

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Alex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEF

ET

Mécanique

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**JET DE FIN D'ETUDES**

**S U J E T**

**BANC D'ESSAI  
DE PORTANCE DE  
PROFILS AERODYNAMIQUES**

Propos :

Mr. V. ER

Etudié par :

N. BENTOUNES

Dirigé par :

Mr. WERN



# DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Tu as assisté à la genèse, je te dédie  
le fruit. Puisse ma reconnaissance et  
mon amour t'atteindre au firmament.

- A ma mère.
- A mes frères et sœurs.
- A mes oncles, et toute ma famille
- A ceux que j'aime.

## Remerciements ~

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Je tiens à remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Je remercie la personne qui m'a paternellement suivi et moralement soutenu

à Monsieur ANDREZET WERNER, mon promoteur, j'adresse mes vifs remerciements pour son aide et ses judicieux conseils.

Je n'oublierai pas de remercier pour son aide Monsieur LOUALI; et aussi tout le personnel du département mécanique

Nour-El-Islam BENTOUNES.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

وزارة التعليم العالي

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
Ecole Nationale Polytechnique

Departement ..... GENIE MECANIQUE ...  
Moteur .. Mr. WERNER ..  
Chef Ingenieur: .. BENTOUNES .. Nour-El-Islam.

فرع : الهندسة الميكانيكية  
الموجه : السيد فير فير  
المعلم : الدكتور بن تونيس نور الإسلام

الموضوع  
المختار

يهدف هذا المشروع الى ابتكار واجاز منفذة تجريب من شأنها ان تسمح بقياس قوة الرفع من اجل مختلف الجانبيات الديناميكية الهوائية وذلك بدلالة زاوية الاسقاط ،  
ان كون منفذة التجريب هذه موجهة لانجاز اعمال تطبيقية يجعل الطابع التربوي يخلب عن طريق الاستخدام العكس لمختلف المبادئ المكتسبة نظريا في مجال ميكانيك الموائع والديناميكا الهوائية ،

Sujet: Le sujet traité consiste en la conception et la réalisation d'un banc .....

Résumé  
d'essai permettant de mesurer et comparer la portance pour différents profils aérodynamiques en fonction de l'angle d'incidence.  
Etant prévu comme T.P. le côté didactique prime par l'utilisation pratique de différentes notions théoriquement acquises en mécanique des fluides et aéronautique.

Subject: This work consists in conception and réalisation of a test bench which

Abstract: permits to measure and to compare the lift of different aerodynamic profiles as function of incidence angle.  
The student will meet in this experimental work the notions known to them theoretically from the lecture of fluid mechanics and aerodynamics.

# ~ SOMMAIRE ~

	Page:
1. PREAMBULE.	1
2. RAPPEL D'AERODYNAMIQUE	3
2.1. Historique	4
2.2. DEFINITIONS	5
2.2.1. Trainée Aerodynamique	6
2.2.2. Règles de la Similitude	7
2.2.3. Portance	8
2.2.4. Induction Aerodynamique	12
3. BUT DU PROJET	13
4. CHOIX DU TYPE ET ENDROIT DE L'INSTALLATION	16
4.1. NOUVELLE SOUFFLERIE	
4.2. GRANDE SOUFFLERIE	
4.3. VENTILATEUR DU BANC D'ESSAI DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION	17
5. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	21
5.1. DESCRIPTION ET HISTORIQUE DU BANC D'ESSAI DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION	25
5.2. MESURES PRELIMINAIRES	29
5.3. VUE D'ENSEMBLE SUR LE BANC D'ESSAI	25
5.4. DESCRIPTION DETAILLEE DU BANC D'ESSAI	25
5.4.1. La Gaine	
5.4.2. La Balance Aerodynamique	28
5.4.3. Le Support	
6. TRAVAUX EFFECTUES ET EXECUTION	30
6.1. LA GAINE	
6.1.1. Le Cylindre	31
6.1.2. Le Convergent	32
6.1.3. La Bride	
6.1.4. Le Trou Oblong (lumière)	34
6.2. LA BALANCE	
6.2.1. Le Systeme de réglage de L'Angle d'Incidence et de Blocage de L'Aile.	36
6.2.2. Les Ailes	
6.3. LE SUPPORT	

7. MESURE DE VERIFICATION ET CORRECTION DE STRUCTURE	38
7.1. RIGIDITE DE LA BALANCE	
7.2. INSTABILITE DU NIVEAU.	39
7.3. ETALONNAGE DE LA BALANCE	40
7.4. MISE A ZERO DE L'AIGUILLE	42
7.5. MISE A ZERO DE LA BALANCE	4.4
7.6. NON UNIFORMITE DE LA VITESSE	45
7.6.1. <i>L'Utilisation du Tube de Pitot</i>	
7.6.2. <i>L'Utilisation de la prise de pression statique</i>	48
7.6.3. <i>Répartition de la vitesse</i>	49
7.7. ETANCHEITE DE LA GAINÉ	50
7.8. ELIMINATION DU JEU ENTRE PORTE AILE ET MANCHON	51
7.9. TRACE DES COURBES DE $C_z(\alpha)$	52
7.9.1. <i>Plaque plane</i>	53
7.9.2. <i>Plaque Courbée</i>	54
7.9.3. <i>Plaque plane Avec Bandes Latérales</i>	
7.9.4. <i>Plaque plane Avec Bandes Latérales et Etanchéité</i>	55
8. MODE DE RÉALISATION DU T.P.	59
8.1. ETALONNAGE DE LA BALANCE	
8.2. PRISE DE MESURE	
8.3. EXPLOITATION DES RESULTATS	60
9. CONCLUSION	62

## 1. PREAMBULE

Voler... un fait que l'homme a rencontré dans la nature et qui l'a étonné durant des siècles, voir des millénaires; Comment se disait-il pouvaient évoluer les oiseaux dans les cieux sans aucun support ni attache ?

Sans comprendre le phénomène, il a essayé d'imiter ces créatures. Il y a réussi tant bien que mal, jusqu'à l'évolution de la mécanique des fluides et plus particulièrement l'aérodynamique, qui lui ont permis non seulement de comprendre et donner une explication aux divers phénomènes aérodynamiques, mais mieux encore, de maîtriser la mécanique du vol.

Les aéronefs actuels ne finissent pas de s'améliorer du point de vue aérodynamique - entre autre -, et la rupture du mur du son n'est plus qu'un lointain souvenir pour nos parents; et des notions telles que portance, trainé, profil aérodynamique sont entrées dans les mœurs.

Tout constructeur d'engin évoluant à une vitesse appréciable n'ignore plus les effets des écoulements qui selon le profil de son engin, auront tendance à le plaquer, le porter ou le dériver; ou encore lui faire subir un rochis, tangage ou un lacet.



Pour cela le profil doit être parfaitement étudié.  
 Les techniques de simulation assistée par ordinateur  
 ont résolu énormément de difficultés auxquelles la  
 théorie et la résolution analytique se sont butées,  
 ainsi que la simulation sur modèles réduits, qui  
 en se basant sur les lois de la similitude, permet  
 sur un banc d'essai, d'étudier en dimensions réduites  
 le profil et entre autre mesurer les forces aérodynamiques  
 s'exerçant sur lui.

Nous nous sommes penché sur l'une d'elles :  
 LA PORTANCE, et nous avons étudié, et réalisé un  
 banc d'essai appelé :

BANC D'ESSAI DE PORTANCE DE PROFILS  
 AERODYNAMIQUES

## 2. RAPPELS D'AERODYNAMIQUE

### 21. HISTORIQUE

Au début du XVIII<sup>e</sup> siècle BERNOULLI et EULER ont lancé les bases de l'aérodynamique par leurs travaux sur les écoulements et la cinétique des gaz.

A la fin du siècle suivant, l'introduction des Nombres sans dimensions de REYNOLDS et MACH, et les travaux de HUGONOT relatifs aux grandes vitesses furent un grand pas dans le domaine.

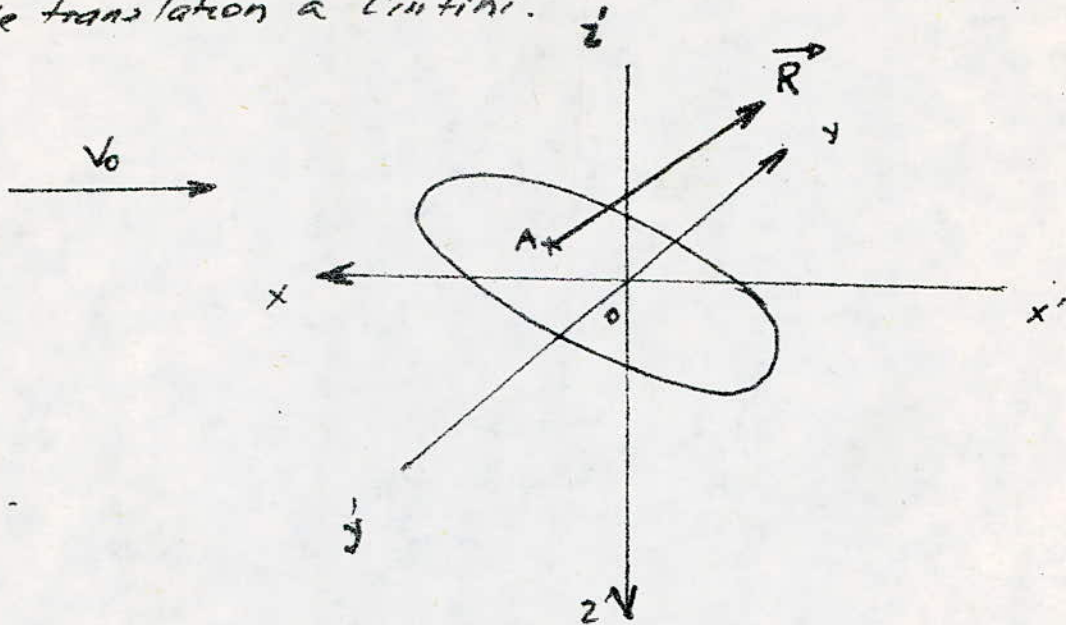
On s'intéressa par la suite aux profils; ainsi au début de ce siècle KUTTA et JOUKOVSKI établirent des théories sur les profils d'ailes; et l'édification par ce dernier de la théorie en mouvement plan dite théorie de l'aile d'envergure infinie ou allongement infini est considérée comme l'introduction à l'aérodynamique moderne.

Les théories de PRANDTL sur l'aile d'envergure limitée complétèrent celles de JOUKOVSKI et furent par la suite une référence à de nombreuses investigations pratiques et théoriques.

### 22. DEFINITIONS.

L'aérodynamique est l'étude des phénomènes qui apparaissent lorsqu'un solide est en mouvement par rapport à un gaz, l'air en général. Le solide peut se déplacer dans le fluide immobile (avion en vol), ou peut être fixe dans le fluide en mouvement (super-structure exposée au vent, maquette d'avion en soufflerie). Nous prendrons un trièdre orthonormé

lié au solide, et nous désignerons par  $\vec{V}_0$  la vitesse de translation à l'infini.



L'ensemble des forces exercées par le fluide sur le corps constitue un torseur, de résultante  $\vec{R}$  et de moment (par rapport à un point)  $\vec{M}$ .

### 221.- Trainée Aérodynamique:

Soit  $R_x$  la mesure algébrique de la projection de  $\vec{R}$  sur l'axe  $xx'$  lié au solide,  $R_x$  est la trainée aérodynamique

$$R_x = -\frac{1}{2} \rho_0 V_0^2 S C_x$$

$C_x$  est un coefficient sans dimension, appelé coefficient de trainée.  $S$  est l'aire d'une surface choisie arbitrairement, appelée surface de référence et qui est précisée dans chaque cas.  $\rho_0$  la densité du fluide et  $V_0$  sa vitesse à l'infini

## 22.2. Règles de Similitude :

Les projets de machine nouvelles, qui ne peuvent s'appuyer sur des résultats déjà acquis, nécessitent des essais sur modèles réduits. Les lois de la similitude permettent de calculer les caractéristiques de la machine réelle à partir de celle de la maquette.

Le théorème de Rayleigh régit les conditions de similitude et fait apparaître des nombres qui doivent être les mêmes pour deux écoulements semblables. Parmi ceux-ci, citons :

22.2.1. Nombre de REYNOLDS  
(fluides non pesants, incompressibles et visqueux)

$$R_e = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

22.2.2. Nombre de FROUDÉ  
(fluides pesants, incompressibles et non visqueux)

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

22.2.3. Nombre de PRANDTL  
(transmission de chaleur dans les fluides)

$$P_r = \frac{\mu C_p}{\lambda}$$

## 22.2.4. Nombre de MACH

$$M = \frac{V}{a}$$

## 22.3. PORTANCE.

La mesure algébrique de la projection de  $\vec{R}$  sur l'axe  $z'z'$  est appelée sustentation ou portance.

$$R_z = -\frac{1}{2} \rho_0 v_0^2 S C_z$$

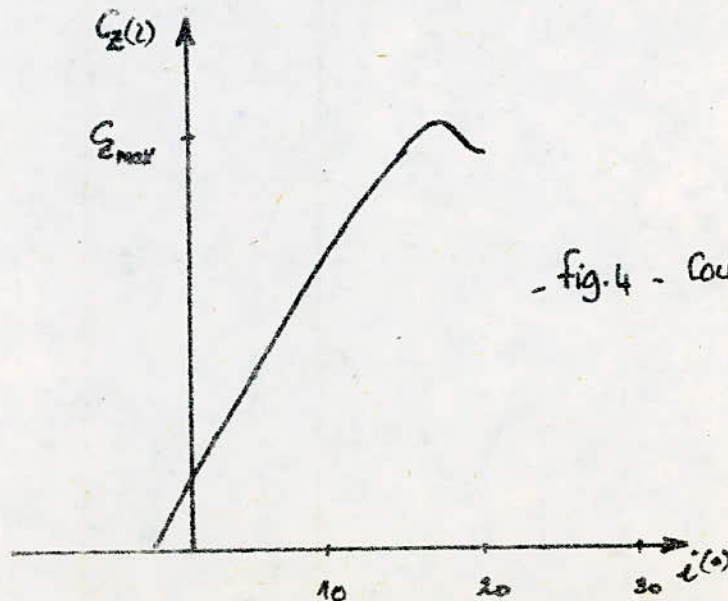
De même que pour la traînée,  $C_z$  est le coefficient sans dimension de Portance.

$$C_z = -\frac{2}{\rho_0 v_0^2 S} \cdot R_z$$

Comme  $R_z$  est une fonction de l'angle d'incidence  $i$  - angle formé par la direction de l'écoulement et la corde du profil -  $C_z$  sera une fonction de  $i$ .

