

## A propos de la « Théorie des Hélices aériennes »

du Commandant Le Clément de Saint-Marçq

\* \* \* \*

La *Technique Aeronautique*, dans son numéro du 15 février dernier, a fait paraître un article sur la théorie des hélices aériennes, théorie qui avait déjà été présentée, par le Commandant Le Clément de Saint-Marçq, au Congrès International d'Aéronautique de Nancy, en septembre de l'année dernière.

La méthode suivie par l'auteur pour la détermination des puissances motrice et utile, absorbée, et restituée sous forme de poussée, par une aile d'hélice rencontrant l'air sous une faible incidence, ainsi que la détermination du coefficient d'utilisation, qui représente le rapport de ces deux puissances, et toutes les déductions qui en résultent, sont identiques à celles que j'ai exposées en 1892, à l'Association Technique Maritime. Seulement tandis que j'appliquai ma méthode à un élément de l'aile, déterminé par sa position sur le rayon, et que, pour étendre le raisonnement à l'aile entière, j'avais nécessairement recours à l'intégration de la fonction le long du rayon, le Commandant Le Clément de Saint-Marçq se contenta d'étudier les conditions du mouvement d'un point de l'aile, dans lequel il considère comme concentrée l'action de l'aile entière, et ensuite il applique à toute la surface géométrique de l'aile les déductions des calculs trouvés pour ce point unique. Cette façon de procéder ne pourrait être admise que si les dimensions de l'aile étaient négligeables par rapport à la distance du centre d'action considéré à l'axe de rotation, or nous savons parfaitement que c'est loin d'être le cas, et que les vitesses périphériques des points de l'aile situés dans le voisinage du moyeu et vers l'extrémité varient considérablement, souvent du simple au vingtuple; ce qui fait que les résistances éprouvées, proportionnelles aux carrés des vitesses, varient comme un à 400. De plus, les inclinaisons sur l'axe de rotation variant le long de l'aile (de 30° à 85°) les composantes des résistances éprouvées suivent une variation analogue, et leur valeur dépend de leur position le long du rayon. Il en résulte que pour trouver le centre d'action envisagé par M. Le Clément de Saint-Marçq il y a lieu de tenir compte des variations de vitesse et d'inclinaison de tous les éléments de l'aile, ce qui n'est possible que par une intégration complète. La surface géométrique d'une aile d'hélice ne représente nullement sa surface active, et il peut se faire que deux ailes, de surfaces géométriques absolument équivalentes, et fonctionnant dans des conditions identiques, auront des effets mécaniques tout différents si leur forme n'est pas la même. C'est pourquoi il est impossible de déterminer la surface active d'une aile d'hélice par sa surface géométrique, sans en préciser la forme, qui indique les conditions géo-

métriques et mécaniques du fonctionnement de tous ses éléments, et cela ne peut être atteint que par une intégration.

Il y aurait encore un deuxième reproche à formuler contre la théorie présentée par le Commandant Le Clément de Saint-Marçq, reproche de moindre importance que le premier, et qui porte sur le choix des variables adopté par l'auteur. Dans ma théorie, la position des éléments de l'aile est déterminée en fonction de la tangente de l'angle que fait cet élément avec l'axe de rotation, il en découle une relation de proportionnalité directe entre la longueur du rayon et la tangente de l'angle considéré, ce qui rend la fonction facilement intégrable; le Commandant Le Clément de Saint-Marçq, au contraire, adopte comme variable le complément de cet angle, ce qui fait qu'entre le rayon et l'angle variable il s'établit une relation de forme hyperbolique, au lieu d'une simple relation linéaire, ce qui nuit à la facilité des calculs et intervertit la simplicité harmonieuse des relations géométriques.

30 Mars 1910.

V. DRZEWIECKI.

## Sur les ailes considérées comme machines à réaction

□ □ □ □ □

C'est à un nouveau point de vue que j'envisagerai aujourd'hui les ailes des appareils volants et les hélices aériennes.

