

4/82

Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

U.S.T.H.B

Ecole Nationale Polytechnique



Department de Génie Mécanique

VENTILATEUR AXIAL
à aubes orientables

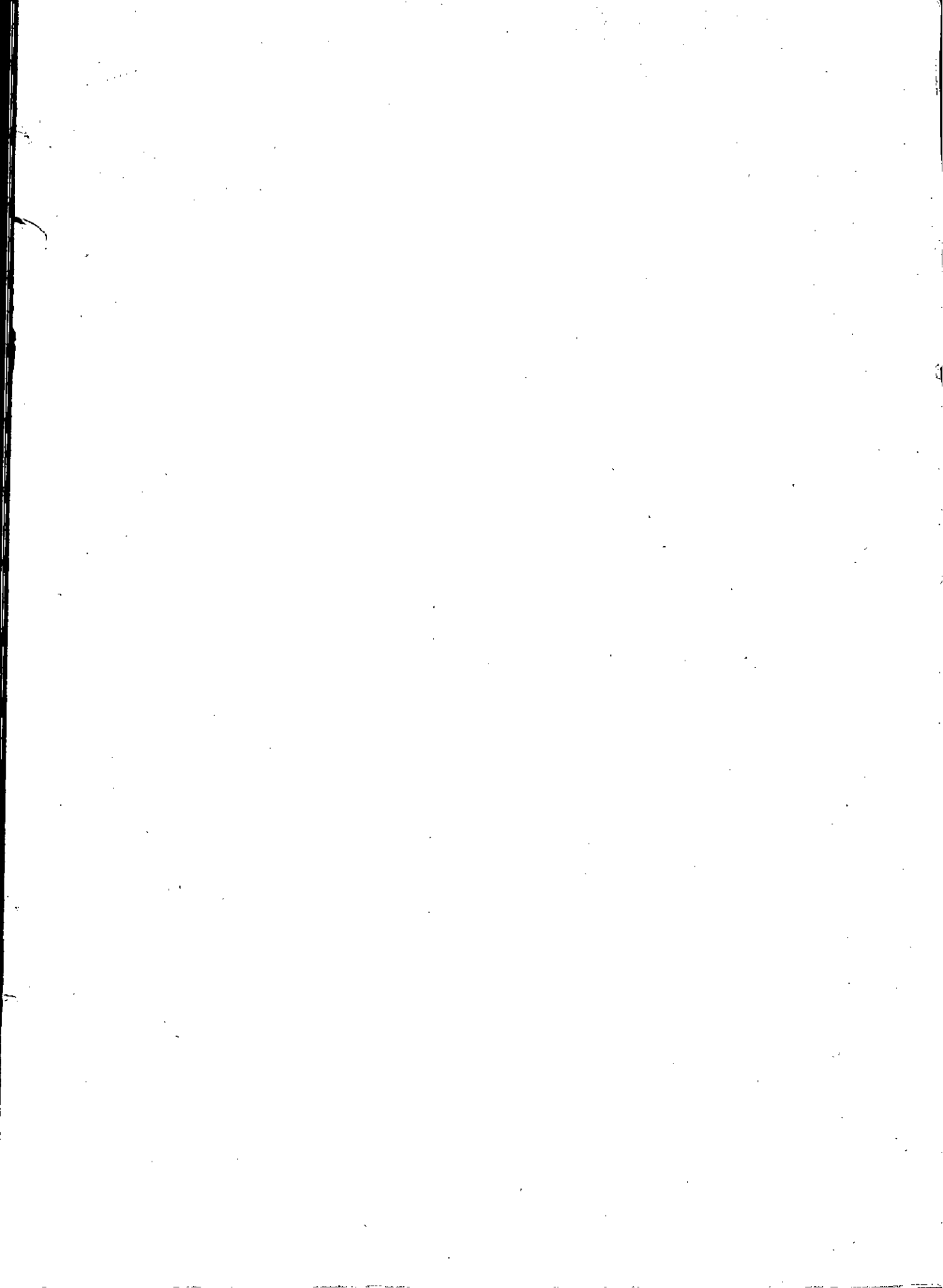
proposé et suivi par:

A. Werner

étudié par:

A. Ait Bouziad

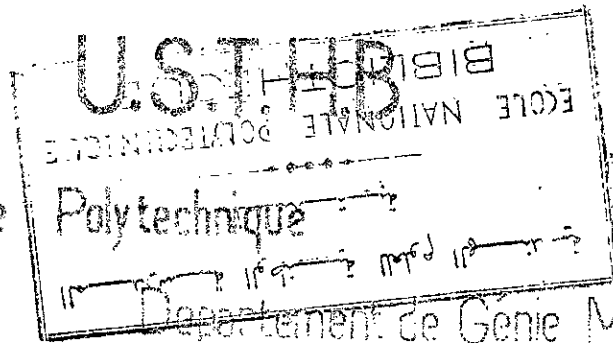
promotion juin 82



Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale

Polytechnique



Département de Génie Mécanique

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

VENTILATEUR AXIAL
à aubes orientables

proposé et suivi par:

A. Werner

étudié par:

A. Ait Bouziad

promotion juin 82

Je remercie monsieur A. Werner, Docteur
Ingénieur maître assistant à l'E.N.P.A.,
pour son aide et ses précieux conseils
qui m'ont été d'une grande utilité.

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| CH.1: Introduction et généralités | 1 |
| 1.1: Introduction | 1 |
| 1.2: Généralités | 2 |
| CH.2: Calcul aérodynamique | |
| 2.1: Dimensionnement à la charge de 100% | 4 |
| 2.2: Construction du triangle des vitesses | 7 |
| 2.3: Détermination des coefficients de portance | 10 |
| 2.4: Détermination de l'angle de décrochage | 13 |
| 2.5: Calcul des coefficients de portance pour aube isolée | 15 |
| 2.6: Calcul à la charge de 60% | 17 |
| 2.7: Vérification des profils NACA 44.09 | 21 |
| 2.8: Calcul du rendement | 22 |
| CH.3: Caractéristiques du ventilateur | 26 |
| 3.1: Position I avec débit de 6,66 m ³ /s | 26 |
| 3.2: Position II avec débit de 4 m ³ /s | 31 |
| 3.3: Position I avec débit de 5,5 m ³ /s | 32 |
| 3.4: Position II avec débit de 3,33 m ³ /s | 35 |
| 3.5: Position I avec débit de 7,5 m ³ /s | 37 |
| 3.6: Position II avec débit de 4,5 m ³ /s | 37 |
| 3.7: Tracé des caractéristiques du ventilateur | 38 |
| CH.4: Analyse du système d'orientation des aubes | 39 |
| 4.1: Analyse cinématique | 39 |
| 4.2: Analyse technologique | 39 |
| 4.3: Optimisation de l'angle α | 40 |
| CH.5: Calcul des forces d'orientation des aubes | 42 |
| 5.1: Calcul des couples dûs aux forces centrifuges | 42 |
| 5.2: Calcul de la force agissante sur le servomoteur | 44 |
| 5.3: Choix des servomoteurs | 45 |
| 5.4: Choix du moteur | 46 |
| CH.6: Comparaison avec le système de régulation par laminage du fluide | 47 |
| CH.7: Calcul de résistance | 50 |
| 7.1: Détermination des charges q _{stat} | 50 |
| 7.2: Détermination des moments M_x et M_y | 51 |
| 7.3: Calcul des moments d'inertie I_x et I_y | 52 |
| 7.4: Détermination de l'axe neutre | 52 |
| 7.5: Calcul des contraintes | 53 |
| Conclusion | 55 |

CHAPITRE I

1. Introduction et généralités

1.1. Introduction:

Certaines installations nécessitent un apport d'air avec un débit variable, je cite comme exemple celle d'une chaudière ou de climatisation. Pour des raisons économiques la combustion dans une chaudière doit être complète. Ainsi le rapport, air combustible, est bien déterminé donc dépend du débit de ce dernier et de la quantité d'air refoulé par le ventilateur.

Dans notre étude, pour ce fait, on utilisera un analyseur de gaz de fumée relié à un régulateur qui donnera l'information à un servomoteur. Ce dernier actionnera sur le système de réglage du débit du ventilateur. Le réglage peut se faire de plusieurs façons:

- * Variation de fréquence de rotation du moteur d'entraînement. Ce cas est très limité vu que la gamme de vitesses est réduite ($750, 1500, 3000$ tr/mn). Pour un moteur avec un rhéostat, on peut obtenir une gamme variée de vitesses mais avec un rendement faible.

- * L'étranglement de la section de refoulement augmentera considérablement les pertes de charge d'où un rendement faible. Ce cas n'est pas économique mais il nous sera intéressant pour le comparer avec le cas précédent.

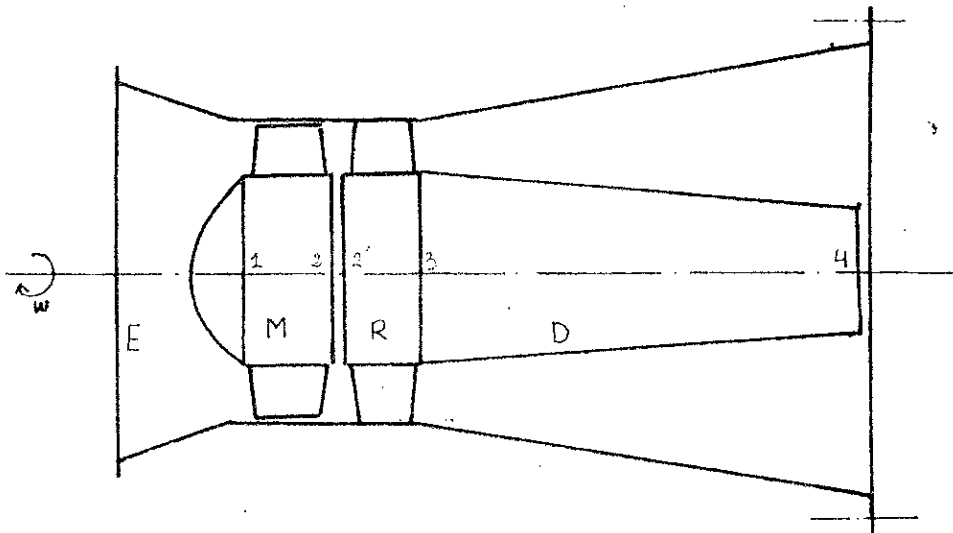
2

* L'utilisation de ventelles permet d'avoir une large plage de variation du débit et de garder un bon rendement

* Orientation des aubes du rotor, ce qui permet une assez large variation du débit sans diminution importante du rendement et fera l'objet de notre étude.

1.2. Généralités:

Un ventilateur axial est une machine qui est composée de diverses parties décrites ci après en suivant une particule de fluide (voir fig ci après)



- Entrée "E" avec une forme convergente pour faciliter l'entrée d'air et l'accélérer

- Une roue mobile "M" tournant dans le sens w . On affectera l'indice 1 à l'entrée et l'indice 2 à la sortie. A la sortie le fluide possède une énergie cinétique avec une composante périphérique.

3

- Un redresseur "R" qui a pour rôle de redresser le mouvement du fluide dans une direction axiale. On affectera l'indice 2' pour son entrée et l'indice 3 pour sa sortie.

- Un diffuseur "D" qui a pour but de réduire la vitesse absolue C_3 à la sortie du redresseur jusqu'à une valeur plus faible C_4 (avec l'indice 4 pour la sortie du diffuseur) et d'augmenter la pression. Une bride à l'extrémité du diffuseur sert à raccorder la tuyauterie de refoulement.

Chapitre II

2 Calcul aerodynamique

2.1 Dimensionnement à la charge de 100%

2.1.1 Recherche des coefficients.

$$\text{soit } v = \frac{D_{int}}{D_{ext}} = 0,7$$

Après [2] on a

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{coef de vitesse : } \psi_m = 0,44 \\ \text{coef de pression : } \psi_t = 0,62 \\ \text{Vitesse spécifique : } \sigma = 1 \\ \text{Rendement : } \eta = 0,82 \end{array} \right.$$

Notre ventilateur doit travailler dans le domaine de 60% à 100% de sa charge; donc il faut déjà prendre en consideration les consequences de ces coefficients

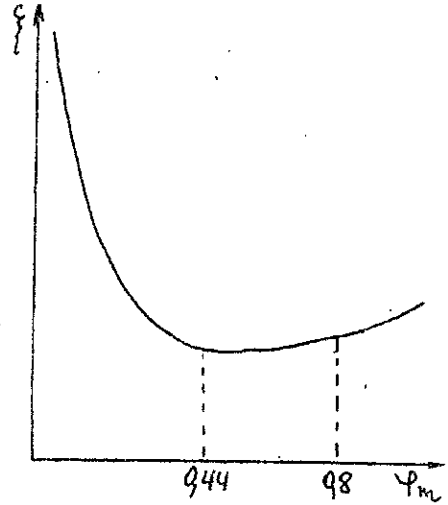
$$\text{On a } \frac{C_m}{d_{ext}} = \psi_m$$

| | 100 % | 60 % |
|------------------------|-------|------|
| $\psi_m = 0,44$ | | |
| soit $\psi_m = 0,8$ | | |

On constate que Δp est très faible à la charge de 60% pour $\varphi_m = 0,44$, ceci ne nous arrange pas car le coefficient de portance C_y est directement lié à Δp donc si Δp est faible C_y le sera de même ; ce qui n'est pas bon pour un ventilateur.

La valeur de $\varphi_m = 0,44$ est celle qui donne le rendement maximum. La figure ci-contre tirée de [1] montre que l'augmentation de φ_m , par exemple $\varphi_m = 0,8$, ne modifiera pas le rendement du ventilateur car l'augmentation des pertes est faible.

ξ étant les pertes



2-1-2 Calcul de la différence de pression théorique totale

$$\Delta p_{\text{donnée}} = 800 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta p_{\text{théor}} = \frac{\Delta p_{\text{donnée}}}{\eta} = \frac{800}{0,82} = 975,6 \text{ N/m}^2$$

2-1-3 Calcul de la vitesse périphérique : U

$$\text{roue axiale} \Rightarrow U_1 = U_2 = U$$

$$\text{ona } \psi_t = \frac{\Delta p_{\text{théor}}}{\rho \frac{U^2}{2}} \Rightarrow U = \sqrt{\frac{2 \Delta p_{\text{théor}}}{\psi_t \rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 975,6}{0,62 \cdot 1,2}} = 51,21 \text{ m/s}$$

2-1-4 Calcul de la vitesse méridionale : C_m

$$C_m = \varphi_m U_{\text{ext}} = 0,8 \cdot 51,21 = 40,97 \text{ m/s}$$

2-1-5 Calcul des diamètres

$$C_m = \frac{\dot{V}}{S} = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi (D_{\text{ext}}^2 - D_{\text{int}}^2)} = \frac{4 \dot{V}}{\pi (1 - \nu^2) D_{\text{ext}}^2}$$

$$\text{d'où } D_{\text{ext}} = \sqrt{\frac{4\dot{V}}{\pi C_m (1-\eta^2)}}$$

$$\text{avec } \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{8}{1,2} = 6,66 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{\text{ext}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,66}{\pi \cdot 40,97 (1-0,7^2)}} = 0,637 \text{ m.}$$

2-1-6 Frequence de rotation: N

$$U_{\text{ext}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ext}} \cdot N}{60} \Rightarrow N = \frac{60U}{\pi \cdot D_{\text{ext}}} = \frac{60 \cdot 51,21}{\pi \cdot 0,637} = 1535 \text{ tr/mn.}$$

2-1-7 Verification

$$Y_1 = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$$

$$\text{on a } c_2 = c_1 \Rightarrow \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} = 0$$

$$\text{d'où } Y_1 = f \frac{\Delta p_{12}}{\rho}$$

$$\text{avec } f = 1 - \frac{1}{2\gamma} \frac{\Delta p_{12}}{p_1} \approx 1$$

$$Y_1 = \frac{\Delta p_{12}}{\rho} = \frac{975,6}{1,2} = 813 \text{ m}^2/\text{s}^2 \quad [m^2/s^2] = [J/kg]$$

$$\sigma = 2,11 \cdot N \frac{\dot{V}^{1/2}}{Y_1^{3/4}} = 2,11 \frac{1535 \cdot 6,66^{1/2}}{60 \cdot 813^{3/4}} = 0,92$$

$\sigma = 0,92 \approx 1$ cela verifie les resultats.

De vent adapter un moteur asynchrone (a une seule vitesse: $N = 1450$ tr/mn) à notre ventilateur

On garde constant la vitesse peripherique: $U = 51,21$ m/s et la vitesse meridionale $C_m = 40,97$ m/s. Dans ce cas calculons le nouveau diametre et son nouveau coefficient.

$$D_{\text{ext}} = \frac{60 \cdot U_{\text{ext}}}{\pi \cdot N} = \frac{60 \cdot 51,21}{\pi \cdot 1450} \quad D_{\text{ext}} = 0,6745 \text{ m.}$$

Pour garder C_m constant il faut que $D_{\text{ext}} (1-\eta^2) = D_{\text{ext}} (1-\eta^2)$

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{D_{\text{ext}} (1-\eta^2)}{D_{\text{ext}}}} = \sqrt{1 - \frac{0,637 (1-0,7^2)}{0,6745}} \quad \eta = 0,72$$

2-2 Construction des triangles des vitesses

La construction des triangles des vitesses est obtenue à l'aide de l'équation d'Euler et de la supposition d'un écoulement bidimensionnel.

