} = 5,6 \text{ cm.}$$

Ainsi la portion de l'axe de la section terminale où la

vitesse n'est pas uniforme est $A_8 = [5,6 \text{ cm} \times 48 \text{ cm} \times 2]$

$$+ [(55,4 - 2 \times 5,6) \text{ cm} \times 2 \times 5,6 \text{ cm}]$$

$$A_f = 1032,64 \text{ cm}^2 \text{ et } A = 2619,2 \text{ cm}^2$$

Sur 61,2%, la vitesse est donc à profil constant. Soit d'après les valeurs de δ sur un rectangle de 44,2 cm de haut et 36,8 cm de large - alors notre éolienne a une hauteur de 11,4 m et un diamètre de balayage de 17,206 m. Ou soit que notre éolienne se trouve complètement dans le rectangle à vitesse uniforme. Pour tenir compte des pourcentages indiqués.

Après le résultat de nos calculs, nous prenons 9 mesures à la section terminale pour déterminer la vitesse moyenne. Les 3 points de mesure seront situés dans la couche limite (soit environ à 2,8 cm des parois). Les autres 6 points de mesure en deça de la couche limite.

Il faut noter pour conclure que ce résultat s'explique par le fait que par rapport à l'intervalle réduit de variation à la section terminale que nous avons spécifié à la page 15.

2.2. Appareil de mesure

2.2.1. Le Frein de Prony.

Il permet de mesurer le couple utile par un freinage effectué à l'extrémité supérieure de l'arbre de l'éolienne.

Il est muni d'un bras qui lorsqu'on le serre le frein, devie de sa position initiale.

La masse de l'inertie, de la trousse et du fil de suspension de cette dernière, nécessaire pour ramener le bras à sa position initiale, permet de calculer le couple utile puis la puissance utile fournie par le modèle.

Le freinage graduel est assuré par des ressorts.

[cf. fig. 8]

2.2.2. Le tube de Pitot [cf. fig 5a]

La prise du tube de Pitot est munie d'orifices qui envoient sur un manomètre différentiel la pression d'arrêt d'une part et la pression statique (pression subie par une particule qui suit le mouvement du fluide) d'autre part.

Le manomètre indique donc la pression dynamique.

En partant de l'écoulement permanent et incompressible et que les lignes de courant sont parallèles à l'extrémité du tube (celle qui porte les orifices), et en prenant deux points sur une même ligne de courant (celle qui entre dans l'orifice d'arrêt) situés tout d'abord à l'avant du tube et dans le conduit relié à l'orifice d'arrêt,

on peut appliquer l'équation de Bernoulli.

$$\frac{V_1^2}{2} + g z_1 + \frac{P_1}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} + g z_2 + \frac{P_2}{\rho} \quad (1)$$

Pour le point 1 (avant de l'orifice) on a:

$$P_1 = P_{at} \text{ et } V_1 = V$$

Pour le point 2 (dans l'orifice) on a:

$$P_2 = P_{ar} \text{ et } V_2 = 0.$$

avec P_{at} : pression atmosphérique; P_{ar} : pression d'arrêt.

et puisque $z_1 = z_2$ (les deux points sont horizontaux)

$$(1) \text{ devient: } \frac{P_{at}}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \frac{P_{ar}}{\rho}$$

$$\text{D'où } V = \left[2 (P_{ar} - P_{at}) / \rho \right]^{1/2}$$

$P_{ar} - P_{at}$ est la pression différentielle

mesurée par le manomètre.

2-2-3. L'anémomètre électrodynamique.

Sur les essais de soufflerie à l'école il a été effectué, avec un tube de Pitot pour la mesure de la vitesse du vent.

Après d'entre les faits de temps après aux ajustages de la prise du tube de Pitot, au réglage du cadran du manomètre et les problèmes de montage liés au balayage de toute une section transversale avec le tube de Pitot, nous nous sommes proposés d'utiliser un anémomètre électrodynamique, de type de la firme catholique italienne.

Il ressemble aux solutions à une vitesse. Les anémomètres sont utilisés sous l'action de l'air en mouvement, entraîné.

vent dans leur rotation le rôle d'une dynamo. Il se produit un courant à la suite du stator, qui détecté permet un affichage direct de la vitesse en m/s .

Imi ramener les mesures effectuées à celles d'un tube de Pitot, nous avons effectué un étalonnage qui nous a permis de trouver la relation entre la vitesse mesurée par l'anémomètre V_a et celle qui aurait pu être lue par une prise de Pitot V_p ou V_r .

[cf fig. 56 et 797]

2.2.4. Le tachymètre (Jaquet)

En plaçant son axe sur celui de l'éolienne, il permet une indication directe, sur un cadran, de la vitesse de rotation de l'éolienne.

A grande vitesse, il permet d'avoir une idée de la vitesse de rotation de l'éolienne avant l'usage du stroboscope.

A vitesse inférieure à 110 tours/minute, il sert à la détermination des valeurs portées aux tableaux de mesures.

2.2.5. Le stroboscope

Il est du type 1521 General Radio Company, à 3 cadences 110 - 690 tpm ; 670 - 4170 tours/minute ; 4000 - 25000 tpm.

Il envoie des éclairs à une fréquence indiquée sur le cadran. Il suffit donc de tourner un disque de manière à ce que les éclairs permettent une immobilisation d'un trait sur l'éolienne. Accurately la fréquence

indiquée par l'aiguille, est celle de rotation de l'éolienne

2. 2. 6. La balance analytique.

Elle permet une détermination de la masse au 1/100 g près et c'est sur elle que sont effectuées les mesures de masses de fil, de la mouche de crochet et de la li-maille.

2. 2. 7. Le thermomètre à Bulbe.

Il est de marque Gayler. Il permet la détermination de températures humide et sèche pour la lecture de la masse volumétrique de l'air sur un diagramme psychrométrique

2. 3. Détermination de la vitesse du vent au niveau de l'éolienne

2. 3. 1. Equation de continuité

Par le tube de Pitot, on peut déterminer la vitesse v_{1p} de l'air à l'avant de l'éolienne. Soit A_1 , l'aire de cette section. Si on note v_{ef} : vitesse moyenne du vent au niveau de l'éolienne devant
 A_2 : section d'enlèvement au niveau de l'éolienne.

$$\text{ou a: } v_{1p} A_1 = v_{ef} A_2 \quad (1)$$

Soit v'_{1p} la vitesse au niveau de la section d'arrêt dans l'éolienne.

$$\text{on a: } v'_{1p} = \left[\frac{2 \Delta P'}{\rho} \right]^{1/2} \text{ et } v_{1p} = \left[\frac{2 \Delta P}{\rho} \right]^{1/2}$$

où $\Delta P'$ et ΔP sont les pressions différentielles lues sur le manomètre du tube de Pitot, respectivement sans et avec l'éolienne installée, et au niveau de la section A_1 .

Les relevés donnent, pour notre régime de fonctionnement,

$$D' = D = 0,074 \text{ m de H}_2\text{O}$$

Ainsi on a donc $v_1 p' = v_1 p$

L'équation peut donc s'écrire:

$$v_1 p' A_1 = v_1 p A_1 = v_2 p A_2 \quad (2)$$

Mais si l'éolienne n'est pas installée, soit A_2' la section terminale d'écoulement on a:

$$v_1 p' A_1 = v_2' p A_2' \quad \text{où } v_2' \text{ est la vitesse moyenne d'écoulement à la section } A_2'$$

Avec (2) on aura en définitive:

$$v_2' p A_2' = v_2 p A_2 \quad (3)$$

La continuité rappelle que donc à la section terminale pour un régime permanent, avant et après l'installation de l'éolienne au niveau de cette section.

Cette équation (3) est extrêmement importante. En fait il nous suffit pour notre régime d'écoulement, de mesurer simplement la vitesse du vent avant l'installation de l'éolienne. Ce qui est facile — est faisable par l'électrodynamomètre dont la valeur est ramenée à celle d'un tube de Pitot en utilisant l'équation de la courbe d'étalonnage.

Ceci est l'avantage d'être rapide et d'éviter les nombreux problèmes de montages et de perturbations de l'écoulement, si on doit mesurer la vitesse par le tube de Pitot alors que l'éolienne est installée.

2.3.2. Vitese moyennes d'écoulement au niveau de l'éolienne.

On se fait son calcul pour le Savinus de référence.

L'équation (3) de la section 2.3.1 s'écrit

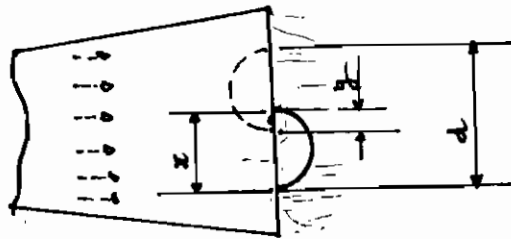
$$v_2' p A_2' = v_2 p A_2$$

La différence entre A_2' et A_2 , provient de l'introduction de l'éolienne. $A_2' = A_2 - A_E$ où A_E est le section d'arrêt de l'éolienne.

Deux positions limites donnent les valeurs de $A_{E \max}$ et $A_{E \min}$

* Calcul de $A_{E \max}$ ou $A_{E \min}$:

$A_{E \max}$ est donné par une position des diamètres des aubes sur une direction perpendiculaire à l'écoulement, comme on le voit ci-dessous:



Pour le rotor Savinus de référence on a: $y = \frac{x}{6}$

d'après la figure on a: $x + (x - y) = d$

on trouve finalement $x = \frac{6d}{11}$; $y = \frac{d}{11}$

Si h est la hauteur de l'éolienne; on a:

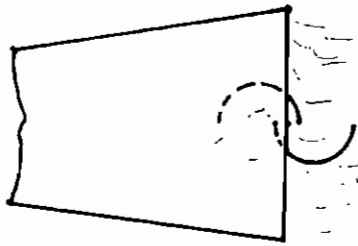
$A_{E \max} = [d - y] \cdot h$ on peut dire que la dépression en aval de l'éolienne favorise un écoulement par l'écart central y .

Finalment on trouve $A_{E_{min}} = \frac{10dh}{11}$

$$\text{D'où } A'_2 \text{ min} = A_2 - 10dh/11$$

* Calcul de $A_E \text{ min}$ ou $A'_2 \text{ max}$

$A_E \text{ min}$ est donné par une position de la ligne des diamètres des ailettes parallèle à la direction de l'écoulement. (cf. fig. ci-dessous)



x, y et d conservent les mêmes dimensions

En considérant qu'il y a également un écoulement par l'autre côté central, la section d'arrêt de l'éolienne s'écrit:

$$A_{E \text{ min}} = (x/2 + x/2 - y) h$$

$$\text{avec la contrainte } 2x - y = d$$

$$\text{On trouve } A_{E \text{ min}} = \frac{5dh}{11} \text{ et } A'_2 \text{ max} = A_2 - \frac{5dh}{11}$$

* Calcul de v ($= v_P$) vitesse moyenne du vent au niveau de l'éolienne

L'équation de continuité s'écrit

$$A'_2 v'_{2P} = A_2 v_{2P}$$

$$\text{d'où } A'_2 \text{ max } v'_{2P \text{ min}} = A_2 v_{2P}$$

$$A'_2 \text{ min } v'_{2P \text{ max}} = A_2 v_{2P}$$

$$\text{nous avons } v = v_P = (v'_{2P \text{ min}} + v'_{2P \text{ max}}) / 2$$

* Application numérique.

La section terminale d'écoulement est:

$$A_2 = 0,554 \times 0,48 \text{ m}^2 = 0,26592 \text{ m}^2$$

avec $h = 1,64 \text{ cm}$; $d = 13206 \text{ cm}$

Du Koval $A_{E_{\min}} = 1,282 \cdot 10^2 \text{ m}^2$; $A_{E_{\max}} = 2,5652 \cdot 10^2 \text{ m}^2$

D'où $v_{2p_{\max}} = 1,107 v_{2p}$ et $v_{2p_{\min}} = 1,051 v_{2p}$

c'est à dire que $v = v_p = 1,079 v_{2p}$

En utilisant l'équation obtenue à partir de l'étalonnage de l'anémomètre on a : $v = v_p = 1,079 \left[\frac{1}{0,82} (v_{a2} + 0,3) \right] \text{ m/s}$.

v_a : vitesse moyenne à la section terminale mesurée par l'anémomètre dans l'éolienne. (en m/s)

(dans les essais, nous déterminons v_a en balayant toute la section terminale et en prenant la moyenne)

Ainsi $v_{\text{moy}} = v = v_p = (1,316 v_{a2} + 0,395) \text{ m/s}$.

en posant $v_{a2} = v_a$

$v_{\text{moy}} = v = \underline{\underline{1,316 v_a + 0,395}}$

v_a en m/s.

chapitre III

caracteristiques des differents

modeles

d'eoliennes essayes

Tous les éoliennes essayés ont de type à axe vertical et à rotation par chaîne différentielle.

3-1 - Rotor Savonius de référence. [cf. fig. III.1a]

Pour fin de comparaison, nous avons établi les courbes caractéristiques d'un modèle réduit de Savonius de référence. Il est identique (du point de vue rapport entre ses dimensions) au Savonius à écartement optimal entre les aubes $\frac{e}{d} = \frac{1}{6}$ qui obtient les meilleures performances en couple et en puissance.

3-2 - Rotor Filippini.

Ils possèdent les mêmes hauteurs et diamètres de balayage que le Savonius de référence et dérivent du rotor Filippini.

Ils ont de deux genres. Les premiers que nous appelons Filippini simplifiés (N_{1s} ; N_{2s} ; N_{3s} et N_{4s}) possèdent des plaques qui ont du centre des aubes semi-cylindriques et se terminent sur le diamètre de balayage. Les seconds (N_{1s} ; N_{2s} ; N_{3s} et N_{4s}) dérivent des premiers (les Filippini simplifiés), à la seule différence qu'elles ne portent pas de plaques. Elles concourent avec les éoliennes à aubes en plaque ou triangulaires d'objet de nos essais. [cf. fig. III.1b et fig. III.1c]

3-3 - Autres modèles

Ils ont de deux types, un à aubes triangulaires et le deuxième à pôles plats. Ils possèdent les mêmes hauteurs et même diamètre de balayage que le Savonius de référence. [cf. fig. III.1d et fig. III.1e]

Modèle	Z (mm)	$x^{**} = \frac{\sum (z_i - \bar{z})^2}{n}$	d (mm)	Z/d	x^* (mm)	e/z
Sarmius	93,85	---	172,08	0,545	164	1/6
N ₁	69,00	68,89	172,08	0,401	164	---
N ₂	26,80	46,11	172,08	0,156	164	---
N ₃	38,00	53,93	172,08	0,221	164	---
N ₄	49,90	60,58	172,08	0,290	164	---
N ₅	69,00	---	172,08	0,401	164	---
N ₆	26,80	---	172,08	0,156	164	---
N ₃₅	38,00	---	172,08	0,221	164	---
N ₄₅	49,90	---	172,08	0,290	164	---
P _{45°}	57,35	---	172,08	0,333	164	---
P	57,35	---	172,08	0,333	164	---

Tableau III. Dimensions des différents modèles essayés (Fig. III.1)
 * : hauteur des colonnes ; ** : $x = \frac{\sum (z_i - \bar{z})^2}{n}$

chapitre IV

discussions

et

conclusion

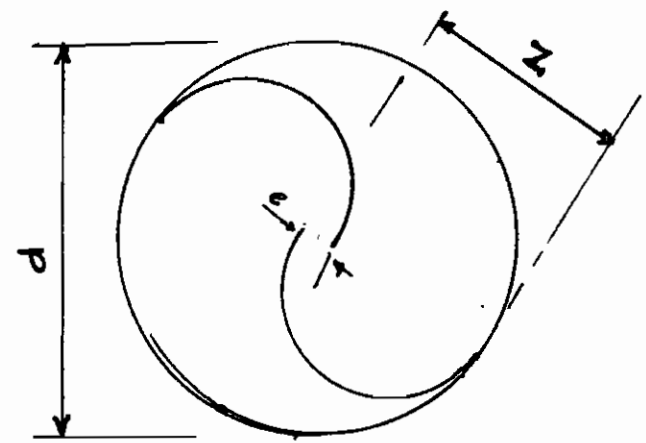


Fig. I.1.2 Modèle Sominus

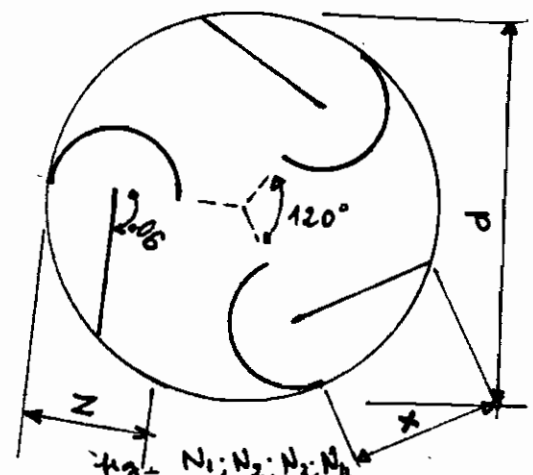


Fig. I.1.3 N₁; N₂; N₃; N₄

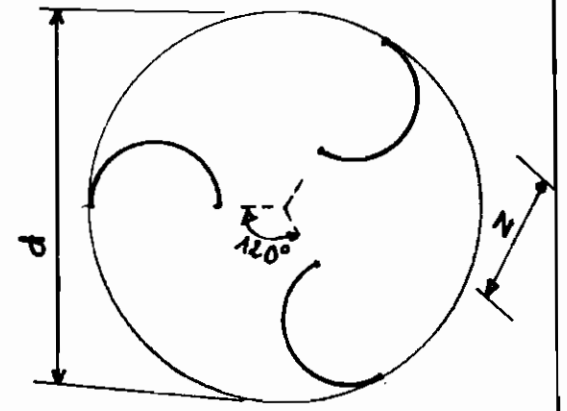


Fig. I.1.4 N₁₅; N₂₅; N₃₅; N₄₅

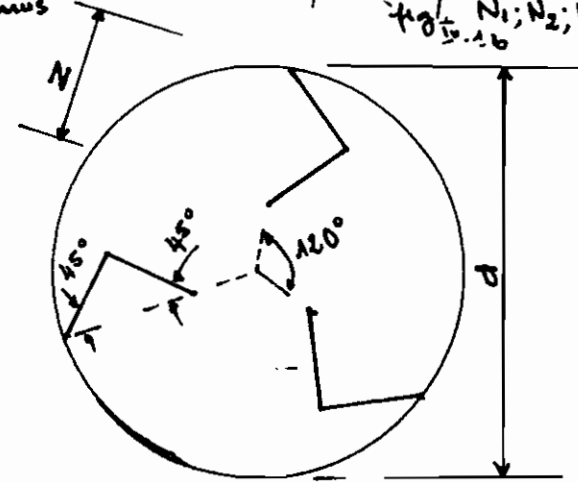


Fig. III.1.1 P_{45°}

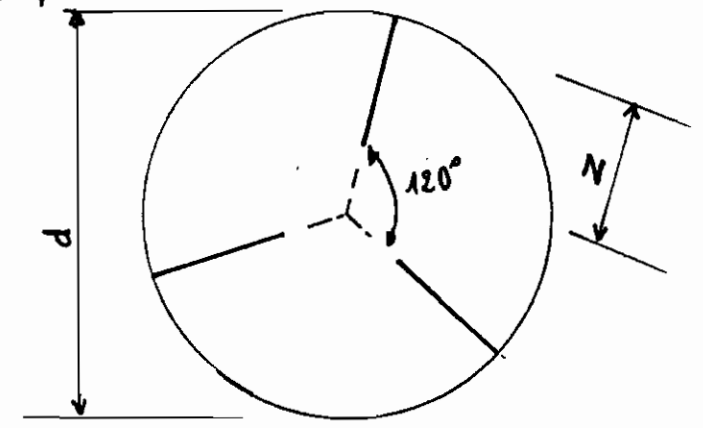


Fig. III.1.2 P

Fig. III.1 Configurations des différents modèles -

4.1. Discussions

Modèle	N ₁	N ₁₅	N ₂	N ₂₅	N ₃	N ₃₅	N ₄	N ₄₅	S _{max}	P ₄₅
z/d	0,401	0,401	0,156	0,156	0,221	0,221	0,290	0,290	---	0,553
C _{max}	0,225	0,180	0,144	0,038	0,198	0,065	0,124	0,109	0,318	0,053
$\frac{\Delta C_{max}}{C_{max Ni}} *$	---	20%	---	73,6%	---	67,2%	---	12,9%	---	---
λ_{max}	0,55	0,65	0,51	0,16	0,63	0,245	0,33	0,38	0,95	0,225

$$* \Delta C_{max} / C_{max Ni} = \frac{C_{max Ni} - C_{max Ni s}}{C_{max Ni}}$$

Comme le lecteur a dû le constater, aucune allusion n'a été faite à l'éolienne: modèle réduit type P. C'est que tout simplement, ce modèle n'arrive pas à être synchronisé avec notre vitesse de l'air au niveau de l'éolienne (bit B, SW10) que nous avons conservée, constante durant tous les essais.

