

060 96

BULLETIN
MENSUEL
DE LA
SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE
DU NORD DE LA FRANCE

paraissant le 15 de chaque mois.

38^e ANNÉE.

N^o 160. — SEPTEMBRE 1910.

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ :

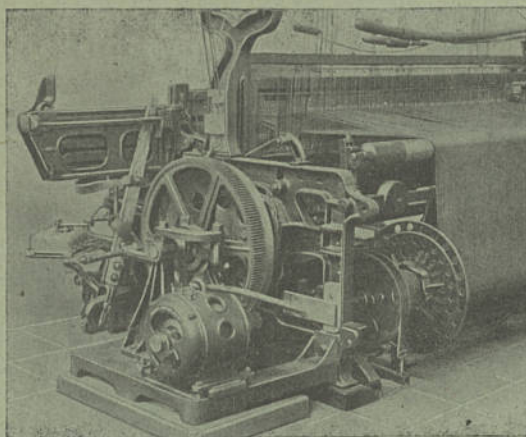
LILLE, rue de l'Hôpital-Militaire, 116, LILLE

LILLE
IMPRIMERIE L. DANIEL
1910

La Société Industrielle prie MM. les Directeurs d'ouvrages périodiques, qui font des emprunts à son Bulletin, de vouloir bien en indiquer l'origine.

FABIUS HENRION NANCY

Génératrices et Moteurs
à Courant Continu et à Courants Alternatifs.



Moteurs spéciaux pour Filatures et Tissages.

INSTALLATIONS COMPLÈTES

de Stations centrales et Réseaux de distribution d'Éclairage
et de Transport de force dans les Usines et les Mines.

APPAREILLAGE
TRANSFORMATEURS

LAMPES A ARC

CHARBONS A LUMIÈRE

LAMPES A INCANDESCENCE

LAMPE **OSMINE**

BALAIS POUR DYNAMOS

FILS ET CABLES.

CASE

A

LOUER

MAISON FONDÉE EN 1847

CONSTRUCTION SPÉCIALE
D'APPAREILS DE SURETÉ
Pour Chaudières à Vapeur

LES SUCCESSEURS DE
LETHUILLIER - PINEL
INGÉNIEURS-MECANICIENS
ROUEN

Adresse Télégraphique : **LETHUILLIER-PINEL ROUEN**
Téléphone 20.71.

INDICATEURS MAGNÉTIQUES du niveau de l'eau :

1° VERTICAUX ;

2° HORIZONTAUX avec cadran circulaire ramené à l'avant du générateur.

SOUPAPES DE SURETÉ chargées par ressorts pour chaudières marines et locomotives.

VALVES, ROBINETS A SOUPAPE pour vapeur.

CLAPETS AUTOMATIQUES D'ARRÊT fonte et acier moulé, pour conduites de vapeur.

CLAPETS DE RETENUE d'alimentation.

NIVEAUX D'EAU perfectionnés.

EXTRACTEURS de vapeur condensée.

MANOMÈTRES et INDICATEURS du vide.

SIFFLETS d'APPEL, INJECTEURS.

SOUPAPES DE SURETÉ à échappement progressif, à dégagement libre et à dégagement latéral.

ROBINETS A SOUPAPE SPÉCIAUX combinés avec clapets automatiques d'arrêt, RÉGULATEURS automatique du niveau de l'eau.

SOUPAPES de SURETÉ dites de RETOUR d'EAU pour conduites d'alimentation.

ROBINETS VANNES à passage direct.

ROBINETS à garniture d'amiante.

DÉTENDEURS de VAPEUR.

Indicateurs Dynamométriques.

Élévateurs. Réchauffeurs.

Bouchons Fusibles.

Paratonnerres.

Robinetterie.

ROBINETS et VALVES en ACIER MOULÉ pour toutes pressions

ROBINETTERIE SPÉCIALE POUR VAPEUR SURCHAUFFÉE

ENVOI FRANCO DU CATALOGUE SUR DEMANDE

Représentant pour le NORD :
A. GAUCHET, Ingénieur, 27, rue Brûle-Maison, LILLE

Adresse Télégraphique : **GAUCHET, Ingénieur, LILLE**

Téléphone 9.52

SOMMAIRE DU BULLETIN N° 160.

	Pages.
1 ^{re} PARTIE. — TRAVAUX DES MEMBRES :	
M. ALEXANDRE SÉE. — L'aviation et ses lois expérimentales (<i>suite</i>).	
Chapitre III.....	559
Chapitre IV.....	583
2 ^e PARTIE. — DOCUMENTS DIVERS :	
Listes des travaux et mémoires parus dans les bulletins depuis l'origine	617

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE du Nord de la France

Déclarée d'utilité publique par décret du 12 août 1874.

BULLETIN MENSUEL N° 160

38^e ANNÉE. — SEPTEMBRE 1910.

PREMIÈRE PARTIE. — TRAVAUX DES MEMBRES

L'AVIATION ET SES LOIS EXPÉRIMENTALES

Par M. ALEXANDRE SÉE,
ancien élève de l'École Polytechnique.

(Suite)

CHAPITRE III.

LES LOIS DE LA RÉSTANCE DE L'AIR (suite).

Loi des plans minces pour l'attaque oblique. — Fonction de l'angle d'incidence. — Influence de l'allongement. — Direction de la réaction. — L'auto-rotation. — Expression des composantes de la poussée.

LOI DES PLANS MINCES POUR L'ATTAQUE OBLIQUE.

Lorsque le plan mince se déplace obliquement, en faisant avec la direction du mouvement un certain angle i appelé angle d'incidence

ou angle d'attaque (1), il y a lieu d'examiner les deux dernières lois formulées par Newton, savoir :

1^o *La résistance est normale au plan.* — Cette loi est seulement approchée ; nous l'admettons provisoirement comme première approximation ; nous y reviendrons ci-après.

2^o *La résistance est proportionnelle au carré du sinus de l'angle d'incidence.* — Cette loi est complètement inexacte, et n'a aucun rapport même lointain avec la réalité.

Elle conduit à écrire la résistance sous la forme :

$$R = KSV^2 \text{ Sin}^2 i.$$

FONCTION DE L'ANGLE D'INCIDENCE.

D'une manière générale, si la résistance orthogonale est exprimée par la formule

$$R_{90^0} = KSV^2,$$

on peut mettre la résistance dans l'attaque oblique sous la forme :

$$R_i = KSV^2 f(i)$$

$f(i)$ étant une fonction de l'angle d'attaque i .

D'où :

$$\frac{R_i}{R_{90^0}} = f(i).$$

La fonction $f(i)$ représente la variation de la résistance, lorsqu'on change l'inclinaison du plan. On admet, bien que ce ne soit pas certain, que $f(i)$ n'est fonction que de i et ne dépend pas de S ni de V .

(1) Il ne faut pas confondre l'angle d'attaque avec l'angle d'incidence du bord d'attaque, lequel n'a pas d'intérêt en aviation. Dans le cas d'un plan il n'y a pas de confusion possible ; dans le cas d'une surface arquée nous définirons plus loin ce qu'on appelle l'angle d'attaque.

Nous commencerons par examiner ce qui se passe pour un plan carré ; nous verrons ensuite que la fonction $f(i)$ n'est pas la même pour un plan allongé en forme de rectangle.

On a admis longtemps que la fonction $f(i)$ était de la forme $\sin^2 i$. Faute d'expériences précises, on se contentait d'un raisonnement théorique dû à Newton.

Voici ce raisonnement, qui est très tentant et que la plupart des théoriciens ne manquent pas de faire quand ils commencent à aborder la question.

Soit un plan A (fig. 33) qui se déplace à la vitesse V , sous l'angle d'attaque i . Le mouvement peut être considéré comme étant la

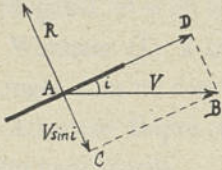


FIG. 33.
Attaque oblique.

résultante de deux mouvements, l'un orthogonal de vitesse AC , l'autre tangentiel de vitesse AD . Le mouvement tangentiel AD ne produit « évidemment » aucune réaction normale, et peut être négligé ; tout se passe donc comme si le plan n'était animé que d'un mouvement orthogonal de vitesse

AC , auquel on applique la loi :

$$R = K. S. \overline{AC}^2$$

et, comme $AC = V \sin i$:

$$R = KSV^2 \sin^2 i.$$

Si cette loi était exacte, la sustentation oblique exigerait plus de travail que la sustentation orthogonale.

En effet, nous avons vu que la sustentation orthogonale exige, par unité de poids et par seconde, un travail $\frac{T}{P}$ exprimé par V , V étant la vitesse de refoulement nécessaire à la sustentation ; et, comme on a $P = KSV^2$, on tire : $\frac{T}{P} = V = \sqrt{\frac{P}{KS}}$.

Dans la sustentation oblique (fig. 34), le corps est soutenu par la composante verticale P de la réaction R ; le travail à effectuer consiste à vaincre la composante retardatrice F , et s'exprime par FV . On aurait, d'après la loi du sinus carré :

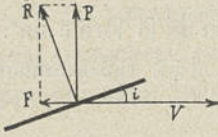


FIG. 34.
Sustentation oblique.

$$R = KSV^2 \sin^2 i$$

$$P = R \cos i$$

$$F = R \sin i.$$

Le travail T par seconde serait :

$$T = FV$$

En éliminant R , V et F on trouve facilement :

$$T^2 = \frac{P^3}{KS \cos^3 i}$$

Et pour le travail par unité de poids $\frac{T}{P}$:

$$\frac{T}{P} = \sqrt{\frac{P}{KS}} \frac{1}{\sqrt{\cos i}}$$

On voit que le travail est le produit de 2 termes, l'un égal au travail dans la sustentation orthogonale, l'autre qui contient un cosinus en dénominateur, et est par conséquent plus grand que l'unité. Le travail est toujours plus grand que le travail dans la sustentation orthogonale, mais il se rapproche indéfiniment de ce dernier quand $\cos i$ tend vers 1, c'est-à-dire quand l'angle d'attaque devient infiniment petit.

Mais il faut en outre considérer que la translation de plus en plus rapide nécessite un travail de pénétration qui va en croissant quand l'angle d'attaque diminue.

En résumé, la sustentation oblique serait donc désavantageuse.

Or, ce résultat est contredit par les faits ; les oiseaux dépensent visiblement moins de travail quand ils ont acquis une certaine vitesse que pendant l'essor ; les planeurs sans moteur ont une vitesse verticale de chute beaucoup moins grande lorsqu'ils sont animés d'une vitesse de translation que lorsqu'ils tombent verticalement.

Le raisonnement qui aboutit à la loi du sinus carré est faux, en ce qu'il ne tient pas compte du mode d'écoulement de l'air ; ce n'est pas précisément la décomposition de la vitesse qui est illégitime, c'est le fait de négliger la composante tangentielle et de croire qu'elle n'influe pas sur le phénomène. Elle change au contraire du tout au tout le mode d'écoulement de l'air. Il y a longtemps que Maxim a remarqué que si on considère un plan placé dans un courant d'air orthogonal, et si on le déplace dans son plan, la pression augmente.

Wenham (1) a constaté le même phénomène pour une plaque plongée dans un courant d'eau.

Athanase Dupré (2) et Poul la Cour (3) ont eux aussi remarqué cette particularité.

Riabouchinsky (4) a fait des expériences qui mettent le phénomène en évidence. Il a pris un double secteur plat découpé dans un disque (qu'on se figure une hélice à deux branches dont le pas serait nul), et pouvant tourner autour de son axe.

Il a mesuré la résistance éprouvée par ce secteur dans un courant d'air parallèle à l'axe, d'abord quand le secteur était au repos, ensuite en le faisant tourner dans son propre plan, autour de son axe, ce qui ne changeait pas la composante normale de la vitesse relative. Il a trouvé que la pression croissait très rapidement avec la rotation du secteur, et qu'elle finissait par se rapprocher beaucoup de la pression qui s'exercerait sur un disque plein.

L'angle au centre du secteur était de 18° , la surface des deux ailes

(1) Wenham, *on aerial locomotion*, Aeronautical Society, 1866.

(2) Athanase Dupré, *Théorie mécanique de la chaleur*, 1869.

(3) Poul la Cour, *Försög med smoa Möllenmodeller*, Ingeniören, 1897.

(4) *Bull. Institut aérodyn. de Koutchino*, fasc. I, 1906.

était donc $1/10$ du cercle total. Le diamètre était $0^m,30$. Voici les résultats obtenus dans un courant d'air de 3^m par seconde, pour différentes vitesses de rotation du secteur, ainsi que pour le secteur en repos.

NOMBRE DE TOURS du secteur PAR SECONDE	PRESSIION	RAPPORT DE LA PRESSION avec CELLE DU SECTEUR AU REPOS
0,0	0,0062	1
3,0	0,0085	1,37
3,4	0,0094	1,52
3,5	0,0096	1,55
4,1	0,0110	1,77
4,2	0,0113	1,82
4,3	0,0114	1,84
4,7	0,0133	2,15
5,0	0,0135	2,20
5,1	0,0140	2,26
5,1	0,0144	2,32
5,2	0,0144	2,32
5,3	0,0155	2,5
5,4	0,0155	2,5
6,6	0,0213	3,4
7,4	0,0253	4,1
8,6	0,0266	4,3
9,6	0,0317	5,1
9,9	0,0325	5,2
12,6	0,0380	6,1
14,3	0,0432	6,9
15,2	0,0431	7,0
18,9	0,0470	7,6
20,0	0,0452	7,3
21,3	0,0486	7,8
22,7	0,0497	8,0
24,4	0,0508	8,2
25,8	0,0528	8,5
29,9	0,0539	8,7
31,4	0,0542	8,8
38,9	0,0604	9,8

Si on représente ces résultats par une courbe, on trouve que la courbe paraît tendre vers la valeur qui représente la pression sur le disque plein (fig. 35).

Ainsi la pression devient dix fois plus forte que sur le secteur au repos par le fait de son déplacement tangentiel.

En prenant des secteurs d'angle plus grand ou plus petit, on tend

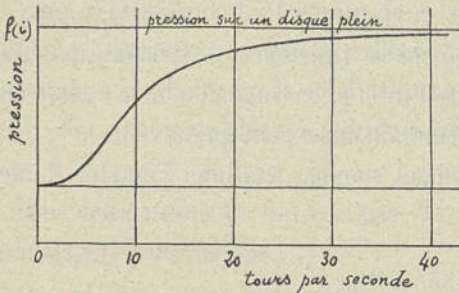


FIG. 35. — Pression sur un secteur en rotation.

toujours vers la pression du disque plein, de sorte qu'avec de petits secteurs, l'augmentation de pression est relativement encore plus grande (avec un secteur de $11^{\circ} \frac{1}{4}$ la pression s'est accrue dans le rapport de 4 à 13).

L'inexactitude de la loi du sinus carré étant reconnue, on a cherché à lui substituer d'autres formes de la loi, et tout d'abord la loi du sinus simple :

$$f(i) = \text{Sin } i.$$

D'où :

$$R_i = KSV^2 \text{ Sin } i.$$

Sans être exacte, cette loi, proposée par Von Lössl (1), commence à se rapprocher de la réalité.

Si on cherche, en partant de cette loi, le travail nécessaire à la sustentation oblique; on a (voir fig. 34) :

$$R = KSV^2 \text{ Sin } i$$

$$P = R \text{ Cos } i$$

$$F = R \text{ Sin } i$$

$$T = F V.$$

Eliminant R, V et F, on trouve :

$$\frac{T}{P} = \sqrt{\frac{P}{KS}} \frac{\sqrt{\text{Sin } i}}{\sqrt[3]{\text{cos } i}}$$

(1) Von Lössl, *Die Luftwiderstandsgesetz*, Vienne, 1876.

Le travail unitaire est le produit de deux termes dont l'un est toujours égal au travail dans l'attaque orthogonale, mais dont l'autre tend vers zéro avec i ; de sorte que le travail tend vers zéro quand l'angle d'attaque diminue, c'est-à-dire quand la vitesse augmente, fait conforme à l'expérience.

Et s'il n'y avait pas à vaincre la résistance de pénétration qui croît avec la vitesse, on pourrait dire qu'en augmentant la vitesse on peut rendre le travail de sustentation aussi petit qu'on veut.

On peut, par un raisonnement simple, légitimer l'emploi d'une formule telle que :

$$f(i) = \text{Sin } i$$

au moins pour les très petits angles, et sous réserve de choisir convenablement le coefficient K à introduire ensuite dans la formule de la résistance.

En effet, la fonction $f(i)$, qui s'annule pour $i = 0$, peut toujours se développer en série suivant les puissances entières de i ou d'une fonction quelconque de i s'annulant pour $i = 0$, le sinus, par exemple. On peut donc écrire :

$$f(i) = a \text{ Sin } i + b \text{ Sin}^2 i + c \text{ Sin}^3 i + \dots$$

et pour les petits angles, les termes autres que le premier devenant négligeables, il reste :

$$f(i) = a \text{ Sin } i$$

d'où pour la formule de la résistance :

$$R = Ka SV^2 \text{ Sin } i.$$

C'est bien la loi du sinus; mais le coefficient K est devenu un autre coefficient Ka différent de K , et qui ne serait le même que si a était égal à 1, ce qui serait un effet du hasard. Telle est la raison pour

laquelle la loi du sinus, qu'on applique souvent en pratique, pour les petits angles, à cause de sa simplicité, a brouillé les idées de beaucoup de personnes sur le coefficient K , et leur a fait croire que la valeur de ce coefficient était tantôt 0,07, tantôt dix fois plus; c'est parce qu'elles négligeaient d'introduire dans la formule du sinus un coefficient a qu'elles supposaient a priori être égal à l'unité. Cette hypothèse venait du désir d'étendre la loi du sinus à tous les angles jusqu'à 90° ; et en effet, pour qu'elle soit exacte pour $i = 90^\circ$, il faut qu'on ait $a = 1$.

Mais cette extension ne doit pas être faite, la loi du sinus étant spéciale aux petits angles.

On peut remarquer, en passant, que la loi du sinus carré serait une anomalie, en ce qu'elle exigerait que, dans le développement en série, le premier terme en $\sin i$ disparaisse, a se trouvant égal à zéro.

Pourtant, dans la formule de la résistance, la fonction de la vitesse, qui est V^2 , suppose bien aussi que l'on néglige le terme en V ; mais ce n'est légitime que parce que nous ne considérons pas les très petites vitesses. Pour les vitesses de quelques centimètres par seconde, ainsi que nous l'avons dit, ce terme en V n'est pas négligeable et devient, au contraire, prépondérant.

On peut aussi, en développant $f(i)$ en série suivant les puissances de i :

$$f(i) = ai + bi^2 + ci^3 + \dots$$

aboutir pour les petits angles à la loi : $R_i = KSV^2i$.

Cette dernière loi est fréquemment employée en aviation, toujours à cause de sa simplicité; elle peut d'ailleurs se déduire de la loi du sinus en remarquant que, pour les petits angles, l'angle diffère très peu de son sinus, et que les deux formules sont pratiquement équivalentes jusqu'aux angles voisins de 45 degrés, c'est-à-dire pour les angles utilisés en aviation.

La loi du sinus n'est qu'une approximation valable pour les petits angles. On a cherché à établir une formule plus générale.

Le colonel Duchemin a donné, en 1842 (1), la formule suivante :

$$f(i) = \frac{2 \operatorname{Sin} i}{1 + \operatorname{Sin}^2 i}$$

qui, pour les petits angles, se réduit à $2 \sin i$.

On a généralement attaché à cette formule une importance qu'elle est loin d'avoir. Elle n'est pas basée sur des expériences, mais sur un raisonnement théorique plus que discutable pour les grands angles et certainement faux pour les petits angles ; de plus, l'auteur n'a fait aucune hypothèse sur la forme de sa surface, et n'a pas dit si c'était un carré, un rectangle ou toute autre figure. Il a ensuite soumis sa formule au contrôle de l'expérience et il déclare lui-même ceci : « Cette valeur est conforme à l'expérience depuis $i = 90^\circ$ jusqu'à $i = 45^\circ$, mais elle en diffère sensiblement, tantôt en plus, tantôt en moins, pour des angles d'incidence fort aigus. »

Duchemin, dans son ouvrage, constate que ni ses expériences, ni celles de Vince, de Bossut et de Langsdorff, qu'il rappelle, ne corroborent sa formule (2). Pour l'angle de 40° , l'écart est du simple au triple, et aucune vérification n'est mentionnée pour des angles inférieurs à 10° ; double raison pour ne pas appliquer la formule aux petits angles, ce qui serait une extrapolation. Les expériences plus récentes de Langley ont également abouti à des divergences notables avec la loi de Duchemin. La formule de Duchemin n'a probablement été prise en considération que parce que personne n'en proposait d'autre ; elle doit être absolument proscrite dans tous les calculs relatifs à l'aviation.

(1) Duchemin, *Recherches expérimentales sur les lois de la résistance des fluides*.

(2) A titre de curiosité, mentionnons que, pour rendre sa formule conforme aux expériences, Duchemin avait imaginé de lui appliquer un terme correctif et de l'écrire :

$$f(i) = \frac{2 \operatorname{Sin} i}{1 + \operatorname{Sin}^2 i} \left(1 - \frac{\operatorname{Sin} i \operatorname{Cos} i}{6,48} + \frac{\operatorname{Cos}^2 i}{3,52} \right)$$

Le colonel Renard (1), par la discussion des anciennes expériences de Vince, Hutton et Thibault, a été conduit à la formule :

$$f(i) = \text{Sin } i [a - (a - 1) \text{Sin}^2 i]$$

a étant un nombre plus grand que 1 et probablement égal à 2 ; dans ce dernier cas, la formule devient :

$$f(i) = \text{Sin } i [2 - \text{Sin}^2 i].$$

Beaucoup d'autres formules ont été proposées. Lord Rayleigh (2) a donné la suivante :

$$f(i) = \frac{2 \pi \text{Sin } i}{4 + \pi \text{Sin } i}$$

qui, *a priori*, ne peut convenir puisque pour $i = 90^\circ$ le second membre diffère de l'unité. Pour satisfaire à cette condition, Gerlach prit :

$$f(i) = \frac{(4 + \pi) \text{Sin } i}{4 + \pi \text{Sin } i}$$

formule qu'on emploie fréquemment en Angleterre et en Allemagne.

Dans les cours de l'Ecole d'application du Génie maritime, on a longtemps adopté la formule donnée par Joëssel, ingénieur de la marine, à la suite d'expériences faites dans la Loire à Indret :

$$f(i) = \frac{\text{Sin } i}{0,39 + 0,61 \text{Sin } i}$$

Indiquons encore les formules suivantes :

De Louvrié (3) :
$$\frac{2 (1 + \text{Cos } i) \text{Sin } i}{1 + \text{Cos } i + \text{Sin } i}$$

(1) Colonel Renard, *Revue de l'Aéronautique*, janv. 1889.

(2) Lord Rayleigh, *On the resistance of fluids*, Philos. mag. 1878.

(3) De Louvrié, *Revue de l'Aéronautique*, 1890.

Goupil : $2 \sin i - \sin^2 i$

Hutton : $\sin i^{(1,34 \cos i - 1)}$

Dorhardt et Thiesen : $\frac{2 \sin i}{1 + \sin i} \left(1 - \frac{0,62 \sin i}{1 + \sin i} \right)$

Weissbach : $\sin^4 i$.