En premier lieu on pose $r C_{2u} = C_{2t}^2$

cette relation nous donne un écoulement à tourbillon libre.

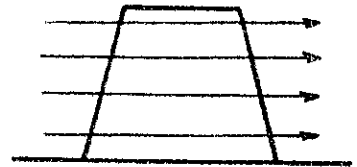
Cette égalité introduite dans l'équation d'Euler nous donne :

$$Y_2 = U \cdot (C_{2u} - C_{1u})$$

$$r C_{2u} = C_{2t}^2 \quad \text{avec } U = r\omega \Rightarrow r\omega C_{2u} = C_{2t}^2 \Rightarrow r C_{2u} = C_{2t}^2$$

$$\text{d'où } Y_2 = U \cdot \Delta C_u = C_{2t}^2$$

Ainsi on a un écoulement bidimensionnel



2.2.1 Rayon extérieur

$$Y_2 = U \cdot \Delta C_u = U \cdot (C_{2u} - C_{1u})$$

avec $C_{1u} = C_1 \cdot \cos \alpha_1$ roue axiale donc $\alpha_1 = 90^\circ \Rightarrow \cos \alpha_1 = 0$

$$\text{d'où } C_{1u} = 0$$

$$\text{Donc } Y_2 = U \cdot C_{2u} \quad \text{d'où } C_{2u} = \frac{Y_2}{U} = \frac{813}{51,21} = 15,87 \text{ m/s}$$

Triangle : entrée

$$U_{1ext} = 51,21 \text{ m/s}$$

$$C_{1ext} = C_m = 40,97 \text{ m/s}$$

$$W_{1ext} = \sqrt{U_1^2 + C_1^2} = 65,58 \text{ m/s}$$

$$\alpha_1 = 90^\circ$$

$$\beta_1 = \arctg \frac{C_{1ext}}{U_{1ext}} = 38,7^\circ$$

$$W_s = \sqrt{C_{1ext}^2 + \left(U_{1ext} - \frac{\Delta C_u}{2}\right)^2} = 59,59 \text{ m/s}$$

Triangle sortie

$$U_{2ext} = U_{ext} = 51,21 \text{ m/s}$$

$$C_{2u} = 15,87 \text{ m/s}$$

$$C_{2ext} = \sqrt{C_{1ext}^2 + C_{2u}^2} = 43,93 \text{ m/s}$$

$$W_{2ext} = \sqrt{(U_2 - C_{2u})^2 + C_2^2} = 54,11 \text{ m/s}$$

$$\beta_2 = \arctg \frac{C_{2ext}}{W_{2u}} = 49,22^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{C_1}{C_{2u}} = 68,83^\circ$$

2.2.2 Rayon moyen.

$$D_{int} = D_{ext} \cdot \nu = 0,6745 \cdot 0,72 = 0,4856 \text{ m.}$$

$$D_m = \sqrt{\frac{1}{2} (D_{ext}^2 - D_{int}^2)} = \sqrt{\frac{1}{2} (0,6745^2 - 0,4856^2)} = 0,5877 \text{ m.}$$

$$C_{1m} = C_{2m} = 40,97 \text{ m/s}$$

$$U_{1m} = U_{2m} = \frac{\pi \cdot D_m \cdot N}{60} = \frac{\pi \cdot 1450 \cdot 0,5877}{60} = 44,62 \text{ m/s}$$

$$C_{2u} = \frac{Y_2}{U_m} = \frac{813}{44,62} = 18,22 \text{ m/s.}$$

Triangle d'entrée

$$U_{1m} = 44,62 \text{ m/s}$$

$$C_{1m} = 40,97 \text{ m/s}$$

$$W_{1m} = \sqrt{U_{1m}^2 + C_{1m}^2} = 60,58 \text{ m/s}$$

$$\alpha_1 = 90^\circ$$

$$\beta_1 = \text{Arctg} \frac{C_{1m}}{U_{1m}} = 42,56^\circ$$

$$W_s = \sqrt{C_{1m}^2 + (U_{1m} - \frac{C_{1m}}{2})^2} = 54,22 \text{ m/s}$$

Triangle de sortie

$$U_{2m} = 44,62 \text{ m/s}$$

$$C_{2um} = 18,22 \text{ m/s}$$

$$C_{2m} = \sqrt{C_1^2 + C_{2um}^2} = 44,84 \text{ m/s}$$

$$W_{2m} = \sqrt{(U_{2m} - C_{2um})^2 + C_1^2} = 48,74 \text{ m/s}$$

$$\beta_2 = \text{Arctg} \frac{C_1}{W_{2um}} = \text{Arctg} \frac{40,97}{44,62 - 18,22} = 57,2^\circ$$

$$\alpha_2 = \text{Arctg} \frac{C_1}{C_{2um}} = 66,02^\circ$$

2.2.3 Rayon interieur

$$D_{int} = D_{ext} \cdot \nu = 0,6745 \cdot 0,72 = 0,4856 \text{ m.}$$

$$U_{1int} = U_{2int} = \frac{\pi \cdot D_{int} \cdot N}{60} = \frac{\pi \cdot 0,4856 \cdot 1450}{60}$$

$$U_{1int} = 36,87 \text{ m/s}$$

$$C_{1int} = C_{2int} = 40,97 \text{ m/s}$$

$$C_{2u} = \frac{Y_1}{U_{1int}} = \frac{813}{36,87} = 22,05 \text{ m/s}$$

Triangle d'entrée

$$U_{sint} = 36,87 \text{ m/s}$$

$$C_{sint} = 40,97 \text{ m/s}$$

$$W_{sint} = U_i^2 + C_i^2 = 55,12 \text{ m/s}$$

$$\alpha_2 = 90^\circ$$

$$\beta_2 = \text{Arctg} \frac{C_{sint}}{W_{sint}} = 48^\circ$$

$$W_s = 48,44 \text{ m/s}$$

Triangle de sortie

$$U_{2int} = 36,87 \text{ m/s}$$

$$C_{2int} = 22,05 \text{ m/s}$$

$$C_{2int} = 46,53 \text{ m/s}$$

$$W_{2int} = 43,56 \text{ m/s}$$

$$\alpha_2 = 61,71^\circ$$

$$\beta_2 = \text{Arctg} \frac{C_{2int}}{W_{2u}} = 70,11^\circ$$

2-2-4 Verification au décollement inertielle

Pour éviter le décollement inertielle il faut et il suffit que

$$\frac{C_{2m}}{C_{2u}} \leq 1 \Rightarrow \alpha_2 > 45^\circ$$

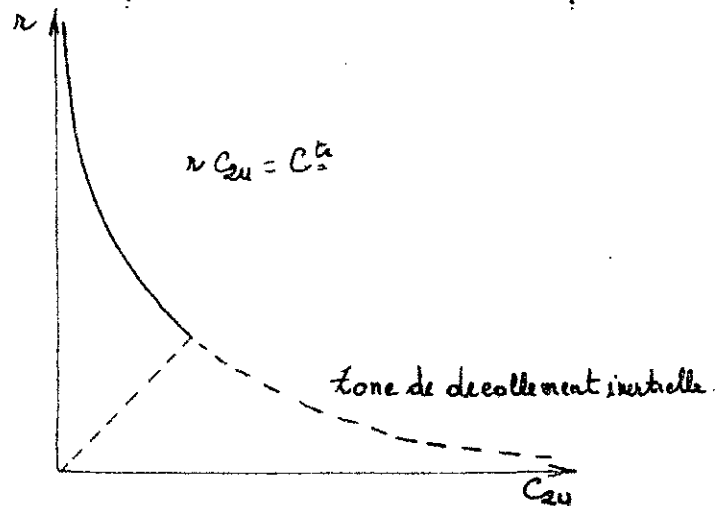
Dans notre cas, les 3 angles α_2 sont supérieurs à 45°

$$\alpha_{2, \text{ext}} = 68,83^\circ$$

$$\alpha_{2, \text{moy}} = 66,02^\circ$$

$$\alpha_{2, \text{int}} = 61,71^\circ$$

Ainsi le décollement inertielle n'existe pas



2-2-5 Tracé des triangles de vitesses.

Verification au decollement

La verification se fait par l'inegalite suivante: $C_y' < C_{ygr}$
 avec C_{ygr} donne par [1] en fonction de l'angle β_2^* , complementaire de l'angle β_2
 et du rapport " $\frac{t}{e}$ " (Voir annexe: fig 1).

$$\beta_2 = 70,11^\circ \rightarrow \beta_2^* = 19,89^\circ$$

$$\{\beta_2^* = 19,89^\circ - \frac{t}{e} = 1,2\} \rightarrow C_{ygr} = 1,2 \quad (\text{voir annexe: fig 1}).$$

$$\text{on a } C_y' = 1,09 < C_{ygr} = 1,2$$

D'apres, cette inegalite on peut conclure que le decollement est evite.

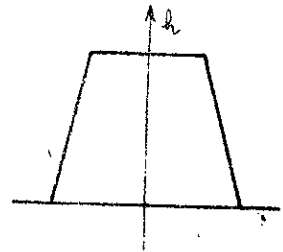
2.3.2 Dimensionnement preliminaire de l'aube

L'aube est convergente et sa forme decoule de
 l'equation $l = l_{int} (1 - 0,1 h)$ {equation arbitraire}

avec l : corde de l'aube

h : coordonnee de la hauteur de l'aube

$0,1$: Coef de convergence avec la valeur admise de $0,1$



longueur moyenne:

$$l_m = l_{int} (1 - 0,1 h_m)$$

$$h_m = \frac{D_{ext} - D_{int}}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \frac{0,6745 - 0,4855}{2} = 0,0472 \text{ m.}$$

$$\text{longueur interieure: } t_{int} = \frac{\pi D_{int}}{\pi} = \frac{\pi \cdot 0,4855}{18} = 0,0848 \text{ m}$$

$$l_{int} = \frac{t_{int}}{e} = \frac{0,0848}{1,2} = 0,0707 \text{ m}$$

$$l_m = l_{int} (1 - 0,1 h_m) = 0,0707 \cdot (1 - 0,1 \cdot 0,0472) = 0,0703 \text{ m.}$$

$$L_m = \frac{\pi D_m}{\pi} = \frac{\pi \cdot 0,5817}{18} = 0,1026 \text{ m.}$$

$$\frac{L_m}{l_m} = \frac{0,1026}{0,0703} = 1,46$$

Longueur extérieure $l_{ext} = l_{int} (1 - h_{ext} \cdot 0,1)$

$$h_{ext} = h_m \cdot 2 = 0,0472 \cdot 2 = 0,0944 \text{ m}$$

$$l_{ext} = 0,0707 (1 - 0,1 \cdot 0,0944) = 0,0700 \text{ m}$$

$$k_{ext} = \frac{\pi \cdot D_{ext}}{z} = \frac{\pi \cdot 0,5745}{18} = 0,1177 \text{ m}$$

$$\frac{k_{ext}}{l_{ext}} = \frac{0,1177}{0,0700} = 1,68$$

2.3.3 Rayon moyen

$$C_{y'} = \frac{2 \Delta C_u}{w_s} \frac{t}{l} = \frac{2 \cdot 18,22}{54,22} \cdot 1,46 = 0,98$$

Vérification au décollement

$$\beta_2 = 57,2^\circ \Rightarrow \beta_2^* = 32,8^\circ$$

Annexe: fig 1 $\Rightarrow \{ \beta_2^* = 32,8 \quad \frac{t}{l} = 1,46 \} \Rightarrow C_{y_{gr}} = 1,2$

On a donc $C_{y'} = 0,98 < C_{y_{gr}} = 1,2 \Rightarrow$ Décollement - évité

2-3-4 - Rayon extérieur

$$C_{y'} = \frac{2 \cdot \Delta C_u}{w_s} \frac{t}{l} = \frac{2 \cdot 15,87}{59,59} \cdot 1,58 = 0,89$$

Vérification au décollement

On a $\beta_2 = 49,22 \Rightarrow \beta_2^* = 40,78^\circ$

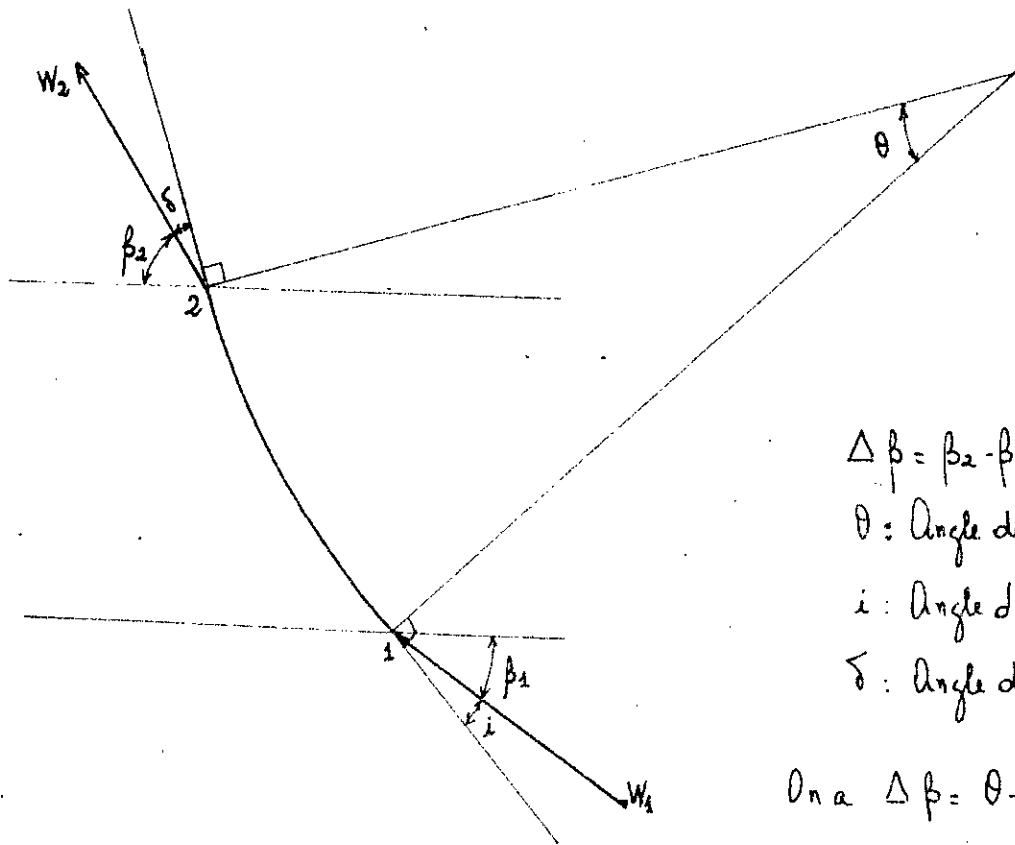
La fig. N°1 de l'annexe nous donne avec $\{ \beta_2^* = 40,78 \text{ et } \frac{t}{l} = 1,58 \}$

$$C_{y_{gr}} = 1,2$$

Donc $C_{y'} = 0,89 < C_{y_{gr}} = 1,2$

Dans les 3 cas le coef de portance $C_{y'}$ sont inférieurs aux valeurs admissibles déterminées par le graphique. donc il n'y aura pas de décollement de fluide.

2-4 Détermination de l'angle de courbure



$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1$$

θ : Angle de courbure du profil

i : Angle d'incidence à l'entrée

δ : Angle de déviation à la sortie

$$\text{On a } \Delta\beta = \theta + i - \delta$$

Le calcul de θ se fait par une méthode itérative. En première approximation nous posons $\theta' = \Delta\beta + \nu$ où ν est un angle arbitraire variable. La vérification se fera par l'égalité de θ avec θ' où $\theta = \Delta\beta - i + \delta$ avec i et δ déterminés graphiquement d'après [1].

