

060 962

BULLETIN
MENSUEL
DE LA
SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE
DU NORD DE LA FRANCE

paraissant le 15 de chaque mois.

38^e ANNÉE.

N^o 159. — AOUT 1910.

=====
SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ :

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

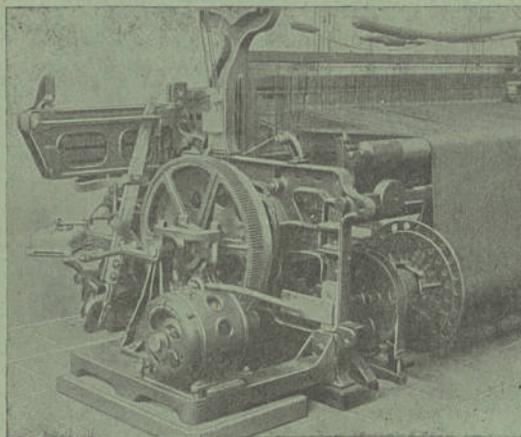
LILLE
IMPRIMERIE L. DANIEL
1910

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.

APPAREILLAGE
TRANSFORMATEURS

LAMPES A ARC

CHARBONS A LUMIÈRE

LAMPES A INCANDESCENCE

LAMPE **OSMINE**

BALAIS POUR DYNAMOS

FILS ET CABLES.

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

CASE

A

LOUER

E. & A. SÉE

TÉLÉGRAMMES :
SÉE — 15 AMIENS. LILLE

Ingénieurs

Téléphone N° 4

15, RUE D'AMIENS, LILLE

BATIMENTS INDUSTRIELS

Étude et entreprise générale à forfait.

BATIMENTS INCOMBUSTIBLES

A ÉTAGES VOUTÉS.

Hourdis plans.

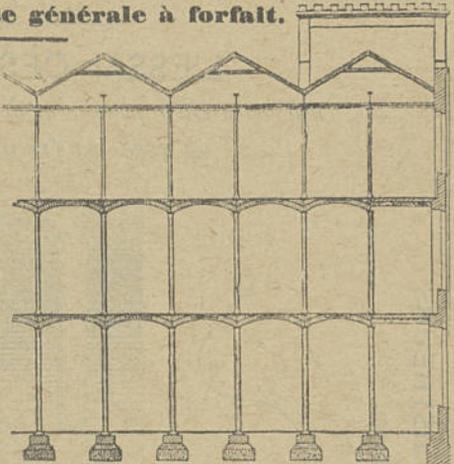
Hourdis tubulaires isolants
à circulation d'air.

TRAVAUX EN BÉTON ARMÉ

A l'épreuve du feu :

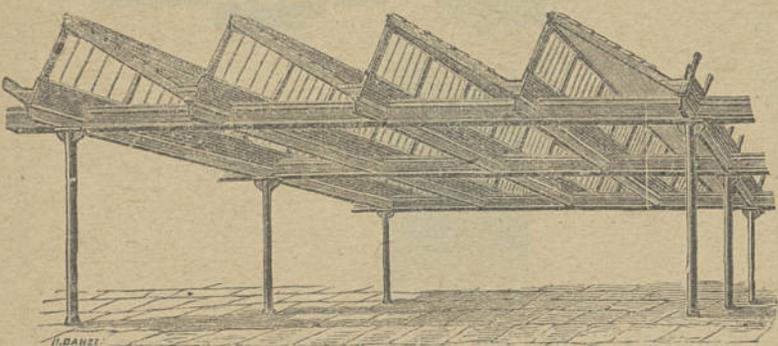
Bâtiments à étages à très grandes
surfaces vitrées.

Magasins, Docks, Entrepôts
à étages lourdement chargés



BATIMENTS, REZ-DE-CHAUSSÉE, INCOMBUSTIBLES

Pour Filatures, Tissages, Blanchisseries, etc.



NOUVEAUX TYPES SPÉCIAUX POUR GRANDS ÉCARTEMENTS DE COLONNES.

HANGARS MÉTALLIQUES, MIXTES ou BOIS, pour l'Industrie.

Installations complètes de **CHAUFFAGE** et **VENTILATION**.

TUYAUX A AILETTES PERFECTIONNÉS,

PURGEURS AUTOMATIQUES,

Appareils à vaporiser les filés.



RÉFRIGÉRANTS PULVÉRISATEURS D'EAU DE CONDENSATION

Nouvelles POULIES EMBOUTIES, tout en TÔLE D'ACIER.

DYNAMOMÈTRES A. W.

Brevetés S. G. D. G.

Dynamomètres de Transmission

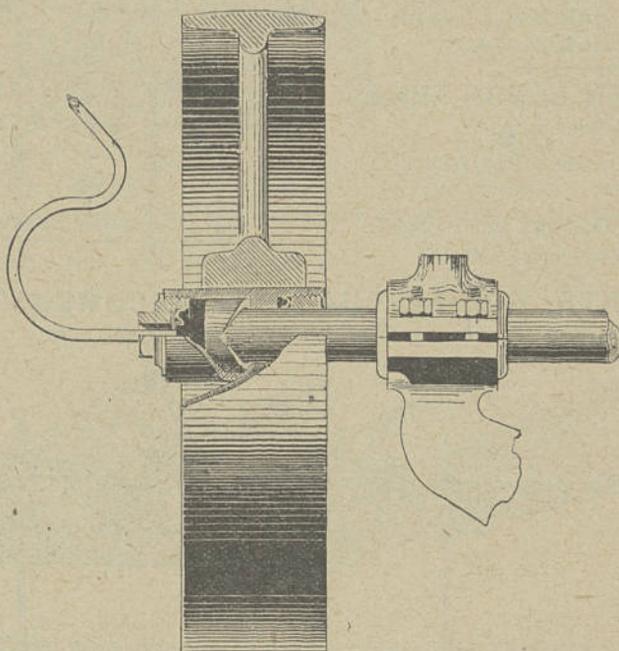
POUR TOUTES

MESURES DYNAMOMÉTRIQUES

L'ESSAI DES MOTEURS

*est beaucoup plus simple avec l'appareil A. W.
qu'avec les freins d'absorption.*

COMPTEURS-ENREGISTREURS
d'énergie mécanique.



CONTROLE PERMANENT
de la puissance absorbée par chaque machine
à chaque instant.

L'appareil A.W. est indispensable et unique pour
l'essai de toutes les

MACHINES CONSOMMANT L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

SIMPLICITÉ. - ROBUSTESSE. - PRÉCISION.

Demander la Notice et tous renseignements à
M. ANDRÉ WALLON, INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES A **LILLE**
110-116, Rue de l'Hôpital-Militaire :: TÉLÉPHONE 64

CASE

A

LOUER

MAISON FONDÉE EN 1847

CONSTRUCTION SPÉCIALE
D'APPAREILS DE SURETÉ
Pour Chaudières à Vapeur

LES SUCCESSEURS DE
LETHUILLIER - PINEL
INGÉNIEURS-MÉCANICIENS
ROUEN

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

INDICATEURS MAGNÉTIQUES du niveau de l'eau :

1^o VERTICAUX ;

2^o 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, LILLÉ**

Téléphone 9.52

SOMMAIRE DU BULLETIN N° 159.

Pages.

1^{re} PARTIE. — TRAVAUX DES MEMBRES :

M. ALEXANDRE SÉE. — L'aviation et ses lois expérimentales... 447

2^e PARTIE. — DOCUMENTS DIVERS :

Listes des Sociétaires au 1^{er} Octobre 1910..... 521

Membres du Conseil d'administration..... 552-553

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE du Nord de la France

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

BULLETIN MENSUEL

N^o 459

38^e ANNÉE. — AOÛT 1910.

1^{re} PARTIE. — TRAVAUX DES MEMBRES

L'AVIATION ET SES LOIS EXPÉRIMENTALES

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

CHAPITRE I^{er}.

GÉNÉRALITÉS SUR LE PROBLÈME DU VOL.

Rôle de la théorie en aviation. — Difficultés de l'expérimentation. —
Différents modes de vol. — Comment le problème se pose pour l'homme.
— La loi des cubes. — Ceux qui ont résolu le problème.

Le présent ouvrage a pour objet d'exposer nos connaissances actuelles sur les lois expérimentales de la résistance de l'air, envisagées aux points de vue qui intéressent l'aviation, et leur application à l'étude des lois du vol mécanique.

Le premier chapitre sera consacré à des considérations générales sur le problème du plus lourd que l'air, sur les difficultés particulières qu'il présente pour l'homme, et sur les diverses solutions qu'il comporte.

Nous étudierons ensuite en détail les lois de la résistance de l'air, telles qu'elles résultent des expériences les plus récentes ; nous appliquerons ces lois, grâce à quelques calculs algébriques simples, à l'étude des problèmes qui se posent en aviation, notamment à la théorie des aéroplanes, à celle des hélices propulsives, hélices sustentatrices et hélicoptères, ainsi qu'au vol des oiseaux.

Nous disons : à l'étude des problèmes, notez bien que nous ne disons pas : à la solution des problèmes.

La théorie n'a guère, jusqu'ici, solutionné de problème en aviation, et il lui sied de montrer une grande modestie. Loin d'être établie d'une façon définitive, on commence seulement à l'entrevoir, et il y a bien des points qui lui échappent encore.

Nous irons donc au devant de l'objection que l'on pourrait nous faire : la théorie, dira-t-on, n'est jusqu'ici qu'un amas de raisonnements faux qui sont invariablement contredits par les faits ; loin de servir de guide aux chercheurs, elle n'a réussi qu'à les induire en erreur, à fausser les idées, à paralyser les initiatives, à déconsidérer leurs efforts et, somme toute, à retarder la réalisation du vol mécanique.

Nous n'y contredirons pas ; à l'heure actuelle tout le monde est de cet avis, et avec raison.

Lors de la visite des Parlementaires au Camp de Châlons, en février 1909, M. Painlevé disait :

« En fait, nous nous rendons compte que nous ne connaissons rien d'exact en cette matière ; toutes les formules que nous croyions établies sur les résistances de l'air, sur les déplacements, les essais qui se poursuivent nous en montrent le vide ou l'erreur ».

Et M. Rateau, ingénieur des Mines, émet un avis semblable dans l'*Aérophile* du 15 juin 1909 :

« Nous ne sommes guère fixés sur les coefficients pratiques, ni même sur les principes à appliquer pour le calcul des surfaces sustentatrices ou pour celui des hélices propulsives. En cette matière, comme en beaucoup d'autres, le génie des inventeurs a devancé la science, et fait son œuvre sans se soucier trop des idées plus ou moins erronées en cours. Il faut maintenant que cette branche de la mécanique des fluides soit aussi promptement que possible mise à hauteur, pour donner enfin aux ingénieurs les règles fondamentales qu'ils devront suivre et les coefficients numériques qu'il leur faudra appliquer ».

C'est déjà savoir quelque chose que de savoir qu'on ne sait rien. Il a fallu longtemps à la théorie de l'aviation pour en arriver à ce point, et pour s'apercevoir que les données sur lesquelles elle était partie étaient inexactes ; et c'est pourquoi elle a si longtemps failli à son rôle.

Est-ce à dire qu'il faille refuser de lui faire crédit ? Ce serait peut-être tomber dans une autre erreur.

Elle peut, elle doit rendre des services dans cette branche comme dans toutes les autres, à condition d'y apporter, plus soigneusement encore que dans toute autre, l'ordre, la méthode et la précision qui y ont manqué ; et à condition que la théorie reste dans son rôle, qui n'est pas de deviner *a priori* par le raisonnement les phénomènes et les lois physiques, mais simplement de les observer avec méthode pour pouvoir ensuite prévoir, par analogie, les circonstances de leur retour.

La théorie doit suivre l'expérience pas à pas. Il faut donc commencer par l'étude expérimentale la plus rigoureuse possible, étude qui a pour complément l'établissement de lois expérimentales et empiriques destinées à en résumer les résultats.

Ces lois expérimentales pourront rester réfractaires à toute vérification par le raisonnement ; mais cela importe peu.

Le principal est qu'elles permettent d'exprimer numériquement les phénomènes entre des limites déterminées, et avec une approximation connue.

Ensuite, dans l'application de ces lois et des formules qui les traduisent, on devra ne jamais perdre de vue les limites entre lesquelles elles sont applicables, et leur degré d'approximation. On se gardera d'extrapoler les formules, les lois physiques présentant souvent des changements d'allure brusques.

En posant les problèmes, on pèsera avec soin chacune des hypothèses admises ; les calculs basés sur des hypothèses admises à la légère, comme on en a fait trop souvent, sont non seulement inutiles mais nuisibles, en ce qu'ils répandent des idées fausses.

On se défiera par dessus tout des hypothèses implicites, celles qu'on fait involontairement sans s'en douter, rien que par la manière dont on aborde le problème.

Ces hypothèses implicites sont les plus dangereuses, parce qu'on ne se rend pas compte qu'on les fait et qu'on ne les examine pas ; ce sont elles qui permettent de démontrer des absurdités au moyen d'un raisonnement qui a toutes les apparences de la rigueur.

En énumérant ces recommandations, nous avons l'air de prêcher des vérités évidentes, que M. de la Palisse n'eût pas désavouées. En réalité nous touchons du doigt l'écueil le plus grave auquel se soit heurté la théorie, et jamais on n'en signalera trop souvent le danger. Nous aurons l'occasion d'en montrer plusieurs exemples très frappants et très instructifs, principalement dans la théorie des hélices et dans celle du vol à voile.

D'ailleurs, nous parlerons plusieurs fois, et en détail, des erreurs commises dans le passé, en pratique comme en théorie. Ce ne sera ni dans un but historique, ni pour le vain plaisir de critiquer ; c'est parce que ces erreurs sont des leçons pour nous ; des esprits très éminents y sont tombés, elles sont, si on peut dire, naturelles, et il était tout indiqué qu'on s'y laisserait prendre. Elles n'en sont que plus instructives, parce qu'elles nous montrent les points faibles de nos intuitions et de nos raisonnements ; elles nous enseignent à nous défier de ce qui nous paraît évident, et à serrer la rigueur mathématique de plus près. *Rien n'est évident*, en matière d'aviation ; tout est inattendu et paradoxal. Lorsque vous lisez, dans un ouvrage, le

mot « évidemment », ou « il est évident que », méfiez-vous, et examinez bien si l'auteur n'est pas en train de dire une bêtise.

Voulez-vous quelques exemples pris dans l'ouvrage d'un auteur qui a pourtant une très longue expérience ?

« Des plans superposés doivent évidemment se nuire mutuellement ».

« Il serait évidemment mieux de faire le rapport des 2 dimensions des plans plus grand que 6 ».

« Il est bien évident que le type hélicoptère est sans avenir ».

« Pour assurer la stabilité d'un aéroplane dans le sens longitudinal, on devra évidemment avoir recours à une queue ; la pratique a toujours démontré, d'ailleurs, qu'elle était indispensable ».

C'est si évident, que l'appareil Wright n'en a pas. On cherche avec stupéfaction en quoi ces propositions sont évidentes, et on se demande comment des auteurs sérieux peuvent se contenter de pareilles bases de raisonnement.

Nous pourrions multiplier ces exemples ; il y a, en aérodynamique, une quantité de pièges presque classiques qui guettent notre raisonnement ; ceux qui ne les ont pas étudiés ne manquent pas d'y tomber à leur tour, comme y sont tombés leurs devanciers ; et c'est réellement gagner du temps que de les connaître pour les éviter.