En tableau ci-dessus, on voit que le modèle Savonius (avec $e/\tau = 1/6$) est plus performant que tous les modèles essayés.

Quant aux modèles Filippini simplifiés, ils sont des coefficients C_{max} supérieurs à leur modèle correspondant sans plaque, avec des écarts relatifs de 20%; 73,6%; 67,2% et 12,9% respectivement pour N₁; N₂; N₃ et N₄.

Par les niveaux de rendement de l'unité tabulés ci-dessus, il faut ajouter que modèle P₄₅ à pâtes triangulaires, est plus performant que le N₂₅ ($\tau/d = 0,156$)

4. 2. Conclusion

De nos essais, il résulte nettement que le "Filippini simplifié" avec plaque, est plus performant que celles sans plaque.

Pour le "Filippini simplifié" sans plaque, et de $(z/d) = 0,156$ à $(z/d) = 0,401$, le coefficient C_{pu} ou C_{pu} est en fonction de (z/d) . Toutefois les résultats ne nous permettent de conclure quant à la valeur optimale de rapport (z/d) qu'il faut conseiller dans la construction. (Cf. fig. 12. P. 78)

La fig. 13. P. 77. Confirme l'existence de la zone d'incerti-
tude indiquée dans le rapport de M^r NGUYEN, Duy Vinh.

"Etude expérimentale pour l'optimisation de la performance de l'éolienne Filippini Simplifiée" fig. 9

Toutefois, nos essais montrent que la Savinios avec un rapport $(z/d) = 1/6$ et de même hauteur et même diamètre de balayage, est plus performant que le "Filippini Simplifié" avec plaque contrairement aux résultats de M^r N. Guyen, Duy Vinh, dans le même rapport.

Mais nous faisons les propositions suivantes.

1) Que les essais se poursuivent au niveau de l'école Polytechnique de Hanoi pour "l'optimisation de la Filippini simplifiée sans plaque" avec des rapports z/d variant de 0,3 à 0,6 par exemple.

2) Que les essais également pour l'optimisation de l'éolien-

ne filippi simplifié avec plaque" pour élucider davantage
 sur la zone d'incertitude de notre sur la fig. de
 nous rapport. Pour ce faire, nous conseillons des modèles
 avec un rapport λ qui varie de 0,15 à 0,50

3) Nous proposons qu'il y ait d'essais, le modèle Sammis
 avec $(k/z) = 1/6$, et de même hauteur et même diamètre
 de balayage ont plus, car - e modèle de référence et
 qu'une comparaison ont faite quant à sa performance
 avec celles de différents modèles essayés.

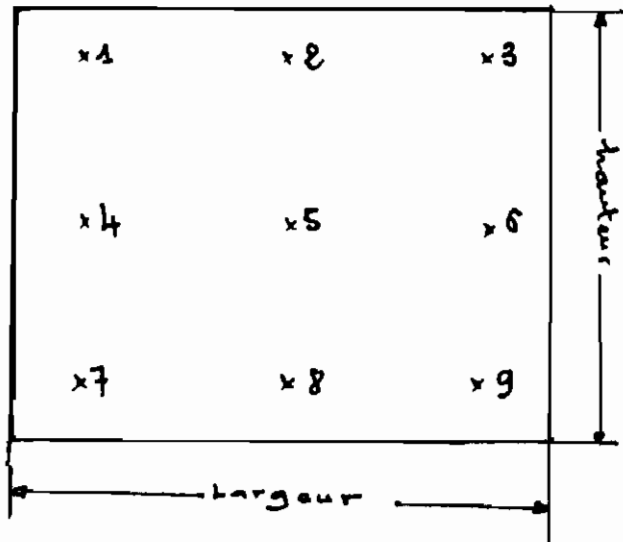
References Bibliographiques

1. N. Nguyen Duy Vinh : "Etude Experimentale pour l'optimisation de la performance de l'Eolienne Filipin Simplifiée"
Rapport de Janvier 1980
2. N. Nguyen Duy Vinh : "Mesures comparatives de la performance de quelques eoliennes de type Savonius modifiées au moyen d'un greffage"
Rapport de Recherche Juin 1979.
3. Kito Yasuma : "Etude d'un type d'Eolienne"
Projet de Fin d'études 10 Juin 1982
3. James W. Dally : "Fluid Dynamics"
Donald R. F. Harlow
Addison-Wesley Publishing Company, inc. (copyright 1968)
P. 87-87; 128-129; 413-422.
4. N. Nguyen Duy Vinh : Notes de cours Hyd. 4.12 et Hyd. 3.21.
5. Désiré Le Guérières : "Energie éolienne" Ed. Eyrolles. 1980
chapitre V

Tableau N°1. Profil de vitesse à la section terminale.
de la conduite à section rectangulaire

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9
vitesse m/s	3,8	3,7	4,8	3,8	4,8	4,8	4,1	4,7	4,9

Position de différents points à la section terminale



tableaux numeriques
et
figures

Tableaux 3b:

Coefficients C_p et C_T pour différentes valeurs de λ .

Filippini simplifiée N_3 ($Z/d = 0,47$)

$T_h = 59^\circ F = 15^\circ C$; $T_s = 84^\circ F = 28,9^\circ C$; $w_{f+c} = 1,20 g$; $V_a = 4,30 m/s$; $V = 6,05 m/s$.

m_{s+l} mg	N rpm	w mg	P_{avg} ($10^2 W$)	$T = P \ell$ ($10^2 Nm$)	$\omega = \frac{2\pi N}{60}$ (rad/s)	$P = T \omega$ (10W)	$u = \omega \frac{d}{2}$ (m/s)	$\lambda = \frac{u}{V}$	$C_p = \frac{P}{\rho V^3}$ ($\times 10$)	$C_T = T / \rho T$ ($\times 10$)
2,58	485	3,78	3,71	1,19	50,79	0,0844	4,369	0,72	0,0167	0,0116
2,79	478	3,99	3,91	1,25	50,08	0,0829	4,307	0,71	0,0173	0,0121
3,53	465	4,73	4,64	1,48	48,69	0,0721	4,189	0,69	0,0199	0,0144
3,93	445	5,13	5,03	1,63	46,60	0,0780	4,009	0,66	0,0210	0,0158
4,51	412	5,71	5,60	1,79	43,14	0,0772	3,711	0,61	0,0213	0,0174
4,80	398	6,00	5,89	1,88	41,68	0,0784	3,588	0,59	0,0217	0,0183
5,21	385	6,41	6,29	2,01	40,32	0,0810	3,469	0,57	0,02238	0,0195
5,73	355	6,93	6,80	2,18	37,18	0,0811	3,199	0,53	0,0224	0,0212
6,30	320	7,50	7,36	2,36	33,51	0,0791	2,883	0,48	0,0218	0,0229
6,61	293	7,81	7,66	2,45	30,68	0,0752	2,639	0,44	0,0208	0,0238
7,05	270	8,25	8,09	2,59	28,27	0,0732	2,432	0,40	0,0202	0,0251
8,11	215	9,31	8,13	2,92	22,51	0,0657	1,937	0,32	0,0181	0,0283
8,54	195	9,79	9,60	3,07	20,42	0,0627	1,757	0,29	0,0173	0,0298

$dR = \frac{1}{2} \rho V^3 \ell d = 3,62 W$; $\alpha_T = \frac{1}{2} \rho V^2 \ell d^2 = 0,103 Nm$.

 $\left\{ \begin{array}{l} m_{s+l} = m_{che} + m_{comp} + 2m_{aill} \\ m_{f+c} = m_{che} + m_{fil} + m_{crouet} + m_{...} \end{array} \right.$

Tableau 2a: Coefficients C_T et C_P pour différentes valeurs de λ
(Modèle Savonius, $k/d = 0,545$)

$T_a = 19,7^\circ\text{C}$; $T_s = 25,9^\circ\text{C}$; $\rho = 1,221 \text{ kg/m}^3$; $u_{f+c} = 1,20 \text{ m/s}$; $V_a = 4,30 \text{ m/s}$; $V_s = 6,05 \text{ m/s}$; $d = 32 \text{ cm}$.

w_{l+s} (?)	N (rpm)	w (?)	$P = w \cdot g$ (N^2/N)	$T = P \cdot d$ (N^2/Nm)	$\omega = 2\pi N/60$ (rad/s)	$P = T \cdot \omega$ (W)	$u = \omega d/2$	$\lambda = U/u$	$C_P = P/\alpha P$	$C_T = T/\alpha_T$
2,76	770	3,96	3,88	1,24	80,63	1,000	1,94	1,15	0,262	0,115
2,92	760	4,12	4,04	1,29	79,59	1,027	1,85	1,13	0,270	0,119
3,21	760	4,41	4,33	1,39	79,59	1,108	1,85	1,13	0,290	0,129
3,65	740	4,85	4,76	1,52	77,49	1,178	1,67	1,10	0,309	0,141
3,99	700	5,19	5,09	1,63	73,30	1,195	1,51	1,043	0,314	0,151
4,18	670	5,38	5,28	1,69	70,16	1,188	1,44	0,998	0,311	0,156
4,31	660	5,51	5,41	1,73	69,12	1,198	1,45	0,98	0,314	0,160
4,90	615	6,10	6,08	1,92	64,40	1,230	1,54	0,92	0,323	0,177
5,50	580	6,70	6,57	2,10	54,45	1,143	1,68	0,77	0,300	0,194
6,31	445	7,51	7,37	2,36	46,80	1,100	1,82	0,66	0,289	0,219
6,58	430	7,76	7,61	2,44	45,03	1,099	1,87	0,64	0,288	0,226
7,25	375	8,45	8,29	2,65	39,27	1,041	2,38	0,56	0,273	0,245
7,96	325	9,16	8,99	2,88	34,03	0,980	2,93	0,48	0,257	0,267
8,37	125	9,57	9,39	3,00	13,09	0,393	1,13	0,19	0,103	0,278

$$\alpha P = \frac{1}{2} \rho V^3 k d = 3,81 \text{ W}; \quad C_T = \frac{1}{2} \rho V^2 k d^2 = 0,108 \text{ Nm}$$

w_{l+s} : vitesse de l'aile au centre; u_{f+c} : vitesse relative de l'aile

$$w = w_{l+s} + u_{f+c}$$

Tableau: C_p et C_T pour différentes valeurs de λ
 Filippi Simplifié N₂ ($\tau/d = 0,156$)

$T_h = 15,3^\circ\text{C}$; $T_s = 29,4^\circ\text{C}$; $v_a = 4,30 \text{ m/s}$; $V = 6,05 \text{ m/s}$; $\rho = 1,153 \text{ kg/m}^3$; $w_{f+c} = 1,20 \text{ g}$

m_{s+l} (g)	N (rpm)	m (g)	$P = mg$ (N)	$T = P \ell$ ($\text{N}\cdot\text{m}$)	$\omega = 2\pi N/60$ (rad/s)	$P = T \omega$ (W)	$w = \omega d/2$ (m/s)	$\lambda = \frac{V}{w}$	$C_p = P/\rho g$ (m^3)	$C_T = T/\rho g$ (m^3)
2,53	390	3,73	3,68	1,17	40,84	0,048	2,51	0,58	0,033	0,015
3,73	320	4,93	4,84	1,55	33,51	0,052	2,88	0,48	0,044	0,052
4,15	290	5,25	5,15	1,65	30,37	0,050	2,61	0,43	0,039	0,062
4,27	257	5,47	5,37	1,72	26,91	0,0463	2,32	0,38	0,029	0,089
4,63	238	5,83	5,72	1,83	24,92	0,0456	2,14	0,35	0,027	0,079
4,84	215	6,04	5,93	1,90	22,51	0,043	1,94	0,32	0,019	0,088
5,13	175	6,33	6,21	1,99	18,33	0,036	1,58	0,26	0,010	0,095
5,54	130	6,74	6,61	2,12	13,61	0,029	1,17	0,19	0,0081	0,0208
5,81	110	7,01	6,88	2,20	11,52	0,026	0,99	0,16	0,0069	0,0216
6,05	85	7,25	7,11	2,28	9,90	0,020	0,77	0,13	0,0056	0,0224
6,17	75	7,37	7,23	2,31	7,85	0,018	0,68	0,11	0,0050	0,0226

$$d_T = \frac{1}{2} \rho V^3 h d = 3,60 \text{ W} ; \quad \alpha_T = \frac{1}{2} \rho V^2 h d^2 = 0,102 \text{ N}\cdot\text{m} ; \quad d = 32 \text{ cm}.$$

$$w_{s+l} = w_{\text{mélange}} + w_{\text{coupe}} ; \quad w_{f+c} = w_{\text{fil}} + w_{\text{craquelé}} ; \quad m = m_{s+l} + m_{f+c}$$

Tableau 2d: Coefficients C_p et C_T , pour différentes valeurs de λ .

Filipini simplifié N_3 ($\varepsilon/d = 0,221$)

$T_h = 17,5^\circ\text{C}$; $T_s = 28,3^\circ\text{C}$; $\rho = 1,159 \text{ kg/m}^3$; $w_{f+c} = 1,20 \text{ g}$; $V_a = 4,3 \text{ m/s}$; $V = 8,05 \text{ m/s}$; $d = 32 \text{ cm}$.

w_{s+l} (g)	N (rpm)	w (g)	$\rho \cdot w \cdot g$ (10 ² N)	$T = P \cdot l$ (10 ² Nm)	$\omega = 2\pi N/60$ (rad/s)	$P = T \cdot \omega$ (10 W)	$w = \omega d/2$ (m/s)	$\lambda = u/v$	$C_p = P/\rho \cdot w^3$ (=10)	$C_T = T/dT$ (=10)
2,82	515	4,02	3,94	1,26	53,43	0,06795	4,64	0,77	0,0188	0,0722
3,09	495	4,29	4,21	1,35	51,84	0,06998	4,48	0,74	0,0193	0,0741
3,60	450	4,80	4,71	1,51	47,12	0,0712	4,05	0,67	0,0197	0,0847
3,92	405	5,12	5,02	1,61	42,41	0,0883	3,65	0,60	0,0189	0,0158
4,30	395	5,50	5,40	1,73	41,38	0,0718	3,58	0,59	0,0198	0,0168
5,08	325	6,28	6,16	1,97	34,03	0,0670	2,93	0,48	0,0185	0,0191
5,36	280	6,56	6,44	2,06	29,32	0,0604	2,52	0,42	0,0167	0,0200
6,09	220	7,29	7,15	2,29	23,04	0,0528	1,98	0,38	0,0148	0,0222
6,52	175	7,72	7,57	2,42	18,33	0,0444	1,58	0,26	0,0123	0,0235
6,73	150	7,92	7,77	2,49	15,71	0,0391	1,36	0,22	0,0108	0,0242
7,08	107	8,26	8,10	2,59	11,205	0,0290	0,96	0,18	0,0080	0,0251

$$C_p = \frac{1}{2} \rho V^3 \varepsilon d = 3,82 \text{ W}; \quad C_T = \frac{1}{2} \rho V^2 \varepsilon d^2 = 0,103 \text{ Nm}$$

w_{s+l} : masse de la sonde + la bille
 $w = w_{f+c}$: masse de fil + corréct -
 $d = 32 \text{ cm}$.