2-4-1 Rayon intérieur

soit $\nu = 13^\circ$ d'où $\theta' = \Delta\beta + \nu = (70,11 - 48) + 13 = 35,11^\circ$

Vérification :

Annexe : fig 2 \Rightarrow { avec $\theta = 35,11^\circ$ et $4l = 1,2$ } $\Rightarrow i = -4^\circ$

D'après la formule de Seibler $\delta = \delta_{010} + m (\frac{4l}{l})^0 \cdot \theta$

Annexe : fig 3 \Rightarrow { avec $\beta_1 = 48^\circ$ $4l = 1,2$ } $\Rightarrow \delta_{010} = 1^\circ$

Annexe fig 4 \Rightarrow { avec $\beta_1 = 48^\circ$ } $\Rightarrow m = 0,21$ et $b = 0,85$

$$\text{d'où } \delta = 1 + 0,21 \cdot 1,2^{0,85} \cdot 35,11 = 9,6^\circ$$

$$\text{Donc } \theta = \Delta\beta - i + \delta = 22,11 - (-4) + 9,6 = 35,7^\circ$$

$$\text{d'où } \theta' = 35,11 \approx \theta = 35,7$$

Les valeurs de θ calculées de différentes manières sont assez proches l'une de l'autre $\theta = 35,11^\circ \approx 35,7^\circ$ pour arrêter l'iteration soit $\theta = 35,5^\circ$

2-4-2 Rayon moyen.

$$\text{soit } \nu = 10^\circ \Rightarrow \theta' = \Delta\beta + \nu = (57,2 - 42,56) + 10 = 24,7^\circ$$

Verification:

$$\text{Annexe fig 2 : avec } \{ \theta = 24,7^\circ, \gamma_L = 1,46 \} \Rightarrow i = -2^\circ$$

$$\text{Annexe fig 3 : avec } \{ \beta_1 = 42,56^\circ, \gamma_L = 1,46 \} \Rightarrow \delta_{010} = 1^\circ$$

$$\text{Annexe fig 4 : avec } \{ \beta_1 = 42,56^\circ \} \Rightarrow m = 0,21 \text{ et } b = 0,85$$

$$\text{d'où } \delta = 1 + 0,2 \cdot (1,46)^{0,85} \cdot 24,7 = 8,15^\circ$$

$$\theta = \Delta\beta - i + \delta = 24,7 - (-2) + 8,15 = 24,85^\circ$$

$$\text{Donc } \theta' = 24,7 \approx \theta = 24,85 \quad \text{soit } \theta = 24,75^\circ$$

2-4-3 Rayon extérieur

$$\text{soit } \nu = 6^\circ \Rightarrow \theta' = \Delta\beta + \nu = (49,22 - 38,7) + 6 = 16,5^\circ$$

Verification:

$$\text{Annexe fig 2 : avec } \{ \theta = 16,5^\circ \text{ et } \gamma_L = 1,64 \} \Rightarrow i = +1^\circ$$

$$\text{Annexe fig 3 : avec } \{ \beta_1 = 38,7^\circ \text{ et } \gamma_L = 1,64 \} \Rightarrow \delta_{010} = 1^\circ$$

$$\text{Annexe fig 4 : avec } \{ \beta_1 = 38,7^\circ \} \Rightarrow m = 0,2 \quad b = 0,85$$

$$\text{d'où } \delta = 1 + 0,2 \cdot (1,64)^{0,85} \cdot 16,5 = 6,5^\circ$$

$$\theta = \Delta\beta + \delta - i = 10,5 - 1 + 6,5 = 16^\circ$$

$$\text{Donc } \theta' = 16,5^\circ \approx \theta = 16^\circ \quad \text{soit } \theta = 16,25^\circ$$

Normalement, le profil des aubes est obtenu par consultation d'un catalogue, par exemple N.A.C.A, mais dans notre étude, faute de cette documentation, on ne pourra utiliser que le profil N.A.C.A.66 d'après [4], N.A.C.A. 44. d'après [3] ou un profil construit par nous même. Avec ce dernier on ne pourra pas déterminer les pertes.

Avec le profil N.A.C.A. 66, [4] nous donne uniquement l'étude pour $\theta = 30^\circ$, celle-ci peut être acceptée pour la charge de 100% avec les angles de courbure $\theta_{inf} = 35^\circ$, $\theta_m = 24^\circ$ et $\theta_{ext} = 16^\circ$ mais elle ne pourra être admise pour la charge de 60% car les valeurs de θ seront encore plus faibles.

Donc on ne pourra utiliser que le profil N.A.C.A. 44. d'après [3] où on a les coordonnées en % de la longueur et les polaires de profils.

2-5 Calcul des coefficients de portance pour aube isolée

La vérification sera faite d'après [3] mais l'étude de A de KOVATS est basée sur une aube isolée alors que dans [1], [2] et [4] l'étude est faite pour une grille d'aubes.

Dans [3] on a le diagramme de modification du coef de portance entre grille d'aubes $\{C_y\}$ et aube isolée $\{C'_y\}$. (voir annexe Sig 5).

Annexe fig 5 : rayon int avec $\{t/l = 1,2 \quad \beta_c = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = 56^\circ\} \Rightarrow \frac{C'_y}{C_y} = 0,9$

d'où $C_y = 1,2$.

rayon moy avec $\{t/l = 1,46 \quad \beta_c = 49,88^\circ\} \Rightarrow \frac{C'_y}{C_y} = 1$

d'où $C_y = 0,98$.

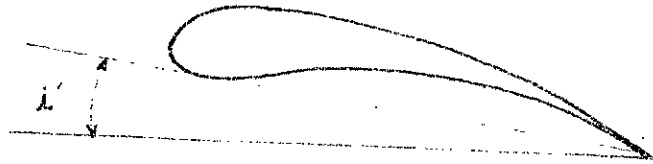
rayon ext avec $\{t/l = 1,64 \quad \beta_c = 24,61^\circ\} \Rightarrow \frac{C'_y}{C_y} = 1$

d'où $C_y = 0,89$

D'après la figure représentée à la page 21 reprise de [3] on peut déterminer les angles d'incidence "i" en partant de C_y et de vérifier s'il y a décollement ou des pertes excessives.

L'angle d'incidence "i" donné dans [3] est différent de l'angle "i" utilisé auparavant (voir page 13)

"i" étant l'angle d'incidence par rapport à la tangente à l'entrados du profil de l'aube.



D'après la figure représentée à la page 21 on a :

$$\text{rayon int } C_y = 1,2 \Rightarrow i_{100} = 8,5^\circ \quad t_g \epsilon = 0,018$$

$$\text{rayon moy } C_y = 0,98 \Rightarrow i_{100} = 6^\circ \quad t_g \epsilon = 0,017$$

$$\text{rayon ext } C_y = 0,89 \Rightarrow i_{100} = 5^\circ \quad t_g \epsilon = 0,016$$

On voit que le profil NACA:09 peut convenir car les angles d'incidence "i" sont inférieurs à 12° donc il n'y a pas de risque de décollement du fluide et les pertes sont acceptables car $t_g \epsilon$ est faible.

Les angles d'incidence (i_{int} , i_{moy} et i_{ext}) diffèrent les uns des autres donc il faut vriller l'aube

$$\left. \begin{array}{l} i_{int} = 8,5^\circ \\ i_{ext} = 5^\circ \end{array} \right\} \Delta i = 3,5^\circ$$

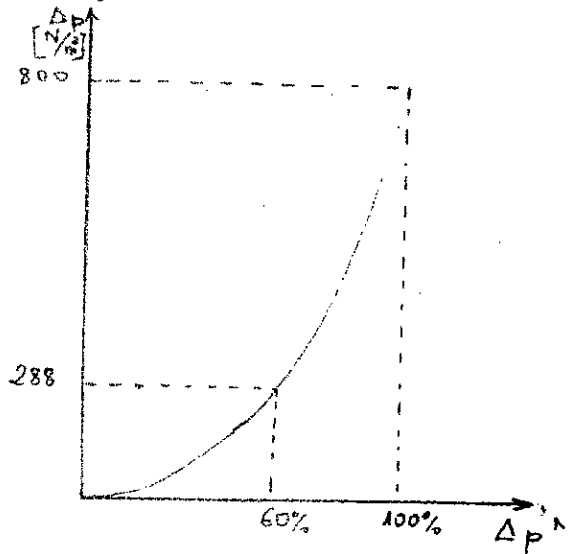
L'aube est vrillée de $3,5^\circ$

2-6 Calcul à la charge de 60%

Notre ventilateur doit fonctionner, d'après les exigences données, dans une gamme allant de 60% à 100% de la charge totale.

La vérification du profil N.A.C.A. 44.09 sera fait pour le second cas extrême soit à la charge de 60%.

D'après les données
la caractéristique de la charge
est parabolique.



2-6-1 Vitesse meridionale:

$$C_m = \frac{V_{60}}{5} = 0,6 \frac{V_{100}}{5} = 0,6 \cdot 40,97 = 24,58 \text{ m/s}$$

avec V_{60} = Débit volumique à la charge de 60%

V_{100} = Débit volumique à la charge de 100%

2-6-2 Différence de pression.

La différence de pression Δp suit une fonction parabolique en fonction de la charge

$$\text{donc: } \Delta p_{60} = 0,6^2 \Delta p_{\text{donnée}} = 0,6^2 \cdot 800 = 288 \text{ N/m}^2$$

On sait que le rendement du ventilateur va baisser pour la charge de 60% soit $\eta_{60} = 0,7$ (En première approximation).

$$\text{donc } \Delta p_{\text{th tot}} = \frac{288}{0,7} = 411,4 \text{ N/m}^2$$

Le tourbillon libre ne sera plus gardé pour la charge de 60%
vue que le profil de l'aube est déjà fixé donc la relation
 $r c_{2u} = c_{1u}$ n'est plus vérifiée

2-6-3 Triangle des vitesses au niveau du rayon moyen

$$U_m = \frac{\pi \cdot D_m \cdot N}{60} = 44,62 \text{ m/s.}$$

$$Y_1 = \frac{\Delta p_{H.tot}}{\rho} = \frac{411,4}{1,2} = 342,8 \text{ [m}^2/\text{s}^2] = [\text{J/kg}]$$

$$C_{260} = \frac{Y_1}{U_m} = \frac{342,8}{44,62} = 7,68 \text{ m/s}$$

Triangle d'entrée

$$U_1 = 44,62 \text{ m/s}$$

$$C_1 = 24,58 \text{ m/s}$$

$$W_1 = \sqrt{U_1^2 + C_1^2} = 50,94 \text{ m/s}$$

$$\alpha_1 = 90^\circ$$

$$\beta_1 = \text{Arctg} \frac{C_1}{U_1} = 28,85^\circ$$

$$W_s = \sqrt{C_1^2 + (U_1 - \frac{C_{2u}}{2})^2} = 47,6 \text{ m/s}$$

Triangle de Sortie

$$U_2 = 44,62 \text{ m/s}$$

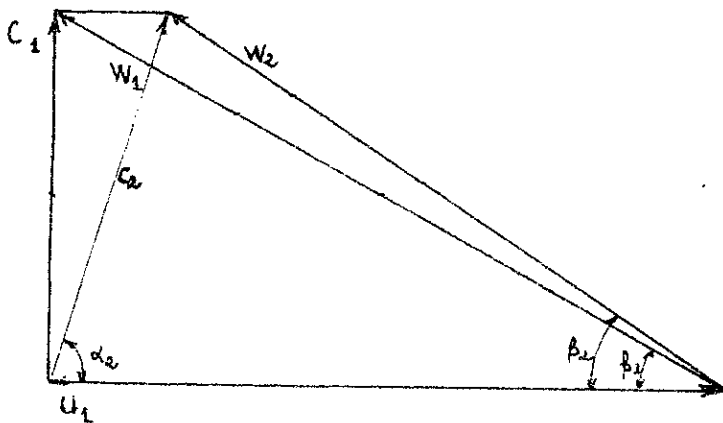
$$C_{2u} = 7,68 \text{ m/s}$$

$$C_2 = 25,75 \text{ m/s}$$

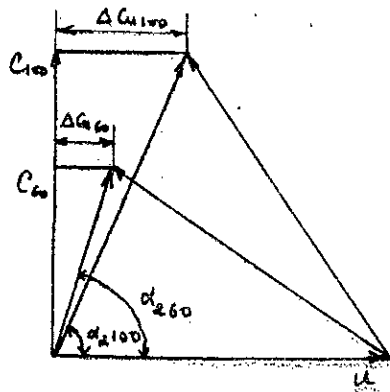
$$W_{2m} = 44,37 \text{ m/s}$$

$$\beta_2 = \text{Arctg} \frac{C_2}{W_{2u}} = 33,64^\circ$$

$$\alpha_2 = \text{Arctg} \frac{C_2}{C_{2u}} = 72,65^\circ$$



2-6-4 Calcul de $\Delta p_{\text{th tot}}$ pour différents rayons à la charge de 60%
au niveau du rayon moyen on a :



$$\left. \begin{aligned} \alpha_{2100} &= 66,02^\circ \\ \alpha_{260} &= 72,65^\circ \end{aligned} \right\} \Delta \alpha_2 = 6,63^\circ$$

rayon extérieur :

$$\alpha_{2100} = 68,83^\circ \Rightarrow \alpha_{260} = 75,46^\circ$$

$$\Delta C_{u60} = C_{60} \cdot \tan \alpha_{260} = 6,37 \text{ m/s}$$

$$Y_1 = U \cdot \Delta C_{u60} = 326,47 \text{ N/m}$$

$$\Delta p_{\text{th tot}} = \rho Y_1 = 391,76 \text{ N/m}^2$$

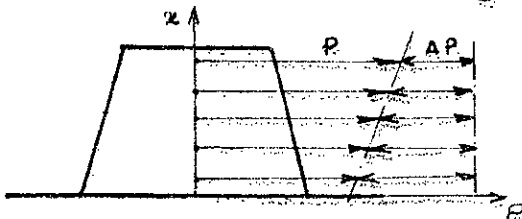
rayon intérieur :

$$\alpha_{2100} = 61,71^\circ \Rightarrow \alpha_{260} = 68,34^\circ$$

$$\Delta C_{u60} = C_{60} \cdot \tan \alpha_{260} = 9,75 \text{ m/s}$$

$$Y_2 = U \cdot \Delta C_{u60} = 359,91 \text{ N/m}$$

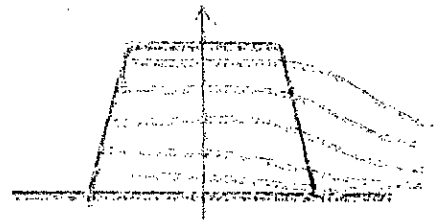
$$\Delta p_{\text{th tot}} = \rho Y_2 = 431,89 \text{ N/m}^2$$



$$\Delta p_{\text{int}} = 431,89 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta p_{\text{moy}} = 411,4 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta p_{\text{ext}} = 391,76 \text{ N/m}^2$$



La pression est différente pour chaque rayon, ainsi la distribution de pression n'est plus gérée dans un plan mais en 3D.

2.6.5 Calcul du coefficient de portance.

$$C_y' = \frac{2 \cdot \Delta \cdot C_u}{W_s} \frac{t}{l} = \frac{2 \cdot 7,68}{47,6} \cdot 1,46 = 0,47 \quad (\text{grille d'aubes}).$$

Pour aube isolée:

$$\text{Annexe fig 5 avec } \left\{ \beta_c = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = 31,24^\circ \quad t/l = 1,45 \right\} \Rightarrow \frac{C_y'}{C_y} = 1$$

$$\text{D'où } C_y = C_y' = 0,47$$

La vérification au décollement n'est pas nécessaire car s'il n'y a pas de décollement à la charge de 100% automatiquement il n'existe pas à une charge inférieure car le coefficient de portance a baissé

$$C_y = 0,47 \quad (\text{d'après le graphique page 21}) \Rightarrow \begin{cases} i_{60} = 1^\circ \\ t_{\beta} = 0,018 \end{cases}$$

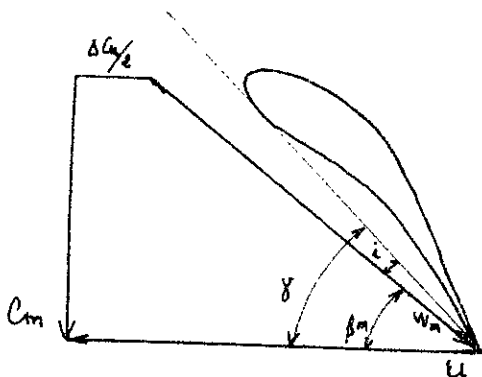
Le calcul ne sera fait que pour le rayon moyen mais on peut trouver les angles d'incidence pour la charge de 60%

$$i_{m100} = 6^\circ \quad i_{60} = 1^\circ \quad \Delta i = 5^\circ$$

$$\text{rayon extérieur} \quad i_{100} = 8,5^\circ \Rightarrow i_{60} = 3,5^\circ$$

$$\text{rayon intérieur} \quad i_{100} = 5^\circ \Rightarrow i_{60} = 0^\circ$$

2.6.6 Angle de rotation de l'aube



$$\text{à } 100\% \quad \beta_m = \text{Arctg} \frac{C_{100}}{U - \frac{\Delta C_u}{2}} = \text{Arctg} \frac{40,97}{44,62 - 9,11} = 49^\circ$$

$$\gamma_{100} = \beta_m + i_{100} = 49 + 6 = 55^\circ$$

$$\text{à } 60\% \quad \beta_m = \text{Arctg} \frac{C_{60}}{U - \frac{\Delta C_u}{2}} = \text{Arctg} \frac{24,58}{44,62 - 3,89} = 31^\circ$$