$C_z(i)$  - la courbe du coefficient de portance en fonction de l'angle d'incidence est une des caractéristiques essentielles du profil.

Retrouver cette courbe (- fig. 4 -) sera l'objet d'une manipulation proposée sur le banc d'essai.



- fig. 4 - Courbe de  $C_z = f(i)$

Pour tous les profils, l'évolution de  $C_z = f(i)$  présente une partie rectiligne croissante de la forme d'une droite qui ne passe par l'origine que pour les profils symétriques, donc pour cette première partie :

$$C_z(i) = \alpha i + \beta$$

$\beta = 0$  pour les profils symétriques.

Cette régularité de la croissance est subitement modifiée par un tassement de la courbe, et l'on a une chute quasi instantanée après que  $C_z$  ait atteint sa valeur maximale  $C_{z \max}$ . Cette valeur est d'une grande importance, en effet la vitesse minimale de vol pour laquelle le corps reste en sustentation est déterminée par  $C_{z \max}$  - Coefficient de portance max.)

## 224.- INDUCTION AÉRODYNAMIQUE.

L'écoulement crée une surpression sur l'intrados et une dépression sur l'extrados ce qui est à l'origine de la portance.



Or l'existence même de cette différence de pression peut perturber l'écoulement ; En effet au lieu de suivre l'écoulement dans la direction et sens de  $V_0$ , il se produit un écoulement latéral qui diminuera la portance.

Nous nous intéresserons à ce phénomène lors d'une manipulation que nous proposerons ultérieurement.

### 3. BUT DU PROJET

Le principal but de ce projet est l'enrichissement du module LMB d'un T.P. sur les phénomènes aérodynamiques, qui permettra aux étudiants de voir sous un aspect pratique la confirmation du cours théorique; car que ce soit pour une turbine, un avion ou une pale; La Portance, cette force aérodynamique qui maintient l'avion dans l'air, fait tourner turbine et pale est de même nature. Nous essaierons de la mettre en valeur et faire "toucher du doigt" cette force qui n'existe que s'il y a l'écoulement autour d'un profil.

Comme pour des raisons évidentes, le profil ne pourra pas se déplacer dans le milieu, ce sera à l'air de s'écouler autour de lui, créant par ce mouvement relatif, une portance que nous mesurons à l'aide d'une balance aérodynamique.

Cette balance a été réalisée par Mr DJOUANI suite à une étude de Mr. DIFFALLAH et améliorée par Mr. NOURA.

Elle est placée sur la grande soufflerie du laboratoire d'énergétique, et présentée dans une version - (fig.1) - qui a des défauts l'ayant rendue inutilisable comme banc d'essai Pour T.P. pour cela nous citerons

essentiellement :

- Sa conception ne permettant pas un montage et démontage facile et rapide - du banc d'essai - ce dont a résulté une occupation prolongée de la soufflerie l'empêchant ainsi de servir à d'autres usages.
- L'existence d'une seule forme de profil à étudier limitant de beaucoup le champ d'exploitation du banc d'essai.
- La non rigidité de son support vis-à-vis de la soufflerie, source d'incertitude. En effet la position du banc, par rapport à la soufflerie n'est pas fixe.
- Il n'est prévu aucun système d'ajustement de l'axe de l'aile dans la fente de la soufflerie ce qui entraîne une erreur supplémentaire dans la mesure, due aux frottements de l'axe sur la paroi.
- Le système de mesure de l'angle d'incidence et de blocage de l'aile sont inadéquats et lents à manipuler



En plus de cela le banc d'essai a une présentation inesthétique et peu fonctionnelle.

Nous avons tenus de tous ces facteurs dans la conception et lors de la réalisation de notre banc d'essai.

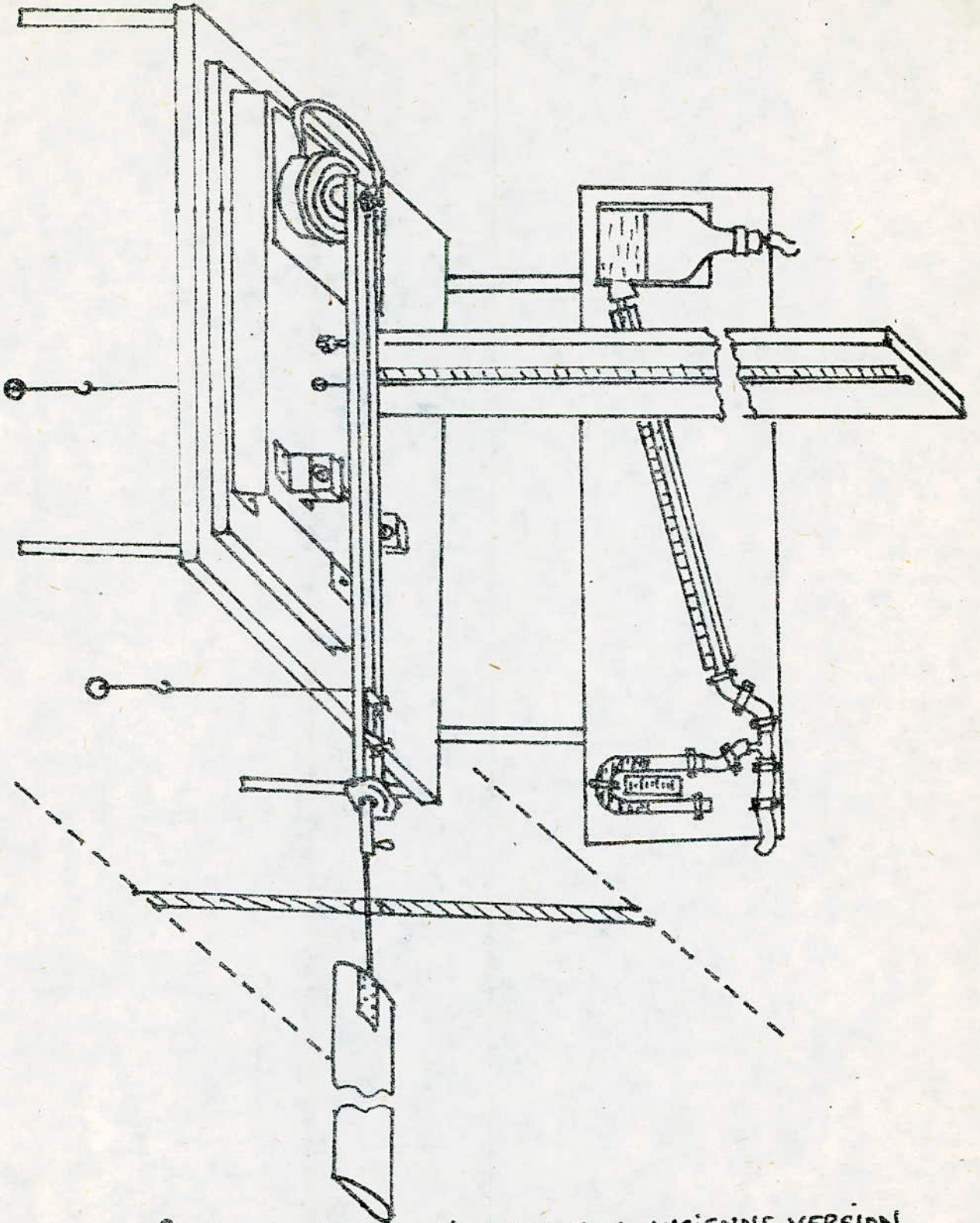


fig. 1 BANC D'ESSAI DANS SON ANCIENNE VERSION

#### 4. CHOIX DU TYPE & ENDROIT DE L'INSTALLATION :

Nous avons vu que sous son ancienne version, le banc d'essai était largement Perfectible, ce qui nous a poussé à envisager toutes les possibilités et choisir une nouvelle version du banc ainsi que son emplacement dans un souci de le rendre réellement fonctionnel, avec le maximum d'apport didactique.

Trois solutions se sont présentées à nous :

##### 4.1. NOUVELLE SOUFFLERIE :

Cette solution consiste à réaliser une Nouvelle Soufflerie de la taille de notre banc d'essai, ce qui donnerait l'avantage de libérer la grande soufflerie et supprimer les défauts de l'ancien banc d'essai par la rénovation totale de celui-ci.

Cette solution très intéressante car elle rend indépendant le banc d'essai à été finalement écartée, car elle nécessite l'achat de différents équipements notamment un nouveau ventilateur.

##### 4.2. GRANDE SOUFFLERIE :

La deuxième solution, déjà utilisée, qui préconise l'utilisation de la grande soufflerie en changeant seulement le système de montage et démontage afin de le rendre rapide, présentait un inconvénient majeur :

La vitesse d'écoulement de l'air qui avoisine les 74 m/s est insuffisante; un rétrécissement de la Section de passage accélérerait certainement l'écoulement, mais nous pénaliserait par un espace trop restreint pour une évolution correcte des profils.

Finalement cette solution a été délaissée.

#### 4.3 - VENTILATEUR DU BANC D'ESSAI DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION

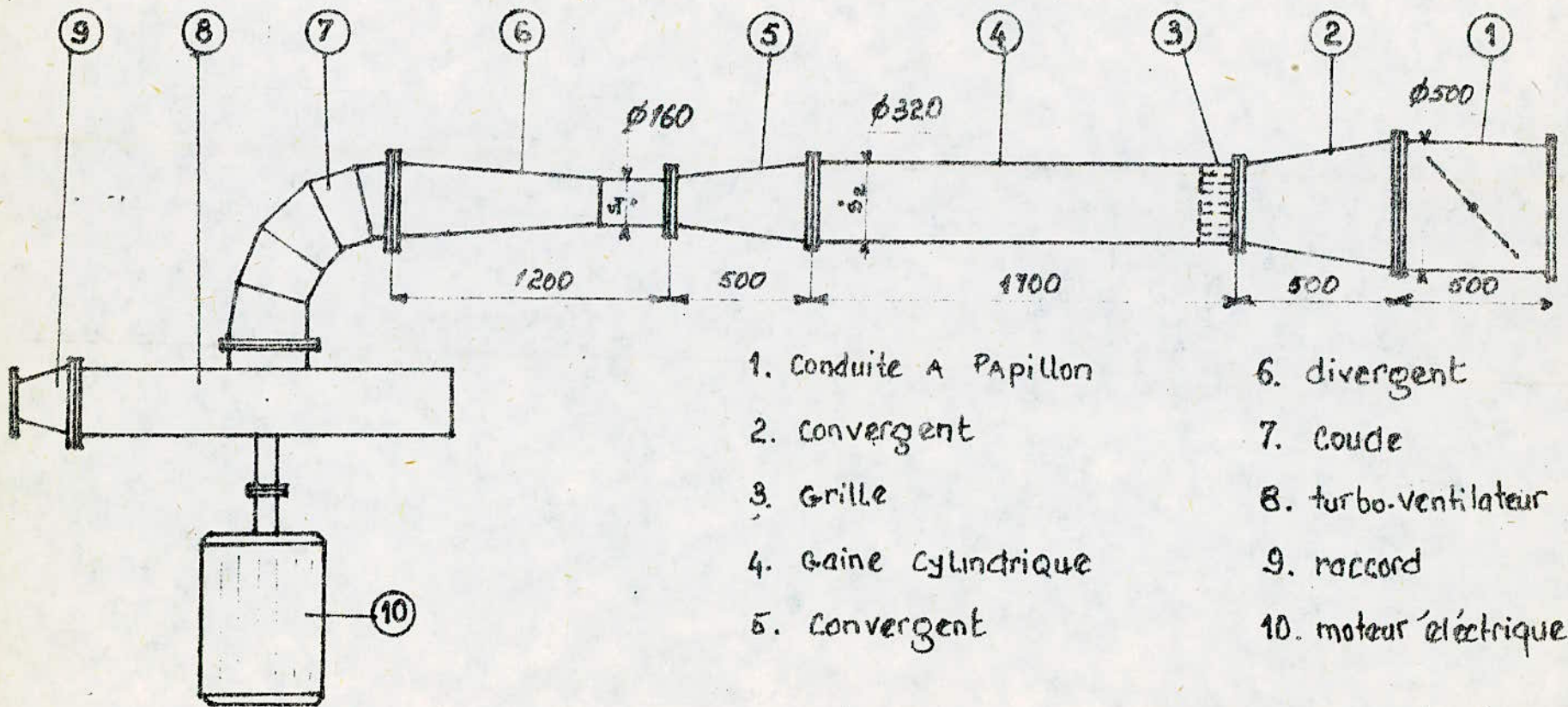
Dans la dernière solution, - celle qui nous a semblé la plus adéquate et que nous avons adoptée par la suite - nous utiliserons le ventilateur centrifuge du banc d'essai de la chambre de combustion (fig 2) - nous placerons à son entrée une gaine où se produira l'écoulement, et dans laquelle évolueront les profils (fig 3). Le choix est justifié par:

- La possibilité de créer un banc d'essai indépendant à montage et démontage facile d'autant plus que la grande soufflerie est occupée par la réalisation de Mr MOKRANI.

- L'interchangeabilité des différents profils chose qui n'était pas possible auparavant, permettant ainsi le choix d'un large éventail d'ailes afin d'étudier entre autre: la plaque plane, le profil symétrique, asymétrique, l'induction aérodynamique...

- L'utilisation du venturi existant sur le ventilateur centrifuge, indépendamment du pitot de notre banc d'essai ce qui permettra de mesurer par deux moyens différents la même grandeur, manière enrichissante du point de vue didactique.

- une vitesse d'écoulement suffisante  
- de l'ordre de 25 m/s - alors qu'elle n'était que de 14 m/s dans la grande soufflerie.



-fig.2 - BANC D'ESSAI DE CHAMBRE DE COMBUSTION

## 5. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

### 5.1. DESCRIPTION et HISTORIQUE DU BANC D'ESSAI DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION. - fig. 2 -

Notre gaine sera placée donc en amont du banc d'essai de la chambre de combustion. Ce banc a été étudié et réalisé au sein de L'ENR par le personnel et les étudiants du département mécanique sous la direction de Mr. Gilbert Mather, expert à L'UNESCO en 1968. Son but était de servir comme banc d'essai de chambre de combustion devant permettre de se fixer sur l'utilisation éventuelle du gaz naturel, comprimé (G.N.C), ou liquéfié (G.N.L) comme carburant.

Il est constitué en aval du ventilateur Centrifuge, La chambre de combustion proprement dite se trouve à la sortie de ce ventilateur et, est munie du nécessaire pour mesurer la température, pression et divers autres paramètres.