Tableau 20: Coefficients C_p et C_T pour différentes valeurs de λ
Filipin Simplifié N4 ($z/d = 0,290$)

$T_h = 15^\circ\text{C}$; $T_s = 28,9^\circ\text{C}$; $\rho = 1,160 \text{ kg/m}^3$; $w_{f+c} = 1,20 \text{ g}$; $V_a = 4,30 \text{ m/s}$; $V = 6,07 \text{ m/s}$; $l = 32 \text{ cm}$.

w_{s+l} (g)	N (rpm)	m (g)	$P = mg$ (10^{-2} N)	$T = P l$ (10^{-3} Nm)	$\omega = \dot{m} N / 60$ (rad/s)	$P = T \omega$ (10W)	$w = \omega d / 2$ (m/s)	$\lambda = u / V$	$C_p = P / (mg)$ (x10)	$C_T = T / (P l)$ (x100)
2,78	280	3,98	3,90	1,25	29,32	0,037	2,52	0,42	0,0102	0,0121
3,00	277	4,20	4,12	1,32	29,01	0,038	2,50	0,413	0,0105	0,0128
3,19	275	4,39	4,31	1,38	28,80	0,040	2,48	0,41	0,0110	0,0134
3,45	256	4,65	4,58	1,48	28,70	0,039	2,30	0,38	0,0109	0,0142
3,78	252	4,98	4,87	1,56	28,39	0,041	2,27	0,375	0,0113	0,0151
4,12	245	5,33	5,23	1,67	25,66	0,043	2,21	0,365	0,0119	0,0162
4,64	235	5,84	5,73	1,83	24,61	0,045	2,12	0,350	0,0124	0,0178
4,93	230	6,03	5,92	1,89	24,09	0,048	2,07	0,340	0,0127	0,0183
5,10	215	6,30	6,18	1,98	22,51	0,045	1,94	0,320	0,0124	0,0192
5,37	205	6,57	6,45	2,08	21,47	0,042	1,85	0,31	0,0122	0,0200
5,69	195	6,89	6,78	2,16	20,42	0,044	1,78	0,29	0,01218	0,0210
5,98	170	7,18	7,04	2,25	17,80	0,040	1,53	0,25	0,0110	0,0218
7,10	145	8,30	8,14	2,60	15,18	0,039	1,31	0,22	0,0108	0,0252
7,58	117	9,78	9,61	2,78	12,25	0,044	1,05	0,17	0,0094	0,0268

$$dR = \frac{1}{2} \rho V^3 h d = 3,62 \text{ W}; \quad \tau_T = \frac{1}{2} \rho V^2 h d^2 = 0,103 \text{ Nm}$$

$$\begin{cases} w_{s+l}: w = w_{s+e} + w_{l+e} + w_{l+e} \\ w_{f+c}: w = w_{f+l} + w_{c+e} \end{cases}$$

Tableau 2f: Coefficients C_T et C_P pour différentes valeurs de λ
 Modèle N15 ($\lambda d = 0,4 \text{ m}$)

$T_a = 19,4^\circ\text{C}$; $T_s = 28,3^\circ\text{C}$; $\rho = 1,151 \text{ kg/m}^3$; $w_{f+c} = 1,20 \text{ g}$; $V_a = 4,30 \text{ m}^3$; $V = 6,05 \text{ m}^3$; $d = 32 \text{ cm}$

w_{s+l} (g)	N (rpm)	w (g)	P_{row} (10^2 W)	$T = P_L$ (10^2 Nm)	$w = w_{f+c}$ (g)	$P = T\omega$ (W)	$w = w_{s+l}$ (g)	$\lambda = U/V$	$C_P = P/\rho g$	$C_T = T/\lambda T$
2,73	474	3,93	3,88	1,24	49,64	0,618	4,27	0,71	0,171	0,122
2,85	455	4,05	3,97	1,27	47,65	0,605	4,10	0,68	0,168	0,124
3,31	445	4,51	4,42	1,41	46,60	0,657	4,01	0,66	0,1825	0,138
3,53	417	4,73	4,64	1,49	43,67	0,646	3,76	0,62	0,179	0,145
3,78	380	4,98	4,89	1,56	39,79	0,621	3,42	0,585	0,172	0,153
4,07	350	5,27	5,17	1,65	36,65	0,605	3,15	0,52	0,168	0,162
4,40	315	5,60	5,49	1,76	32,99	0,581	2,84	0,47	0,162	0,173
4,59	297	5,79	5,68	1,82	31,10	0,566	2,68	0,44	0,157	0,179
4,93	275	6,13	6,01	1,92	28,90	0,553	2,48	0,41	0,154	0,188
5,39	245	6,59	6,46	2,07	25,68	0,531	2,21	0,365	0,148	0,203
5,74	200	6,94	6,81	2,18	20,94	0,456	1,80	0,30	0,127	0,214
5,87	195	7,07	6,94	2,22	20,42	0,453	1,76	0,29	0,126	0,218
6,18	130	7,38	7,24	2,32	13,61	0,316	1,17	0,19	0,088	0,227
6,28	45	7,48	7,34	2,35	4,71	0,111	0,41	0,068	0,031	0,230

$w_s = \frac{1}{2} \rho V^2 h d = 3,60 \text{ W}$; $\kappa_T = \frac{1}{2} \rho V^2 h d^2 = 0,102 \text{ Nm}$

$w_{s+l} = w_{\text{row}} + w_{\text{coupe}}$; $w_{f+c} = w_{\text{row}} + w_{\text{coupe}}$

$w = w_{s+l} + w_{f+c}$

Tableau Eq: Coefficients C_T et C_p pour différentes valeurs de λ
 Modèle N25 ($r/d = 0,150$)

$T_h = 14,4^\circ\text{C}$; $T_s = 28,3^\circ\text{C}$; $\beta = 1,151 \text{ kg/m}^3$; $w_{f+c} = 1,20 \text{ g}$; $V_a = 4,30 \text{ m}^3$; $V_r = 6,80 \text{ m}^3$; $l = 32 \text{ cm}$.

w_{l+s} (g)	N (rpm)	w (g)	$R = w/g$ (kg^2/N)	$T = PR$ (kg^2/Nm)	$\omega = \frac{2\pi N}{60}$ (rad/s)	$P = T\omega$ (W)	$u = \omega d/2$ (m/s)	$\lambda = u/V$	$C_p = P/\rho p$	$C_T = T/d_T$
2,25	115	3,45	3,38	1,08	12,04	0,130	1,04	0,17	0,038	0,108
2,58	110	3,78	3,71	1,19	11,52	0,137	0,99	0,16	0,038	0,117
2,88	100	3,98	3,81	1,22	10,47	0,128	0,90	0,15	0,036	0,120
2,90	75	4,10	4,02	1,29	7,85	0,101	0,68	0,11	0,028	0,126
3,29	50	4,49	4,40	1,41	5,24	0,074	0,45	0,07	0,021	0,138

$$\alpha_p = \frac{1}{2} \rho V^3 h d = 3,60 \text{ W}; \quad \alpha_T = \frac{1}{2} \rho V^2 h d^2 = 0,102 \text{ Nm}$$

$$w_{l+s} = w_{\text{eau livelle}} + S_{\text{moye}}$$

$$w_{f+c} = w_{\text{air fil}} + \text{arrêté}$$

$$w = w_{f+c} + w_{l+s}$$

Tableau 2b: C_T et C_p pour différentes valeurs de d
 Modèle N35 ($\tau/d = 0,22$)

$T_s = 27,8^\circ C$; $T_L = 20,5^\circ C$; $\rho = 1,187 \text{ kg/m}^3$; $V_a = 4,3 \text{ m/s}$; $V = 8,05 \text{ m/s}$; $w_{f+c} = 1,20 \text{ g}$; $l = 32 \text{ cm}$.

w_{l+s} (g)	N (rpm)	w (g)	$P = w_f$ (m^2/s)	$T = P \cdot l$ (m^2/Nm)	$u = \tau N / \rho$ (m/s)	$\beta = T \cdot w$ (W)	$u = w \cdot d / 2$	$\lambda = U / V$	$C_p = P / \rho$	$C_T = T / \rho$
2,56	265	3,78	3,69	1,18	27,75	0,327	2,39	0,395	0,092	0,117
2,73	175	3,93	3,86	1,24	18,33	0,227	1,58	0,26	0,064	0,123
2,99	167	4,19	4,11	1,32	17,49	0,231	1,50	0,25	0,065	0,131
3,08	160	4,28	4,20	1,34	16,78	0,225	1,44	0,24	0,063	0,133
3,68	130	4,88	4,79	1,53	13,63	0,208	1,17	0,19	0,059	0,151
3,83	122	5,03	4,93	1,58	12,78	0,202	1,10	0,18	0,057	0,156
3,92	110	5,12	5,02	1,61	11,52	0,185	0,99	0,16	0,052	0,159
4,18	105	5,38	5,28	1,69	11,09	0,186	0,95	0,157	0,052	0,167
4,33	95	5,53	5,42	1,73	9,95	0,172	0,86	0,14	0,048	0,171

$\rho P = \frac{1}{2} \rho V^3 h d = 3,35 \text{ W}$; $\rho T = \frac{1}{2} \rho V^2 l d^2 = 0,11 \text{ Nm}$

w_{l+s} : w en ligne + 5 cm en p

w_{f+c} : w en f + crochet

$w = w_{f+c} + w_{l+s}$

Tableau 2i: C_p et C_T pour différentes valeurs de λ
Modèle N45 ($\lambda/d = 0,290$)

$T_s = 27,8^\circ\text{C}$; $T_a = 20,8^\circ\text{C}$; $\rho = 1,137 \text{ kg/m}^3$; $V_a = 4,3 \text{ m/s}$; $V = 6,05 \text{ m/s}$; $\omega_{f+c} = 1,209$; $l = 3,2 \text{ cm}$.

w_{l+s} (g)	N (rpm)	w (g)	$\beta = w/g$ (m^2/N)	$T = \rho l$ (m^2/Nm)	$\omega = \pi N/60$ (rad/s)	$P = T\omega$ (W)	$w_c \omega d/l_2$ (m/s)	$\lambda = U/V$	$C_p = P/\rho g$	$C_T = T/\rho T$
2,50	305	3,70	3,63	1,18	21,94	0,3705	2,75	0,45	0,104	0,115
2,58	295	3,76	3,89	1,18	20,89	0,365	2,88	0,44	0,103	0,117
3,15	270	4,35	4,27	1,37	28,27	0,587	2,43	0,40	0,109	0,126
3,53	242	4,73	4,64	1,48	25,34	0,375	2,18	0,38	0,108	0,147
3,63	235	4,83	4,74	1,52	24,61	0,374	2,12	0,35	0,105	0,150
3,79	220	4,90	4,90	1,57	24,09	0,378	2,07	0,34	0,106	0,155
4,14	210	5,34	5,24	1,68	21,99	0,369	1,89	0,31	0,104	0,166
4,21	200	5,41	5,31	1,70	20,94	0,358	1,80	0,30	0,100	0,168
4,30	185	5,50	5,40	1,73	19,37	0,335	1,67	0,28	0,094	0,172
4,58	175	5,78	5,87	1,81	18,33	0,332	1,58	0,26	0,093	0,179
4,74	160	5,94	5,83	1,87	18,76	0,313	1,44	0,24	0,088	0,185
5,39	115	6,59	6,48	2,07	12,64	0,249	1,04	0,17	0,070	0,205
5,70	75	6,90	6,77	2,17	7,85	0,170	0,68	0,11	0,048	0,215

$$dS = \frac{1}{2} \rho V^3 l d = 3,55 \text{ W}; \quad \langle T \rangle = \frac{1}{2} \rho V^2 l d^2 = 0,107 \text{ Nm}$$

$$w_{l+s}: w \text{ vitesse linéaire } = 3 \text{ m/emp}; \quad \omega_{f+c}: \omega \text{ vitesse fil } + \text{ corréct}$$

$$w = w_{l+s} + \omega_{f+c}$$

Tableau 2j: Coefficients C_T et C_p pour différentes valeurs de λ
 Modèle P450 ($z/d = 0,333$)

$T_h = 17,5^\circ\text{C}$; $T_s = 28,3^\circ\text{C}$; $\rho = 1,159 \text{ kg/m}^3$; $m_{f+c} = 1,20 \text{ g}$; $V_a = 4,3 \text{ m/s}$; $V = 6,05 \text{ m/s}$; $\ell = 328 \text{ mm}$

m_{s+l} (g)	N (rpm)	m (g)	P_{moy} ($\text{N} \cdot \text{m}$)	$T = P\ell$ ($\text{N} \cdot \text{m}$)	$\omega = \frac{2\pi N}{60}$ (rad/s)	$P = T\omega$ (W)	$u = \omega d / 2$ (m/s)	$\lambda = u/V$	$C_p = P/\alpha_T$	$C_T = T/\alpha_T$
2,20	165	3,40	3,24	1,069	17,28	0,185	1,49	0,25	0,051	0,104
2,58	155	3,78	3,71	1,187	16,22	0,193	1,40	0,23	0,053	0,115
2,87	147	4,08	4,00	1,280	15,39	0,197	1,32	0,22	0,054	0,124
3,02	120	4,22	4,14	1,325	12,57	0,167	1,08	0,18	0,048	0,129
3,20	95	4,40	4,32	1,382	9,95	0,14	0,87	0,14	0,039	0,134
3,54	90	4,74	4,65	1,488	9,42	0,14	0,81	0,13	0,039	0,144
3,87	30	5,07	4,97	1,590	3,14	0,05	0,27	0,045	0,014	0,154

$$\alpha_p = \frac{1}{2} \rho V^3 h d^2 = 3,62 \text{ W}; \quad \alpha_T = \frac{1}{2} \rho V^2 h d^2 = 0,103 \text{ N} \cdot \text{m}$$

m_{s+l} : masse limaille + source; m_{f+c} : masse fil + crochet.

$$m = m_{s+l} + m_{f+c}$$

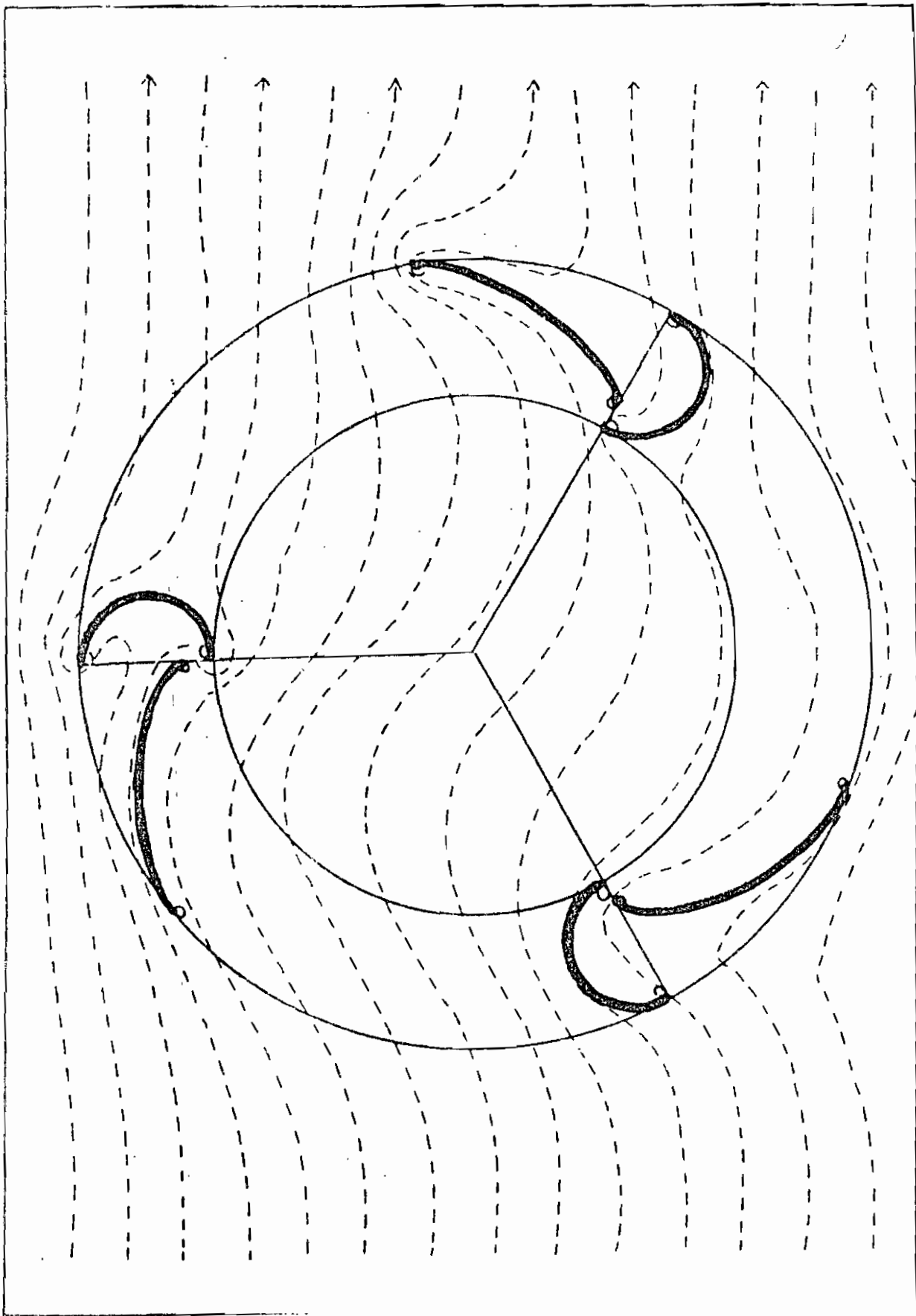


Fig 1: Configuration de la Filippin digivale
tirée de la référence [1]

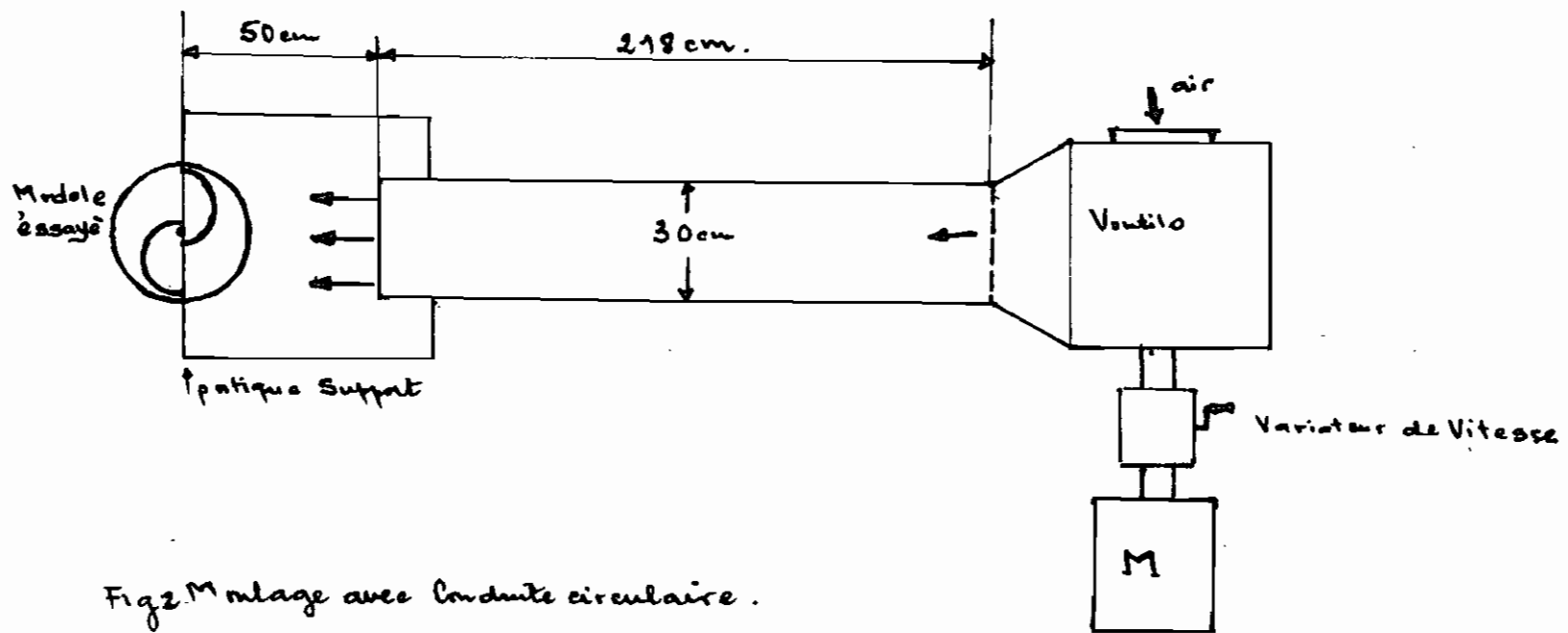


Fig 2 Montage avec Conduite circulaire .