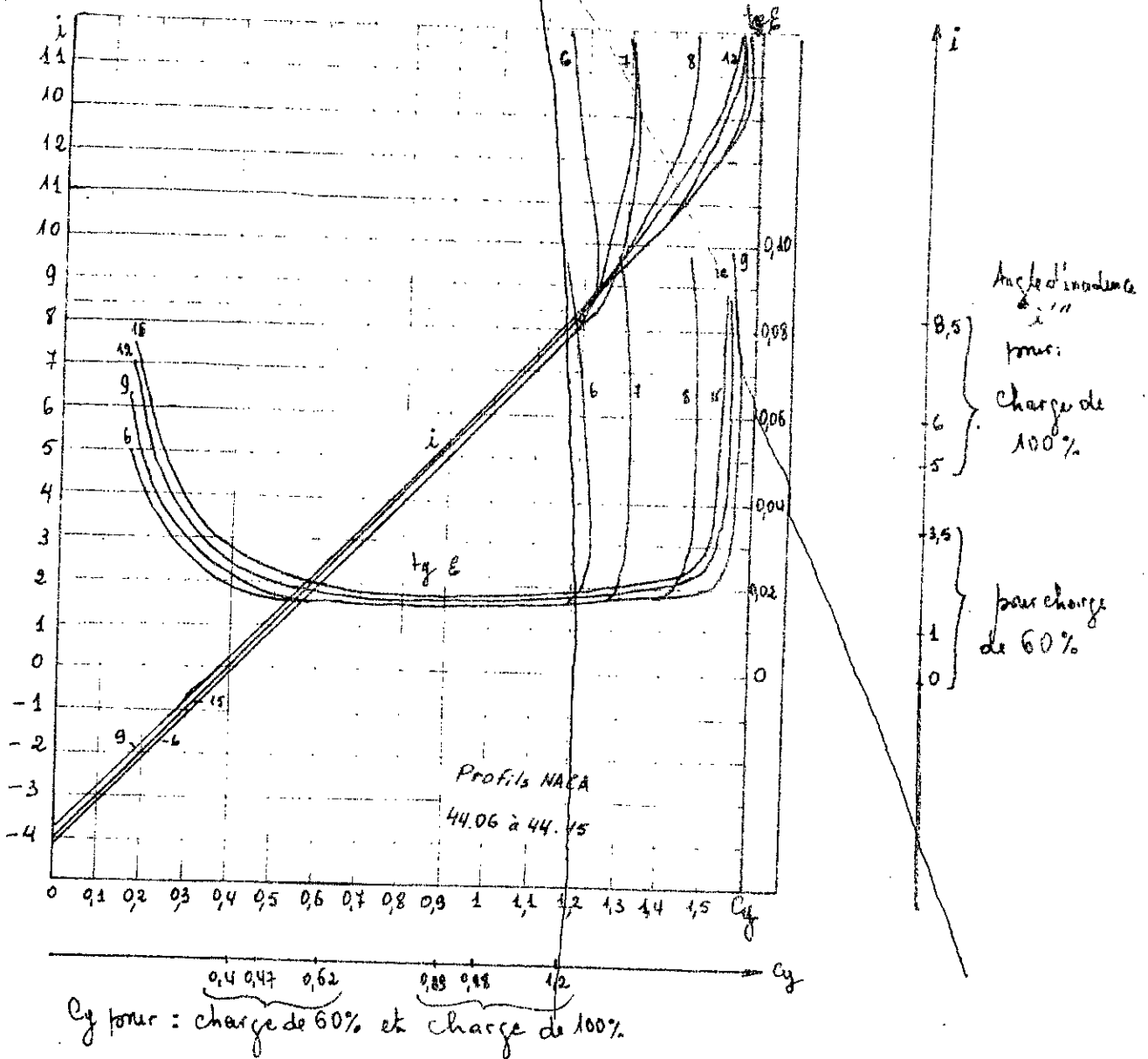
$$\gamma_{60} = \beta_m + i_{60} = 31 + 1 = 32^\circ$$

γ_{100} et γ_{60} sont les angles de calage pour les 2 positions extrêmes.

$\Delta \gamma = \gamma_{100} - \gamma_{60} = 55 - 32 = 23^\circ$

Ainsi l'aube a tourné d'un angle de 23° entre les 2 cas extrêmes soient la charge de 100% et la charge de 60%

2-7 Verification du profil N.A. CA 44.09 pour les charges extremes



Ainsi on peut utiliser le ventilateur sur toute la gamme de fonctionnement allant de 60% à 100% de la charge nominale sans que les pertes soient trop grande, cela est possible pour le profil choisi N.A. CA 44.09.

2-8 Calcul du redresseur

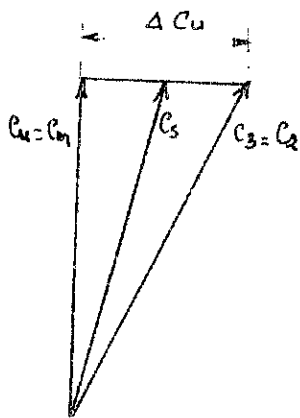
2-8-1 Role et choix du redresseur.

À la sortie du rotor la composante de la vitesse forme un angle élevé " α_2 ". Le redresseur ramène l'écoulement dans une direction axiale.

On prend un nombre d'aubes pour le redresseur supérieur à celui du rotor de façon à éviter une attaque simultanée du fluide par toutes les aubes, car ceci entraînera le phénomène de vibration donc de bruit. Soit $Z_r = 19$ aubes ainsi l'attaque du fluide sera faite de manière progressive.

On sait que dans les ventilateurs les aubes du redresseur sont a priori plus sollicitées que celles du rotor donc on doit prendre une longueur de l'aube plus grande soit $l = 90$ mm.

2-8-2 Calcul à la charge de 100%



rayon intérieur :

$$\Delta C_u = 22,05 \text{ m/s} \quad C_s = 42,05 \text{ m/s}$$

$$l = \frac{\pi \cdot D_{int}}{Z_r} = \frac{\pi \cdot 0,4856}{19} = 0,0803 \text{ m}$$

$$\left(\frac{l}{l}\right)_{int} = \frac{80,3}{90} = 0,89$$

$$C_y' = \frac{2\Delta C_u}{C_s} \frac{l}{l} = \frac{2 \cdot 22,05}{42,05} \cdot 0,89 = 0,93$$

Vérification au décollement:

D'après Annexe fig 1 avec $\{\beta_2^* = 20^\circ \text{ (} l/l \text{)} = 0,89\}$ $\Rightarrow C_{ygr} = 1,2$.

On a donc $C_y' = 0,93 < C_{ygr} = 1,2$ pas de décollement

Rayon moyen:

$$\Delta C_u = 18,42 \text{ m/s} \quad C_s = 41,69 \text{ m/s}$$

$$t = \frac{\pi \cdot D_m}{z_r} = \frac{\pi \cdot 0,5877}{19} = 0,0972 \text{ m} \quad \left(\frac{t}{l}\right)_m = \frac{97,2}{90} = 1,07$$

$$C_y' = \frac{2 \cdot \Delta C_u}{C_s} \frac{t}{l} = \frac{2 \cdot 18,42}{41,69} \cdot 1,07 = 0,94$$

Vérification au décollement:

Annexe fig 1 avec $\{\beta_2^* = 32,8^\circ \text{ et } (t/l) = 1,07\} \Rightarrow C_{ygr} = 1,18$

$$C_y' = 0,94 < C_{ygr} = 1,18 \Rightarrow \text{Donc pas de décollement}$$

Rayon extérieur

$$\Delta C_u = 15,87 \text{ m/s} \quad C_s = 41,52 \text{ m/s}$$

$$t = \frac{\pi \cdot 0,6745}{19} = 0,111 \text{ m} \quad \Rightarrow \frac{t}{l} = 1,22$$

$$C_y' = \frac{2 \cdot \Delta C_u}{C_s} \frac{t}{l} = \frac{2 \cdot 15,87}{41,52} \cdot 1,22 = 0,93$$

Vérification au décollement:

Annexe fig 1 avec $\{\beta_2^* = 40,78^\circ \text{ et } (t/l) = 1,22\} \Rightarrow C_{ygr} = 1,2$

$$C_y' = 0,93 < C_{ygr} = 1,2 \Rightarrow \text{Donc pas de décollement}$$

2-8-3 Coefficient de portance pour aube isolée

D'après l'annexe fig 5 on a:

rayon int: $\{t/l = 0,89 \quad \beta_e = 37,7^\circ\} \Rightarrow E = \frac{C_y'}{C_y} = 1$ d'où $C_y = C_y' = 0,93$

rayon moy: $\{t/l = 0,94 \quad \beta_e = 31^\circ\} \Rightarrow E = 1$ d'où $C_y = C_y' = 0,94$

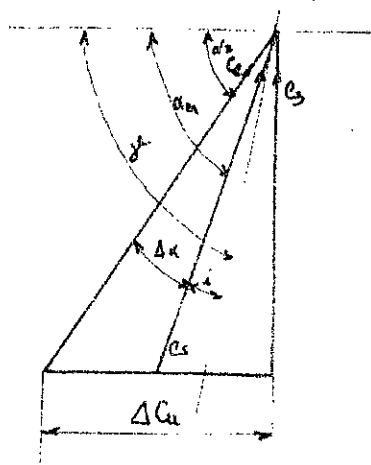
rayon ext: $\{t/l = 1,22 \quad \beta_e = 27^\circ\} \Rightarrow E = 1$ d'où $C_y = C_y' = 0,93$

On adopte un profil N.A.C.A. 44.09 pour les aubes du redresseur

D'après le graphique page 21 on a $i = 5,5^\circ$ et $t_y E = 0,018$ pour

tous les rayons car C_y est constant et égale à 0,94.

Angle de calage des aubes du redresseur:



$$\text{On a: } \alpha_2 = 66,02^\circ$$

$$\alpha_m = \text{Arctg} \frac{C_m}{\frac{\Delta C_u}{2}} = \text{Arctg} \frac{40,97}{9,11} = 77,46^\circ$$

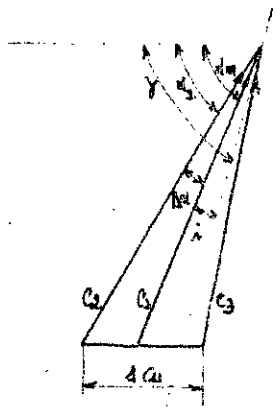
$$\gamma = \alpha_m + i = 77,46 + 5,5^\circ$$

$$\gamma = 82,96^\circ$$

2-8-4 Calcul à la charge de 60%

Le calcul se fera par approche successif du triangle des vitesses en donnant différentes valeurs à ΔC_u et vérification du coefficient de portance C_y donné par le graphe page 21 en utilisant l'angle d'incidence calculé pour ce ΔC_u choisi.

L'angle de calage γ reste le même pour la charge partielle de 60% donc $\gamma = 82,96^\circ$



dans ce cas $\alpha_2 = 72,65^\circ$

$$\text{soit } \Delta C_u = 7,5 \text{ m/s}$$

$$C_3 = \sqrt{C_2^2 + (\Delta C_u)^2 + 2 C_2 \frac{\Delta C_u}{2} \cos \alpha_2}$$

$$C_3 = \sqrt{25,75^2 + 3,75^2 + 2 \cdot 25,75 \cdot 3,75 \cos 72,65}$$

$$C_3 = 24,89 \text{ m/s}$$

$$\Delta \alpha = \text{Arccos} \frac{C_3^2 + C_2^2 - (\frac{\Delta C_u}{2})^2}{2 C_3 C_2} = \text{Arccos} \frac{25,75^2 + 24,89^2 - 3,75^2}{2 \cdot 25,75 \cdot 24,89}$$

$$\Delta \alpha = 8,26^\circ$$

$$\alpha_m = \alpha_2 + \Delta \alpha = 72,65 + 8,26 = 80,91^\circ$$

Angle d'incidence

$$i = \delta - \alpha_m = 82,96 - 80,91 = 2,05^\circ$$

D'après le graphique de la page: 21 on a

$$i = 2,05 \Rightarrow C_y = 0,61$$

Verification:
$$C_y = \frac{2 \cdot \Delta C_u}{C_s} \frac{t}{l} = \frac{2 \cdot 7,5}{24,89} \cdot 1,07 = 0,64$$

$$C_y = 0,61 \approx C_y = 0,64$$

Le décollement est évité pour les 2 cas étudiés et les pertes ($t_{g_{100}} \varepsilon = 0,018$, $t_{g_{60}} \varepsilon = 0,018$) sont acceptables, ainsi on peut conclure que le redresseur avec les aubes N.A.C.A. 44.09 fonctionne normalement sur toute la gamme de fonctionnement allant de 60% à 100% de la charge nominale.

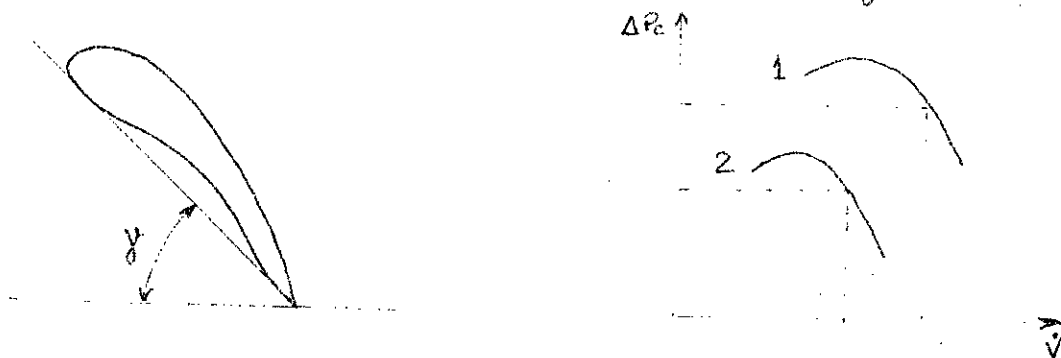
CHAPITRE III

3 Caractéristiques du ventilateur

Pour un ventilateur il est nécessaire de connaître la chute de pression en fonction de son débit refoulé. Pour cela on représentera 2 courbes pour les 2 positions choisies des aubes

courbe 1 : position I avec angle de calage $\delta_{100} = 55^\circ$

Courbe 2 : position II avec angle de calage $\delta_{60} = 32^\circ$

3-1 Position I avec le débit $\dot{V} = 6,66 \text{ m}^3/\text{s}$

Le calcul est valable pour le cas où $Re > 2 \cdot 10^5$

$$Re = \frac{D_m \cdot C_m}{\nu} = \frac{0,5877 \cdot 40,97}{1,48 \cdot 10^{-5}} = 1,8 \cdot 10^5 > 2 \cdot 10^5$$

Le calcul se fera seulement au niveau du rayon moyen.

3-1-1 Pertes à l'entrée : S_e

$$\text{d'après [2]} \quad S_e = \xi_e \rho \frac{C_i^2}{2} \dot{V}$$

avec :

ξ_e : coef dépendant de la géométrie de l'entrée

$$\xi_e = 0,01 \div 0,03$$

L'entrée du ventilateur est simple et bien étudiée donc les pertes sont faibles

$$\text{soit } \xi_e = 0,012$$

$$S_e = 0,012 \cdot 1,2 \cdot \frac{40,97^2}{2} \cdot 6,66 = 80,49 \text{ W}$$

3.1.2 Pertes dues au profil des aubes du rotor : S_p

D'après [2] on a $S_p = Z C_x l h \rho \frac{W_m^2}{2} W_m$.

avec : Z : nombre d'aubes du rotor.

l et h : longueur et hauteur d'une aube

C_x : coef de traînée. On ne dispose pas de graphique qui

nous donne la correspondance en C_x' (pour grille d'aubes) et C_x

(pour aube isolée), pour cela on suppose que $\frac{C_x'}{C_x} = 1$

On sait que $\tan \epsilon = \frac{C_x}{C_y}$ d'où $C_x = C_y \tan \epsilon$

$$C_x = 0,98 \cdot 0,017 = 0,0167$$

$$\text{donc } S_p = 18 \cdot 0,0167 \cdot 0,0703 \cdot 0,0944 \cdot 1,2 \cdot \frac{54,22^2}{2} \cdot 54,22 = 190,78 \text{ W}$$

3.1.3 Pertes par frottement sur le moyeu du rotor : S_{fr}

D'après [2] on a : $S_{fr} = S_p \cdot \frac{A_m}{A_a}$

avec A_m : Surface du moyeu du rotor

A_a : Surface totale des aubes (des 2 cotés).

$$A_m = 2\pi \cdot r \cdot l = 2\pi \cdot 0,24 \cdot 0,0703 = 0,106 \text{ m}^2$$

$$A_a = Z \cdot 2 \cdot l \cdot h = 18 \cdot 2 \cdot 0,0703 \cdot 0,081 = 0,205 \text{ m}^2$$

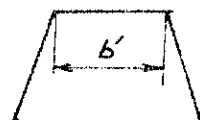
$$\text{donc } S_{fr} = 190,78 \cdot \frac{0,106}{0,205} = 98,6 \text{ W}$$

3.1.4 Pertes par frottement sur l'enveloppe : S_{fe}

D'après [2] on a : $S_{fe} = C_{xj} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{ext} \cdot b' \cdot \rho \cdot \frac{C_m^2}{2} C_m$

$$\text{avec } C_{xj} = \frac{C_x}{2} = \frac{0,0167}{2} = 0,0084.$$

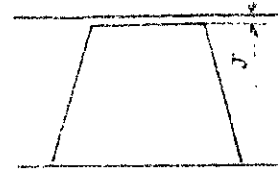
b' : longueur extérieure de l'aube.