Un moteur électrique de puissance nominale de 75 Kw est accouplé au ventilateur afin de lui communiquer le mouvement de rotation.

Un coude sert d'intermédiaire entre le ventilateur et le divergent (5) prolongé par une section circulaire de diamètre  $\phi 160$ , ensuite vient un convergent (5), lui même lié par brides à une longue gaine cylindrique de  $\phi_{int} 320$ , dont le rôle est d'uniformiser l'écoulement avant son entrée dans le venturi constitué par le convergent et divergent (5) et (6).

À l'embouchure de la gaine ④, on a une grille ③, vient ensuite un convergent ②, dont la grande base a un diamètre de  $\phi 500$  mm. En dernier lieu, on a la gaine cylindrique ①, munie d'un papillon de fermeture.

### 52. MESURES PRÉLIMINAIRES.

En plaçant notre gaine dans la partie amont du banc d'essai de la chambre de Combustion, nous avions à choisir entre placer directement à la suite de la conduite porte-papillon, ou bien ôter cette partie afin de réduire le diamètre de 500 mm à 320 mm. Ce qui augmentera la vitesse d'écoulement de l'air.

À l'aide du venturi, nous avons procédé à la détermination préliminaire de la vitesse de l'écoulement.

Appliquons le théorème de Bernoulli aux sections  $S_1$  et  $S_2$  de la -fig. 2- sans tenir compte des pertes pour cette première approximation.

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

$$z_1 = z_2$$

$$\text{d'où} \quad V_2^2 - V_1^2 = \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} \quad (1)$$



d'autre part le théorème de la continuité nous donne

$$V_1 S_1 = V_2 S_2$$

donc

$$V_2 = \frac{V_1 S_1}{S_2} = \frac{V_1 D_1^2}{D_2^2} \quad (2)$$

En injectant (2) dans (1) :

$$V_1^2 \left[ \left( \frac{D_1^2}{D_2^2} \right)^2 - 1 \right] = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}$$

En première approximation nous prendrons la densité de l'air à 25°C et à la pression atmosphérique, en assimilant l'air à un gaz parfait on aura une densité de :

$$\rho = \frac{P}{rT}$$

A.N :  $r = 287 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$T = 298 \text{ K}$

d'où  $\rho = 1,18 \text{ kg/m}^3$

$P = 1013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

$D_1 = 160 \text{ mm}$

$D_2 = 320 \text{ mm}$

$P_2 - P_1 = 650 \text{ mm CE} = 6376,5 \text{ Pa.}$

et finalement on a :

$$V_1 \approx 26 \text{ m/s}$$

Cette vitesse nous convient, et nous adapterons ce diamètre pour notre gaine, l'air est supposé incompressible, ce que nous vérifierons par le Nombre de Mach.

$$M = \frac{v}{a}$$

v étant la vitesse de l'écoulement et a la célérité du son à T = 25°C.

$$v = 26 \text{ m/s}$$

A.N.

$$a = \sqrt{\gamma r T}$$

$$\gamma = 1,4$$

$$r = 287 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$a = 346 \text{ m/s}$$

$$T = 298 \text{ K}$$

d'où  $M = 0,08$

Le Nombre de Mach est inférieur à M = 0,2 valeur couramment admise comme limite, au dela de laquelle l'air est considéré comme fluide compressible.

1. BALANCE AERODYNAMIQUE
2. SUPPORT RIGIDE
3. TUBE GRADUÉ
4. PLANCHE DE MESURE
5. TUBE DE PITOT
6. PRISE DE PRESSION STATIQUE
7. GAINÉ

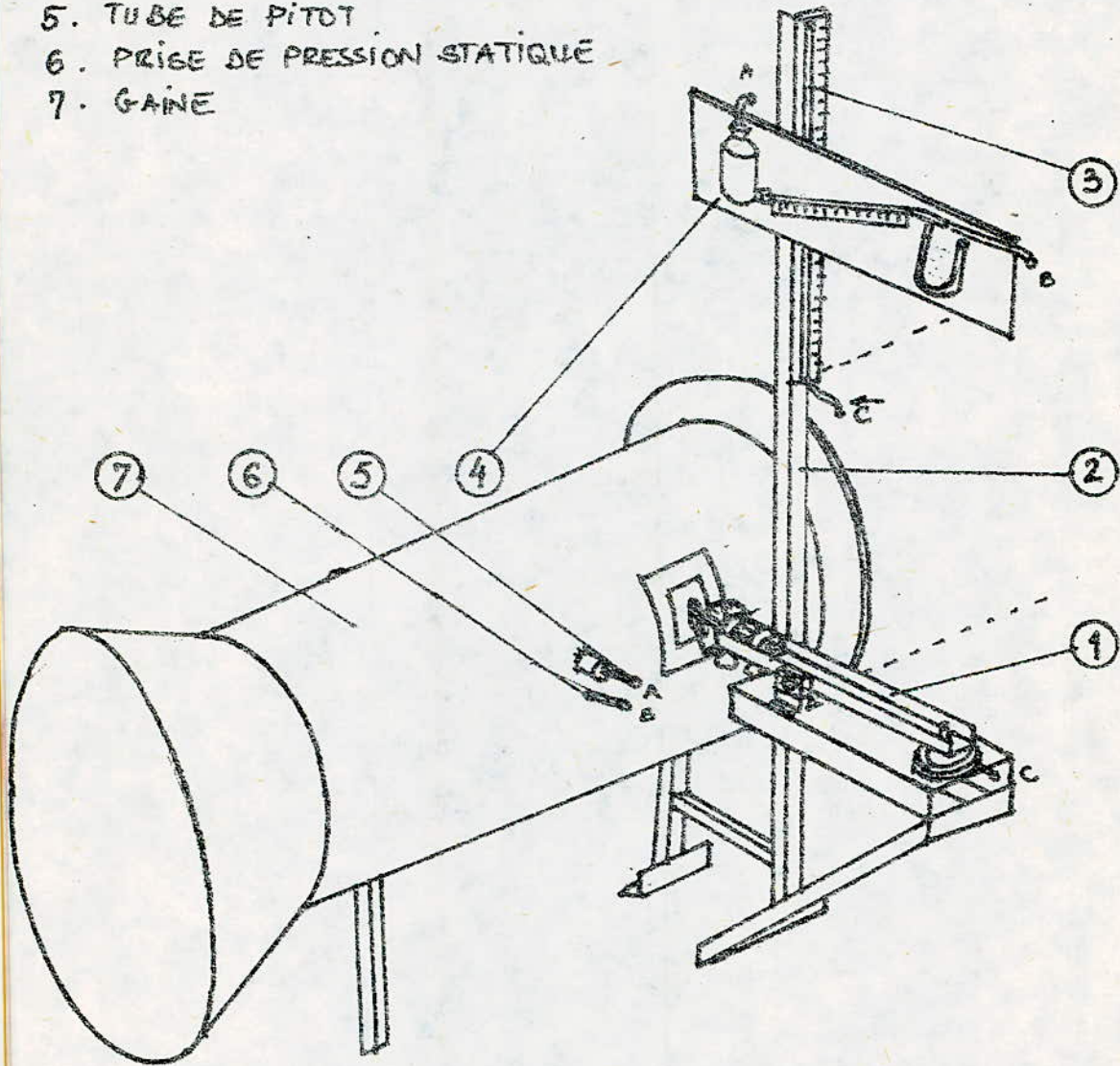


fig. 3 BANC D'ESSAI DE MESURE DE PROFILS AERDDYNAMIQUES

## 53. VUE D'ENSEMBLE SUR LE BANC D'ESSAI (-fig. 3-)

Le banc d'essai est constitué par la gaine ⑦ de diamètre  $\phi 320$  mm et de longueur  $L=1$  m, servant d'enveloppe à l'écoulement. Dans cette gaine se trouve le profil à étudier; il est relié à une balance aérodynamique ①, instrument à l'aide duquel nous mesurerons la force de portance exercée sur le profil, convertie en hauteur de colonne d'eau dans le tube gradué ③.

La gaine ainsi que la balance repose sur un support rigide ②. On dispose aussi d'un tube de pitot et d'une prise de pression statique, respectivement ⑤ et ⑥; servant à mesurer la pression totale et statique. La lecture se fait sur une planche de mesure ④ dotée de tubes en U.

## 54. DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU BANC D'ESSAI

Le Banc d'essai tel que nous le réaliserons sera constitué de trois parties principales: la gaine, la balance et le support.

## 5.4.1. LA GAINE

La gaine est une conduite de section circulaire de diamètre int égale à  $\phi 320$  mm, et de longueur  $l = 800$  mm servant à uniformiser l'écoulement, de plus son entrée est un tronç de cône d'angle au sommet  $\alpha = 30^\circ$  faisant office de convergent.

Cette gaine est réalisée en tôle de 15/10 mm d'épaisseur satisfaisant aux conditions de rigidité, vu le diamètre; Pour plus de sécurité, nous avons réalisé deux moulures, l'un au début de la gaine, le deuxième sur la grande base du tronc de cône.

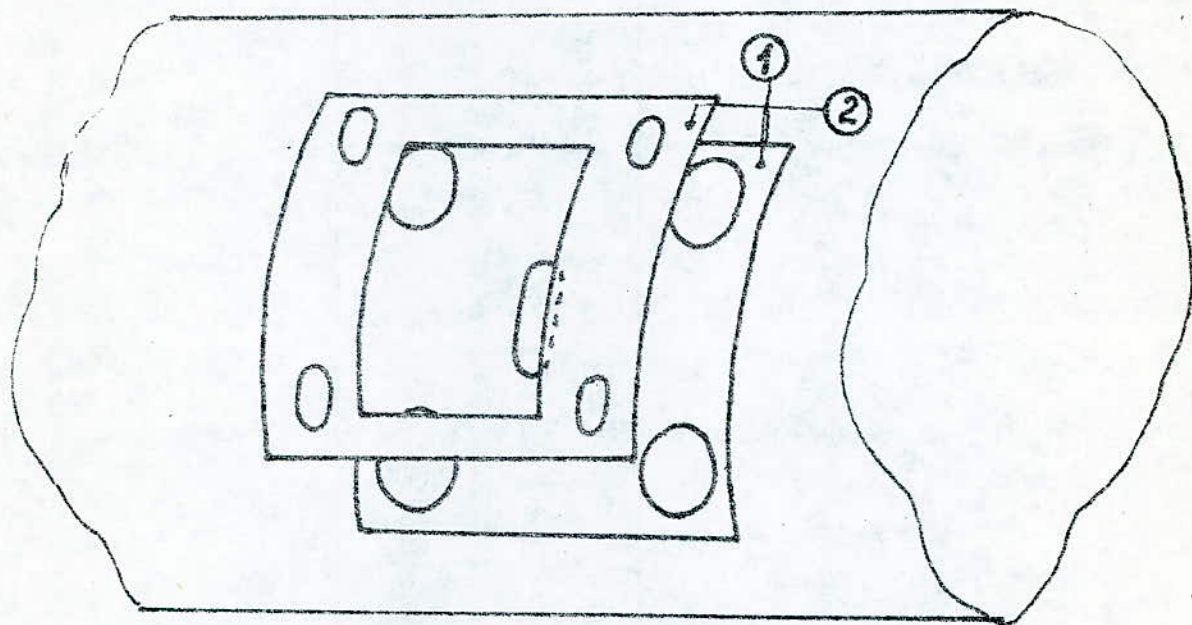
Sur un côté de la gaine on a réalisé une fenêtre obturée par coulissement d'une plaque de plexiglas sur glissières, servant à la fois, au montage et démontage de l'aile, et à la visualisation de l'écoulement à l'intérieur de la gaine; on pourra par exemple, en produisant de la fumée devant l'entrée du convergent constater les lignes de l'écoulement.

Du côté diamétralement opposé à la fenêtre, on a réalisé une lumière -(trou oblong)- sur plaque libre. Par cette lumière passe l'axe portant l'aile et servant de lien entre celle-ci et la balance aérodynamique.

La réalisation de cette lumière sur plaque libre (-fig. 4-) est motivée par un souci de porter à un problème d'ajustement de l'axe dans cette fente; en donnant un jeu de quelques millimètres à la plaque ① par rapport à la plaque ② (fig. 4) et à la gaine, sur laquelle on a réalisé une ouverture rectangulaire assez grande pour

Couvrir la lumière dans ses positions extrêmes. Le jeu de la plaque ① est égal à :

$$\sqrt{\text{J}} = \phi \text{ trou de la plaque} - \phi \text{ vis} \approx 5 \text{ mm de jeu total}$$



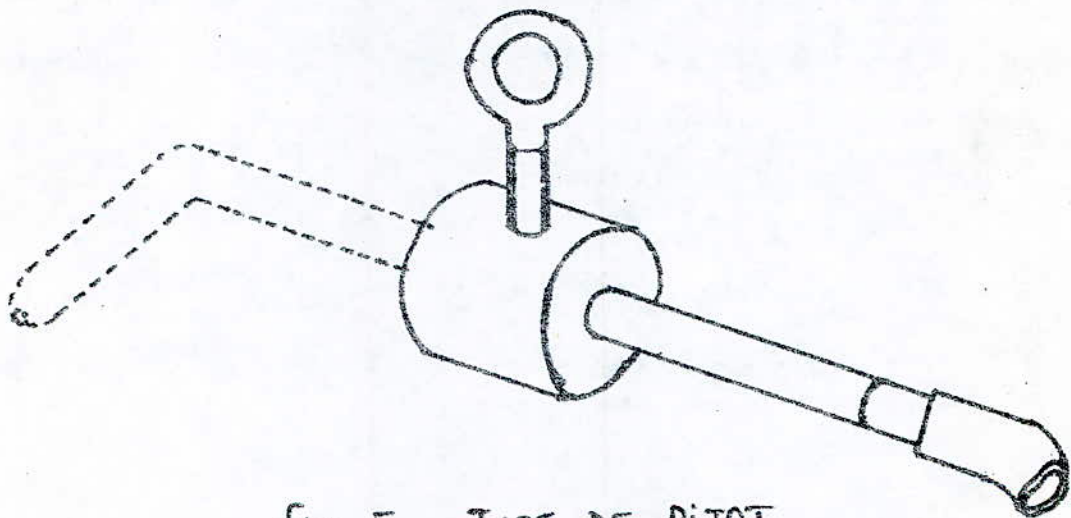
- fig.4 - LUMIERE SUR PLAQUE LIBRE

Remarque :

Les vis de fixation des plaques 1 et 2 étant immobilisées sur la gaine, leur directions ne seront pas parallèles et la présence d'un angle d'écartement nécessite une forme "étirée" des trous de la plaque ② (- fig.4 -) afin de rendre possible leurs montage et démontage.

