

# Conception d'un dispositif expérimental pour la visualisation et la détermination des lignes de courant dans le rotor des turbo-machines (pompe).

Par BOUZIANE KIES

Responsable du département  
de Génie Rural

## Introduction :

Ce travail fait partie d'une communication que j'avais proposée au deuxième congrès de Mécanique Théorique et Appliquée (section Mécanique des fluides) qui se déroula du 8 au 14 Octobre 1973 à Varna en Bulgarie.

L'ensemble a été agréé par le congrès sous le titre : Etudes expérimentales sur le mouvement biscaire plan d'un fluide contenu dans un récipient en rotation (1).

Cette étude comprend :

- (1) Etude des aubes du rotor (partie théorique)
- (2) Le dispositif (Plan et Montage)
- (3) Techniques expérimentales et premiers résultats.

## I — ETUDES DES AUBES

### 1) Description du mouvement :

Dans le rotor des turbo-machines, si nous projetons le mouvement sur un plan parallèle nous obtenons la couronne circulaire fig. 1.

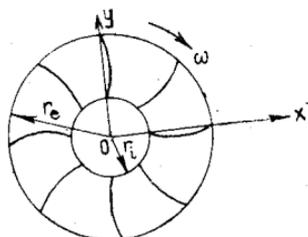


Fig.1

(1) Voir abstract du congrès page 9.

Considérons M une particule fluide située entre deux aubes :  
Définie par

$$\vec{OM} = \vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}, \quad r \in [r_i, r_e]$$

La particule fluide possède une vitesse  $\vec{V}$  :

$$\vec{V} = \vec{W} + \vec{u}$$

$\vec{V}$  : vitesse absolue

$\vec{W}$  : vitesse relative

$\vec{u}$  : vitesse de rotation

Si nous rappelons  $\vec{\omega}$  la vitesse angulaire de rotation alors

$$\vec{u} = \vec{\omega} \wedge \vec{r}$$

La vitesse relative  $\vec{W}$  se décompose en

$$\vec{W} = W_r \vec{1}_r + W_\lambda \vec{1}_\lambda$$

où  $W_r$  = composante radiale avec  $\vec{1}_r$  vecteur unitaire radial

$W_\lambda$  = composante tangentielle avec  $\vec{1}_\lambda$  vecteur unitaire

tangentiel ( $\vec{1}_r$ ,  $\vec{1}_\lambda$ ,  $\vec{k}$ ) sont les vecteurs d'un

système de coordonnées cylindriques.

2) *Etude de la distribution de la longueur  $\lambda$  en fonction de la position radiale  $r$ .*

Les équations des lignes de courant sont données par :

$$\frac{dr}{W_r} = \frac{r d\lambda}{W_\lambda}$$

Ce qui nous donne

$$\frac{dr}{dr\lambda} = \frac{W_r}{W_\lambda}$$

Soit M (Fig. 1) un point d'une aube, en M l'angle  $\beta$  sera formé par la composante radiale de  $\vec{W}$  et  $\vec{W}$  elle même.

Aussi

$$\frac{dr}{r d\lambda} = \frac{W_r}{W_\lambda} = \cotg. \beta$$

ce qui nous donne

$$\boxed{d\lambda = \frac{dr}{r} \operatorname{tg} \beta} \quad (1)$$

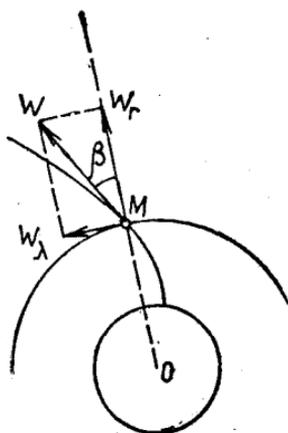


Fig.2

*Hypothèse de linéarité :*

Prenons

$$\operatorname{tg} \beta = ar + b \quad \beta_1 - \text{Angle initial}$$

La pente est donnée par : où

$$a = \frac{\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\beta_1}{r_2 - r_1} \quad \beta_2 - \text{Angle final}$$

Elle est donnée aussi par :

$$a = \frac{\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\beta_1}{r - r_1} \quad \text{pour } \beta \text{ angle quelconque}$$

Aussi nous obtenons

$$\frac{\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\beta_1}{r - r_1} = \frac{\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\beta_1}{r_2 - r_1}$$

$$\operatorname{tg}\beta = (r - r_1) \frac{\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\beta_1}{r_2 - r_1} + \operatorname{tg}\beta_1$$

Ce qui nous donne

$$\boxed{\operatorname{tg}\beta = \frac{\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\beta_1}{r_2 - r_1} (r - r_1) + \operatorname{tg}\beta_1} \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \beta_2 - \operatorname{tg} \beta_1}{r_2 - r_1} \cdot r - \frac{\operatorname{tg} \beta_2 - \operatorname{tg} \beta_1}{r_2 - r_1} \cdot r_1 + \operatorname{tg} \beta_1$$

Posons

$$B = \frac{\operatorname{tg} \beta_2 - \operatorname{tg} \beta_1}{r_1 - r_2}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \beta_1 + Br_1 - Br$$

Posons

$$A = \operatorname{tg} \beta_1 + Br_1$$

(2)

L'équation s'écrit

$$\boxed{\operatorname{tg} \beta = A - Br}$$

Injectons cette égalité dans la relation (1)

$$\text{alors } d\lambda = - \frac{dr}{r} (A - Br)$$

Qui nous définit la distribution de l'angle  $\lambda$  en fonction de la position radiale  $r$ .