$$S_{fe} = 0,0084 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,34 \cdot 0,07 \cdot 1,2 \cdot \frac{41,91^2}{2} \cdot 41,91 = 55,48 \text{ W}$$

3-1-5 Pertes dues au jeu S_j

D'après [2] on a $S_j = C_{xl} \cdot Z \cdot \rho \cdot \frac{W_{lm}^2}{2} \cdot l_m \cdot h$.



avec $C_{xl} = K_s \frac{l_m}{l_m} \rho_y^2 \frac{J}{h}$ d'après [2]

où $K_s = f(\delta)$ et $\delta = \frac{\Delta p_{statique}}{\rho \frac{C_m^2}{2}}$

On a $\Delta p_s = U \cdot \Delta C_u - \left(\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} \rho + \frac{S_e + S_p + S_{fr} + S_{fe}}{V} \right)$

$$\Delta p_s = 44,62 \cdot 18,22 - \left(\frac{44,84^2 - 40,97^2}{2} + \frac{80,49 + 190,78 + 98,6 + 55,48}{6,66} \right)$$

$$\Delta p_s = 549,85 \text{ N/m}^2$$

$$\delta = \frac{\Delta p_s}{\rho \frac{C_m^2}{2}} = \frac{549,85}{1,2 \cdot \frac{41,91^2}{2}} = 0,52$$

Annexe fig 7 avec $\delta = 0,52 \Rightarrow K_s = 1,6$

$$C_{xl} = 1,6 \frac{0,0703}{0,1026} \cdot 0,98^2 \frac{0,001}{0,081} = 0,013$$

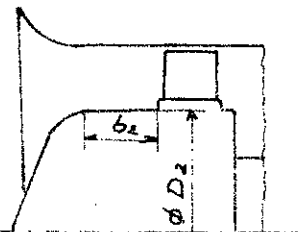
Donc $S_j = 0,013 \cdot 18 \cdot 1,2 \cdot \frac{54,22^2}{2} \cdot 54,22 \cdot 0,0703 \cdot 0,081 = 127,4 \text{ W}$

3-1-6 Pertes par frottement sur le disque : S_{fd}

D'après [3] $S_{fd} = C' U_2^3 D_2^2 \left(1 + 5 \frac{b_2}{D_2} \right)$

avec C' : facteur dependant du coef de frottement du

disque sur le fluide $C' = 0,00015 \cdot 9,81 = 0,0015$



$$S_{fd} = 0,0015 \cdot 44,62^3 \cdot 0,48^2 \left(1 + 5 \frac{0,05}{0,48} \right) = 46,69 \text{ W}$$

3.1.7 Pertes dans le redresseur: S_r

D'après [2] on a: $S_r = Z_r \cdot h \cdot C_{xr} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_3^3 \cdot l$

avec: Z_r : nombre d'aubes dans le redresseur

$$C_{xr} = C_y \cdot t_g \cdot E = 1,15 \cdot 0,018 = 0,02$$

donc $S_r = 0,096 \cdot 19 \cdot 0,02 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 41,69^3 \cdot 0,09 = 120,6 \text{ W}$

3.1.8 Pertes dans le diffuseur: S_d

Le diffuseur a été conçu à partir de la condition suivante:

$$C = \frac{A_4 - A_3}{L \cdot D_{3,ext}} \in [0,25 \div 0,45] \quad \text{d'après [4]}$$

avec A_4 : Aire de la couronne 4

A_3 : Aire de la couronne 3

$$C = \frac{\frac{\pi (D_4^2 - d_4^2)}{4} - \frac{\pi (D_{3,ext}^2 - d_3^2)}{4}}{L \cdot D_{3,ext}}$$

$$C = \frac{\frac{\pi (0,82^2 - 0,38^2)}{4} - \frac{\pi (0,58^2 - 0,42^2)}{4}}{0,7 \cdot 0,58} = 0,35$$

$$C = 0,35 \in [0,25 \div 0,45]$$

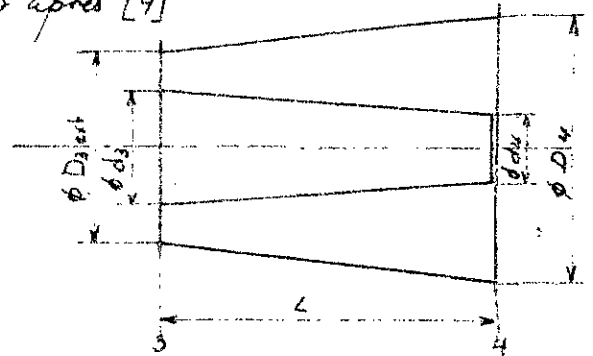
Dans le diffuseur il ya 2 types de pertes: on a S_{d1} et S_{d2} .

S_{d1} représente les pertes dues au changement brusque de section au niveau de 4. Les pertes sont estimées à 80% de l'énergie cinétique du fluide traversant.

$$\text{d'où } S_{d1} = 0,8 \cdot \frac{\rho}{2} (C_4^2 - C_{canal}^2) \dot{V}$$

S_{d2} représente les pertes dues au diffuseur lui-même.

$$\text{avec } S_{d2} = (1 - \eta_d) \cdot \frac{\rho}{2} (C_3^2 - C_{ent}^2) \dot{V}$$



$$\text{On a donc } S_{d1} = 0,8 \frac{\rho}{2} (C_4^2 - C_{\text{canal}}^2) \dot{V} = 0,8 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot (19^2 - 13,4^2) \cdot 6,66 = 102,7 \text{ W}$$

$$S_{d2} = (1 - \eta_d) \frac{\rho}{2} (C_3^2 - C_4^2) \dot{V}$$

Annexe fig 6 avec $c = 0,35 \Rightarrow \eta_d = 0,78$

$$S_{d2} = (1 - 0,78) \frac{1,2}{2} (40,8^2 - 19^2) \cdot 6,66 = 1158 \text{ W}$$

3-1-9 Calcul du rendement.

Les pertes mecaniques ne figurent pas dans le calcul des pertes, car elles sont négligeables. Le rotor est directement monté sur l'arbre de sortie du moteur d'entraînement.

$$\eta = 1 - \frac{\sum S}{\dot{m} U_1} = 1 - \frac{80,49 + 190,78 + 98,6 + 55,48 + 127,4 + 46,64 + 120,6 + 102,7 + 1158}{8 \cdot 813}$$

$$\eta = 0,695$$

3-1-10 Calcul de la chute de pression

$$\Delta P_c = \frac{\dot{m} U_1 \Delta C_u - \sum S}{\dot{V}}$$

$$\Delta P_c = \frac{8 \cdot 44,62 \cdot 18,22 - (80,49 + 190,78 + 98,6 + 55,48 + 127,4 + 46,64 + \dots + 1158)}{6,66}$$

$$\Delta P_c = 666,9 \text{ N/m}^2$$

3-2 Position II avec le débit $\dot{V} = 4 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Re = \frac{D_m \cdot C_m}{\nu} = \frac{0,5877 \cdot 24,58}{1,48 \cdot 10^{-5}} = 10,7 \cdot 10^5 > 2 \cdot 10^5$$

Cette condition étant satisfaite, on peut utiliser les formules de calcul des pertes utilisées pour la position I

3-2-1 Pertes à l'entrée S_e

$$S_e = \xi_e \cdot \rho \cdot \frac{C_m^2}{2} \dot{V} = 0,012 \cdot 1,2 \cdot \frac{24,58^2}{2} \cdot 4 = 17,35 \text{ W}$$

3-2-2 Pertes dues au profil des aubes du rotor S_p

$$S_p = Z \cdot C_x \cdot l \cdot h \cdot \rho \cdot \frac{W_m^2}{2} W_m$$

$$C_x = l_y \cdot \tan \epsilon = 0,47 \cdot 0,018 = 0,009$$

$$S_p = 18 \cdot 0,009 \cdot 0,0703 \cdot 0,0944 \cdot 1,2 \cdot \frac{47,6^2}{2} \cdot 47,6 = 85,8 \text{ W}$$

3-2-3 Pertes par frottement sur le rotor: S'_{fr}

$$S'_{fr} = S_p \frac{A_m}{A_a} = 85,8 \frac{0,106}{0,205} = 43,96 \text{ W}$$

3-2-4 Pertes par frottements sur l'enveloppe: S'_{fe}

$$S'_{fe} = C_{xj} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{ext} \cdot b \cdot \rho \cdot \frac{C_m^2}{2} C_m$$

$$\text{avec } C_{xj} = \frac{C_x}{2} = \frac{0,009}{2} = 0,0045$$

$$S'_{fe} = 0,0045 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,35 \cdot 0,07 \cdot 1,2 \cdot \frac{25,1^2}{2} \cdot 25,1 = 7,8 \text{ W}$$

3-2-5 Pertes par jeu : S'_j

$$\Delta p_s = U \cdot \Delta C_u \cdot - \left(\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} \rho + \frac{S'_p + S'_e + S'_{fr} + S'_{fe}}{V'} \right)$$

$$\Delta p_s = 44,62 \cdot 7,6 - \left(\frac{25,75^2 - 24,58^2}{2} \cdot 1,2 + \frac{17,35 + 85,8 + 7,8 + 43,96}{4} \right)$$

$$\Delta p_s = 265,1 \text{ N/m}^2$$

$$\gamma = \frac{\Delta p_s}{\rho \cdot \frac{C_m^2}{2}} = \frac{265,1}{1,2 \cdot \frac{24,58^2}{2}} = 0,73$$

Annexe fig 6 avec $\gamma = 0,73 \Rightarrow K_s = 1,6$

$$C_{xl} = K_s \frac{L_m}{L_m} C_y^2 \frac{J}{h} = 1,6 \frac{0,0703}{0,1026} 0,47^2 \frac{0,001}{0,081} = 0,012$$

$$S'_j = C_{xl} \cdot \xi \cdot \rho \frac{W_{sm}^3}{2} L_m \cdot h = 0,012 \cdot 18 \cdot 1,2 \frac{47,6^3}{2} \cdot 0,0703 \cdot 0,081 = 79,59 \text{ W}$$

3-2-6 Pertes par frottement du disque : S'_{fd}

$$S'_{fd} = S_{fd} = 46,69 \text{ W}$$

3-2-7 Pertes dans le redresseur : S'_r

$$S'_r = C_{xr} \cdot \xi \cdot h \cdot \frac{\rho}{2} C_s^3 l$$

$$C_{xr} = C_{xy} \operatorname{tg} \epsilon = 0,33 \cdot 0,02 = 0,0066$$

$$S'_r = 0,0066 \cdot 19 \cdot 0,096 \frac{1,2}{2} 25,1^3 0,09 = 17,2 \text{ W}$$

3-2-8 Pertes dans le diffuseur : S'_d

$$S'_{d1} = 0,8 \frac{\rho}{2} (C_1^2 - C_{canal}^2) V' = 0,8 \frac{1,2}{2} (8,7^2 - 6,3^2) 4 = 11 \text{ W}$$

$$S'_{d2} = (1 - \eta_d) \frac{\rho}{2} (C_3^2 - C_4^2) V' = \frac{1,2}{2} (1 - 0,78) (25,75^2 - 8,7^2) 4 = 377,6 \text{ W}$$

3-2-9 Rendement

$$\eta = 1 - \frac{\sum S}{\dot{m} Y_1} = 1 - \frac{17,35 + 69 + 7,8 + 43,96 + 79,59 + 46,69 + 17,2 + 11 + 309,6}{4,8 \cdot 342,8}$$

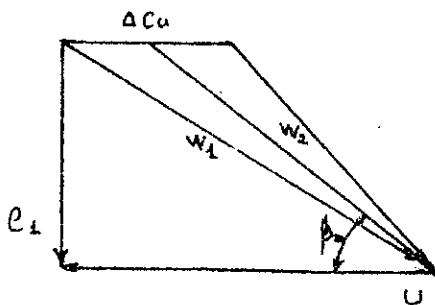
$$\eta = 0,596$$

3-2-10 Calcul de la chute de pression

$$\Delta P_c = \frac{\dot{m} U \Delta C_u - \sum S}{\dot{V}}$$

$$\Delta P_c = \frac{4,8 \cdot 44,62 \cdot 7,6 - (17,35 + 69 + 7,8 + 43,96 + 79,59 + 46,69 + 17,2 + 11 + 309,6)}{4}$$

$$\Delta P_c = 245 \text{ N/m}^2$$

3-3 Position I avec le débit de $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ 

$$C_{m1} = \frac{Q}{S} = 31,95 \text{ m/s}$$

$$Re > 2 \cdot 10^5$$

3-3-1 Calcul de C_y

Le calcul de C_y se fait par approche successive

$$\text{soit } \Delta C_u = 22 \text{ m/s} \Rightarrow \beta_m = \arctg \frac{C_u}{U - \frac{\Delta C_u}{2}} = 43,98^\circ$$

$$\text{Angle d'incidence } i = \delta - \beta_m = 55 - 43,98 = 11,1^\circ$$

$$\text{figure page 21} \Rightarrow C_y' = 1,45 \quad (\text{pour grille d'aubes})$$

$$\text{Annexe fig 5} \Rightarrow \frac{C_y'}{C_y} = 1 \Rightarrow C_y = 1,45 \quad (\text{aube isolée})$$

$$\text{Vérification: } C_y = \frac{2 \Delta C_u}{W_m} \cdot \frac{t}{l} = \frac{2 \cdot 22}{44,4} \cdot 1,46 = 1,43$$

$$C_y = 1,45 \approx C_y 1,43$$

3-3-2 Calcul des pertes

Le calcul des pertes se fait de manière identique que dans 3-1

On obtient:

$$S_e = 80,84 \text{ W}$$

$$S_{fe} = 45 \text{ W}$$

$$S_{d1} = 59,4 \text{ W}$$

$$S_p = 185,9 \text{ W}$$

$$S_J = 159,5 \text{ W}$$

$$S_{d2} = 561,8 \text{ W}$$

$$S_{fr} = 96,6 \text{ W}$$

$$S_{fd} = 46,69 \text{ W}$$

Pour S_r il faut chercher le nouveau triangle des vitesses

3-3-3 Calcul de C_r

Le nouveau triangle de vitesses est trouvé par approche successif

$$\text{soit } \Delta C_u = 23 \text{ m/s}$$

$$\text{avec } \alpha_2 = 60,6^\circ$$

$$C_2 = 38,39 \text{ m/s}$$

$$\text{ona } C_3 = \sqrt{C_2^2 + \left(\frac{\Delta C_u}{2}\right)^2 - 2 C_2 \frac{\Delta C_u}{2} \cos \alpha_2} = 39,1 \text{ m/s}$$

$$\Delta \alpha = \arccos \frac{C_3^2 + C_2^2 - \left(\frac{\Delta C_u}{2}\right)^2}{2 C_3 \cdot C_2} = 17,03^\circ$$

$$\text{d'où } \alpha_m = \alpha_2 + \Delta \alpha = 60,6 + 17,03 = 77,63^\circ$$

$$i = \gamma - \alpha_m = 82,96 - 77,63 = 5,3^\circ$$

D'après le graphe page: 21 on a $C'_y = 0,9$

Annexe fig 5 on a $\frac{C'_y}{C_y} = 0,7 \Rightarrow C_y = 1,28$

$$\text{Verification: } C_y = \frac{2 \Delta C_u}{C_3} \cdot \frac{t}{l} = \frac{2 \cdot 23}{39,1} \cdot 1,07 = 1,25$$

$$\text{Donc } C_y = 1,25 \approx C_y = 1,28$$

3-3-4 - Calcul des pertes dans le redresseur

$$S_r = 83,29 \text{ W}$$

3-3-5 Rendement

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma S}{\dot{m} U \Delta C_u} = 0,581$$

3-3-6 Chute de pression

$$\Delta P_c = \frac{\dot{m} U \Delta C_u - \Sigma S}{\dot{V}} = 598,2 \text{ N/m}^2$$

3-4 Position II debit de 3,33 m³/s

$$C_1 = \frac{Q}{S} = 19,17 \text{ m/s}$$

$$Re > 2 \cdot 10^5$$

3-4-1 Calcul de C_y

Le calcul de C_y se fait par approche successive.

$$\text{Soit } \Delta C_u = 12 \text{ m/s} \quad \Rightarrow \beta_m = \text{Arctg} \frac{C_1}{U - \Delta C_u} = \text{Arctg} \frac{19,17}{44,62 - 6} = 26,4^\circ$$

$$\text{Angle d'incidence } i = \delta_{60} - \beta_m = 31 - 26,4 = 4,6^\circ$$

$$\text{D'après le graphique page 21 } C_y' = 0,82.$$

$$\text{Annexe fig 5 } \xi = \frac{C_y'}{C_y} = 1 \quad \Rightarrow C_y = 0,82.$$

$$\text{Verification : } C_y = \frac{2 \cdot \Delta C_u}{W_m} \frac{t}{L} = \frac{2 \cdot 12}{42,8} \frac{1,46}{1} = 0,818$$

$$\text{Donc } C_y = 0,82 \approx C_y = 0,818$$

3-4-2 - Calcul des pertes

Le calcul des pertes se fait de manière identique que dans 3-1

$$S_e' = 9,7 \text{ W} \quad S_{fe}' = 6,9 \text{ W} \quad S_{d_1} = 17,8 \text{ W}$$

$$S_p' = 94,1 \text{ W} \quad S_f' = 95,7 \text{ W} \quad S_{d_2} = 103,5 \text{ W}$$

$$S_{fr}' = 48,6 \text{ W} \quad S_{fd}' = 46,69$$

3-5. Position I avec débit de $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Le calcul est fait de manière identique que dans 3-3

$$C_{u1} = 46,13 \text{ m/s} \quad \Delta C_u = 15 \text{ m/s} \quad \beta_m = 51,17^\circ \quad i = 3^\circ \quad C_y = 0,68$$

Verification: $C_y = 0,682$.

| | | | |
|---------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Pertes: | $S_e = 114,9 \text{ W}$ | $S_{fe} = 54,95 \text{ W}$ | $S_r = 124,3 \text{ W}$ |
| | $S_p = 182,1 \text{ W}$ | $S_J = 79,8 \text{ W}$ | $S_{d1} = 151,5 \text{ W}$ |
| | $S_{fr} = 94 \text{ W}$ | $S_d = 46,69 \text{ W}$ | $S_{d2} = 1669 \text{ W}$ |

On a ainsi $\Delta P_c = 487 \text{ N/m}^2$ et $\eta = 0,42$.