Un tube de pitot est porté par une douille en bronze brasée sur la gaine; une vis de pression permet le réglage de sa position ainsi que son orientation. (fig. 5 et 3)

Il est réalisé à partir d'un tube de Cuivre, coudé à angle droit de diamètres intérieur et extérieur respectifs 6mm et 8mm.



- fig. 5 - TUBE DE PITOT

La marque sur l'extrémité du tube de pitot sert à son repérage en profondeur.

Une prise de pression statique est brasée à même la gaine, le pitot et la prise de pression statique sont reliés par des tuyaux flexibles à un tube incliné et un tube en U formant le système de mesure des pressions différentielle et statique, que supporte une planche en bois (-fig. 3-)

Ce système de mesure, nous donnera la vitesse de l'écoulement et la densité  $\rho$ . Nous développeront les calculs plus tard.

### 542. LA BALANCE AERODYNAMIQUE.

Cette balance a été réalisée par Mr. DJOUADI suite à une étude de Mr. DIFALLAH.

Il s'agit d'une balance à membrane, contenant un transmetteur de force, et fonctionnant sans énergie auxiliaire.

La force de portance exercée sur le profil se traduit par l'intermédiaire d'une plus ou moins grande pression sur la membrane, cette pression, elle même convertie en une certaine hauteur  $h$  d'eau dans un tube gradué.

Le levier de cette balance comporte un système de blocage de la rotation de l'aile et de mesure de l'angle d'incidence que nous détaillerons au paragraphe 56.

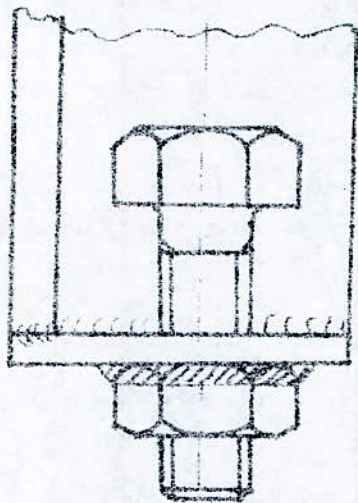
### 543. LE SUPPORT.

Le support du banc d'essai est réalisé en cornière en L de 40x40 et 4mm d'épaisseur. Son schéma a été étudié en fonction du poids, et des efforts supportés qui sont relativement modérés, ainsi que dans le but de rigidifier le système afin de minimiser les erreurs de mesure.

Le fait que la gaine soit liée au banc d'essai de la chambre de combustion par brides nécessite un système d'ajustement des pieds du support par rapport au sol. Nous avons



reglé ce problème en soudant les écrous des boulons M12 à chaque pied du support, permettant ainsi le réglage en hauteur du support pour éviter les balancements. (- fig. 6 -)

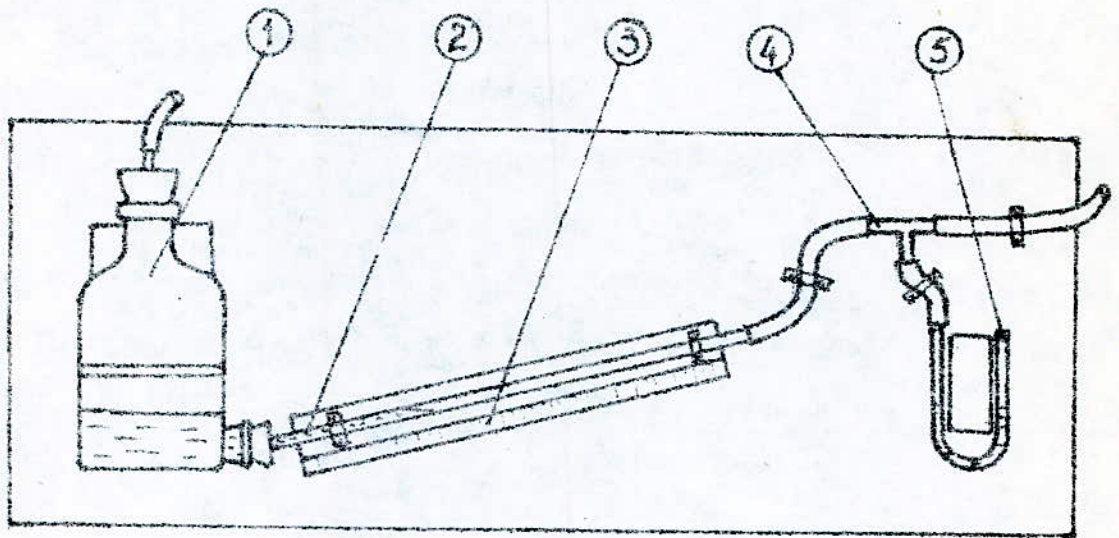


- fig. 6 - SYSTEME DE POSITIONNEMENT DES PIEDS DU SUPPORT.

Sur le support est fixé une planche (- fig. 7 -) qui porte un tube (2) de diamètre intérieur  $\phi 5$  mm, incliné à  $5^\circ$  par rapport à l'horizontale. Son extrémité inférieure plonge dans le récipient (9) de diamètre intérieure  $\phi 70$  mm, formant ainsi un système de vases communicants.

La translation de la surface libre de l'eau dans le tube (2) (et non la dénivellation), sera lue sur la règle graduée (3). Cette longueur est proportionnelle à la pression différentielle (dynamique), qui est différence entre la pression totale qui règne dans le récipient, et la pression statique à la surface libre de l'eau dans le tube (2).

Nous détaillerons les calculs au paragraphe § 761.



-fig.-7 POSTE DE MESURE.

A l'aide du Té (4) la pression statique est acheminée à l'une des branches d'un tube en U (5), sa seconde branche est à la pression atmosphérique. La dénivellation entre les deux surfaces libres du liquide, nous donne la pression statique qui régnait à l'intérieur de la gaine. La température de l'air étant connue nous pourrions calculer la densité de l'air  $\rho$  dans cet écoulement.

## 6. TRAVAUX EFFECTUES ET EXECUTION

### 6.1 LAGAINE

#### 6.1.1 LE CYLINDRE :

La partie cylindrique de la gaine a été réalisée indépendamment du cône, par le cintrage d'une tôle de 15/10 mm.

On avait préalablement exécuté le tracé des trous (marqués par pointeau), et des fenêtres avant le cintrage, au burin et marteau pour la petite, et à la gignoteuse pour la grande (fig. 8-).

On a découpé la tôle à la "guillotine" (cisaille mécanique).

Après avoir roulé la plaque, nous avons joint ses bords par un cordon de soudure au chalumeau oxy-acétylénique sans matériau d'apport.

Comme on s'y attendait le retrait a déformé le cylindre dont nous avons rattrapé la forme, en traçant un cercle de référence de  $\phi 320$  mm sur lequel nous avons ajusté la base du cylindre par petits coups, à l'aide d'un mallet en bois et d'une savonnette.

Après montage de la bride coulissante nous avons tombé un bord de 10 mm à angle droit, sur lequel butera la bride.

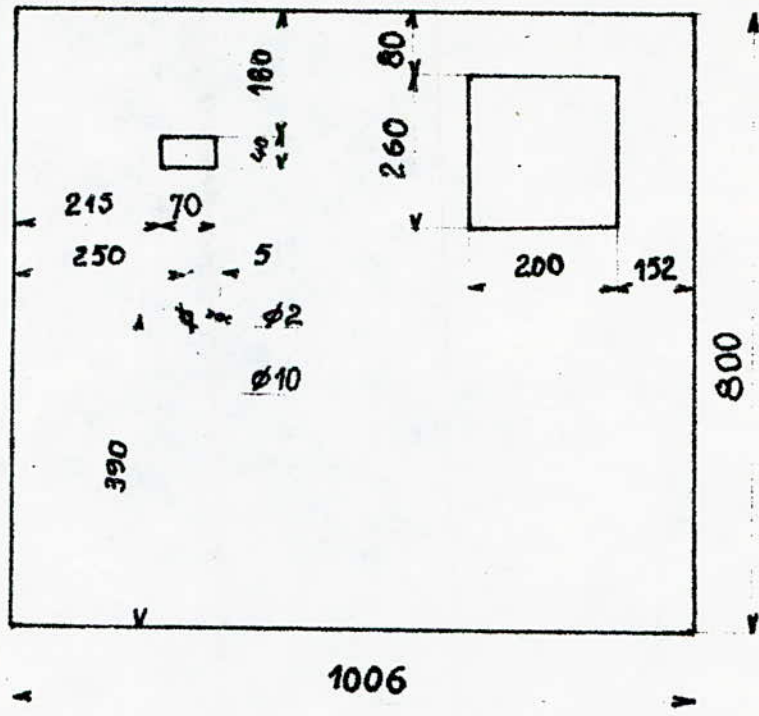


fig. 8. DEVELOPPEE DE LA GAINE.

958

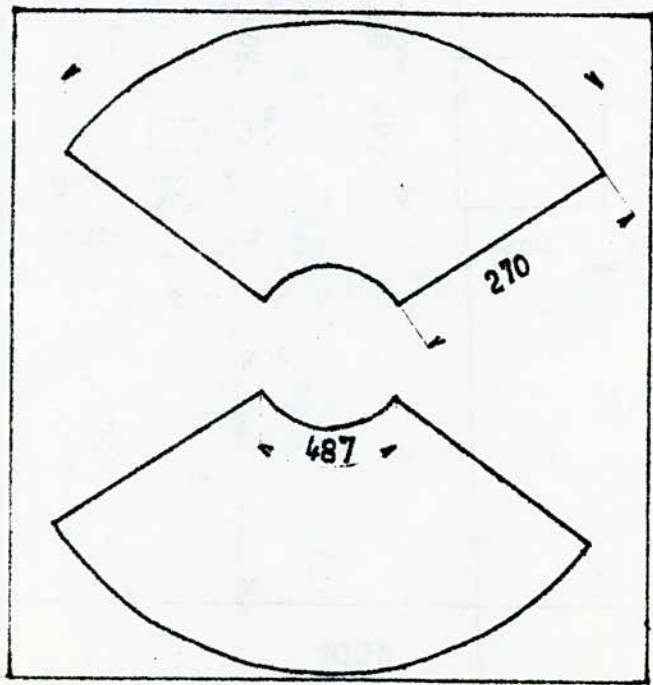


fig. 9. DEVELOPPEE DU CONVERGENT

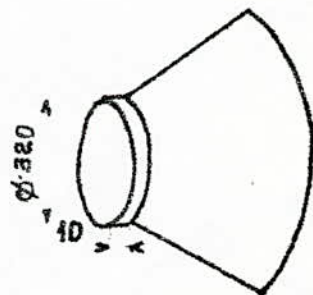
## 6.12 LE CONVERGENT.

Par soucis d'économie de matière, le convergent qui a une forme de tronç de cône a été réalisé en en deux parties sur la même tôle de 15/10 mm.

Un découpage approximatif a été réalisé dans ses parties convexes par cisaille mécanique, la finition à la lime batarde. Pour le découpage des parties concaves, nous avons utilisé une grignoteuse manuelle, et toujours la finition à la lime.

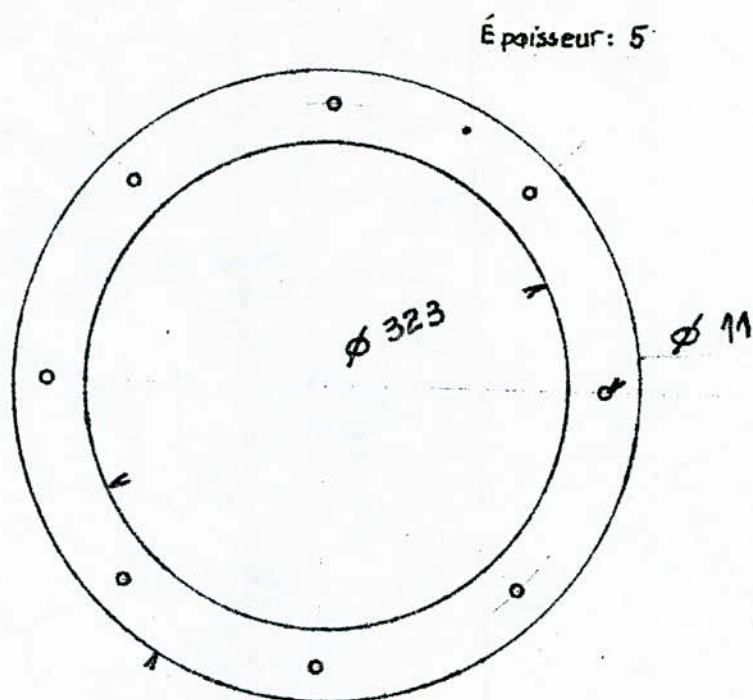
Après centrage et soudure au chalumeau, il a fallu un remodelage de la forme conique par pression et matraquage le long des génératrices. Le travail d'ébauche terminé, on s'est rendu compte que la base du cône n'était ni circulaire ni plane. Nous avons rattrapé ce défaut, en traçant au tréquin la petite base sur un marbre; elle nous a servi de référence pour le traçage de la grande base.

Une fois découpée suivant le tracé, il nous restait plus qu'à tomber un bord de 10 mm afin de faciliter la jonction du convergent au cylindre par soudure homogène au chalumeau (- fig 10 -)



- fig. 10 - LE CONVERGENT

## 6.13. LA BRIDE.



$\phi 410$

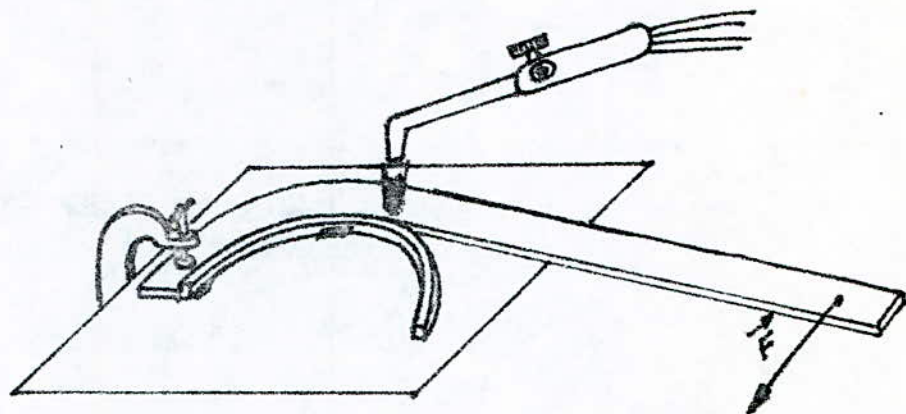
- fig. 11 - LA BRIDE

La réalisation de la bride aurait pu se faire sur un tour à grand mandrin, à partir d'une plaque de 5mm d'épaisseur.