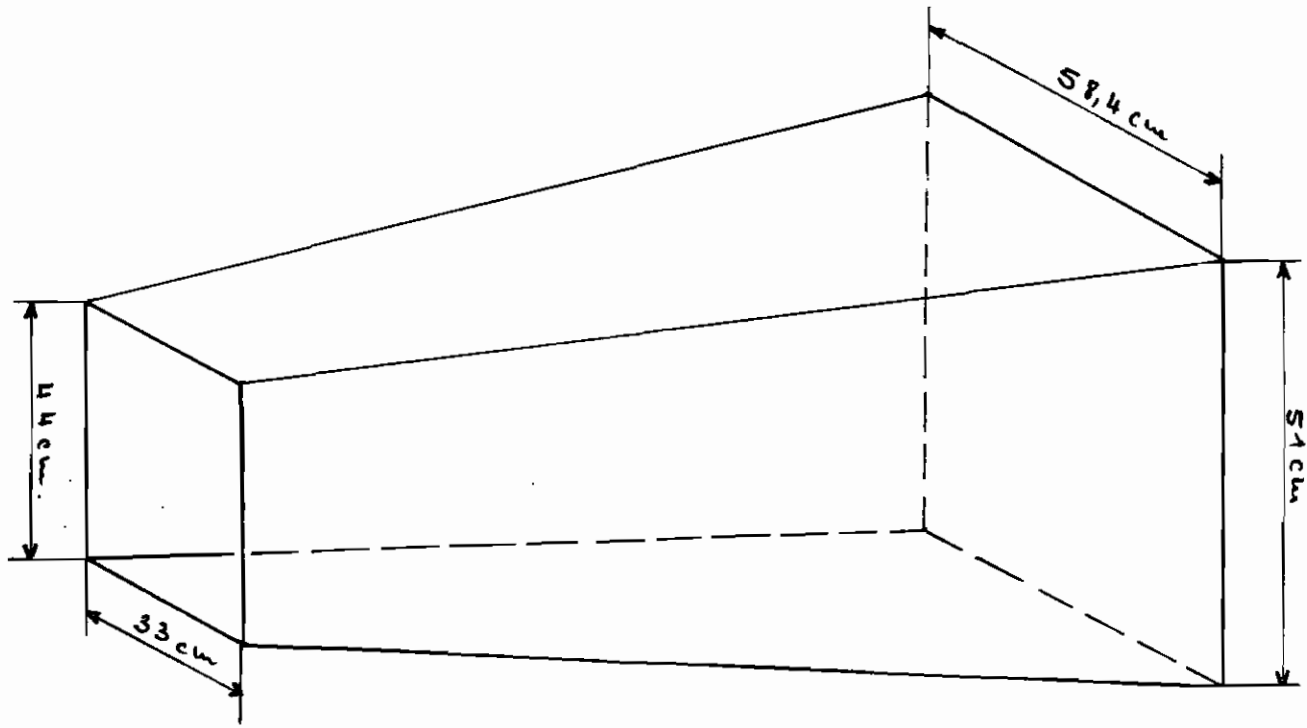
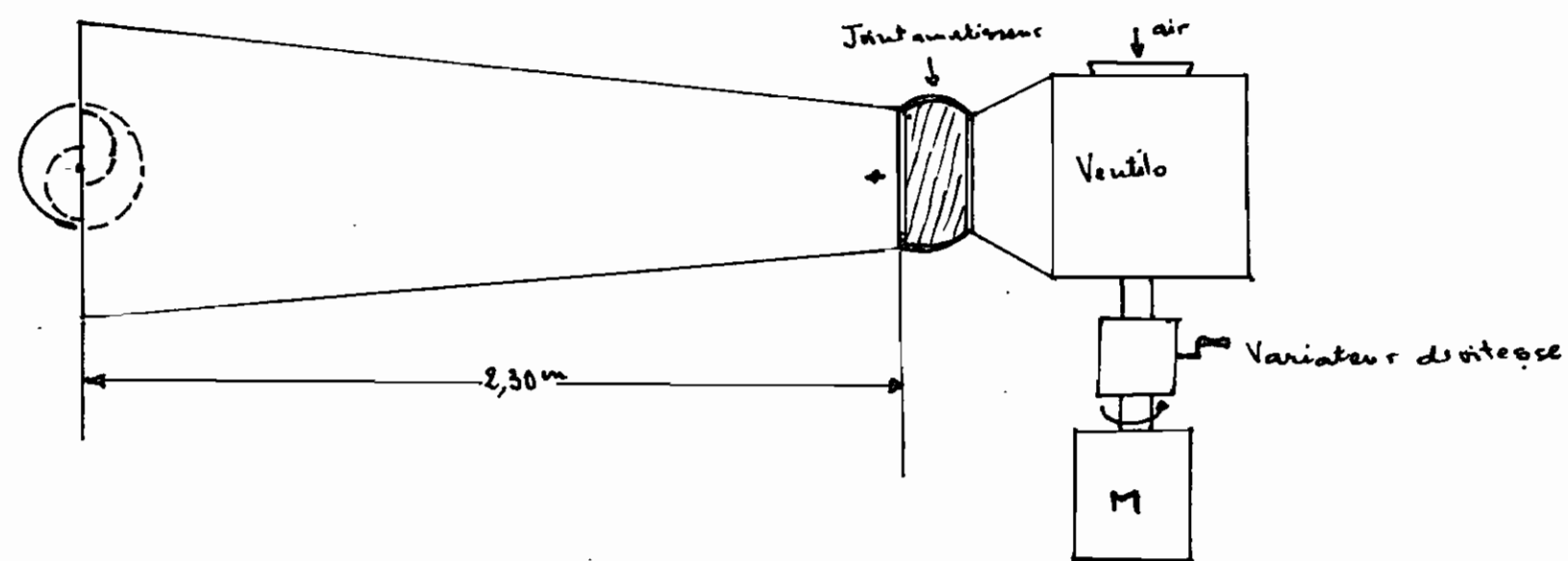


Fig 3: Conduite tuyère à section rectangulaire.

Fig4: Montage avec Conduits à Section rectangulaire



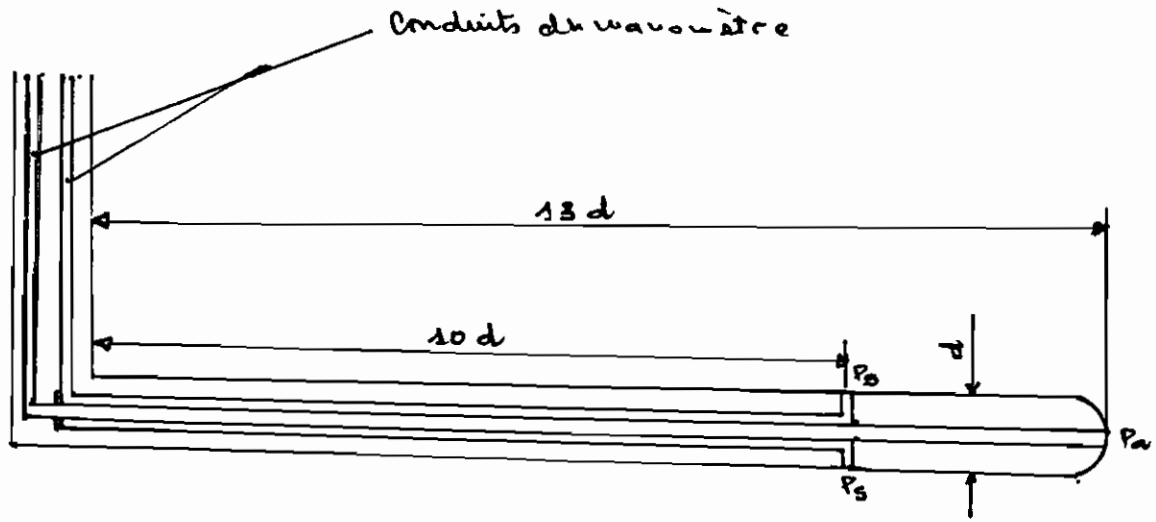


fig. 5a Prise du Tube de Pilote

P_s : orifice pour les pressions statiques.
 P_a : orifice pour la pression d'arrêt.

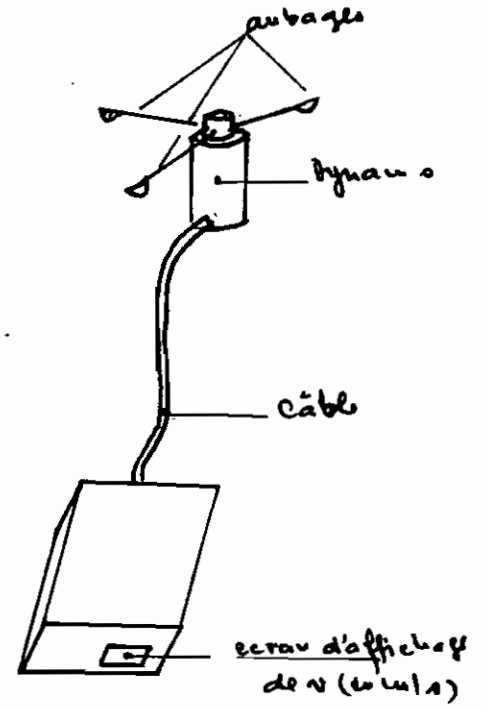


fig 5b. Anémomètre électrodynamique.

Liste des symboles Fig. 8

- A: Vis de serrage du Bloc de freinage
 B: Bloc de freinage
 C: Crochet
 D: Butée
 E: écorn de serrage
 F: fil
 G: Rondelle en plastique
 H: anneau de freinage
 J: bras du fein
 K: tampon de tôle
 L: linaille ; Y: étau de serrage
 M: bloc de Plexiglass.
 N: Modèle à essayer
 O: arbre de l'éolienne
 Q: roulement
 R: ressort antérieur du freinage
 S: plaque de support.
 T: poulie
 U: section terminale de la conduite
 V: Vis de freinage.
 W: Support du bloc de serrage des déviations.
 X: plaque de liaison.

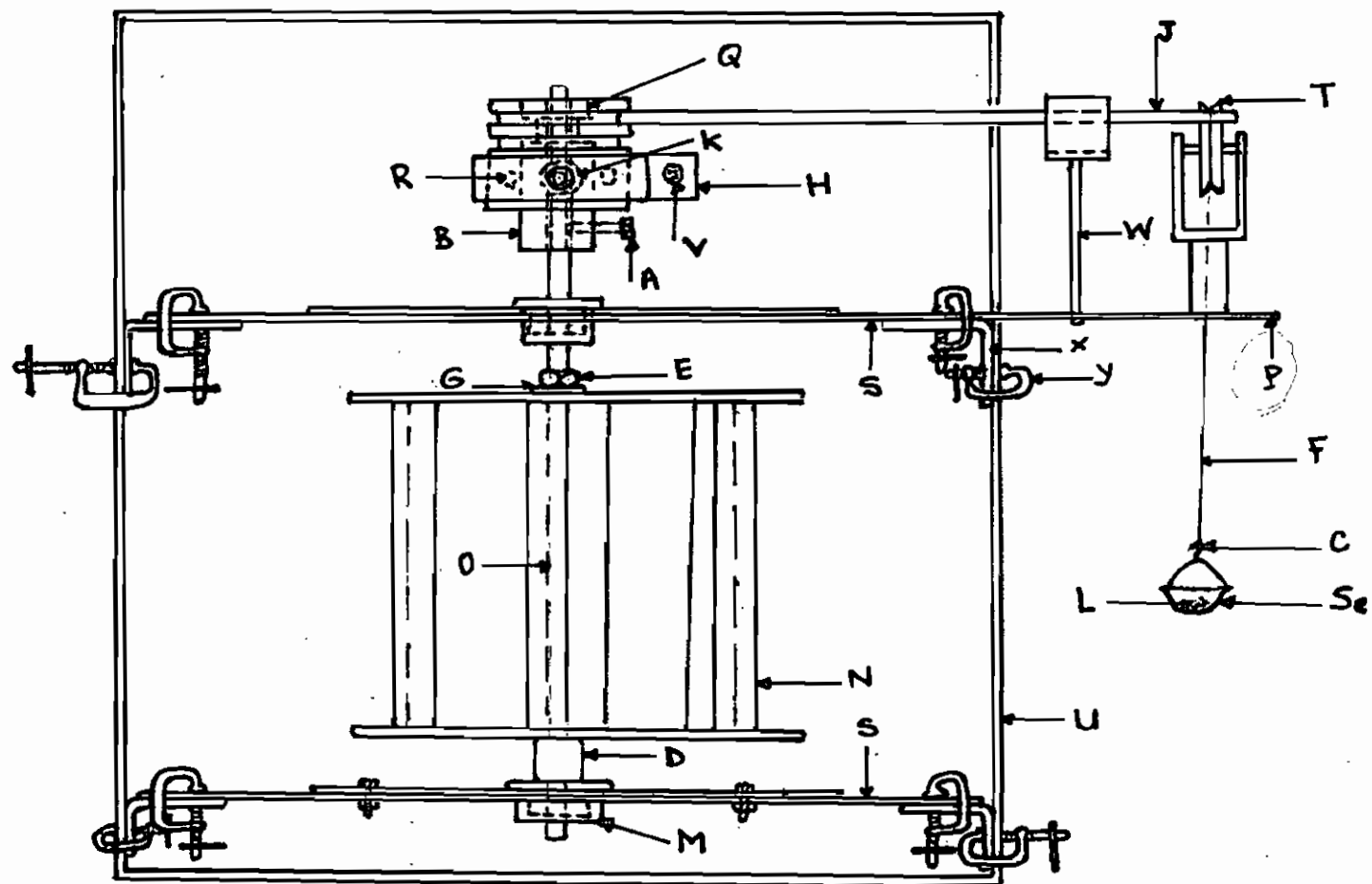
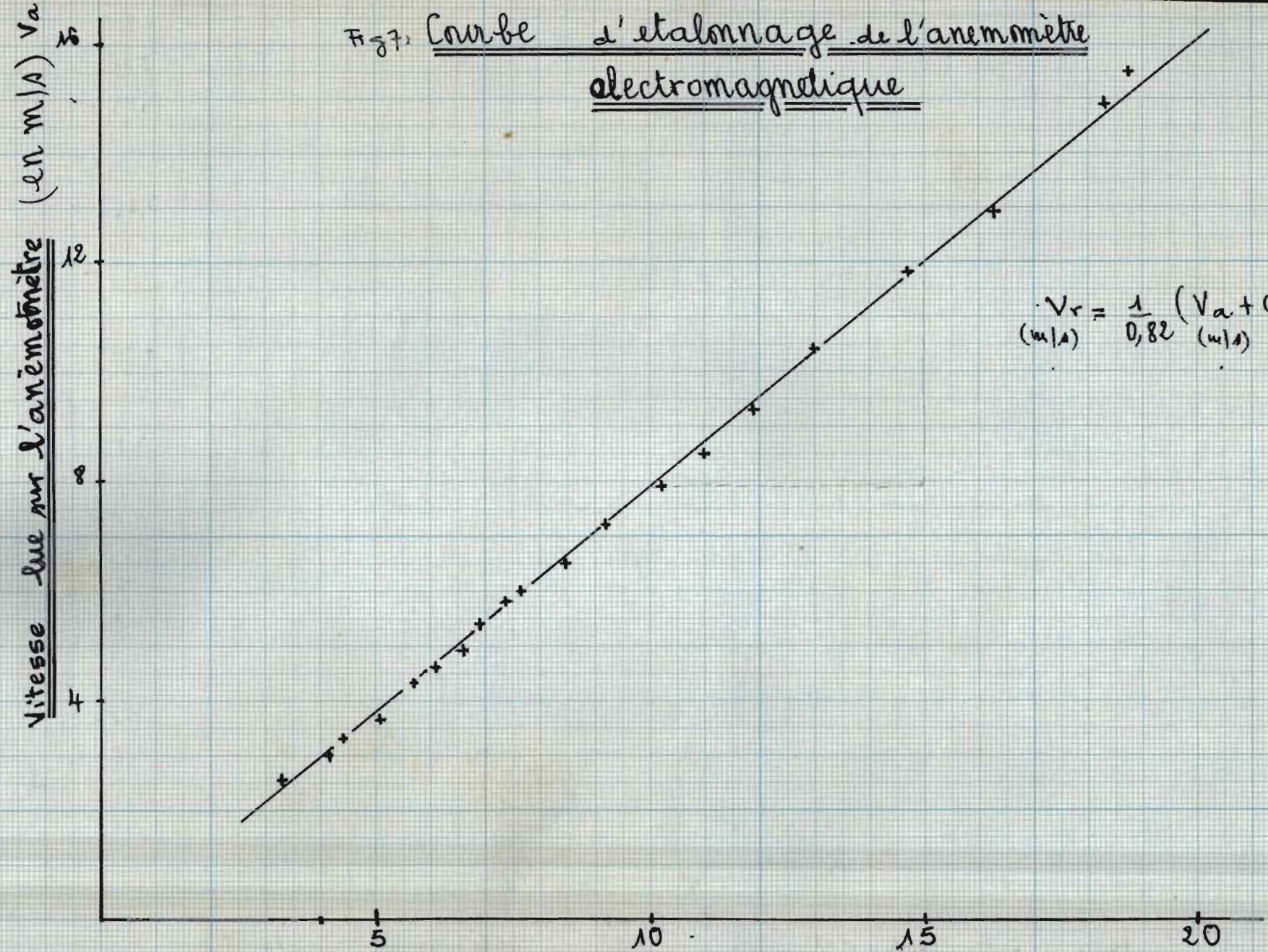


Fig 6: Vue de face du montage

Fig. Courbe d'etalonnage de l'anemometre electromagnetique



$$V_r = \frac{1}{0,82} (V_a + 0,3)$$

(m/s) (m/s)