Prenons comme exemple le calcul du travail par seconde nécessaire au vol mécanique. Quand on se pose la question pour la première fois, il est rare qu'on ne fasse pas le raisonnement suivant : un corps tombe de $4^m,90$ dans la première seconde, donc pour ne pas tomber il doit s'élever de $4^m,90$ par seconde.

Ce raisonnement est-il juste ? Si on considère une durée de deux secondes, le corps tombe de $19^m,60$; il devra donc s'élever de $9^m,80$ par seconde, résultat contradictoire avec le précédent. Il y a donc une erreur. Si maintenant on remarque qu'il n'est pas question de la résistance de l'air dans ce raisonnement, on comprendra que le problème a été mal posé.

Des mathématiciens comme Babinet ont pourtant commis cette faute, et bien d'autres après lui. Elle est « classique ».

Maintenant, quels résultats utiles donnera la théorie ? A cela,

personne ne peut répondre d'avance. Peut-être des résultats tout à fait étrangers à l'aviation.

En cherchant la pierre philosophale, n'a-t-on pas découvert le phosphore? Lilienthal, le véritable père de l'aviation, ne croyait pas travailler à la solution du problème du vol mécanique; il cherchait seulement à imiter le vol à voile, dont il n'avait d'ailleurs pas compris le mécanisme.

Est-ce que toutes les sciences n'ont pas commencé par tâtonner? Est-ce que l'astronomie, la géographie, la médecine n'ont pas commencé par prôner les systèmes les plus fantaisistes?

Devons-nous renoncer à la chimie actuelle, sous prétexte qu'elle est en train d'être sapée de fond en comble, jusque dans ses principes, par les découvertes récentes, sur la radioactivité? La chimie actuelle nous rend de très grands services, et c'est là l'important.

Faisons donc crédit à la théorie de l'aviation, malgré ses incertitudes actuelles.

Rappelons-nous ce mot du baron Thiébauld. Dans ses *Souvenirs de 20 ans de séjour à Berlin*, parus en 1804, le Baron Thiébauld rapporte les conversations qu'il avait avec Frédéric le Grand sur les expériences de Montgolfier, qui venaient d'avoir lieu et révolutionnaient l'opinion. Il raconte qu'il cherchait à convaincre le monarque de la nécessité de faire crédit aux inventions nouvelles, et il ajoute en note ce mot :

— « On demandait à un philosophe : à quoi servent les globes aérostatiques ?

— A quoi sert, répondit-il, l'enfant qui vient de naître ? »

Cette réponse est fort sensée.

L'enfant ne sert à rien pour le moment, c'est entendu; prenons-en soin quand même, et élevons-le dans de bons principes, pour qu'il soit capable plus tard de se rendre utile.

DIFFICULTÉS DE L'EXPÉRIMENTATION.

Quelles sont donc les causes qui ont, jusqu'ici, paralysé la théorie? Ce sont, d'une part, l'extrême difficulté de l'expérimentation

en aérodynamique, et d'autre part, le caractère inattendu et paradoxal de certains phénomènes.

Les expériences sur la résistance de l'air sont extrêmement difficiles à faire avec précision. Les expérimentateurs n'ont pas manqué, mais chacun a trouvé des résultats différents. Nous citerons plus de 30 valeurs différentes obtenues pour le fameux coefficient K , variant dans la proportion de 4 à 12.

Voulez-vous quelques noms au hasard ? Les travaux de Duchemin, Rayleigh, Von Loessl, Froude, Borda, Avanzini, Joessel, Maxim, Muller, Vince, Bossut, Dubuat, Goupil, Lilienthal, Piobert, Morin, Athanase et Paul Dupré, Hutton, Thibault, Wenham, Poncelet, Recknagel, Dupuy de Lôme, Kummer, Irminger et Vogt, Phillips, Hele-Shaw, Prechtl, et bien d'autres, auraient dû, semble-t-il, procurer aux frères Wright quelques données utiles pour leurs expériences de 1900 et 1901, d'où est sorti l'aéroplane actuel.

Il n'en est rien. « Nous constatâmes, écrivent ces derniers, que tous les chiffres qui avaient servi de base au calcul des aéroplanes étaient inexacts, et que l'on ne faisait que tâtonner dans l'obscurité. Partis avec une confiance absolue dans les données scientifiques existantes, nous étions arrivés à révoquer en doute une chose après l'autre, si bien qu'en fin de compte, après deux ans d'essais, nous jetâmes tout notre bagage par dessus bord, et décidâmes de nous en rapporter uniquement aux résultats de nos propres recherches.

« La vérité et l'erreur étaient en effet mélangées au point de constituer un fouillis inextricable... L'unité, pour la pression du vent, est la pression exercée par un courant d'air d'une vitesse d'un mille par heure sur une surface d'un pied carré qu'il rencontre à angle droit (1). Les difficultés pratiques qu'en rencontre pour mesurer exactement une force de ce genre ont toujours été considérables. Les valeurs obtenues par diverses autorités scientifiques reconnues varient de l'une à l'autre dans la proportion de 50 %.

« Si cette mesure, la plus simple de toutes, présente des difficultés pareilles, que dire des obstacles rencontrés par ceux qui essayent de

(1) En France, bien entendu, nous employons nos unités de mesure.

déterminer la pression pour tous les angles que le même plan peut présenter avec la direction du vent ! Au XVIII^e siècle, l'Académie des Sciences françaises a publié des tables à ce sujet, et, à une époque plus récente, la Société aéronautique de la Grande-Bretagne a fait exécuter des expériences du même genre. Nombre de gens ont publié de même des chiffres et des formules, mais les résultats en étaient si discordants que le professeur Langley entreprit une nouvelle série d'expériences dont les résultats ont servi de base à son célèbre ouvrage : *Experiments in Aerodynamics*.

« Mais un examen critique des données sur lesquelles il base ses conclusions relatives aux pressions exercées sous les petits angles donne des résultats assez variables pour montrer que ces conclusions ne sont guère que de simples hypothèses.

« Pour faire œuvre intelligente, il faut connaître les effets d'une foule de particularités qui peuvent intervenir dans la contexture des surfaces d'une machine volante. La pression exercée sur des surfaces carrées diffère de celles qu'on constate sur des rectangles, des cercles, des triangles ou des ellipses ; des surfaces courbes ne se comportent pas comme des plans et se différencient les unes des autres suivant leur degré de courbure ; des arcs de cercles diffèrent des arcs de paraboles, et ceux-ci diffèrent eux-mêmes entre eux ; des surfaces épaisses se distinguent des surfaces minces, et des surfaces d'épaisseur variable supportent des pressions variables suivant la position du point d'épaisseur maximum ; certaines surfaces présentent une qualité meilleure sous un certain angle, d'autres sous un angle différent. Le profil de l'arête amène encore d'autres variations, si bien qu'une chose aussi simple qu'une aile se prête à des milliers de combinaisons ».

Voilà donc où on en était il y a moins de dix ans. A vrai dire, ce n'est que depuis ces toutes dernières années, notamment depuis les expériences de M. Eiffel, de M. Rateau et de M. Riabouchinsky, directeur de l'Institut aérodynamique de Koutchino, qu'on commence à connaître un peu les lois de la résistance de l'air. Qu'y a-t-il donc de si difficile dans l'expérimentation ? Il y a qu'il est très difficile de créer un courant d'air de vitesse et de direction constantes et connues.

Nous aurons l'occasion de voir au prix de quelles minutieuses précautions les trois expérimentateurs que nous venons de citer y sont parvenus.

En particulier, c'est pour avoir négligé de vérifier la direction exacte du courant d'air que Goupil et Lilienthal sont arrivés à des constatations absurdes, qui ont pu tromper des théoriciens éminents, lesquels n'ont pas vu qu'elles aboutissaient au mouvement perpétuel.

En outre, l'allure paradoxale des faits observés a souvent dérouté les chercheurs, en les faisant douter de l'exactitude des résultats qu'ils trouvaient.

Nous allons en donner un exemple avec la fonction de l'angle d'incidence.

Voici un observateur qui cherche la loi de la poussée sur une surface aux diverses incidences. Comment s'y prend-il ? Il présente la surface étudiée sous divers angles, et il mesure les pressions subies. Ensuite, sur un graphique, il porte en abscisses les angles, et en ordonnées les poussées, et il regarde comment les divers points obtenus se disposent. Leur disposition lui donne l'idée d'une courbe, mais entendons-nous bien, il n'obtient pas une courbe, il obtient seulement des points plus ou moins nombreux, mais toujours isolés. Mais il ne veut pas s'en tenir là. Quand il juge qu'il a assez de points, il veut tracer la courbe. En a-t-il le droit ? Rien n'est plus douteux, car il est obligé pour cela de faire, souvent sans s'en rendre compte, et c'est ce qui est grave, une foule d'hypothèses absolument gratuites.

Tracer une courbe, c'est admettre d'abord que le phénomène est continu. On dit qu'une fonction est continue quand à une variation infiniment petite de la variable correspond une variation infiniment petite de la fonction. Dans le graphique, cette propriété se traduit par l'existence d'une courbe ininterrompue.

Cette première hypothèse est-elle juste ? Rien n'autorise à l'admettre. Précisément dans le cas présent elle est fautive, et cette hypothèse implicite a trompé un grand nombre d'expérimentateurs.

Ayant donc admis la continuité, notre expérimentateur va-t-il essayer de faire passer une courbe par tous les points obtenus ? Pas le moins du monde. Il s'empresse de faire une seconde

hypothèse, qui est que la courbe doit être simple. Une courbe compliquée et accidentée lui répugne, il lui semble qu'une loi naturelle doit toujours se traduire par une courbe très simple, autant que possible une ligne droite, ou une courbe du second degré, ou une sinusoïde, ou une exponentielle, ayant le moins possible de points d'inflexion.

C'est là une impression irraisonnée.

Guidé par ce besoin de simplicité, et constatant avec déplaisir que ses points forment une ligne capricieuse et zigzagante, il préfère admettre que ces zigzags sont dus aux erreurs d'expérience; il abandonne donc la seule chose qu'il connaisse, à savoir ses résultats d'expérience, pour y substituer une hypothèse gratuite, à savoir l'allure simple de la courbe. Hâtons-nous d'ajouter qu'en agissant ainsi il a souvent raison. Il cherche alors à tracer une courbe simple qui passe non pas par ses points, mais le plus près possible de tous ses points. En général, elle ne passera exactement par aucun des points trouvés, ce qui est assez curieux à remarquer, entre parenthèses.

Pourra-t-il même la faire passer très près de tous les points? Même pas; il sera souvent obligé de laisser complètement à l'écart un ou deux points qui ont vraiment voulu trop se singulariser. Pour s'en rapprocher, la courbe devrait faire un écart, un détour peu agréable à l'œil; il préfère admettre que ce sont des points *anormaux*

résultats de grosses erreurs d'expérience, et qu'il ne faut pas en tenir compte.

C'est ainsi, sans aucun doute, qu'ont raisonné la plupart de ceux qui ont étudié la fonction de l'angle d'incidence. Ils ont dû, pourtant, remarquer que, à un certain moment, la courbe semble redescendre pour remonter ensuite, mais ils ont dû attribuer cela à des erreurs d'expérience (fig. 1).

Les frères Wright ont fait la même remarque, mais, doués d'un esprit scientifique exceptionnel, ce fait les a frappés et ils ont voulu en avoir le cœur net Recommencer

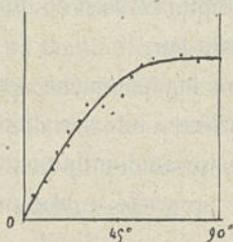


FIG. 1. — Courbe de la résistance de l'air aux diverses incidences, d'après les premiers expérimentateurs.

les expériences, c'eût été s'exposer à refaire les mêmes erreurs de mesure ; ils ont préféré une vérification directe beaucoup plus élégante.

« Un plan de forme carré, écrivent-ils, nous donna à 35° une pression plus élevée qu'à 45° , contrairement à tous les résultats obtenus par nos prédécesseurs. Ce résultat nous parut si anormal que nous étions tout prêts à mettre en doute la valeur de toutes nos expériences antérieures, quand on nous suggéra une expérience fort simple. Nous fabriquâmes une girouette sur laquelle nous montâmes deux plans faisant entre eux un angle de 80° . D'après nos tables, une girouette de ce genre devait se trouver en équilibre instable quand elle était tournée directement contre le vent ; car si par hasard le vent arrivait d'un côté à 39° sur un plan et de l'autre à 41° sur le second plan, le premier plan recevant le vent sous l'angle le plus faible subirait la plus forte pression, et la girouette s'écarterait de plus en plus du lit du vent jusqu'à ce que ses deux faces supportassent de nouveau une pression égale, ce qui arriverait approximativement pour des angles de 30 et 50° . Or la girouette fonctionna précisément de cette façon ».

Depuis, les expériences de M. Rateau, poussant la précision plus loin, ont montré que non seulement la courbe s'abaisse, mais qu'elle présente une discontinuité ; elle se subdivise en deux branches qui ne se raccordent pas. Voilà un résultat absolument inattendu.

Ainsi, l'hypothèse implicite de la continuité était fautive ; fautive,

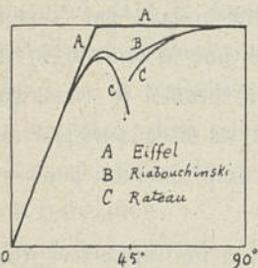


FIG. 2. — Courbe de la résistance de l'air aux diverses incidences.

l'idée d'une courbe simple ; fautive, l'idée de négliger les points qui faisaient redescendre la courbe. Les frères Wright, en 1901, et M. Riabouchinsky, en 1909, avaient, bien certainement à contre-cœur, fait infléchir la courbe et tracé une forme qui choquait leur intuition, sans même parvenir à s'approcher convenablement des points d'expérience dans la région de 30 à 50° . M. Eiffel, en 1907, ne pouvant se résoudre

à admettre une telle courbe, et renonçant à imaginer une courbe satisfaisante passant par les points trouvés, a simplement dit qu'on se rapprochait beaucoup de la réalité en remplaçant la courbe par deux droites, c'est-à-dire en subdivisant la loi en deux parties indépendantes, pour en simplifier l'expression dans les calculs.

Dans le même ordre d'idées, M. Riabouchinsky remplace la courbe par une sinusoïde et une droite, mais en s'excusant d'une telle incorrection. « Le principal défaut de notre formule, écrit-il, est qu'elle n'est pas continue, mais ce défaut est racheté dans plusieurs cas par la simplicité avec laquelle elle permet d'effectuer les calculs ultérieurs ».

Ainsi, l'idée de la discontinuité est tellement loin de son esprit, que même quand il l'adopte, il ne lui vient pas à l'idée qu'il puisse avoir raison, et que ce prétendu défaut puisse n'en pas être un.

Il a fallu attendre jusqu'à l'année dernière, en juillet 1909, pour que M. Rateau aperçut la véritable allure du phénomène, et fit la lumière sur l'anomalie trouvée par ses prédécesseurs.

Les difficultés de l'expérimentation, ou peut-être l'attrait des théories *a priori*, ont poussé nombre de calculateurs à essayer de prévoir et d'inventer par le raisonnement les lois de la résistance de l'air, sans s'appuyer sur l'expérience.

C'était tomber de Charybde en Scylla. C'est alors qu'on a sombré dans les pires erreurs, à commencer par la fameuse loi du sinus carré. Que d'absurdités on a dites en son nom ! Elle a cependant pour auteur Newton. Elle a été appliquée au vol des oiseaux par Navier, qui en conclut que la puissance dépensée par une hirondelle est de 1/17 de cheval-vapeur. « Autant vaudrait, comme le remarque Joseph Bertrand, prouver par le calcul que les oiseaux ne peuvent pas voler, ce qui ne laisserait pas d'être compromettant pour les mathématiques ».