L'aviation, depuis quelques années, n'a pas fait le moindre progrès au point de vue des surfaces portantes; et, si les prouesses de quelques hommes de sang-froid ont donné l'illusion que l'aviation était arrivée à son but, tous les mécaniciens doivent avouer que l'aviation est à l'état absolument rudimentaire, le même état qu'il y a trois ans.

Quelques petites modifications d'ordre secondaire au fuselage et au moteur ont permis aux pilotes d'appareils de faire des merveilles. Mais cela ne suffit pas. Ce qui nous empêche d'avancer, c'est de considérer les aéroplanes à un tout autre point de vue que celui que je crois être le véritable.

Les ailes des aéroplanes et les hélices aériennes sont des machines à réaction.

Comme aux turbines, il faut leur donner :

- 1) Un distributeur;
- 2) Une aube travaillante;
- 3) Un diffuseur.

L'aile est une machine à réaction devant avoir une poussée axiale presque nulle et un effort normal le plus grand possible; l'hélice au contraire doit avoir la plus grande poussée axiale et le plus petit effort normal.

Considérons une surface concave hémisphérique; la résistance de l'air est maxima lorsque les filets d'air la frappent normalement à sa corde; donc, si cette surface était horizontale et si, par un système quelconque on lui lançait des filets d'air normalement, toute la force des filets d'air servirait à annuler la gravitation et à soulever ce plan.

Cette force, pour une surface de 1 m<sup>2</sup>, les filets d'air ayant une vitesse de 20 mètres à la seconde sera de  $KSV^2$ .

K est égal à 0,08 multiplié par l'effet de la courbure qui a été établi dans les environs de 4.

Prenons-le égal à 3 et nous aurons alors :

$$KSV^2 = 0,25 \times 1 \times 20^2 = 100 \text{ kgs.}$$

De là il résulte que dans de telles conditions nous pourrions soulever nos appareils actuels avec 3 m<sup>2</sup> de surface portante. Considérons non pas 100 kgs par m<sup>2</sup>, mais 30 0/0 de moins : 30 kgs par m<sup>2</sup>, voilà ce que nous devrions avoir au moins comme force portante pour une vitesse de 72 km. à l'heure.

Nous sommes bien loin de ces résultats.

J'ai dit que nous devons considérer l'aile comme une machine à réaction, car je crois que nous nous trouvons plutôt dans le cas de Pearsons que dans celui de Laval; c'est-à-dire que l'air n'est pas complètement détendu avant de frapper l'aube, — si je puis m'exprimer ainsi, — mais la production et l'absorption d'énergie cinétique se font simultanément, la vitesse de l'air n'atteignant pas la grande vitesse de détente.

L'avant de l'aile est le distributeur;

Le centre, l'aube;

Et l'arrière, le diffuseur.

Pour faire l'étude des ailes de cette manière, il ne faut pas déduire les conclusions de la turbine hydraulique, car sous une pression de 30 mètres, l'eau s'écoule à une vitesse de 24 mètres par seconde; tandis que pour l'air, dans les mêmes conditions, cette vitesse est de 600 mètres par seconde.

Considérons une aile d'oiseau. Voici sa forme :

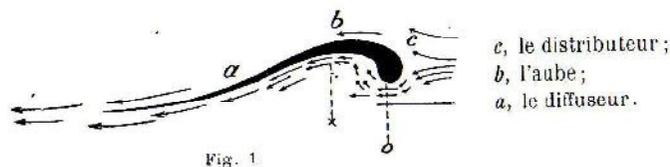


Fig. 1.