Une intégration très simple nous donne

$$\int_0^\lambda dt = \int_{r_1}^r \frac{du}{u} (A - Bu)$$

$$\lambda = A \operatorname{Log} u - Bu \Bigg|_{r_1}^r$$

$$\boxed{\lambda = A \operatorname{Log} \frac{r}{r_1} - B(r - r_1)}$$

Avec pour conditions

$$\beta_1 = 30^\circ, \quad \beta_2 = 20^\circ, \quad r_1 = 35 \text{ mm}, \quad r_2 = 150 \text{ mm}$$

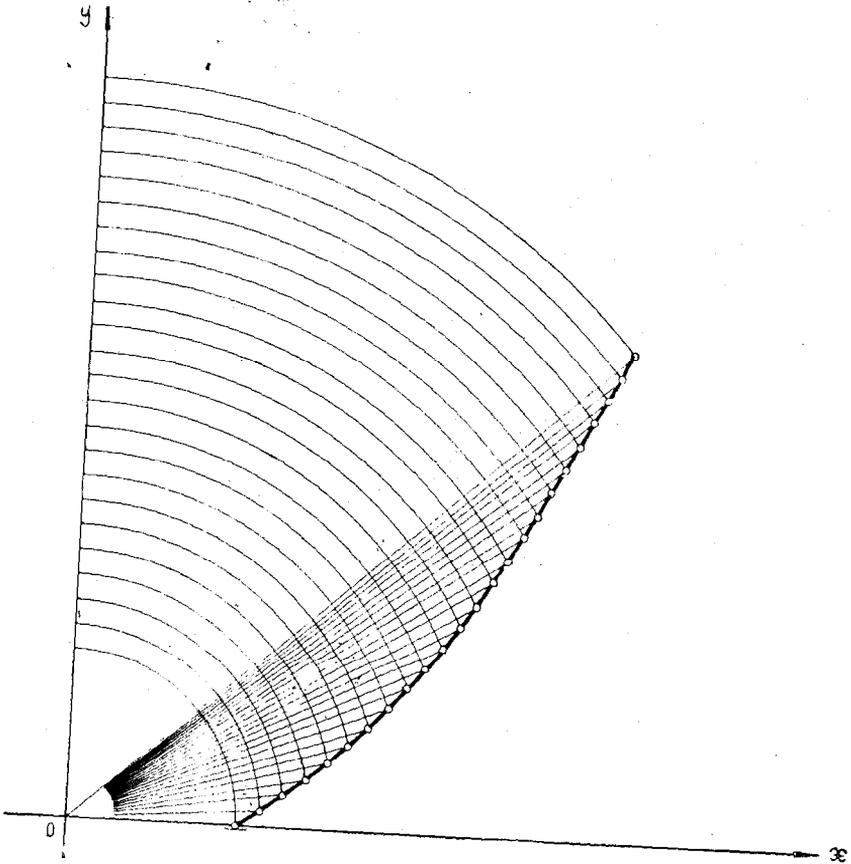
3) *Grappe des Aubes* :

Nous allons donner à  $r$  un certain nombre de valeurs. Pour chaque valeur de  $r$  nous obtenons une valeur de  $\lambda$  et



1	2	3	4		5	6	7	8	9
$r_1$	$\operatorname{tg} \beta = A - Br$	$\frac{r}{r_1}$	$\operatorname{Log} \frac{r}{r_1}$		$A \operatorname{Log} \frac{r}{r_1}$	$r - r_1$	$B(r - r_1) \times 10^{-3}$	$(5) - (7) \lambda \text{ rad.}$	$\lambda^\circ$
35	0,58	1	0	0	0	0	0	0	0
40	0,570	1,14	0,056	0,128	0,0826	5	9,4	0,053	3° 6'
45	0,561	1,128	0,108	0,248	0,16	10	18,8	1,142	8° 9'
50	0,551	1,43	0,155	0,357	0,23	15	28,2	0,202	11° 36'
55	0,546	1,57	0,195	0,449	0,29	20	37,6	0,253	14° 30'
60	0,533	1,71	0,232	0,534	0,345	25	47	0,298	17° 12'
65	0,524	1,86	0,268	0,616	0,398	30	56,4	0,332	19°
70	0,514	2	0,301	0,692	0,447	35	65,8	0,382	21° 48'
75	0,505	2,14	0,329	0,756	0,489	40	75,2	0,414	23° 48'
80	0,496	2,28	0,357	0,822	0,531	45	84,6	0,447	25° 36'
85	0,486	2,43	0,384	0,884	0,670	50	94	0,476	27° 18'
90	0,477	2,57	0,409	0,940	0,606	55	103,4	0,503	28° 48'
95	0,468	2,71	0,432	0,994	0,634	60	112,8	0,521	29° 54'