Fig. Vitesse obtenue par Pitot (en m/s) Vr

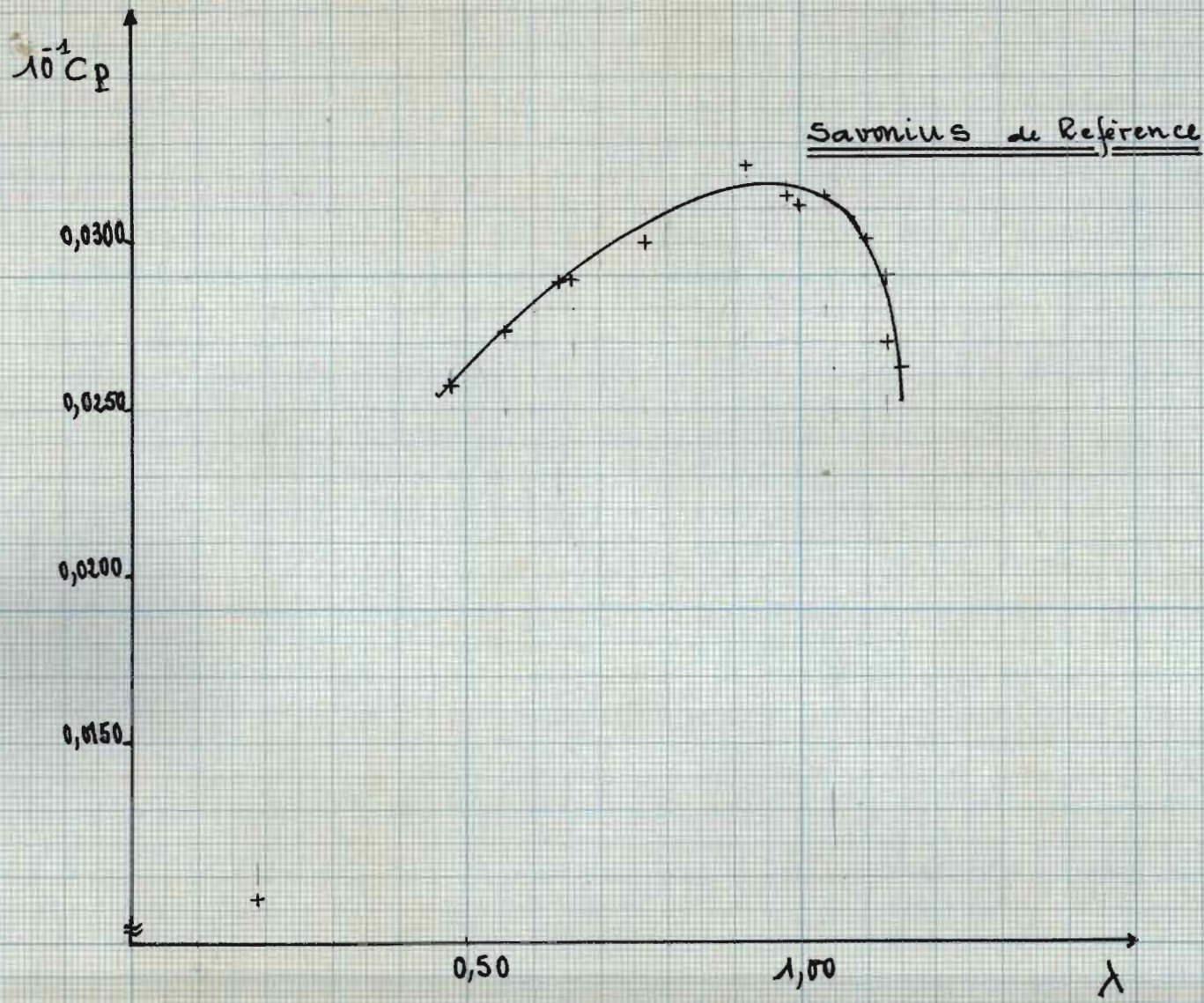


Fig 8a : Variation de c_p en fonction de λ

$10^{-1} C_p$

Eolieuse N1

0,0250

0,0100

0,0150

0,30 0,40 0,50 0,60 0,70 0,80 λ

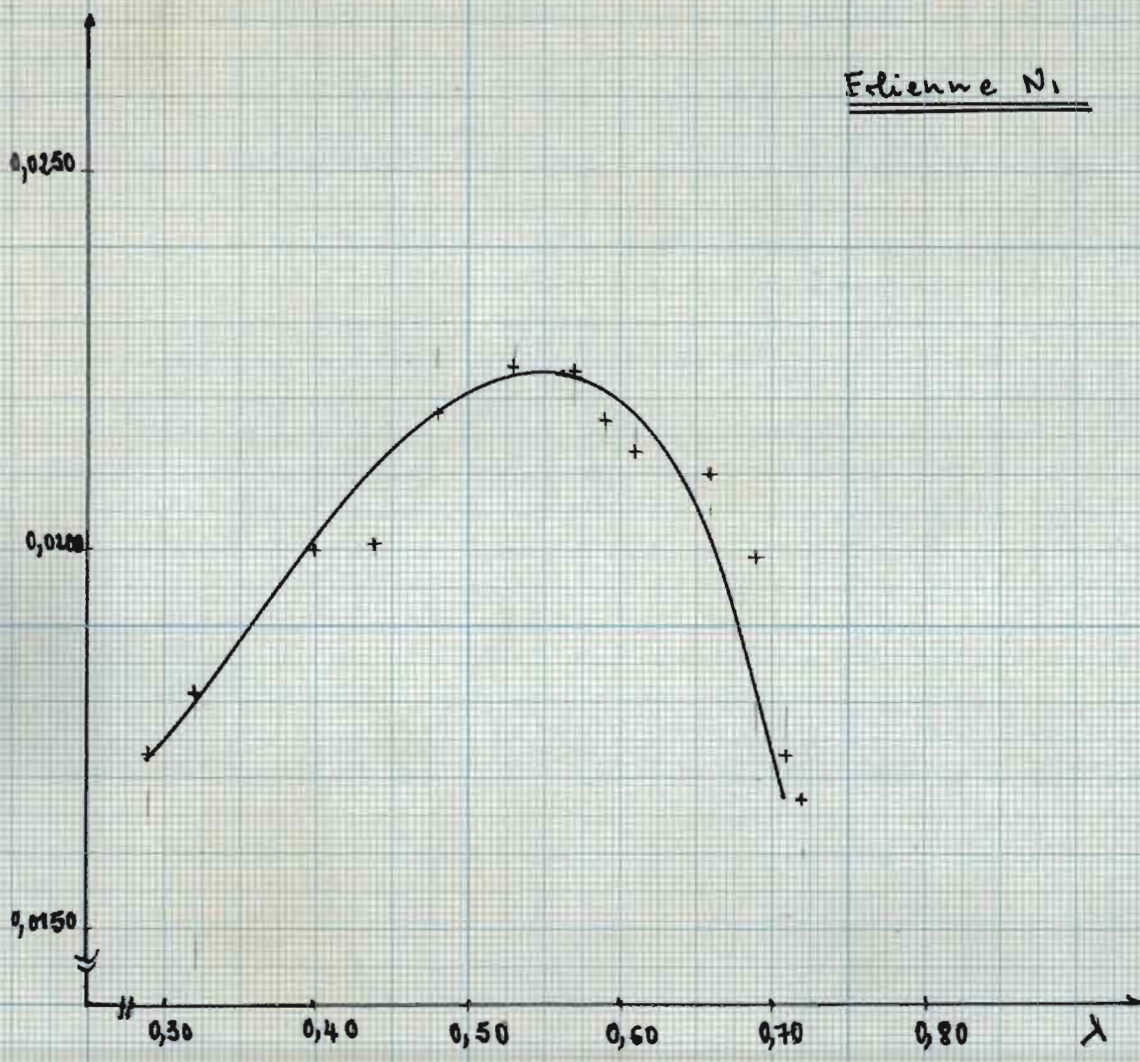


Fig 8b: Variations de C_p en fonction de λ

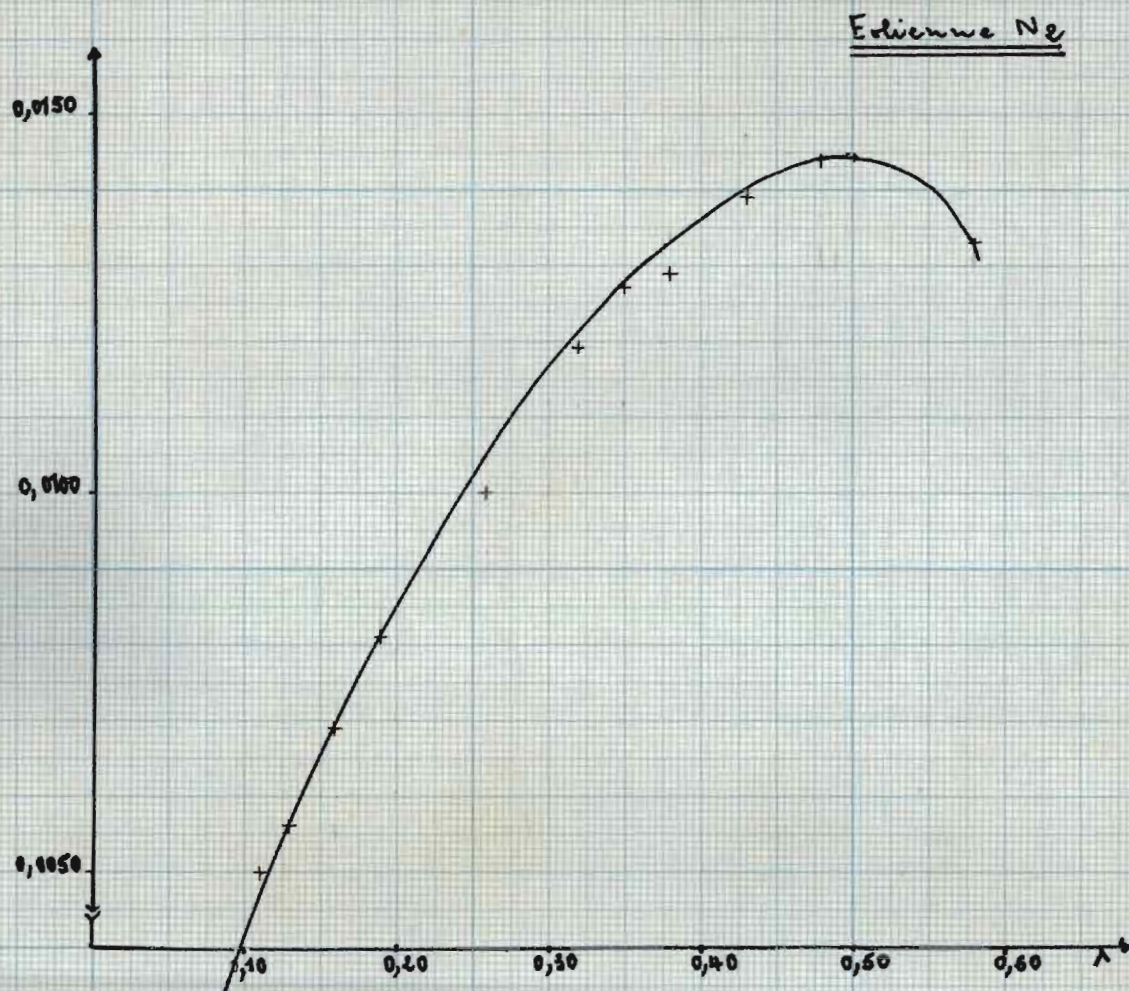
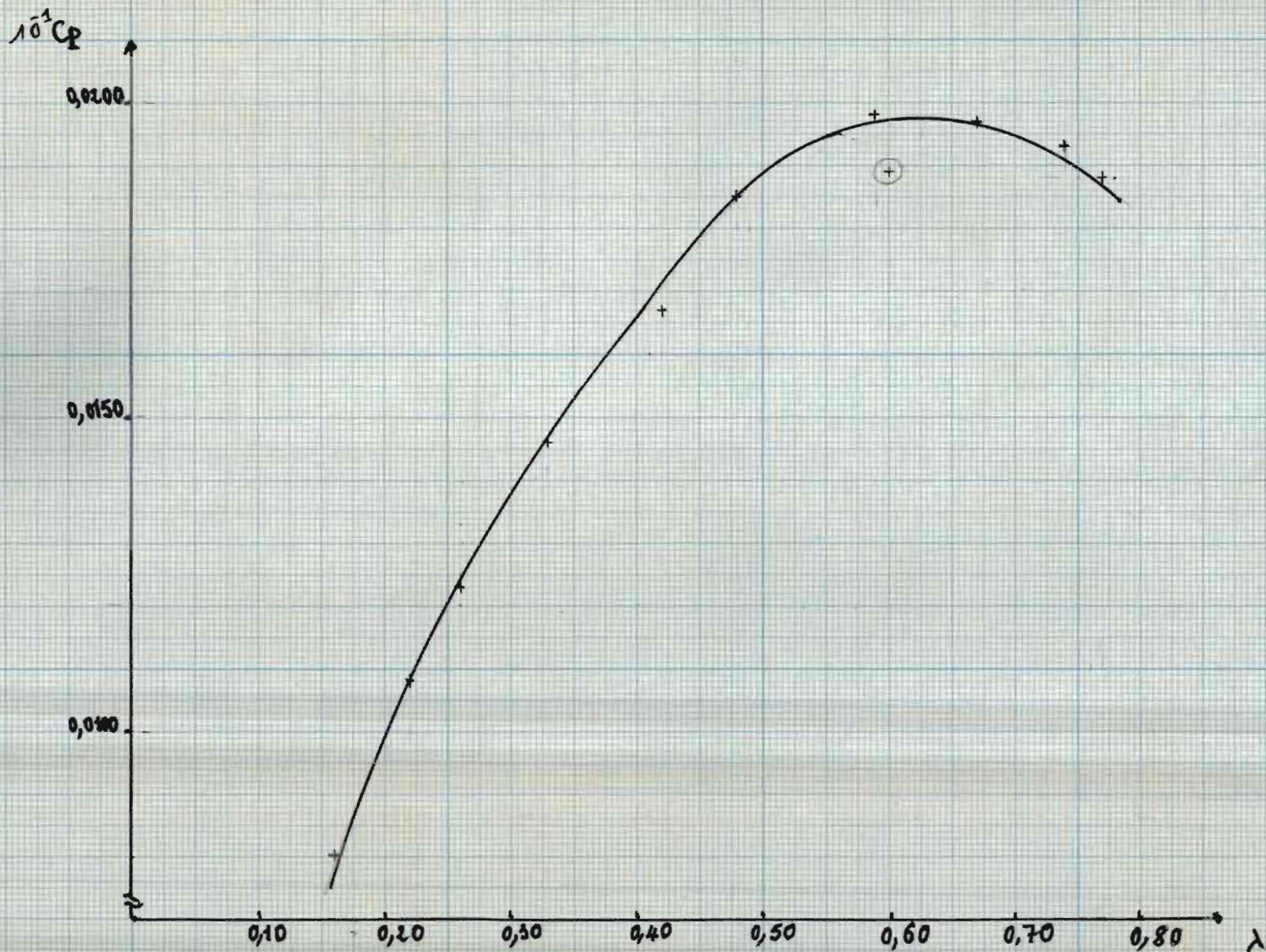
$10^{-1} C_p$ 

Fig. 8c. Variations de C_p en fonction de λ

Eolienne N3Fig 2 d. C_p versus λ

Eolien $w e N_H$

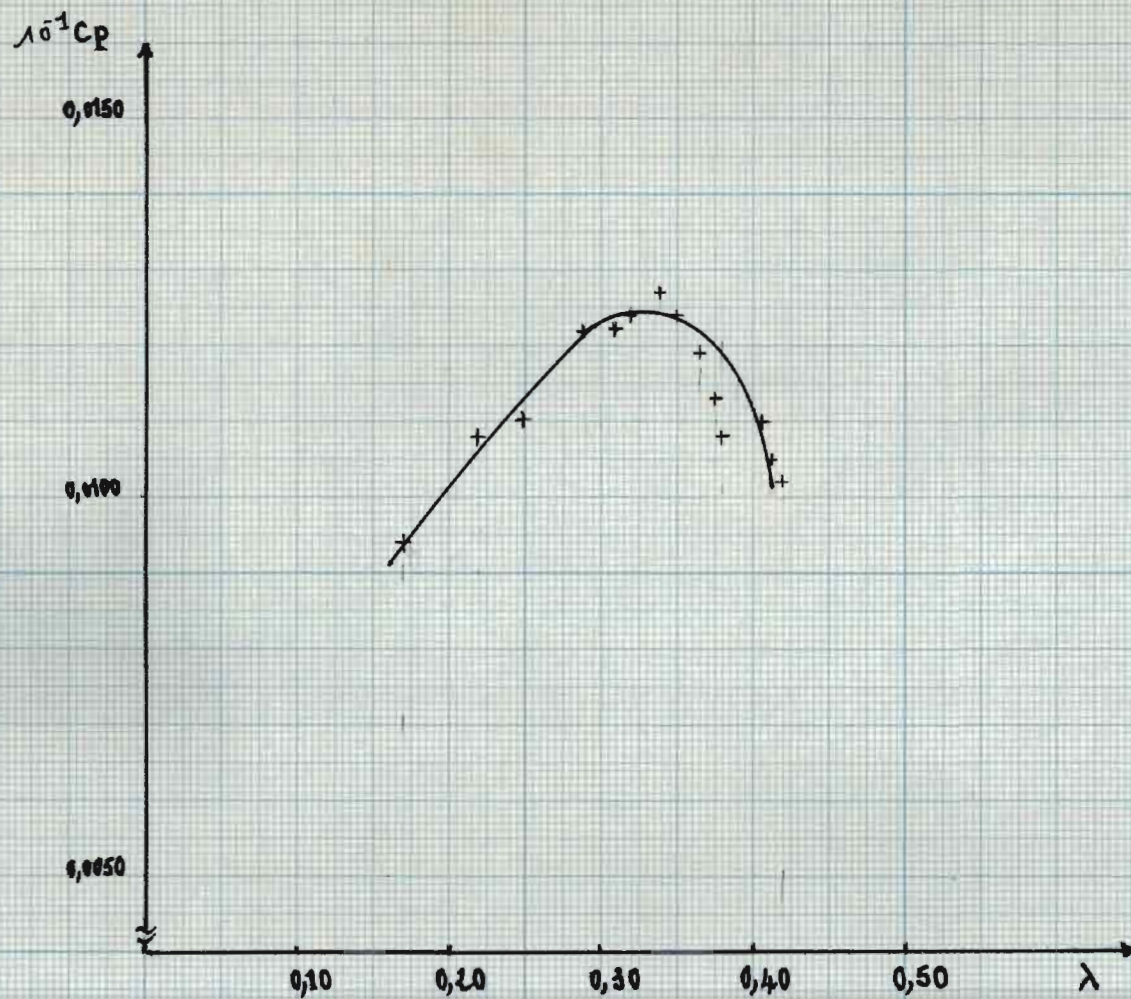


Fig 8e. C_p versus λ

Eolienne N18 (N1 simplifiée)