Aucune de ces formules ne donne d'ailleurs satisfaction.

Les expériences les plus récentes et les plus précises, celles de Wright, Riabouchinsky, Eiffel et Rateau, ont mis en lumière un fait remarquable qui n'avait pas frappé les observateurs précédents, lesquels, s'ils l'avaient remarqué, l'avaient attribué à des erreurs d'expérience.

La courbe représentative de la fonction $f(i)$, partant de 0 pour $i = 0$, passe par un maximum voisin de 1 aux environs de 30° , puis redescend nettement aux environs de 40° , pour remonter ensuite à la valeur 1 pour 90° . Ce fait paraît avoir été établi pour la première fois par les frères Wright en 1901 ; M. Eiffel en 1907 (1), puis M. Riabouchinsky en 1909 (2) l'ont également constaté ; ne voulant pas, sans doute, considérer la chose comme certaine, ils ont simplement admis que la fonction de i reste, pour les grands angles, très voisine de l'unité.

M. Eiffel a proposé de la représenter, pour $i < 30^\circ$, par :

$$f(i) = \frac{i}{30}$$

(fonction qui devient égale à l'unité pour $i = 30^\circ$) ; puis, entre 30° et 90° , par :

$$f(i) = 1$$

(1) Eiffel, *Recherches expérimentales sur la résistance de l'air*, 1907.

(2) Riabouchinsky, *Bull. Institut aérodyn. de Koutchino*, fasc. II, 1909.

M. Riabouchinsky a proposé, dans le même esprit, pour $i < 45^{\circ}$:

$$f(i) = \text{Sin } 2 i$$

puis, entre 45° et 90° :

$$f(i) = 1$$

Ces diverses formules sont résumées dans le tableau ci-contre (fig. 36). On voit qu'aucune ne rend bien compte de la réalité.

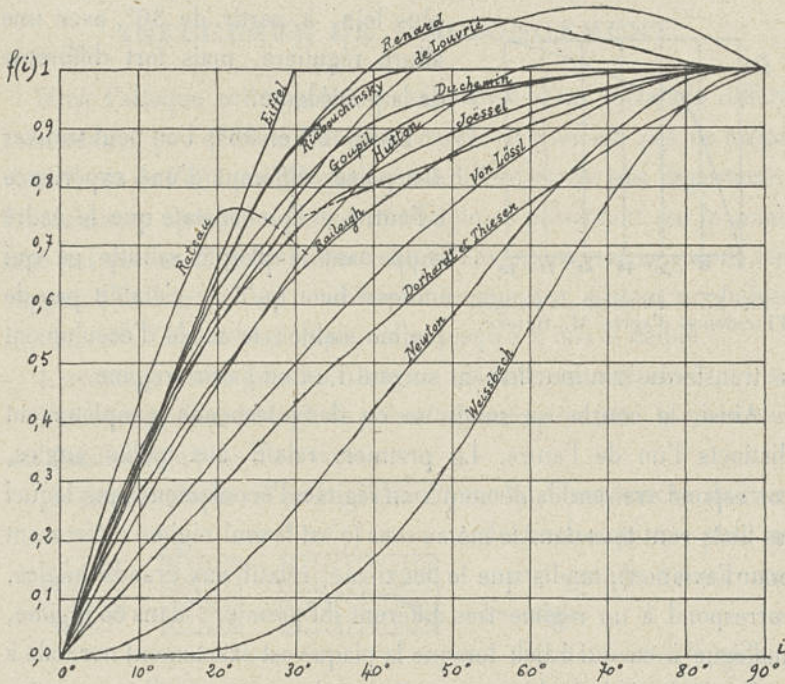


Fig. 36. — Diverses lois proposées pour la fonction de l'angle d'incidence.

C'est M. Râteau qui, en 1909 (1), grâce à sa méthode d'expérimentation plus précise que celle de ses devanciers, a indiqué la véritable allure du phénomène. Il a opéré sur un plaque plane de

(1) Râteau, *Aérophile*, 1^{er} août 1909, et *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, 26 juillet 1909.

300 × 500 (donc pas tout à fait carrée ; le bord d'attaque était un des grands côtés. Les résultats numériques ne sont donc pas absolument applicables à un plan carré, mais le sens du phénomène reste).

Pour les petits angles, jusqu'à 15 ou 20°, la pression est proportionnelle à l'angle d'incidence, ou, ce qui est à peu près la même chose, à son sinus.

A partir de l'angle de 20°, la courbe ne monte plus aussi rapidement, elle arrive même à redescendre (fig. 37).

Dans le voisinage de 30°, la courbe s'interrompt pour reprendre plus loin, à partir de 36°, avec une allure régulière, mais fort différente de la précédente.

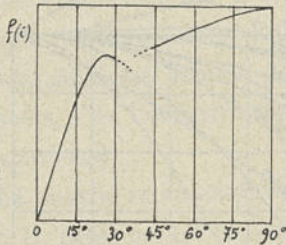


Fig. 37. — Fonction de l'angle d'incidence d'après M. Rateau.

Entre 29 et 36°, l'on peut trouver des points différant d'une expérience à l'autre, et l'on constate que le cadre supportant la plaque sautillante, ce qui indique bien qu'il ne s'établit pas de régime stable ; le mode d'écoulement

se transforme continuellement suivant l'un ou l'autre régime.

Ainsi, la courbe se subdivise en deux tronçons complètement distincts l'un de l'autre. Le premier, relatif aux petits angles, correspond vraisemblablement à un régime d'écoulement dans lequel les filets vont tous dans le même sens (c'est le seul régime intéressant pour l'aviation), tandis que le deuxième, relatif aux grands angles, correspond à un régime très différent du premier ; dans ce régime, analogue à ce qui a lieu lorsque la plaque est exactement normale à la direction générale du courant, il y a rebroussement d'une certaine quantité de filets d'air au bord antérieur de la plaque. Dans la région avoisinant la jonction des deux courbes, les régimes sont instables, ils se transforment facilement l'un dans l'autre.

« Ces résultats, dit M. Rateau, montrent que la continuité que, jusqu'à présent, on a supposée dans ces phénomènes, pour des inclinaisons croissantes de 0 à 90°, est complètement erronée ».

Il n'y a donc pas lieu de chercher à représenter le phénomène par

une formule unique valable de 0 à 90°; Eiffel et Riabouchinsky, qui ont proposé deux formules différentes, étaient dans la bonne voie. « Le principal défaut de notre formule, écrit Riabouchinsky, est qu'elle n'est pas continue. » Ce n'est pas un défaut, au contraire, c'est une preuve de clairvoyance.

Du reste, rien ne prouve qu'on puisse arriver à représenter convenablement le phénomène par des formules simples, même en employant deux formules.

INFLUENCE DE L'ALLONGEMENT

Dans l'attaque orthogonale, la résistance d'un rectangle diffère relativement peu de celle d'un plan carré; il n'en est pas de même dans le cas de l'attaque oblique, où la différence est très importante. La résistance éprouvée par un rectangle se présentant par le grand côté (tel que les ailes des oiseaux dont l'envergure est très grande par rapport à la largeur), est notablement augmentée, surtout aux faibles incidences; l'augmentation peut aller jusqu'à 2 fois et demie.

L'avantage d'une grande envergure est donc considérable.

Par contre, si le rectangle se présente par le petit côté, la résistance est diminuée de plus d'un tiers.

Ce fait s'explique, si on considère le mode d'écoulement de l'air, dont une partie plus ou moins grande s'écoule par les côtés.

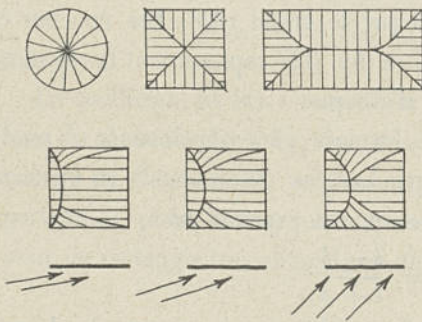


Fig. 38. — Mode d'écoulement des filets fluides, d'après Duchemin.

Duchemin a indiqué dans quel sens les filets d'eau s'écoulent à la rencontre d'une surface plane (fig. 38); pour l'air, le phénomène est analogue.

Dans l'attaque orthogonale, sur un cercle, l'écoulement est radial, ce qui est évident par raison de symétrie. Sur un

carré ou un rectangle, l'écoulement est perpendiculaire aux côtés, et les lignes de séparation se rapprochent des diagonales.

Dans l'attaque oblique, il y a une zone de rebroussement limitée par une ligne de séparation courbe; sur les côtés, l'air s'écoule obliquement suivant le trajet de moindre résistance.

On conçoit que, sur un rectangle allongé perpendiculairement au mouvement, ces zones d'écoulement latéral ont relativement moins d'importance, et que la pression moyenne doit augmenter.

M. Tatin a proposé de représenter l'influence de l'allongement par la formule $\sqrt{\frac{l}{h}}$, l et h étant les deux côtés du rectangle, et l le côté perpendiculaire au mouvement. Cette formule n'est pas acceptable, d'abord parce que la fonction augmenterait indéfiniment avec l , ce qui n'est pas conforme à la réalité, et ensuite parce qu'elle ne dépend pas de l'angle d'attaque, alors qu'il est constaté que l'influence de l'allongement est d'autant plus grande que l'angle d'attaque est plus petit.

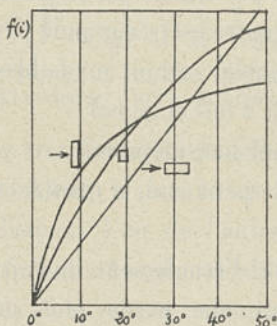


FIG. 39. — Influence de l'allongement d'après Langley.

Langley a fait des expériences sur trois plans de même superficie : un carré de 305×305 m/m, un rectangle de 152×610 attaquant l'air par le petit côté, et un rectangle de 422×762 attaquant l'air par le grand côté. Les courbes ci-contre (fig. 39) représentent la résistance

éprouvée aux différents angles d'attaque.

M. Soreau a indiqué une formule générale destinée à rendre compte des résultats trouvés par Langley. Si on appelle m un terme qui caractérise l'allongement et qui est exprimé par :

$$m = \frac{l - h}{l + h},$$

on remarque que $m = 0$ pour un plan carré, $m = +1$ pour un rectangle indéfiniment allongé dans le sens perpendiculaire au mouvement, et $m = -1$ pour un rectangle indéfiniment allongé dans le sens du mouvement.

La fonction de l'angle d'incidence i et de l'allongement m est exprimée par M. Soreau sous la forme suivante :

$$f(m, i) = \text{Sin } i \left[1 + \frac{1 - m \text{ tg } i}{(1 + m)^2 + \frac{2 m}{1 + m} \text{ tg } i + 2 \text{ tg}^2 i} \right]$$

Cette formule se réduit à celle de Duchemin pour $m = 0$, c'est-à-dire dans le cas du plan carré. Pour un plan très allongé, dans le sens du mouvement, elle se réduit à :

$$f(i) = \text{Sin } i$$

Pour un plan très allongé dans le sens perpendiculaire au mouvement, cas qui intéresse particulièrement l'aviation, elle devient :

$$f(i) = \text{Sin } i \left[1 + \frac{1 - \text{tg } i}{0,25 + \text{tg } i + 2 \text{ tg}^2 i} \right]$$

L'influence de l'allongement s'atténue progressivement lorsque l'angle d'attaque augmente, pour disparaître tout à fait dans l'attaque orthogonale, pour laquelle la fonction est égale à 1, quelque soit m .

Aux faibles angles d'attaque, on peut donner à la formule la forme approchée suivante :

$$f(m, i) = \text{Sin } i [1 + (1 + m)^2]$$

Le coefficient de $\text{Sin } i$ varie alors de 1 (plans très allongés dans le sens du mouvement) à 5 (plans très allongés dans le sens perpendiculaire au mouvement) en passant par 2 pour le plan carré. En particulier, pour le cas qui intéresse particulièrement l'aviation, et pour un rectangle très allongé, on obtient :

$$f(i) = 5 \text{ Sin } i$$

M. Soreau, dans son Mémoire intitulé : *Etat actuel et Avenir de l'Aviation (1909)*, a donné dans un tableau les valeurs du coefficient

de $\sin i$ pour divers allongements et pour divers angles d'attaque. Nous en extrayons ci-dessous quelques chiffres, indiquant le sens général de la loi.

i	$\frac{l}{h} = 1$	1,22	1,5	1,86	2,33	3	4	5,66	9	19	∞
	(carré) $m = 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0°	2	2,21	2,44	2,70	2,96	3,25	3,56	3,89	4,24	4,56	5
2°	2	2,20	2,40	2,62	2,85	3,09	3,34	3,57	3,84	4,10	4,36
4°	1,99	2,17	2,36	2,54	2,74	2,93	3,12	3,30	3,47	3,65	3,82
6°	1,98	2,14	2,30	2,46	2,62	2,77	2,91	3,06	3,16	3,27	3,37
8°	1,96	2,10	2,24	2,37	2,50	2,61	2,71	2,80	2,88	2,94	3
10°	1,94	2,07	2,19	2,29	2,38	2,46	2,53	2,59	2,63	2,67	2,69
12°	1,92	2,03	2,13	2,21	2,27	2,32	2,36	2,40	2,42	2,42	2,42

Coefficient d'influence de l'allongement.

Le graphique ci-contre montre comment varie le coefficient de $\sin i$ suivant l'allongement, pour les divers angles d'incidence.

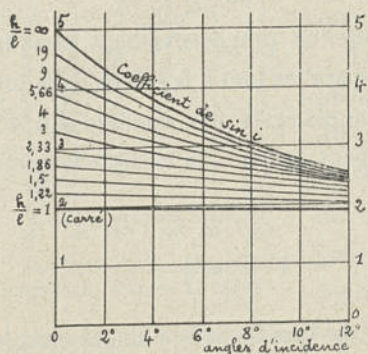


Fig. 40. — Coefficient d'influence de l'allongement.

On voit clairement l'avantage qu'il y a à adopter des plans sustentateurs allongés ; mais il n'y a pas avantage sérieux à augmenter l'allongement au-delà de 5 ou 6. D'ailleurs, dès que l'angle d'incidence dépasse 8°, l'influence de l'allongement ne se fait plus beaucoup sentir.

DIRECTION DE LA REACTION

Nous avons dit que la loi de Newton, énonçant que la réaction de l'air est normale au plan, n'était qu'approchée.

Il est vraisemblable que cette loi serait rigoureuse s'il n'y avait pas

de frottements. En effet, sans frottements on ne peut pas concevoir de pressions autres que des pressions normales. Supposons une pression AD sur un plan P (fig. 41). Si elle n'est pas normale, elle peut se décomposer en une pression normale AB et une force tangentielle AC . Cette dernière ne pourrait agir sur la surface P , puisque nous supposons le frottement nul ; elle n'agira donc que sur la masse des molécules d'air, et aura pour effet de modifier leur vitesse. L'action sur le plan se bornera à la seule composante normale AB .

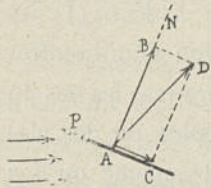


FIG. 41. — Réaction de l'air dans l'attaque oblique.

Mais les frottements existent ; à la pression normale AB va donc s'adjoindre une composante tangentielle AC plus ou moins grande, et dirigée dans le sens de l'écoulement de l'air. De sorte que la pression sera en définitive AD , résultante de AB et AC , légèrement oblique et située, semble-t-il, en arrière de la normale AN .

C'est ce qui a eu lieu, en effet, pour les petits angles d'attaque.

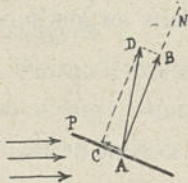


FIG. 42. — Réaction en avant de la normale.

Mais pour les grands angles d'attaque, il se passe exactement le contraire : la réaction AD est dirigée en avant de la normale AN , ce qui montre l'existence d'une composante AC dirigée en sens contraire du courant d'air.

Ce résultat, absolument paradoxal au premier abord, a été mis en évidence par les expériences faites à l'Institut de Koutchino, à propos des phénomènes dits *d'auto-rotation*.

L'auto-rotation. — L'auto-rotation a été découverte par Patrick Alexander, qui, au IV^e Congrès international d'Aérostation scientifique à Saint-Petersbourg, a montré l'expérience suivante : une planchette taillée en forme de demi-cylindre peut tourner librement autour d'un axe passant par son milieu. Il y a donc symétrie complète autour de cet axe. Lorsqu'on expose perpendiculairement au vent le côté plat de la planchette, elle reste donc immobile. Mais si on lui

imprime un mouvement de rotation, elle continue indéfiniment à tourner. Un phénomène analogue a été observé par Poul La Cour en 1897, sur un moulinet à ailes concaves mais symétriques exposées au vent sans inclinaison.

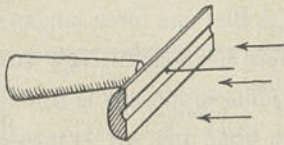


FIG. 43. — Expérience de Patrick Alexander.

M. Riabouchinsky a décrit (1) les expériences systématiques qu'il a entreprises en vue de déterminer les lois du phénomène. Il a constaté que des plaques minces planes sont soumises au même phénomène qu'il a appelé *l'auto-rotation*.

Ses expériences, faites dans le tube de 1^m20 de diamètre, ont porté sur des doubles secteurs, d'angle variable, découpés dans un cercle de 30 cm. de diamètre. On mesurait la vitesse de rotation prise par la plaque et la pression subie, ainsi que la vitesse du courant d'air. Pour éliminer les erreurs systématiques pouvant provenir d'une dissymétrie du modèle, on faisait sur chaque secteur quatre expériences, deux en tournant dans un sens, et deux dans l'autre sens.

Les résultats de ces expériences sont résumés dans les lois suivantes :

Lois de L'Auto-Rotation

1. Un secteur plan tournant librement autour d'un axe perpendiculaire à son plan, et frappé par un courant aérien parallèle à l'axe, continue à tourner lorsqu'il a reçu une impulsion initiale.

2. Un disque plein ne tourne pas.

3. Les vitesses de rotation sont proportionnelles à la vitesse du courant aérien.

4. La pression subie par le secteur en mouvement est plus grande qu'au repos.

(1) *Bull. de l'Institut de Koutchino*, fasc. 1, 1906.

5. La pression sur le secteur animé d'un mouvement d'auto-rotation est proportionnelle au carré de la vitesse du courant.

6. Les coefficients de rotation et de résistance passent par un maximum lorsque la somme des angles au centre du secteur est de 45° (deux secteurs de $22^\circ 1/2$).

La vitesse de rotation de la plaque étant proportionnelle à la vitesse du courant aérien, il en est de même pour la vitesse périphérique. Mais celle-ci peut dépasser de beaucoup la vitesse du courant aérien ; pour les secteurs de $22^\circ 1/2$, la vitesse périphérique a été égale à celle du courant multipliée par 2,8.

En expérimentant avec des secteurs de même angle mais de diamètres différents, on a constaté que les vitesses périphériques sont sensiblement constantes si la vitesse du courant d'air est la même.

Ainsi qu'il est naturel de s'y attendre, l'auto-rotation est d'autant plus énergique que les plaques expérimentées sont plus minces, la réaction sur la tranche de la plaque étant nuisible au phénomène.

Les expériences faites dans un courant d'eau ont révélé des lois analogues.

Puisqu'il existe une force qui entretient la rotation des secteurs, il est certain qu'une certaine masse d'air doit être refoulée dans une direction opposée à la rotation des branches du tourniquet. Effectivement,

si on place derrière le secteur un moulinet portant des ailes placées dans des plans contenant l'axe, ce moulinet se met à tourner en sens inverse du secteur.

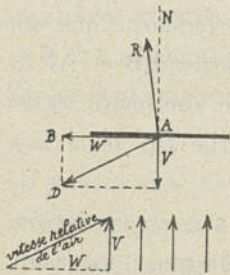


Fig. 44. — Réaction de l'air dans l'auto-rotation.

considérons la plaque A placée dans un courant d'air de vitesse V , et se mouvant à la vitesse $AB = W$ par auto-rotation (fig. 44). La vitesse relative de la plaque par rapport à

L'intérêt des phénomènes d'auto-rotation est qu'ils sont une démonstration directe et irréfutable de ce fait, que la réaction est dirigée en avant de la normale, au moins pour certains angles d'attaque. En effet,

l'air sera AD ; autrement dit, la plaque peut être considérée comme frappée par un courant d'air oblique ayant pour vitesse DA. La plaque continuant son mouvement dans le sens AB, il en résulte que la réaction AR de l'air sur la plaque doit nécessairement être inclinée du même côté que AB par rapport à la normale AN.



FIG. 45. — Ecoulement de l'air aux faibles incidences.

Effectivement, pour les petits angles, jusqu'à 10° environ, la réaction est en arrière de la normale.

Mais pour les angles plus grands, l'air se partage en deux parties, dont l'une rebrousse chemin pour passer en avant du bord d'attaque.

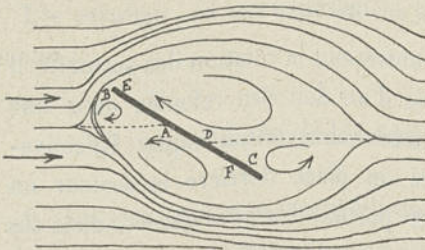


FIG. 46. — Ecoulement de l'air aux incidences plus grandes.

Il se crée à l'avant une proue d'air, et à l'arrière une poupe d'air, agitées de tourbillons, ainsi qu'il est représenté ci-contre (fig. 46). On remarque que, sur les parties EB et AF de la face antérieure, et sur la partie DB de la face postérieure, l'air au contact de la plaque circule en sens inverse de ce qu'on supposerait a priori ; d'autre part, on sait que les dépressions de la face postérieure constituent la part la plus importante de la réaction de l'air, et on remarque que la partie DB sur laquelle règne le contre-courant constitue la majeure partie de la face postérieure. On conçoit donc que, dans l'ensemble des réactions, ce soit cette dernière qui l'emporte, et que la résultante de toutes les forces de frottement soit dirigée dans le sens DE.

EXPRESSION DES COMPOSANTES DE LA POUSSÉE POUR UNE SURFACE PLANE.

Nous supposons l'angle d'attaque i très petit, et nous allons chercher à exprimer par des formules aussi rapprochées que possible les composantes H et F de la poussée prises normalement et parallèlement à la trajectoire. Nous avons vu que la réaction R s'exprime par :

$$R = K S V^2 i$$

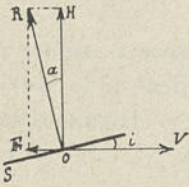


FIG. 47. — Composantes de la poussée.

Si la réaction était exactement normale au plan, i étant très petit, on pourrait écrire en assimilant le sinus à l'angle et le cosinus à l'unité :

$$H = K S V^2 i$$

$$F = K S V^2 i^2$$

Mais cette perpendicularité n'est pas rigoureuse. Tout d'abord, pour $i = 0$, F n'est pas nul, tant à cause des frottements qu'à cause du choc de l'air sur le bord antérieur. Il en résulte une résistance sensiblement proportionnelle au carré de la vitesse, ainsi que l'ont montré les expériences de W. Froude en 1872 (1).