1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	0,458	2,86	0,455 1,05	0,678	65	122	0,556	31° 54'
105	0,449	3	0,476 1,10	0,712	70	131,5	0,581	33° 18'
110	0,440	3,14	0,496 1,15	0,744	75	141	0,60	34° 24'
115	0,430	3,28	0,515 1,185	0,765	80	150,5	0,615	35° 18'
120	0,420	3,43	0,534 1,23	0,795	85	159,9	0,635	36° 24'
125	0,411	3,57	0,551 1,27	0,82	90	169,3	0,651	37° 24'
130	0,402	3,71	0,568 1,309	0,845	95	178,7	0,666	38° 12'
135	0,392	3,86	0,587 1,350	0,872	100	188	0,684	39° 12'
140	0,393	4	0,602 1,385	0,896		197,4	0,699	40° 12'
145	0,375	4,14	0,616 1,420	0,916	110	206,8	0,71	40° 48'
150	0,365	4,28	0,630 1,450	0,937	115	216,2	0,721	41° 24'



Forme des aubes

## II — ETUDE TECHNIQUE DU DISPOSITIF

### 1) Principe général :

Il s'agit de déterminer les lignes de courant qui se développent entre deux aubes dans un récipient clos.

Nous prenons deux types d'aubes :

- Des aubes radiales (figure 1)
- Des aubes dont la courbe a été obtenue théoriquement et donnée par

$$\lambda = A \operatorname{Log} \frac{r}{r_1} - B (r - r_1)$$

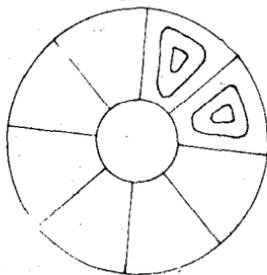


Fig. 3

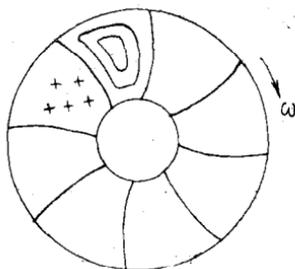


Fig. 4

2) *But* :

Après avoir déterminé expérimentalement les lignes de courant nous devons :

- Déterminer l'influence de la courbure des aubes : pour cela il faut comparer les résultats expérimentaux obtenus avec les aubes radiales et les aubes d'équation.

$$\lambda = A \operatorname{Log} \frac{r}{r_1} - B (r - r_1)$$

- Comparer les lignes de courant expérimentales avec les courbes établies théoriquement.

Nous avons défini une famille de courbes logarithmiques.

$$\Psi (r, \lambda) = k$$

Où  $k$  est le paramètre.

3) *Montage* :

- Les récipients clos seront faits en plexiglass, les aubes aussi. Les récipients doivent avoir un couvercle hermétique amovible, très facilement enlevable.

Chaque récipient possède huit compartiments séparés par huit aubes.

- L'axe du rotor est terminé par un support en plexiglass qui permet de poser et fixer les récipients.

- Un moteur de 3.000 tours par minute fait tourner tout l'ensemble. On peut à l'aide d'un rhéostat fournir plusieurs vitesses de rotations du moteur.

- Un système de poulies en plexiglass permet d'obtenir plusieurs vitesses. Afin de ne pas gêner la prise de photos un axe intermédiaire portant l'ensemble des poulies a été introduit, il permet de réduire de 5, 10, 15 fois la vitesse donnée par le moteur.

- Un appareil de photo fixé au bas de l'axe du rotor (pour pouvoir déclencher facilement l'appareil) permet de prendre des photos des récipients clos en mouvement relatif.