#### L'aile d'oiseau.

Les filets d'air qui viennent frapper l'aile à l'avant sont partagés en deux. Une partie de ces filets d'air dirigée vers le bas vient se comprimer contre les

filets d'air restés immobiles et par suite cherchera à se détendre de la même manière qu'elle était comprimée. De sorte que nous pouvons considérer l'avant de l'aile et les filets d'air restés immobiles comme une sorte de tuyère moitié fluide élastique et moitié solide, dans laquelle se produira une sorte de détente et une variation de pression dues à la vitesse des filets d'air qui frappent l'avant de l'aile, c'est-à-dire que nous nous trouvons dans des conditions d'une sorte de distributeur qui change la direction des filets d'air en augmentant en même temps leur pression initiale. Là où cette tuyère doit fonctionner effectivement comme distributeur, c'est le point *o* où la forme de la courbure passe par zéro avant de faire avec la direction du mouvement un angle négatif. A partir de ce point-là il se produit une sorte de détente et une diminution de pression, ce qui permet aux filets d'air de gagner une certaine vitesse qui remplacera par son travail celle de la pression perdue. Cette partie du distributeur dirige nos filets d'air sur la partie de l'aile qui pourrait être comparée à la surface héli-cylindrique recevant les filets d'air presque normalement et dont nous avons parlé plus haut, cette partie je l'appellerai l'aube de l'aile.

Dans cette aube, l'angle négatif avec la vitesse commence à diminuer et tend à 0. D'un autre côté comme cet angle devient ensuite positif, nous allons à nouveau avoir un phénomène de diminution de vitesse et d'augmentation de pression. Au moment où l'angle est zéro, la vitesse est nulle et la pression est

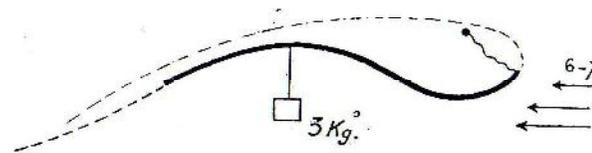


Fig. 2.

maxima dans son action dirigée normalement au mouvement du fluide ambiant point X. Après cette compression nous aurons une détente. Nous arrivons maintenant à l'arrière de l'aile qui doit diriger nos filets d'air de telle manière qu'en quittant l'aile, ces filets soient parallèles au mouvement du fluide ambiant. Cette partie de l'aile je la nommerai diffuseur.

Maintenant nous pouvons expliquer l'expérience de Goupil, qu'il publie dans l'*Aérophile* du 1<sup>er</sup> septembre 1909.

Une surface de cette forme et des dimensions suivantes : 1 m. 25 sur 0 m. 80 relevée à l'avant de 0 m. 03 chargée de 3 kgs, se maintient horizontale dans un vent de 6 à 7 mètres à la seconde.

Goupil explique ce phénomène en supposant que la présence des opérateurs suffisait pour faire remonter l'air, le vent demeurant légèrement ascendant.

Si l'on renouvelle l'expérience de Goupil en recouvrant la surface supérieure, en calculant le distributeur, en ajoutant un diffuseur, nous arrivons à porter 8 à 10 kgs.

Goupil en admettant un vent ascendant, avait raison, mais, la véritable

cause du vent ascendant est la présence du distributeur, c'est-à-dire l'avant relevé.

Le Capitaine Etévé dans une étude sur les remous dernièrement parue (1) dit : « Il y a intérêt à augmenter le plus possible le tourbillonnement, et par suite à accroître la courbure du bord d'attaque de la surface... » et plus loin le Capitaine dit encore : « Les expériences suffisent à montrer l'influence des remous, il y a donc intérêt à les utiliser et même à les créer ».

Le Capitaine Etévé a raison, mais ce qu'il appelle remous n'est pas exact. L'avant de l'aile recourbé dirige les filets d'air, et si, dans les environs de ces filets, il y a un mouvement ondulatoire, c'est que la moitié du distributeur est formée par les filets d'air restés immobiles.