3-6. Position II avec débit de $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le calcul est fait de manière identique que dans 3-4

$$\Delta C_u = 9 \text{ m/s} \quad C_y = 0,59 \quad i = 1,5^\circ$$

| | | | |
|---------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Pertes: | $S_e = 68,9 \text{ W}$ | $S_{fe} = 10,1 \text{ W}$ | $S_{d1} = 91,2 \text{ W}$ |
| | $S_p = 75,54 \text{ W}$ | $S_J = 57,4 \text{ W}$ | $S_{d2} = 159,4 \text{ W}$ |
| | $S_{fr} = 39,02 \text{ W}$ | $S_{fd} = 46,7 \text{ W}$ | $S_r = ?$ |

soit $\Delta C_u = 4 \text{ m/s}$. $C_s = 30,9 \text{ m/s}$. $\alpha = 2,8^\circ \Rightarrow \beta_m = 74,78$.

$$i = 0,99^\circ \Rightarrow [3] \Rightarrow C_y = 0,27$$

Verification $C_y = \frac{2,4}{30,9} \cdot 1,07 = 0,227$ d'où $S_r = 22,1 \text{ W}$

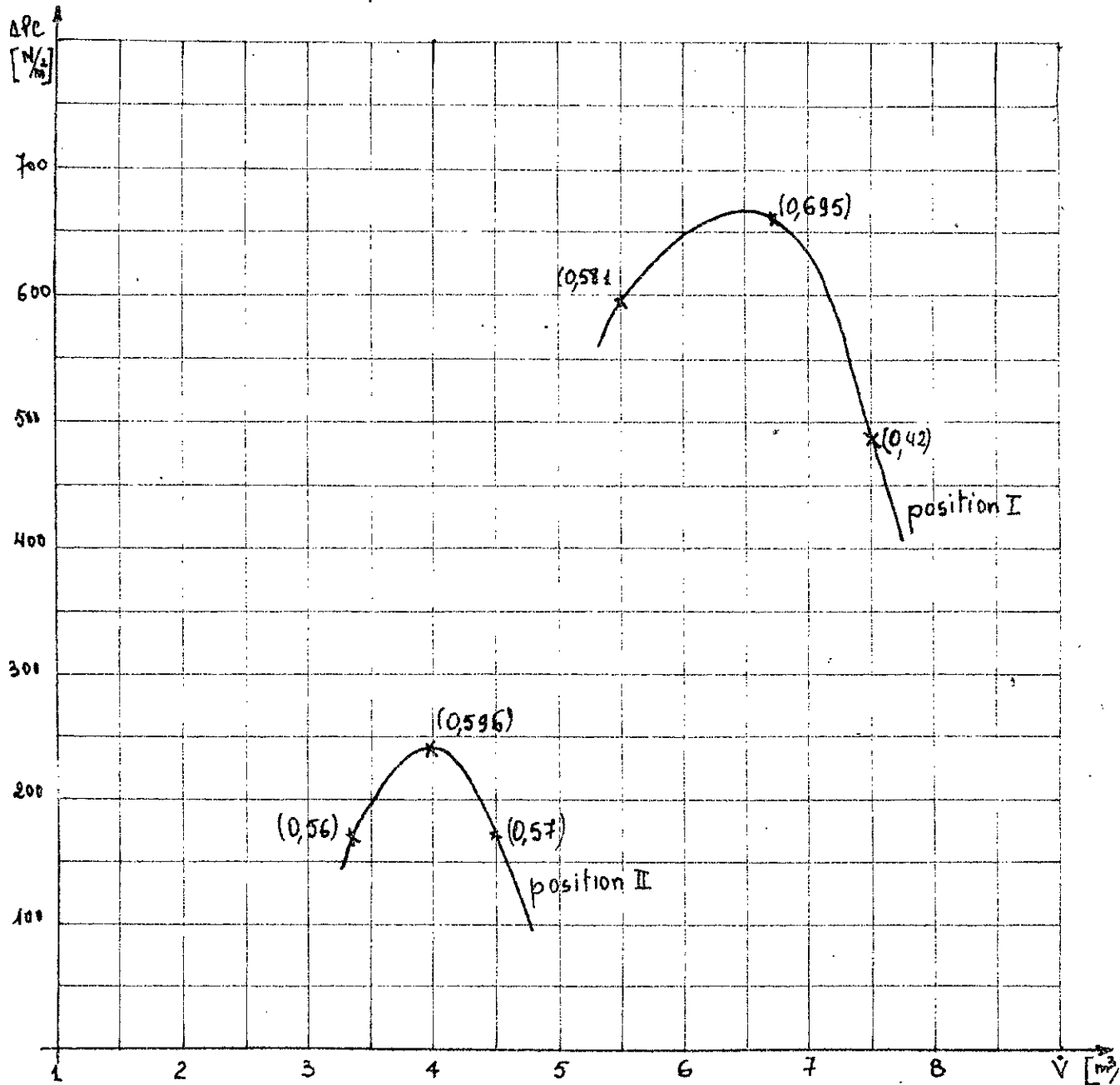
donc $\Delta P_c = 172,4 \text{ N/m}^2$ $\eta = 0,57$.

3-6. Position I avec débit de $7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le calcul est fait de manière identique que 3-3.

on obtient $\Delta P_c = 628,4 \text{ N/m}^2$ et $\eta = 0,66$.

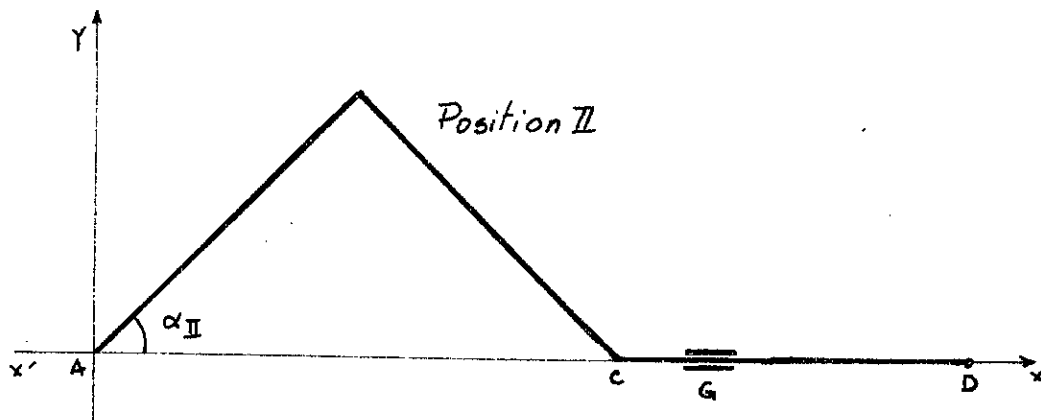
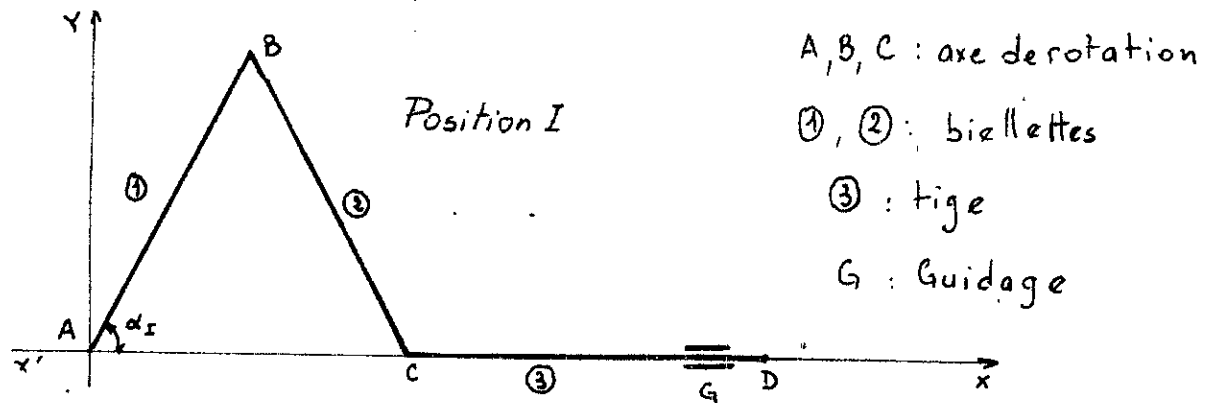
37 Caractéristiques du ventilateur



CHAPITRE IV

4. Analyse du système d'orientation des aubes.

4.1. Analyse cinématique.



Le déplacement de la tige ③ selon xx' fait varier l'angle α & l'aube est fixée au point A. donc elle est orientée suivant la valeur de l'angle α .

4.2 Analyse technologique

Pour éviter le risque de coincement tous les mouvements sont dans un même plan et de plus la tige ③ se déplace sur la droite xx' passant par le centre de rotation "A" de l'aube. L'axe B se déplace sur un arc de cercle de centre A.

Pour le réglage indépendant de l'angle de calage " δ " de chaque aube il est prévu un écrou et un contre écrou sur la tige (3). Cette même tige est soudée à une tôle mince en couronne {fig 1} de façon qu'elle soit flexible et permettra d'éviter le coincement au point "c" après serrage des 2 écrous.

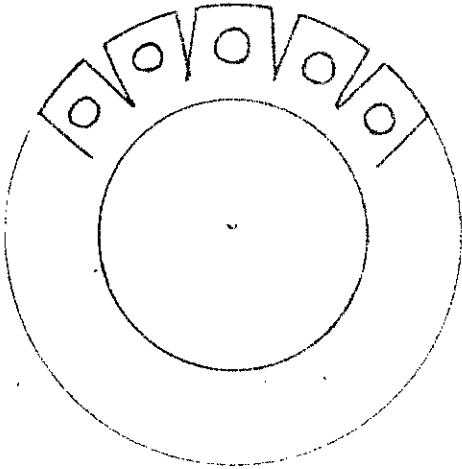


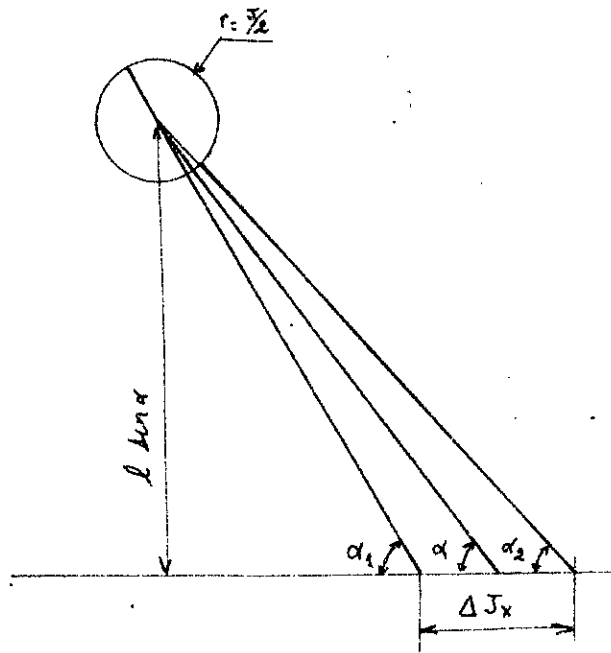
fig:1

Le déplacement de la tige (3) est donné par un servomoteur à translation. Afin de transmettre le mouvement en marche, un accouplement avec 2 bûches à billes et un ressort est prévu entre le rotor et le servomoteur.

4.3 Optimisation de l'angle α

On recherchera l'angle α qui donnera la plus grande course " X " de la tige (3) avec le plus faible jeu " ΔJ_x ". Pour cela, on étudiera l'erreur relative $\frac{\Delta J_x}{\Delta X}$.

La valeur la plus faible de l'erreur relative correspond à l'angle α optimum.



$$l \sin \alpha = (l + \frac{J}{2}) \sin \alpha_2 = (l - \frac{J}{2}) \sin \alpha_1$$

$$* \sin \alpha_2 = \frac{l \sin \alpha}{l + \frac{J}{2}} \Rightarrow \alpha_2 = \arcsin \left\{ \frac{l \sin \alpha}{l + \frac{J}{2}} \right\}$$

$$* \sin \alpha_1 = \frac{l \sin \alpha}{l - \frac{J}{2}} \Rightarrow \alpha_1 = \arcsin \left\{ \frac{l \sin \alpha}{l - \frac{J}{2}} \right\}$$

$$\Delta J_x = (l + \frac{J}{2}) \cos \alpha_2 - (l - \frac{J}{2}) \cos \alpha_1$$

$$\text{d'où } \Delta J_x = (l + \frac{J}{2}) \cos \left[\arcsin \left\{ \frac{l \sin \alpha}{l + \frac{J}{2}} \right\} \right] - (l - \frac{J}{2}) \cos \left[\arcsin \left\{ \frac{l \sin \alpha}{l - \frac{J}{2}} \right\} \right]$$

Erreur relative $\frac{\Delta J_x}{\Delta x}$

$$\frac{\Delta J_x}{\Delta x} = \frac{(l + \frac{J}{2}) \cos \left[\arcsin \left\{ \frac{l \sin \alpha}{l + \frac{J}{2}} \right\} \right] - (l - \frac{J}{2}) \cos \left[\arcsin \left\{ \frac{l \sin \alpha}{l - \frac{J}{2}} \right\} \right]}{2l [\cos \alpha - \cos(\alpha + \Delta \delta)]}$$

On a : $\Delta \delta = 23^\circ$ (voir chapitre II).

avec $J = 0,04$ ajustement au niveau des axe H8/f7.

et soit $l = 60 \text{ mm}$. longueur des bielles.

| α° | 20° | 30° | 40 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 50 | 60 | 70 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|
| $\frac{\Delta J_x}{\Delta x}$ | 0,0179 | 0,0082 | 0,0071 | 0,007336 | 0,007325 | 0,007323 | 0,007329 | 0,007344 | 0,0075 | 0,0086 | 0,0117 |

On remarque que l'angle $\alpha = 44^\circ$ donne la valeur minimale à l'erreur relative $\frac{\Delta J_x}{\Delta x}$.

Pour cela on prendra $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_I = 30^\circ \\ \alpha_{II} = 53^\circ \end{array} \right.$

Ainsi on aura l'angle optimum $\alpha = 44^\circ$ entre α_I et α_{II} .

CHAPITRE V

5. Calcul des forces d'orientation des aubes

Dans un ventilateur les aubes sont sollicitées aux forces aérodynamiques et aux forces centrifuges. D'habitude on a tendance à ne pas citer les forces centrifuges en supposant qu'elles sont négligeables devant les forces aérodynamiques. Mais d'après les travaux de l'institut de la thermotechnique en Pologne on a constaté que le couple dû aux forces centrifuges est élevé donc il faut le prendre en considération dans le calcul.