Nous l'avons réalisée à partir d'un fer plat chauffé localement au chalumeau, et cintré sur le champ à l'aide d'un gabarit, que nous avons réalisé par cintrage d'un fer carré au diamètre intérieur de la bride et soudé ensuite sur une plaque plane (-fig.12-).

L'ajustage de la bride a été fait par matraquage à froid, des fibres comprimées ou tendues selon que l'on veuille, l'ouvrir ou la fermer.

Il restait à la fin la soudure à l'arc des bouts et le perçage des trous au  $\phi$  11 mm.



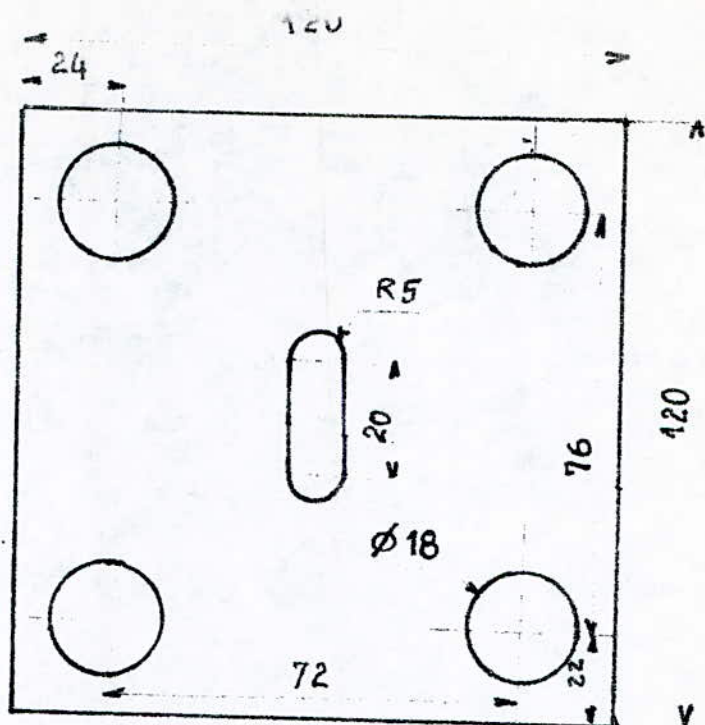
- Fig. 12 - EXECUTION DE LA BRIDE

#### 6.14 - LE TROU OBLONG (LUMIERE)

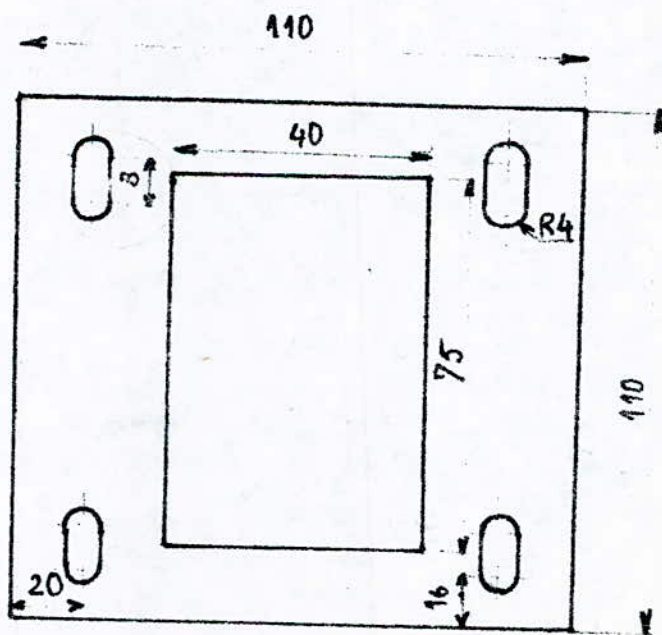
Le trou oblong par lequel passe l'axe de l'aile a été réalisé sur plaque libre afin de lui donner un jeu fonctionnel (cf § 541).

En fait, il est constitué de deux plaques tracées, et découpées à la cisaille mécanique, finition au burin et à la lime. (- fig. 13 a et b -)

Le cintrage a été fait sur l'endume.



- fig. 13a - DEVELOPPÉE DE LA PLAQUE PORTE-LUMIÈRE



- fig. 13b - DEVELOPPÉE DE LA PLAQUE D'APPUI



## 6.2 LA BALANCE

### 6.2.1 . LE SYSTEME DE REGLAGE DE L'ANGLE D'INCIDENCE ET DE BLOCAGE DE L'AILE.

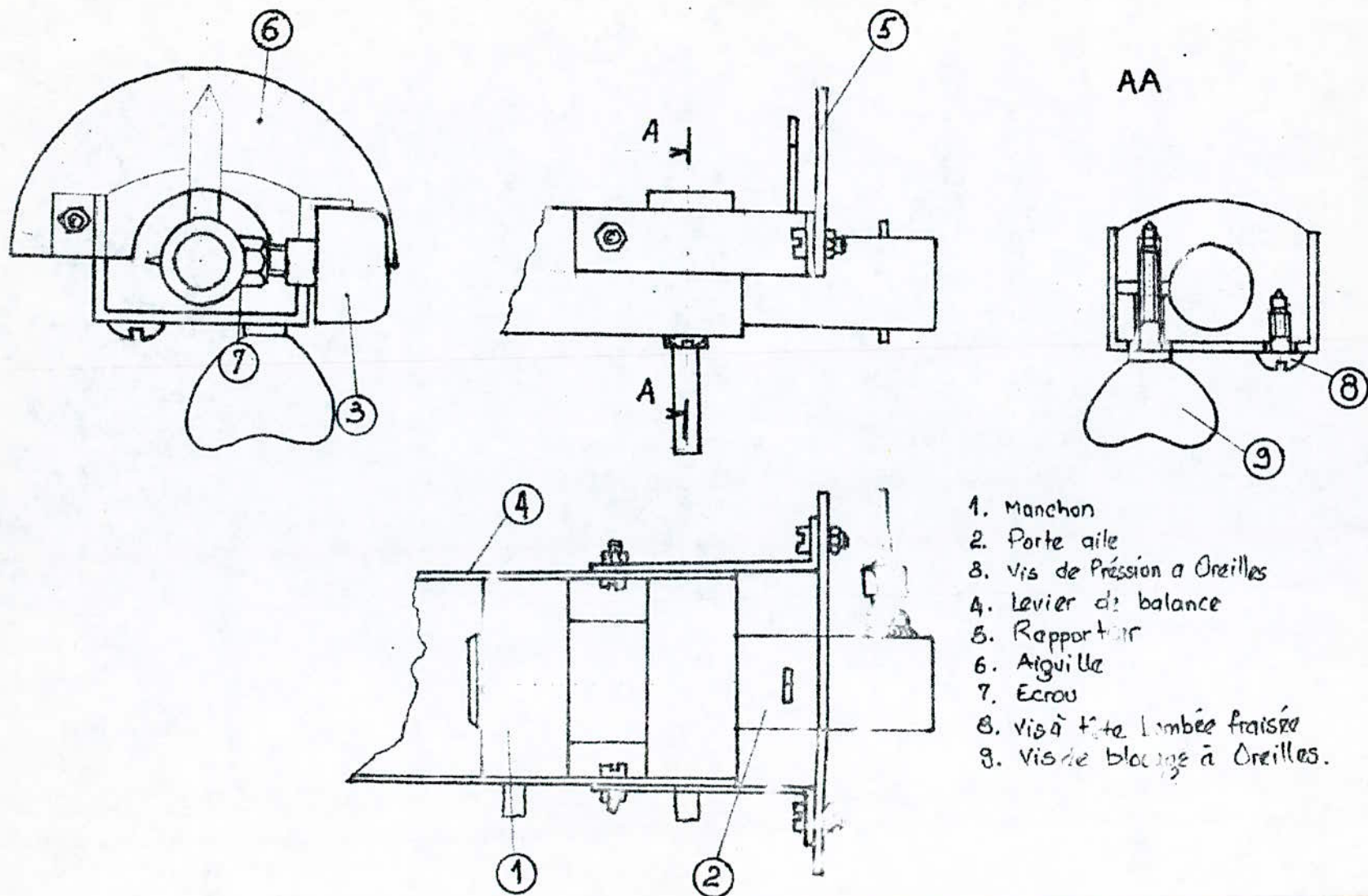
L'ancien système de mesure de l'angle d'incidence et de blocage de l'aile était peu fonctionnel et imprécis, nous avons réalisé alors un nouveau système (-fig.14-)

Il est composé d'une douille porte-aile (2) emmanchée en un ajustement tournant dans deux manchons fendus (1), liés au levier de la balance (4) par une vis à tête bombée fraisée (8) et une vis de blocage à oreille (9). Cette vis sert aussi comme son nom l'indique à l'immobilisation en rotation du porte-aile; quant à sa translation, elle est empêchée par un épaulement, qui vient buter contre les faces internes de chaque manchon.

Une vis à oreille (3) guidée par un écrou (7) et soudée au porte-aile, immobilise totalement l'axe de l'aile dans le porte-aile.

Le Rapporteur est lié au levier de la balance à l'aide de deux plaquette (10) et 4 boulons M4; l'indication de l'angle mesuré se fait grâce à une aiguille (6) soudée au porte aile.

- fig. 14. - SYSTEME DE REGLAGE DE L'ANGLE D'INCIDENCE  
ET DE BLOCAGE DE L'AILE.



1. Manchon
2. Porte aile
3. Vis de Pression a Oreilles
4. Levier de balance
5. Rapporteur
6. Aiguille
7. Ecras
8. Vis à tête Lambée fraisée
9. Vis de blocage à Oreilles.

### 6.2.2. LES AILES.

On a réalisé trois profils d'ailes différents, nous donnerons la justification des formes au (§ 7.9.4.); toutes les ailes ont le même type d'axe, terminées par un épaulement pour le positionnement axial par rapport au porte-aile et munies d'un méplat, pour le positionnement en rotation lors du serrage de la vis de pression.

Toutes les ailes sont faites en tôle de 10/10 mm d'épaisseur.

### 6.3. LE SUPPORT.

Il a été réalisé en cornière en L découpée à la scie mécanique et soudée à l'arc électrique avec équerage.

Une bande cintrée sert de support à la gaine, et une autre plate, porte la planche du poste de mesure (voir dessin d'ensemble).

Un autre support a été réalisé sur lequel repose la conduite d'air papillon que l'on a été du banc d'essai de la chambre de combustion le rendant ainsi autonome.

Toutes les ailes sont faites en tôle de 10/10 mm d'épaisseur.

### 6.3. LE SUPPORT

Il a été réalisé en cornière en L découpée à la scie mécanique et soudée à l'arc électrique avec

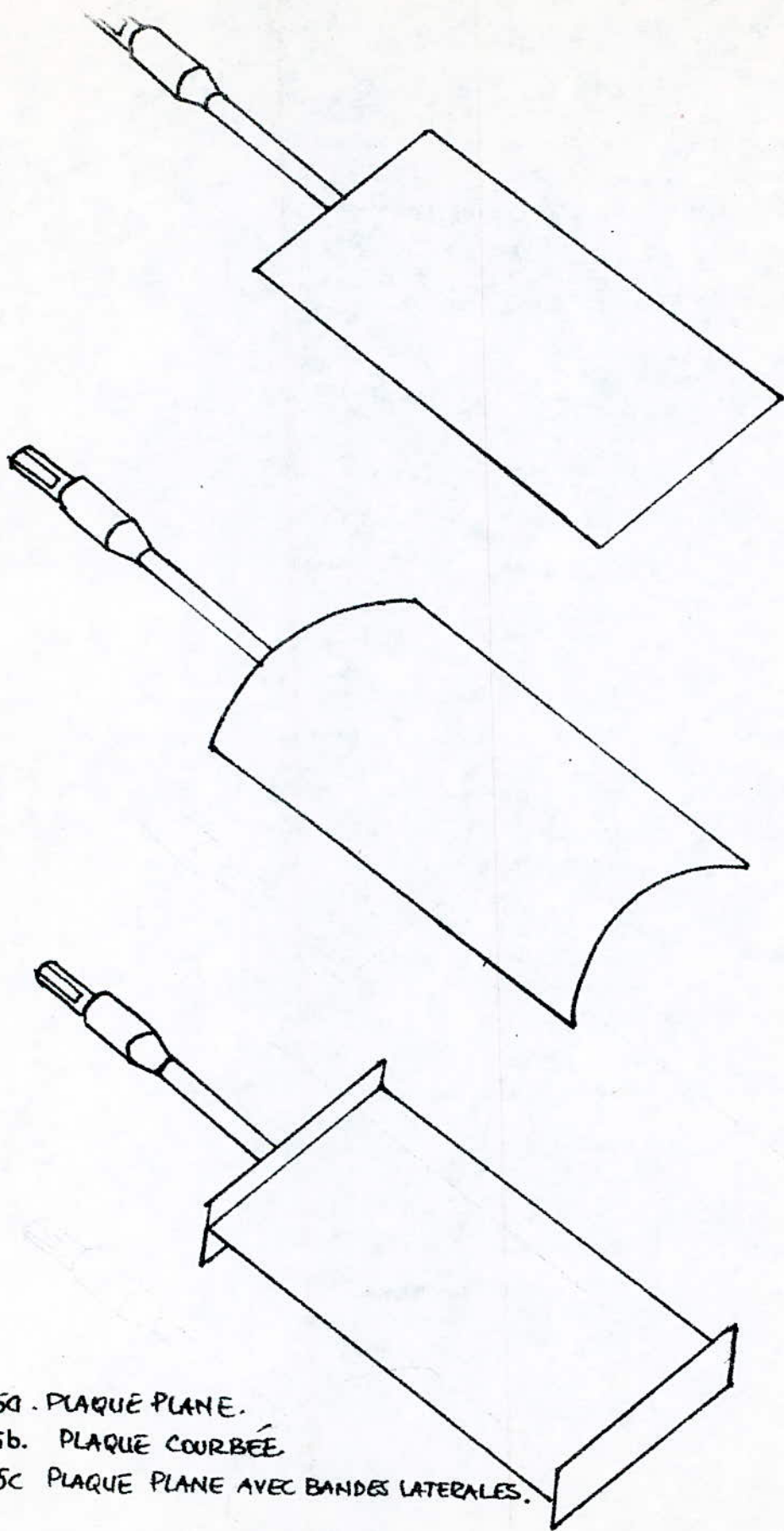


fig. 15a. PLAQUE PLANE.

fig. 15b. PLAQUE COURBÉE

fig. 15c. PLAQUE PLANE AVEC BANDES LATÉRALES.