Dans l'étude de ce distributeur moitié fluide élastique, moitié solide, nous devons étudier le choc d'un fluide élastique dans deux cas :

I. Le choc entre deux fluides élastiques qui se meuvent sous un angle quelconque;

II. Le choc d'un fluide élastique contre une paroi soit au repos, soit en mouvement.

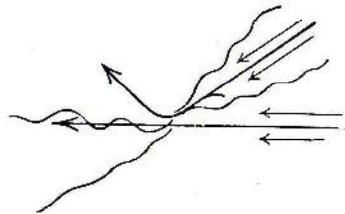


Fig. 3

Si nous considérons deux directions de fluides A et B, leur choc sera réglé par les lois du choc des corps élastiques. Si nous considérons le fluide heurté en le supposant divisé en lames d'égale épaisseur, la première lame est comprimée ; à cette compression succède une détente qui comprime la lame suivante, etc. C'est-à-dire qu'on a la propagation d'un mouvement ondulatoire dans le sens du choc. Pour le fluide qui produit le choc, le même phénomène a lieu, mais le mouvement ondulatoire se propage en sens inverse.

La compression se fait adiabatiquement et pour la masse du fluide qui produit le choc; la perturbation de son mouvement peut être étudiée à l'aide des équations générales relatives au mouvement troublé des fluides élastiques.

Ce fluide, au moment du choc, subit une diminution d'énergie cinétique.

Cette diminution est d'autant plus grande que l'angle est plus grand et que les fluides ont d'avance un mouvement ondulatoire propre.

(1) Dans la *Technique Aéronautique*, T. I., n° 7.

Le choc d'un fluide élastique sur une paroi produira la déformation de la veine du fluide qui s'écoulera en s'élargissant et en se comprimant contre cette surface. Les chocs et les frottements intérieurs du fluide empêcheront la détente qui suivra la compression ou du moins de se faire comme elle, et dans les mêmes conditions.

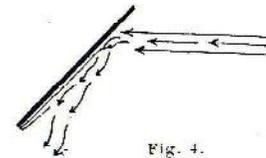


Fig. 4

Ce travail de compression et de détente est proportionnel à l'angle que la veine du fluide fait avec la paroi.

Maintenant que nous avons étudié les chocs des fluides, examinons un peu l'écoulement de l'air.

Les études sur l'écoulement de l'air ont été faites par Weisbach en 1856, par Zeuner en 1871, par Fliegner, Hirn en 1874 et enfin les plus récentes par Zeuner en 1897.

En exprimant les pressions et les vitesses en fonction de sections de la tuyère, en considérant que l'écoulement est adiabatique, nous trouvons par la formule de Saint-Venant que le rapport de la section finale par la section de commencement est proportionnel à l'inverse du rapport des pressions

$$\text{si } \frac{P_1}{P_2} = 3 \quad \frac{S_1}{S_2} = 1,35 \quad \text{et si } \frac{P_1}{P_2} = 20 \quad \frac{S_1}{S_2} = 2,91 \text{ pour } P_2 = 1$$

En représentant graphiquement les résultats ainsi obtenus, en prenant comme ordonnée  $\frac{S_1}{S_2}$  et comme abscisse  $\frac{P_1}{P_2}$  nous obtenons une droite AB, si nous la comparons à celle de la vapeur AB il résulte que pour l'air nous avons besoin de tuyères plus courtes.

Les pertes dues au mouvement ondulatoire produit par le choc exigent

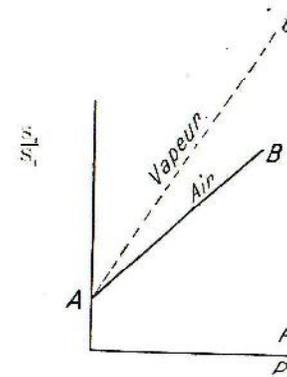


Fig. 5.

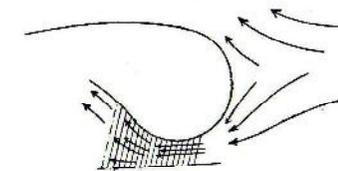


Fig. 6.

des dimensions absolument réduites des parties où les chocs se produisent. D'autre part, les lois de l'écoulement de l'air demandent des dimensions réduites des tuyères. De là, il résulte que nous travaillons dans des conditions

s'harmonisant parfaitement. Passons maintenant à la construction de notre distributeur. L'une des parois formée par le fluide ambiant a une direction donnée ; l'autre, celle formée par l'aile, est celle que nous devons construire.