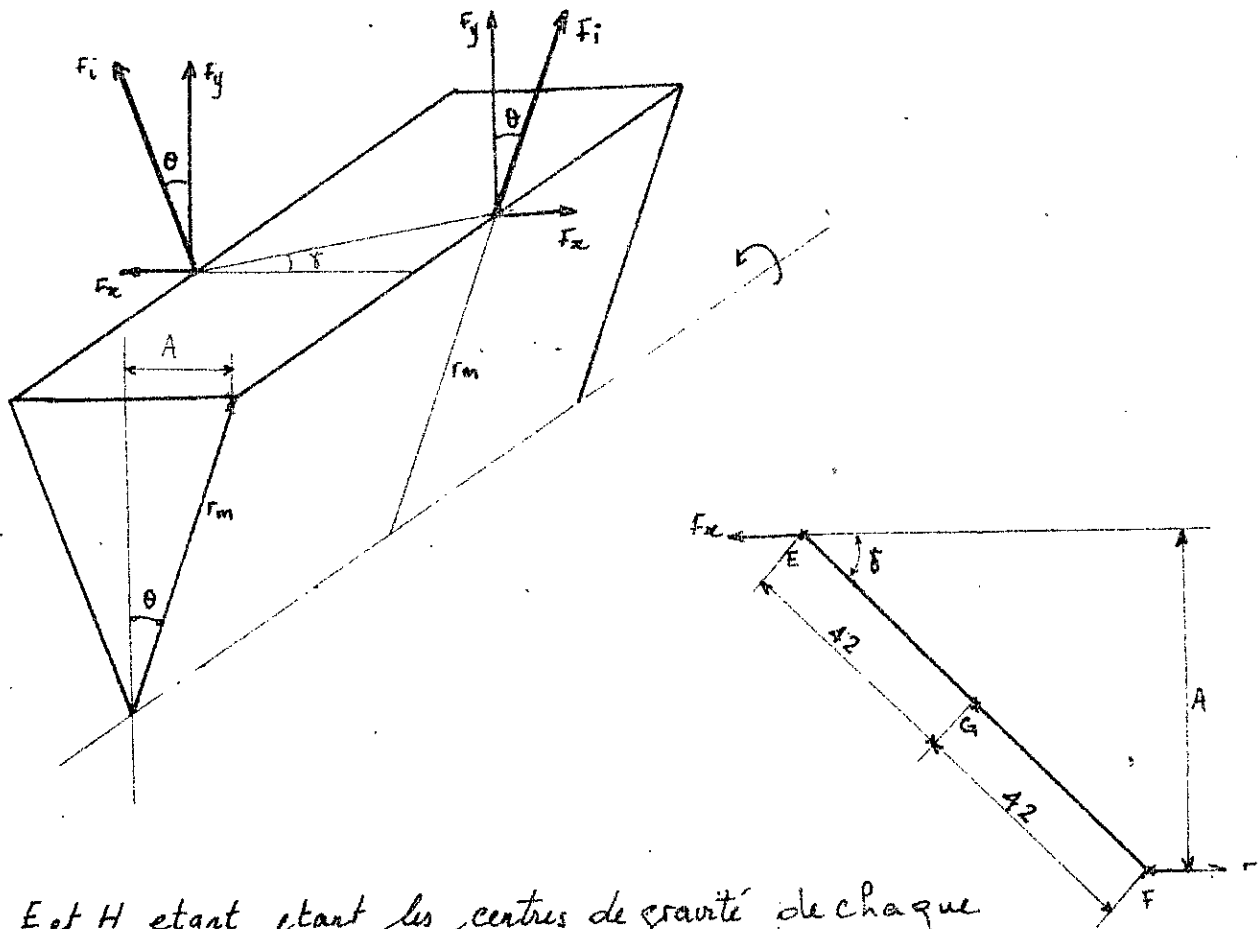
5.1 Calcul du couple dû aux forces centrifuges

Pour ce calcul on suppose que :

- toute la masse de l'aube est concentrée en 2 points équidistants de l'axe de rotation. Cette supposition est justifiée car après construction graphique de l'aube N.A.C.A 44.09 on a trouvé qu'approximativement les 2 centres de gravité des 2 moitiés de l'aube sont situés à 42 mm de l'axe et sont sur une même droite avec le centre de gravité de toute l'aube.

- l'aube n'est pas convergente donc $V = S \cdot h$
avec S : section moyenne de l'aube et h : hauteur de l'aube.

Le calcul se fera au niveau du rayon moyen



Et H étant étant les centres de gravité de chaque partie de l'aube.

$$\theta = \text{Arctg} \frac{F_x}{F_y} = \text{Arctg} \frac{A}{r_m} \quad \text{avec } A = 42 \cdot \sin \gamma$$

5.1.1 Position I

on a $\gamma = 55^\circ$ donc $A = 42 \cdot \sin 55 = 34,4 \text{ mm}$.

$$\theta = \text{Arctg} \frac{34,4}{293,5} = 6,68^\circ$$

force centrifuge: $F_i = m \omega^2 r$

avec $m = \rho V$ où $V = S \cdot h = 2571 \cdot 94,5 = 243 \text{ cm}^3$
 $\rho = 1,26 \text{ g/cm}^3$ (Matière plastique) P.F

$$m = \rho V = 1,26 \cdot 243 = 306 \text{ g}$$

$$F_i = m \omega^2 r = 0,306 \left(\frac{\pi \cdot N}{30} \right)^2 0,2935 = 2070 \text{ N}$$

or la masse est partagée en 2 points d'où :

$$F_i = \frac{2070}{2} = 1035 \text{ N.}$$

$$\text{Donc } F_{x_I} = F_i \sin \theta = 1035 \cdot \sin 6,68 = 120,39$$

$$\text{Couple : } C_I = F_{x_I} \cdot 2A = 120,39 \cdot 2 \cdot 34,4 \cdot 10^{-3} = 8,28 \text{ N.m.}$$

5.1.2 Position II

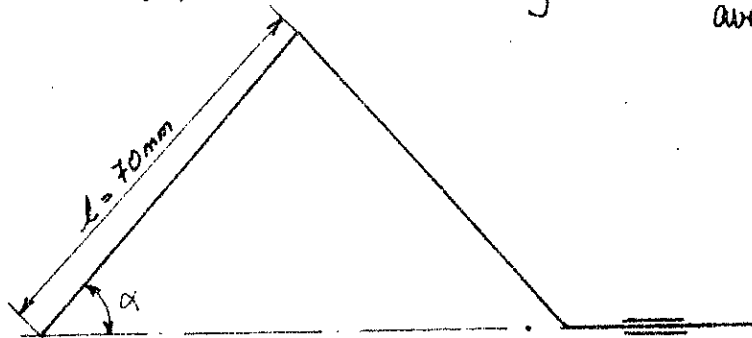
$$\text{on a } \gamma = 32^\circ \quad A = 42 \sin 32 = 22,2 \text{ mm.}$$

$$\theta = \text{Arctg} \frac{A}{r_m} = \text{Arctg} \frac{22,2}{293,5} = 4,33^\circ$$

$$\text{d'où } F_{x_{II}} = F_i \sin \theta = 1035 \sin 4,33^\circ = 78,8 \text{ N.}$$

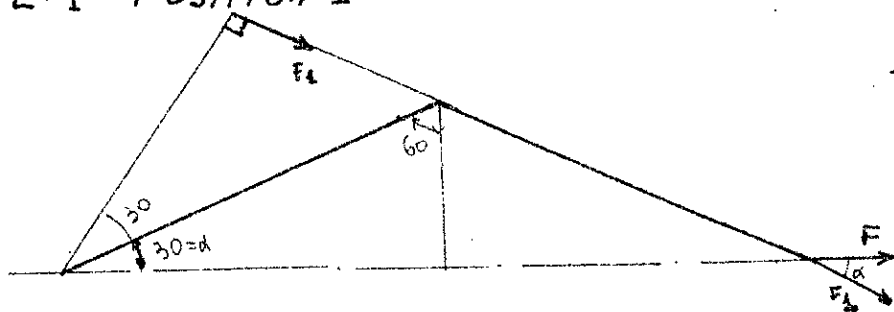
$$\text{Couple } C_{II} = F_{x_{II}} \cdot 2A = 78,8 \cdot 2 \cdot 22,2 \cdot 10^{-3} = 3,49 \text{ N.m.}$$

5.2 Calcul de la force agissant sur le servomoteur
avec : $l = 70 \text{ mm}$



$\alpha = 53^\circ$ angle d'inclinaison
des tiges pour la position I
 $\alpha = 30^\circ$ pour la position II

5.2.1 Position I



$$l = 70 \text{ mm}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

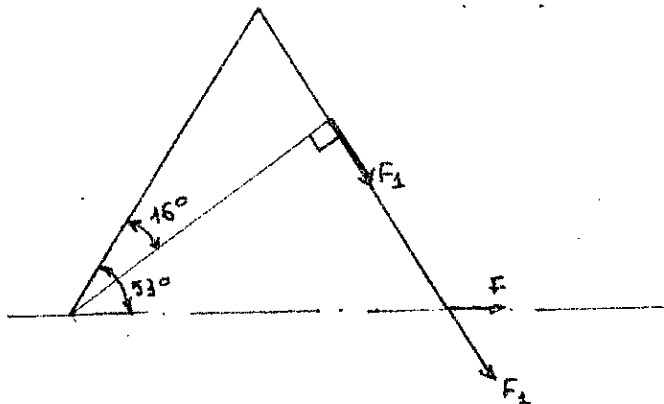
$$F_1 = \frac{C_{II}}{l \cos 30} = \frac{8,28}{0,070 \cdot \cos 30} = 137 \text{ N}$$

$$F = F_1 \cos \alpha = 137 \cdot \cos 30 = 118 \text{ N}$$

or il ya 18 arbres donc

$$F_T = 18 \cdot F = 18 \cdot 118 = 2124 \text{ N soit } 2,2 \text{ kN.}$$

5 2-2- Position II



$$F_1 = \frac{C_{II}}{l \cos 16} = \frac{3,49}{0,07 \cos 16} = 51 \text{ N}$$

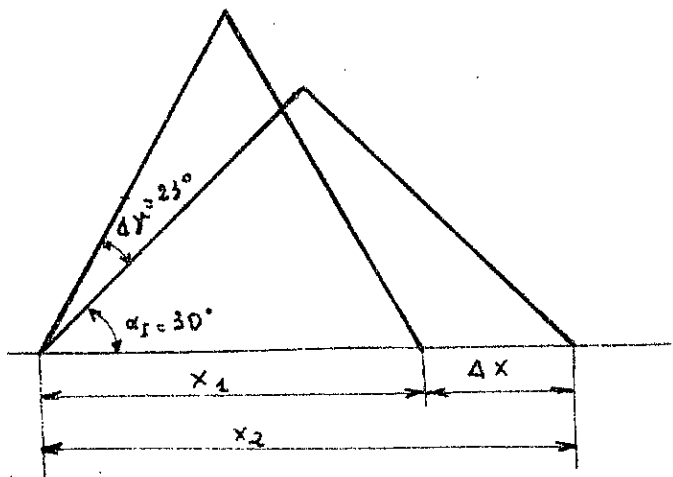
$$F_1 = 51 \text{ N}$$

$$F = F_1 \cos \alpha = 51 \cos 53$$

$$F = 31 \text{ N.}$$

or il ya 18 arbres donc $F_T = 18 \cdot 31 = 558 \text{ N.}$

5-3 Choix du servomoteur



$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$x_2 = 2l \cos(\alpha_I + \Delta\alpha)$$

$$x_1 = 2l \cos(\alpha_I)$$

$$\Delta x = 2l [-\cos(\alpha_I + \Delta\alpha) + \cos \alpha_I]$$

$$\Delta x = 2 \cdot 60 \cdot [\cos 30 - \cos(30 + 23)]$$

$$\Delta x = 37 \text{ mm.}$$

Δx étant la course et égale à 37 mm

La poussée a été calculée au chapitre IV et est égale à 9,1 kN.

On choisit un servomoteur Siemens M76344 K2702 A104 avec une course maxi de 75 mm et une poussée de 5 kN.

5.4 Choix du moteur

Puissance nécessaire: $P = H \cdot \dot{m}$

avec $H = U \cdot \Delta C_u = 813 \text{ J/kg}$.

$\dot{m} = 8 \text{ kg/s}$ débit massique

$$P = 813 \cdot 8 \approx 6500 \text{ W}$$

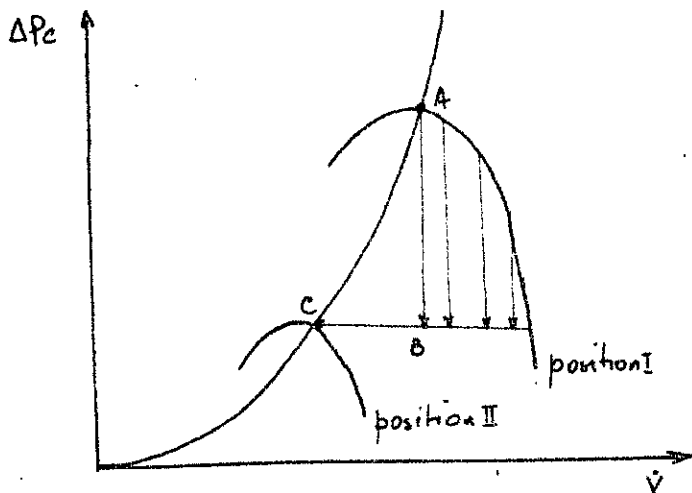
On choisit un moteur asynchrone triphasé à une seule vitesse $N = 1450 \text{ tr/mn}$. et une puissance supérieur à $6,5 \text{ kW}$.

Soit le moteur "Leroy Somer LS 132M" avec une puissance de $7,5 \text{ kW}$

CHAPITRE VI

6. Comparaison avec le système de régulation par laminage du fluide

Le ventilateur à aubes orientables est une solution compliquée mais si l'on a un ventilateur à aubes fixes orientées selon la position I on peut avoir un débit inférieur par simple laminage du fluide. Pour cela procédons à une étude comparative des 2 systèmes par comparaison des rendements.



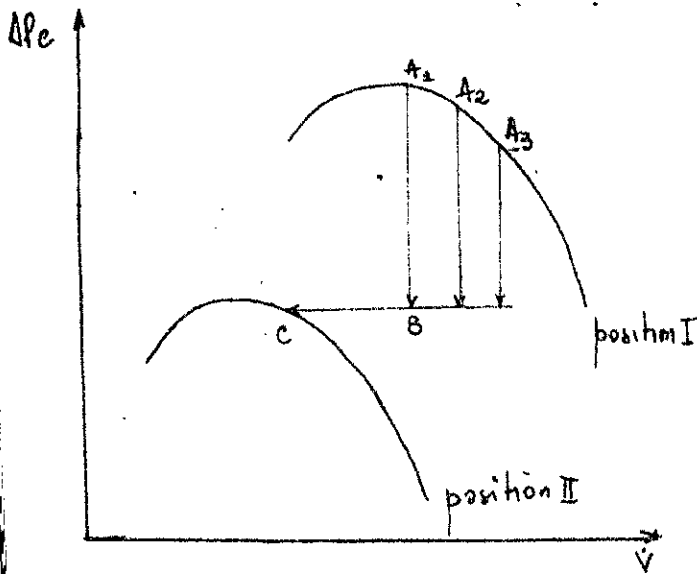
Disons que la caractéristique de la chaudière passe par un point "A" (point nominal). Cette caractéristique parabolique croise la caractéristique du ventilateur au point "C" sur le segment de courbe descendant, ce qui permet de travailler hors de la zone de pompage.

Le laminage sera fait jusqu'à la chute de pression de $\Delta P_e = 240 \text{ N/m}^2$ soit le point B, puis on procédera à une fuite partielle jusqu'à un débit correspondant au point C. avec $\dot{V} = 4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ et $\Delta P_e = 240 \text{ N/m}^2$.

On remarque que le point C est à droite du point optimal de travail à 60%.

Pour le laminage on peut arriver au point "c" en partant par n'importe quel point qui se trouve sur la partie descendante de la courbe position II. Il faut donc chercher le point de départ A_i qui donnera le meilleur rendement.

Dans notre cas on fera le calcul pour les 3 points dont on connaît le rendement.



Rendement par laminage
de fluide.

$$\eta_i = \frac{\dot{V}_c \cdot \Delta P_{cc}}{\frac{\dot{V}_{A_i} \cdot \Delta P_{cA_i}}{\eta_{A_i}}}$$

$$1^{\circ} \eta_{L_2} = \frac{\dot{V}_c \cdot \Delta P_{cc}}{\frac{\dot{V}_{A_1} \cdot \Delta P_{cA_1}}{\eta_{A_1}}} = \frac{4,1 \cdot 240}{\frac{6,78 \cdot 655}{0,69}} = 0,154$$

$$2^{\circ} \eta_{L_2} = \frac{\dot{V}_c \cdot \Delta P_{cc}}{\frac{\dot{V}_{A_2} \cdot \Delta P_{cA_2}}{\eta_{A_2}}} = \frac{4,1 \cdot 240}{\frac{7 \cdot 628}{0,66}} = 0,147$$

$$3^{\circ} \eta_{L_2} = \frac{\dot{V}_c \cdot \Delta P_{cc}}{\frac{\dot{V}_{A_3} \cdot \Delta P_{cA_3}}{\eta_{A_3}}} = \frac{4,1 \cdot 240}{\frac{75 \cdot 477}{0,42}} = 0,113$$

On constate que le meilleur rendement pour le laminage est donné par le laminage à partir du point A_1 soit le plus proche du point optimum de travail en position I.

On a le rendement avec le système d'orientation des aubes : $\eta = 0,596$
 et les rendements par laminage plus fuites : $\eta_1 = 0,154$; $\eta_2 = 0,147$; $\eta_3 = 113$.

On constate tout de suite que le rendement est très faible dans le second cas donc le système d'orientation des aubes est beaucoup plus avantageux.

Pour notre ventilateur avec une puissance de 7,5 kW le système d'orientation des aubes est relativement coûteux, mais dans le cas de grands ventilateurs le gain d'énergie sera considérable donc le prix de revient, même élevé, du système d'orientation des aubes sera vite amorti.

CHAPITRE VII

7 Calcul de résistance de l'aube

Les aubes du ventilateur sont soumises à la flexion et à la traction dues aux forces aérodynamiques et centrifuges. Le calcul sera fait au niveau du pied de l'aube car c'est la section la plus sollicitée et il ne sera considéré que pour la charge de 100%.