$\lambda^{-1} C_p$
0,0200

0,0150

0,0100

0,0050

0,10 0,20 0,30 0,40 0,50 0,60 0,70 0,80 λ

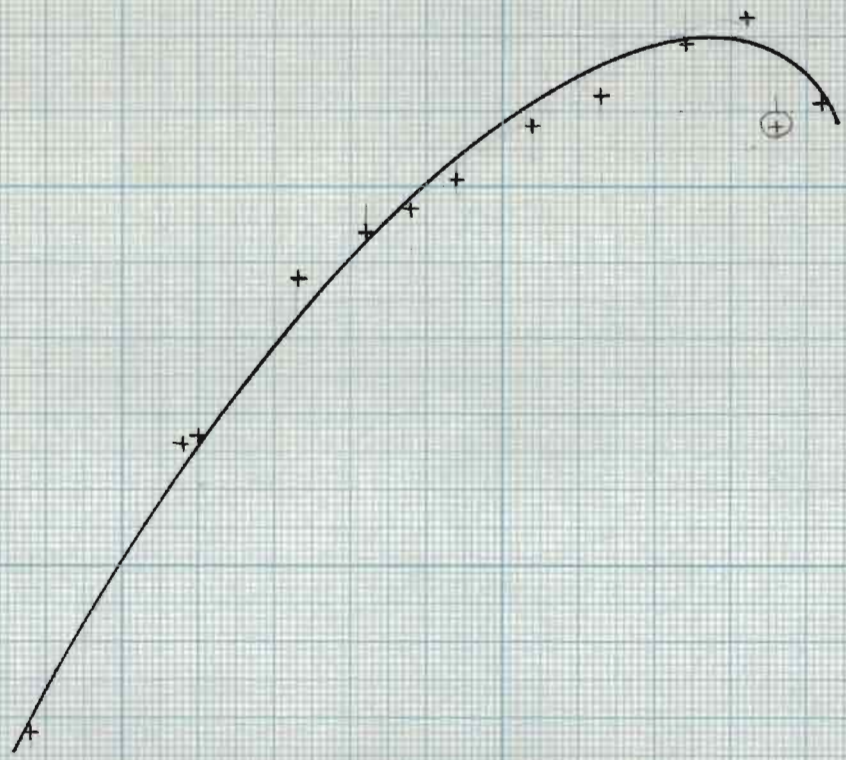


Fig 8 f. C_p versus λ

Eolienne Nes (Ne simplifiée)

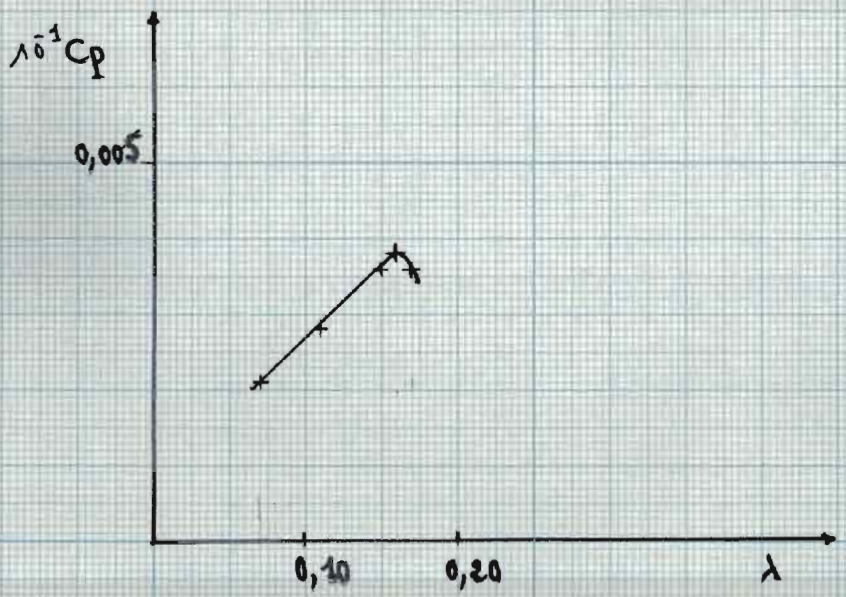


Fig 8 g. C_p versus λ

Eolienne N35 (N3 simplifiée)

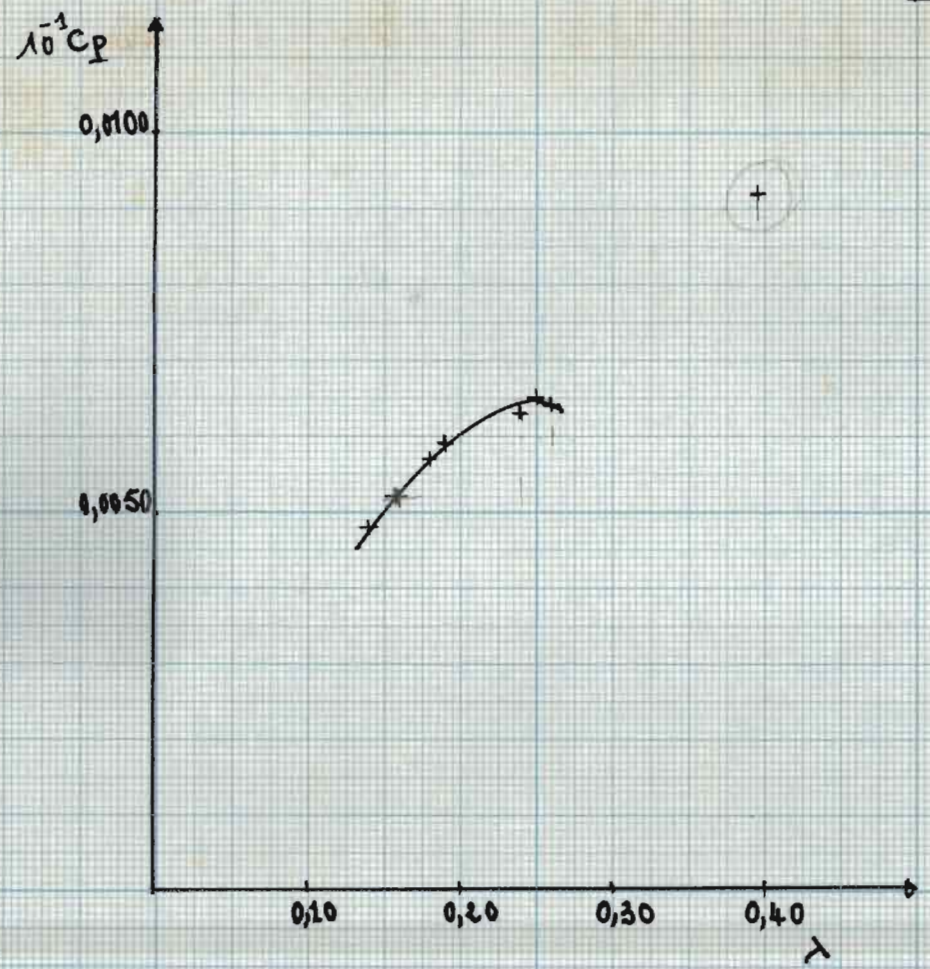


Fig 1 by C_p versus λ

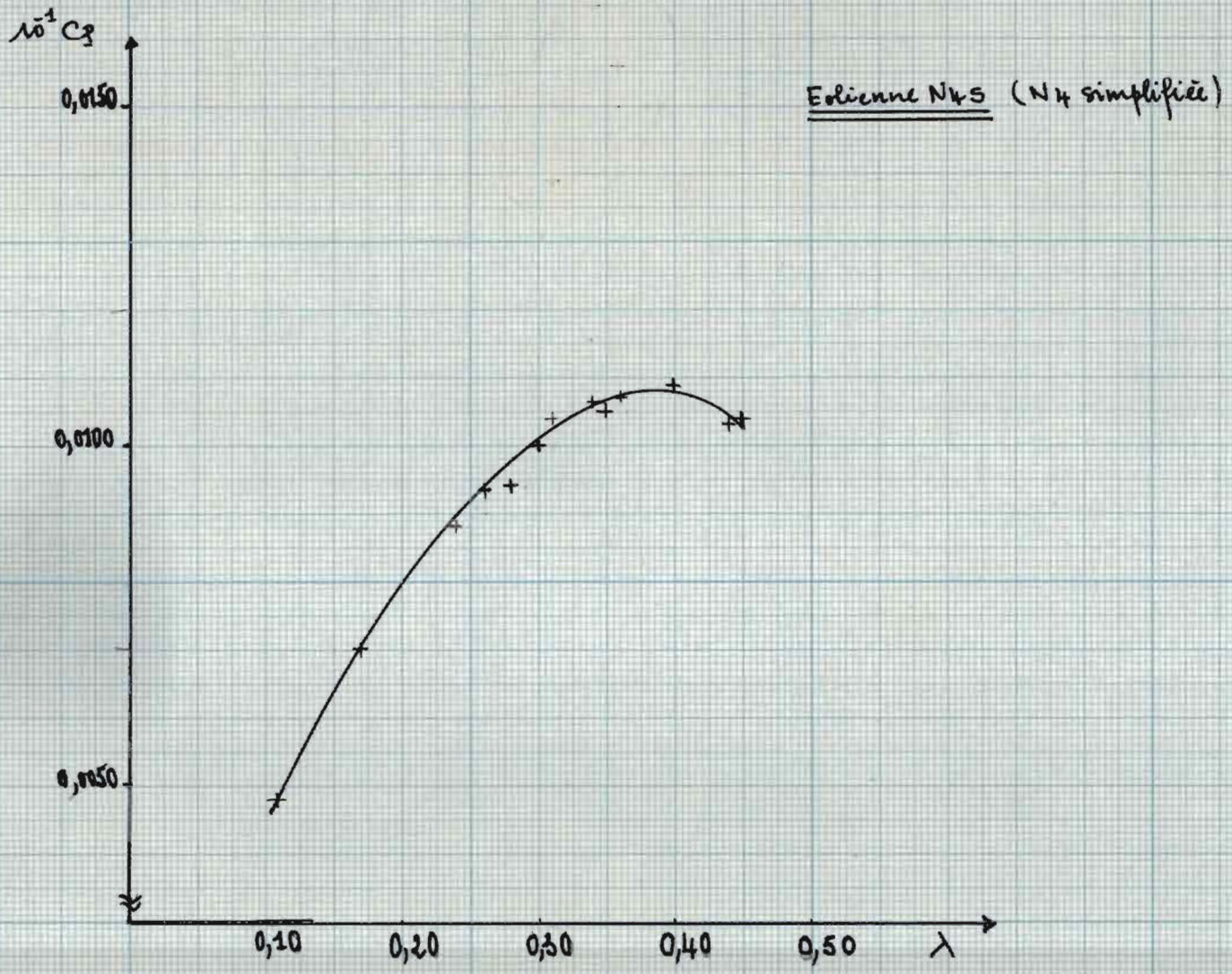


Fig 8 bis. C_p versus λ

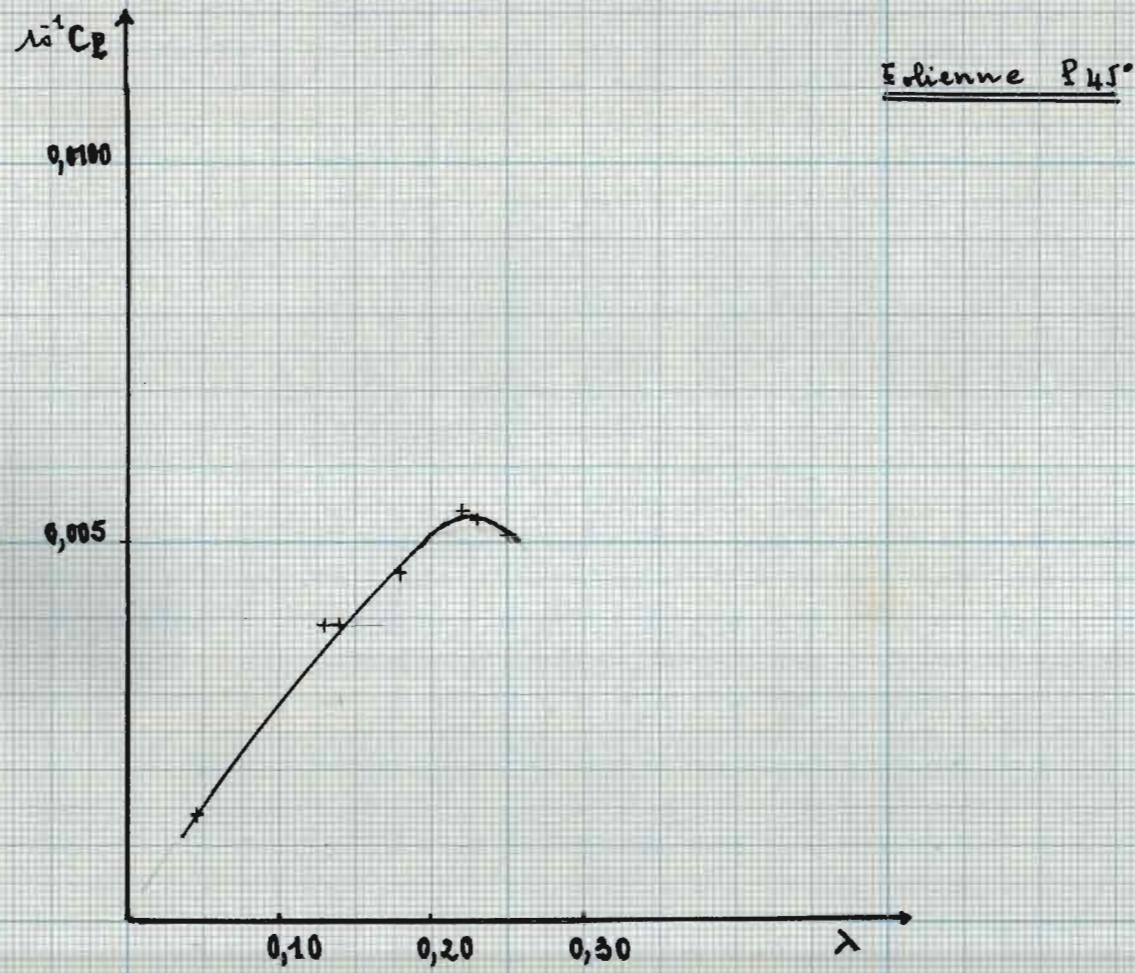


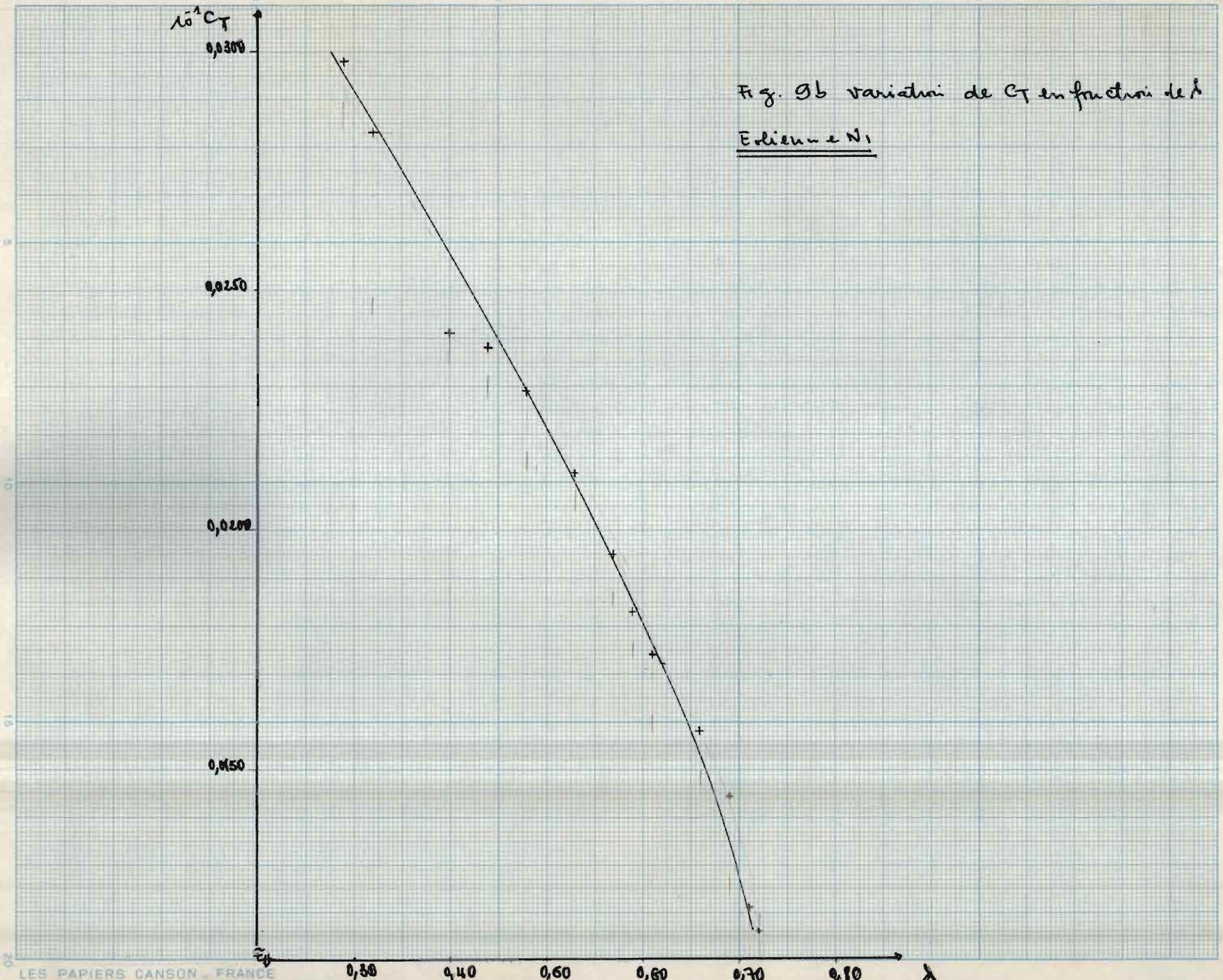
Fig 8j C_p versus λ

Savonius de Reference.