Pour permettre aux filets d'air de venir frapper notre distributeur sans

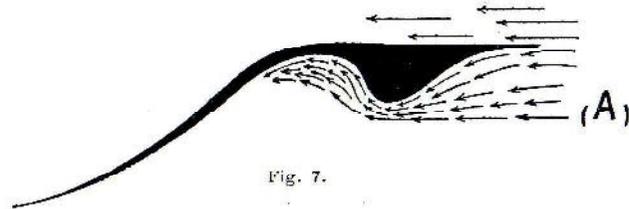


Fig. 7.

produire de choc, il serait peut-être préférable d'avoir à l'avant une sorte de pointe (a) et la forme ci-contre pourrait donner d'excellents résultats en amenant les filets d'air, sans choc, au point de compression.

Mais, pour une variation quelconque de la direction du mouvement, les filets d'air se choqueraient maintenant à cette pointe et produiraient un mouvement ondulatoire qui nuirait à la sustentation de l'appareil juste au moment où, par l'augmentation de l'angle d'incidence, on voudrait pouvoir s'élever.

Pour parer à cet inconvénient une surface hémicylindrique est nécessaire. L'arrière de ce distributeur doit diriger les filets d'air, afin que sans choc ils frappent notre aube. Le meilleur rendement pour une vitesse de 10 à 12 mètres par seconde est donné par un angle de 25°. La pression du jet d'air variera suivant les rayons de la courbure de la paroi de l'aube. Par suite de la courbure, le fluide se comprimera en diminuant de vitesse pour se détendre à nouveau ; et, il regagnerait la vitesse primitive s'il n'y avait pas de pertes, c'est-à-dire si la compression et la détente consécutives se faisaient suivant la même courbure. Le point de vitesse minima se trouve d'autant plus à l'avant que la pression initiale était plus grande d'où la conclusion d'une aube de dimensions variables.

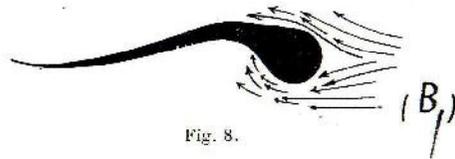


Fig. 8.

Passons au diffuseur, sa direction est déterminée par *ab* la direction de la veine, et *ac*, la direction du mouvement du fluide ambiant. La résultante variera avec la vitesse et s'approchera de *ca*. De là une flexibilité dans le diffuseur, qui devait être relié d'une manière flexible avec une partie de l'aube et ainsi réduire avec la vitesse, donc avec la pression, les dimensions de l'aube.

En étudiant l'aile d'un oiseau, nous trouvons toutes ces parties.

L'arrière très flexible, et seulement l'avant rigide.

De toutes ces considérations, il résulte qu'il est faux de croire que l'avenir est aux ailes parfaitement planes.

Dans les appareils les plus rapides, ces trois parties resteront, mais leurs

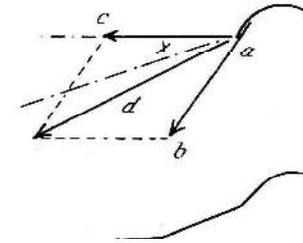


Fig. 9.

dimensions seront réduites et c'est seulement de cette façon que nous pourrions réduire les surfaces portantes sans risque pour le planement.

Mes expériences à ce sujet ont été confirmées par la pratique. En vérité, les appareils qui portent le plus par m<sup>2</sup> de surface sont ceux de Blériot, dans lesquels on a donné une courbure aux ailes, copiée sur la courbure des ailes des oiseaux rapides, et, pour en expliquer le meilleur rendement on a admis la formule  $KSV^2 \sin \alpha$  que l'on a multipliée par un coefficient fonction de la forme qui n'est qu'un coefficient d'ignorance.



Fig. 10.

Il se peut que des ailes ainsi construites donnent un assez bon rendement. On pourrait les appeler des ailes à réactions étagées.