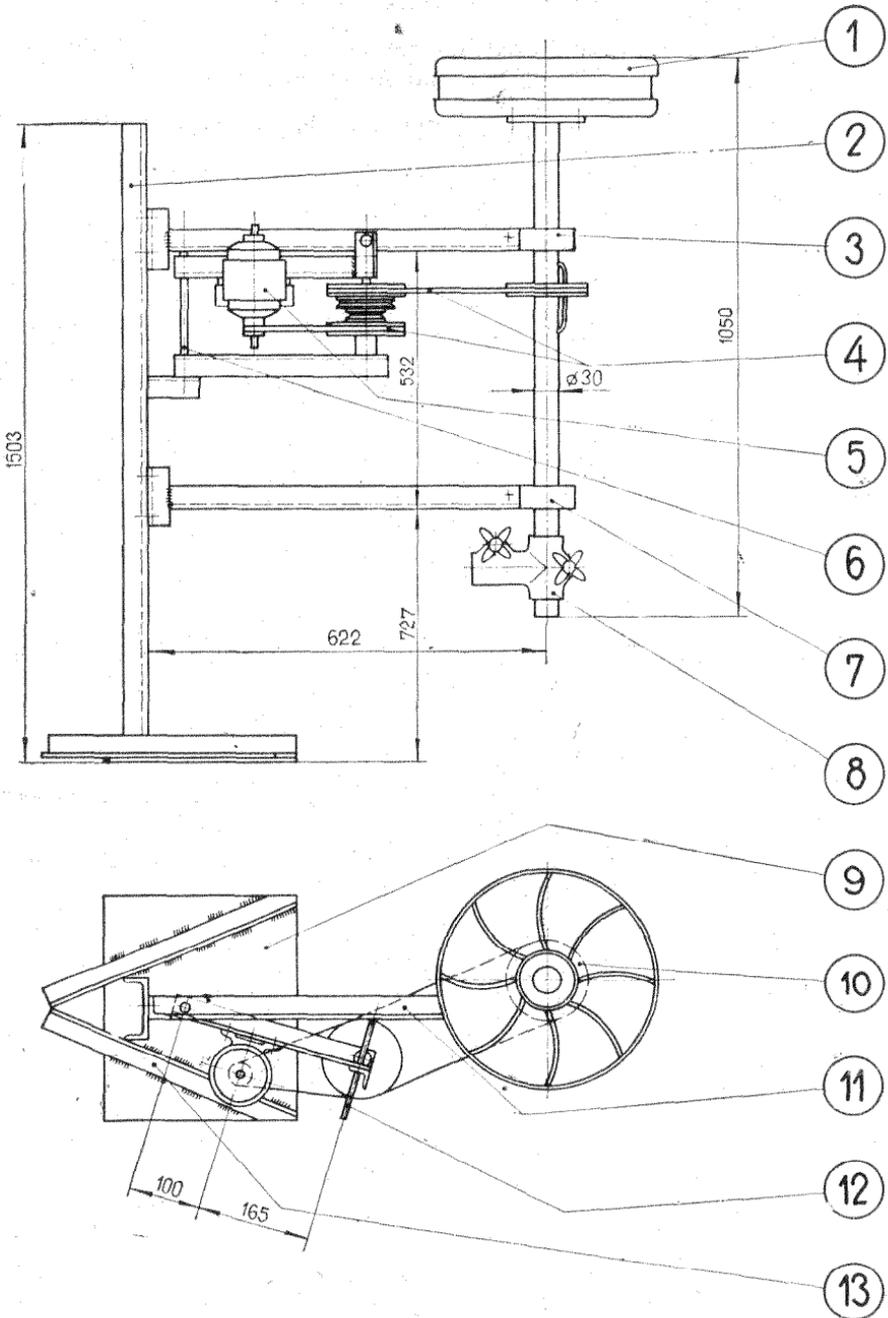
- Un ensemble de cornières :

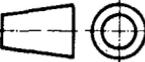
- Soudées d'un côté à un système « châssis » fixe de l'autre côté, soudées à des roulements, qui permettent à l'axe du rotor de tourner tout en diminuant au maximum les frottements et le battement.

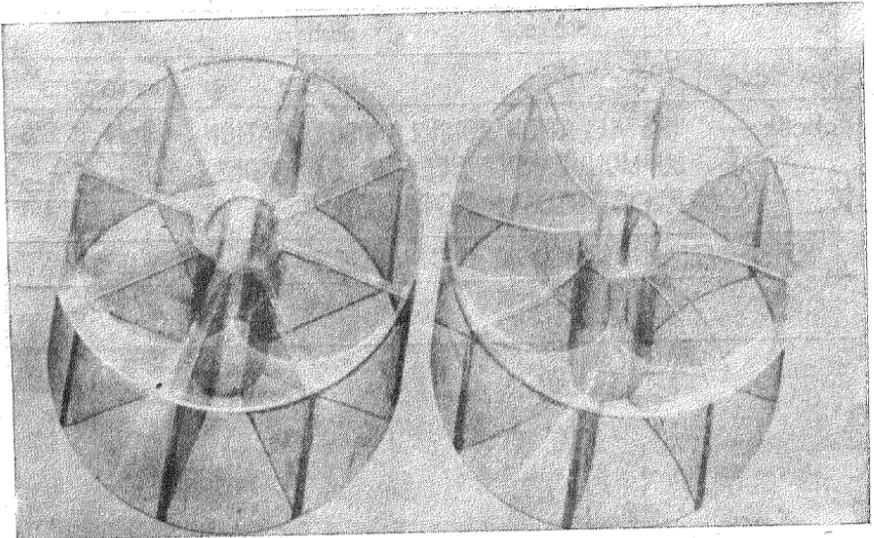
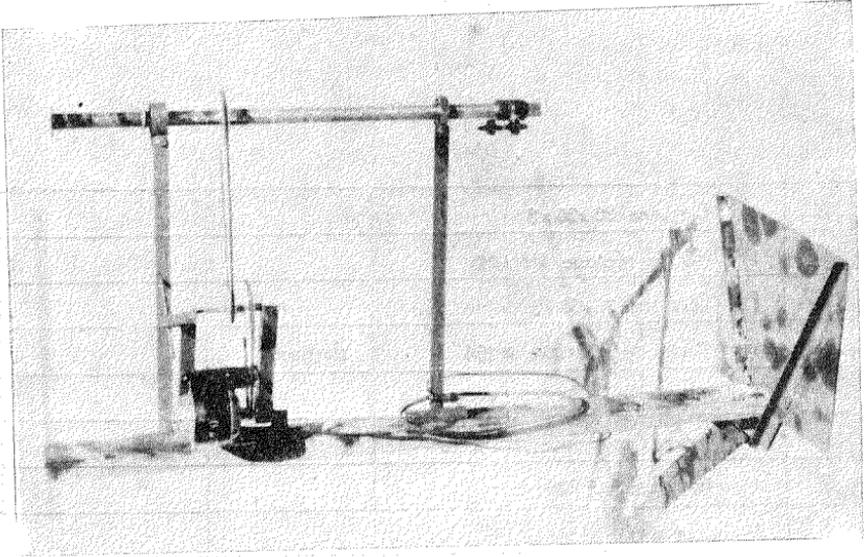
- Un projecteur de lumière permet d'illuminer les récipients dans différentes positions (de haut, de face...).