Rappellerons-nous cette phrase qui termine un rapport à l'Académie des Sciences : « Ainsi, l'impossibilité de se soutenir en frappant l'air est aussi certaine que l'impossibilité de s'élever par la pesanteur spécifique des corps vides d'air ». Qui parle ainsi ? C'est

le mathématicien Lalande, un an avant l'ascension de la première montgolfière.

En 1780, le savant Coulomb calculait que pour se soutenir en l'air un homme a besoin d'ailes de 12.000 pieds de surface et de 180 pieds de longueur. Cette conclusion a été confirmée dans un rapport présenté à l'Académie des Sciences et signé de noms comme Condorcet, Bossut et Monge. Et l'Académie a approuvé à l'unanimité ce rapport « propre, dit-elle, à détourner d'entreprises vaines et périlleuses ».

Il faut rappeler ces exemples, quand on voit certains calculs publiés récemment, en particulier sur les hélices, et qui sont ce qu'on appelle de la théorie en chambre. C'est à nous montrer le danger de cette tendance, et l'impossibilité de nous fier à nos intuitions, que nous servira l'étude des erreurs passées ; à ce titre, elles n'auront pas été inutiles.

DIFFÉRENTS MODES DE VOL

On distingue la *sustentation statique*, réalisée par des appareils plus légers que l'air qu'ils déplacent, et qui s'élèvent en vertu du principe d'Archimède, et la *sustentation dynamique*, à laquelle ont recours les appareils plus lourds que l'air. Voici quel est le principe de ces derniers. Le déplacement dans l'air de surfaces convenablement inclinées fait naître des réactions, qui dépendent de la vitesse, et dont la composante verticale tend à soulever l'appareil. Ce déplacement nécessite une certaine dépense de puissance motrice, produit de la projection de la force sur la direction du mouvement par la vitesse ; d'où ce nom de sustentation dynamique.

La sustentation dynamique peut être dépendante ou indépendante de la translation.

Dans la sustentation indépendante, le volateur agite ses surfaces portantes, d'un mouvement alternatif ou continu, mais sans être obligé de déplacer son propre corps. Exemples : les insectes, les petits oiseaux qui volent sur place, les hélicoptères. La translation ne

leur est pas indispensable ; néanmoins, elle leur est favorable, car nous verrons qu'elle diminue le travail à dépenser.

Dans la sustentation dépendante, au contraire, le volateur conserve ses surfaces immobiles ou presque, par rapport à son propre corps ; pour les déplacer dans l'air, il faut qu'il se déplace avec elles ; tout l'ensemble est animé d'un rapide mouvement de translation. Exemple, les aéroplanes, les oiseaux.

C'est aussi dans cette catégorie qu'il faut placer les cerfs-volants, malgré leur apparente immobilité. On les a appelés des *aéroplanes captifs*, ou des *aéroplanes à l'ancre*.

Ils ne se soutiennent en l'air que grâce au vent ; par rapport à l'air qui vient à leur rencontre, ils ont une vitesse relative précisément égale et contraire à celle du vent, et ils ne peuvent se soutenir que si le vent est suffisamment fort. Quand le vent est insuffisant, par exemple au moment où ils sont près de terre, l'enfant qui veut leur faire prendre l'essor est obligé de courir contre le vent pour créer la vitesse nécessaire à l'envol.

L'idée et l'exemple du vol par sustentation dynamique nous sont donnés par la nature, qui a résolu le problème sous plusieurs formes différentes, en n'utilisant que le seul mouvement dont elle dispose, le mouvement alternatif. A son tour, l'homme a pu créer des formes de vol nouvelles, en utilisant le mouvement rotatif, bien supérieur au point de vue mécanique, parce qu'il supprime les efforts dus à l'inertie des pièces, mais interdit à la nature à cause des nécessités de la nutrition des tissus.

Nous allons passer en revue ces différentes formes de vol ; mais nous n'en ferons pas seulement une énumération, nous essayerons de suite d'en faire une sorte de classement par ordre de mérite ou de valeur.

Voici quel est le principe fondamental, fourni d'ailleurs par l'expérience, qui préside à ce classement.

Une surface plane, ou sensiblement plane, qui se déplace dans l'air, orthogonalement ou obliquement, éprouve une réaction. Cette

réaction n'est pas parallèle au mouvement ; elle reste sensiblement normale à la surface, quelle que soit la direction du mouvement. Par conséquent, pour obtenir une réaction sustentatrice sensiblement verticale, il n'est pas nécessaire de déplacer la surface verticalement de haut en bas ; il suffit de la placer dans une position à peu près horizontale (de façon que sa normale soit verticale), et ensuite de la déplacer dans une direction descendante quelconque, plus ou moins oblique, et même, grâce à certains artifices, dans une direction horizontale ou légèrement ascendante (fig. 3).

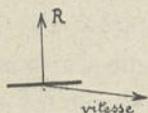


FIG. 3.— Réaction sustentatrice obtenue par déplacement oblique.

Or — et c'est ici le point capital de toute l'aérodynamique — l'expérience montre que la réaction obtenue par l'attaque oblique est plus économique que la réaction obtenue par l'attaque orthogonale, et qu'elle est d'autant plus économique que l'attaque est plus oblique. Ceci veut dire que la sustentation dynamique d'un poids donné exige un certain travail, et que ce travail est plus faible quand les surfaces portantes attaquent l'air obliquement que quand elles l'attaquent orthogonalement. Ce fait expérimental est facile à observer chaque fois qu'un oiseau prend l'essor ; au moment de l'envol, sa vitesse de translation étant nulle ou très faible, les battements d'ailes sont sinon orthogonaux, du moins très peu obliques ; l'oiseau doit produire, visiblement, un effort très violent, faire des battements très rapides et de toute l'amplitude possible, au point que les ailes viennent se choquer en haut en produisant un claquement caractéristique. Puis à mesure que l'oiseau prend de la vitesse,

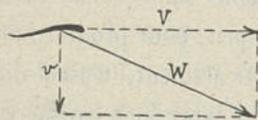


FIG. 4. — Obliquité de l'attaque de l'air dans le coup d'aile de l'oiseau.

la fréquence des battements diminue, en même temps que leur amplitude se réduit à peu près au tiers ; de sorte que le travail se réduit à peu près au cinquième, et que l'oiseau ne semble plus donner qu'un effort très minime qu'il peut soutenir pendant de longues heures. Or, il est facile de voir que, à mesure qu'il prend de la vitesse, la vitesse v d'abaissement des ailes (fig. 4)

se compose avec la vitesse de translation V pour donner une vitesse résultante W de plus en plus oblique.

Nous pouvons maintenant entreprendre le classement des différents modes de vol.

Nous distinguerons :

- 1^o *Le vol orthogonal ;*
- 2^o *Le vol ramé sur place ;*
- 3^o *Le vol godillé des insectes ;*
- 4^o *Le vol hélicoptère ;*
- 5^o *Le vol ramé propulsif ;*
- 6^o *Le vol aéroplane ;*
- 7^o *Le vol à voile.*

(Ici ouvrons une parenthèse. On trouvera souvent dans les auteurs la classification suivante : le vol ramé, le vol plané, le vol à voile. Elle est à notre avis trop sommaire.

Le vol ramé comprend plusieurs types essentiellement différents.

Le vol godillé des insectes ne figure pas dans cette nomenclature ; il est cependant bien intéressant.

Quant au vol plané, c'est un terme impropre. L'oiseau qui descend en planant ne *vole* pas, il se laisse tomber ; il ne vole pas plus qu'un parachute ne vole. Le terme *planement* est préférable. Le même terme désigne aussi, chez certains auteurs, le vol à voile ; cela fait une confusion de plus).

1^o *Vol orthogonal.* — La surface portante étant sensiblement horizontale, la première idée qui vient à l'esprit, pour produire une réaction verticale, est d'abaisser l'aile verticalement, c'est-à-dire perpendiculairement à son plan, ou suivant l'expression consacrée, orthogonalement. Pendant très longtemps on a cru que les oiseaux volent ainsi, parce qu'on les voyait battre des ailes verticalement ; on faisait abstraction de leur mouvement de translation, qui est cependant essentiel et ne doit pas être séparé du mouvement de

battement des ailes, car c'est lui qui transforme, comme nous venons de le montrer, l'attaque orthogonale en attaque oblique.

Le vol orthogonal est le moins économique, comme dépense de travail, donc le plus mauvais de tous les vols, c'est un gaspillage inutile de travail, et, en fait, *il n'existe pas dans la nature*. Il n'est pratiqué par aucun être volant. Ce n'est que par une illusion de nos sens que nous avons cru l'observer.

De même, il n'a jamais pu être produit mécaniquement, et les appareils dits *orthoptères* (1), par lesquels on a tenté de l'obtenir, n'ont donné aucun résultat, si ce n'est avec des jouets très petits et pendant un temps infime. Il n'a donc qu'un intérêt théorique.

Depuis que l'on a constaté que le vol orthoptère n'est pas le vol pratiqué par les oiseaux, on a même presque renoncé, à employer ce mot, qui ne correspond pas à la réalité, et on appelle *ornithoptères* (2) les appareils à ailes battantes imitant le vol des oiseaux ; ce mot a l'avantage de n'impliquer aucune hypothèse sur le mode de vol des oiseaux, qui est d'ailleurs très complexe.

Le vol orthogonal, outre le défaut que nous avons signalé, a encore l'inconvénient d'avoir un temps mort ; sur les deux mouvements, abaissée et remontée de l'aile, un seul est utile ; l'autre, pendant lequel la surface se relève, est inutile et même nuisible, car il absorbe toujours une certaine quantité de travail en pure perte (même si la surface se présente par la tranche pour se relever, ou si elle possède une quantité de petits clapets pour laisser passer l'air, comme l'ont proposé beaucoup d'inventeurs assurément bien intentionnés).

Par suite, la surface portante n'est utilisée que pendant une fraction du temps.

On peut, par un calcul facile, voir que ce fait augmente le travail à dépenser. Nous n'avons besoin pour cela que de faire appel à la loi du carré des vitesses, dont nous parlerons dans le prochain chapitre.

(1) De *ορθος*, droit, et *πτερον*, aile.

(2) De *ορνις*, oiseau, et *πτερον*, aile.

La réaction de l'air sur une surface est proportionnelle au carré de la vitesse.

Soit un corps de poids P , et qui, pour se soutenir en l'air, a besoin d'une force sustentatrice égale à P si celle-ci s'exerce constamment. Supposons maintenant que l'oiseau ne soit soutenu que pendant une partie du temps ; supposons que, dans l'intervalle de temps 1 , il est soutenu pendant la fraction de temps t (t étant < 1) par une force sustentatrice F , et que pendant le reste du temps $1 - t$ il n'est pas soutenu (donc il tombe en chute libre). C'est ce que nous appellerons la *sustentation intermittente*.

Pour qu'il se maintienne en l'air, il faut qu'au bout du temps 1 son accélération soit nulle.

Pendant la période de chute, l'accélération, quotient de la force par la masse, est donnée par :

$$\frac{P}{m}$$

m étant la masse du corps ; et au bout du temps $1 - t$ la vitesse prise sera $\frac{P}{m} (1 - t)$.

Pendant la période de sustentation le corps est soumis à une force ascensionnelle $F - P$, et l'accélération est $\frac{F - P}{m}$; au bout du temps t la vitesse prise sera $\frac{F - P}{m} t$.

Pour que finalement l'accélération reste nulle, il faut qu'on ait :

$$\frac{F - P}{m} t = \frac{P}{m} (1 - t)$$

$$F t - P t = P - P t$$

$$F t = P \quad \text{ou} \quad F = \frac{P}{t}$$

d'où cette loi :

Dans la sustentation intermittente, le produit de la force sustentatrice par la fraction de temps pendant laquelle elle agit est constant.

Ceci est général et ne fait appel à aucune loi de la résistance de l'air.

Voyons maintenant comment varie le travail nécessaire à la sustentation dans l'air.

Si le corps est soutenu par la réaction de l'air, qui est proportionnelle au carré de la vitesse, pour que cette réaction varie comme $\frac{1}{t}$ il faut que la vitesse de refoulement varie comme $\sqrt{\frac{1}{t}}$.

Dans la sustentation permanente, soit V la vitesse de refoulement ; le travail T sera : $T = PV$.

Dans la sustentation intermittente, le travail T_1 sera :

$$T_1 = FV\sqrt{\frac{1}{t}}t \quad \text{ou} \quad \frac{P}{t}V\sqrt{\frac{1}{t}}t \quad \text{ou} \quad PV\sqrt{\frac{1}{t}} \quad \text{ou} \quad T\sqrt{\frac{1}{t}}$$

Donc, plus t est petit, plus le travail est grand.

En particulier, si $t = 1/2$, c'est-à-dire si l'abaisée et la remontée de l'aile durent chacune le même temps, on a pour le travail :

$$T_1 = T\sqrt{2} = 1,414 T$$

C'est donc un désavantage considérable de la sustentation intermittente en général, et du vol orthogonal en particulier (1).

Enfin, le vol orthogonal, tel qu'on l'imagine pour les oiseaux, est un mouvement alternatif.

En résumé, il présente les trois inconvénients suivants :

- 1° Attaque orthogonale (peu économique) ;
- 2° Sustentation intermittente (temps mort) ;
- 3° Mouvement alternatif (forces d'inertie).

Le vol orthogonal, malgré ses imperfections, a tenté nombre

(1) Dans ce calcul, nous n'avons pas tenu compte des légers mouvements que prend l'ensemble de l'appareil sous l'effet de la force intermittente. Quand on en tient compte dans le calcul, on s'aperçoit qu'ils s'éliminent par raison de symétrie.

d'inventeurs qui ont cherché à l'imiter au moyen d'appareils dits *orthoptères*.

Par un système de roues à pales tournantes qui se présentent par la tranche au moment de la remontée, on peut éluder les inconvénients du mouvement alternatif et utiliser le mouvement rotatif. Mais on n'élude pas les deux autres inconvénients, qui sont l'existence d'un temps mort (pendant que l'aile remonte elle est inutilisée) et l'attaque orthogonale. Aussi, les appareils orthoptères ne paraissent présenter qu'un intérêt très limité.

Nous allons voir maintenant comment on peut, par d'autres genres de vol, éluder les uns après les autres les trois inconvénients que présente le vol orthoptère.

2^o *Vol ramé sur place*. — Nous avons dit que le vol orthogonal n'existe pas. Il y a cependant, direz-vous, des oiseaux qui volent sur place, sans mouvement de translation. Au moment de l'essor, les pigeons, moineaux, etc., volent un instant sur place, avant d'avoir acquis de la vitesse. Il y a même les oiseaux-mouches qui peuvent pratiquer ce genre de vol d'une façon continue pendant plusieurs minutes.



FIG. 5. — L'oiseau-mouche volant immobile au-dessus d'une fleur.

l'oiseau-mouche volant immobile au-dessus d'une fleur, plongeant son petit bec effilé au fond du calice sans prendre de point d'appui, sans même effleurer les pétales (fig. 5).

Il donne du vol sur place la description suivante :

« Un bourdonnement sonore, presque bruyant, vous fait lever la tête, et vous vous trouvez face à face avec la miniature ailée, qui semble suspendue en l'air par une force mystérieuse. Le corps est

(1) L'oiseau-mouche dans son habitat, *La Nature*, 16 octobre 1909.

» absolument immobile, en son plumage irisé, au point que vous
» distinguez nettement l'insolente curiosité des petits yeux fixés sur
» l'intrus que vous êtes. Mais les ailes battent d'un mouvement si
» vif, en produisant leur caractéristique bourdonnement, que l'œil
» humain est alors inhabile à constater leur existence ».