## 7. MESURE DE VÉRIFICATION ET CORRECTION DE STRUCTURE

Une fois le banc d'essai réalisé et monté, à sa première mise en marche, comme il était prévu, on a remarqué qu'il était nécessaire d'introduire quelques améliorations afin de le rendre plus fiable; et aussi procéder à des mesures et étalonnages des différents systèmes pour maîtriser et prévoir leur évolution en fonction des conditions d'utilisation du banc d'essai.

### 7.1. RIGIDITE DE LA BALANCE.

L'une des premières imperfections qui est apparue lors des essais, est le manque de rigidité de la balance, plus exactement de la plaque pliée qui supporte la balance.

A cause de son épaisseur insuffisante (1mm), elle se déformait sous l'action des forces aérodynamiques subies par l'aile. Cette déformation était à l'origine d'un contact - donc de frottements - entre l'axe de l'aile et le trou oblong par lequel il passe dans la gaine, ceci malgré un réglage optimal du jeu prévu à cet effet.

Voyant que ce frottement est source d'erreurs importantes, nous avons dû remplacer le support par une autre plaque pliée trois fois plus épaisse, et le problème de la rigidité fut alors résolu.

## 7.2 . INSTABILITE DU NIVEAU.

Un autre problème rencontré lors des essais a été la variation de la hauteur de la colonne d'eau refoulée par la balance dans le tube de verre; ce qui se traduisait par une instabilité du niveau de la surface libre, et, entraînait une difficulté de lecture.

A l'origine du phénomène, il y a les vibrations de l'aile communiquées à la balance; même après la diminution des dimensions de l'aile, les vibrations ont persisté.

Pour régler définitivement ce problème, nous étions obligés d'introduire une grande résistance dans le circuit de passage du liquide; cette résistance a été matérialisée par une aiguille de seringue que nous avons placé comme capillaire à la sortie du récipient à membrane de la balance.

Du coup le niveau s'est stabilisé sous l'action de cette inertie supplémentaire, et la lecture est devenue aisée.

## 73 ETALONNAGE DE LA BALANCE.

Nous avons procédé à l'étalonnage de la balance afin de déduire le tracé de la courbe de la portance exercée sur l'aile en fonction de la hauteur de la colonne d'eau. Ce qui permettra lors de la manipulation, en nous référant à cette courbe, de tirer la portance pour chaque hauteur mesurée.

Méthode d'étalonnage: (fig. 16a et b)

Pour étalonner la balance, nous avons remplacé l'effet de la portance par celui des poids  $\bar{G}$  d'un volume d'eau contenu dans un becher, fixé à une distance  $b$  du centre de rotation du levier de la balance, matérialisé par un axe sur-roulements à billes.

L'équivalence des couple donne l'égalité suivante:

$$P \cdot a = b \cdot G.$$

et donc

$$P = \frac{b \cdot G}{a}$$

A.N:

$$a = 390 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

a. distance du milieu de l'aile au point "O"

b. distance du point "O" au point d'attache du becher

## 7.3 ETALONNAGE DE LA BALANCE.

Nous avons procédé à l'étalonnage de la balance afin de déduire le tracé de la courbe de la portance exercée sur l'aile en fonction de la hauteur de la colonne d'eau. Ce qui permettra lors de la manipulation, en nous référant à cette courbe, de tirer la portance pour chaque hauteur mesurée.

Méthode d'étalonnage: (fig. 16a et b)

Pour étalonner la balance, nous avons remplacé l'effet de la portance par celui des poids  $\bar{G}$  d'un volume d'eau contenu dans un becher, fixé à une distance  $b$  du centre de rotation du levier de la balance, matérialisé par un axe sur roulements à billes.

L'équivalence des couple donne l'égalité suivante:

$$P \cdot a = b \cdot G.$$

et donc

$$P = \frac{b \cdot G}{a}$$

A.N:

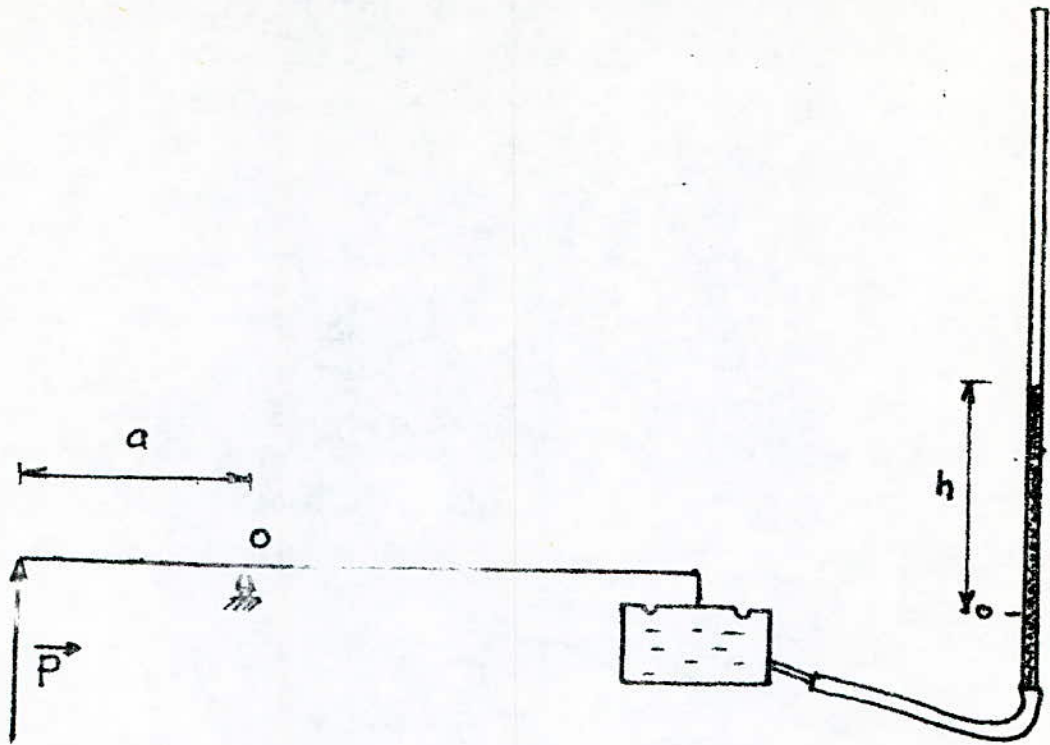
$$a = 390 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

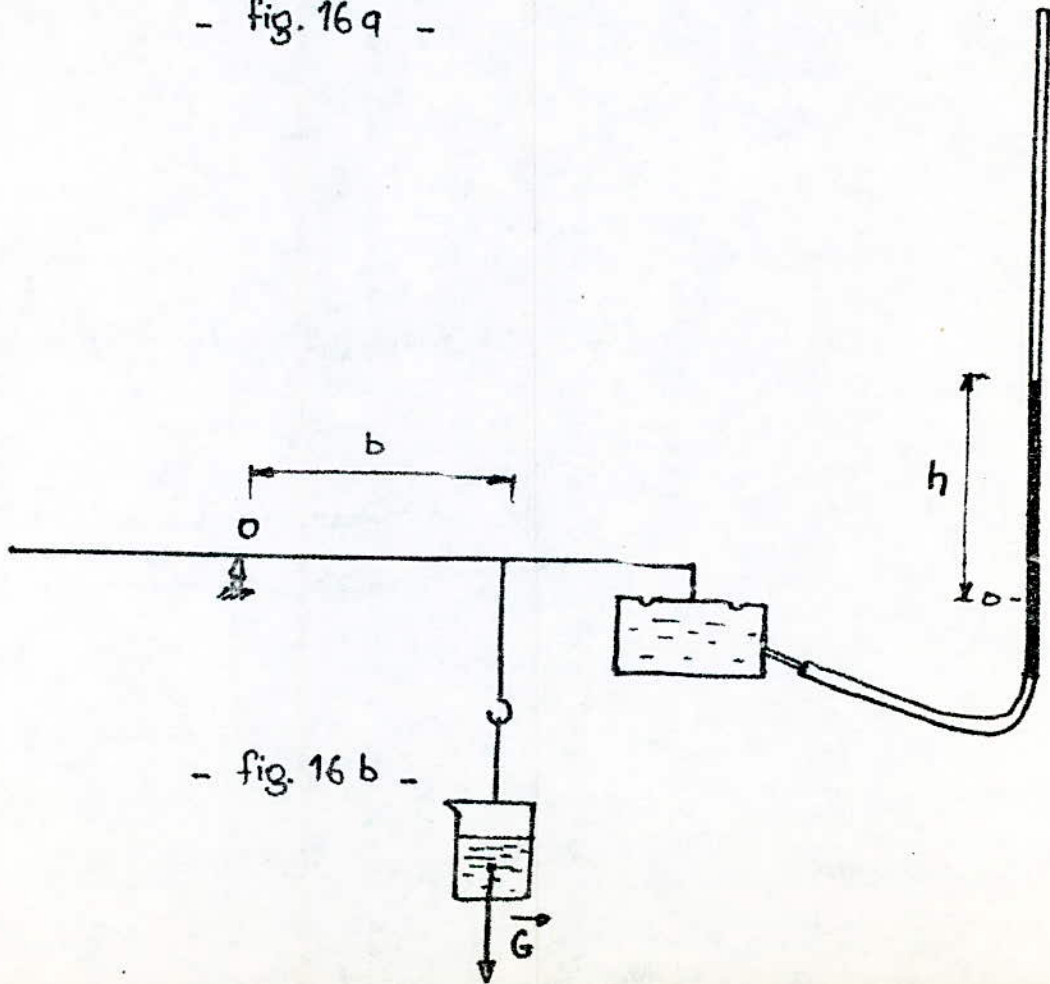
a. distance du milieu de l'aile au point "O"

b. distance du point "O" au point d'attache du becher





- fig. 16 a -



- fig. 16 b -

L'étalonnage de la balance permettra d'apprécier la fidélité de la balance, (un même poids doit donner toujours la même hauteur  $h$ ).

Pour vérifier cela nous avons procédé par poids croissants ensuite par poids décroissants.

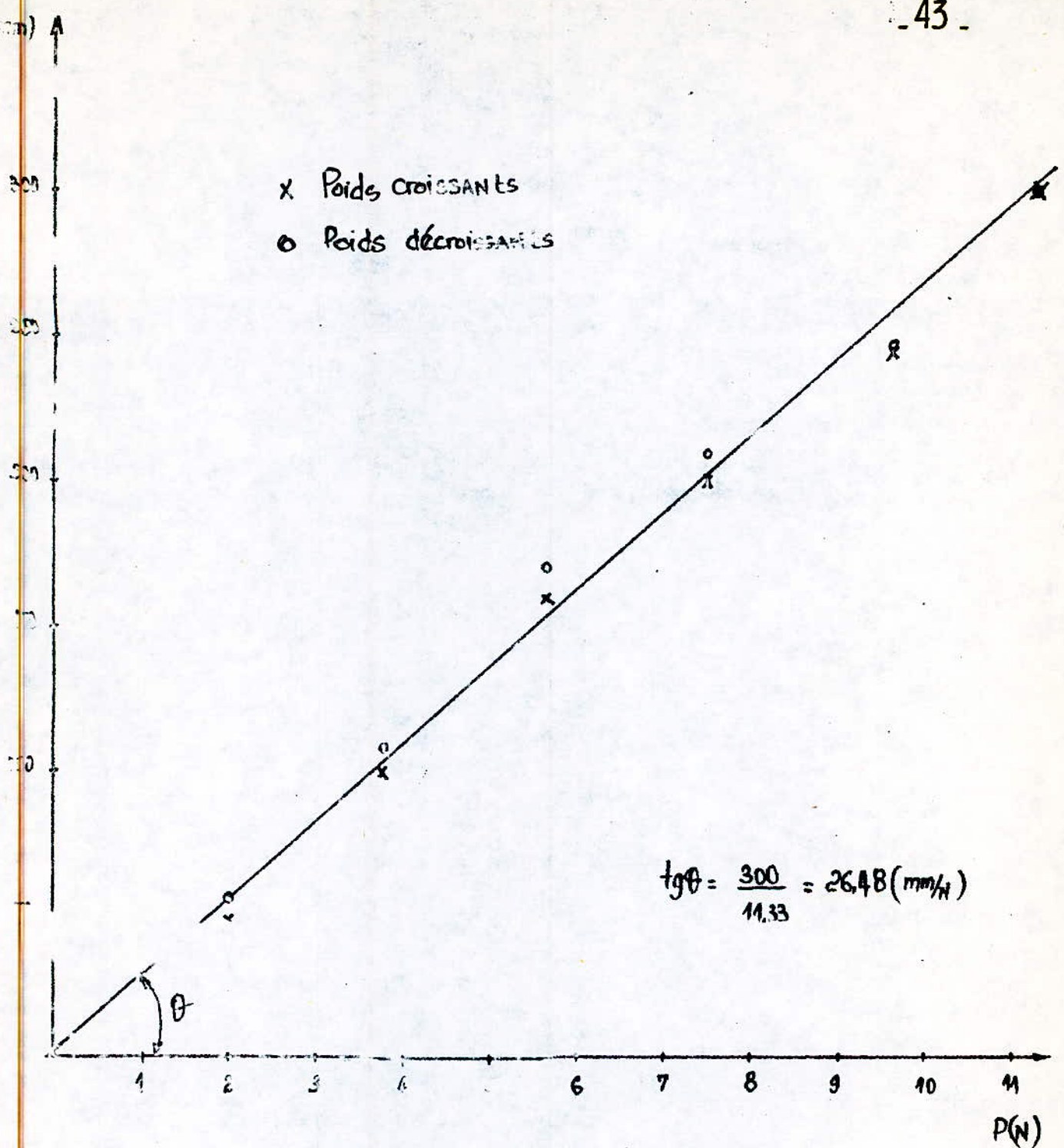
#### 74 - MISE A ZERO DE L'AIGUILLE.

Avant de mesurer l'angle d'incidence (angle entre la corde du profil et l'écoulement supposé horizontal), on procède à la mise à zéro du système de mesure, pour cela on procède comme suit :

Par la fenêtre on place l'aile, et on serre la vis de pression (fig 14, ③), en tenant compte de la position du méplat de l'axe de l'aile; ensuite on lui donne la position horizontale en se basant sur le parallélisme entre la corde du profil et une ligne fixe tracée horizontalement dans la gaine. Après blocage modéré des vis de pression (fig 14-③) on repère l'angle indiqué par l'aiguille ⑥ sur le rapporteur ⑤, qui est en général compris entre  $85^\circ$  et  $95^\circ$ .