Si l'on admet que ce terme ne se modifie pas sensiblement lorsque l'angle d'attaque reste petit, on est amené à écrire :

$$F = K S V^2 i^2 + K S V^2 b$$

Cette expression n'est pas encore suffisamment exacte, car elle n'exprime pas que la réaction puisse venir en avant de la normale.

Cette propriété, si on fait abstraction du terme correctif $K S V^2 b$, se

(1) *Rapports présentés aux Lords commissaires de l'Amirauté, voir le Mémorial du Génie maritime, 1875.*

traduit par ce fait que l'angle α de la réaction avec la perpendiculaire à la trajectoire est plus petit que i .

Posons :

$$\alpha = r i$$

r étant un coefficient constant, plus petit que 1. La projection de OR sur la direction du mouvement est alors :

$$F = K S V^2 a i = K S V^2 r i^2$$

Et, en ajoutant le terme correctif $K S V^2 b$:

$$F = K S V^2 r i^2 + K S V^2 b$$

Finalement, nous obtenons pour les deux composantes les expressions suivantes :

$$\begin{aligned} H &= K S V^2 i \\ F &= K S V^2 (r i^2 + b) \end{aligned} \quad (1)$$

Ces formules, proposées par M. Soreau, constituent un progrès notable sur celles qu'on employait précédemment, grâce à l'introduction du coefficient r .

L'étude des expériences de M. Riabouchinsky, qui a mesuré les composantes degré par degré, amènent pour r à la valeur 0,8.

Toutefois, ces formules ne serrent pas encore la réalité d'une façon assez exacte pour pouvoir être définitivement adoptées ; nous indiquerons plus loin les nouvelles formules que nous proposons.

CHAPITRE IV.

LES LOIS DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR *(suite)*.

Les surfaces arquées. — Composantes de la poussée. — Formules générales. — Le profil optimum. — Répartition des pressions. — Position de la poussée. — Résumé.

Considérons un plan sustentateur S (fig. 47) qui se meut obliquement à la vitesse V . Il reçoit une réaction R . Le poids P porté est égal à H composante verticale de R . Quant à la puissance motrice nécessaire, elle est égale au produit de la projection F de la réaction sur la direction du mouvement, par la vitesse V . C'est donc FV .

La puissance T nécessaire par unité de poids est donc :

$$\frac{T}{P} = \frac{FV}{H}$$

On voit qu'elle est d'autant plus petite que le rapport $\frac{F}{H}$ est plus petit, et que V est plus petit. Remarquons qu'il ne faut pas seulement chercher à rendre le rapport des deux composantes $\frac{F}{H}$ le plus petit possible, ce n'est qu'une partie de la question ; il faut en même temps que la réaction totale, pour une vitesse donnée, soit grande, car la formule de la puissance T contient V au numérateur ; et il y a intérêt, pour diminuer le travail, à ce que la réaction suffisante soit obtenue pour la plus faible vitesse possible.

On a remarqué que si, au lieu de plans, on emploie des surfaces.

arquées, dont le profil a une certaine courbure, on obtient une diminution du travail nécessaire.

C'est Lilienthal (4) qui, le premier, a fait des expériences systématiques pour déterminer les meilleures formes à adopter.

Vues en plan, les surfaces qu'il expérimentait avaient une forme allongée, terminée par deux points, représentée ci-contre (fig. 48); l'allongement était de 4,5, et la superficie de $1/2$ mètre carré.

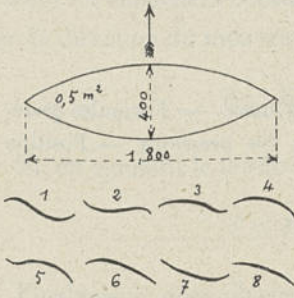


FIG. 48. — Surfaces expérimentées par Lilienthal.

Des essais sommaires ont d'abord été faits en adoptant des courbures diverses représentées sur la fig. 48; la courbure représente le profil de la surface pris dans le plan de symétrie qui contient la direction du mouvement.

Lilienthal s'est finalement arrêté au dernier profil (n° 8), simple courbure régulière, en arc de cercle. Les concavités essayées ont été égales successivement à $1/40$, $1/25$ et $1/12$, ce rapport étant celui de la flèche maximum à la corde de l'arc.

Les surfaces étaient soit en tôle mince, soit en papier huilé, tendu sur un cadre, soit en bois; dans ce dernier cas, on a essayé d'épaissir la surface soit au milieu, soit près d'un des bords.

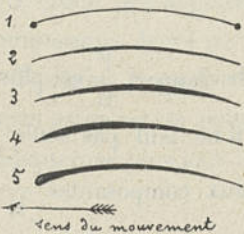


FIG. 49. — Profils de surfaces expérimentées par Lilienthal.

Le profil 1 (fig. 49) s'est montré le moins avantageux; les quatre autres ont donné des résultats à peu près égaux.

Lilienthal opérait de deux manières différentes: 1° en air calme avec un manège circulaire mû par des contrepoids, et 2° avec des surfaces immobiles exposées au vent. Ces deux méthodes étaient peu précises, la première parce

(4) Lilienthal. *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*, Berlin, 1889.

que le manège était de faible rayon, la seconde parce que la force et la direction du vent ne restent pas constantes, et que notamment le vent a été parfois ascendant. Aussi ne faut-il pas attacher aux chiffres trouvés une valeur définitive ; ils contiennent des erreurs manifestes. Nous les indiquons pourtant, à cause de l'importance historique notable qu'ils ont eue.

Le résultat principal des expériences est celui-ci :

A égalité de surface portante et de poids porté, la puissance nécessaire à la sustentation est beaucoup moins grande avec une surface traînée obliquement dans l'air qu'avec un plan horizontal se mouvant orthogonalement, et en arquant la surface on diminue encore la puissance nécessaire.

D'après Lilienthal, pour l'incidence la plus favorable, le rapport des puissances nécessaires est le suivant, la puissance dans le cas du plan orthogonal étant 1 :

Plan oblique	0,72
Surface de concavité. $\frac{1}{40}$	0,32
id. $\frac{1}{25}$	0,25
id. $\frac{1}{12}$	0,23

Ces deux dernières surfaces donnent donc des résultats à peu près équivalents.

LES FONCTIONS DE LILIENTHAL.

Lilienthal a étudié également la direction de la réaction de l'air.

Pour définir l'angle d'incidence i , il prenait l'angle que fait la direction du mouvement avec la corde du profil.

L'idée de cette définition provient sans doute de ce que Lilienthal croyait que la réaction ne se produit que sur la face inférieure ; l'angle d'attaque est nul lorsque la corde du profil est parallèle au vent, et il s'attendait à ce que, dans cette position, l'air ne réagissant pas sur la face inférieure, la réaction totale soit nulle. En réalité, il n'en est rien, la réaction sustentatrice dans cette position est déjà considérable, et nous verrons ci-après qu'il est préférable d'adopter une autre définition pour l'angle d'attaque.

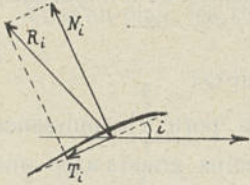


FIG. 50. — Poussée sur une surface arquée ; fonctions de Lilienthal.

La réaction R_i correspondant à l'angle d'attaque i n'est pas normale à la corde du profil. Elle peut se décomposer aux deux composantes, l'une N_i normale à la corde, l'autre T_i appelée composante tangentielle, dirigée suivant la corde du profil et comptée positivement en sens inverse de la marche.

Lilienthal pose :

$$\begin{cases} N_i = 0,13 S V^2 \eta(i) \\ T_i = 0,13 S V^2 \theta(i) \end{cases}$$

Le coefficient 0,13 est la valeur du coefficient K de résistance orthogonale que Lilienthal avait déduite de ses expériences.

Les fonctions $\eta(i)$ et $\theta(i)$ sont ce qu'on appelle les fonctions de Lilienthal. Le tableau ci-contre donne les valeurs de ces fonctions pour la surface de concavité 1/12. Si on adopte pour K la valeur 0,08, il suffit de multiplier les fonctions par le rapport $\frac{0,13}{0,08}$.

On voit, d'après le tableau, que la composante tangentielle s'anule, c'est-à-dire que la réaction est normale à la corde, pour les trois valeurs suivantes de l'angle d'attaque :

$$i = 3^\circ$$

$$i = 32^\circ$$

$$i = 90^\circ$$

VALEUR DES FONCTIONS DE LILIENTHAL.

i	η	θ	i	η	θ
— 9°	0,000	— 0,070	11°	0,846	0,058
— 8°	0,040	— 0,067	12°	0,864	0,064
— 7°	0,080	— 0,064	13°	0,879	0,070
— 6°	0,120	— 0,060	14°	0,891	0,074
— 5°	0,160	— 0,055	15°	0,901	0,076
— 4°	0,200	— 0,049	16°	0,909	0,075
— 3°	0,242	— 0,043	17°	0,915	0,073
— 2°	0,286	— 0,037	18°	0,919	0,070
— 1°	0,332	— 0,031	19°	0,921	0,065
0°	0,381	— 0,024	20°	0,922	0,059
1°	0,434	— 0,016	25°	0,922	0,031
2°	0,489	— 0,008	30°	0,910	0,008
3°	0,546	0	35°	0,896	— 0,010
4°	0,600	0,007	40°	0,890	— 0,016
5°	0,650	0,014	45°	0,888	— 0,020
6°	0,696	0,021	50°	0,888	— 0,023
7°	0,737	0,028	60°	0,900	— 0,028
8°	0,771	0,035	70°	0,930	— 0,030
9°	0,800	0,042	80°	0,960	— 0,015
10°	0,825	0,050	90°	1,000	0

Toutes les fois que l'angle i passe par l'une de ces valeurs, la résistance R_i passe de l'autre côté de la normale. Quand la composante

T_i est positive, elle augmente la résistance au mouvement d'avancement de la surface, elle diminue au contraire cette résistance quand elle est négative.

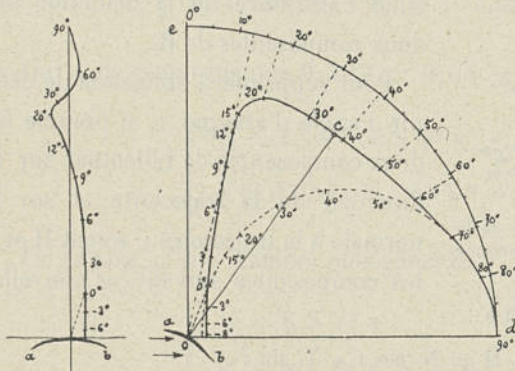


FIG 51. — Fonctions de Lilienthal.

Lilienthal a représenté les résultats de ses expériences sous la forme d'une courbe dont la disposition parle bien aux yeux (fig. 51). La surface ab étant placée au point o ,

soit oc la réaction de l'air. Pour les divers angles d'attaque, le point C, extrémité de oc , passe par une série de positions qui engendrent une courbe.

Soit od la réaction orthogonale ; traçons le quart de circonférence ode de rayon oe . La courbe prend la forme représentée ci-contre. Pour l'incidence 0° , la réaction n'est pas nulle, ni parallèle au mouvement ; elle est déjà sustentatrice et à peu près égale au quart de sa valeur maximum. La réaction n'est parallèle au mouvement que pour l'incidence négative de $-8^{\circ}, 45'$.

Le meilleur rapport des composantes s'obtient en menant du point o la tangente à la courbe. Il correspond à une incidence d'environ 8° . Le pointillé indique la courbe des réactions sur une surface plane ; on voit qu'elles sont à la fois plus faibles et plus éloignées de la verticale que dans le cas de la surface arquée.

Lilienthal a également tracé une courbe représentant les positions des extrémités de la réaction, en supposant la surface immobile et la direction du courant d'air variable ; dans ce cas, la courbe reste au voisinage de la normale, et la traverse pour trois valeurs différentes de l'angle d'attaque.

M. Soreau (1) a fait ressortir l'arbitraire et l'incommodité de la définition de l'angle d'attaque i dans la méthode de Lilienthal, et par suite l'arbitraire de la définition des deux composantes de R_i .

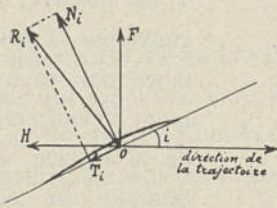


FIG. 52. — Composantes de la poussée sur une surface arquée (Soreau).

Pour supprimer l'obligation de définir l'angle d'attaque i , il projette les deux composantes de Lilienthal sur la direction de la trajectoire et sur la normale à la trajectoire ; soient H et F les composantes suivant ces nouvelles

directions (fig. 52). On a :

$$\begin{cases} H = N_i \cos i \pm T_i \sin i \\ F = T_i \cos i \pm N_i \sin i \end{cases}$$

(1) R. Soreau, Etat actuel et Avenir de l'Aviation, *Mémoires de la Société des Ing. Civils*, juillet 1908.

ou, en remplaçant N_i et T_i par leurs valeurs :

$$H = 0,13 S V^2 [\tau_i(i) \cos i \pm \theta(i) \sin i]$$

$$F = 0,13 S V^2 [\theta(i) \cos i \pm \tau_i(i) \sin i]$$

D'après les données de Lilienthal, la composante H est nulle pour $i = -8^{\circ}, 45'$.

M. Soreau pose :

$$\alpha = i + 8^{\circ} 45'$$

α étant ce qu'il appelle par définition *l'angle d'attaque*. Cet angle est choisi de manière à ce que, lorsqu'il est nul, la composante sustentatrice soit nulle. On peut définir α l'angle que fait la position de la surface avec la position qui donne une composante sustentatrice nulle.

M. Soreau a remarqué qu'on peut représenter les composantes, déduites de celles de Lilienthal, par les formules ci-dessous, valables pour les valeurs de α comprises entre 3° et 12° qui sont celles qui intéressent l'aviation :

$$\left\{ \begin{array}{l} H = 0,333 S V^2 \alpha \\ F = 0,333 S V^2 (\alpha^2 - 0,0315) \end{array} \right.$$

Où, si on remarque que $0,333 = 0,08 \times 4,16$:

$$\left\{ \begin{array}{l} H = 4,16.0,08 S V^2 \alpha \\ F = 4,16.0,08 S V^2 (\alpha^2 - 0,0315) \end{array} \right.$$

Ou encore, d'une manière plus générale :

$$\left\{ \begin{array}{l} H = K S V^2 \alpha \\ F = K S V^2 (r \alpha^2 + b) \end{array} \right.$$

r et b étant des constantes. Avec les chiffres de Lilienthal, on trouve que r est égal à 1, mais on peut supposer que dans d'autres cas, il

sera plus petit que 1 (les résultats numériques de Lilienthal sont d'ailleurs faussés par de fortes erreurs).

On remarque de suite que ces expressions sont exactement de la même forme que celles trouvées sur les surfaces planes ; les coefficients constants K , r et b pourront seulement avoir d'autres valeurs, différentes de celles qu'on obtient pour les plans.

Dans ces conditions, tous les calculs auront exactement la même forme et la théorie des surfaces arquées sera la même que celle des surfaces planes, l'angle α jouant le même rôle que l'angle d'incidence i du plan. Si les coefficients r étaient les mêmes dans les deux cas (ce qui n'est pas exact), on pourrait pousser plus loin l'assimilation, et conclure qu'une surface arquée est *équivalente* à un plan dont la surface serait multipliée par le rapport inverse des valeurs de K , et dont l'angle d'incidence serait α ; ce plan ferait avec la corde de la surface arquée un angle constant égal à $\alpha - i$; on pourrait donc dire qu'il est *invariablement lié* à la surface arquée. La seule différence résiderait dans la valeur de b ; si b est plus petit pour la surface arquée, celle-ci serait plus avantageuse. On a vu ci-dessus que les expériences de Lilienthal conduisent pour b à la valeur — 0.0315 qui est négative ; si ce résultat était exact il serait très avantageux ; mais il n'a pas été confirmé par les expériences plus précises qui ont eu lieu depuis celles de Lilienthal, et il provient uniquement des erreurs d'expérience. Ces erreurs sont manifestes, et il est regrettable que les résultats numériques des expériences de Lilienthal soient entrées en ligne de compte pour l'établissement de la théorie. C'est ainsi que les valeurs de la composante F parallèle au mouvement, pour les angles i compris entre — 9° et 4°, sont trouvées négatives, ce qui est inadmissible ; la résistance opposée au mouvement de la surface serait négative, le mouvement, au lieu d'absorber du travail, en produirait : ce serait le mouvement perpétuel.

En réalité, b est toujours positif.

En ce qui concerne les valeurs de H , l'assimilation avec le *plan équivalent* est assez exacte, et cette notion peut être adoptée.

Il n'en est pas de même en ce qui concerne les valeurs de F ; le coefficient r est loin d'être le même dans les deux cas ; il est beaucoup plus faible pour les surfaces arquées que pour les plans, et c'est en cela que consiste le véritable avantage des surfaces arquées.

Le coefficient K , en effet, ne change que d'une manière peu sensible. Nous avons déterminé sa valeur moyenne pour les surfaces expérimentées par Riabouchinsky, en prenant un intervalle de 10 degrés.

Le coefficient relatif au plan étant pris pour unité, on trouve :

Courbure de la surface	}	0 (plan)	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{12}$
Coefficient K rapporté au plan	}	1	1,07	1,12	1,16	1,06

Il y a une petite amélioration, mais peu importante.

C'est plutôt l'amélioration de r qui est intéressante. En cherchant les formules qui traduisent le mieux (ou plutôt le moins mal, comme nous le verrons plus loin), les expériences faites par M. Riabouchinsky à l'Institut de Koutchino, nous avons trouvé :

Pour le plan.....	.....	$r = 0,82$
Pour l'arquée au 1/30.....	.....	$r = 0,77$
Pour l'arquée au 1/20.....	.....	$r = 0,73$
Pour l'arquée au 1/16.....	.....	$r = 0,67$
Pour l'arquée au 1/12.....	.....	$r = 0,55$

Dans la pratique, on pourrait compter sur $r = 0,75$ en moyenne.

Quant au terme S , non seulement il n'est pas négatif, mais il est sensiblement plus grand pour les arquées que pour le plan, et il est d'autant plus grand que la courbure est plus prononcée. De sorte qu'aux très faibles incidences (jusqu'à 3°) le plan est meilleur que les surfaces arquées ; l'avantage de celles-ci n'apparaît que lorsque l'angle d'attaque atteint 4°, et il provient uniquement de la faible valeur de r .

On peut calculer l'angle pour lequel le rapport des deux composantes est le plus faible. On a :

$$\frac{F}{H} = \frac{r\alpha^2 + b}{\alpha} = r\alpha + \frac{b}{\alpha}$$

Le minimum de la somme des deux termes $r\alpha$ et $\frac{b}{\alpha}$, dont le produit est constant, a lieu lorsqu'ils sont égaux, d'où :

$$r\alpha = \frac{b}{\alpha}$$

$$\alpha^2 = \frac{b}{r}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{b}{r}}$$

Une expérience de Goupil(1), mal interprétée, a fait croire à certains auteurs que la composante retardatrice F pouvait réellement être négative, ainsi qu'il résulte des chiffres de Lilienthal.

Voici cette expérience. Un cadre entoilé d'un mètre carré pesant 700 grammes et chargé à l'avant d'un poids de 3 kilogr. fut attaché par deux amarres (fig. 53) et présenté contre des courants aériens de vitesses croissantes.

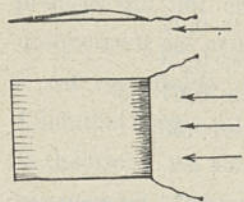


FIG. 53. — Expérience de Goupil.

Au courant de 4^m par seconde, il prit l'inclinaison de 45°; aux courants de 5 et 6^m, des inclinaisons au 1/5 et au 1/6; au courant de 7^m, l'appareil prit, au grand étonnement de l'auteur, la position indiquée par la figure : le peson interposé sur une des amarres ne marquait aucune traction,

et même la surface chassait sur ses amarres contre le vent.

Cette expérience prouve simplement que le courant d'air était

(1) Goupil, *La Locomotion aérienne*, 1884.

légèrement ascendant, et Goupil a reconnu lui-même depuis (1) qu'il en était probablement ainsi. Il ne faut donc pas tenir compte de cette expérience, qui aboutirait au mouvement perpétuel.

Expériences de Riabouchinsky. — Les deux composantes de la réaction, normalement et parallèlement à la trajectoire, ont été l'objet de mesures récentes plus précises que celles de Lilienthal.

Nous dirons quelques mots des résultats trouvés par Riabouchinsky, Rateau, Turnbull.

M. Riabouchinsky (2) a donné les tableaux des résultats trouvés par lui en opérant avec des plaques d'aluminium planes ou arquées, de 1,7 m/m d'épaisseur et mesurant 0^m,100 × 0^m,300. Les concavités étaient : 0 (plaque plane), 1/30, 1/20, 1/16, 1/12 et 1/8 ; il a opéré en outre sur un biplan formé de 2 plaques arquées au 1/30 et distantes de 0^m,100.

Les pressions subies sont ramenées au mètre carré et au cas d'un gaz pour lequel la masse du mètre cube serait égale à 1. Les angles d'incidence sont définis au moyen de la corde de l'arc. Les résultats obtenus sont transcrits sur le tableau ci-après : (voir page 594).

Le tableau ci-dessous indique les meilleures valeurs trouvées pour le rapport des deux composantes, $\frac{H}{F}$:

ANGLES	COURBURE 0	1/30	1/30 biplan	1/20	1/16	1/12	1/8
0°	2,14	7,50	7,07	6,70	5,66	4,37	3,14
1°	5,25	9,75	8,47	8,35	6,70	5,46	3,76
2°	7,00	12,1	9,69	9,88	7,68	6,35	4,25
3°	8,17	13,8	10,06	10,8	8,59	7,20	4,67
4°	9,00	15,4	10,4	11,8	9,16	7,79	5,03
5°	9,00	15,7	10,2	12,0	9,35	8,28	5,28
6°	9,20	15,0	9,56	10,8	9,05	8,50	5,40
7°	8,96	12,9	8,81	9,69	8,78	8,67	5,43
8°	8,45	10,8	8,25	8,95	8,32	8,46	5,46
9°	8,09	9,19	7,45	8,24	7,68	8,27	5,48
10°	7,29	8,00	6,86	7,59	7,17	7,97	5,43

(1) *L'Aérophile*, 15 décembre 1908.

(2) *Bull. Inst. de Koutchino*, fasc. II, 1909.