Fig 9a : Variation de C_T en fonction de λ

Fig. 9b variation de C_T en fonction de λ
Erlieu et N1



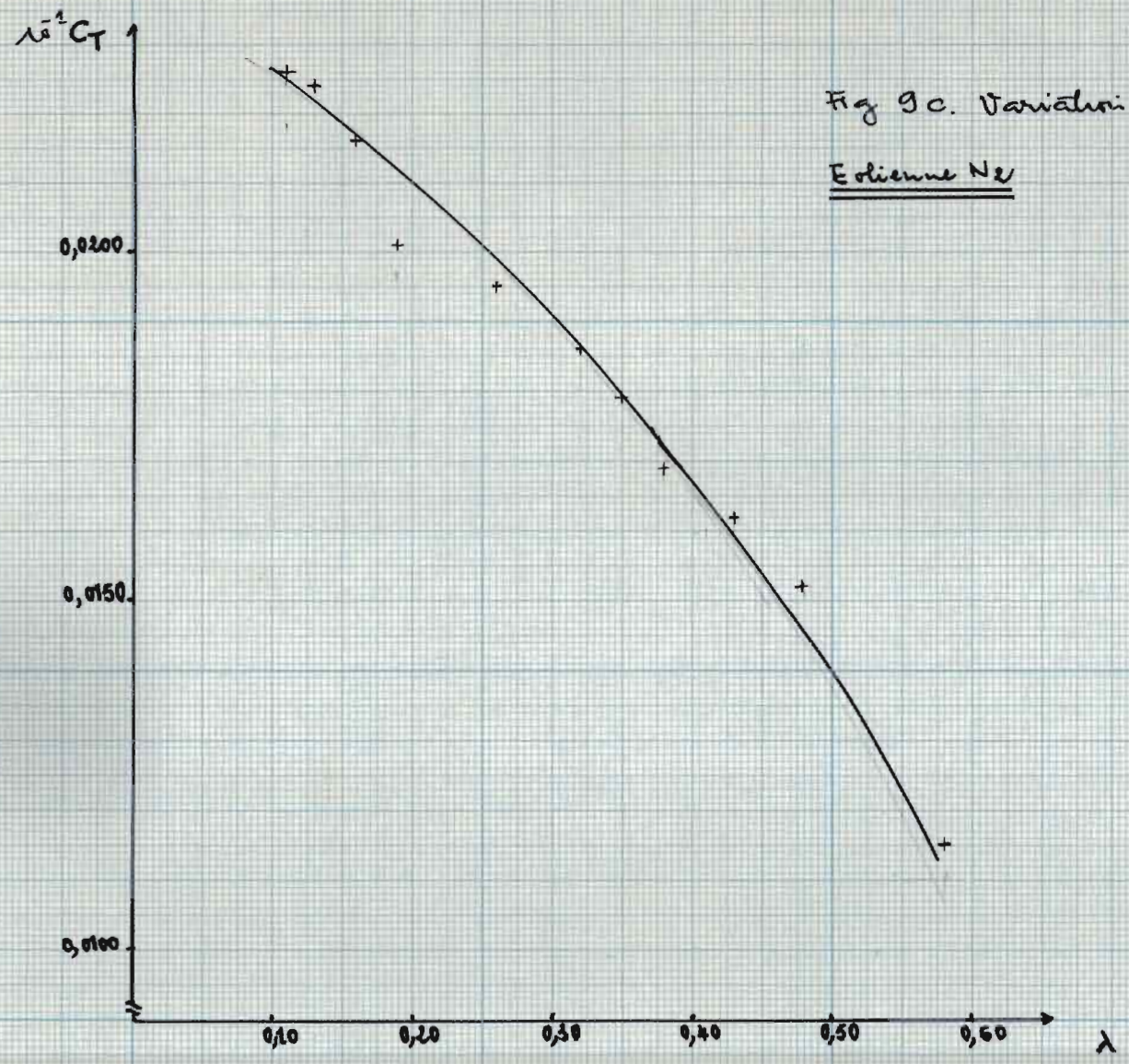


Fig 9c. Variations de C_T en fonction de λ
Eolienne N2

$10^3 C_T$

0,0250

0,0200

0,0150

0,10

0,20

0,30

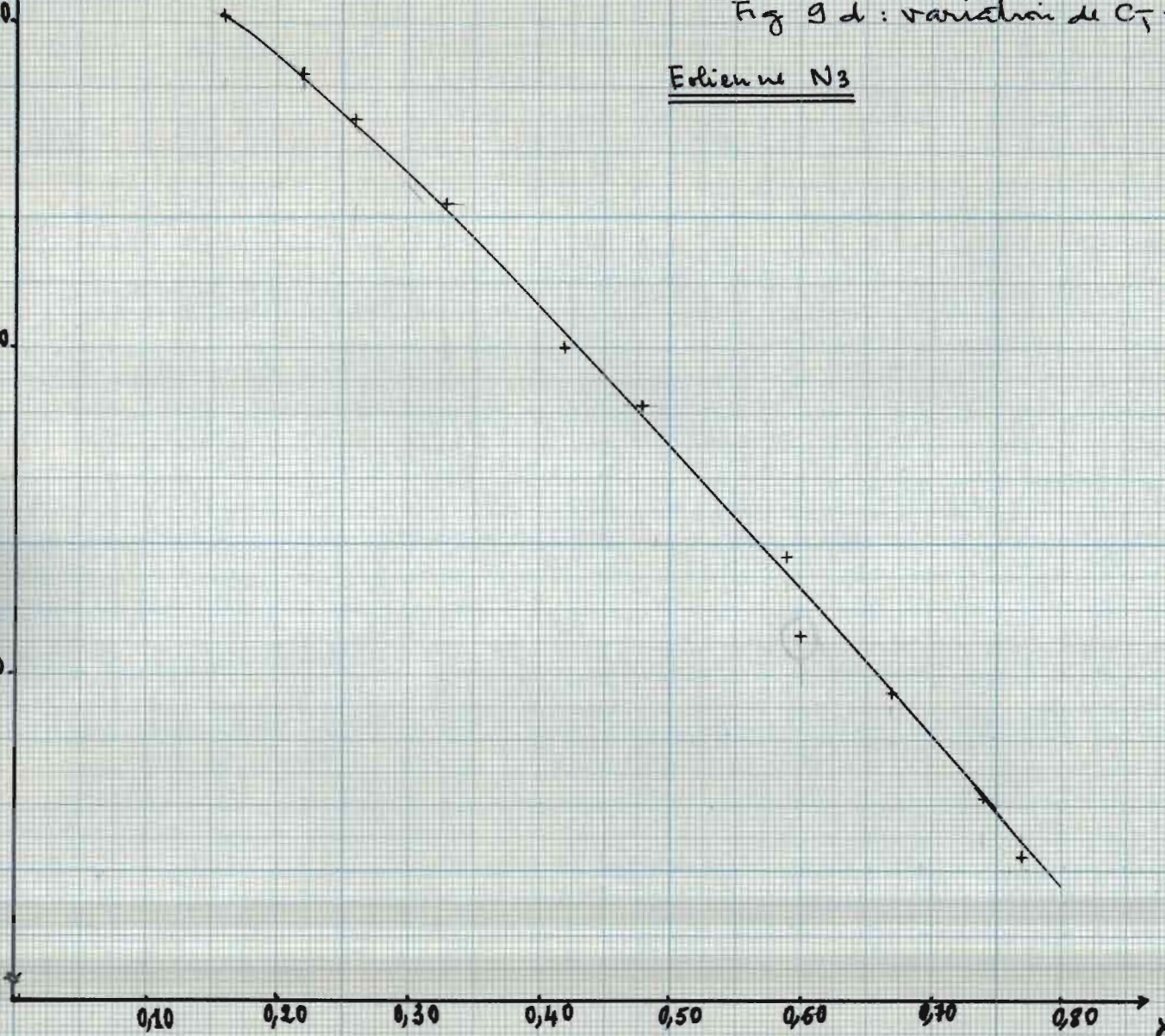
0,40

0,50

0,60

0,70

0,80

 λ Fig 9 d : variation de C_T versus λ Eolien n° N3

Eolienne NH

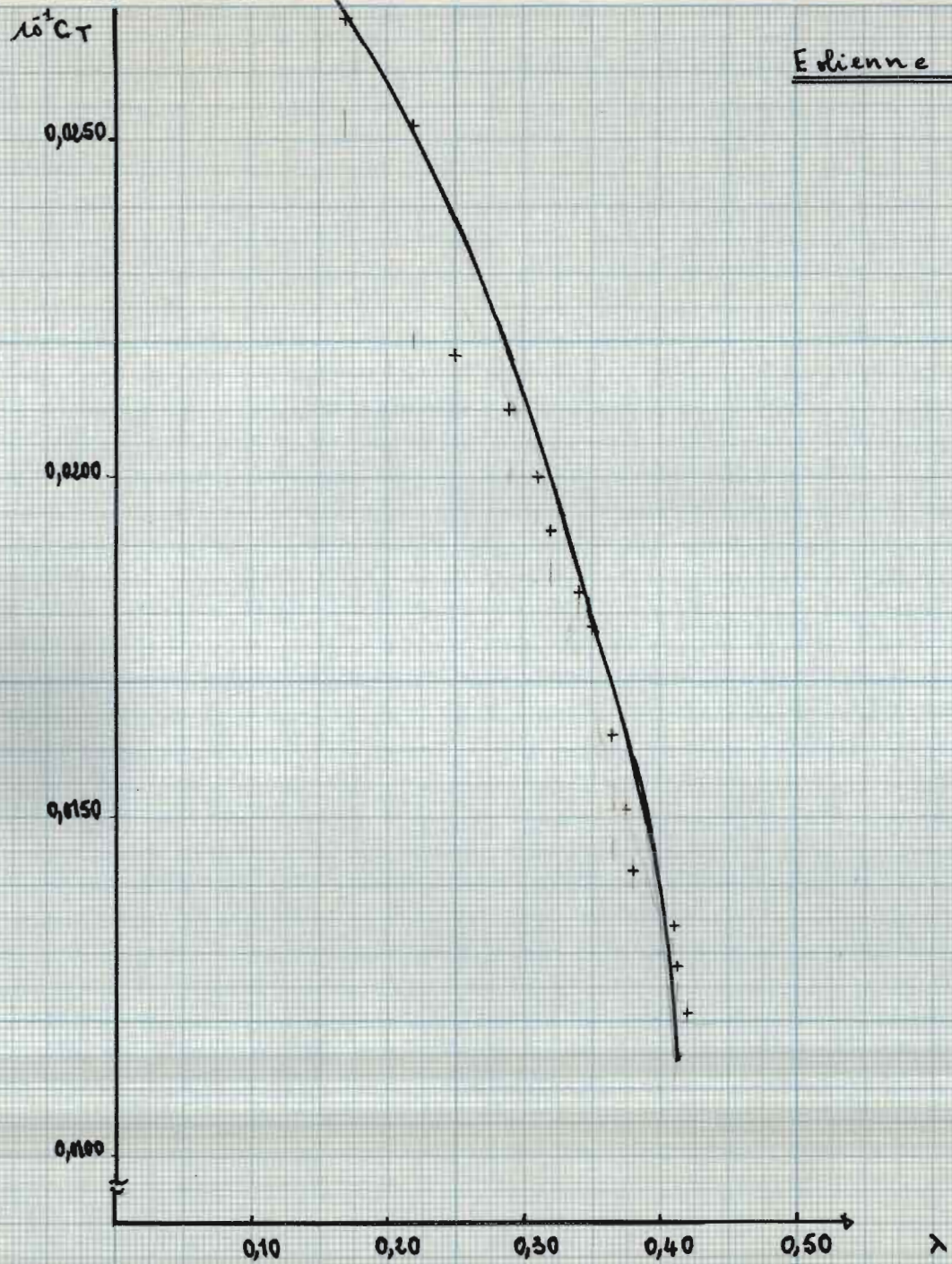


Fig 9e C_T versus λ

Eolienne N16

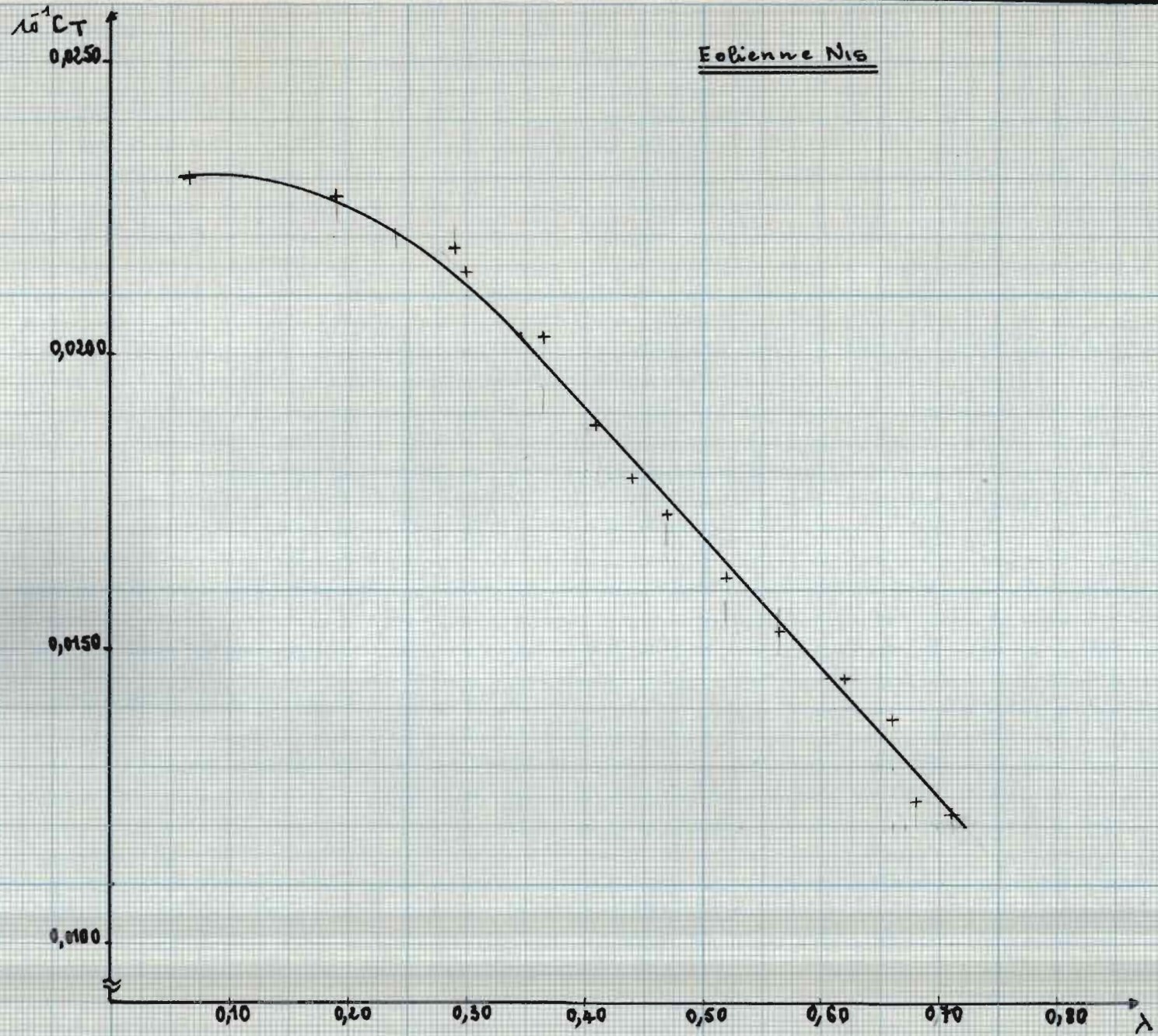


Fig 9f: C_T versus λ

Fig 9g CT versus λ

Eolienne N25

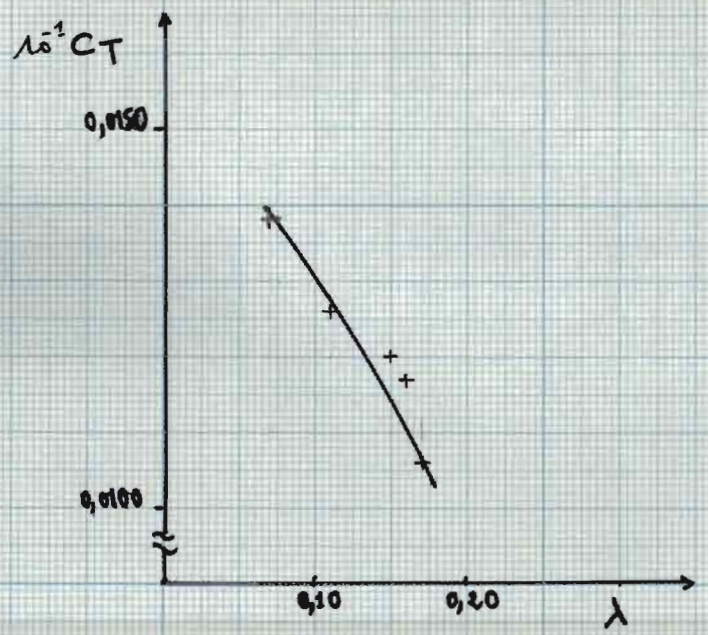
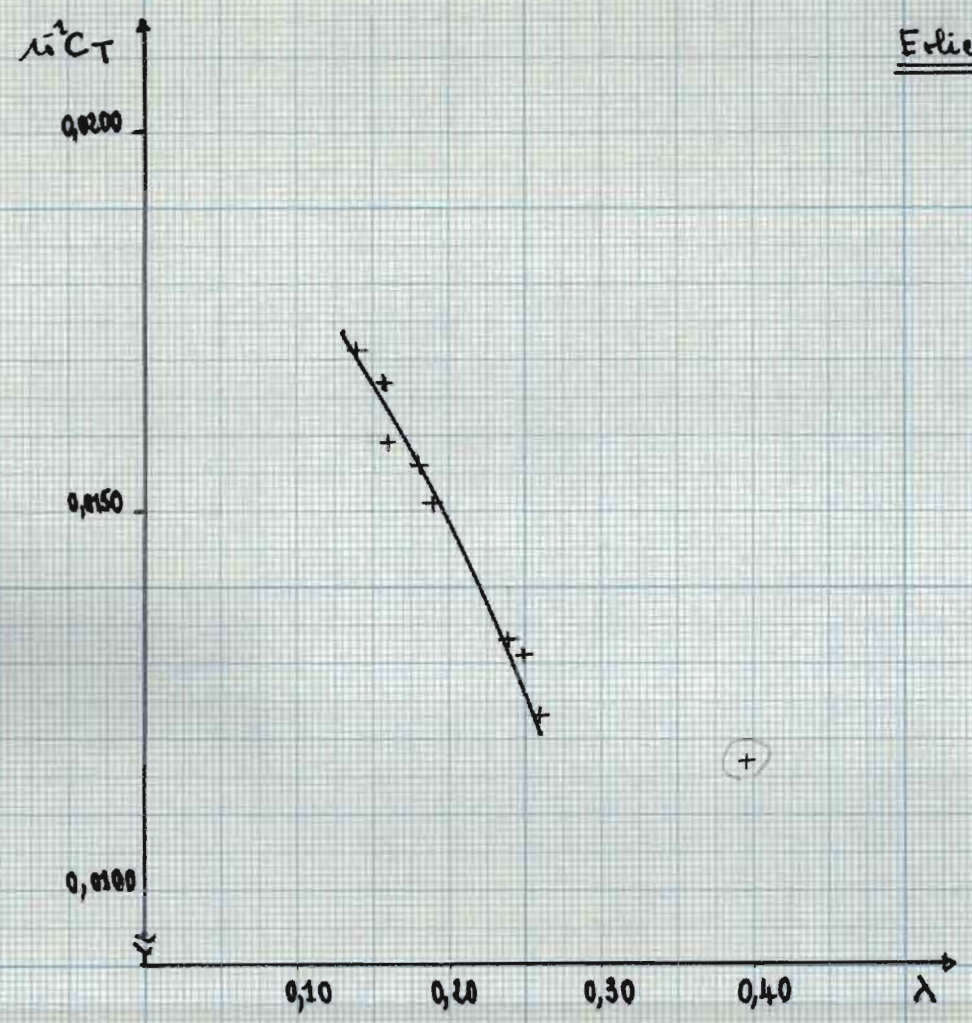