Pour cette valeur l'incidence est Nulle, pour toute autre position de l'aile, la valeur de l'angle d'incidence sera égale à la différence entre l'angle correspondant et la valeur de la mise à zéro.

x Poids croissants  
o Poids décroissants



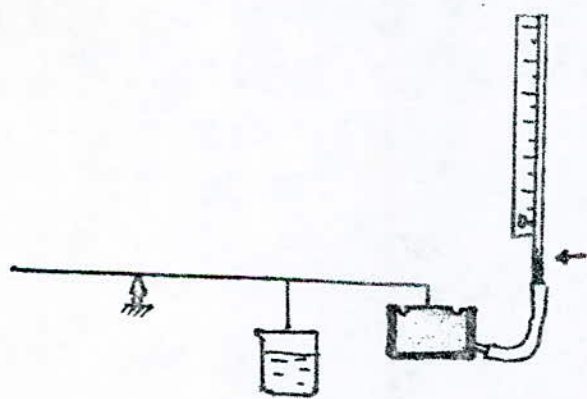
$$\text{tg}\theta = \frac{300}{11.33} = 26.48 \text{ (mm/N)}$$

GRAPHE de  $h = f(P)$

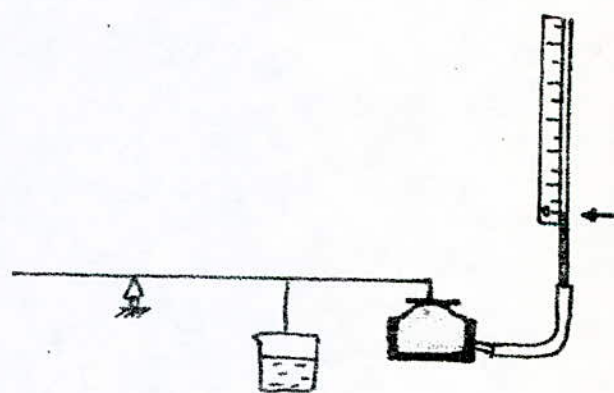
## 75. MISE A ZERO DE LA BALANCE.

Pour différentes raisons (évaporation, fuite...) il se pourrait que le niveau de la surface libre dans le tube donnant la hauteur de colonne d'eau ne revienne pas à sa position de référence, qui est le zéro de la règle graduée.

Pour le remettre dans cette position, on peut être tenté de rajouter une quantité d'eau dans le circuit, Cette méthode est à éviter; analysons le mécanisme de cette modification:



- fig. 17 a -



- fig. 17 b -

Le  $\phi$  du grand récipient à membrane est beaucoup plus grand que celui du tube (respectivement 75mm et 8mm) L'élévation du Niveau de quelques millimètres seulement dans le tube (avec conservation de l'équilibre des pressions) correspond à une augmentation importante du volume

d'eau contenu dans le récipient à membrane, et la membrane s'allonge et prend la forme bombée de la (fig- 176).

La tension de la membrane crée une force de rappel qui vient s'ajouter à la portance, en outre la surface effective de la membrane se trouve ainsi diminuée.

La bonne méthode pour la mise à zéro est la suivante :

On élimine cette variation de niveau par l'action d'un contre-poids sur le levier de la balance, le contre-poids sera le même becher déjà utilisé pour l'étalonnage de la balance. Cette solution est très commode car elle permet de "doser" le poids en jouant sur le volume d'appoint.

76. NON UNIFORMITE DE LA VITESSE.

76a. L'UTILISATION DU TUBE DE PITOT.

La description du tube de pitot ayant été donnée au paragraphe § 5.4.3., nous ne reviendrons pas dessus.

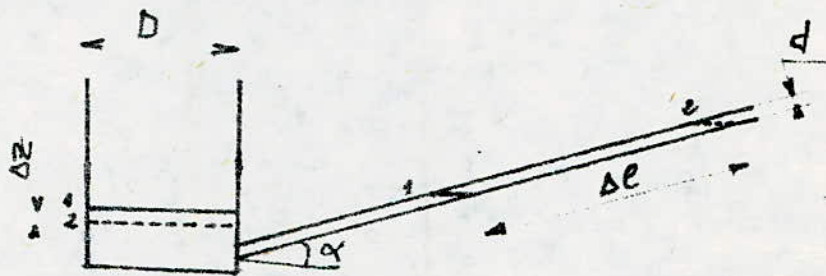
Donnons l'indice 1, à la section d'entrée du tube de pitot et l'indice 2, à celle de la prise de pression statique et appliquons le théorème de BERNOULLI sans tenir compte des pertes :

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

Or  $z_1 = z_2$   $\rho$  - densité de l'air dans les conditions de l'écoulement.  
 et  $V_1 = 0$

d'où 
$$\boxed{\rho \frac{V_2^2}{2} = P_1 - P_2} \quad (1)$$

la valeur  $P_1 - P_2$  est donnée en colonne d'eau dans le poste de mesure, mais un calcul préalable s'impose.



Le volume chassé du récipient est le même que celui qui s'ajoute dans le tube incliné d'où l'égalité:

$$\Delta z \pi \frac{D^2}{4} = \Delta l \pi \frac{d^2}{4}$$

$$\Rightarrow \Delta z = \frac{\Delta l d^2}{D^2} \quad (2)$$

d'autre part la dénivellation totale  $\Delta H$  est égale à:

$$\Delta H = \Delta z + \Delta l \sin \alpha. \quad (3)$$

en tenant compte de l'égalité (2)

$$\Delta H = \Delta e \left( \frac{d^2}{D^2} + \sin \alpha \right)$$

Comme on a :

$$P_1 - P_2 = \Delta H \cdot \rho_0 \cdot g \quad (4)$$

$\rho_0$  - densité de l'eau.

en injectant (1) on a :

$$\rho \frac{V_2^2}{2} = \rho_0 \cdot g \cdot \Delta e \left( \frac{d^2}{D^2} + \sin \alpha \right)$$

et enfin

$$V_2 = \left[ 2g \frac{\rho_0}{\rho} \Delta e \left( \frac{d^2}{D^2} + \sin \alpha \right) \right]^{1/2}$$

$g$  - attraction universelle -  $9,81 \text{ m/s}^2$

$\rho_0$  - masse volumique de l'eau -  $10^3 \text{ kg/m}^3$

$\Delta e$  - lu sur la règle graduée du poste de mesure.

$d$  - diamètre du tube incliné -  $\phi 5 \text{ mm}$

$D$  - diamètre du récipient -  $\phi 70 \text{ mm}$

$\alpha$  - angle d'inclinaison du tube -  $\alpha = 6^\circ$  -  $\sin \alpha \approx 0,1$

et  $\rho$  densité de l'air dans l'écoulement voir prochain paragraphe.

## 762. L'UTILISATION DE LA PRISE DE PRESSION STATIQUE.

La prise de pression statique est reliée à l'une des branches du tube en U, l'autre branche de ce tube est à la pression atmosphérique.

En considérant l'air comme gaz parfait on a:

$$\frac{P}{\rho} = rT. \quad (1)$$

La température est donnée par un thermomètre plongé dans l'écoulement. La dénivellation entre les surfaces libres dans le tube en U, nous donne la dépression (par rapport à la pression atmosphérique)

La pression absolue dans la gaine sera donc:

$$P = P_0 - \rho_0 g \Delta H \quad (2)$$

$P_0$ : pression atmosphérique

$\rho_0$ : densité de l'eau.

des égalités (1) et (2) on a:

$$\frac{P_0 - \rho_0 g \Delta H}{\rho} = rT \quad (1)$$

d'où

$$\rho = \frac{P_0 - \rho_0 g \Delta H}{rT}$$



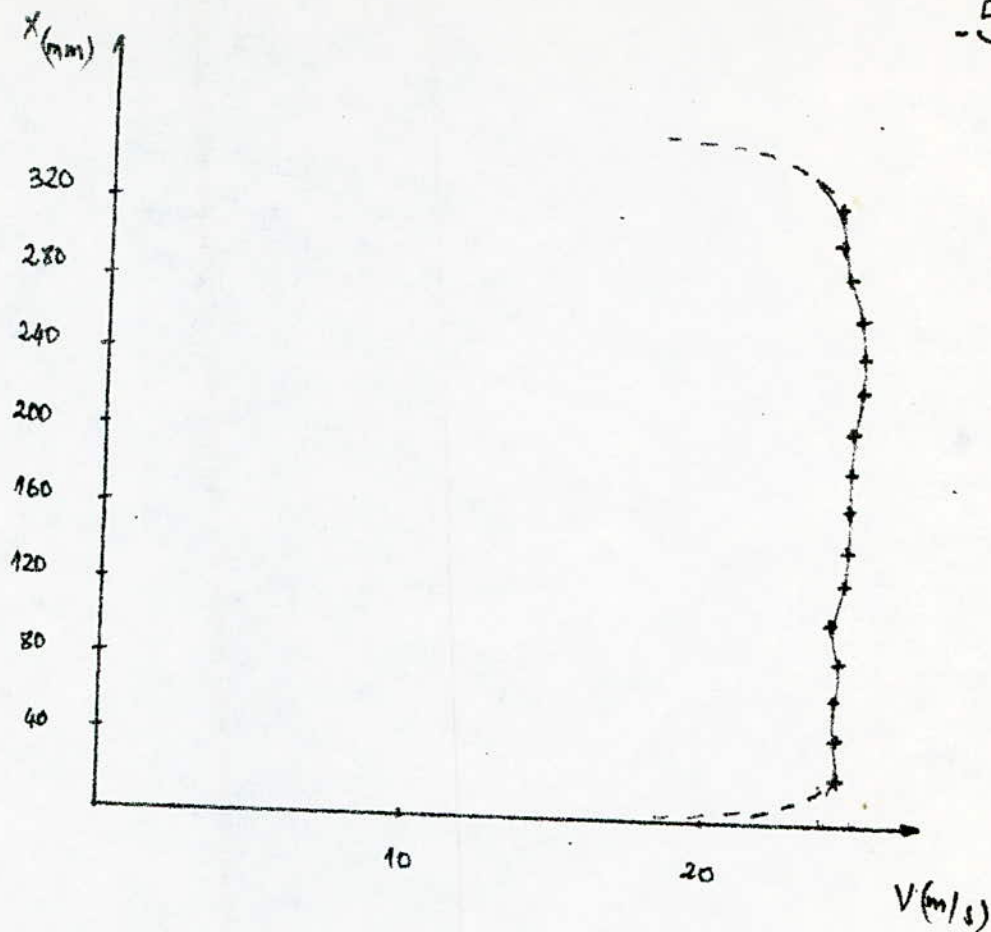
## 7.63. REPARTITION DE LA VITESSE.

-49-

Le déplacement du tube de Pitot le long du diamètre horizontal de la gaine avec prise de mesures chaque 20 mm, va nous donner une idée sur la répartition de la vitesse (en module) et donc sur la nature de l'écoulement.

$X_{(mm)}$	24	44	64	84	104	124	144	164
$\Delta H_{(mm)}$	35	35	35	35	35	35	35	35
$\Delta L_{(mm)}$	330	328	328	328	326	330	330	330
$V_{(m/s)}$	24,60	24,58	24,53	24,53	24,45	24,60	24,60	24,60

$X_{(mm)}$	184	204	224	244	264	284	304	316
$\Delta H_{(mm)}$	35	35	35	35	35	35	35	35
$\Delta L_{(mm)}$	335	335	340	340	340	335	328	328
$V_{(m/s)}$	24,79	24,79	24,97	24,97	24,97	24,79	24,53	24,33



on voit que l'écoulement sans être parfaitement uniforme, il peut être considéré comme tel, surtout dans la région centrale où la vitesse est pratiquement uniforme. Nous placerons notre aile dans cette région.

### 77. ETANCHEITE DE LA GAINE .

La fenêtre en plexiglas n'est pas parfaitement étanche et l'air peut être aspiré par là. Il s'agit de savoir l'effet de cette fuite sur l'écoulement, pour cela nous prévoyons des mesures avec et sans étanchéité de la gaine.

On assurera l'étanchéité en colmatant l'ouverture <sup>-51-</sup>  
de la fenêtre avec de l'éponge.

#### 7.8. ELIMINATION DU JEU ENTRE PORTE-AILE et MONCHON - Fig. 14 -

Après plusieurs serrages et desserrages, il risque d'apparaître un jeu entre l'un des deux manchons de blocage ① et l'épaulement du porte-aile ②, ce jeu s'il est trop grand permettra à l'aiguille ④ de venir buter contre le rapporteur ⑤ ce qui entraînera une erreur sur la mesure de l'angle d'incidence en plus cela changera le moment de portance et à la longue occasionnera la détérioration du rapporteur.

Pour éviter cela, on peut rattraper ce jeu par le positionnement et le serrage de la vis bombée fraisée ⑧ qui fixe le manchon au levier de la balance.