FIG. 6. — Obliquité du coup d'aile.

Quel est donc le mouvement des ailes ? C'est un battement oblique, de haut en bas et d'arrière en avant (fig. 6), mouvement beaucoup plus économique que le battement orthogonal ; c'est facile à comprendre si on remarque que dans ce mouvement l'aile balaye une surface d'appui beaucoup plus grande que sa propre surface (fig. 7).



FIG. 7. — Le battement oblique augmente la surface balayée par l'aile.

Ce battement oblique est parfaitement visible sur la photographie de l'oiseau-mouche. Il est également vrai pour le vol ramé accompagné de translation, comme le montrent les chronophotographies de Marey (1) où, en superposant les images, on voit très bien le mouvement oblique (fig. 6), Marey a d'ailleurs tracé (page 112) la trajectoire elliptique décrite par la pointe de l'aile (fig. 8).

Nous n'insistons pas davantage pour le moment ; dans le chapitre consacré au vol des oiseaux, nous montrerons comment ce mouvement est (très heureusement) imposé à l'oiseau, qu'il le veuille ou non, par la conformation même de ses ailes.

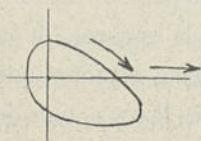


FIG. 8. — Trajectoire elliptique décrite par la pointe de l'aile.

Ce vol oblique marque déjà un progrès sur le vol orthogonal. Toutefois, il a, comme lui l'inconvénient d'avoir un temps mort, l'aile étant inutilisée pendant la remontée. Il est donc encore assez défectueux, et n'est employé qu'exceptionnellement, chez les oiseaux dont la surface alaire est grande par rapport au poids.

(1) MAREY, le Vol des oiseaux, Paris 1890, voir pages 158 à 161.

3° *Vol godillé des insectes.* — Nous croyons devoir proposer le nom de vol godillé pour ce très intéressant genre de vol, que les auteurs passent généralement sous silence.

Ce terme nous paraît bon, parce qu'il évoque le mouvement de la godille qui rend bien compte de ce qui se passe, et parce que la comparaison complète bien celle du vol ramé, étant empruntée comme elle à la navigation aquatique.

Avec le vol godillé nous trouvons un très grand progrès sur les vols précédemment étudiés.

Nous avons vu que, pour obtenir une réaction sustentatrice sensiblement verticale, il n'est pas nécessaire d'abaisser l'aile verticalement, et qu'il vaut même mieux l'abaisser obliquement.

Eh bien, si on incline un peu l'aile, on peut même ne pas l'abaisser du tout, il suffit de la déplacer horizontalement, sous un angle d'attaque très faible, et on obtient une réaction sustentatrice très énergique et très économique (fig. 9).

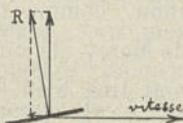


FIG. 9. — Réaction sustentatrice obtenue par le déplacement horizontal.

Il s'introduit une composante horizontale dans la réaction, mais elle est assez faible, et nous verrons tout à l'heure comment son

influence s'élimine.

L'avantage capital de ce mouvement est que, comme l'aile ne s'est pas abaissée, il n'y a pas besoin de la remonter et de consacrer à cette remontée un temps mort qui cause une grande perte de travail. Quand l'aile est arrivée au bout de sa course, on la retourne, et on utilise son retour en arrière exactement de la même manière que l'aller. Les deux temps sont utiles au même titre. Il n'y a plus de temps mort, mais seulement un point mort. C'est, si on veut, comme une machine à vapeur à double effet, où l'aller et le retour du piston sont moteurs tous deux, par opposition à la machine à vapeur à simple effet dans laquelle il n'y a qu'un temps moteur sur deux. On voit combien ce vol est supérieur aux précédents.

Quant à la composante horizontale de la réaction de l'air, elle

change de sens à chaque battement d'ailes, de sorte que finalement ses effets se détruisent.

La plupart des insectes agitent leurs ailes ainsi d'un mouvement alternatif et oblique analogue à celui de la godille ; le mouvement des mains du nageur qui fait la planche en donne une idée encore plus claire.

Divers auteurs (Marey, Bell-Pettigrew) ont étudié ce mouvement ; mais c'est surtout M. L. Bull qui, récemment, l'a mis en lumière dans tous ses détails, grâce à l'emploi de la cinématographie très rapide, fait à l'Institut Marey.

Nous engageons le lecteur à lire sur ce sujet les deux communications de M. Bull à l'Académie des Sciences, des 22 novembre 1909 et 10 janvier 1910. Il a étudié un *agrion* (libellule à 4 ailes). Les deux paires d'ailes décrivent d'ailleurs des trajectoires semblables, l'aile postérieure avec un retard de $1/8$ à $1/4$ de phase.

L'aile est rigide ; elle présente un bord antérieur renforcé d'une épaisse nervure ; elle attaque l'air sous un angle assez grand.

Ce n'est pas absolument une ligne droite que décrit l'extrémité de l'aile, mais une sorte de 8 de chiffre très allongé (fig. 10).



FIG. 10. — Mouvement de l'aile d'une libellule.

A chaque extrémité de la course, l'insecte doit retourner son aile, pour que le bord rigide soit toujours en avant. L'aile, par suite, attaque l'air alternativement par l'une et l'autre face. Elle doit donc être à peu près symétrique ; elle n'a pas, comme l'aile des oiseaux, une face inférieure et une face dorsale nettement différenciées. Elle est en outre susceptible d'un mouvement de rotation autour de son articulation, mouvement que les oiseaux ne possèdent pas.

On pourrait croire que cette nécessité de retourner l'aile l'empêche d'avoir la courbure optima favorable à la sustentation. Il n'en est rien. On constate que l'aile, dans son mouvement, possède la concavité caractéristique, et que cette concavité change de sens à chaque mouvement. Comme l'animal n'a pas de muscles qui puissent com-

mander ce mouvement, il faut qu'il se fasse automatiquement, rien que par la disposition des nervures.

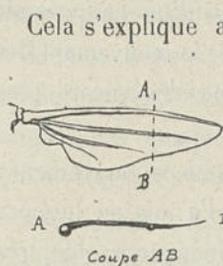


FIG. 11. — Courbure prise par l'aile de l'insecte sous la pression de l'air.

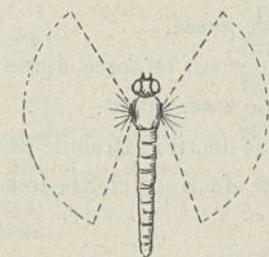


FIG. 12. — Surface d'appui dans le vol de l'insecte.

Cela s'explique assez bien si on examine les nervures de l'aile, surtout à l'extrémité où le mouvement est le plus rapide et la réaction la plus forte. Une section y rencontre 2 nervures, la grosse nervure antérieure, et une nervure médiane ; il en résulte nécessairement la forme en S reconnue la plus favorable, prise automatiquement sous la pression de l'air (fig. 11). Ce mouvement d'ailes, extrêmement rapide (plusieurs centaines de vibrations par seconde, parfois un millier) embrasse une surface d'appui considérable (fig. 12), presque égale à la totalité du cercle que balayerait une aile en tournant, car si le mouvement est limité en avant par le thorax, il n'est pas limité en arrière, les ailes pouvant se rejoindre au-dessus du dos.

La direction du vol s'obtient chez les insectes par deux procédés bien différents, suivant qu'il s'agit d'un *diptère* ou d'un *tétraplère*.

En principe, elle s'obtient en modifiant la position d'équilibre et en inclinant le plan d'oscillation des ailes du côté où la propulsion doit s'effectuer.

Or, l'équilibre du système a lieu quand le centre de gravité est au-dessous du centre de sustentation.

D'où deux moyens de modifier l'équilibre : en déplaçant le centre de gravité ou en déplaçant le centre de sustentation.

Les tétraplères emploient le premier moyen. Ils ont un abdomen extrêmement mobile, relié au thorax par des articulations très fines, et souvent par toute une série d'articulations (guêpe, libellule). Cet abdomen est un contrepoids relativement volumineux dont l'insecte

se sert pour déplacer son centre de gravité et modifier son équilibre. Il ne peut pas agir sur son centre de sustentation ; mais en bougeant l'abdomen il incline en avant, ou en arrière, ou de côté le plan d'oscillation de ses ailes.

Par exemple, pour avancer, il porte l'abdomen en avant (fig. 13) sans plus de difficulté, il peut aller en arrière ou de côté. C'est d'ailleurs exactement la même chose que le mouvement de jambes par lequel on s'équilibre sur un planeur qui n'a pas de gouvernail. Bull a constaté que dans le cas de la propulsion, l'aile est sensiblement horizontale à l'aller, et sensiblement verticale (donc uniquement propulsive) au retour.

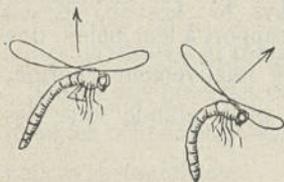


FIG. 13. — Libellule, vol sur place et propulsion en avant.

Chez les diptères, au contraire (mouche, volucelle, etc.), le mécanisme a été mis en lumière par le docteur Jousset de Bellesme en 1878 (1). Leur abdomen n'a pas de souplesse, et ils ne peuvent pas modifier la position de leur centre de gravité par les mouvements de l'abdomen. Mais ils possèdent à la base du thorax deux petites tiges terminées par un bouton arrondi, appelées *balanciers*, et qui



FIG. 14. — Diptère (mouche).

paraissent être la seconde paire d'ailes atrophiée (fig. 14). Ces organes servent à diriger le vol en limitant en arrière l'amplitude du mouvement de l'aile, qui vient buter sur eux par l'intermédiaire d'une partie appropriée, l'*aérole axillaire*, formée d'une écaille souple sans nervures.

L'ablation ou l'immobilisation des balanciers provoque le vol descendant ; l'insecte pique du nez et tombe, l'aile allant trop loin en arrière.

(1) Voir *La Nature*, 21 septembre 1878.

Le vol horizontal s'obtient en limitant un peu l'amplitude en arrière, et le vol ascendant en la limitant davantage (fig. 15).

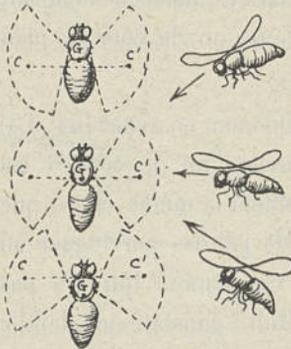


Fig. 15. — Mouche (vol descendant, vol horizontal et vol ascendant).

Le vol godillé est encore assez défectueux, probablement à cause du mouvement alternatif qu'il nécessite ; aussi n'est-il pratiqué que par les insectes, qui ont, par rapport à leur poids, une surface d'ailes relativement énorme, et beaucoup plus grande que les oiseaux.

Voici quelques chiffres relatifs à la surface portante des insectes :

	POIDS	SURFACE par kilog.	KILOGS par m ²
Cousin.....	0 gr. 003	10m ²	0 k. 1
Petite libellule.....	»	6,1	0,164
Papillon.....	0 gr. 2	8,3	0,120
Coccinelle.....	0 gr. 1	4,5	0,222
Libellule commune.....	»	4,4	0,227
Tipule.....	»	3	0,333
Abeille.....	»	1,03	0,970
Mouche à viande.....	»	1,15	0,870
Drone bleu.....	»	1	1
Hanneton.....	»	1,02	0,980
Lucane.....	1 gr. 4	0,93 à 0,77	1 k. 1 à 1,3
Scarabée.....	»	0,63	1,6

4^o *Le vol hélicoptère.* — Au lieu de limiter le mouvement de godille à une certaine amplitude, et de le faire ensuite revenir en arrière, on peut supposer que son mouvement se continue indéfiniment par une rotation continue autour d'un axe vertical. On obtient ainsi le mouvement de la pale d'hélice. On peut dire que l'hélice est une godille rotative ; de même on peut dire que la godille est une hélice alternative ; mais leur principe est exactement le même sous

deux formes, dont l'une est adaptée aux mouvements permis à l'être vivant, et l'autre adaptée au mouvement rotatif qui est le mouvement mécanique par excellence.

Ainsi, l'hélicoptère est très proche parent du vol godillé de l'insecte ; une des principales différences est que la pale, ayant un mouvement continu, n'a jamais besoin de se retourner ; ce qui permet de la faire dissymétrique, avec une face inférieure concave, une face dorsale convexe, et avec une torsion plus ou moins hélicoïdale, toutes conditions avantageuses pour le rendement.

Quant aux procédés de propulsion et de direction, ce sont exactement les mêmes que ceux de l'insecte, par l'inclinaison de l'axe des hélices sustentatrices.

A la vérité, ces procédés de direction sont encore du domaine de la théorie ; l'hélicoptère a bien été réalisé, et les remarquables essais de M. Louis Bréguet, à Douai, et de M. Cornu, à Lisieux, ont démontré qu'on peut s'enlever en hélicoptère. Mais les vols ont été très courts ; aucun essai de direction n'a encore pu être fait ; d'autre part, l'hélicoptère présente au point de vue pratique des inconvénients graves qui font que son emploi ne paraît pas avoir beaucoup d'avenir.

5° *Le vol ramé propulsif.* — C'est le vol habituel des oiseaux, consistant en une translation rapide, accompagnée de battements. Nous venons de voir dans l'hélicoptère un premier moyen de perfectionner le mouvement alternatif de la godille en le transformant en mouvement continu. Mais c'est un mouvement rotatif, qui est interdit aux êtres vivants.

Or, il y en a un autre encore plus simple, c'est le mouvement continu en ligne droite ; c'est la godille continuant toujours son déplacement dans le même sens, sans jamais revenir en arrière. Elle aura donc un mouvement de translation continue que le corps de l'appareil volant doit suivre : ce mouvement est extrêmement simple, car il n'est plus besoin d'agiter les ailes, elles peuvent être fixées presque invariablement au corps, leur déplacement dans l'air étant obtenu

par la progression de tout l'ensemble du volateur. Voilà donc le mouvement continu réalisé, sans rotation ; les ailes n'ont besoin d'être aptes qu'à des mouvements peu étendus, destinés à assurer soit l'équilibre, soit la propulsion.

C'est le principe du vol ramé propulsif des oiseaux, et de son imitation mécanique l'aéroplane.

Ici nous arrivons à la limite de perfection du vol ; nous obtenons à la fois l'attaque oblique, la suppression du temps mort, la suppression du mouvement alternatif et le mouvement continu sans rotation, donc accessible aux êtres vivants.

Nous devons expliquer cette affirmation, qui peut surprendre, que dans le vol ramé, il n'y a pas de mouvement alternatif. Le battement d'ailes est cependant bien alternatif. Mais en réalité la sustentation est continue, et le battement des ailes n'est qu'un procédé de propulsion, d'où le nom de vol ramé propulsif.

C'est par erreur qu'on a cru longtemps que l'oiseau bat des ailes pour se soutenir, et que le temps de l'abaisée est seul utilisé pour la sustentation ; le temps de la remontée est également sustentateur, en sorte que l'oiseau fait aéroplane d'une façon continue, indépendamment du battement d'ailes. Le battement n'a pour but que d'assurer la propulsion. Nous reviendrons sur ce point dans le chapitre consacré au vol des oiseaux.

Ainsi, le vol ramé propulsif est le plus avantageux de tous, et c'est pourquoi c'est le seul qui permette le vol aux animaux pesant plusieurs kilogs ; le vol ramé sur place et le vol godillé ne sont praticables que pour les petits oiseaux ou insectes ne dépassant pas quelques grammes.