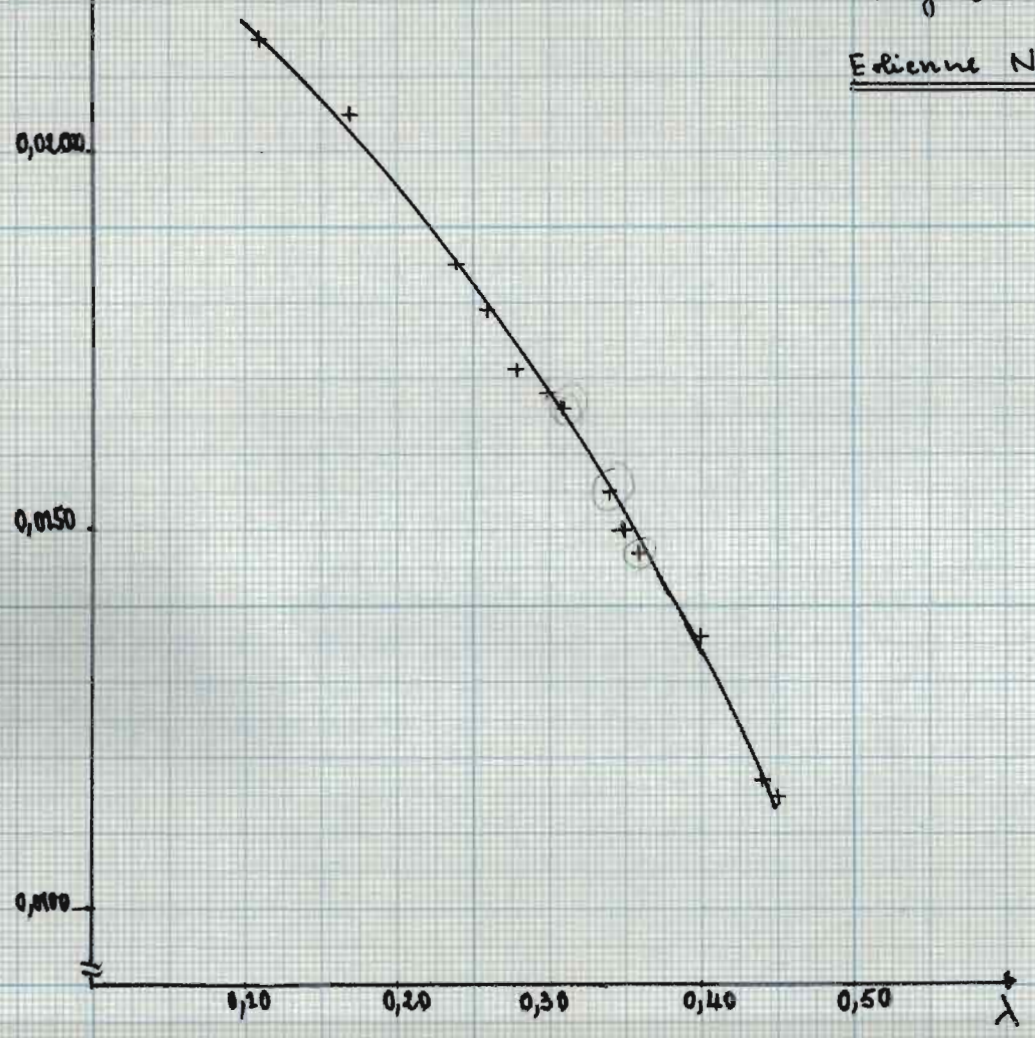
Fig 9b CT versus λ

Elienne N35



$10^3 C_T$

Fig 9i C_T versus λ
Edienne NHS



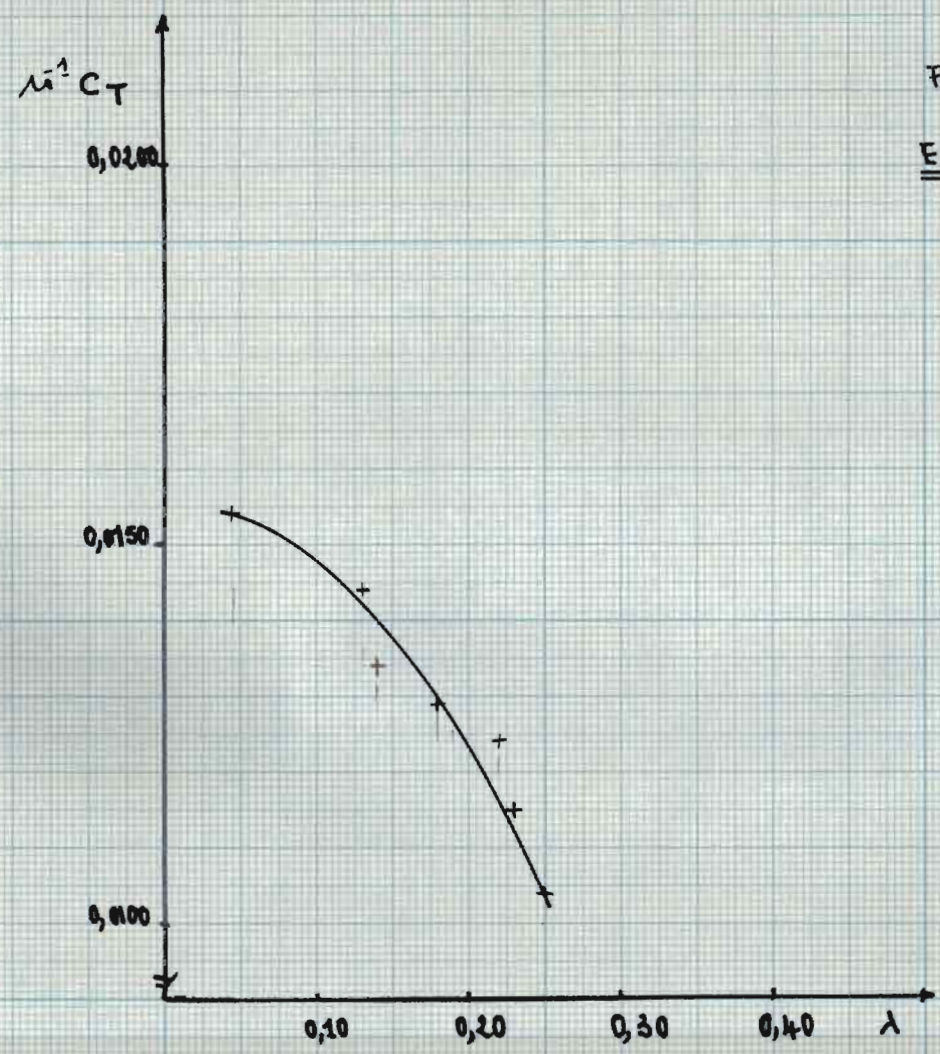


Fig 9j C_T versus λ
Eolienne P45°

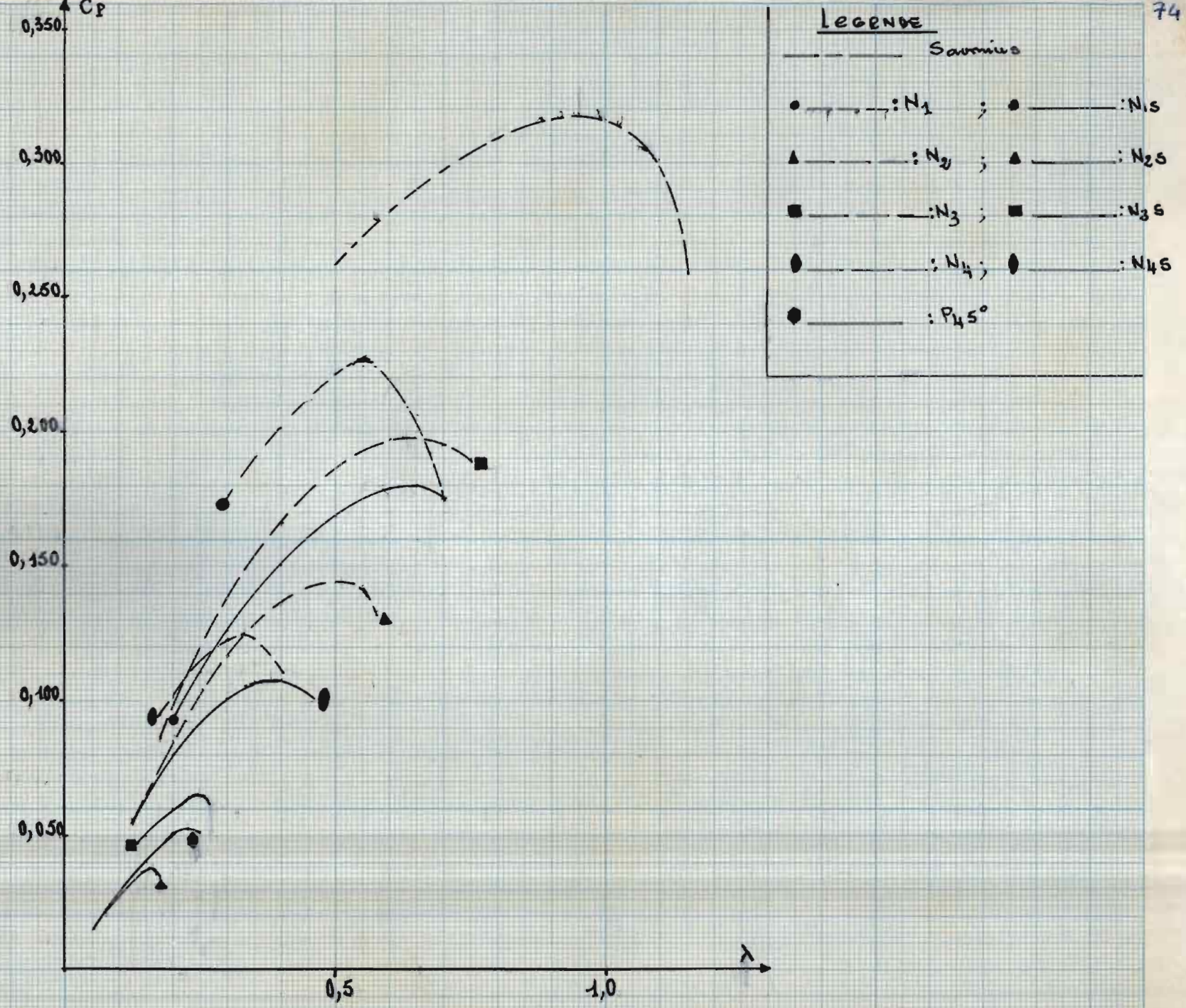


Fig 10. Résumé des courbes C_p versus λ

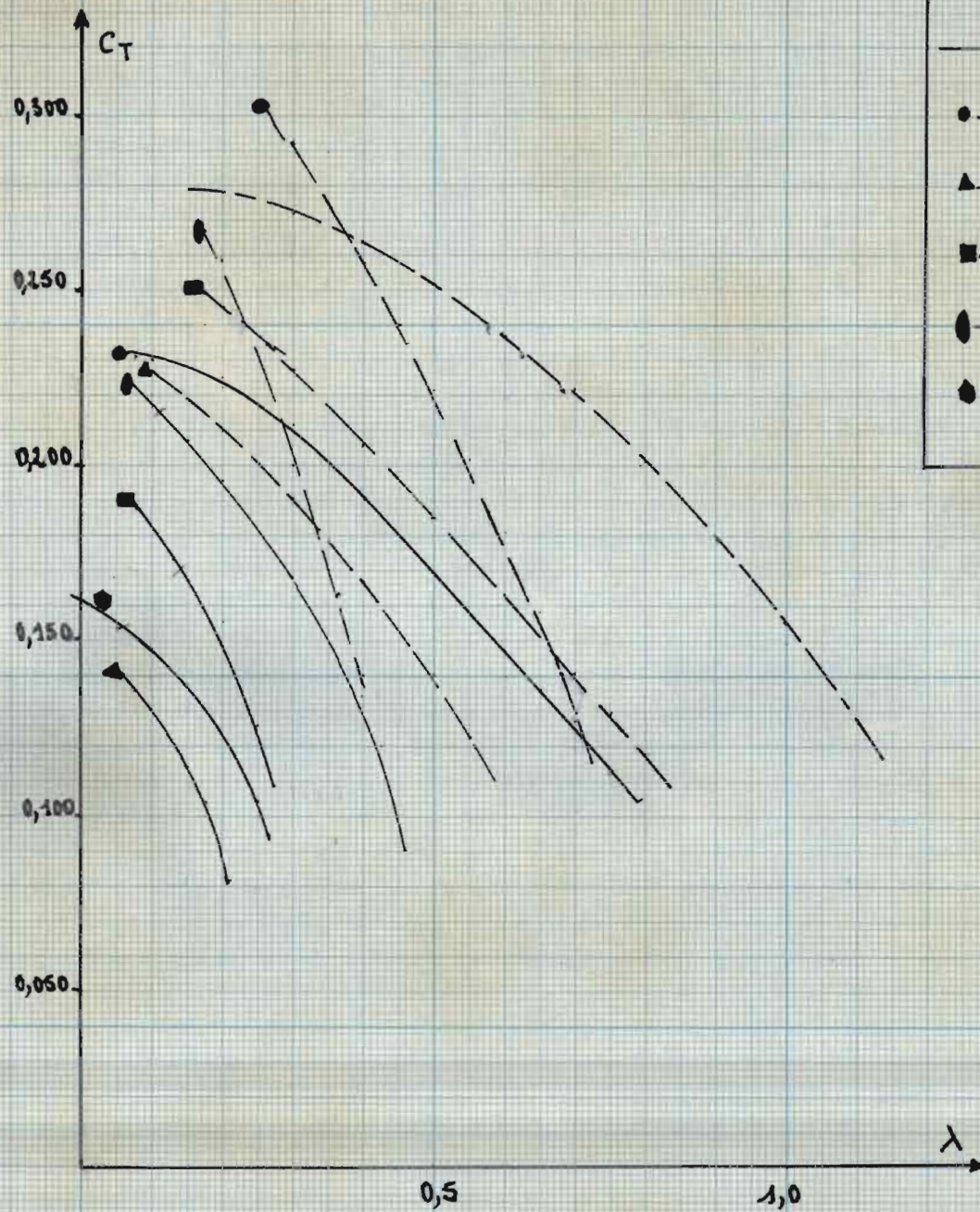


Fig 11 Remise de courbes C_T vers λ pour les modèles essayés.

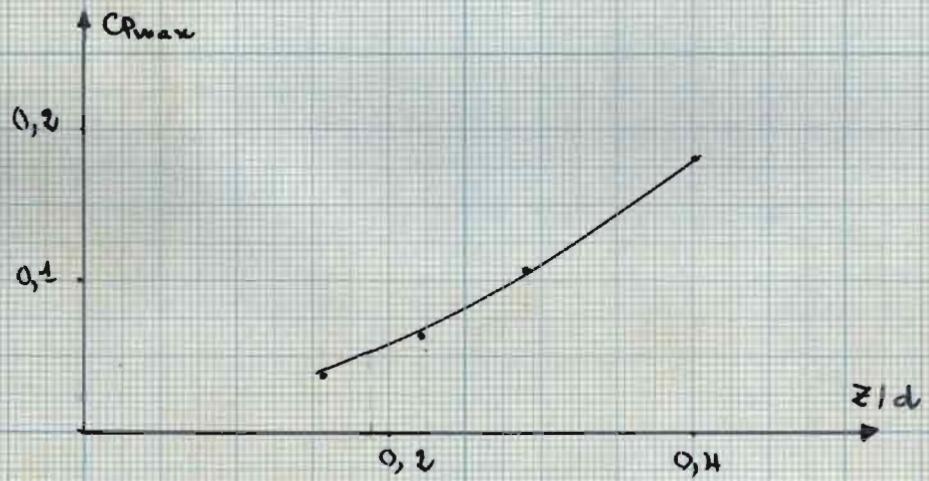


Fig. 12/

$C_{p_{max}}$ en fonction de z/d pour les modèles
Fluppini Simplifié sans plaque.

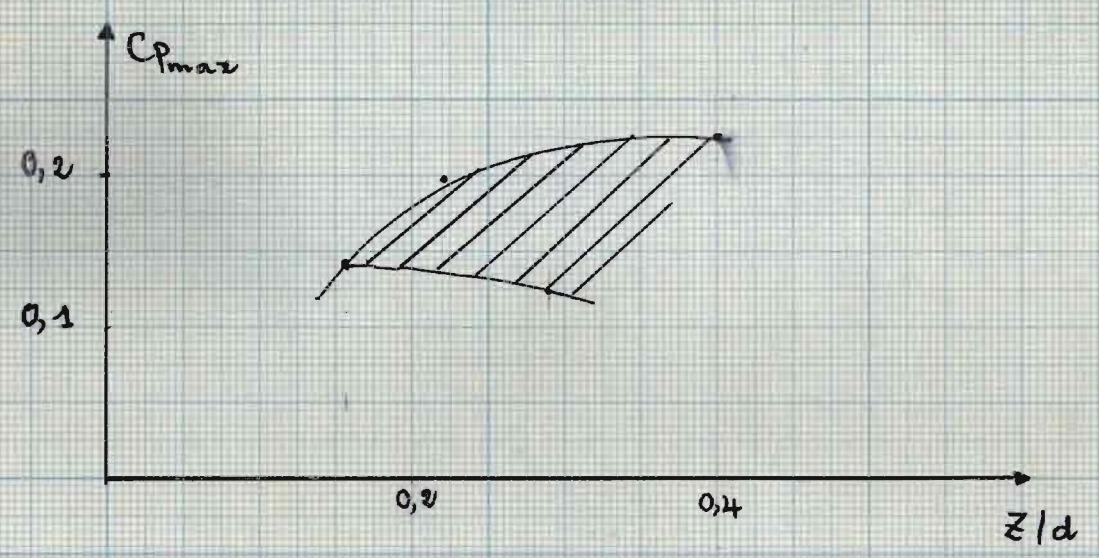


Fig. 13 Variation du coefficient $C_{p_{max}}$ en fonction de z/d
Pour les modèles "Flippini Simplifié" avec Plaque.