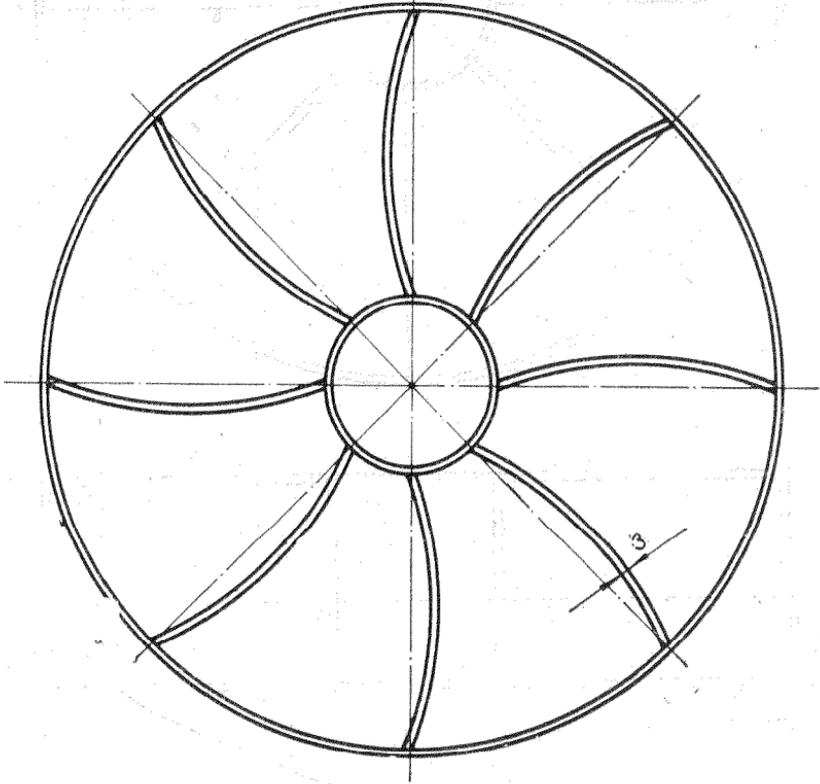
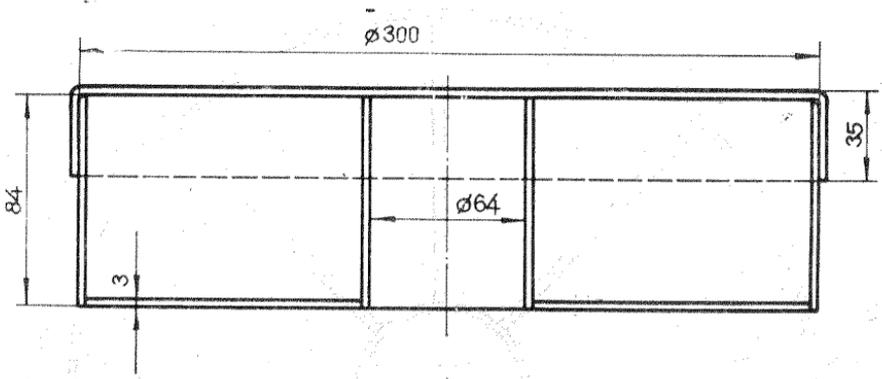
Nous avons réalisé tout le montage au département du Génie Rural de l'Institut National Agronomique.