Le vol ramé propulsif est aussi le seul accessible aux animaux autres que les oiseaux et insectes, à savoir les mammifères (chauves-souris) et les poissons (poissons volants ou exocets). Il est aussi pratiqué par certains insectes.

La raison de ces avantages est que le volateur est obligé à une progression incessante et rapide. Il ne peut jamais s'arrêter ; s'il veut

rester au-dessus d'un point donné, il est obligé de tourner en rond. « Marche ou tombe », lui ordonne la nature.

C'est ce que nous avons appelé, au début, la sustentation dynamique dépendante. Pour les gros oiseaux, cette obligation rend l'essor extrêmement pénible, à cause des efforts qu'ils doivent faire pour acquérir en courant la vitesse de régime nécessaire à l'envol.

Une variété du vol ramé propulsif est le *planement*, pendant lequel l'oiseau cesse quelques instants ses battements. On y saisit plus nettement le principe du vol. Mais l'oiseau n'étant plus propulsé, perdrait vite sa vitesse ; pour la conserver, il fait appel au travail de la pesanteur, et il se laisse descendre doucement de la quantité voulue pour conserver sa vitesse.

Si, en outre, il se trouve dans un courant d'air ascendant, qui monte précisément aussi vite que l'oiseau descend, l'oiseau se maintient à hauteur fixe et peut ainsi planer pendant des heures. C'est une des variétés du vol à voile. L'énergie nécessaire à la sustentation y est fournie par des causes extérieures.

6° *Le vol aéroplane*. — L'aéroplane est en somme le vol ramé propulsif adapté aux procédés de la mécanique. Les surfaces portantes sont fixes ; le mouvement alternatif est entièrement banni, même pour la propulsion, et celle-ci est obtenue au moyen d'un organe indépendant à mouvement continu, l'hélice propulsive. C'est sans doute une grande simplification mécanique, mais c'est peut-être un désavantage au point de vue du rendement ; en effet, outre que cela ajoute le poids d'un organe nouveau et des frottements supplémentaires, on n'utilise pour créer la réaction propulsive qu'une petite surface, au lieu d'utiliser toute la surface des ailes. Il en résulte un recul assez important, qui est du travail perdu, et qu'on peut évaluer à 15 ou 20 %. Du reste la propulsion par coups d'ailes, qui est intermittente, doit avoir aussi des pertes de rendement, et il n'est pas prouvé qu'elle soit meilleure que la propulsion par hélices. Il faut se garder des affirmations trop hâtives.

7° *Le vol à voile.* — Pour achever l'énumération des différents genres de vol, il nous reste à mentionner une manœuvre très curieuse qu'on appelle le vol à voile, dans laquelle l'oiseau emprunte l'énergie nécessaire pour sa sustentation aux intermittences et aux remous du vent.

Ce qui autorise à le placer au sommet de l'échelle des vols, c'est que c'est lui qui permet de voler aux oiseaux les plus lourds ; les oiseaux pesant de 3 à 10 kilogs sont presque exclusivement voiliers ; le vol par battements les fatigue trop. Nous reviendrons sur le vol à voile, auquel nous consacrerons un chapitre spécial.

COMMENT LE PROBLÈME SE POSE POUR L'HOMME.

Nous venons de voir comment la nature a résolu le problème du vol. Mais pourquoi s'est-elle arrêtée au poids maximum de 10 kilogs pour les animaux vivants ?

En particulier, pourquoi l'homme ne vole-t-il pas par ses propres forces ?

Est-ce parce que le moteur humain est un mauvais moteur, qui pèse trop lourd par cheval-vapeur ?

Il est vrai que nous sommes peu avantagés sous ce rapport ; notre musculature si complexe, qui nous permet une variété de mouvements presque infinie, est un lourd bagage qui nous handicape fortement ; et mieux vaudrait, sous le rapport du vol, être comme les oiseaux qui n'ont que deux muscles vraiment développés, les grands pectoraux ou muscles du vol, qui pèsent parfois à eux seuls le cinquième du poids du corps. Tous les autres muscles sont négligeables comme poids auprès de ceux-là, et ne sont qu'un bien petit fardeau à porter pendant le vol.

Mais la vraie cause qui empêche l'homme de voler n'est pas là. En effet, les oiseaux n'ont pas besoin de donner leur maximum de force pour voler ; ils développent environ 1 cheval-vapeur par 100 kg. de

poids en plein vol, et l'homme peut facilement fournir momentanément ce travail et même bien davantage (il peut fournir pendant quelques secondes jusqu'à 2 chevaux 1/2 par 100 kg. de poids). Il devrait donc pouvoir voler s'il ne lui fallait pas plus de force qu'aux oiseaux, par unité de poids. Mais il lui en faut davantage, et cela à cause de la *loi des cubes*, qui est d'une importance capitale en aviation.

La loi des cubes. — Dans une famille de corps géométriquement semblables, la loi des cubes exprime que les volumes, et par suite les poids, augmentent comme le cube des dimensions linéaires, alors que les surfaces n'augmentent que comme le carré. Les poids augmentent donc plus vite que les surfaces. Voyons comment cette loi fait varier, pour les corps volants, la densité alaire ou charge unitaire (poids porté par unité de surface).

Soit un corps de poids P, et la surface alaire s. Sa charge unitaire est $d = \frac{P}{s}$.

Multiplions toutes ses dimensions par le rapport μ , que j'appelle module de similitude.

Le poids devient μ^3P , la surface μ^2s , et la charge unitaire devient :

$$\frac{\mu^3 P}{\mu^2 s} = \mu \frac{P}{s} = \mu d.$$

La charge unitaire croît donc comme le module de similitude. Ainsi, plus un corps est grand, plus il est désavantagé sous le rapport des surfaces. Nous montrerons plus tard, quand nous aurons établi les équations de l'aéroplane, que le travail nécessaire à la sustentation augmente comme la racine carrée de la charge unitaire, donc aussi comme la racine carrée du module.

Pour l'orthoptère la loi serait la même, et nous pouvons l'établir de suite, en nous appuyant seulement sur la loi de proportionnalité des pressions aux surfaces, et sur la loi du carré des vitesses, deux

lois expérimentales sinon rigoureuses, du moins approchées, comme nous le verrons ci-après.

Soit un appareil de poids P , maintenu en l'air par une surface donnée qui s'abaisse verticalement. Soit V la vitesse de refoulement nécessaire à sa sustentation. Le travail par unité de temps sera :

$$T = PV$$

Le travail unitaire (par unité de poids) sera :

$$t = \frac{T}{P} = V.$$

Ainsi, la vitesse de refoulement mesure le travail unitaire.

Augmentons la charge unitaire dans le rapport μ . La réaction à obtenir augmente dans le rapport μ , la vitesse de refoulement devra augmenter comme $\sqrt{\mu}$; donc aussi le travail unitaire, dont elle est la mesure.

Il faut encore voir si les corps semblables de la série considérée seront semblablement résistants. Or, ici encore, la grandeur est un inconvénient. En effet, l'appareil peut être considéré comme un poids P suspendu au milieu O d'une poutre de largeur b et d'épaisseur h (fig. 16). Nous n'avons besoin de faire aucune hypothèse sur la forme de sa section.

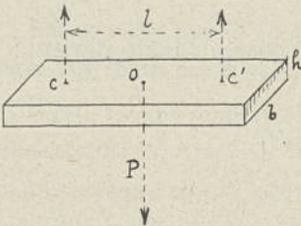


Fig. 16. — Résistance d'une poutre supportant une charge en son milieu.

Soit l la distance des centres de pression C et C' sur chaque aile. Le moment fléchissant qui s'exerce au milieu est $M = \frac{Pl}{4}$.

Or, on démontre en mécanique que le moment fléchissant R auquel peut résister la poutre est proportionnel au produit bh^2 .

$$R = nbh^2.$$

Multiplions les dimensions par μ . Le moment fléchissant, qui était $\frac{Pl}{4}$, devient :

$$\frac{\mu^3 P \cdot \mu l}{4} = \mu^4 M.$$

La résistance de la poutre devient :

$$n \cdot \mu b \cdot \mu^2 h^2 = n \cdot b h^2 \mu^3 = \mu^3 R.$$

Le moment fléchissant augmente comme μ^4 , et la résistance n'a augmenté que comme μ^3 . La résistance croît donc moins vite que les efforts à supporter.

Conclusion : plus l'appareil s'agrandit, plus il s'affaiblit.

Il faut donc le renforcer, c'est-à-dire augmenter les épaisseurs dans un rapport plus grand que μ .

On peut facilement calculer qu'il faudrait, pour conserver les résistances, augmenter les épaisseurs dans le rapport μ^2 .

Dans ces conditions le poids augmentera comme μ^4 , et le moment fléchissant comme μ^5 .

La résistance deviendra :

$$n \cdot \mu b \cdot \mu^4 h^2 = n \cdot b h^2 \mu^5 = \mu^5 R.$$

Elle augmente donc bien dans la même proportion que le moment fléchissant.

Ce fait nous est confirmé d'une manière générale dans la nature, où nous voyons les grands objets non pas semblables géométriquement aux petits, mais nettement plus massifs et plus ramassés. Comparez une grosse machine à vapeur avec une petite de la même série, c'est frappant. Comparez le tronc d'un grand chêne avec la tige d'un arbuste, le squelette d'un éléphant avec celui d'un petit mammifère.

Dans les êtres volants, on ne peut pas se plier à cette loi, qui conduirait à des poids trop élevés. Déjà l'augmentation par similitude désavantage beaucoup les grands volateurs sous le rapport de la

densité alaire ; ce serait bien pis s'il fallait augmenter les épaisseurs dans la proportion de μ^2 . Dans ce cas, le poids augmentant comme μ^4 et la surface portante comme μ^2 , la charge alaire augmenterait comme μ^2 . Par suite, le travail par seconde et par unité de poids augmenterait comme μ , (au lieu de $\sqrt{\mu}$ comme dans le cas de la similitude).

Aussi la nature, dans les êtres volants, s'en est-elle tenue très sensiblement à l'augmentation par similitude, sans plus, comme le montre le tableau ci-dessous. La similitude se vérifie par le fait que la racine cubique du poids et la racine carrée de la surface restent dans un rapport à peu près constant.

$$\frac{P^{1/3}}{s^{1/2}} = \text{constante.}$$

ESPÈCE	POIDS	SURFACE	POIDS porté par m ²	VALEUR de $\frac{P^{1/3}}{s^{1/2}}$
Cousin.....	0 gr. 003	0cm ² ,3	0 ^k ,1	2,61
Papillon.....	0 gr. 2	16cm ² ,6	0 ^k ,12	1,43
Nyctinome,.....	6 gr.	94cm ²	0 ^k ,64	1,82
Mésange.....	14	62	2 ^k ,3	3,05
Hirondelle.....	16	124	1 ^k ,3	2,25
Martin-pêcheur.....	34	131	2 ^k ,6	2,84
Roussette.....	53	303	1 ^k ,7	2,15
Caille.....	100	222	4 ^k ,5	3,12
Pigeon.....	290	750	3 ^k	2,42
Milan.....	640	2.874	2 ^k ,2	1,61
Canard.....	925	837	11 ^k	3,00
Cigogne.....	2 ^k ,140	6.152	3 ^k ,5	1,65
Vautour oricou.....	8 ^k ,152	11.129	7 ^k ,3	1,90
Grue d'Australie.....	9 ^k ,500	8.540	11 ^k	2,30

Dans ce tableau, nous avons expressément fait figurer des insectes, des chauves-souris et des oiseaux ; et nous avons choisi les animaux qui donnent pour le rapport $P^{1/3} : s^{1/2}$ les valeurs les plus extrêmes. On voit que, malgré cela, d'un bout à l'autre de l'échelle des êtres volants, ce rapport varie assez peu, et surtout on remarque qu'il

n'accuse aucune tendance générale à l'augmentation ni à la diminution. Sa moyenne reste voisine de 2,25 aussi bien pour les plus petits volateurs que pour les plus gros.

Le résultat de cette similitude est que les ailes des grands volateurs sont proportionnellement plus faibles ; elles sont sans rigidité, molles, gauchissables, et supportent mal les violents efforts du vol ramé.

On voit que le problème du vol devient de plus en plus difficile à mesure que les poids augmentent (1). On peut suivre cette difficulté croissante avec une parfaite netteté chez les animaux volants. Plus ils sont petits, plus leur charge alaire est faible, et plus facilement ils se maintiennent dans l'air.

Les minuscules insectes, moucherons, papillons, quoique animaux à sans froid, volent sans effort, sur place, en avant, en arrière, en zigs-zags brusques, au gré de leur fantaisie. La forme de leur corps n'est nullement étudiée pour le vol ; ils sont aussi « mauvais projectiles » que mauvais moteurs ; ils utilisent le vol godillé, mode de vol assez médiocre, à cause de son mouvement alternatif. Cette forme de vol n'est possible que jusqu'à 1 ou 2 grammes. Au delà de ce poids, nous trouvons les oiseaux rameurs, dont le poids atteint quelques quelques hectogrammes.

Déjà leur sang est le plus chaud de tous les animaux (43 à 44°, alors que l'homme n'a que 37° en temps normal, et qu'une fièvre de 41° le met en danger de mort) ; leurs poumons sont extraordinairement développés ; leur aile, cette merveille d'architecture, a épuisé les ressources créatrices de la nature ; leur corps fuselé est un projectile parfait.

Les plus petits peuvent encore, avec effort, s'enlever sur place, mais ils doivent aussitôt, pour diminuer le travail, utiliser le vol ramé propulsif, le plus économique de tous. Seul, l'oiseau-mouche, le plus léger de la série, peut voler sur place pendant un temps appréciable.

(1) C'est pour cela qu'il est relativement facile de construire des modèles réduits d'appareils volants, et qu'il est infiniment plus difficile de les réaliser en grand.

Les oiseaux franchement rameurs ne dépassent guère 1 kilogr. Au-delà de 1 kilogr., le vol devient déjà fatigant. Les oiseaux tournent la difficulté ; ils alternent le vol ramé avec le vol à voile, qui les repose. Ils ne peuvent déjà plus s'envoler sur place ; il leur faut une lancée, comme à nos aéroplanes.

Au-delà de 3 kilogr., les oiseaux deviennent exclusivement voiliers, étant incapables de soutenir longtemps l'effort du vol ramé. Ils donnent quatre ou cinq battements, et immobilisent leurs ailes grandes ouvertes pour utiliser les ressources du vent et diminuer leur propre travail. Quand il n'y a pas de vent, ils renoncent au vol ; ils restent perchés. L'essor leur est tellement pénible que, pour l'éviter, ils habitent dans les creux des rochers élevés, d'où ils n'ont qu'à se lancer dans l'espace pour acquérir, au prix d'une descente de quelques mètres, la vitesse de régime nécessaire au vol propulsif.

La nature a épuisé pour eux toutes ses ressources, jusqu'à les faire carnivores, les animaux carnivores étant plus aptes que les autres à donner un effort violent mais de courte durée.

Grâce à l'artifice du vol à voile, la nature a pu prolonger jusqu'à 10 kilogr. la faculté du vol. Passé ce poids, elle est obligée de s'avouer impuissante ; quelques essais malheureux, comme l'autruche, le casoar, l'émeu, confirment son échec. Et pourtant, que sont 10 kilogrammes auprès des sauriens géants, des mammifères énormes, qui atteignent des milliers de kilogrammes ? Si la nature n'a pas fait de volatiles lourds, c'est que la loi des cubes le lui a interdit.