Nota. — Les Nombres expriment des millièmes

ANGLES	COURBURE D °		1/30		1/30 biplan		1/20		1/16		1/12		1/8	
	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H
— 10°	46	—254	41	—195	56	—172	59	—188	76	—167	72	—142	90	—149
— 5°	16	—118	15	— 57	27	— 48	26	— 29	35	— 36	46	— 17	67	— 28
0°	7	15	12	90	14	99	17	114	26	147	33	144	57	179
1°	8	42	12	117	15	127	17	142	27	181	33	180	58	218
2°	10	70	12	145	16	155	17	168	28	215	34	216	60	255
3°	12	98	12	172	18	181	18	195	29	249	35	252	63	294
4°	14	126	13	200	20	208	19	223	31	284	37	288	66	332
5°	17	153	14	227	23	233	21	251	34	318	39	323	70	369
6°	20	184	17	255	27	258	26	280	39	353	42	357	75	405
7°	26	215	22	283	32	282	32	310	44	386	45	390	81	440
8°	29	245	29	312	37	305	38	340	50	416	50	423	87	475
9°	34	275	37	340	44	328	45	371	58	445	55	455	93	510
10°	42	306	46	368	51	350	53	402	66	473	61	486	100	543
11°	53	330	56	393	59	371	61	430	77	500	68	515	107	570
12°	66	355	66	418	67	391	69	459	88	523	77	545	114	595
13°	80	378	78	443	76	410	78	483	99	545	86	575	122	620
14°	93	400	89	466	85	429	87	510	112	566	96	601	130	645
15°	108	421	100	488	96	446	100	535	124	586	106	628	138	667
20°	176	504	165	580	163	517	180	617	197	653	177	714	196	776
25°	239	541	248	622	235	552	263	646	279	670	265	738	281	808
30°	291	524	308	593	296	526	327	631	338	649	343	718	362	774
40°	361	439	372	472	349	420	388	498	389	504	403	549	442	578
50°	453	391	447	405	389	317	474	432	478	449	474	457	515	464
60°	554	328	546	338	375	214	566	349	560	342	575	372	602	373
70°	620	217	617	238	325	114	647	262	629	238	649	243	663	254
80°	676	129	656	132	304	51	697	140	660	125	697	145	716	132
90°	698	0	677	0	297	0	717	0	676	0	718	0	732	0

On voit que, pour le rapport $\frac{H}{F}$, les valeurs les plus favorables sont fournies par la surface arquée au 1/30, et pour des angles de 4 à 5°. C'est dans ces conditions qu'on obtiendra la sustentation avec le plus faible effort de traction.

Si on considère non plus la force tractive, mais la puissance motrice nécessaire à la sustentation, elle dépend non pas du rapport

$\frac{H}{F}$, mais du rapport $\frac{H^{3/2}}{F}$. Nous verrons plus loin que la puissance nécessaire est en raison inverse de ce rapport.

Nous avons calculé les valeurs de $\frac{H^{3/2}}{F}$; elles sont indiquées dans le tableau suivant :

ANGLES	COURBURE 0	1/30	1/30 biplan	1/20	1/16	1/12	1/8
0°	0,8	2,3	2,3	2,2	2,2	1,7	,3
1°	1,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,3	1,7
2°	2,2	4,6	4,1	3,8	3,5	3,5	2,1
3°	2,8	5,9	4,8	4,3	4,3	3,6	2,5
4°	3,2	6,9	5,5	4,7	4,9	4,2	2,9
5°	3,5	7,7	6,0	4,9	5,3	4,7	3,2
6°	3,9	7,6	5,7	4,9	5,4	5,1	3,5
7°	4,1	6,8	5,4	4,7	5,5	5,4	3,6
8°	4,2	6,0	5,2	4,5	5,4	5,5	3,8
9°	4,2	5,4	5,0	4,3	5,1	5,6	3,9
10°	4,1	4,8	4,8	4,1	4,9	5,6	4,0

On remarque que les valeurs les plus favorables sont encore fournies par la surface arquée au 1/30, et pour des angles de 5 à 6°, à peine supérieurs à ceux qui correspondent au maximum de $\frac{H}{F}$.

Il semble donc que les conditions optima pour chacun de ces deux problèmes soient bien près de se confondre.

M. Riabouchinsky indique encore les valeurs des composantes de la réaction normalement et tangentiellement à la surface (définie par sa corde), ainsi que l'avait fait Lilienthal.

Ces valeurs étant moins intéressantes en raison de l'arbitraire de leur définition, nous ne les reproduisons pas ici; le lecteur les trouvera dans l'ouvrage cité, ainsi que les graphiques représentant tous les résultats.

Les expériences de M. Riabouchinsky étant très précises, nous avons cherché si les formules établies ci-dessus :

$$\begin{aligned} H &= K S V^2 \alpha \\ F &= K S V^2 (r \alpha^2 + b) \end{aligned} \quad (1)$$

en représentaient les résultats d'une manière satisfaisante, en choisissant au mieux $\alpha - i$ et les coefficients r et b . Nous avons constaté que non, du moins en ce qui concerne F. Ce résultat est important. Il ne faut pas, en effet, se contenter d'une correspondance approximative entre les formules et la réalité, sous peine d'entacher de nullité tous les calculs qui ont pour base ces formules.

On peut, à la rigueur, se contenter de formules approchées quand on se borne à calculer la valeur d'une fonction ; mais pour déterminer, comme nous le ferons, les maxima et les minima, une grande précision est indispensable.

Les formules (1) ne sont pas satisfaisantes pour le plan ; toutefois, l'écart n'est pas très grand, et, pour une première approximation on pourrait à la rigueur s'en contenter. Mais, pour les surfaces arquées, il n'y a pas moyen d'arriver à une correspondance acceptable pour les valeurs de F. Il en résulte que la théorie, telle qu'elle a été faite jusqu'ici, en prenant pour base les formules (1), est inexacte et ne correspond pas à la réalité.

Nous avons cherché à obtenir d'autres formules représentant mieux les faits. On peut y arriver d'une manière très simple qui ne change pas l'aspect des formules ni des calculs qui en découlent. Il suffit de changer l'exposant de α dans l'expression de F ; au lieu de prendre l'exposant 2, il faut prendre un exposant n plus grand que 2, à savoir : $n = 2,5$ pour le plan ; $n = 3$ ou 4 pour les surfaces arquées.

On obtient ainsi les formules suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} H = K S V^2 \alpha \\ F = K S V^2 (r \alpha^n + b) \end{array} \right. \quad (2)$$

Nous allons montrer que les formules (2) permettent d'arriver à une correspondance aussi parfaite qu'on peut l'espérer, pour toutes les incidences utilisées en aviation.

Pour le plan, nous prenons :

$$F = K S V^2 (2,8 \alpha^{2,5} + 0,009)$$

Voici la comparaison des valeurs d'expérience et des valeurs déduites de la formule, pour les angles α compris entre 0 et 15°. Les chiffres expriment des millièmes :

α	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
Expérience.....	7	8	10	12	14	17	20	24	29	34	42	53	66	80	93	108
Formule.....	9	9	10	11	13	16	19	24	30	36	44	54	65	78	91	107

Pour l'arquée au 1/30, nous prenons :

$$F = K S V^2 (12,5 \alpha^4 + 0,011)$$

avec $\alpha - i = 3^\circ$

Voici la comparaison des valeurs, pour les angles α compris entre 2 et 14° :

α	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°
Expérience.....	11	12	12	12	12	13	14	17	22	29	37	46	56
Formule.....	11	11	11	12	13	14	16	19	23	29	36	47	59

Pour l'arquée au 1/20, nous prenons :

$$F = K S V^2 (10,5 \alpha^4 + 0,017)$$

avec $\alpha - i = 4^\circ$

Voici la comparaison des valeurs, pour les angles α compris entre 2 et 14° :

α	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°
Expérience.....	17	17	17	17	17	18	19	21	26	32	38	45	53
Formule.....	17	17	17	18	18	19	21	23	27	32	37	45	55

Pour l'arquée au 1/16, nous prenons :

$$F = K S V^2 (2,9 \alpha^3 + 0,025)$$

avec $\alpha - i = 4^\circ$

Voici la correspondance des valeurs pour les angles α compris entre 4 et 18° :

α	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°
Expérience.....	26	27	28	29	31	34	39	44	50	58	66	77	88	99	112
Formule.....	26	27	28	30	33	36	40	45	51	59	67	77	88	100	114

Enfin, pour l'arquée au 1/12, nous prenons :

$$F = K S V^2 (1,91 \alpha^3 + 0,031)$$

avec $\alpha - i = 4^\circ$

Voici la correspondance des valeurs pour les angles α compris entre 3 et 19° :

α	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°
Expérience	33	33	33	34	35	37	39	42	45	50	55	61	68	77	86	96	106
Formule...	31	32	33	34	35	37	40	43	47	51	56	61	68	77	85	95	104

On voit que la correspondance est pratiquement parfaite pour une échelle d'angles suffisante pour les besoins de l'aviation. Nous proposons donc les formules (2) comme nouvelle base de la théorie, quitte à déterminer ultérieurement quelle est la valeur de l'exposant n qui convient pour les surfaces arquées les plus employées.

Il faut toutefois observer que les expériences de Riabouchinsky n'ont porté que sur des profils en forme d'arc de cercle. Les résultats seraient-ils les mêmes pour les profils optima, à courbure et à épais-

seur variables? Il faut attendre de nouvelles expériences avant de pouvoir se prononcer.

On peut remarquer que le terme complémentaire b ne diminue pas pour les surfaces arquées, et ne devient pas négatif, mais qu'il augmente, au contraire, avec la concavité.

Il résulte de tout ce qui précède qu'une surface arquée n'est pas assimilable à un plan équivalent, à cause de la différence des valeurs de l'exposant de α que nous avons désigné par n .

Expériences de M. Rateau. — M. Rateau a publié en juillet 1909 (1) les résultats qu'il a obtenus avec deux plaques rectangu-

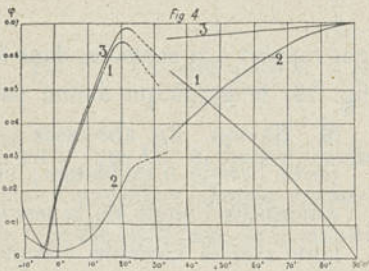
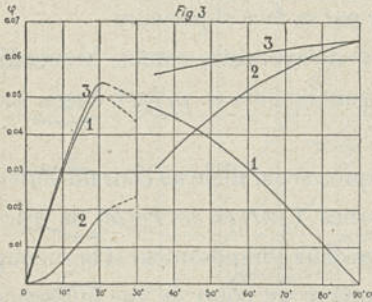


FIG. 54. — Courbes de la poussée et de ses composantes (Rateau).

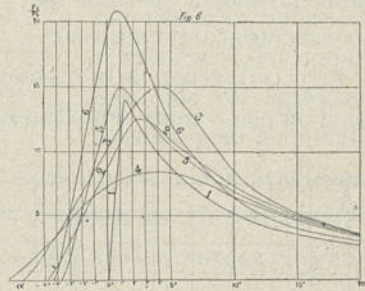
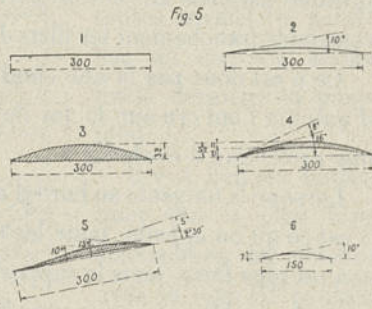


FIG. 55. — Rapport des composantes (Rateau).

lares de $0^m,300 \times 0^m,500$, épaisses de $1^m/m,25$, l'une plane, l'autre arquée en forme d'arc de cercle de 20° de développement.

Les graphiques ci-dessus montrent les valeurs de la poussée

(1) *Comptes Rendus de l'Ac. des Sciences*, 26 juillet 1909. — *Revue de Mécanique*, août 1909. — *L'Aérophile*, 1^{er} août 1909.

totale, et des deux composantes normale et parallèle au courant aérien. On y voit nettement la séparation des courbes en deux branches, et la discontinuité de la loi.

En calculant le terme complémentaire que nous avons appelé b dans la théorie ci-dessus, M. Rateau n'a pas trouvé qu'il soit négatif.

M. Rateau a étudié le rapport des deux composantes, et a tracé des courbes dans lesquelles sont portés en abscisses les angles à partir de la corde, et en ordonnées le rapport des composantes. Les surfaces expérimentées avaient les 6 profils reproduits ci-contre (fig. 55).

Le rapport maximum constaté a atteint 24 ; les maxima ont lieu pour des angles d'incidence de 1 à 4°, pour lesquels la corde est presque parallèle au courant aérien, de sorte que la surface, à l'avant, rencontre franchement les filets d'air par sa face supérieure.

Ce n'est donc pas là une condition défavorable, comme beaucoup d'auteurs l'ont cru sur la foi de raisonnements *a priori* basés sur une prétendue « évidence ».

Lorsque la tangente au bord d'attaque est parallèle au courant aérien (c'est ce qu'on appelle, pour les turbines, l'*entrée correcte*), la réaction est plus forte, mais le rapport des deux composantes est beaucoup moins favorable, de sorte que l'avantage au point de vue puissance motrice reste au premier cas.

Pour la direction de la résultante par rapport à la normale, dans le cas d'un plan, nous reproduisons (fig. 56) le graphique donné par

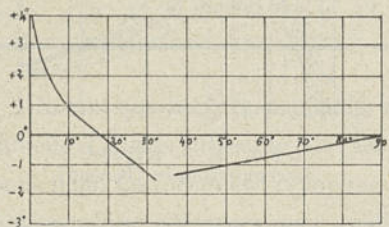


FIG. 56. — Ecart de direction de la résultante avec la normale (Rateau).

M. Rateau. En abscisses est porté l'angle d'incidence ; en ordonnées l'angle de la résultante avec la normale, compté négativement lorsque la résultante est dirigée en avant de la normale.

L'angle négatif n'est jamais très grand, 1 à 2 degrés seulement. Au reste, on conçoit que l'épaisseur de la plaque, sa nature, son degré de poli peuvent faire varier notablement cet angle ; c'est ainsi

que M. Eiffel ne le trouve négatif que pour l'incidence de 30 degrés, et égal à $-0^{\circ},4$ seulement ; cela tient vraisemblablement à ce qu'il emploie une plaque de 3 m/m d'épaisseur, tandis que celle de M. Rateau n'a que 1 m/m , 25.

Expériences de Turnbull. — M. W. R. Turnbull (1) a effectué des expériences très intéressantes sur des surfaces arquées de 5 formes différentes, à simple et à double courbure, mesurant toutes 42 centimètres sur 24. L'incidence variait de -5° à $+20^{\circ}$. (Les angles d'incidence sont mesurés par rapport aux cordes des profils).

La fig. 57 montre la forme des profils, et indique les résultats

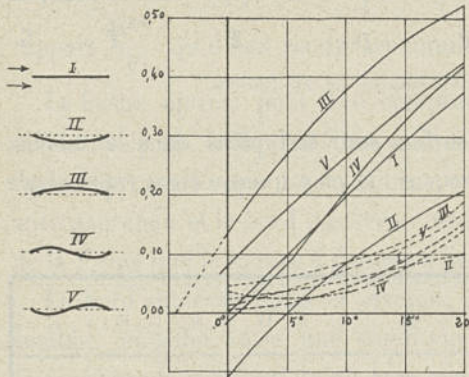


Fig. 57. — Composantes de la poussée (Turnbull).

trouvés pour les composantes normale et parallèle au courant aérien (cette dernière en pointillé).

Il y a lieu de remarquer que la plus forte sustentation est obtenue avec le type III concave par dessous ; quant à la résistance à la propulsion, elle est également maxima pour le type III.

C'est le type IV, à double courbure en S, qui est le plus avantageux dans l'ensemble, comme rapport des composantes ; il a de plus sur le type III l'avantage de la stabilité, comme nous le verrons plus loin.

(1) *Physical Review*, New-York, 1907, voir *Revue de l'Aviation*, 15 novembre 1908.

INFLUENCE MUTUELLE DES SURFACES SUPERPOSÉES.

Des expériences ont été faites par M. B. Sellers (1) en vue de déterminer si deux surfaces sustentatrices superposées se nuisent mutuellement, et quelle est la meilleure position relative à leur donner.

Il a expérimenté avec deux et trois surfaces mesurant $12^{\circ}/m \times 36^{\circ}/m$ arquées au $1/12$, distantes de 6 à $12^{\circ}/m$, et placées dans les positions relatives suivantes :

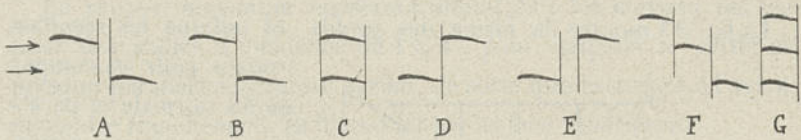


FIG. 58. — Expériences de M. Sellers.

Les poussées par unité de surface sont indiquées dans le tableau ci-dessous (la poussée unitaire sur un plan unique étant représentée par 100) :

ANGLE D'ATTAQUE	DISTANCE DES PLANS	A	B	C	D	E	F	G
5°	6 c/m.....	90	87	80	80	84	85	70
	12 c/m.....	94	90	87	88	89	89	83
10°	6 c/m.....	89	85	73	72	73	82	65
	12 c/m.....	91	90	85	84	85	85	77

On voit qu'il y a avantage à placer le plan supérieur en avant du plan inférieur (positions A, B, F). On voit aussi que l'effet nuisible est encore sensible quand la distance des plans est égale à leur largeur.

(1) Voir *Scientific American*, 14 nov. 1908, *Aeronautics*, févr. 1910, et *l'Aéromécanique*, 10 févr. 1910.

LE PROFIL OPTIMUM.

Toutes les expériences décrites ci-dessus ne donnent que des indications propres aux surfaces étudiées, surfaces définies par des courbes simples, généralement des arcs de cercle. Mais il est probable qu'il existe une forme de profil meilleure que toutes les autres, un profil *optimum*. Il doit même en exister deux, suivant qu'on cherche à réaliser la sustentation avec le minimum de traction ou avec le minimum de puissance motrice ; dans le premier cas, il faut chercher à rendre maximum le rapport $\frac{H}{F}$ des composantes de la poussée ; dans le second cas, c'est, comme nous le verrons plus loin, le rapport $\frac{H^{3/2}}{F}$ qu'il faut rendre maximum.

La forme optima peut être composée de courbes compliquées, différentes pour la face inférieure et la face supérieure, et peut être également caractérisée par certaines particularités telles que le bord antérieur épais et le bord postérieur souple. Elle doit se rapprocher de la forme que la nature a donnée à l'aile des oiseaux.

Le bord antérieur épais et arrondi, préconisé par Edmond Seux, semble, en effet, être une condition favorable, malgré tous les raisonnements *a priori* qu'on peut faire. L'utilité du bord postérieur souple est que, ce bord se mettant dans la direction des filets fluides à la sortie, les remous à l'arrière sont atténués ou évités, ce qui peut être une condition favorable au point de vue de la résistance à l'avancement ; il faut cependant se garder de croire que les remous soient nécessairement défavorables, puisque nous avons vu qu'ils peuvent provoquer une diminution de la résistance à l'avancement.

Les divers constructeurs ne sont pas d'accord sur le profil optimum qu'il convient d'adopter.

M. Ader préconise la spirale dite *spirale logarithmique*. « Une courbe constante, dit-il, se retrouve dans tous les vols ; dans la feuille de sycomore, aussi bien que dans l'aile de la mouche, du corbeau et de la chauve-souris ; et je puis affirmer qu'il existe un

principe dont ne se départit jamais la nature et qui semble être la loi fondamentale de l'aviation : l'existence, dans le sens de la translation, d'une spirale caractérisée par l'angle invariable du rayon avec les tangentes menées aux divers points de la courbe. Cette spirale présente une courbure plus ou moins accentuée selon la charge des ailes, mais se retrouve *partout et toujours*. »

Voici quelques autres données, qui ne sont d'ailleurs qu'approximatives, chaque constructeur modifiant fréquemment ses types.

Dans le profil adopté par *Wright* en 1908, l'intrados est un arc de cercle de 20° d'ouverture suivi d'une partie plane. La flèche maxima est voisine de $1/20$; elle est à peu près au tiers antérieur. L'extrados est une courbe à peu près parallèle ; le bord antérieur est arrondi, le bord postérieur est effilé.

Les profils « *Voisin* » et « *Farman* » ont aussi une flèche de $1/20$, mais située à $1/10$ du bord d'attaque. Le profil est un arc de parabole, mais déformé par la présence des longerons. Le bord postérieur présente une certaine flexibilité.

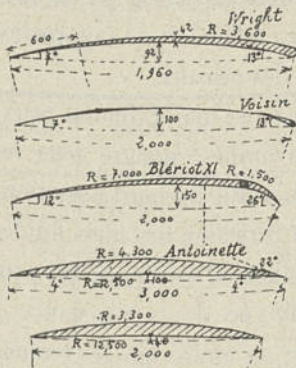


FIG. 59. — Profils divers.

La face inférieure du profil « *Blériot* » se compose de deux arcs de cercle, avec flèche de $1/14$ placée à peu près aux $3/10$. L'épaisseur maximum, de 70 m/m , est très près de l'avant. Les deux bords sont effilés.

Les appareils « *Antoinette* » ont un profil encore plus épais ($0^{\text{m}},20$), compris entre deux arcs de cercle ; la flèche de l'intrados est très faible, $1/30$ à $1/40$ seulement. La flèche maxima est au milieu.

La figure ci-contre indique les angles que font les tangentes aux bords d'entrée et de sortie avec la corde.

RÉPARTITION DES PRESSIONS

Les phénomènes d'écoulement de l'air attaqué obliquement par une surface arquée sont très complexes et encore mal connus.

Diverses expériences ont montré que la dépression qui s'exerce sur la face supérieure est plus importante que la compression de la face inférieure.

M. A.-Ph. Kaptein, dans une conférence donnée le 9 octobre 1909 à La Haye, à l'Institut royal des Ingénieurs (1), a donné les résultats d'intéressantes expériences qu'il a faites en vue de déterminer la répartition des pressions sur des surfaces courbes.

Il a d'abord expérimenté sur un cylindre, en mesurant les pressions au moyen d'un tube de Pitot relié à un manomètre à membrane extrêmement sensible. Le tube s'adaptait par l'intérieur du cylindre sur un trou percé dans la surface. Le cylindre pouvait prendre toutes les positions en tournant autour de son axe.

Il a représenté les résultats par un diagramme obtenu en portant les pressions suivant les rayons du cercle, à partir de la circonférence,

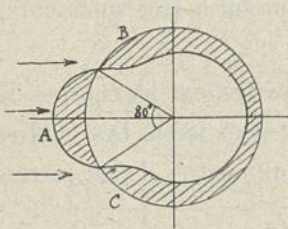


FIG. 60. — Répartition des pressions sur un cylindre (Kaptein).

à l'extérieur du cercle pour les pressions, à l'intérieur pour les dépressions (fig. 60). La zone A des pressions est très peu étendue, elle n'occupe que 80° d'angle, même pas le quart de la surface ; la zone de dépression en occupe plus des trois quarts, et la dépression a son maximum d'intensité dans les parties B et C situées du côté

de l'arrivée des filets d'air. On peut le vérifier très simplement en collant un morceau de papier par un de ses bords sur un cylindre, dans la partie correspondante à B. On voit le papier se soulever, ce qui prouve l'existence d'une dépression énergique.

(1) Voir *L'Aéro-mécanique*, Bruxelles, 10 janvier 1910.

Rappelons que, en 1905, George Finzi et Nicholas Soldati ont trouvé pour une sphère un diagramme semblable à celui de M. Kaptein.

M. Kaptein expérimenta également sur une plaque arquée représentée ci-contre (fig. 61); le diagramme représente les pressions et dépressions sur la face dorsale. La zone de dépression est très importante et s'étend à presque toute la partie antérieure



FIG. 61. — Répartition des pressions sur une surface arquée (Kaptein).

rière qui semblerait devoir être frappée par le courant d'air; la zone de pression à l'avant est au contraire très faible et ne donne pour ainsi dire pas de composante verticale.