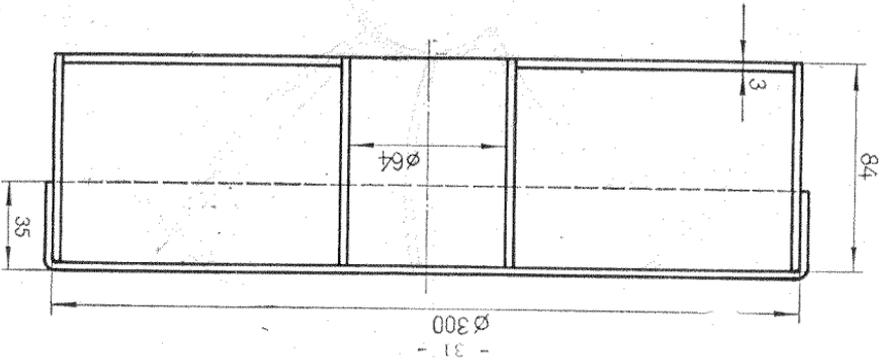
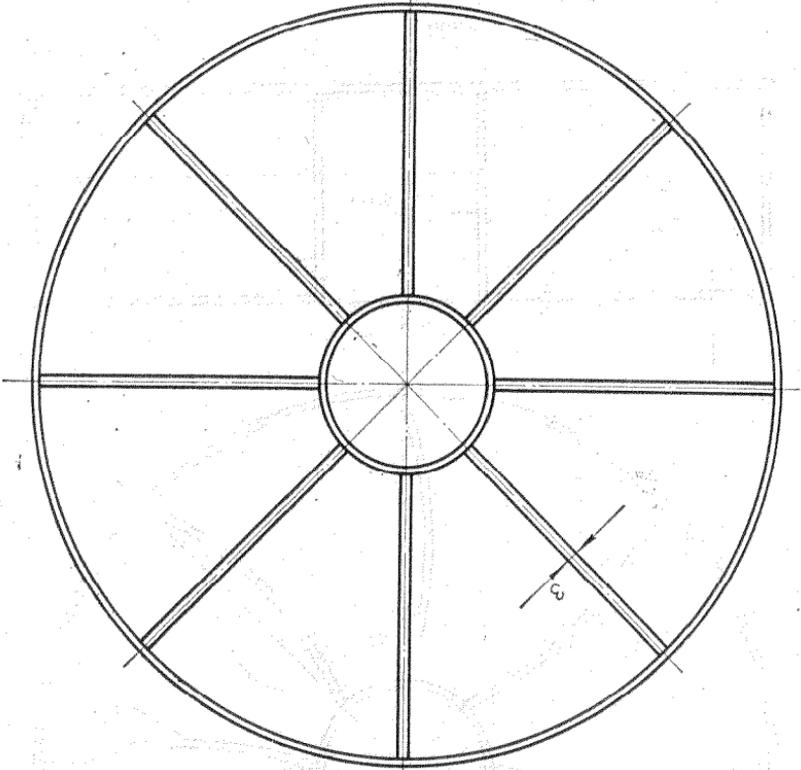
Les figures suivantes nous permettent de mieux schématiser le montage.



13	2	Cornière 30 x 30 x 3		
12	1	Vis de réglage M8 x 210		
11	2	Cornière 30 x 30 x 3		
10	1	Poulie de courroie $\varnothing$ 104	plastique	
9	1	Plaque support 400 x 500 x 3		
8	1	Dispositif pour l'appareil photo		
7	1	Roulement SKF 206		
6	1	Axe $\varnothing$ 10		
5	1	Electromoteur		
4	1	Transmission par poulie et courroie	plastique	
3	1	Roulement SKF 206		
2	1	Profilé en U		
1	1	Cylindre $\varnothing$ 300 x 90	plastique	
Rp.	Nb.	Désignation	Matière	Observations
Echelle: -		<b>INSTALLATION POUR LA VISUALISATION DU MOUVEMENT RELATIF DANS DES RECIPIENTS EN ROTATION.</b>		Date: 25-06-73
				Nom: D. Kies
INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE DÉPARTEMENT DU GÉNIE RURAL ALGER				







### III — TECHNIQUES EXPERIMENTALES ET PREMIERS RESULTATS.

La visualisation des lignes de courant sera réalisée au moyen :