7.1 Détermination des charges q_x et q_y

L'aube est soumise à une charge axiale " q_x " et une charge périphérique " q_y ".

$$q_x = \frac{2\pi r}{L} (p_1 - p_2)$$

$$q_y = \frac{2\pi r}{L} \rho C_m \Delta C_u$$

7.1.1 Rayon intérieur:

$$q_x = \frac{2\pi \cdot 0,2428}{18} \cdot 975,6 = 82,68 \text{ N/m}$$

$$q_y = \frac{2\pi \cdot 0,2428}{18} \cdot 1,2 \cdot 40,97 \cdot 22,05 = 91,88 \text{ N/m}$$

7.1.2 Rayon moyen:

$$q_x = \frac{2\pi \cdot 0,2936}{18} \cdot 975,6 = 100 \text{ N/m}$$

$$q_y = \frac{2\pi \cdot 0,2936}{18} \cdot 1,2 \cdot 40,97 \cdot 18,22 = 91,85 \text{ N/m}$$

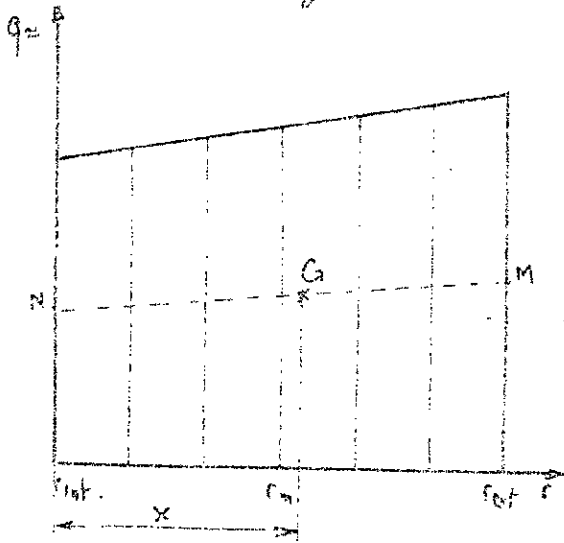
7.1.3 Rayon extérieur

$$q_x = \frac{2\pi \cdot 0,3372}{18} \cdot 975,6 = 114,85 \text{ N/m}$$

$$q_y = \frac{2\pi \cdot 0,3372}{18} \cdot 1,2 \cdot 40,97 \cdot 15,87 = 91,85 \text{ N/m}$$

7.2 Détermination des Moment M_x et M_y

Diagramme des charges axiales.



La force axiale " F_a " est égale à l'aire du trapèze

$$F_a = \frac{q_{ext} + q_{int}}{2} (r_{ext} - r_{int})$$

$$F_a = \frac{114,8 + 82,85}{2} (0,3372 - 0,2428)$$

$$F_a = 9,32 \text{ N}$$

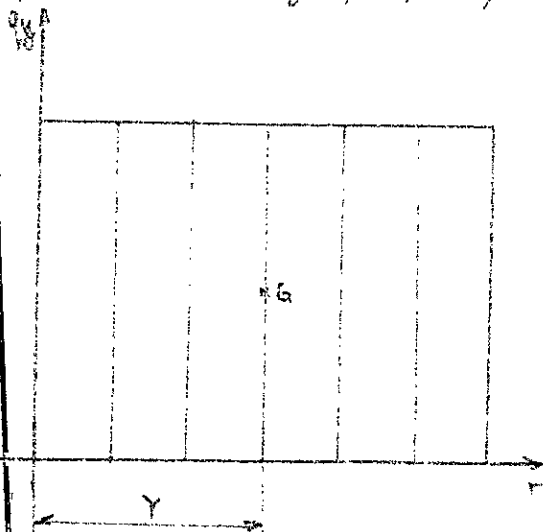
La force F_a s'applique au centre de gravité "G" du trapèze.

$$\frac{x}{G \text{N}} = \frac{q_{ext} + \frac{q_{int}}{2}}{q_{int} + \frac{q_{ext}}{2}} = 1,11$$

$$x = \frac{r_{ext} - r_{int}}{1 + \frac{1}{1,11}} = 0,05 \text{ m}$$

Le moment M_x : $M_x = F_a \cdot x = 9,32 \cdot 0,05 = 0,44 \text{ N.m.}$

Diagramme des charges périphériques :



La force périphérique F_p est égale à l'aire du rectangle.

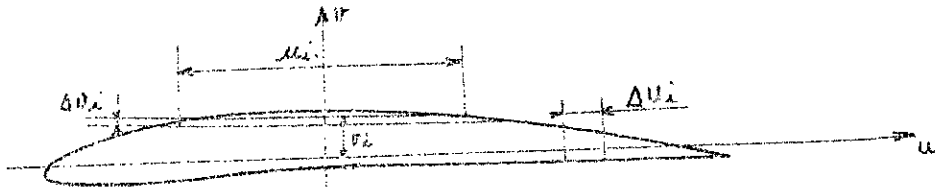
$$F_p = (r_{ext} - r_{int}) q_p = (0,3372 - 0,2428) 91,85$$

$$F_p = 8,68 \text{ N.}$$

La force F_p s'applique au centre de gravité "G" du rectangle

$$y = 0,047 \text{ m.}$$

Le Moment M_y : $M_y = F_p \cdot y = 8,68 \cdot 0,047 = 0,41 \text{ N.m.}$

7.3 Calcul des moments d'inertie I_u et I_v 

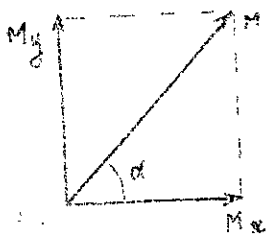
Le calcul des moments d'inertie est fait d'après les formules suivantes

$$I_u = \sum_{i=1}^n \left(\frac{u_i (\Delta v_i)^3}{12} + \Delta v_i \cdot u_i \cdot v_i^2 \right) \Rightarrow I_u = 0,08 \text{ cm}^4$$

$$I_v = \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i (\Delta u_i)^3}{12} + \Delta u_i \cdot v_i \cdot u_i^2 \right) \Rightarrow I_v = 9,1 \text{ cm}^4$$

où u et v sont les axes principaux.

7.4 Détermination de l'axe neutre



$$M = M_x^2 + M_y^2 = 0,44^2 + 0,41^2 = 0,6 \text{ N.m.}$$

$$\alpha = \arctg \frac{M_y}{M_x} = \arctg \frac{0,41}{0,44} = 43^\circ$$

Axe neutre est déterminé par la formule suivante:

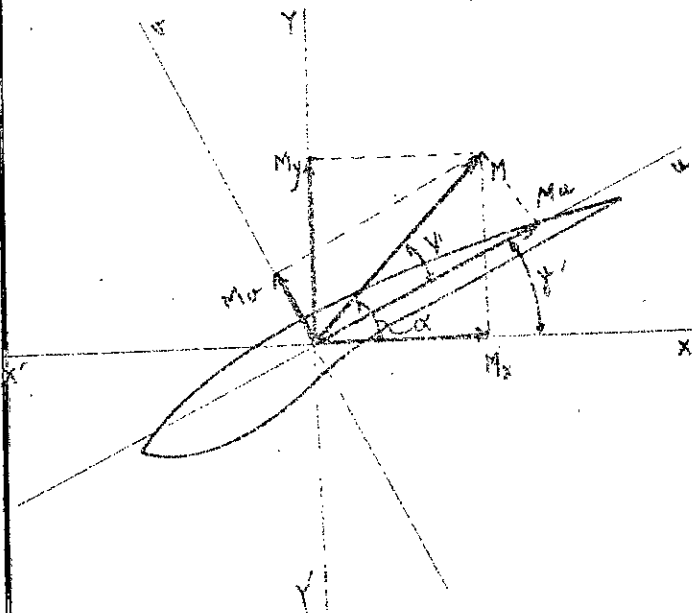
$$\text{tg}(\psi, \text{axe neutre}) = \text{tg}(\psi, M) \cdot \frac{I_u}{I_v}$$

$$\text{On a } \psi = \alpha - \delta'$$

avec δ' angle complémentaire de δ

$$\delta' = 90 - 55 = 35^\circ$$

$$\text{d'où } \psi = 43 - 35 = 8^\circ$$



ona donc: $M_u = M \cos \psi = 0,6 \cos 8 = 0,59 \text{ N.m.}$

$M_v = M \sin \psi = 0,6 \sin 8 = 0,08 \text{ N.m.}$

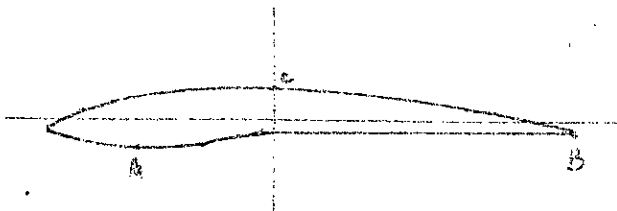
$t_g(u, \text{axe neutre}) = t_g(u, M) \frac{I_u}{I_v}$

avec $t_g(u, M) = \frac{M_v}{M_u} = \frac{0,08}{0,59} = 0,1356$

$t_g(u, \text{axe neutre}) = 0,1356 \frac{0,08}{3,1} = 0,0012$

angle $(u, \hat{\text{axe neutre}}) = 0,068^\circ = 4' 6''$

L'angle est tres petit on peut le negligier et considerer que l'axe neutre est confondu avec l'axe principale u , donc les points les plus sollicités sont A, B et C.



7.5. Calcul des contraintes.

ona $\sigma_C = \frac{M_u}{I_u} v_C + \frac{M_v}{I_v} u_C + \sigma_T \text{ centrif}$

$\sigma_A = \frac{M_u}{I_u} v_A + \frac{M_v}{I_v} u_A + \sigma_T \text{ centrif}$

$\sigma_B = \frac{M_u}{I_u} v_B + \frac{M_v}{I_v} u_B + \sigma_T \text{ centrif}$

avec $\sigma_T \text{ centrif} = \frac{F \text{ centrif}}{S_{\text{ambe}}} = \frac{2070}{2571} = 0,8 \text{ N/mm}^2 = 80 \text{ N/cm}^2$

d'ou $\sigma_C = \frac{59}{0,08} 0,4 + \frac{8}{3,1} 0 + 80 = 375 \text{ N/cm}^2$

54

$$\sigma_A = \frac{59}{0,08} \cdot 0,15 + \frac{8}{9,1} \cdot 2,86 + 80 = 193 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_B = \frac{59}{0,08} \cdot 0,15 + \frac{8}{9,1} \cdot 3,3 + 80 = 194 \text{ N/cm}^2$$

On a $\sigma_A, \sigma_B \text{ et } \sigma_C < \sigma_{ad} = 8000 \text{ N/cm}^2$

Donc, l'aube en matière plastique "PF" peut résister à tous les efforts.

Conclusion

Nous avons trouvé qu'un ventilateur à aubes orientables est très avantageux vu qu'il garde un bon rendement même pour les débits partiels.

Un bon fonctionnement d'un ventilateur est atteint quand l'intersection de la caractéristique de l'utilisateur se fait avec la partie descendante de la caractéristique du ventilateur.

L'idéal sera l'intersection avec le point optimum de la caractéristique du ventilateur. Comme dans tous les projets de ventilateur il y a un calcul d'optimisation pour approcher ce fonctionnement idéal. Dans notre cas, le calcul ne répond pas à cette condition il faudra augmenter son élévation de pression, de diminuer le débit et retracer les caractéristiques.

ANNEXE

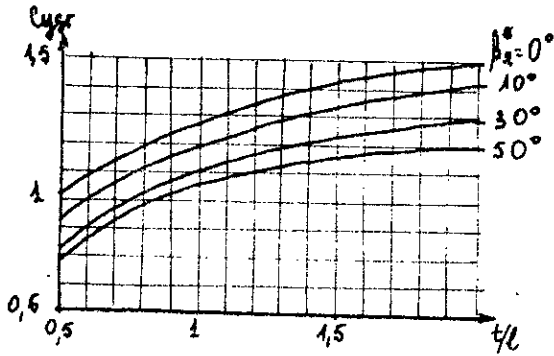


fig 1 d'après [1]

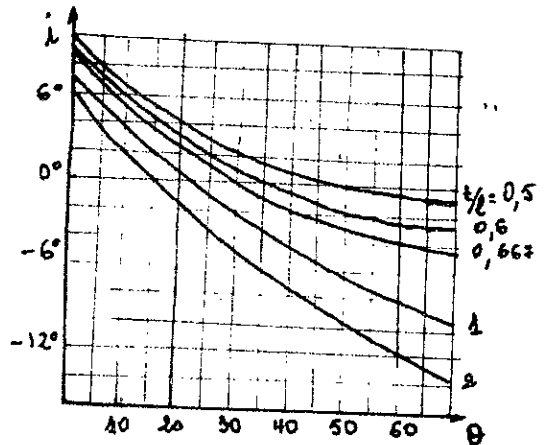


fig 2 d'après [1]

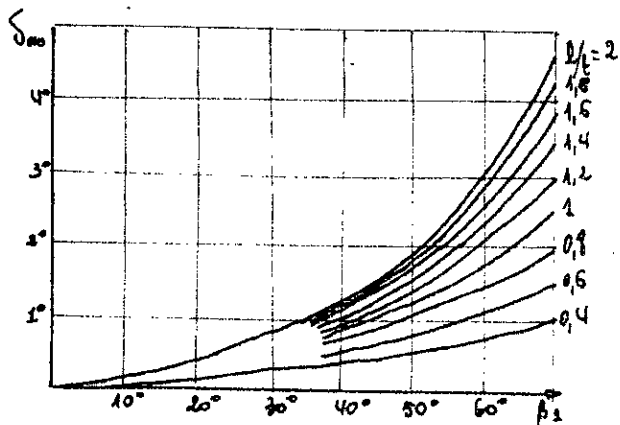


fig 3 d'après [1]

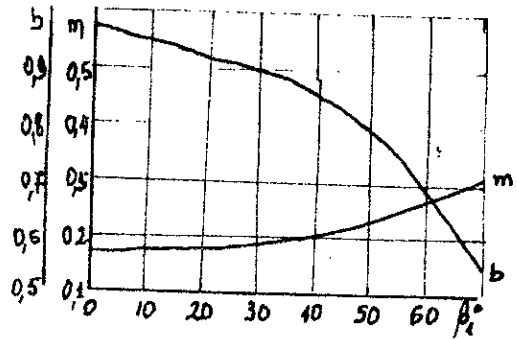


fig 4 d'après [1]

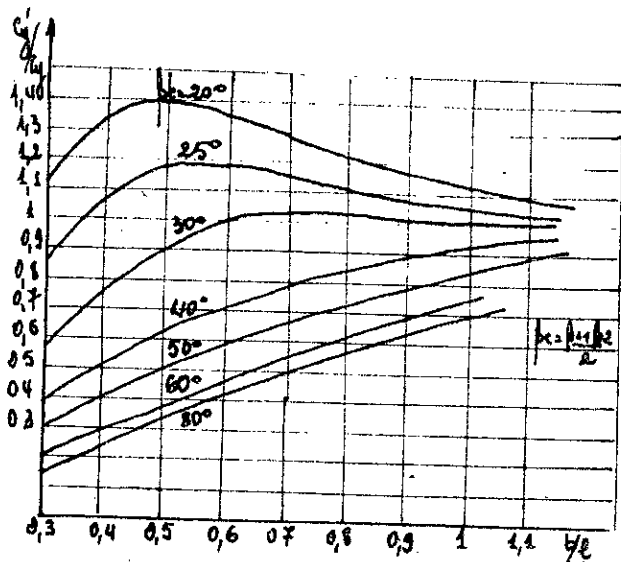


fig 5 d'après [3]

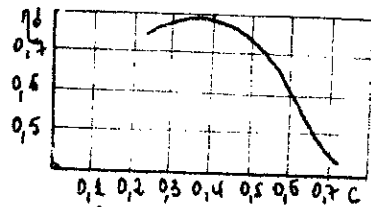


fig 6 d'après [4]

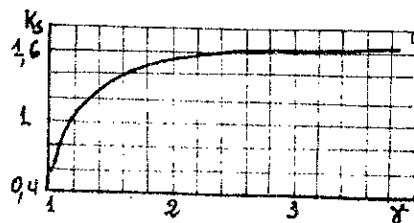


fig 7 d'après [2]

Bibliographie

| N° | Auteur | Titre | Edition |
|-----|------------------------|---|---|
| [1] | T. Bernard | Wpływ Parametrow kinematycznych i geometrycznych na sprawność wentylatorów osiowych. | Instytutu Techniki ciepłej 26 1965 |
| [2] | T. Bernard | Projektowanie układów łopatkowych sprężarek i Wentylatorów osiowych | Instytutu Techniki ciepłej 2T 1965 |
| [3] | A. Kovats | pompes; ventilateurs, compresseur | Dunod 1962 |
| [4] | Stanisław Kuczewski | Wentylatory | W.N.T. Warszawa 1978 |
| [5] | Dimitrov | Cours de Machines thermique | E.M.P.A |