M. Kaptein n'a pas indiqué quelles sont les pressions sur la face inférieure.

Expériences de M. Eiffel. — M. Eiffel (1) a étudié, au moyen du tube de Pitot, la répartition des pressions sur une plaque plane de 850×150 m/m et sur une plaque arquée de 900×150 m/m (flèche 1/13,5), tant sur la face inférieure que sur la face supérieure, et pour diverses incidences.

Les figures ci-contre (fig. 62 et 63) représentent les courbes de pression dans la section médiane, sur les deux faces. Les chiffres indiquent les pressions ou dépressions en millimètres d'eau, correspondant à la vitesse de 10^m par seconde.

Pour l'incidence de 10° , la plus intéressante, on voit que la dépression sur la face supérieure au voisinage du bord d'attaque constitue la partie la plus importante de la réaction de l'air.

Pourtant, la tangente au bord d'attaque faisant avec la corde un angle de 16° , il en résulte que le bord d'attaque se présente sous un angle négatif de -6° ; contrairement à ce qu'on pourrait se figurer,

(1) *Bull. de la Société des Ing. civils*, janvier 1910.

il n'en résulte aucun effet défavorable à la sustentation ; c'est au contraire la partie la plus active.

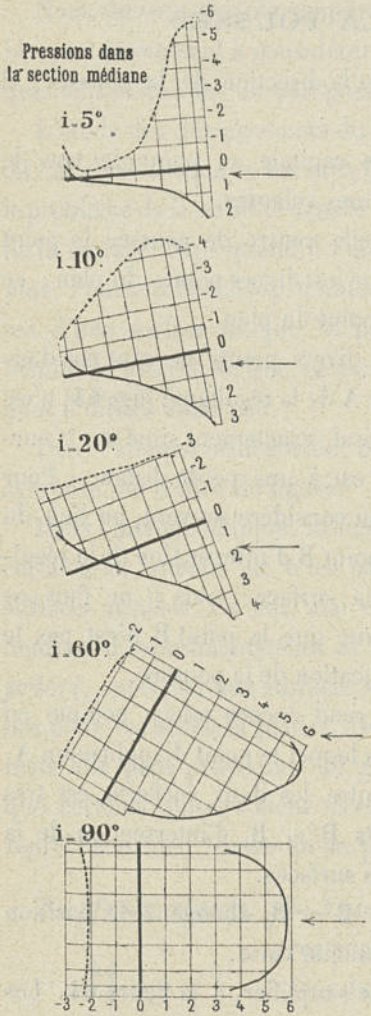


FIG. 62. — Répartition des pressions sur un plan (Eiffel).

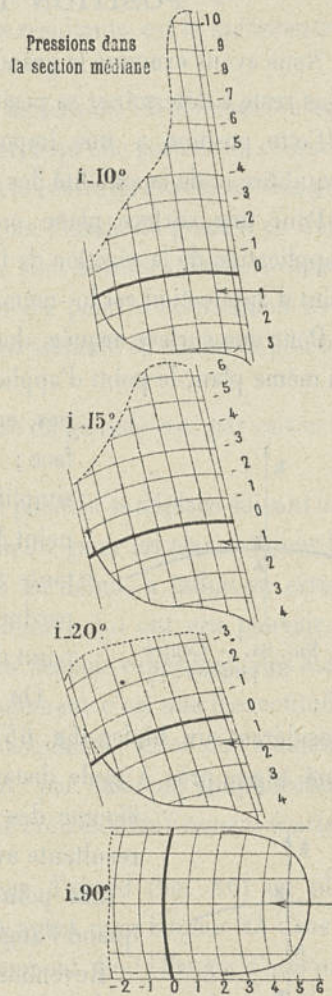


FIG. 63. — Répartition des pressions sur une surface arquée (Eiffel)

Il est intéressant de remarquer que, sur la face inférieure, il y a une petite zone de dépression près de l'arête de sortie.

Pour l'incidence de 10^0 , sur la plaque courbe, la dépression sur la

face supérieure entre pour 63 pour cent dans la réaction totale, et la pression sur la face inférieure pour 37 pour cent seulement.

POSITION DE LA POUSSÉE

Nous avons examiné la grandeur et la direction de la poussée ; il nous reste à déterminer sa position.

Cette position a une importance capitale au point de vue de l'équilibre et de la stabilité des machines volantes.

Pour une surface plane, on appelle centre de poussée le point d'application de la réaction de l'air sur les divers points du plan ; ce point d'application est lui-même un point du plan.

Pour une surface arquée, dont les divers points ne sont pas dans un même plan, le point d'application A de la résultante (fig. 64) n'est

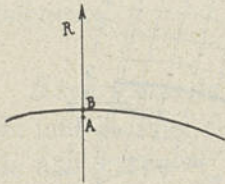


FIG. 64. — Centre de poussée.

pas, en général, exactement situé sur la surface ; il en est à une petite distance. Pour simplifier, on considère souvent, au lieu du point A, le point B d'intersection de la résultante avec la surface ; mais il ne faut pas perdre de vue que le point B n'est pas le point d'application de la poussée.

On s'en rend encore mieux compte en considérant un biplan (fig. 65) dans lequel le point d'application A, situé à peu près à égale distance entre les deux surfaces, est très

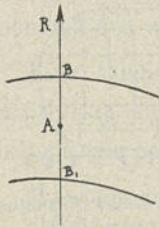


FIG. 65. — Centre de poussée dans un biplan.

éloigné des points B et B₁ d'intersection de la résultante avec les surfaces.

Les points A, B et B₁ changent de position quand l'angle d'attaque varie.

Revenons, pour simplifier, à la figure 64. Les points A et B n'ont pas d'importance absolue par eux-mêmes ; ils n'en prennent que parce qu'ils servent à déterminer la position de la résultante R.

Mais quant au point d'application A, peu importe qu'il soit un peu plus haut ou un peu plus bas. Notamment, il n'y a aucune utilité à ce qu'il soit placé plus haut que le centre

de gravité. Il ne faut pas assimiler le centre de poussée à une sorte de point de suspension par lequel l'aéroplane est maintenu en l'air.

Nous verrons, dans le chapitre sur la stabilité, que le point véritablement intéressant à considérer sur la résultante est le *métacentre*, que nous définirons un peu plus loin.

L'étude des déplacements du point B, suivant les diverses valeurs de l'angle d'attaque, n'est utile que parce qu'elle permet de résoudre le problème de la stabilité dans le cas où le centre de gravité est très près de la surface. Mais quand il s'en éloigne, l'étude du point B ne suffit plus. Pourtant beaucoup d'auteurs se sont bornés à étudier, dans le cas d'une surface unique, la position du point d'intersection de la résultante avec la surface, ce point étant assimilé au centre de poussée dont il diffère assez peu.

Dans l'attaque orthogonale, le centre de poussée est, par raison de symétrie, au centre de figure.

Dans l'attaque oblique, le centre de poussée se déplace suivant une certaine loi, et cette loi n'est pas la même pour les plans et pour les surfaces arquées. Ce fait, mal élucidé au début, a induit en erreur nombre d'expérimentateurs et d'aviateurs, qui ont cru pouvoir, *a priori*, appliquer aux surfaces arquées, les lois expérimentales établies pour les surfaces planes. Non seulement c'est une inexactitude, mais elle peut provoquer de graves accidents ; et on doit s'étonner que certains auteurs aient récemment, par désir de simplification, repris cette idée fausse qu'on pouvait croire définitivement écartée.

Surfaces planes. — Considérons d'abord (fig. 66) un plan

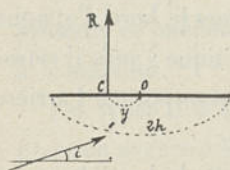


FIG. 66. — Position de la poussée.

rectangulaire ayant pour largeur $2h$ dans le sens du mouvement. Soit i l'angle d'attaque, et soit y la distance du centre de pression C au centre de figure O. Lorsque i varie, la distance y varie suivant une certaine loi pour laquelle le physicien Avanzini a proposé la formule suivante :

$$\frac{y}{2h} = 0,3 (1 - \sin i)$$

C'est ce qu'on appelle la loi d'Avanzini. Elle exprime que, pour l'incidence orthogonale, y est nul, et qu'il augmente à mesure que i diminue, de sorte que le centre de poussée se rapproche progressivement du bord d'attaque. Lorsque i tend vers zéro, $\frac{y}{2h}$ tend vers 0,3, autrement dit y tend vers $0,6h$. La distance du point C au bord d'attaque est alors $0,4h$, c'est-à-dire $1/5$ de la largeur du plan.

En 1870, Joessel a proposé la formule suivante, établie pour l'eau, et qui diffère très peu de la précédente :

$$\frac{y}{2h} = 0,305 (1 - \sin i)$$

M. Soreau, à la suite d'expériences faites dans la Seine, à Argenteuil, a obtenu la formule qui suit :

$$\frac{y}{2h} = \frac{1}{4(1 + 2 \operatorname{tg} i)}$$

Cette formule rend compte aussi bien des expériences dans l'eau que dans l'air, ce qui donne créance à cette opinion d'Helmholtz d'après laquelle aux faibles vitesses (et il convient de considérer comme telles celles qui ne provoquent pas de variations notables dans la densité de l'air en mouvement), les lois de l'aérodynamique seraient les mêmes que pour un fluide visqueux et incompressible.

Pour les surfaces courbes on a longtemps cru que la loi d'Avanzini pouvait s'appliquer. Ce sont les frères Wright qui, les premiers, ont remarqué qu'il n'en est rien. Ils ont constaté que, sur une surface légèrement concave, le centre de pression, qui se trouve, pour l'incidence normale, au centre de figure, se porte vers le bord d'attaque quand i diminue jusqu'à une certaine valeur critique ; puis il rétrograde rapidement, franchit le centre de figure, et se porte à l'arrière jusqu'à une position limite pour l'incidence nulle.

Il faut donc écarter d'une manière complète la loi d'Avanzini pour les surfaces autres que les plans, et étudier avec soin, pour chaque courbure des surfaces, la manière dont se déplace le centre de pression quand l'angle d'attaque varie.

Expériences de Turnbull. — Des expériences extrêmement intéressantes ont été faites à ce sujet par M. Turnbull (1), sur les 5 surfaces dont nous avons parlé ci-dessus (page 601). Il a figuré les résultats par des courbes, dans lesquelles les angles d'attaque sont portés en abscisses, et les distances du centre de pression au centre

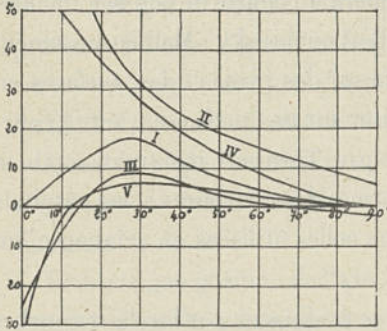


FIG. 67. — Déplacements du centre de poussée (Turnbull).

de figure (évaluées en pourcentage de la largeur totale) en ordonnées. La figure 67 reproduit ces courbes.

Avec le type I (plan) le centre de pression s'avance vers le bord d'attaque, puis rétrograde. Ce résultat, contraire à la loi d'Avanzini, a été confirmé par certains expérimentateurs, mais la plupart ne l'ont pas constaté. Nous indi-

quons plus loin les résultats trouvés par M. Rateau et confirmés par ceux de MM. Eiffel et Riabouchinsky. Ce qui est certain, c'est qu'aux très petits angles les déplacements du centre de pression, soit dans un sens, soit dans l'autre, sont extrêmement peu sensibles.

Avec les types III et V, le centre de pression se rapproche du bord d'attaque, puis recule, franchit le centre de figure pour un angle d'attaque de 43° environ, et passe à l'arrière.

Ainsi le type III, qui est celui qu'on emploie le plus souvent, présente ce phénomène qui, comme nous le verrons, est défavorable à la stabilité.

Les types II et IV donnent un résultat remarquable : le centre de pression avance constamment vers le bord d'attaque, ce qui favorise la stabilité longitudinale pour ces deux types.

(1) *Loc. cit.*

Turnbull recommande le type IV, parce qu'il présente le double avantage de donner une résistance à l'avancement très faible, et d'être favorable à la stabilité. Il semble bien, en effet, que ce soit le meilleur type de surface.

Expériences de M. Rateau. — Des expériences très précises ont encore été faites sur le déplacement du centre de poussée, notamment par MM. Rateau, Eiffel et Riabouchinsky. Malheureusement ces expériences n'ont été faites que sur des plans et des surfaces en arc de cercle. Il faudrait expérimenter sur des surfaces ayant la courbure optima. Les résultats trouvés par Turnbull montrent combien les résultats changent avec la forme des courbures ; les résultats trouvés pour des surfaces autres que celles utilisées en aviation n'ont qu'un intérêt très limité.

Les expériences de M. Rateau se traduisent par les deux courbes

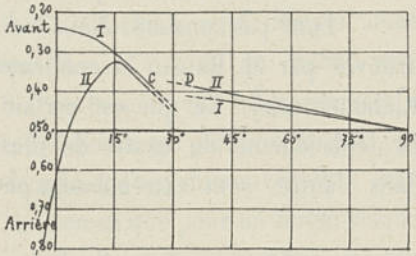


FIG. 68. — Déplacements du centre de poussée (Rateau).

de la fig. 68. La courbe I est relative à une plaque plane de $500 \times 300 \text{ m/m}$, la courbe II à une plaque arquée (arc de cercle de 20°) de même étendue.

Le centre de poussée était déterminé de la façon suivante : en assujettissant la plaque à tourner autour

d'un axe fixe et en l'abandonnant à l'action du courant. Elle prenait alors une certaine inclinaison dépendant de la position de l'axe ; et, pour cette inclinaison, le centre de poussée se trouvait déterminé puisqu'il se plaçait nécessairement sur l'axe même.

On remarque sur les deux courbes l'existence d'une discontinuité.

« D'après ce graphique, écrit M. Rateau au sujet de la surface plane, on voit que pour de petites inclinaisons l'abscisse du centre de poussée (à partir du bord d'attaque) tend vers la valeur 0,236.

A mesure que l'angle augmente, le centre recule, d'abord lentement, puis plus rapidement. La courbe se subdivise en deux tronçons complètement distincts l'un de l'autre. Le premier, relatif aux petits angles, correspond évidemment à un régime d'écoulement dans lequel les filets vont tous dans le même sens (c'est le seul régime à considérer dans la sustentation des aéroplanes); tandis que le deuxième, relatif aux grands angles, correspond à un régime très différent du premier. Dans ce régime, analogue à celui qui a lieu lorsque la plaque est normale au courant, il y a rebroussement d'une certaine quantité de filets d'air au bord antérieur de la plaque.

Dans la région avoisinant les extrêmes C et D des courbes, les régimes sont instables; ils se transforment facilement l'un dans l'autre.

Pour chaque position de l'axe, il n'y a qu'un seul angle d'équilibre, excepté dans le voisinage de $x = 0,416$, où il y a deux valeurs de α ; les deux régimes étant alors possibles. Nous avons effectivement obtenu deux positions d'équilibre bien distinctes avec cette valeur $x = 0,416$.

Chose singulière, il n'y a pas d'angle d'équilibre possible entre 29 et 36° environ. Avec de tels angles d'inclinaison, un plan sustentateur, analogue à notre plaque, ne peut pas donner lieu à un état de régime stable. Le même fait se présente avec toutes les plaques rectangulaires que nous avons soumises aux expériences, quel que soit leur profil. »

Pour la plaque courbe, l'allure de la courbe est analogue à la précédente pour les angles supérieurs à 15° . Il y a deux courbes distinctes, et deux positions d'équilibre pour $x = 0,445$. Pour $\alpha = 15^{\circ}$, $x = 0,325$. C'est la position du centre de poussée la plus rapprochée du bord antérieur. Ensuite, il rétrograde rapidement repasse par le milieu de la plaque pour un angle voisin de 5° et continue à se rapprocher du bord de sortie.

Nous devons dire que, si tous les expérimentateurs précis ont constaté le changement d'allure des courbes, ils n'ont pas constaté la discontinuité trouvée par M. Rateau. Mais cela peut provenir du

dispositif d'expériences ; celui de M. Rateau est extrêmement précis, et d'une manière générale une expérience positive n'est pas infirmée par une expérience négative.

MÉTACENTRE

La considération du centre de poussée tel que nous venons de l'étudier, c'est-à-dire du point d'intersection de la poussée avec la surface, ne permet de résoudre le problème de la stabilité que si le centre de gravité de la machine volante est lui-même situé sur la surface ou en est très voisin.

Dans le cas général, il importe de considérer la poussée à la fois dans sa direction et dans sa position. La droite qui figure la poussée prend pour les diverses incidences, une série de positions successives. Soit R (fig 69), une de ces positions. Si on considère une incidence très voisine, on obtient une autre droite R_1 qui rencontre R au point A . Lorsque le second angle d'incidence tend vers le premier, le point A tend vers une position limite B . Ce point B est ce qu'on appelle le *métacentre*.

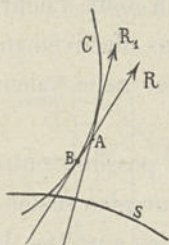


FIG. 69.— Courbe métacentrique.

Nous verrons que c'est lui qui est à considérer dans le problème de la stabilité.

A chaque angle d'attaque correspond un point tel que B ; tous ces points sont situés sur une courbe C appelée *courbe métacentrique*, à laquelle toutes les droites R sont tangentes. La courbe C est l'*enveloppe* des droites R .

La détermination expérimentale des courbes métacentriques, pour diverses formes de surfaces sustentatrices, serait du plus haut intérêt pour l'étude générale de la stabilité longitudinale.

Si on considère non plus seulement les courants aériens parallèles au plan de symétrie des surfaces sustentatrices, mais les courants de direction quelconque, plus ou moins obliques ou latéraux, le lieu des

métacentres n'est plus une courbe mais une surface appelée *surface métacentrique*, dont la connaissance permettrait de résoudre toutes les questions de stabilité. Mais, sous cette forme générale, le problème est tellement complexe qu'il n'est pas possible de l'aborder actuellement.

RÉSUMÉ DES LOIS DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR APPLICABLES A L'AVIATION

Les lois de la résistance de l'air applicables à l'aviation sont celles qui concernent des carènes plus ou moins fuselées et des surfaces obliques, arquées ou planes, attaquant l'air sous de très petits angles. De tout ce qui précède, il résulte que les lois de Newton doivent être remplacées par les suivantes :

1^o La résistance de l'air est sensiblement proportionnelle à la densité du fluide, au carré de la vitesse et à l'étendue de la surface.

2^o Les composantes de la résistance normalement et parallèlement au courant aérien sont proportionnelles aux quantités α et $r\alpha^n + b$, α étant l'angle d'incidence d'un certain plan invariablement lié à la surface, r étant un coefficient plus petit que 1, b étant une constante positive, et n étant un exposant compris entre 2 et 4.

Quant à la loi donnant la position de la résistance, on ne peut pas en donner un énoncé général; il faut l'étudier dans chaque cas.

DEUXIÈME PARTIE

DOCUMENTS DIVERS

MÉMOIRES ET TRAVAUX⁽¹⁾

PARUS DANS LES BULLETINS DE LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DU NORD
depuis l'origine jusqu'au 1^{er} octobre 1910
PAR LISTE ALPHABÉTIQUE D'AUTEURS.

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
AGACHE, Edouard....	Utilisation des déchets de la filature de lin..	1875
AGLOT.....	Dosage du tannin, des phosphates, etc....	
ALEXIS-GODILLOT, G.	Foyer spécial pour l'utilisation des combustibles pauvres	1887
ANGLÈS D'AURIAC.....	L'emploi du froid dans la fabrication de la fonte au haut-fourneau.....	1909
ARNOULD, J. (Docteur)	Questions d'hygiène publique actuellement à l'étude en Allemagne	1878
—	De l'indemnité temporaire et de l'incapacité partielle permanente.....	1899
—	Assainissement de l'industrie de la céruse...	1878
—	De l'écrémage du lait.....	1878
—	Sur l'installation de bains à peu de frais pour les ouvriers.....	1879
—	Le congrès international d'hygiène de Turin	1880
—	Sur un cas d'anémie grave ou intoxication oxycarburée survenue chez un ouvrier d'usine à gaz.....	1880
—	De la pénurie de la viande en Europe et de la poudre-viande du professeur Hoffmann	1881
ARNOULD (le Col.).....	Formule de M. Villié pour déterminer la quantité de vapeur sèche fournie par une chaudière à vapeur.....	1889
—	Les sains à carrés.....	1904
—	Utilité de créer à la Faculté des Sciences de Lille un certificat d'études supérieures au titre de l'Industrie Textile....	1906
—	Sur les ouvrages de M. Burkard.....	1906

(1) La liste ne comprend que les travaux publiés in-extenso.