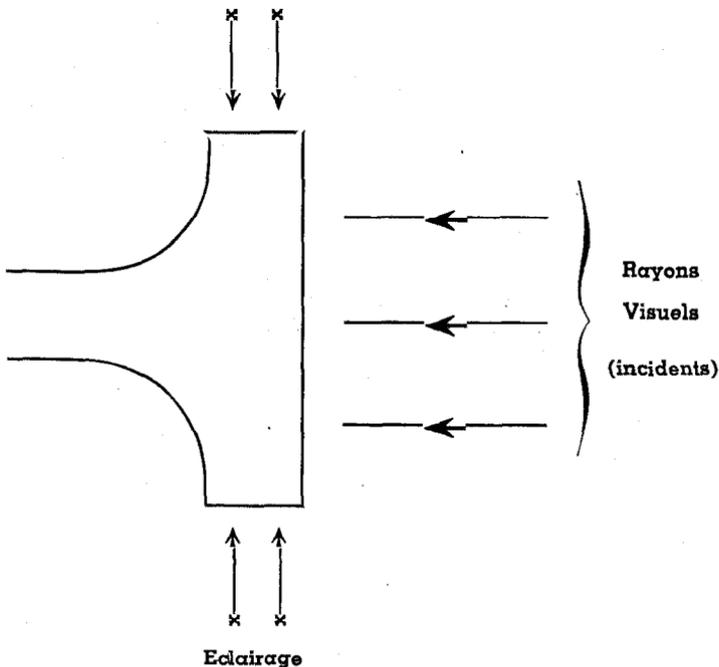
- de filets fluides colorés
- de poudres telles que poudre d'aluminium, le lyropodium, il suffit qu'un certain contraste existe afin d'imprégner le papier photo.

Certaines précautions doivent être prises :

- L'éclairage doit être réalisé de telle manière que les rayons arrivent perpendiculairement aux faisceaux de rayons dans l'appareil de photo (effet de TYNDALL).

Pour cela, il est possible d'utiliser en cas de besoin un morceau de verre « mat » placé entre le projecteur et le récipient.

Il faut faire plusieurs essais : envoyer la lumière « de haut » et « de face ».



• La prise de photos doit durer un temps tel, qu'il puisse permettre aux grains d'aluminium de bien schématiser les lignes de courant.

Les photos doivent être prises en des moments différents :

— Essayer dès que le mouvement commence : le passage

de l'état  $\omega = 0$  à  $\frac{d\omega}{dt} > 0$ . C'est-à-dire avant que le régime du moteur ne soit établi ( $\omega = \text{constante}$ )

— Prendre aussi des photos quand le régime du moteur est établi ( $\omega = \text{constante}$ ).

— Refaire le même travail à des vitesses différentes. Le système des poulies et le rhéostat nous permettent d'obtenir au moins 6 vitesses différentes.

Appelons  $\omega$  vitesse du moteur

$\omega t$  vitesse du rotor

Avec le rhéostat nous pouvons par exemple avoir 2 vitesses

$$\omega = 3000 \text{ t/mn}$$

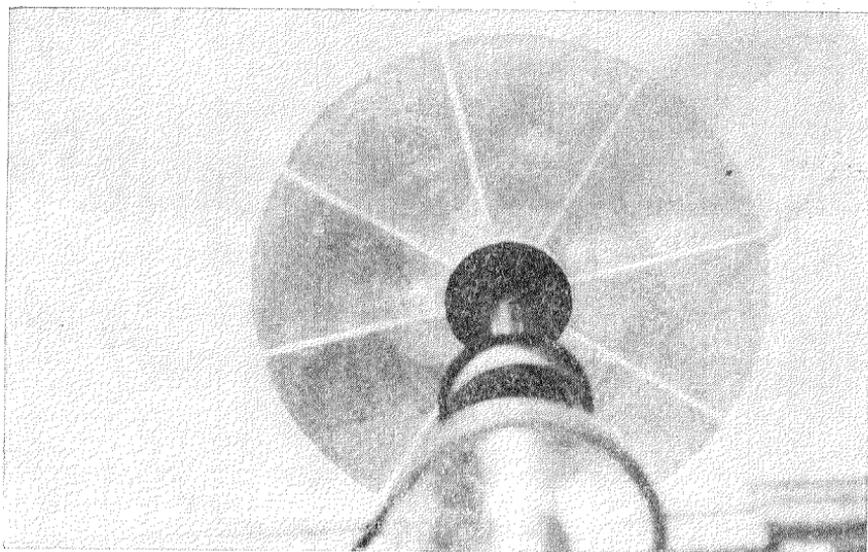
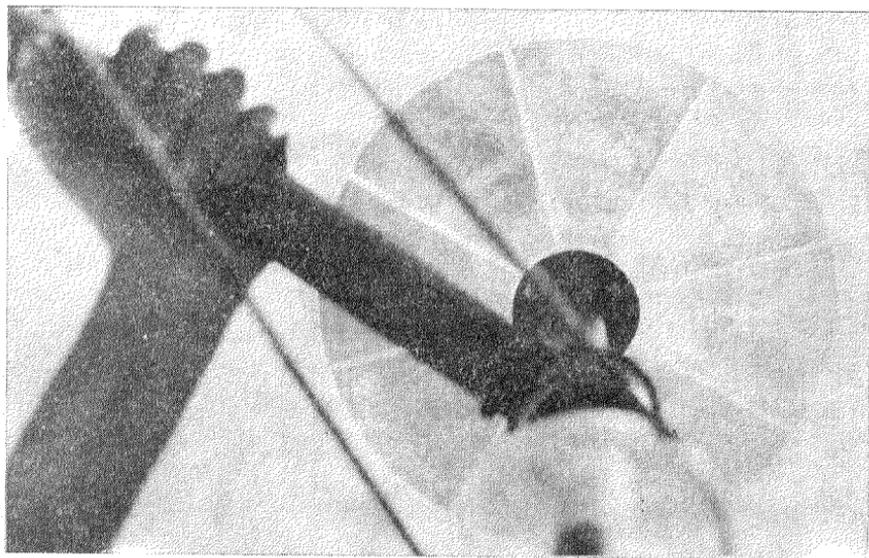
$$\omega = 2000 \text{ t/mn}$$