Pour faciliter le calcul de densité, vitesse de l'écoulement à l'aide du Venturi " $V_v$ " et à l'aide du Pitôt " $V_p$ " ainsi que la Portance " $R_z$ " et le coefficient de Portance " $C_z$ " on a réalisé ce Programme appliqué à l'ordinateur de Poche CASIO. FX-702P

```

10  INP "P=", P
20  INP "T=", T
30  INP "Z=", Z
40  INP "DL=", A
45  INP "DH=", B
50  INP "H=", E
60  R = E / 26.48
70  Q = (P * 105 * 9.81 * B E-3) / (287 * T)
80  V = (2 * 9.81 * 103 * A E-3 * ((5/70)2 * sin 6) / Q)1.5
90  C = 2 * E / 26.48 / (Q * V2 * 0.09 * 0.19)
95  F = (2 * 9.81 * Z / (Q * 15))1.5
100 PRT "Rz=" ; Q
110 PRT "Vp=" ; V

```

115 PRT "VV="; F  
 120 PRT "RZ="; R  
 130 PRT "CZ="; C  
 140 GOTO 30.

## 7.91. PLAQUE PLANE.

$$i_0 = 85^\circ.$$

$i^\circ$	0	5	10	15	20	25	30
$Z(\text{mm})$	634	634	635	634	634	635	630
$\Delta L(\text{mm})$	338	338	335	336	335	335	332
$\Delta H(\text{mm})$	33	33	33	33	33	33	33
$H(\text{mm})$	0	57	124	161	182	184	189
$V_p(\text{m/s})$	24,817	24,817	24,707	24,743	24,707	24,707	24,596
$V_v(\text{m/s})$	26,505	26,505	26,505	26,505	26,505	26,525	26,505
$R_z(N)$	0	2,153	4,688	6,080	6,873	6,949	7,137
$CFL$	0	0,346	0,760	0,984	1,116	1,128	1,169

$i^\circ$	35	40	45	50	55	60	62
$Z(\text{mm})$	330	330	330	330	328	330	328
$\Delta L(\text{mm})$	330	330	330	330	328	330	328
$\Delta H(\text{mm})$	33	33	33	33	33	33	33
$H(\text{mm})$	195	202	204	205	194	175	157
$V_p(\text{m/s})$	24,527	24,527	24,527	24,527	24,447	24,527	24,447
$V_v(\text{m/s})$	26,505	26,505	26,484	26,484	26,463	26,484	26,484
$R_z(N)$	7,364	7,628	7,704	7,742	7,326	6,609	5,929
$CZ$	1,213	1,267	1,269	1,276	1,215	1,089	0,983

$$\rho = 1,1805 \text{ kg/m}^3.$$

## 792. PLAQUE COURBEE :

 $i_0 = 85^\circ$ 

-54-

$i^\circ$	0	5	10	15	20	25	30
Z(mm)	635	635	634	633	632	632	630
$\Delta L$ (mm)	335	335	335	332	330	330	328
$\Delta H$ (mm)	33	33	33	33	33	33	33
H(mm)	75	188	201	238	258	255	250
Vp(m/s)	24,707	24,707	24,707	24,596	24,521	24,521	24,527
Vv(m/s)	26,526	26,508	26,505	26,484	26,463	26,463	26,421
Rz(N)	2,832	3,291	7,591	8,988	9,743	9,630	9,630
Cz	0,460	0,846	1,232	1,472	1,605	1,587	1,587

$i^\circ$	35	40	45	50	55	60	64
Z(mm)	630	630	629	628	626	626	626
$\Delta L$ (mm)	326	324	321	318	318	318	318
$\Delta H$ (mm)	33	33	33	33	33	33	33
H(mm)	255	261	263	256	236	211	180
Vp(m/s)	24,447	24,398	24,298	24,072	24,072	24,072	24,072
Vv(m/s)	26,421	26,421	26,421	26,379	26,337	26,337	26,337
Rz(N)	9,699	9,856	9,938	9,668	8,875	7,968	6,798
Cz	1,596	1,654	1,682	1,653	1,517	1,362	1,162

$$\rho = 1,1805 \text{ kg/m}^3$$

## 793. PLAQUE PLANE AVEC BANDES LATÉRALES :

 $i_0 = 88^\circ$ 

$i^\circ$	0	5	10	15	20	25	30
Z(mm)	640	638	635	635	635	634	633
$\Delta L$ (mm)	335	332	332	330	330	329	328
$\Delta H$ (mm)	33	33	33	33	33	33	33
H(mm)	9	71	148	158	168	174	180
Vp(m/s)	24,706	24,536	24,536	24,521	24,521	24,484	24,447
Vv(m/s)	26,630	26,588	26,526	26,526	26,526	26,505	26,484
Rz(N)	0,340	2,681	5,585	5,967	6,344	6,571	6,798
Cz	0,055	0,439	0,915	0,983	1,049	1,086	1,127

$i^\circ$	35	40	45	50	55	60	65
Z(mm)	632	632	631	630	629	629	628
$\Delta L$ (mm)	327	327	326	326	324	322	320
$\Delta H$ (mm)	33	33	33	33	33	33	33
H(mm)	192	202	206	200	187	166	139
Vp(m/s)	24,410	24,410	24,372	24,208	24,222	24,222	24,147
Vv(m/s)	26,629	26,463	26,442	26,421	26,400	26,400	26,377
Rz(N)	7,257	7,628	7,779	7,553	7,062	6,269	5,249
Cz	1,205	1,265	1,300	1,268	1,193	1,059	0,892

$$\rho = 1,1805 \text{ kg/m}^3$$

7.9.4. PLAQUE PLANE AVEC BANDES LATÉRALES et ETANCHEÏTE:  
 $i_0 = 85^\circ$ .

$i(^\circ)$	0	5	10	15	20	25	30
Z(mm)	635	634	635	635	635	635	635
DC(mm)	345	345	342	343	343	343	342
$\Delta H$ (mm)	35	35	35	35	35	35	35
H(mm)	22	81	152	180	164	170	179
$V_p$ (m/s)	25,075	26,075	25,966	25,002	25,002	25,002	24,967
$V_r$ (m/s)	26,528	26,507	26,507	26,528	26,598	26,528	26,528
$R_2$ (N)	0,830	3,437	5,740	6,042	6,193	6,420	6,760
$C_z$	0,131	0,542	0,913	0,958	0,982	1,018	1,074

$i(^\circ)$	35	40	45	50	55	60	65
Z(mm)	635	635	634	634	634	633	633
DC(mm)	342	342	340	339	339	338	338
$\Delta H$ (mm)	35	35	35	35	35	35	35
H(mm)	190	199	207	196	187	169	144
$V_p$ (m/s)	24,966	24,966	24,893	24,856	24,856	24,819	24,819
$V_r$ (m/s)	26,528	26,528	26,507	26,507	26,507	26,486	26,486
$R_2$ (N)	7,175	7,515	7,591	7,402	7,062	6,382	5,380
$C_z$	1,141	1,195	1,214	1,187	1,133	1,027	0,875

$$c = 1,1802 \text{ kg/m}^3$$

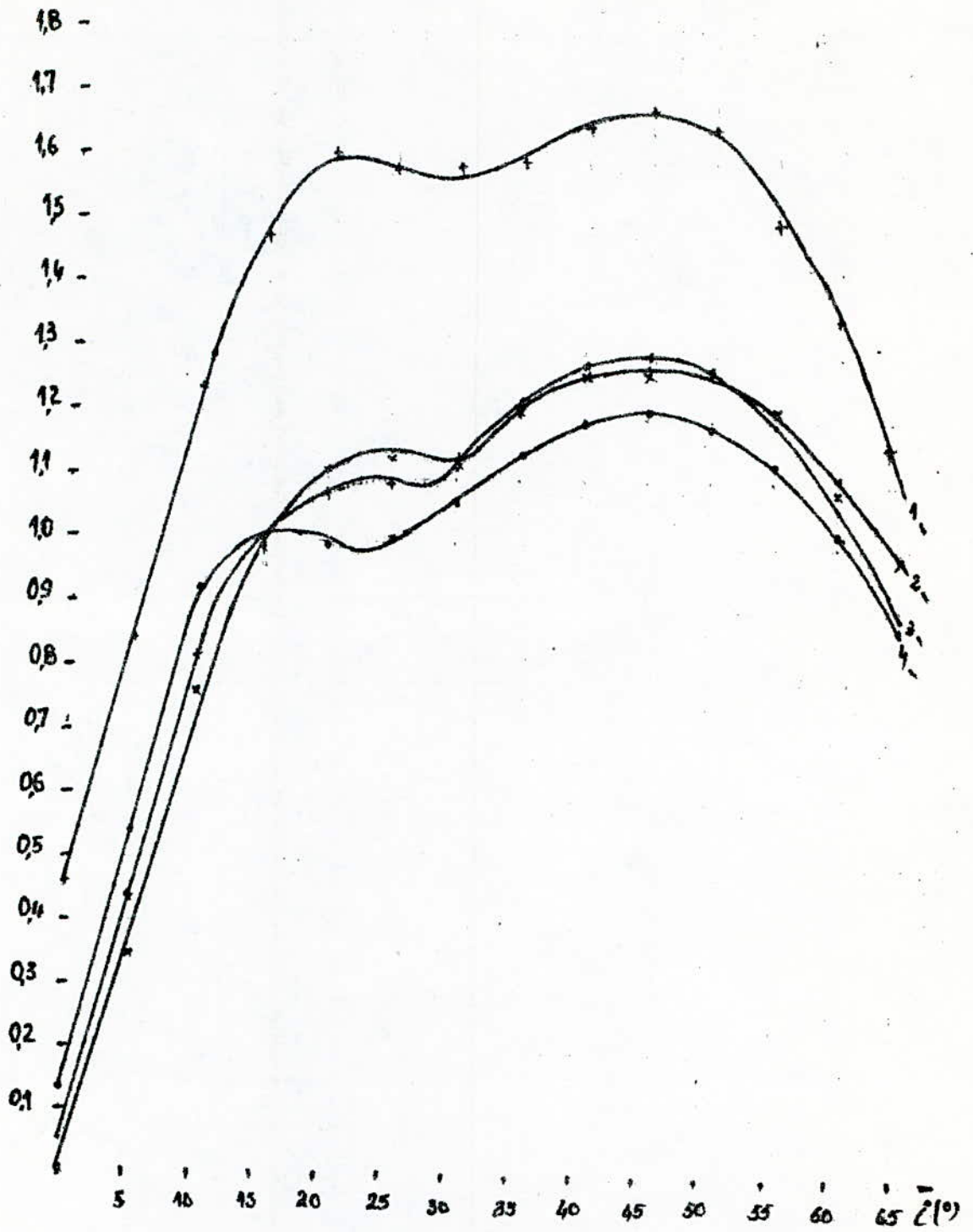
DISCUSSION DES COURBES de  $C_z(i)$

- PLAQUE COURBÉE (N°1) sur le graphique.

Pour ce profil on voit que l'allure de la courbe est linéaire entre  $0^\circ$  et  $12^\circ$ ; à l'incidence Nulle, le  $C_z$  est de 0,45 ce qui est normal pour un profil non symétrique.

Entre  $12^\circ$  et  $22^\circ$ , le  $C_z$  augmente avec l'angle d'incidence, mais la fonction perd sa linéarité, le maximum est atteint pour  $i = 22^\circ$ .

$C_z^A$



GRAPHE de  $C_z = f(i)$



On remarque une chute de  $C_z$  après cette valeur jusqu'à l'angle d'incidence  $i = 27^\circ$ , on confirme l'allure théoriquement vue - Page 6 -.

Après cette valeur, on assiste à une légère augmentation de  $C_z$  (jusqu'à  $i = 45^\circ$ ) Pour rechuter ensuite. Ce phénomène que nous n'attendions pas, persiste pour les trois autres ailes, et nous l'attribuons probablement à la forme (non aiguisée) du bord d'attaque des plaques.

#### - PLAQUE PLANE (N°2)

L'allure théoriquement vue est confirmée, avec une Portance nulle pour  $i = 0^\circ$  (Profil symétrique) une augmentation linéaire entre  $0^\circ$  et  $12,5^\circ$ ; une augmentation non linéaire ensuite, pour atteindre le maximum à  $i = 25^\circ$ ; par la suite on remarque la chute jusqu'à  $i = 30^\circ$ , et puis le phénomène se reproduit, c'est-à-dire il y a une légère augmentation et rechute de  $C_z$  entre  $30^\circ$  et  $47^\circ$ .

On remarque que pour la plaque plane, la portance est nettement plus faible que pour la plaque courbée.

### PLAQUE PLANE AVEC BANDES LATÉRALES N° 3

Pour éviter l'induction aérodynamique - Page 7 -  
 on a étudié une plaque plane avec bandes  
 latérales. La courbe est semblable à celle de  
 la plaque plane simple, mais on remarque  
 qu'à l'incidence nulle, la portance n'est pas  
 rigoureusement nulle; Ceci est dû au fait que  
 la symétrie du profil n'est plus parfaite à cause  
 de la déformation de soudure. En outre la  
 légère supériorité du  $C_z$  à celui de la plaque plane  
 confirme la théorie de l'induction aérodynamique.

### PLAQUE PLANE AVEC BANDES LATÉRALES et ETANCHEITE (N°4).

En assurant l'étanchéité de la gaine on a  
 une légère augmentation de la vitesse de  
 l'écoulement et du  $C_z$ .  
 La courbe reste semblable à celle de la plaque  
 plane simple.

## 8. MODE DE RÉALISATION DU T.P.

La séance du T.P. est programmée pour durer 1h30, pour un groupe de 2 à 4 étudiants. Dans cette manipulation nous allons essayer de simplifier les mesures pour que l'étudiant ne s'éternise pas devant une partie de la manipulation, au dépend d'une autre; toutefois sans tomber dans le superficiel.

Voici la procédure que nous proposons:

### 8.1. Etalonnage de la balance.

Pour l'étalonnage, un des étudiants disposant d'un poids connu ( $\approx 1\text{kg}$ ), le placera dans le becher et on notera la hauteur de colonne d'eau, ensuite on notera la hauteur à vide.

Disposant ainsi de deux points, et sachant préalablement que la courbe d'étalonnage est une droite, il est aisé de déterminer la pente à l'aide de ces deux points.

### 8.2. PRISE DES MESURES.

Un des étudiants placera l'huile (avec la mise à zéro du système de mesure de l'angle d'incidence) et après la mise en marche du banc d'essai, le

Le premier étudiant fera varier l'angle d'incidence de  $5^\circ$  à chaque fois, et prendra la mesure de " $\Delta l$ " sur le tube incliné et de " $\Delta H$ " sur le tube en U.

Le deuxième étudiant se chargera de lire la hauteur de la colonne d'eau " $H$ " et la température; quand au troisième étudiant il lira l'indication du tube relié au venturi. La pression atmosphérique du jour est prise une fois pendant la manipulation à l'aide d'un baromètre.

On procédera de même avec les deux autres ailes. De cette façon le groupe aura pris toutes les mesures, nécessaires à un travail de synthèse.

### 8.3. EXPLOITATION DES RESULTATS.

Les étudiants auront à déterminer la densité et à calculer la vitesse par deux méthodes (Pitot et venturi). Ensuite ils

auront à tracer les courbes d'établissement de la balance et  $C_2(i)$  et les comparer entre elles. A partir de la comparaison entre ces courbes ils donneront leurs conclusions.

## 9. CONCLUSION.

Le but de ce travail - La conception et la réalisation du banc d'essai - est atteint.

Le banc d'essai est fonctionnel et peut servir dès maintenant.

J'espère que cette réalisation sera pour les futurs étudiants d'un apport bénéfique, et pour moi, un pas de plus dans le domaine auquel je me suis prédestiné.

# BIBLIOGRAPHIE

- REBUFFET : AERODYNAMIQUE EXPERIMENTALE  
ED. BERANGER
- ENCYCLOPEDIE DES SCIENCES INDUSTRIELLES  
ED. QUILLET.
- DJOUADI. BALANCE AERODYNAMIQUE  
Projet. Janv. 83
- NOURA. BANC D'ESSAI DE MESURE DE  
PORTANCE D'UNE AILE  
Projet. Janv. 85
- TECHNIQUE DE L'INGENIEUR  
MEURES ET CONTROLES.