Appliquons cette loi à l'homme. Le travail par kilog de poids variant comme la racine carrée du module, donc comme la racine sixième du poids, il en résulte qu'un volateur de 75 kilogs environ exigerait 1,6 fois plus de travail, par kilogramme de poids, qu'un aigle de 4 kilogs ; 2,6 fois plus de travail qu'un pigeon de 250 gr. ; 4 fois plus de travail qu'une hirondelle de 16 gr., et aussi 17 fois plus de travail qu'un cousin de 3 milligrammes. Voilà pourquoi l'homme ne vole pas, et l'autruche non plus, bien qu'elle ait des ailes.

Ceci nous montre deux choses.

D'abord, qu'en faisant voler des aéroplanes de plusieurs centaines de kilogr., l'homme s'est montré supérieur à la nature, en résolvant un problème qu'elle n'avait pas su résoudre.

Ensuite qu'il ne faut pas écouter ceux qui prétendent que la nature infailible doit être prise pour modèle ; car ce problème que nous nous sommes posé, elle n'a pas su le résoudre ; et il est au contraire permis de penser que si nous avons réussi là où elle avait échoué, c'est précisément parce que nous avons pu utiliser des procédés et des ressources qu'elle n'avait pas à sa disposition.

CEUX QUI ONT RÉSOLU LE PROBLÈME.

De tout temps, l'imitation du vol des oiseaux a séduit l'homme, et a donné lieu à des tentatives aussi multiples que vaines. C'est qu'on ne comprenait pas la véritable nature du vol des oiseaux, qu'on avait insuffisamment observé ; on croyait que c'était le vol orthogonal, et on essayait de le reproduire ; en outre, dans l'ignorance de la loi des cubes, on croyait que si l'homme avait des ailes, rien ne s'opposerait à ce qu'il vole aussi facilement qu'une hirondelle.

Nous passerons sous silence toutes ces tentatives, qui n'ont qu'un intérêt historique et n'ont pas fait avancer la question.

Il est plus intéressant de rappeler quels sont les hommes de génie qui ont enfin aperçu la bonne voie, et ont contribué à la solution du problème.

C'est d'abord l'anglais Sir George Cayley qui, en 1809, dans des articles publiés par *Nicholson's Journal*, inventa de toutes pièces l'aéroplane, avec tous ses organes, basé sur une compréhension exacte du vol des oiseaux. Moteur à mélange tonnant, sustentation par une voilure inclinée, propulsion par l'hélice, déplacement du centre de pression et équilibre automatique, empennage, formes fuselées, tout y est. Cayley construisit même un appareil qui fut brisé aux essais. Mais son effort resta ignoré ; ses articles passèrent inaperçus

et tombèrent dans l'oubli, où ils seraient encore si Pénaud ne les avait exhumés 65 ans plus tard, en 1874.

Plus d'un demi-siècle s'écoule.

En 1864, il se produit une agitation considérable en faveur du plus lourd que l'air ; Nadar, de la Landelle, le vicomte de Ponton d'Amécourt fondent la *Société française de Navigation aérienne*, et cherchent à frapper le public par des articles brillants et enthousiastes. C'est un véritable emballement, auprès duquel celui de notre époque actuelle est bien pâle. Car les fantaisies de nos écrivains modernes ne sont rien auprès de celles qu'on imprimait alors. On va en juger. Edgar Saveney (1), cherchant à calmer cet emballement, en montrant que le poids des moteurs (85 kilogr. par cheval, à l'époque), rendait tout espoir chimérique pour le moment, ajoute :

« Pourquoi nous représenter d'avance l'atmosphère sillonnée en tous sens de navires ailés ? Pourquoi, dès maintenant, nous énumérer tous les types de la flotte aérienne : l'*avicule*, petite nacelle n'emportant que son aviateur ; l'*avicelle*, barque portant deux à trois hommes ; l'*ave*, grande barque ; l'*aéronef*, proprement dite, petit navire ; l'*aéronave*, corvette aérienne ; le *mégaloornis*, vaisseau de la taille d'un aviso-vapeur de 120 à 130 chevaux, pouvant porter une trentaine d'hommes ? Pourquoi nous donner le plan des gares d'atterrissage qui serviront aux steamers aériens ? Pourquoi, dès aujourd'hui, esquisser les ordonnances de police qui régleront la circulation des véhicules atmosphériques ? Pourquoi discuter dans leurs détails, ce qui parait d'ailleurs de nature à effrayer les esprits timides, les différents genres d'accidents qui peuvent troubler cette circulation : chute sans renversement, avec ou sans démâtage ; chute sans dessus dessous après chavirement ; choc contre un corps immobile, tour, montagne ou falaise ; abordage entre aéronefs ? Pourquoi étudier d'avance les changements que subira la thérapeutique, et étudier les nouvelles règles d'hygiène qu'il conviendra

(1) *Revue des Deux-Mondes*, 1865.

d'adopter lorsque l'homme aura pris l'habitude de se transporter à travers l'atmosphère ? Pourquoi nous inspirer l'horreur des chemins de fer où l'on voyage dans d'horribles boîtes d'une intolérable lenteur, au prix de mille supplices insupportables, où l'on est secoué par un affreux mouvement de lacet, au milieu d'un bruit infernal de chaînes, de bois et de vitres heurtées, tandis que des flots de poussière couvrent de leur linceul étouffant le voyageur infortuné ? »

De fait, faute de moteur léger, cette époque n'a produit que des jouets volants.

Il semble que ce soient Julien et les frères Du Temple qui, en 1861, ont réalisé le premier aéroplane-jouet qui s'enlevait, et Alphonse Pénaud qui, en 1871, a fait le premier appareil du même type, capable de voler et de conserver son équilibre. Le moteur était un caoutchouc tordu.

Mais ce n'étaient que des jouets, et l'appareil capable d'enlever un homme présentait des difficultés incomparablement plus grandes, à cause de la loi des cubes.

Trois choses manquaient encore pour la réussite : le moteur léger, la méthode permettant de faire un apprentissage progressif, et enfin la mise au point du système de direction, du système de propulsion et la réalisation définitive de l'ensemble.

Le moteur léger n'a été réalisé que grâce à l'invention du moteur à essence de pétrole, invention qui est due à E. Lenoir, en 1863. L'industrie de l'automobile a ensuite perfectionné et allégé ce moteur.

Une place à part est due à l'ingénieur français, Clément Ader, parmi les précurseurs. Il a eu le grand mérite de réaliser un moteur léger à vapeur, ainsi que tout un appareil qui dénote une ingéniosité prodigieuse. Malheureusement il lui manquait la méthode d'apprentissage, sans laquelle le meilleur appareil ne peut donner aucun résultat. Aussi, les essais de son « Avion », en 1897, furent-ils peu concluants. Il est bien difficile, en l'absence de témoignages probants (les témoins déclarent qu'ils n'ont pas vu l'appareil en l'air, mais que ses traces par terre cessaient d'être visibles sur un certain parcours),

de savoir ce qu'a fait l'Avion. A-t-il réellement volé ? A-t-il été soulevé par une rafale comme une feuille morte ? Pouvait-il voler ? Était-il stable, maniable, viable, en un mot ? On ne le saura jamais.

Voici ce qu'un témoin, le lieutenant Binet, écrivait à Ader en 1906, neuf ans après les essais :

« Mon opinion très nette, à la suite de ces expériences, a été et est encore la suivante : L'Avion N^o 3 semblait posséder tout ce qu'il fallait pour voler, c'est-à-dire pour se soulever d'abord et pour se diriger ensuite ; mais il manquait surtout à l'Avion un pilote sachant le manœuvrer ».

Il ne semble pas que nous ayons le droit d'avoir de cet appareil une opinion plus précise.

De 1891 à 1897, un fait capital a lieu : ce sont les expériences de planement de l'ingénieur allemand Otto Lilienthal (1). Au cours de ses glissades aériennes faites avec des aéroplanes sans moteur, il précise les formes et dispositions les plus favorables, les conditions de l'équilibre, le meilleur profil des surfaces. A vrai dire, il ne pensait nullement travailler à la solution du problème du vol mécanique ; il cherchait à reproduire le vol à voile, persuadé que sa solution était dans un certain profil des surfaces qui permettrait de voler sans dépenser de travail. En fait, ses essais ont eu l'utilité de « sérier les difficultés », et de réaliser d'abord le planeur sans moteur.

Vinrent ensuite les frères Wilbur et Orville Wright, fabricants de bicyclettes à Dayton (Ohio), qui, reprenant la même méthode, mirent l'appareil au point, avec ses systèmes de direction et de manœuvre ; cela fait, ils s'attaquèrent au moteur, le mirent au point également, et en décembre 1903 réalisèrent les premiers vols humains.

En dehors de l'aéroplane, le seul genre d'appareil avec lequel on ait réussi à enlever un homme est l'hélicoptère.

(1) Né en 1848, à Anklam (Poméranie), Lilienthal se tua le 9 août 1897 en tombant au cours d'un de ses vols.

L'honneur en revient à l'ingénieur français, Louis Breguet, en août 1907.

L'hélicoptère avait été réalisé sous forme de jouet en 1784, par Launay et Bienvenu.

Quant à l'ornithoptère, il n'a été réalisé jusqu'ici que comme jouet (par Hureau de Villeneuve et Pénaud, en 1872).

CHAPITRE II

LES LOIS DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR.

Les dispositifs d'expériences. — Lois de la résistance de l'air pour l'attaque orthogonale. — Loi des plans minces. — Le coefficient K. — Carènes. — Influence de l'accélération.

Un corps qui se déplace dans l'air éprouve une résistance. La résistance de l'air n'est pas complètement déterminée quand on connaît sa grandeur ; une force, dans le cas le plus général, nécessite 6 paramètres pour être déterminée dans l'espace (un pour sa grandeur, deux pour sa direction, trois pour son point d'application) (1).

Mais on n'envisage jamais ce cas général en aérodynamique.

On se borne à envisager deux cas plus simples : d'abord celui d'un corps ayant un plan de symétrie qui contient aussi la direction du courant d'air, conséquemment la résistance est dans ce même plan. Le problème est ainsi ramené à la géométrie plane ; la force est déterminée par 4 paramètres : 1 pour la grandeur, 1 pour la direction, 2 pour le point d'application. Enfin, comme cas plus particulier encore, celui d'un corps ayant un axe de symétrie, suivant lequel est dirigé le courant de l'air. La résistance est dirigée suivant le même axe par raison de symétrie.

La force est alors déterminée par deux paramètres : un pour la grandeur, un pour le point d'application. Encore ce dernier est-il sans intérêt en aviation ; la position du *centre de poussée* sur la ligne droite représentative de la poussée n'a pas l'importance qu'on pourrait croire a priori ; la position du *métacentre*, que nous définirons plus loin, est seule intéressante au point de vue de la stabilité.

(1) Dans le cas général, l'action de l'air se compose d'une force et d'un couple. On ne tient pas compte de ce dernier, sauf dans l'étude des hélices.

LES DISPOSITIFS D'EXPÉRIENCES

Les expérimentateurs, pour mesurer la résistance de l'air, ont adopté des dispositifs très divers, en vue de surmonter les difficultés considérables que rencontre l'expérimentation précise.

Il s'agit de déterminer l'action de l'air en repos sur un solide animé d'un mouvement rectiligne et uniforme de translation, ou, ce qui revient au même, l'action d'un courant d'air constant sur un solide immobile.

En vertu du principe du mouvement relatif, ces deux cas sont identiques, et les résultats trouvés doivent être les mêmes ; seules, les facilités de l'expérimentation doivent motiver le choix entre l'un et l'autre de ces dispositifs (1).

A première vue, il semble naturel d'opérer dans l'air calme et de déplacer le solide ; mais, dans ce cas, on se heurte à deux difficultés. D'abord, l'air n'est jamais rigoureusement calme ; même dans une salle close se produisent des phénomènes de brassage impossibles à éviter ; on peut s'en convaincre en rendant l'atmosphère visible par un mélange de fumée.

En second lieu, la translation rectiligne ne peut, dans un laboratoire, être réalisée que sur une petite longueur, et ne se prête pas à des observations suffisamment prolongées.

(1) Il s'est trouvé cependant des expérimentateurs qui n'ont pas aperçu ce principe, qui ont cru devoir faire des expériences dans les deux cas, et qui, chose admirable, ont trouvé des résultats entièrement différents.

Tel est le cas de Duchemin, qui enregistre des résultats comme celui-ci : « La résistance d'une simple surface plane qui se meut perpendiculairement à elle-même dans l'eau en repos n'est que les $\frac{2}{3}$ de la résistance qu'une même surface supporte, toutes choses égales d'ailleurs, lorsqu'elle est exposée au choc direct de ce fluide en mouvement. La résistance d'un cylindre est plus grande dans le second cas que dans le premier, tant que le rapport de la longueur au diamètre de ce corps est au-dessous de $\frac{8}{3}$, etc., etc. ». Une fois lancé dans cette voie, on se demande pourquoi, après avoir supposé que c'est le corps seul qui se déplace, puis l'eau, il n'a pas supposé qu'ils se déplacent tous deux, chacun prenant une part de la vitesse totale ; ce qui lui aurait donné l'occasion d'établir une infinité de lois différentes pour l'infinité des combinaisons possibles.

On a cru parfois pouvoir tourner cette difficulté en remplaçant le mouvement rectiligne par la rotation autour d'un axe ; mais, lors même que le rayon est relativement grand, la rotation n'est pas comparable à une translation, parce que les divers points n'ont pas la même vitesse, parce qu'il s'introduit des forces centrifuges qui modifient le mode d'écoulement de l'air, et parce que le corps repasse toujours par les mêmes points.

Il est donc, à tous égards, préférable de laisser le solide immobile et de mettre l'air en mouvement.

Disons quelques mots des meilleurs dispositifs employés.

Expériences du colonel Renard. — Le colonel Renard expérimentait, au moyen d'un manège circulaire à axe horizontal, dont il mesurait le couple résistant en montant tout l'appareil, y compris son moteur électrique, sur une balance, et en rétablissant l'équilibre au moyen de poids (fig. 17).

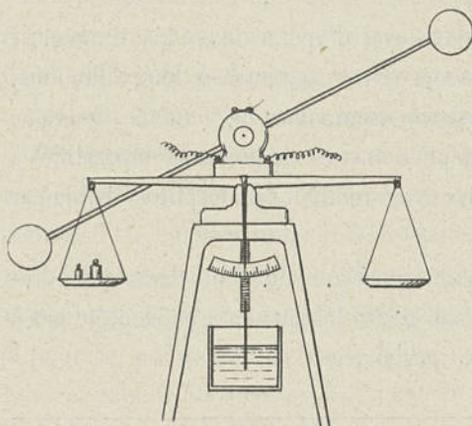


FIG. 17. — Balance dynamométrique du colonel Renard.

La surface expérimentée décrivait une circonférence de rayon très grand par rapport à ses dimensions, de sorte qu'on pouvait considérer

son mouvement comme différant peu d'un mouvement de translation rectiligne. Cependant, l'air de la salle devait, peu à peu, se mettre en mouvement dans le même sens que la surface ; aussi Renard n'a-t-il jamais considéré ses expériences comme donnant des valeurs absolues sûres pour les résistances, mais seulement comme permettant de comparer les résistances des corps de diverses formes et à diverses vitesses dans des conditions bien définies. A défaut des valeurs absolues, les rapports des valeurs peuvent être déterminés

avec exactitude, et notamment la loi du carré des vitesses, que Renard a reconnue sensiblement exacte entre 4 et 50 mètres par seconde.