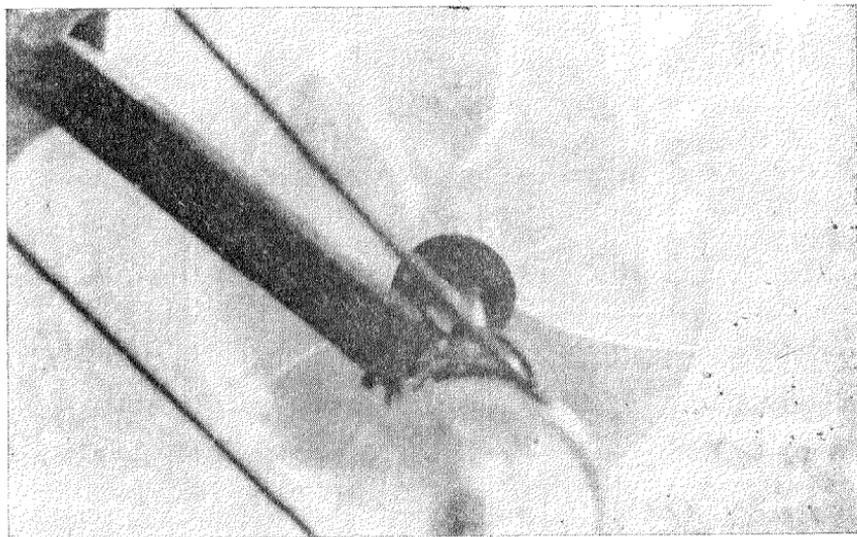
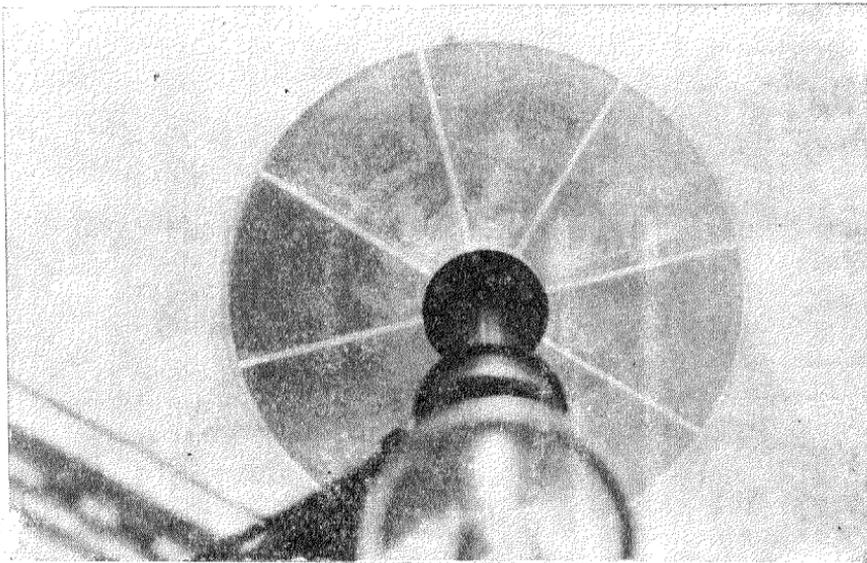
et

Et pour chaque valeur de  $\omega$  nous pouvons avoir 3 valeurs de  $\omega t$

$\omega$	$\omega t_1$	$\omega t_2$	$\omega t_3$
3000	600	300	200
1800	360	180	120

V. — Premières photos





## **BIBLIOGRAPHIE**

- 1 — ANGOT, Compléments de mathématiques, Coll. Techn. et Sci. du C.N.E.T., 1957, Paris.
- 2 — T. OROVEANU, Mécanique des fluides visqueux, Ed. Acad. R.S.R. Bucarest, 1967.
- 3 — C. JACOB, Introduction mathématique à la mécanique des fluides Ed. Acad. R.S.R. et Gauthier-Villars, 1959.
- 4 — L.G. LOITSYANSKI, Méchanics of liquids and Gases. Perganon press 1966.
- 5 — D. TASCA, Etude du mouvement relatif dans des récipients en rotation (Comm à la session scientifique de l'I.P. Bucarest 1960)
- 6 — D. TASCA, Introduction à l'étude des mouvements biscaïres (Manuscrit).
- 7 — H. VILLAT, Théorie des tourbillons, Gauthier-Villars.
- 8 — M. VAVRA, Thermo dynamics, Flow in Turbomachinery.