De toutes ces considérations, il résulte :

1° L'avantage de la grande envergure, car comme à cause de la résistance à l'avancement, nous sommes obligés de nous maintenir dans des limites plutôt restreintes en ce qui concerne les dimensions de la grosseur du diffuseur, pour augmenter le nombre des filets d'air, il faut augmenter l'envergure ;

2° La profondeur de l'aile est déterminée pour une certaine vitesse et ne dépend pas de l'envergure. Pour les vitesses actuellement acquises la profondeur peut varier de 2 m. 20 à 4 m. 10. Pour des vitesses plus grandes, 150 kilomètres à l'heure, la profondeur sera dans les environs de 50 cm. ;

3° Il est avantageux de construire les ailes en bois très poli ou en acier.

4° La loi de l'incidence du sinus ou du sinus carré n'existe pas pour des surfaces courbes.

3° Le principe de la relativité est mis en doute, car les filets d'air gagnent une force vive qui modifie leur réaction.

Pour arriver aux résultats dont j'expose ici sommairement la théorie, j'ai fait une série d'expériences sur les surfaces de formes variées.

Les appareils qui m'ont permis de faire ces expériences sont des *dynamomètres* enregistreurs. Je tâcherai en quelques mots de vous faire l'essais de ces anémomètres et de leur fonctionnement. J'ai décomposé toutes les réactions qui s'exercent sur nos surfaces portantes d'après deux directions correspondant à ce qu'on appelle la *trainée* et la *poussée* d'une surface.

Ces deux effets sont normaux l'un à l'autre. Si la résultante des réactions ne se trouve pas exactement au point où le plan d'essai est fixé à l'appareil enregistreur, il se produit un couple, lequel peut être négatif ou positif et grâce à lui, je détermine le point d'origine de la réaction que j'appellerai, comme tout le monde, centre de poussée. Comme la surface que j'essayais était fixée à droite et à gauche, la différence des diagrammes que j'aurais enregistré à droite et à gauche me permet d'étudier d'une façon précise l'effet des variations de vitesse dans un virage ou l'effet produit par des remous de l'air.

En envisageant toutes les solutions que je demandais à mon appareil, j'ai été amené à le construire de la façon suivante :

Pour mesurer la trainée, j'ai fixé mon appareil à un axe horizontal lequel pouvait en se déplaçant enregistrer son mouvement sur un tambour d'axe horizontal dont le mouvement de rotation me donnait le chemin parcouru dans un temps déterminé, c'est-à-dire la vitesse des filets d'air.

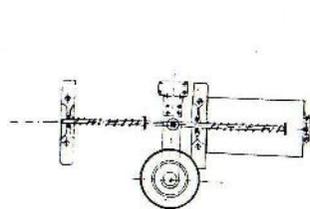


Fig. 11. — Ecrin pour fixer la surface d'essai en haut; tambour horizontal (à droite) tambour vertical (en bas).

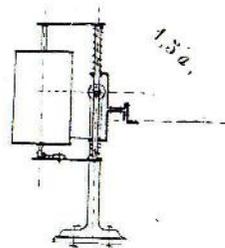


Fig. 12. — Tambour vertical et axe vertical.

Comme cette vitesse variait, un anémomètre à hélice monté à la cardan, m'indiquait la vitesse propre du vent et sa direction effective; à chaque kilomètre parcouru, un enregistreur électrique l'indiquait sur le diagramme. En faisant varier les angles d'incidence de mes surfaces d'essai, je pouvais ainsi établir quel est le travail nécessaire et par conséquent quel est le travail à de-

mander au moteur pour pouvoir donner la même vitesse dans les mêmes conditions.

De la même manière j'enregistre la force portante de mes surfaces sur un tambour à axe vertical se déplaçant horizontalement.

En comparant les deux diagrammes de trainée et de poussée je pouvais me rendre compte du rendement de chaque surface, c'est-à-dire de la puissance nécessaire pour pouvoir parcourir avec une certaine vitesse un chemin déterminé et portant le plus de kgs par m<sup>2</sup>.