Expériences de Riabouchinsky. — Le dispositif employé par Riabouchinsky, directeur de l'Institut aérodynamique de Koutchino (Russie), fondé en 1904, consiste en un tunnel ou tube horizontal de $14^m,50$ de longueur et de $1^m,20$ de diamètre, parcouru par un courant d'air aspiré par un ventilateur, l'expérience ayant montré que l'aspiration donne un courant d'air plus régulier que le refoulement.

Les corps à expérimenter sont placés au milieu du tube, dont les parois sont munies de verres cylindriques à travers lesquels on fait les

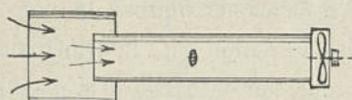


Fig. 18. — Tunnel de l'Institut aérodynamique de Koutchino.

observations (fig. 18). Pour régulariser le courant d'air, l'aspiration se fait dans un tube cylindrique concentrique au premier, de $2^m,20$ de diamètre et de

$3^m,60$ de longueur. Dans ces conditions, et en n'utilisant pas la zone voisine des bords, où le courant d'air est ralenti sur une quinzaine de centimètres d'épaisseur, on constate que la vitesse est sensiblement uniforme, avec des écarts ne dépassant jamais 3,6 %.

Un étalonnage préalable a permis d'établir une table de correspondance entre la vitesse du courant d'air, mesurée à l'anémomètre, et le nombre de tours du ventilateur. La proportionnalité se vérifie sensiblement.

On a reproché à la méthode du tunnel de gêner l'épanouissement latéral des filets d'air. Elle n'est réellement précise que pour des corps dont la section est environ 100 fois moindre que celle du tunnel ; on constate que les pressions sont majorées à peu près en proportion de l'étranglement dû à la présence du corps.

Expériences de M. Eiffel. — Ces expériences, faites à la tour de 300 mètres et publiées en 1907, sont d'une précision remarquable.

En voici le principe.

Une masse pesante M dont on connaît la résistance à la pénétration (laquelle est d'ailleurs rendue aussi faible que possible) tombe en chute libre le long d'un câble vertical tendu entre le sol et le second étage de la tour (hauteur 445 mètres, hauteur de chute libre 95 mètres); elle entraîne dans sa chute la surface S à étudier; celle-ci est fixée en avant du poids par l'intermédiaire d'un ressort (fig. 19)

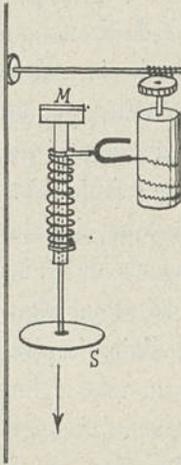


FIG. 19. — Appareil de M. Eiffel.

L'extrémité du ressort porte un diapason donnant 400 vibrations par seconde et dont une branche est munie d'un stylet qui appuie sur un cylindre recouvert d'un papier noir à la fumée. Ce cylindre est mis en rotation par l'intermédiaire d'une molette qui roule sur le câble, et d'une vis sans fin. Son angle de rotation mesure donc le chemin parcouru.

Le diapason vibrant, porté par le ressort, trace sur le cylindre une courbe ondulée dont l'ordonnée moyenne indique la flexion du ressort et, par suite, la pression subie. En même temps, le nombre des vibrations inscrites mesure les temps écoulés.

La vitesse de chute s'obtient en mesurant la longueur occupée par 40 vibrations consécutives.

Les vitesses expérimentées variaient entre 18 et 40 mètres.

Cette méthode, d'une élégance et d'une précision remarquables, a l'avantage de donner une mesure directe et très exacte de la vitesse. Elle a fait l'objet d'un rapport très élogieux présenté à l'Académie des Sciences, en 1908, par MM. Maurice Lévy et le général Sébert.

« Les résultats obtenus par M. Eiffel, disent-ils, représentent aujourd'hui les valeurs les plus précises que l'on connaisse pour la mesure de la résistance que l'air oppose au mouvement rectiligne de surfaces ayant les dimensions et formes qu'il indique, pour des vitesses de déplacement comprises entre les limites où il a opéré.

On peut considérer comme établies les conclusions principales qu'il indique ».

Toutefois, bien qu'on n'ait tenu compte que des expériences faites en air calme, il est impossible d'avoir l'assurance que l'air était absolument calme. D'autre part, cette méthode ne permet de mesurer ni la direction des forces obliques, ni la position de leur point d'application, ni la répartition des forces sur les divers points des deux faces du corps. Aussi ses applications sont-elles limitées.

Aussi, dans ses dernières expériences, dont il a rendu compte en janvier 1910 à la Société des Ingénieurs civils, M. Eiffel a-t-il adopté,

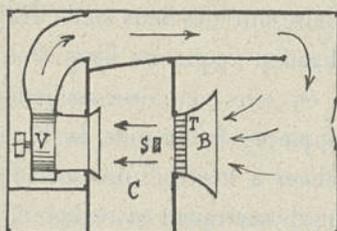


FIG. 20. — Dispositif d'expérience de M. Eiffel (avec ventilateur).

à l'exemple de M. Rateau, un autre dispositif dans lequel le corps S à expérimenter est fixe. Le courant d'air est obtenu au moyen d'un ventilateur aspirant V (fig. 20). L'air aspiré dans la salle par une buse B de 1^m,50 de diamètre tra-

verse, sous forme d'un cylindre, la chambre close C où se font les mesures. Une série de tubes T assure le parallélisme des filets fluides.

Expériences de M. Rateau. — Pour éviter le reproche qu'on peut faire à la méthode du tunnel de gêner l'épanouissement latéral des filets d'air autour du corps à étudier, M. Rateau s'est servi, en 1909, d'un courant d'air très homogène obtenu en faisant sortir par une buse B convergente, de 70 centim. de diamètre à la sortie, l'air

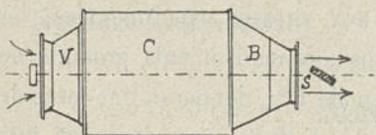


FIG. 21. — Dispositif d'expérience de M. Rateau.

soufflé par un ventilateur de 1^m,20 de diamètre. L'air, avant de sortir par la buse, traverse une chambre étanche C de 1^m,60 de côté renfermant un

treillage en lattes de bois destiné à rendre les filets bien parallèles.

Le corps S à étudier est fixe et placé tout près de la sortie de la buse (fig. 21).

La vitesse de l'air se mesure au moyen d'un tube de Pitot ; elle a varié de 7 à 35 mètres par seconde.

De toutes les méthodes employées jusqu'ici, c'est celle qui paraît donner la plus grande précision. Elle n'est cependant pas encore irréprochable ; car si la méthode du tunnel gêne l'épanouissement et la déviation des filets d'air, la méthode de M. Rateau, par contre, laisse cette déviation se faire trop librement ; les filets d'air ne sont pas, comme dans la réalité, accompagnés et, en quelque sorte, canalisés par d'autres filets d'air qui s'opposent à leur déviation ; de sorte que les trajets qu'ils suivront ne seront pas les mêmes que dans la réalité. La vérité paraît être intermédiaire entre les deux méthodes.

Une autre cause d'erreur est l'obligation, pour les filets d'air déviés, de subir une seconde déviation en sens contraire, assujettis qu'ils sont à sortir par une ouverture placée en face de la buse d'arrivée. Cette condition peut les amener à trouver un trajet de moindre résistance différent de celui qu'ils suivraient en réalité, et, notamment, à commencer leur déviation bien avant d'avoir rencontré le corps interposé, phénomène que M. Eiffel a constaté (1) et qui semble dû à cette cause d'erreur.

LOIS DES PLANS MINCES

L'expérience montre que les lois de la résistance de l'air et celles de la résistance de l'eau sont analogues, bien que l'air soit un fluide élastique tandis que l'eau est incompressible.

Il faut toutefois remarquer qu'aux vitesses expérimentées, les changements de densité de l'air dus aux mouvements produits ne dépassent pas 1 % (une compression de 1 % donnerait une force de 125 kilogr. par mètre carré). Il n'est donc pas étonnant que l'influence de l'élasticité soit négligeable.

Les lois de la résistance de l'air sont complexes et ne peuvent pas

(1) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, janvier 1910, p. 44

être représentées exactement par des formules simples. Les plus anciennes lois formulées sont dues à *Newton*, qui les avait établies par le raisonnement. Elles concernent les plans minces se déplaçant d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme. Les voici :

1^o La résistance est proportionnelle à la densité du fluide ;

2^o Elle est proportionnelle au carré de la vitesse ;

3^o Elle est proportionnelle à l'étendue de la surface ;

4^o Elle est normale à la surface ;

5^o Elle est proportionnelle au carré du sinus de l'angle d'incidence.

On peut remarquer que ces lois ne déterminent pas la position de la résistance.

Nous allons d'abord supposer que *l'attaque est orthogonale* ; dans ce cas, il n'y a à tenir compte que des trois premières lois. Elles peuvent s'exprimer par la formule :

$$R = k d S V^2$$

R. Résistance.

d. Poids spécifique de l'air.

S. Surface.

V. Vitesse.

k. Coefficient constant.

Disons de suite que, sans être rigoureuses, ces lois sont assez approchées pour pouvoir être adoptées dans la pratique.

Examinons-les en détail.

DENSITÉ.

La proportionnalité à la densité a été étudiée, en 1893, par Cailletet et Colardeau qui l'ont trouvée sensiblement exacte, non seulement pour un même gaz, mais pour des gaz différents tels que l'air et l'acide carbonique.

Cette loi a beaucoup d'importance, car l'air dans lequel nous devons nous mouvoir à des densités variables avec la pression atmosphérique, l'altitude et la température.

Si d_0 est la densité de l'air à 0° et à la pression de 760 m/m de mercure, la densité d à la pression H et à la température t est donnée par la formule :

$$d = d_0 \frac{H}{760} \frac{1}{1 + \frac{t}{273}}$$

La pression H varie suivant l'état de l'atmosphère et suivant l'altitude ; à 1.000 m. d'altitude elle diminue de 12 % ; à 2.000 m. elle diminue de 22 %.

La proportionnalité de la résistance à la densité quand la pression varie n'est pas contestée. Mais pour les variations de densité provenant des variations de température, la loi a été contestée, notamment par M. C. Mannesmann (Wiedemann's Annalen der Physik und Chemie, 1899).

Il se pourrait aussi que l'état hygrométrique eût une influence sur la résistance de l'air, en modifiant sa viscosité. La question reste à élucider.

Dans la plupart des applications qui vont suivre, nous supposons la densité invariable ; d pourra donc rentrer dans le coefficient constant, et nous écrirons :

$$R = KSV^2$$

LOI DU CARRÉ DES VITESSES.

La proportionnalité de la résistance au carré de la vitesse a été longtemps considérée comme rigoureuse, car c'est une loi simple, et on croyait autrefois à la simplicité des lois physiques. Elle n'est cependant qu'approchée.

En balistique on a établi des formules à plusieurs termes où entrent des puissances différentes de V. Il y a notamment un terme linéaire

en V qui parait provenir de la viscosité. Aux très faibles vitesses, ce terme devient prépondérant, et on peut admettre qu'aux vitesses de quelques centimètres par seconde la résistance de l'air est proportionnelle à V . Mais à partir de quelques décimètres par seconde ce terme devient négligeable; on n'a donc pas à en tenir compte pour l'aviation.

Si on cherche à exprimer la résistance par une fonction de la forme $V^2 f(V)$, on trouve pour la fonction $f(V)$ non pas une valeur

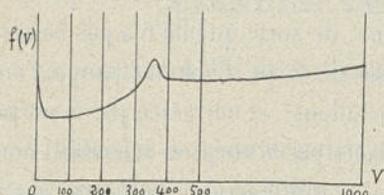


FIG. 22. — Courbe de la fonction $f(V)$.

fixe, comme cela aurait lieu si la loi du carré des vitesses était rigoureuse, mais une courbe de la forme ci-contre (fig. 22).

Si on met à part les très petites vitesses, on constate que jusqu'à 100 m. par seconde

la loi est sensiblement exacte. Elle est de même sensiblement exacte au-delà de 500 m., mais avec une valeur plus grande du coefficient K . Aux environs de 330 m. par seconde, vitesse de propagation des ondes sonores dans l'air, il y a une singularité de la courbe, un maximum et un brusque changement d'allure. Cela s'explique si on remarque que le mouvement d'un corps dans l'air doit provoquer la création d'ondes vibratoires qui se propagent dans toutes les directions. On conçoit facilement que, suivant que le corps se déplace plus vite, moins vite ou avec la même vitesse que ces ondes, la forme des filets d'air autour de lui doit différer.

Une erreur assez fréquente consiste à croire que la vitesse d'écoulement de l'air dans le vide doit être un point singulier de la courbe. Voici le raisonnement qu'on fait : à l'arrière du corps, il se produit une dépression qui exerce une résistance sur le mouvement. Cette dépression aspire l'air qui vient combler l'espace quitté par le corps. Or, la vitesse maxima que l'air peut atteindre en se précipitant dans le vide est donnée par la formule :

$$V = \sqrt{2gH}$$

H étant la pression atmosphérique exprimée en colonne d'air. On trouve :

$$V = 396 \text{ mètres par seconde.}$$

Donc, si le corps dépasse la vitesse de 396 m. par seconde, l'air ne peut plus le suivre et il y a le vide derrière lui. La dépression va en croissant jusqu'au vide absolu ; ensuite elle ne peut plus augmenter ; la loi change donc d'allure.

Ce raisonnement est inexact. Il y a bien une masse d'air qui suit le corps, mais c'est toujours la même, de sorte qu'elle n'a pas besoin d'acquérir à chaque instant la vitesse du corps. C'est une poupe d'air agitée par des remous et des tourbillons, et entraînée par le corps derrière lui ; les filets fluides déplacés par le corps se referment non

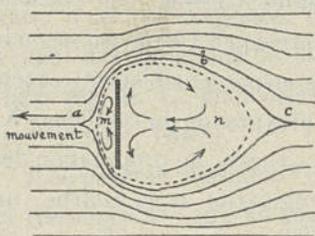


FIG. 23. — Poupe d'air entraînée derrière un corps en mouvement.

pas contre l'arrière du corps, mais en contournant cette poupe (fig 23).

La vitesse avec laquelle ils se referment n'est donc pas la vitesse du corps, mais dépend de l'inclinaison du plan tangent à la surface de la poupe. Si le vide se produit, ce sera quand la poupe d'air sera sollicitée en arrière par le frottement

des filets d'air avec une force assez grande pour combattre la pression atmosphérique. Il y a donc là une question de frottements, et une formule qui ne fait pas intervenir le frottement, ou la viscosité de l'air, ne peut pas représenter le phénomène. Si le frottement était nul, le déplacement du corps, à quelque vitesse que ce soit (vitesse uniforme, bien entendu), ne rencontrerait aucune résistance.

Quant à l'allure générale de la courbe $f(V)$ et à ses points singuliers, ils dépendent de la viscosité de l'air, de la rugosité de la surface du corps, et ils doivent varier suivant l'importance relative de ces deux causes dans le phénomène général. La loi pour un corps fuselé, qui ne donne pas de remous, ou pour une surface arquée, pourrait être différente de la loi applicable aux plans orthogonaux.

D'après les expériences de Renard, Kiabouchinsky, Eiffel et Rateau, qui sont les plus précises qu'on ait faites, la loi du carré des vitesses se vérifie bien et est suffisamment exacte pour la pratique aux vitesses utilisées en aviation. Le sens des écarts trouvés varie suivant les expérimentateurs; cela indique que ces écarts sont de l'ordre des erreurs d'expérience, et qu'il ne faut pas en tirer des conclusions trop précises.

ÉTENDUE DES SURFACES.

La proportionnalité de la résistance à la surface n'est pas rigoureuse.