NOMS	TITRES	ANNÉES
ARQUEMBOURG	Les surchauffeurs de vapeur.....	1894
—	Rapport de la Commission d'examen du 10 Mars 1894 sur l'hygiène des ateliers..	1895
—	Troisième congrès des accidents de Milan ..	1895
—	Dispositions de sûreté pour ascenseurs.....	1896
—	Compte-rendu du IV ^e Congrès international des accidents du travail.....	1898
—	De l'indemnité temporaire et de l'incapacité partielle permanente.....	1900
—	Loi du 30 mars 1900.....	1901
—	Congrès international des accidents du travail et des assurances sociales, Dusseldorf....	1902
—	Congrès de la houille blanche.....	1903
—	Projet de modifications à la loi du 9 avril 1898.	1903
—	Congrès d'hygiène de Bruxelles 1903.....	1903
—	Congrès des accidents et des assurances sociales (Vienne).....	1905
BAILLET	Du contrôle permanent de la chauffe dans les foyers industriels.....	1904
BAILLEUX-LEMAIRE ...	Note sur l'adjonction d'une barre dite guide- mèche aux bancs à broches pour lin et étoupes.....	1875
BATTEUR, E.	Communication sur les accidents du travail.	1887
—	De la réparation en matière d'accidents industriels	1893
BÉCHAMP, A	Recherches sur les modifications de la ma- tière amylacée.....	1883
BÉCOUR.....	De l'empirisme.....	1878
—	De l'écémage du lait	1878
BÈRE	Résumé du rapport fait par les délégués ouvriers de Lille à l'Exposition d'Am- sterdam	1884
—	La culture du tabac dans le département du Nord	1884
BERNARD (HERMANN)..	La sucrerie indigène en France et en Alle- magne.....	1877
—	Problème de la production de vapeur.....	1900

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
BERNARD (HERMANN ..	Chemin de fer Transsaharien.....	1899
BIENAIMÉ, G.....	Méthode pour trouver le rendement d'une dynamo	1901
—	Application de la méthode à une génératrice Compound au moyen d'une batterie d'ac- cumulateurs.....	1902
—	Sur le point d'arrêt de la décharge d'une batterie d'accumulateurs.....	1902
BIGO, Émile.....	Les cheminées d'usines.....	1885
—	Description d'une installation moderne de générateurs	1886
—	De la photogravure	1887
—	Monographie du mineur.....	1906
BIGO, Omer.....	Le premier congrès international de tou- risme et de la circulation automobile sur route (Paris 1905).....	1906
—	Concours de véhicules industriels (Paris- Tourcoing 1906).....	1906
—	Le train Renard.....	1907
Blattner et J. Brasseur....	Sur l'analyse du nitrate de soude du Chili..	1902
BOCQUET.....	Rapport sur le projet de loi relatif au con- trôle de la durée du travail.....	1905
—	L'arrêt à distance des machines à vapeur par l'électro-securitas Dubois	1907
BONET.....	Rapport sur les essais effectués dans l'atelier N° 2 de MM. Dujardin et Cie à l'effet de rechercher l'influence de la surchauffe sur la consommation de vapeur et de charbon de la machine.....	1904
BOIVIN.....	Utilisation directe des forces vives de la vapeur par les appareils à jet de vapeur ..	1875
—	Des petits moteurs domestiques et de la machine à gaz Langen et Otto.....	1876
—	Indicateur de niveau système Chaudré.....	1876
—	L'injecteur-graisseur Casier.....	1877
BONNIN.....	Accroissement de la vitesse des trains et développement de la locomotive.....	1900
—	Locomotive de grande banlieue avec circu- lation d'eau. Résultats d'essai	1902

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
BONNIN (<i>suite</i>).....	Locomotive à circulation d'eau Brotan . . .	1904
—	Locomotives à deux bogies moteurs pour trains de marchandises lourds et rapides.	1906
BONPAIN	Agencement des filatures de laines.....	1875
BONTE, Adrien.....	Note sur les avantages que la France reti- rerait d'un grand développement de la culture du lin.....	1873
BORROT	Quantité de chaleur contenue dans la vapeur d'eau.....	1903
BOULANGER, Henri....	Théorie physique du tannage	1908
BOULEZ	Dosage alcalimétrique de l'acide phospho- rique en présence d'autres acides.....	1902
—	Obtention de la glycérine dans l'industrie .	1904
—	Sur une méthode de réduction par des métaux en poudre.....	1905
—	La rancidité des corps gras	1906
—	Fabrication de la céruse par le procédé Bishof.	1906
—	Analyse des huiles de coprahs.....	1908
—	Le contrôle chimique de la fabrication du savon	1908
—	Une industrie intéressante disparue (la maltose).....	1908
BOURGUIN.....	La question monétaire et la baisse des prix.	1896
BOURIEZ	Le contrôle rapide du lait.....	1901
BRUNET, Félix.....	La protection des enfants du premier âge...	1885
BRUNHES, L.....	De l'emploi des moteurs polyphasés dans les distributions à courants alternatifs monophasés	1897
—	Considérations sur le mécanisme des lampes à arc voltaïque	1899
BUISINE, A.....	État actuel de la grande industrie chimique (la soude et le chlore).....	1897
—	Répartition de l'eau dans les murs d'un bâtiment humide. — Étude sur les murs du Palais des Beaux-Arts de Lille.....	1897
BUISINE, A. et P.....	Purification des Eaux d'égout de la ville de Paris	1892

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
BUISINE, A. et P. (<i>suite</i>)	Action de l'acide chlorhydrique sur le peroxyde de fer	1893
CAMBIER, Th.....	La locomotion automobile.....	1897
CANELLE	Notice sur la carte minéralogique du bassin houiller du Nord.....	1878
CARLES	Applications industrielles des roulements à billes.....	1909
CARRON.....	Broyage de la céruse	1886
CASH, R.....	Étude sur les fours de fusion et fours à recuire du verre.....	1902
CAU.....	La crise américaine de 1907-1908.....	1910
CHAMPION et PELLET:	Action mélassigène des substances contenues dans les jus de betteraves	1877
CHARRIER.....	Méthode de MM. Blattner et Brasseur pour le dosage de l'arsenic dans l'acide sulfurique	1896
CHARPENTIER	Le développement industriel et minier de Tonkin.....	1905
CHAVATTE	Creusement du puits de Quiévrechain.....	1884
CLEUET	Mémoire sur un pyromètre régulateur	1878
COLLETTE, Aug. fils...	Nouveau procédé de conservation des levures de Boulangerie.....	1896
COLLOT	Essais sur le commerce et la fabrication des potasses indigènes.....	1878
—	Étude sur les engrais commerciaux.....	1880
COQUILLON.....	Méthode nouvelle d'analyse eudiométrique..	1891
CORENWINDER	Observations sur les avantages que la France retirerait d'un grand développement de la culture du lin.....	1873
—	Expériences sur la culture des betteraves à l'aide des engrais chimiques	1874
—	Étude sur les fruits oléagineux des pays tropicaux, la noix de Bancoul.....	1875
—	Étude comparative sur les blés d'Amérique et les blés indigènes.....	1875
—	De l'influence de l'effeuillage des betteraves sur le rendement et la production du sucre	1875

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
CORENWINDER (<i>suite</i>)..	Note sur la margarine ou beurre artificiel...	1876
—	Conférence sur la culture des betteraves	1876
—	Cristallisation simultanée du sucre et du salpêtre	1876
—	Recherche de l'acide phosphorique des terres arables	1877
—	De l'influence des feuilles sur la production du sucre dans les betteraves.....	1878
—	Utilisation des drèches provenant de la distillation du maïs, d'après le procédé Porion et Mehay	1880
—	Recherches biologiques sur la betterave....	1884
Corenwinder et Contamine...	Le Panais.....	1879
—	Nouvelle méthode pour analyser avec précision les potasses du commerce.....	1879
Corenwinder et Woussen....	Les engrais chimiques et la betterave.....	1875
CORMORANT.....	Communication sur le doseur d'air Izart....	1910
—	Un séparateur d'huile.....	1910
CORNUT.....	Mémoire sur le travail absorbé par la filature de lin	1873
—	Note sur l'appareil Orsat pour l'analyse des produits de la combustion.....	1874
—	De l'enveloppe de vapeur	1876
—	Pivot hydraulique Girard appliqué aux arbres verticaux de transmission.....	1876
—	Sur les chaudières forcées	1877
—	Explosion des locomobiles.....	1879
—	Etude géométrique des principales distributions en usage dans les machines à vapeur fixes	1879
—	Indicateur continu de vitesse de M. Lebreton	1880
—	Etudes sur les pouvoirs calorifiques des houilles	1886
—	Statistique des essais hydrauliques des chaudières à vapeur.....	1887
—	Note sur l'emploi de l'acier dans la construction des chaudières fixes.....	1888

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
CORNUT (<i>Suite</i>).....	Étude sur la régularité dans les fournitures et sur l'homogénéité des tôles de fer et des tôles d'acier pour générateurs à vapeur.	1889
COUSIN, Ch.....	Note sur un nouveau parachute équilibré avec évite-molletes.....	1879
COUSIN, Paul.....	La pratique du gazogène Siemens.....	1907
CRÉPY, Ed.....	Du recouvrement des effets de commerce par la poste	1874
—	Associations d'inventeurs et associations d'artistes industriels.....	1905
—	Nécessité de s'occuper des exportations françaises.....	1905
DANTZER.....	Hérisson à barettes poussantes	1895
—	Broche de navette de métier à tisser (système Duhamel).....	1896
—	Nouveau mode d'empoutage de MM. De-bucquoy et Deperchin	1896
—	Le métier « Northrop ».....	1897
—	Express-Jacquard de MM. L. Glorieux et fils, de Roubaix	1898
—	Le métier « Millar ».....	1898
—	Métier à tisser sans cannettes, système Smitt.....	1899
—	Métier à tisser Seaton.....	1899
—	Procédés photographiques de mise en carte des dessins de tissus.....	1899
—	Sur quelques réformes qu'il y aurait lieu d'apporter aux lois régissant la propriété industrielle.....	1900
—	Procédé de piquage des cartons Jacquard permettant la lecture électrique des cartes.	1902
Le Marq ^{is} D'AUDIFFRET	Le système financier de la France	1882
—	Moyens pratiques de mettre les employés de commerce et de l'industrie à l'abri du besoin.....	1882

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
DAUSSIN	Note sur le moteur Daussin	1883
DEBUCHY	Étude comparative entre la filature sur renvideur et la filature sur continu.....	1903
—	Étude économique de la filature de coton dans la région du Nord.....	1906
DECROIX, P.....	De la législation de la lettre de change.	1904
DEFAYS	Suppression des courroies pour la commande des dynamos, pompes centrifuges, par l'emploi des poulies à friction, système Denis.....	1901
—	Métaux industriels dans les hautes températures en présence de la vapeur.....	1903
DEFAYS et JOSSÉ.....	Acétyléno-producteur	1900
DELAMME.....	Sur la durée de la saccharification des matières amylacées.....	1874
DELANOYE	Maisons d'ouvriers	1874
DE L'AULNOIT (Houzé)	Hygiène industrielle	1874
—	Note sur le congrès international d'hygiène.	1878
—	Bains et lavoirs publics de Rouen, bains publics de la cour de Cysoing... ..	1879
DELDIQUE (Charles) ...	Grille pour foyer soufflé.....	1895
DELEBECQUE.....	Rapport sur l'épuration des eaux.....	1884
DELEPORTE-BAYART...	Sur la culture du houblon	1879
—	Culture des pois dans les salines des environs de Dunkerque	1879
—	Invasion des souris, mulots et campagnols dans les campagnes du Midi.....	1881
DE LEYN.....	Conservation des viandes par le froid.....	1885
DELHOTEL et MORIDE.	Filtre à nettoyage rapide.....	1894
DE MOLLINS, Jean....	Note sur un nouveau mode de génération de l'ammoniaque et sur le dosage de l'acide nitrique.....	1879
—	Huiles et graisses de résine.....	1880
—	Fabrication de la diphénylamine.....	1880
—	Épuration des eaux de l'Espierre.....	1880
—	Épuration des eaux vannes.....	1880
—	Fabrication du carbonate de potasse.....	1881

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
DE MOLLINS, Jean (<i>suite</i>)	Alcalimétrie.....	1881
—	La question de l'Espierre (3 ^e mémoire).....	1881
—	La question des eaux vannes.....	1881
—	Épuration des eaux vannes des peignages de laines.....	1881
—	Appareil contrôleur d'évaporation.....	1882
—	Mémoire sur la fabrication des bleus d'aniline et de la diphénylamme.....	1886
—	Procédé d'épuration des eaux vannes des peignages de laine.....	1889
—	Note sur un cas particulier de l'action de l'argile sur les eaux vannes industrielles.....	1889
—	Les eaux d'égout.....	1890
—	Contribution à l'étude du fonctionnement des chaudières à vapeur.....	1891
DÉPIERRE, Jos.....	Étude statistique et commerciale sur l'Algérie.....	1879
DE PRAT.....	Les surfilés de coton et double spun.....	1907
—	Effet de l'humidité sur les filés.....	1908
—	L'enseignement textile technique aux Etats-Unis.....	1909
DEPREZ.....	Basculeur pour le déchargement des wagons.....	1882
DERREVAUX.....	Les lubrifiants aux hautes températures....	1903
DESCAMPS, Ange.....	Utilité des voyages.....	1874
—	Étude sur la situation des industries textiles.....	1876
—	Excursion à l'exposition de Bruxelles.....	1876
—	Lille; un coup d'œil sur son agrandissement, ses institutions, ses industries....	1878
—	Le Commerce des Cotons.....	1878
—	Rapport sur le congrès international de la propriété industrielle, tenu à Paris en 1878.....	1879
—	Rapport sur une proposition de loi relative aux fraudes tendant à faire passer pour français des produits fabriqués à l'étranger ou en provenant.....	1884
—	Une visite aux préparatifs de l'Exposition Universelle de 1889.....	1889
—	Étude sur les Contributions Directes.....	1889

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
DESCAMPS, Ange (<i>Suite</i>)	Étude sur les Contributions Directes. — Impôts fonciers.....	1890
—	L'Exposition française de Moscou.....	1891
—	Le régime des eaux à Lille.....	1891
—	Du service des eaux dans les principales villes de France et de l'étranger.....	1892
—	Les conditions du travail et les caisses d'épargne.....	1892
—	L'Hygiène et la désinfection à Lille.....	1892
—	Étude sur un document statistique du Progrès industriel, maritime et commer- cial en France.....	1893
—	Les industries de la Franche-Comté.....	1894
—	Étude sur les importations et les exportations d'Égypte particulièrement au point de vue du commerce français.....	1895
DESROUSSEAUX, Léon..	Aide-mémoire des négociants en fils de lin..	1888
DE SWARTE.....	Étude sur la stabilité manométrique dans les chaudières.....	1888
—	Relation définie entre la vitesse du piston et la consommation dans la machine à vapeur.....	1891
DISLÈRE, P.....	Le commerce extérieur et la colonisation...	1898
DOMBRE, Louis.....	Étude sur le grisou.....	1877
DOUMER et THIBAUT..	Spectre d'absorption des huiles.....	1884
DRON, Lisbet.....	Etude technique et pratique sur le graissage et les lubrifiants.....	1891
DUBAR.....	Notice biographique sur M. Kuhlmann père	1881
DUBERNARD.....	Dosage des nitrates et dosage de l'acide phosphorique.....	1874
—	Recherche de l'alcool.....	1876
—	Dosage volumétrique de la potasse.....	1885
DUBOIS, Louis.....	La photographie des couleurs et ses appli- cations industrielles.....	1901
DU BOUSQUET.....	Note sur les encombrements par les neiges des voies ferrées.....	1888
DUBREUCQ, H.....	La pomme de terre industrielle.....	1892

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
DUBREUIL, Victor	Influence des assemblages dans la construction et le prix de revient des planchers métalliques.....	1893
—	Les locations industrielles.. ..	1893
—	Rapport sur les essais câbles-courroies.....	1894
—	Étude comparée sur les transmissions par transmissions par câbles et par courroies.	1895
DUBRULLE	Sur l'irrégularité apparente de certaines machines à vapeur.....	1895
—	Explications de certains accidents de machines à vapeur.....	1896
—	Difficultés des essais des machines à vapeur.	1896
—	Élévation d'eau d'un grand puits.....	1898
DUBUISSON	Cités ouvrières.....	1874
DUHEM.....	Application d'une vitesse différentielle dans les métiers à ourdir.....	1898
DUMONS.....	La teinturerie pneumatique.....	1903
DUPLAY.....	Note sur les métiers à filer au sec.....	1876
—	Emploi des recettes provenant du magasinage dans les gares de chemins de fer....	1877
DURAND.	Note sur le bureau du conditionnement et essai des fils et tissus organisé par le syndicat des fabricants de toile de Lille.....	1908
—	Note sur le conditionnement de Lille.....	1909
DU RIEUX.....	Des effets de la gelée sur les maçonneries...	1875
—	Fabrication du gaz aux hydrocarbures.....	1876
—	Autun et ses environs. Exploitation des schistes.....	1876
DUROT, Louis.. ..	Étude comparative des divers produits employés pour l'alimentation des bestiaux ..	1881
EUSTACHE	Couveuse pour enfants nouveaux-nés	1885
—	Communication sur la reconstitution des vignobles en France.....	1886
ÉVRARD.	Cordage en usage sur les plans inclinés.....	1877
FAUCHER	Extraction du salpêtre des sels d'exosmose..	1883

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
FAUCHEUR-DELEDICQUE	Considérations sur les avantages que la France retirerait d'un grand développement de la culture du lin	1873
FAUCHEUR, Ed	Allumeurs électriques de Desruelles	1881
—	Communication sur le lin et l'industrie linière.....	1888
—	Accidents du travail. — Congrès international de Paris. — Rapport.....	1889
FAUCHEUX	Procédé de fabrication des carbonates alcalins	1878
FAUCHEUX, Louis	Sur la production de divers engrais dans les distilleries	1880
FAUCHILLE, Auguste..	Rapport sur la ligue pour la défense des marques de fabrique française.....	1888
—	La conciliation et l'arbitrage dans les différends collectifs entre patrons et ouvriers.	1894
FELTZ	Influence des matières étrangères sur la cristallisation du sucre	1874
FÉRON, Aug.....	Du mécanisme de l'assurance sur la vie....	1895
FÉRON-VRAU.....	Les habitations ouvrières à Lille en 1896...	1899
—	Réforme des habitations ouvrières à Lille...	1902
FLOURENS, G.....	Valeur de quelques résidus des industries agricoles	1875
—	Étude sur les moteurs proposés pour la traction mécanique des tramways.....	1876
—	Étude sur la cristallisation du sucre	1876
—	Appareils d'évaporation employés dans l'industrie sucrière..	1877
—	Procédé de clairçage et fabrication du sucre raffiné en morceaux réguliers	1877
—	La locomotive sans foyer de M. Francq....	1878
—	Observations pratiques sur l'influence mélassigène du sucre cristallisable.....	1879
—	Résumé analytique du guide pratique des fabricants de sucre de M. F. LEURS.....	1879
—	Nouvelles observations pratiques sur les transformations du sucre cristallisable...	1889
—	Sur la saccharification des matières amylacées par les acides.....	1891

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
FLOURENS, G. (<i>Suite</i>)..	Rapport sur les travaux du 1 ^{er} Congrès international de chimie appliquée tenu à Bruxelles en août 1894.....	1895
—	Visite de la sucrerie centrale d'Escaudœuvres.....	1895
FOLET (le D ^r).....	L'alcoolisme, péril industriel.....	1900
FORESTIER.....	La roue à travers les âges.....	1900
FOUGERAT.....	Moyens mécaniques employés pour décharger les wagons de houille.....	1882
FOULON.....	Étude sur le cardage du coton.....	1904
FOUQUÉ.....	Les Volcans.....	1884
FRANÇOIS, Gustave..	Clearing-Houses et Chambre de compensation.....	1887
—	Essai sur le commerce et son organisation en France et en Angleterre..	1891
FRICHOT.....	Filature de lin à l'eau froide.....	1882
FREYBERG.....	L'aviation au point de vue du droit.....	1908
—	Sur le comité commercial franco-allemand..	1908
FROIS.....	Le triage du linge sale.....	1910
—	L'hygiène et la pratique du blanchissage..	1910
GAILLET.....	Rapport sur les diverses applications de l'électricité dans le Nord de la France....	1884
GAUCHE, Léon.....	Rapport sur le congrès international du numérotage des fils.....	1878
—	Oblitération des timbres mobiles de quittance.	1886
GAVELLE, Em.....	Rapport sur la machine Marc à décortiquer la Ramie.....	1893
GESCHWIND.....	Analyse d'un mélange d'hyposulfite, de sulfite et de carbonate de sodium.....	1903
GIMEL.....	De la division de la propriété dans le département du Nord.....	1877
GIRARD.....	La loi du 14 juillet 1905 sur l'assistance obligatoire aux vieillards, infirmes et incurables.....	1909
GOGUEL.....	Note sur un appareil destiné à préciser le nombre des croisures dans un tissu diagonal.....	1876

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
GOGUEL (<i>Suite</i>).....	Appareil Widdemann pour le tissage des fausses lisières.....	1878
—	Ouvrage de M. SORET : Revue analytique des tissus anciens et modernes.....	1878
—	Renvidage des mèches de bancs à broches..	1880
—	Tracé des excentriques pour bobinoirs.....	1883
—	Nouvelle broche pour métiers à filer à bague	1883
—	Appareil à aiguiser les garnitures de cardes.	1883
—	Théorie du cardage.....	1885
—	Détermination pratique du nombre de croisures dans les tissus croisés mérinos ou cachemires.....	1885
GOSSELET	Étude sur le gisement de la houille dans le Nord de la France.....	1874
—	De l'alimentation en eau des villes et des industries du Nord de la France.....	1899
GRANDEL	Dosage du fer et de l'albumine dans les phosphates.....	1898
GRIMAUX..	Conférence sur les phénomènes de la combustion et de la respiration.....	1879
GRUSON.....	L'ascenseur hydraulique des Fontinettes... ..	1889
GUÉGUEN et PARENT..	Étude sur l'utilisation pratique de l'azote des houilles et des déchets de houillères.....	1885
GUERMONPREZ (D ^r)....	Secours aux blessés (Actualité de la question)	1899
—	Premières impressions après 6 mois de fonctionnement de la nouvelle loi sur les accidents du travail.....	1900
—	Secours aux blessés (Progrès des idées d'organisation modernes).....	1901
—	Secours aux blessés. — Conséquences de la loi du 22 mars 1902.....	1902
—	Secours aux blessés. — Problème médical..	1903
—	Visite à l'hôpital de Bergmanstrost.....	1903
—	Hôpitaux de Bergmansheil et Neu-Rahnsdorf.	1903
—	Difficulté dans la pratique des lois sociales..	1907
GUERRE.....	Brancards en tubes d'acier articulés.....	1908
—	Sabots en fonte pour les freins de poulies de bures.....	1908

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
HENNETON.....	Contribution à l'étude théorique des accumulateurs électriques.....	1905
—	Applications de l'électricité à l'Exposition de Liège (1905).....	1906
—	Influence économique des grandes applications de l'électricité sur nos industries nationales.....	1906
HENRIVAUX.....	Étude sur la transformation des carbures d'hydrogène.....	1889
—	Projet de caisses de prévoyance	1891
HENRY.....	Note sur les colonies anglaises et françaises de la Sénégambie et de la Guinée.....	1891
HOCHSTETTER, G.....	Nouvelle méthode pour le dosage des nitrates	1786
HOCHSTETTER, J.....	De l'emploi de la pâte de bois dans la fabrication des papiers.....	1889
—	De l'attaque du plomb par l'acide sulfurique et de l'action protectrice de certaines impuretés telles que le cuivre et l'antimoine.	1890
—	Quelques détails sur les travaux sous l'eau par scaphandres... ..	1891
—	Le Yaryan. Appareil de concentration dans le vide.....	1893
—	Congrès de Chimie appliquée de Berlin 1903	1903
HOFFMANN.....	Etude d'une matière colorante noire directe sur coton ou lin.....	1901
INDUSTRIE TEXTILE DE VERVIERS.....	Solution des problèmes de navetage dans le cas où l'on dispose de n boîtes de chaque côté du métier pour $(n + 1)$ navettes....	1906
JANVIER	Métier à deux toiles.....	1881
JUNKER, Ch.....	Note sur la patineuse mécanique de Galbiati.	1879
JURION.....	Frein modérateur pour machines à coudre.	1882

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
KESTNER.....	Nouvel élévateur de liquide par l'air comprimé.....	1892
—	Fabrication simultanée de la baryte caustique et des chromates alcalins.....	1892
—	Nouveau procédé d'extraction des pyrites grillées avec production simultanée de chlore.....	1893
—	Autoclave de laboratoire.....	1895
—	Évaporation des vinasses.....	1895
—	Nouveau procédé de vaporisation du coton..	1899
—	Nouveau pulvérisateur de liquide pour réfrigérants d'eau de condensation.....	1899
—	Concentration des suints des peigneuses de laine	1899
—	Concentration des suints des peignages de laine.....	1900
—	Nouveau procédé d'humidification et de ventilation dans les ateliers de filature et de tissage.....	1900
—	L'atomisation.....	1906
KŒCHLIN, A.....	De la filature américaine.....	1886
KOLB, J.....	Note sur le pyromètre Salleron.....	1873
—	Étude sur les phosphates assimilables	1874
—	Note sur les incrustations de chaudières....	1875
—	Évolution actuelle de la grande industrie chimique.....	1883
—	Principe de l'énergie et ses conséquences...	1886
—	Le procédé Deacon.....	1892
KUHLMANN, fils.....	Note sur la désagrégation des mortiers....	1873
—	Note sur quelques mines de Norwège.....	1873
—	Transport de certains liquides industriels...	1874
—	De l'éclairage et du chauffage au gaz, au point de vue de l'hygiène.....	1875
—	Note sur l'Exposition de Philadelphie.....	1876
—	Condensation des vapeurs acides et expériences sur le tirage des cheminées.....	1877
—	Note sur l'explosion d'un appareil de platine.	1879