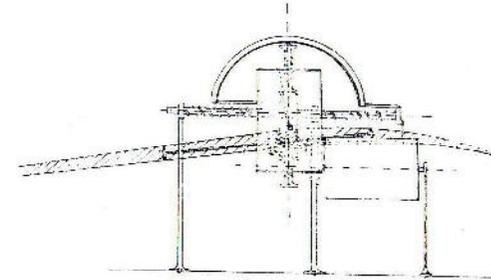


Fig. 13. — Cadran de mesure du couple (en haut); tambours vertical et horizontal; derrière le tambour vertical se projette la vis sans fin avec la surface d'essai (hachurée).

Pour travailler dans les meilleures conditions il fallait qu'à chaque instant et pour chaque nouvelle incidence donnée à mes plans, l'intersection de mes deux axes poussée verticale, poussée horizontale, se trouve au centre de pression. De plus, il fallait que l'appareil qui enregistrerait les réactions verticales fut de poids 0 c'est-à-dire porté par un ressort.

En comparant pour un instant bien déterminé la réaction verticale et la réaction horizontale je trouve la direction totale de la réaction de l'air et ainsi par des points successifs, j'ai pu établir la courbe métacentrique des centres de pression pour chaque forme de surface.

En faisant varier les matières dont étaient construites les surfaces portantes, et en prenant comme base de frottement 0 des lames d'acier émaillé, j'établissais le frottement de chaque matière avec l'air, et son influence sur la trainée, sur la poussée, et sur la direction totale de la réaction.

Je disais plus haut qu'il était nécessaire d'être toujours au centre de pression. Pour résoudre cette partie du problème, je fixais mes surfaces à mon appareil par l'intermédiaire d'une vis sans fin. Cette vis était à son tour reliée aux deux axes par une partie cylindrique d'axe normal aux deux autres directions et fixée à ces dernières par huit ressorts. Quand, dans notre surface, se produisait un couple soit redresseur, soit inclinant, ce cylindre par sa rotation m'indiquait sur un arc de cercle la direction et la grandeur du couple. En faisant tourner la vis sans fin le couple diminuait jusqu'à ce que nous nous trouvions exactement au centre de pression. Pour mesurer les effets du remous, c'est-à-dire pour permettre aux enregistreurs de gauche d'enregistrer différemment de ceux de droite, j'ai réglé un mouvement de rotation d'axe vertical

autour du centre du plan. Ceci en faisant rouler mes appareils de droite et de gauche sur un arc de cercle.

Tous les mouvements de mon appareil sont facilités par des roulements à bille et sur galets.

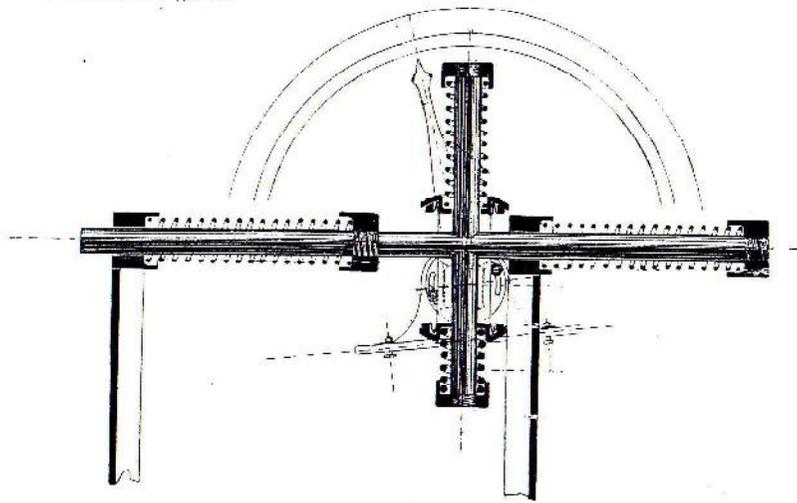


Fig. 11. — Cadrans pour mesurer le couple (en haut) ; pièce cylindrique (au centre) ; vis sans fin (en bas) pour faire avancer ou reculer la surface d'essai.