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
LABBÉ	L'apprentissage en Allemagne d'après une visite aux établissements Løwe et C ^{ie} à Berlin.....	1878
—	L'école et l'atelier	1910
LABBE-ROUSSELLE.....	Examen du projet de la Commission parle- mentaire relatif à la réforme de la loi sur les faillites	1884
LABROUSSE, Ch.....	Moyens préventifs d'extinction des incendies	
LACOMBE	Dosage des métaux par l'électrolyse	1875
—	Dosage des nitrates en présence des matières organiques	1876
—	Aéromètre thermique Pinchon..	1877
—	Dosage de la potasse.....	1877
—	Dosage des huiles végétales.....	1883
—	Sur certaines causes de corruption des eaux de Lille.....	1890
—	Sur certaines propriétés optiques des huiles minérales.....	1891
LACOMBE, POLLET et LESCŒUR.....	Intoxication du bétail par le ricin et la recherche du ricin dans les tourteaux....	1894
LACROIX.....	Procédés mécaniques de fabrication des briques.	1874
—	Utilisation des eaux industrielles et ména- gères des villes de Roubaix et de Tour- coing.....	1874
—	Sur la teinture en noir d'aniline	1875
—	Sur le bois de Caliatour.....	1875
—	Sur la composition élémentaire de quelques couleurs d'aniline.....	1875
—	Influence de l'écartement des betteraves sur leur rendement.....	1876
—	Influence des engrais divers dans la culture de la betterave à sucre.....	1876
—	Étude sur les causes des maladies du lin....	1876
—	Sur les maladies du lin.....	1877
—	Composition de la laine.....	1877
—	Culture des betteraves.....	1877

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
LACROIX (<i>Suite</i>).....	Étude sur la brûlure du lin.....	1878
—	Études sur la culture du lin à l'aide des engrais chimiques	1878
LADRIÈRE	Les cartes agronomiques.....	1897
LADUREAU	Note sur la présence de l'azote nitrique dans les betteraves à sucre.....	1878
—	Études sur la culture des betteraves, influence de l'époque de l'emploi des engrais	1878
—	Note sur la luzerne du Chili et son utilisation agricole	1879
—	Études sur la culture de la betterave à sucre	1879
—	Étude sur l'utilisation agricole des boues et résidus des villes du Nord	1879
—	Du rôle des corps gras dans la germination des plantes	1879
—	Composition de la graine de lin	1880
—	Préparation de l'azotine	1880
—	La section d'agronomie au Congrès scientifique d'Alger en 1881.....	1881
—	Culture de la betterave à sucre. Expériences de 1880.....	1881
—	L'acide phosphorique dans les terres arables	1882
—	L'acide sulfureux dans l'atmosphère de Lille	1882
—	Procédé de distillation des grains de M. Billet	1883
—	Du rôle de l'acide carbonique dans la formation des tissus végétaux	1883
—	Recherches sur le ferment ammoniacal.....	1885
—	L'agriculture dans l'Italie septentrionale....	1885
—	La betterave et les phosphates.....	1885
—	Études sur un ferment inversif de la saccharose	1885
—	Sur les variations de la composition des jus de betteraves aux différentes pressions...	1886
LAGACHE	Nouveau procédé de blanchiment des matières végétales textiles.....	1900
LAMBERT	L'extraction de chlorure de potassium des eaux de la mer.....	1891

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
LAMBERT (<i>Suite</i>)	Étude sur la transmission de la chaleur.....	1893
—	Perte de charge de l'acide sulfurique dans les tuyaux de plomb.....	1893
—	La désinfection par l'électricité. Le procédé Hermite.....	1894
LAMY	Une visite à la fabrique de la levure française de Maisons-Alfort	1876
—	Du rôle de la chaux dans la défécation.....	1876
LAURENT, Ch.....	Notice biographique sur M. Kuhlmann fils.	1881
LEBLAN, J.....	Appareil avertisseur des commencements d'incendie	1876
LE BLAN, P.....	Rapport sur le projet de loi relatif à la réduction des heures de travail.....	1884
LECLERCQ, A.....	Tracé géométrique des courbes de pressions dans les machines à deux cylindres d'a- près la loi de Mariotte.....	1886
LECOMTE, Maxime ...	Manuel du commerçant.....	1878
—	Étude comparée des principales législations européennes en matière de faillite	1878
LECOUTEUX et GARNIER	Nouvelle machine verticale à grande vitesse pour la lumière électrique.....	1886
LEDIEU, Ach.....	L'Exposition d'Amsterdam en 1895.....	1895
—	La répression des fraudes en Hollande. — La Margarine	1897
—	La réforme de l'enseignement secondaire moderne	1898
—	Réponses au questionnaire de M. le Ministre du Commerce sur les modifications à intro- duire dans la législation des Conseils de Prud'hommes.....	1899
—	L'enseignement des métiers aux Pays-Bas..	1900
—	Recherche aux Pays-Bas des débouchés à ouvrir au commerce et à l'industrie.....	1901
—	A propos de la conférence de La Haye.....	1901
LE GAVRIAN, P.....	Causerie sur l'Exposition de Vienne. Les machines motrices.....	1873
LELOUTRE, G.....	Recherches expérimentales et analytiques sur les machines à vapeur	1873

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
LELOUTRE, G. (<i>Suite</i>)..	Recherches expérimentales et scientifiques sur les machines à vapeur (suite).....	1874
—	Les transmissions par courroies, cordes et câbles métalliques	1882
LEMAIRE.....	Méthode unitaire de dosage du soufre dans les pyrites.....	1903
—	De l'altération des épreuves photographiques tirées aux ferrocyanures métalliques.....	1905
—	Dosage de l'acide sulfurique par la benzidine.	1906
—	Virage et renforcement des photocopies....	1907
LEMOINE.....	Note sur l'éclairage au gaz.....	1875
LEMOULT.....	Perfectionnements de la fabrication de l'indigo synthétique	1902
—	Les plus basses températures obtenues jusqu'à ce jour. — Liquéfaction et solidification de l'hydrogène (procédé Dewar).	1903
—	L'oxylithe	1904
—	Chaleurs de combustion des composés organiques.....	1904
—	Les matières colorantes artificielles.....	1904
—	Sur la détermination des corps gras dans le lait par la méthode Quesneville.....	1905
—	L'hydrolithe (pour préparer l'hydrogène)...	1907
—	Les industries chimiques et les universités en Allemagne.....	1907
—	Recherche et dosage pondéral des nitrates (méthode Busch).....	1907
LEMOULT et LEMAIRE..	Essais de détermination du pouvoir calorifique des combustibles par le calorimètre de Parr.....	1907
LENOBLE.....	L'Hydrotimétrie.....	1902
—	Sur la fabrication de l'éther.....	1893
—	Détermination du titre d'une liqueur contenant un précipité insoluble.....	1894
—	Les courbes de solubilité.....	1896
—	Sur les déformations permanentes des fils métalliques.....	1901

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
LENOBLE (<i>Suite</i>).....	Sur la composition de l'eau.....	1901
—	Sur la puissance calorifique des combustibles et la formule de Goutal.....	1905
—	Le pouvoir calorifique des combustibles et la formule de Goutal.....	1906
—	Supériorité du pouvoir couvrant de la céruse sur celui du blanc de zinc.....	1907
LESCŒUR.....	Rapport sur le traité pratique des matières colorantes de M. Villon.....	1890
—	Observations comparatives sur les procédés chimiques d'essai de la matière grasse du beurre.....	1890
—	Analyses de deux produits commerciaux...	1891
—	Purification de l'acide chlorhydrique du commerce	1892
—	Purification du zinc de commerce	1893
—	Dosage du tannin par le système Aglot ...	1894
—	Le mouillage du lait	1894
—	Sur l'extraction et le dosage du tannin	1895
—	Le mouillage du lait. — Le Séro-densimètre.	1896
—	La loi sur la Margarine	1896
—	Sur les beurres anormaux.....	1899
—	Les petites bières du Nord à l'octroi de Paris.	1900
—	Sur le contrôle rapide du lait	1901
—	Du droit à l'engrais dans les baux à ferme..	1903
—	L'Analyseur de gaz de MM. Baillet et Dubuisson	1904
—	Chimie de la boucherie et de la charcuterie.	1908
—	Le dosage de l'acide sulfureux libre et combiné dans les denrées alimentaires....	1909
LONGHAYE.....	Conférence sur l'œuvre des invalides du travail.....	1876
LOZÉ.....	La houille britannique, son influence et son épuisement	1900
—	Les charbons américains. — Production et prix, procédés mécaniques d'exploitation.	1901
DE LOVERDO.....	L'application du froid aux industries agricoles et au commerce d'alimentation.....	1908

NOMS.	TITRES	ANNÉES
MAIRE	Sur la fabrication de l'acide sulfurique par les procédés dits de contact.....	1902
MARSILLON.....	Le chasse-corps	1879
Mastain et Delfosse.....	Dosage général du sucre dans la betterave à l'aide de la presse « Sans Pareille »....	1905
MATHELIN	Étude sur les différents systèmes de compteurs d'eau	1874
—	Moyens de sauvetage en cas d'incendie	1874
MATHIAS, F.	Observations sur la manière dont on évalue à Lille et dans les environs la force des machines et des générateurs.....	1873
MATIGNON et KESTNER.	Note sur l'évaporation des vinasses... ..	1896
MATIGNON	Une nouvelle application du four électrique.	1897
MELON.....	L'éclairage électrique et l'éclairage au gaz au point de vue du prix de revient.....	1884
—	Note sur le compteur à gaz.....	1885
—	Principe de l'éclairage au gaz	1886
MERCHIER	Monographie du lin et de l'industrie linière dans le département du Nord.....	1901
MERIAU	Histoire de l'industrie sucrière	1890
MEUNIER.....	Renseignements pratiques sur les contrats et opérations d'assurances contre l'incendie.....	1878
—	Quelques mots sur les assurances pour le compte de qui il appartiendra.	1889
—	Notes sur les assurances contre l'incendie. De la vétusté.....	1898
—	Le danger que présente pour le propriétaire le fait d'associer son locataire à son assurance personnelle en le relevant de sa responsabilité locative moyennant une surtaxe de la prime.....	1904
—	Le Congrès contre l'incendie (Paris 1906)..	1906
—	Bases de tarification des primes d'assurances contre l'incendie	1908
MEYNIER	Méthode de mesure du glissement des moteurs asynchrones	1902

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
MEYNIER (<i>Suite</i>)	Étude graphique des moteurs à enroulement différentiel	1903
—	Dangers des canalisations et appareils électriques	1908
MICHOTTE	La science du feu	1906
MILLE, A.	Les eaux d'égout et leur utilisation agricole.	1874
—	Utilisation des eaux d'égout	1874
—	Fabrication de l'acide sulfureux par le procédé EYCKEN, LEROY et MORITZ	1899
MOHLER	Les réducteurs anorganiques et principalement les hydrosulfites	1907
MONTUPET, Antonin	Causes et effets des explosions de chaudières à vapeur; examen des moyens préventifs	1905
MORITZ	Soudure autogène et oxhydro-générateurs Eycken, Leroy, Moritz	1909
—	Contribution à l'étude de l'électrolyse en solution alcaline	1910
Mourmant-Wackernie	Machines à peigner du système Vanoutryve	1875
NÉROT	Le Nord et l'Est de la France et les voies d'accès au Simplon	1905
NEU.	La traction électrique dans les Mines	1892
NEUT	Question monétaire	1891
NEWNHAM	Constructions des théâtres	1873
—	Forage des puits d'après le système Pagniez-Mio	1881
NICODÈME	Appareils fumivores de M. THIERRY fils	1873
NICOLARDOT (le capit.)	Séparation et dosage du fer, du chrome, de l'aluminium et du vanadium	1907
—	Recherches sur les cuirs et sur les peaux	1908
OTTEN	Enregistreur de vitesses	1895
OUDIN, Léonel	Étude sur les sociétés anonymes	1878
PAILLOT	L'homéotropie	1894
—	Propriétés de quelques alliages nouveaux	1895
—	Les Bases scientifiques de la musique	1897

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
PAILLOT (<i>Suite</i>).....	Les illusions d'optique.....	1898
—	Les Salines de Roumanie.....	1899
—	Photographie des ondes sonores.....	1901
—	Propriétés physiques et applications industrielles des aciers au nickel.....	1901
—	Le fluor, application industrielle.....	1902
—	L'arc électrique chantant.....	1902
—	Le Radium.....	1904
—	Application de la physico-chimie à la métallurgie de l'acier.....	1904
—	L'appareil de Lévy et Pécol pour doser l'oxyde de carbone.....	1906
PARSY, P.	Rouissage industriel du lin.....	1886
PASCAL	Sur quelques sels complexes rencontrés dans l'analyse des fontes et aciers.....	1909
PASTEUR.....	Nouveau procédé de la fabrication de la bière	1874
PELLET, H.....	Achat des betteraves suivant leur teneur réelle en sucre.....	1889
—	Nouveau tube fixe polarimétrique.....	1891
—	Méthode rapide pour doser l'eau dans les masses cuites.....	1891
PELLET, LÉON.....	Le congrès de chimie de Londres.....	1909
PÉROCHE	Détermination de la richesse saccharine de la betterave par la densité... ..	1891
PETTI-DUTAILLIS	Le Congrès d'expansion mondiale (Mons 1905).....	1905
—	L'expansion économique de l'Allemagne...	1907
PETTIT, E.....	Dépense comparée des différents types de moteurs à vapeur.....	1907
PHILIPPE, G.....	L'humidité, ses causes, ses effets, les moyens de la combattre.....	1879
PIEQUET	La teinture du coton et du fil de lin en rouge à l'alizarine.....	1894
PIEQUET	Sur un genre d'impression sur tissus intéressant la région du Nord.....	1894
PIÉRON	Sur la durée des appareils à vapeur.....	1884
—	Agrandissement de la gare de Lille.....	1885

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
PIÉRON (<i>Suite</i>).....	Le nickel et ses plus récentes applications..	1885
—	Considérations générales sur les gares de voyageurs.....	1885
PONSOT	La photographie directe des couleurs.....	1905
PORION	Sur un nouveau mode d'emploi de la diastase en distillerie.....	1886
—	Alimentation automatique des chaudières...	1892
RAGUET.....	Utilisation des fonds de cuves de distillerie.	1875
RENOUARD, A.....	Du conditionnement en général et de son application aux cotons et aux lins.....	1873
—	Étude sur le peignage mécanique du lin ...	1874
—	De quelques essais relatifs à la culture et à la préparation du lin.....	1874
—	Des réformes possibles dans la filature du lin.	1874
—	Du tondage des toiles.....	1874
—	Distinction du lin et du chanvre d'avec le jute et le phormium dans les fils et tissus	1875
—	Nettoyage automatique des gilles et des barrettes dans la filature du lin.....	1875
—	Le lin en Russie.....	1876
—	Théorie des fonctions du banc-à-broches; analyse du travail de M. Grégoire.....	1876
—	Étude sur la cardé pour étoupes.....	1876
—	Culture du lin en Algérie.....	1877
—	Nouvelles observations sur la théorie du rouissage du lin.....	1877
—	Nouvelles recherches micrographiques sur le lin et le chanvre.....	1877
—	Note sur le rouissage du lin.....	1877
—	Blanchiment des fils.....	1878
—	Étude sur la végétation du lin.....	1878
—	Note sur les principales maladies du lin....	1878
—	Le lin en Angleterre.....	1878
—	Le lin en Belgique, en Hollande et en Allemagne.....	1880

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
RENOUARD, A. (<i>Suite</i>).	Les fibres textiles en Algérie.....	1881
—	Étude sur la ramie.....	1881
—	Les tissus à l'Exposition des arts industriels de Lille	1882
—	L'abaca , l'agave et le phormium.....	1882
—	Les crins végétaux.....	1882
—	Biographie de M. Corenwinder	1884
—	Production et commerce des laines d'Australie	1886
REUMAUX.....	Serrement exécuté dans la mine de Douvrin	1884
ROGEZ, Ch.....	Le rouble, ses fluctuations et ses consé- quences	1890
—	La loi sur la conciliation et l'arbitrage.....	1894
—	Le Mouvement mutualiste en France.....	1896
—	Le Congrès de législation ouvrière. (Expo- sition de Bruxelles 1897).....	1897
ROLANTS.....	Épuration biologique des eaux résiduaires de sucrerie.....	1904
—	Épuration des eaux résiduaires d'amidon- nerie.....	1905
—	Épuration des eaux résiduaires de féculerie.	1906
—	Épuration de vinasses de distillerie de bette- raves.....	1906
—	Eaux de lavage du gaz à l'eau.....	1907
—	Contrôle de l'épuration des eaux d'égout...	1908
—	Épuration des eaux résiduaires des abattoirs ruraux.....	1908
—	Les matières colloïdales des eaux d'égout...	1909
—	Épuration des eaux résiduaires de laiterie.	1910
ROUSSEL F.....	Sur les fourneaux économiques.	1877
ROUSSEL, Ém.....	La teinture par les matières colorantes déri- vées de la houille.....	1881
—	Matières colorantes dérivées de la houille...	1882
—	Les matières colorantes dérivées de la houille	
RUFFIN, A.....	Étude du beurre et de ses falsifications.....	1883
—	De la chicorée	1889
—	Les pepsines du Commerce et leur titrage...	1898

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
RUFFIN, A. (<i>Suite</i>)...	Observations sur le dosage du beurre dans le lait par l'acido-butyromètre.....	1901
RYO	Machine à réunir et à peser les fils.....	1902
RYO-CATTEAU..	Note sur un nouveau système de bobinage et d'ourdissage.....	1884
SAGNIER	Les gazogènes	1888
—	Le transporteur mécanique pour bouteilles de M. Houtart.....	1893
—	Brûleur fumivore, système Douin.....	1893
SALADIN.....	Étude sur le lavage des laines.....	1907
SARRALIER	Compensateur Sarralier.....	1877
SAVY.....	Note sur le foyer système Cohen	1892
SCHEURER-KESTNER ..	Chaleur de combustion de la houille du bassin du Nord de la France.....	1888
SCHMITT.....	Le beurre, ses falsifications et les moyens de les reconnaître.....	1883
—	Dosage des acides gras libres dans les huiles	1883
—	Analyse du beurre par le dosage des acides gras volatils.....	1884
—	Étude sur la composition des beurres de vache, de chèvre et de brebis.....	1885
—	Les produits de l'Épuration chimique du gaz. — Dosage du cyanogène actif.....	1883
—	La saccharine de Fhalberg.....	1889
—	Les sulfures d'arsenic.....	1901
—	Mastics à base de sels métalliques.....	1901
—	Le pourpre de Cassius.....	1902
—	Un appareil à dissociation.....	1904
—	Les matières azotées de la glycérine et des graisses	1904
SÉE, Alexandre.....	Le mécanisme du vol à voile des oiseaux....	1908
—	Le verre parasol, empêchant le passage des rayons solaires	1908
—	Les économiseurs.....	1909
—	L'aviation et ses lois expérimentales.....	1910

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
SÉE, Paul (<i>Suite</i>).....	Havage mécanique dans les mines de charbon	1873
—	Nouveau procédé de conservation des bois..	1875
—	Des expertises en cas d'incendie	1876
—	Observations sur un nouveau système de chauffage	1879
—	Industrie textile. Machines et appareils à l'Exposition de 1878.....	1879
—	Note sur les récentes améliorations apportées dans la construction des transmissions de mouvement.....	1879
—	Étude sur la meunerie.	1883
—	Communication sur une installation de deux courroies superposées pour commande d'une force de 700 chevaux.	1888
—	Une nouvelle cardé à coton.....	1889
—	Nouveau matériel électrique.....	1893
—	Perfectionnements dans les appareils de chauffage industriel.....	1893
—	Construction béton et fer.....	1893
—	Réfrigérants pulvérisateurs.....	1895
—	Construction de ciment armé, système Hen- nebique	1895
—	Écroulement d'une filature.....	1896
—	La Question monétaire	1897
—	Économiseurs-réchauffeurs d'eau d'alimen- tation des chaudières à vapeur.....	1897
—	Peigneuse pour cotons moyens, système Staub et Montforts.....	1899
—	Métier à double duite.....	1899
—	Chaudière X, de M. P. Borrot.....	1899
—	Le péril américain	1902
—	La question des métiers à tisser automatiques.	1907
SEIBEL.....	Les fours à cokes	1885
SIDERSKY	Procédé volumétrique pour le dosage des sulfates en présence d'autres sels	1888
SMITS.....	Cas d'une machine, avec dispositions défec- tueuses à l'échappement à tel point que l'effet du condenseur paraît nul.....	1900

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
SMITS, (<i>Suite</i>).....	Exemple de courroies demi-croisées d'une certaine importance et conseils sur leurs installations.....	1901
—	Travail nul dans le grand cylindre d'une machine compound et dans l'un des cylindres d'une machine jumelle.....	1905
—	Du danger d'explosion des objets formant vases clos.....	1905
—	Cas d'une machine à vapeur marchant sans compression.....	1905
—	Interprétation par les tribunaux de l'article 18 de la loi sur les brevets.....	1908
STAHL.....	Sur l'attaque des cuvettes en fonte dans la fabrication du sulfate de soude.....	1896
—	Sur la présence du perchlorate dans les nitrates de soude et de potasse.....	1899
—	Dosage du chlore des chlorures, des chlorates et perchlorates dans un même échantillon.....	1899
STURHAY, Jean.....	Renseignements pratiques sur les conditions publiques.....	1888
—	Nouvelle étuve de conditionnement à réglage rationnel de température.. ..	1890
—	Observations sur les conditionnements hygrométriques des cotons en Angleterre et en France	1890
SWYNGEDAUV.....	Avantages généraux et économiques de la distribution électrique de force dans les ateliers.....	1903
—	Étude comparative des prix de revient de l'énergie dans les grandes usines centrales électriques et dans les usines à vapeur ou à gaz pauvre	1903
—	Conséquences économiques et sociales des transports d'énergie par l'électricité	1904
—	La densité du courant et la tension les plus favorables pour la transmission de l'énergie.....	1905

NOMS.	TITRES.	ANNEES
SWYNGEDAUV (<i>Suite</i>) .	Machine électrique d'extraction	1905
—	Divers aspects économiques des transports d'énergie	1906
—	La transmission électrique de la force à distance	1907
—	Fabrication électrique de l'acide nitrique	1907
TARTARAT	Soutirage des liquides	1895
TERQUEM	Production artificielle de la glace (1 ^{re} partie)	
—	Thermomètre avertisseur	1874
—	De l'éclairage électrique par l'appareil Gramme	1875
—	Appareil Meidinger pour la préparation des glaces alimentaires	1876
—	Procédé pour écrire sur le verre	1876
—	Lampe à gaz et lampe monochromatique	1880
THIBAUT	La bière à Lille	1884
THIRIEZ, A.	Les institutions de prévoyance au Congrès de Bruxelles	1876
THOMAS, A.	Planimètre polaire d'Amsler. Théorie dé- monstrative	1874
THOMAS	Méthode d'analyse des laines peignées	1875
TRANNIN	Saccharimètre des râperies	1884
VALDELIÈVRE	Le Peet-Valve	1877
VALROFF	Des caisses de secours dans les établis- sments industriels	1877
VANDEBOSSCH	Machine à pianner	1882
VANLAER	L'impôt sur le revenu en Angleterre et en Prusse	1904
VANUXEM	Sur le congrès international des industries frigorifiques	1908
VASSART (l'abbé)	Application de l'électricité à l'éclairage des ateliers	1877
—	Etude sur l'alizarine artificielle	1887

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
VASSART (l'abbé) <i>(Suite)</i>	Sur une nouvelle série de colorants tétra- zoïques.....	1891
—	Étude sur la composition des noirs d'aniline.	1891
VERBIÈSE.....	Congrès de l'Association des chimistes de sucrerie et distillerie.....	1898
—	De l'analyse des eaux au point de vue de leur épuration chimique.....	1899
—	Le contrôle chimique de la distillerie agricole dans la région du Nord.....	1900
—	Le 4 ^e congrès international de chimie ap- pliquée.....	1900
VERSTRAETE.....	L'industrie du napthe au Caucase.....	1899
VILLAIN.....	Machine à gazer les fils.....	1889
VILLAIN, Alfred.....	Impression sur étoffe par photo-teinture....	1893
VILLOQUET.....	Tableau des fluctuations du Rouble.....	1891
VINSONNEAU.....	Vanne double.....	1883
VIOLLETTE.....	Analyse commerciale des sucres.....	1874
—	Procédé pratique pour le dosage de la mar- garine dans les beurres du commerce....	1898
VRAU.....	Utilité des voyages.....	1874
—	Étude sur les caisses d'épargne, les caisses de secours et les caisses de retraite pour les ouvriers industriels.....	1875
—	Hygiène des habitations.....	1878
WALLON.....	La mesure des puissances et les méthodes applicables aux machines réceptrices....	1910
WAVELET.....	Dosage volumétrique des phosphates.....	1893
--	Nouveau procédé de dosage de la potasse.	1898
WILSON.....	L'extincteur « <i>Le Grinnell</i> ».....	1884
WITZ, A.....	De l'action de paroi dans les moteurs à gaz tonnant.....	1883
—	Chaleur et température de combustion du gaz d'éclairage.....	1885

NOMS.	TITRES.	ANNÉES
WITZ, A. (<i>Suite</i>).....	Réponse à quelques objections contre l'action de paroi.....	1886
—	Les accumulateurs électriques.....	1887
—	Graissage des moteurs à gaz.....	1888
—	Étude théorique et expérimentale sur les machines à vapeur à détentés successives.	1890
—	Étude photométrique sur les lampes à récupération.....	1891
—	Étude sur les explosions de chaudières à vapeur	1892
—	Du rôle et de l'efficacité des enveloppes de vapeur dans les machines Compound.....	1892
—	Analyse d'une machine Compound.....	1896
—	Les automobiles dans le passé, le présent et l'avenir.....	1898
—	Production et vente de l'énergie électrique par les stations centrales..	1898
—	Les unités de puissance : Cheval-heure. Kilowatt et Poncelet.....	1899
—	Histoire de la surchauffe.....	1903
—	Théorie de la surchauffe.....	1903
—	Considérations théoriques et pratiques sur les machines à vapeur surchargées.....	1906
—	Introduction à l'étude des turbo-moteurs...	1907
WOUSSEN	Note sur quelques moyens d'apprécier le travail des presses et des râpes dans les sucreries	1898
—	Note additionnelle sur les moyens d'apprécier le travail des presses et des râpes dans les sucreries	1903
ZARSKI.	La photographie astronomique, la carte du ciel, le système planétaire, le monde sidéral.	1903

Le Secrétaire-Gérant :

ANDRÉ WALLON.

Compagnie Française pour l'Exploitation des procédés

Thomson-Houston

SOCIÉTÉ ANONYME, CAPITAL : 60.000.000 DE FRANCS

SIÈGE SOCIAL : 10, rue de Londres, PARIS (IX^e),

ATELIERS {

- à Paris
- à LESQUIN-LEZ-LILLE
- à Neuilly-sur-Marne

APPLICATIONS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRICITÉ

Dynamos & Alternateurs
 Transformateurs
 Moteurs
 Turbines à vapeur CURTIS

Envoi de catalogues franco sur demande

Agence de la Région du Nord :

Ernest MESSAGER, Ingénieur des Arts et Manufactures

61, Rue des Ponts-de-Comines

LILLE

TÉLÉPHONE 17.26

Grande économie

☞ ☞ ☞ *de charbon*

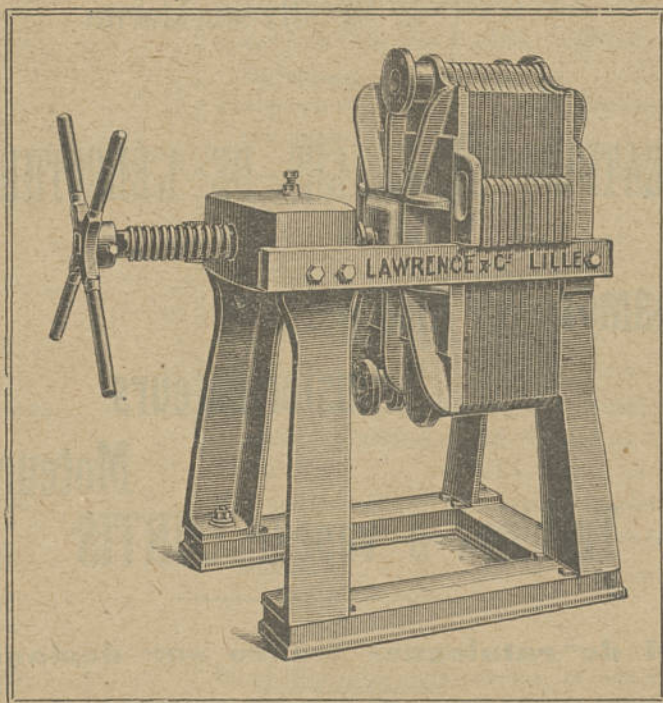
PAR L'EMPLOI DU

Condenseur - Réchauffeur 

 Capillaire "LAWRENCE"

BREVETÉ S. G. D. G.

Société d'encouragement
pour l'Industrie Nationale



MÉDAILLE D'ARGENT
Janvier 1909

L. BIRON

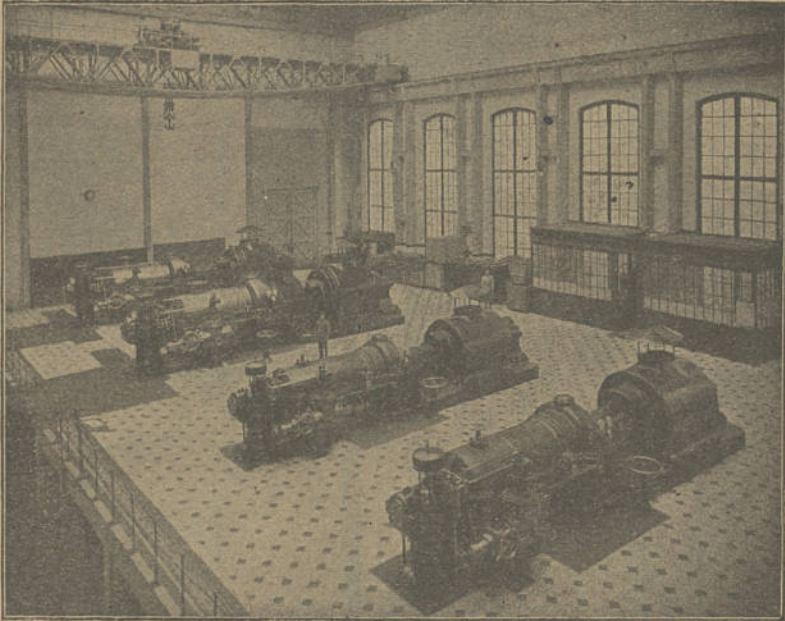
CONSTRUCTEUR

90, Rue du Chevalier-Français. - LILLE

COMPAGNIE ÉLECTRO-MÉCANIQUE

LE BOURGET (SEINE)

AGENCES À *LILLE, 9, Rue Faidherbe.* **TÉLÉP. 7.40**
LYON, 53, rue de la Bourse.
NANCY, 2, rue de Lorraine.



Energie électrique du Nord de la France, à Wasquehal (Nord).
Station centrale comportant deux turbo-alternateurs de 1.800 kw., et deux autres
de 3.500 kw. chacun.

TURBINES A VAPEUR, BROWN, BOVERI-PARSONS

pour la commande de
GÉNÉRATRICES ÉLECTRIQUES, des POMPES,
des COMPRESSEURS, des VENTILATEURS, la PROPULSION DES NAVIRES.

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE BROWN, BOVERI & C^{ie}

MOTEURS MONOPHASÉS A VITESSE VARIABLE ; Applications spéciales à l'Industrie textile
et aux Mines.

MOTEURS HERMÉTIQUES POUR POMPES DE FONÇAGE.
COMMANDE ÉLECTRIQUE DE LAMINOIRS ET DE MACHINES D'EXTRACTION.
ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES WAGONS.

TRANSFORMATEURS ET APPAREILS A TRÈS HAUTE TENSION, ETC...

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DU NORD DE LA FRANCE

TARIF DES ANNONCES

DURÉE DE L'ABONNEMENT	Une page (0,12 sur 0,20)	Une demi-page (0,12 sur 0,10)	Un quart de page (0,12 sur 0,02)	Une ligne.
Un mois (1 insertion).....	10 »	7 »	4 »	0,50
Trois mois (3 insertions).....	25 »	18 »	10 »	1,25
Six mois (6 insertions).....	40 »	32 »	18 »	2,25
Un an (12 insertions).....	75 »	54 »	30 »	3,75

POUR LES PREMIÈRES ET DERNIÈRES PAGES ET PAGES DE LA COUVERTURE ON TRAITE DE GRÉ A GRÉ.

Les Annonces sont reçues au Secrétariat de la Société, 116, rue de l'Hôpital-Militaire, LILLE.

LE MOIS SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL

LISEZ-LE

pour

Économiser votre temps

Il est la **Revue des Revues techniques** et donne le contenu des 540 meilleures publications.

Le **Foyer de la Documentation**, c'est ce qu'il veut être et ce qu'il est depuis 10 ans.

ABONNEMENTS: France, 20 fr. Étranger, 25 fr. par an

INTÉGRALEMENT REMBOURSÉS

Spécimen gratuit de 160 pages contre 0 fr. 40 en timbres du pays.



ÉCRIVEZ-LUI

Il permet à l'ingénieur et à l'industriel de tirer parti de tous les faits nouveaux.

A tous ceux qui ont des ennuis et qui veulent entreprendre un travail, il offre ses conseils pratiques et sa documentation : il vous guidera par des Bibliographies, des Mémoires et des Conseils pratiques ; il tirera parti de vos inventions en déposant vos Brevets, en les négociant ; il vous aidera en vous donnant des Conseils juridiques.

LE FOYER DE LA DOCUMENTATION

90 pages de luxe contre Un franc en timbres du pays.

J. & A. NICLAUSSE

(Société des Générateurs Inexplosibles « Brevets Niclausse »)

24, Rue des Ardennes, PARIS (XIX^e Arr^t)

Adresse télégraphique: GÉNÉRATEUR-PARIS. — Téléphone interurbain: 1^{re} ligne, 415.01; 2^e ligne, 415.02.

HORS CONCOURS, Membres des Jurys Internationaux aux Expositions universelles

PARIS 1900 — SAINT-LOUIS 1904 — MILAN 1906 — FRANCO-BRITANNIQUE 1908

GRANDS PRIX: Saint-Louis 1904 — Liège 1905 — Hispano-Française 1908 — Franco-Britannique 1908

CONSTRUCTION de GÉNÉRATEURS MULTITUBULAIRES pour toutes APPL.ICATIONS:

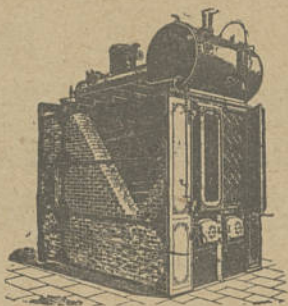
PLUS D'UN MILLION
de chevaux-vapeur

en fonctionnement dans:

Grandes industries,
Ministères,
Administrations
publiques,
Compagnies
de chemins de fer,
Villes,
Maisons habitées

AGENCES RÉGIONALES:

Bordeaux, Lyon, Lille,
Marseille, Nantes,
Nancy, Rouen, etc.



CONSTRUCTION EN:
France,
Angleterre, Amérique,
Allemagne, Belgique,
Italie, Russie.

PLUS D'UN MILLION
de chevaux-vapeur

en service

dans Marines Militaires:
Française, Anglaise,
Américaine, Allemande,
Japonaise, Russe,
Italienne, Espagnole,
Turque, Chilienne,
Portugaise, Argentine,
Brésilienne, Bulgare.

MARINE DE COMMERCE.

100.000 chevaux.

MARINE DE PLAISANCE:

5.000 chevaux.

CONSTRUCTION DE GÉNÉRATEURS POUR:

Guirassés, Croiseurs,
Canonnières, Torpilleurs,
Remorqueurs, Paquebots,
Yachts, etc.



REVUE GÉNÉRALE

DE

CHIMIE

PURE ET APPLIQUÉE

FONDÉE PAR

Charles FRIEDEL

ET

George F. JAUBERT

MEMBRE DE L'INSTITUT
PROFESSEUR DE CHIMIE ORGANIQUE A LA BORBORNE

DOCTEUR ES SCIENCES
ANCIEN PRÉPARATEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

La *Revue Générale de Chimie* est de beaucoup le plus important de tous les journaux de Chimie publiés en langue française; elle est la plus intéressante et la plus instructive parmi les Revues de Chimie, et son prix est en même temps meilleur marché que celui de tous les autres périodiques analogues

PRIX DES ABONNEMENTS (partant des 1^{er} janvier et juillet)

	UN AN	SIX MOIS	LE NUMÉRO	N ^o de collection d'une année précédente
Paris (Seine et Seine-et-Oise) fr.	25 "	13 "	1 60	2 50
Départements	27 50	14 25	1 60	Table des matières
Etranger	30 "	15 50	1 60	3 "
Le Répertoire seul, Paris et Etranger				20 fr.

On s'abonne aux bureaux de la *Revue*, 155 boulevard Malesherbes, à Paris, XVII^e arr. (téléphone: 522.96), chez les Libraires et dans les bureaux de poste.

PRIME A TOUS NOS NOUVEAUX ABONNÉS

Tous nos nouveaux Abonnés, qui adresseront le montant de leur abonnement directement aux bureaux de la *Revue*, 155, BOULEVARD MALESHERBES, à Paris, auront droit à la prime suivante:

Les premières années de la *Revue Générale de Chimie* (édition complète) brochées (valeur de chaque année formant 2 volumes: 25 fr.), leur seront adressées contre l'envoi de 18 francs par année (port en sus).

CASE

A

LOUER

SUTTILL & DELERIVE

15, Rue du Sec-Arembault,
LILLE

TELEPHONE N° 526.

Télégrammes: SUTTILL-LILLE

MACHINES & ACCESSOIRES

EN TOUS GENRES POUR LES INDUSTRIES TEXTILES

Concessionnaires exclusifs pour la France et la Belgique de :

BROOKS & DOXEY LTD, MANCHESTER

MACHINES POUR FILATURES ET RETORDERIES DE COTON

Spécialité de Continus à Anneaux à Filer et à Retordre

RICHARD THRELFALL, BOLTON

CONSTRUCTEUR-SPECIALISTE DE MÈTIERS SELFACTINGS

Pour les Fins Numéros (N°s 50 à 300)

CURSEURS POUR CONTINUS A ANNEAUX A FILER ET RETORDRE

de la marque réputée "BROOKS et DOXEY Travellers"

DÉPOT LE PLUS COMPLET DE FRANCE

HUILE POUR BROCHES. — GRAISSE POUR ANNEAUX

Compteurs, système ORME, à chiffres tournants
pour tous mouvements rotatifs. Universellement adoptés
pour les Machines Textiles

POULIES EN FER FORGÉ PERFORÉES, BREVETÉES

Supprimant le glissement des courroies, plus de 200.000 en marche

BOBINES POUR LE FIL A COUDRE

de la fabrication de OSTROM et FISCHER de Gothenbourg (Suède)

CASE

A

LOUER

CASE

A

LOUER

CASE A LOUER

CASE

CASE A LOUER

FOUR

Charles DAVID

LILLE — 1, 3, 5, Rue des Bois-Blancs, 1, 3, 5 — LILLE



BREVET
395.631

Joint en acier strié "LE PERPÉTUEL"

Ce joint est préparé spécialement pour la vapeur surchauffée à 400 degrés et pour la haute pression.

CASE

A

LOUER

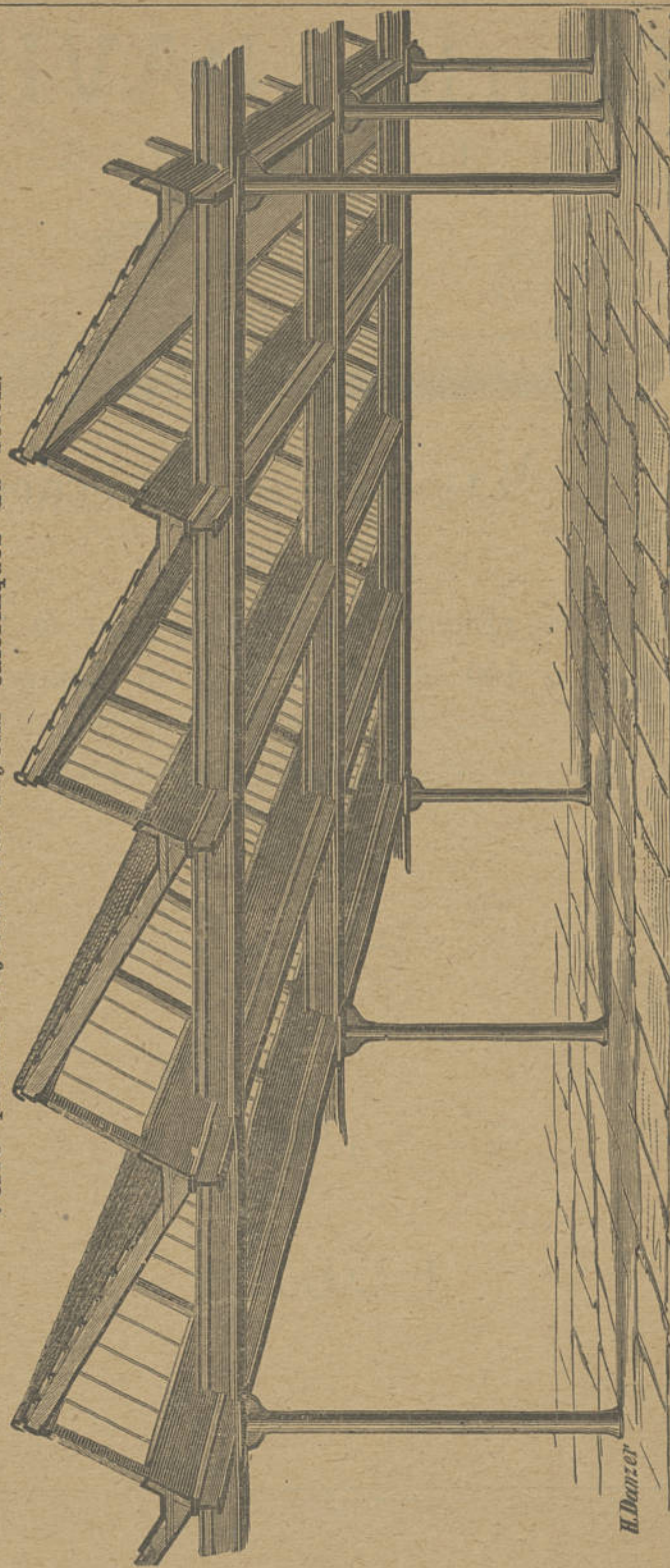
PAUL SÉE, ING^r, Architecte-Entrepreneur, à **LILLE**

ÉTUDES ET ENTREPRISES A FORFAIT

Rez-de-Chaussées et Bâtimens à étages incombustibles et à bon marché

Ciment armé. — Hangars depuis 8 francs le mètre carré.

Verre parasol rejetant les rayons calorifiques du soleil.



Chauffage. — Ventilation. — Humidification. — Séchoirs. — Etuves. — Fourns.
 Réfrigérans d'eau de condensation. — Economiseurs à circulation. — Surchauffeurs. — Moteurs.
 Condensation centrale. — Transmissions. — Mécanique électrique.

760 USINES CONSTRUITES DEPUIS 1866.

CASE

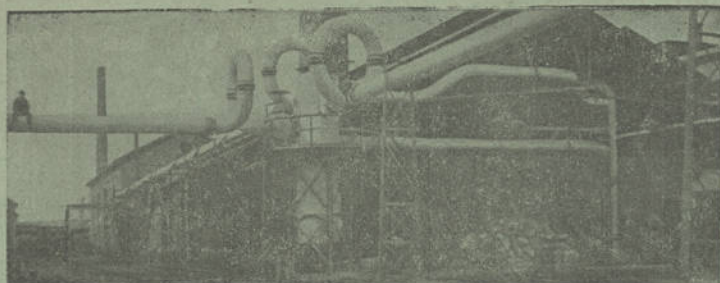
A

LOUER

CHARLES DAVID

LILLE — 1-3-5, Rue des Bois-Blancs, 1-3-5 — LILLE

— 00 TÉLÉPHONE 1647 00 —



Spécialité de Calorifuge pour Vapeur Surchauffée

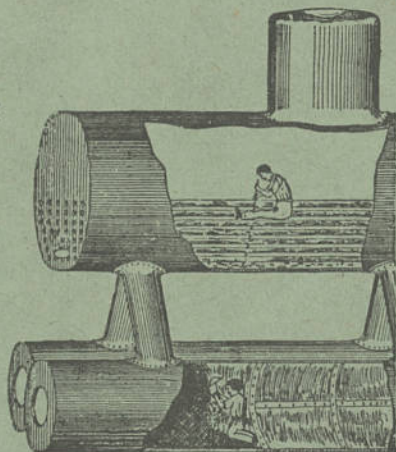
HAUTE ET BASSE PRESSION ET CONTRE LA GELÉE

BRIQUES D'AMIANTE & BRIQUES AGGLOMÉRÉES DE LIÈGE ET D'AMIANTE

Breveté S. G. D. G. n° 384364

ENTREPRENEUR
ADJUDICATAIRE

des travaux
de la Ville de Lille
et des Facultés
depuis quinze ans
concernant la fumisterie
et
l'entretien en général
des chaudières



ENTREPRENEUR
ADJUDICATAIRE

du ramonage
et du
nettoyage des chaudières
des
bâtiments de l'État
Administration des hospices
rue de la Barre

BATTAGE DE CHAUDIÈRES AU FER

ENTRETIEN GÉNÉRAL DE GÉNÉRATEURS

en tous genres

*En vue de la visite de l'Association des Propriétaires des Appareils
à Vapeur du Nord de la France*

Cerclage et Réparations de Cheminées d'Usines à vapeur.
Pose de Paratonnerres. — Fournitures Générales pour Usines.