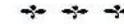
Encore deux mots sur les hélices. Une hélice peut être considérée comme es ailes d'un moulin à vent d'un rendement déplorable, malgré leurs dimensions énormes. Il faudrait à l'avant et à l'arrière un distributeur et un diffuseur fixe, puisque les filets d'air ne varient pas seulement de pression avec la vitesse, mais encore de direction.

Pour nous rendre compte de la véritable traction d'une hélice, il faudrait lorsqu'on la fait tourner au point fixe lui chasser un courant d'air égal et de sens contraire à la vitesse de l'appareil pour lequel elle est destinée. On verrait ainsi des résultats vraiment regrettables et il faudrait diminuer de 60 0/0 au moins le rendement de nos hélices essayées avant au point fixe. Cette diminution est d'autant plus grande que l'appareil est bien conçu et bon projectile. Si nous dirigeons nos travaux du côté de la turbo-hélice à distributeur et diffuseur fixes nous arriverons à construire des hélices d'un très grand nombre de pales d'un diamètre très réduit variant entre 30 et 60 cm., tournant dans les environs de 3 000 tours. Ces hélices donneraient un rendement supérieur à celles qu'on emploie actuellement.

Je n'ose encore me prononcer définitivement sur leur forme, mes expériences à ce sujet n'étant pas encore terminées. J'espère pourtant que bientôt je pourrai recommencer mes expériences à la C<sup>ie</sup> du Nord qui a si gracieusement mis à ma disposition un train fonctionnant entre Paris et Saint-Quentin.

HENRI COANDA.  
Ingénieur-constructeur.

## TRAVAUX ET MÉMOIRES



### Recherches expérimentales sur la résistance de l'air exécutées à la Tour Eiffel

Du mémoire de M. G. Eiffel, qui vient d'être publié sous ce titre (1), nous extrayons, ci-dessous, les conclusions finales qui donnent une idée de l'importance et de l'étendue des résultats obtenus. On trouvera dans le mémoire original, dont nous avons tenu à respecter le texte, les figures auxquelles il est fait allusion.

Résumons les résultats principaux que nous ont donnés nos expériences.

Nous avons vérifié que dans les limites de nos mesures, c'est-à-dire pour des vitesses comprises entre 18 et 40 m, la résistance de l'air est très sensiblement proportionnelle au carré de la vitesse. Dans la réalité, l'exposant de la vitesse paraît croître, pour les plaques, d'une façon continue, en passant par la valeur 2 pour une vitesse de 33 m environ; mais  $n$  reste assez voisin de 2 pour que nous puissions admettre cette proportionnalité.

Nous n'avons pas trouvé pour les coefficients de résistance, les valeurs élevées, atteignant 0,13, que certains expérimentateurs ont proposées, et qui sont encore admises par de nombreux ingénieurs. Il nous semble acquis, après les expériences que nous avons répétées dans des conditions assez différentes et qui conduisent à des nombres sensiblement égaux, que la résistance spécifique est comprise entre 0,07 et 0,08, à la température de 15° et à la pression de 760 mm. Cette dernière valeur paraît un maximum qu'atteignent seulement les plaques d'assez grande dimension.

Le tableau suivant donne, sous une forme condensée, nos résultats numériques moyens pour les plaques normales au vent.

	PLAQUES				
	de $\frac{1}{16}$ de m <sup>2</sup>	de $\frac{1}{8}$ de m <sup>2</sup>	de $\frac{1}{4}$ de m <sup>2</sup>	de $\frac{1}{2}$ de m <sup>2</sup>	de 1 m <sup>2</sup>
Cercle . . . . .	0,068	0,071	0,074	0,077	"
Carré . . . . .	0,070	0,073	0,075	0,077	0,079
Rectangle . . . . .	"	0,073	0,075	"	"
Rectangle allongé . . . . .	0,073	0,074	"	"	"

Un volume in-8° de 100 pages, accompagné de nombreux tableaux. — Librairie Aéronautique, Paris.