L'influence de la surface doit être étudiée au double point de vue de la grandeur et de la forme.

Marey a étudié la pression de l'air sur un disque entraîné par un manège tournant (fig. 24); en face d'un point quelconque de la surface,

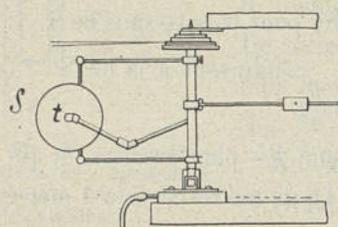


FIG. 24. — Expérience de Marey.

il plaçait l'extrémité d'un tube t qui communiquait par l'intérieur de l'axe du manège avec un manomètre différentiel très sensible (c'est ce qu'on appelle un tube de Pitot).

Marey constata que la pression a une valeur sensiblement constante en tous les points du disque à l'intérieur d'un certain cercle de rayon $r - e$, mais que, vers les bords, sur une largeur annulaire e , il y a une perte de pression.

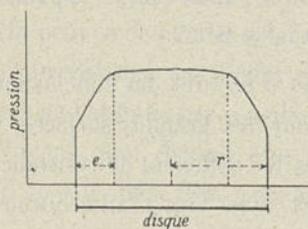


FIG. 25. — Diagramme des pressions sur un disque, d'après Marey.

La figure 25 ci-contre représente le diagramme des pressions aux différents points d'un diamètre quelconque du disque. Les ordonnées de la courbe sont proportionnelles aux pressions.

L'expérience montre que la largeur e est relativement plus impor-

tante pour les petites surfaces, de sorte que la pression moyenne, sur les petits disques, est moindre que sur les grands. Ce diagramme est confirmé par les expériences de M. Eiffel (1), en ce qui concerne la pression sur la face antérieure du plan ; quant à la dépression sur la face postérieure, elle est sensiblement uniforme, et ne diminue pas près des bords ; elle augmente même plutôt un peu.

Borda, dès 1763, avait reconnu que la résistance augmente plus vite que la surface. Il avait proposé de faire intervenir S dans la formule non pas à la première puissance, mais à la puissance 1,1 :

$$R = KS^{1,1}$$

Cayley, Hutton, Aubuisson, Hervé Mangon ont admis cette loi. Thibault a fait des réserves, estimant qu'on peut invoquer des erreurs d'expérience.

Diverses expériences de Langley, interprétées dans la même idée, conduisent aux exposants 1,112 et 1,054 pour la puissance de S .

Les expériences de Dines, en 1891, conduisent à la loi $S^{1,042}$; celles de Canovetti donnent 1,044 à 1,102.

Les expériences de M. Eiffel, qui sont les plus précises, et qui sont faites sur des surfaces variant de 1/16 de mètre carré à 1 mètre carré, conduisent à la loi $S^{1,044}$.

Il paraît résulter de la similitude de tous ces résultats que la pression varie réellement plus vite que la surface, et que, pour les surfaces variant entre 1/16 de mètre carré et 1 mètre carré, le phénomène est assez exactement représenté par la loi $S^{1,044}$.

Il faut se garder d'extrapoler cette loi et d'en tirer des conclusions catégoriques soit pour les petites, soit pour les grandes surfaces. Il ne paraît pas que pour les petites surfaces le coefficient de résistance continue toujours à diminuer. D'autre part, il est tout à fait arbitraire

(1) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, janvier 1910.

de donner à la loi la forme d'une exponentielle ; on aurait pu chercher à la représenter par un développement en série de la forme :

$$a + bS + cS^2 + \dots$$

ou par toute autre fonction de S . Enfin, en admettant la loi exponentielle, l'expérimentation sur des surfaces variant dans le rapport de 1 à 16 n'est pas suffisante pour établir une loi applicable à la fois à un cousin de 30 millimètres carrés et à un aéroplane de 30 mètres carrés, les surfaces variant ici dans le rapport de 1 à 1 million, ce qui conduirait, pour l'efficacité des surfaces, à une variation presque du simple au double.

Il n'est nullement invraisemblable que la singularité de la loi soit due à des erreurs d'expériences, et notamment à la suivante : les

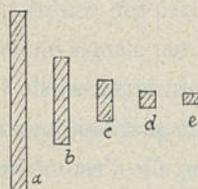


FIG. 26. — Augmentation des épaisseurs relatives dans les petites surfaces.

expérimentateurs n'ont pas, en général, pris soin de réduire l'épaisseur des surfaces dans le même rapport que les autres dimensions. De sorte que plus les surfaces étaient petites, plus leur épaisseur était relativement grande (fig. 26).

En continuant à réduire les surfaces, on arriverait à un cube d , et même à un parallélépipède allongé e . Or, l'expérience montre que pour de tels corps la résistance est beaucoup moindre que pour un plan mince de même section. On conçoit donc qu'elle doit être plus petite pour c que pour b , et plus petite pour b que pour a .

On peut se demander si la loi $S^{1,014}$, favorable aux grandes surfaces, ne contrebalance pas l'effet défavorable de la loi des cubes, ou au moins ne l'atténue pas sensiblement.

Voyons quel devrait être l'exposant de S dans la formule pour qu'il en soit ainsi. Soit x cet exposant ; la formule devient :

$$P = KS^x V^2 \tag{1}$$

Elle exprime que le poids P est supporté par la surface S avec une

vitesse de refoulement V . Cette vitesse V , comme nous l'avons vu, mesure le travail par seconde et par kilogramme de poids.

Prenons maintenant un corps augmenté géométriquement dans le rapport μ . Son poids sera $\mu^3 P$, et sa surface $\mu^2 S$.

S'il est soutenu en l'air avec la même dépense de travail par seconde et par kilogramme, V restera le même dans la formule, et on aura :

$$\mu^3 P = K (\mu^2 S)^x V^2$$

ou :

$$\mu^3 P = K \mu^{2x} S^x V^2 \quad (2)$$

Divisant membre à membre les équations (2) et (1) :

$$\mu^3 = \mu^{2x}$$

d'où : $3 = 2x$, d'où : $x = 1,5$.

On voit que l'effet favorable obtenu en remplaçant la puissance 4 par la puissance 4,044 est bien peu de chose, puisqu'il faudrait la puissance 4,5 pour contrebalancer la loi des cubes. Ce n'est même pas la dixième partie de la différence. La loi des cubes reste donc établie.

Considérons maintenant des surfaces de formes différentes. D'après les idées de Marey, on serait tenté de penser que si l'influence des bords se manifeste par l'existence d'une zone de pression décroissante, la perte de pression sera proportionnelle au périmètre ; à surface égale, la résistance à l'avancement devra donc augmenter quand le périmètre diminue, et être maximum pour le cercle, surface de périmètre minimum.

Or, c'est le contraire qui a lieu. En réalité d'autres facteurs interviennent. Il ne suffit pas d'examiner ce qui se passe sur la face antérieure, les dépressions et remous qui prennent naissance à l'arrière du corps sont plus importants encore, et la pression résultante dépend surtout de la façon dont les masses d'air déviées finissent par se rejoindre à l'arrière.

M. Le Dantec a étudié spécialement ce problème, en mesurant la vitesse de régime prise par une surface qu'on laisse tomber le long d'un fil vertical. Il constata qu'à égalité de surface la résistance d'un triangle est plus grande que celle d'un carré, et celle-ci que celle du cercle; c'est juste l'inverse de la conclusion des expériences de Marey.

Il paraît assez facile d'expliquer cette contradiction par la différence dans le mode d'écoulement de l'air.

Dans la surface ronde, la courbe des bords étant régulière, les remous et tourbillons formés sur les bords sont réguliers et uniformes; dans le triangle ou le carré, les remous venant de deux côtés voisins, surtout au voisinage d'un angle, se contrarient, s'entrechoquent, et ces chocs nuisent à la reprise rapide de l'équilibre des masses d'air derrière le corps. Ce serait donc un phénomène secondaire dû à la présence des parties saillantes angulaires, qui masquerait le phénomène signalé par Marey.

Il est imprudent d'en déduire, comme l'a fait Le Dantec, que l'augmentation de résistance est proportionnelle à l'augmentation de périmètre; elle paraît plutôt due à la présence d'angles vifs.

Dines a également trouvé que le cercle résiste moins que le carré, et celui-ci moins qu'un rectangle.

Eiffel est arrivé à des résultats analogues, comme le montre le tableau suivant qui indique les valeurs du coefficient K trouvées par lui pour diverses surfaces :

SURFACE en mètre carré.	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
Cercle.....	0,068	0,071	0,074	0,077	»
Carré.....	0,070	0,072	0,075	0,077	0,079
Rectangle (allongement 2).....	»	0,073	0,075	»	»
Rectangle (allongement 4).....	0,073	0,074	»	»	»

Un cas intéressant est celui des surfaces très allongées, rectangulaires, par exemple.

L'allongement augmente la résistance. Voici des chiffres dus à Dines :

Carré 4×4	0,074
Rectangle 16×1	0,083

Que se passera-t-il pour des surfaces en treillis ou perforées ? Si les ouvertures constituent une partie relativement petite de la surface, elles donnent naissance à des remous qui augmentent la résistance.

M. Eiffel a trouvé, pour un treillis métallique, 0,088 au lieu de 0,075 pour la même plaque non découpée.

M. Dines a trouvé :

Plaque plane : 0,073 ;

Plaque perforée de 12 trous de 5 m/m , 6 par pouce carré : 0,098 ;

Plaque perforée de 77 trous de 2 m/m par pouce carré : 0,148.

C'est d'ailleurs un fait connu des marins depuis bien longtemps, qu'on améliore les voiles des navires en y ménageant un ou plusieurs trous.

LE COEFFICIENT K.

Dans la formule :

$$R = kdSV^2$$

On suppose généralement que l'air est ramené à 0^0 et 760 m/m de pression ; on peut alors faire entrer la densité d dans le coefficient constant et poser :

$$kd = K$$

d'où la formulé :

$$R = KSV^2$$

K est ce qu'on appelle le *coefficient de résistance orthogonale de l'air*.

Sa signification s'obtient en faisant, dans la formule, $S = 1$ et $V = 1$. C'est la résistance subie par un plan mince de 1 mètre carré se déplaçant orthogonalement à la vitesse de 1 mètre par seconde.

Comme la résistance varie suivant la forme du plan, il faut préciser davantage. On convient de considérer, pour la définition de K , un *plan mince carré*.

Si on veut établir une formule de la résistance en fonction de la surface et de la vitesse, on devra écrire :

$$R = K f(S) \varphi(V)$$

$f(S)$ et $\varphi(V)$ étant des fonctions d'allure compliquée qui passent par la valeur 1 pour $S = 1$ et pour $V = 1$. On peut même penser, avec Goupil, que ces deux fonctions ne sont pas indépendantes, et qu'il faut écrire :

$$R = K f(S, V).$$

Dans ces conditions K est, par définition, une constante.

Si on se contente de la formule pratique :

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

comme les termes S et V^2 ne représentent pas rigoureusement la loi réelle, il s'ensuit que le coefficient K ne restera pas tout à fait constant. Les expérimentateurs qui ont déterminé le coefficient K en employant des surfaces ne mesurant pas 1 m² et des vitesses autres que 1^m par seconde, et en appliquant ensuite la loi $K S V^2$ pour calculer K , ont donc fait une erreur de méthode. Ils ont fait l'hypothèse implicite que cette loi est exacte, ce qui n'est pas. C'est certainement là une erreur systématique qui, jointe aux autres difficultés de l'expérimentation, a contribué à l'extraordinaire incertitude qui a longtemps régné sur la valeur du coefficient K .

Un seul expérimentateur s'est placé dans les conditions réelles ; c'est Le Dantec, qui faisait tomber un plan de 1 m² en le chargeant convenablement jusqu'à ce qu'il prenne la vitesse de régime de 1^m par seconde. Il a trouvé $K = 0,081$.

Eiffel a expérimenté sur des plans de 1 m^2 mais à des vitesses diverses. La moyenne de ses mesures donne, pour le plan carré de 1 m^2 , $K = 0,079$.

Nous avons vu que, pour des plans de dimensions ou de forme différentes, la valeur de la résistance n'est pas la même.

Voici un tableau des valeurs trouvées par divers expérimentateurs ; on remarquera l'énormité des écarts.

Coefficient K.

Expér. de Zossen-Mariensfeld	0,0579
Recknagel	0,07
Cailletet et Colardeau	0,071
Banet-Rivet	0,071
Edge	0,071
Dines	0,0732
Hagen	0,075
Eiffel	0,079
Le Dantec	0,081
Hutton	0,081
Lössl	0,083 à 0,093
Canovetti	0,084 (0,060 à 0,092)
Piobert et Morin	0,084
Langley	0,08475
Colonel Renard	0,085 (0,07 à 0,09)
Poncelet	0,088
Dubuat	0,089
Borda	0,096
Reichel	0,096
Joessel	0,102
Didion	0,110
Thibault	0,110
Athanase Dupré	0,1272
Ricourt	0,1296
Desdout	0,13
Goupil	0,13
Marey	0,13
Smeaton	0,13

Lilienthal	0,13 et 0,4
Fustegueras	0,132
Chanute	0,168 et 0,7 (aéroplanes)
Ferber	0,6 et 0,7 (aéroplanes)

Les deux valeurs les plus sûres sont celles de Eiffel et Le Dantec, 0,079 et 0,084. On peut donc admettre définitivement pour le coefficient K la valeur 0,08 comme très approchée.

PEUT-ON CALCULER THÉORIQUEMENT LA VALEUR DU COEFFICIENT K ?

Plusieurs auteurs ont essayé de déterminer théoriquement la valeur de K . Newton a proposé de calculer ce coefficient par la méthode suivante :

Soit (fig 27) un plan de surface S qui avance orthogonalement à la vitesse V . Soit R la pression. Le travail effectué par seconde est RV .

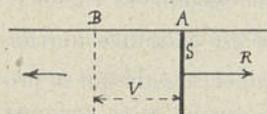


FIG. 27. — Cylindre d'air balayé par un plan en mouvement.

En une seconde, le plan a balayé un cylindre d'air AB de base S et de hauteur V , et l'a chassé devant lui en lui communiquant sa propre vitesse V .

Le volume de ce cylindre est SV , et son poids dSV , d étant le poids spécifique de l'air.

La force vive communiquée au cylindre d'air est

$$\frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} \frac{dSV}{g} V^2$$

Égalant la force vive avec le travail effectué, on a, en négligeant les frottements :

$$RV = \frac{1}{2} \frac{dSV}{g} V^2$$

$$R = \frac{1}{2} \frac{dSV^2}{g} = \frac{d}{2g} SV^2$$

Ce qui semble démontrer que le coefficient K est égal à :

$$K = \frac{d}{2g} = \frac{1,29}{2 \times 9,81} = 0,066$$

Poncelet a également proposé cette formule.

On sait que l'expérience donne un chiffre différent.

M. Vallier admet que la pression sur une surface plane est représentée par le poids d'une colonne de fluide ayant pour base la surface, et pour hauteur le double de la hauteur de chute nécessaire pour obtenir la vitesse, ceci étant la conclusion d'un raisonnement dû à Rankine ; il trouve ainsi : $K = \frac{d}{g} = 0,132$

M. Macaluso croit démontrer que K ne peut pas être plus grand que $\frac{2d}{g}$ ou 0,264. Pour cela, il imagine que la surface S glisse comme un piston dans l'intérieur d'un cylindre. La surface S transmet à la masse M de fluide heurté en une seconde sa vitesse V . En même temps, une masse égale de fluide est entraînée derrière la surface, avec la même vitesse, pour combler le vide qui se produirait sans cela. Soit MV la quantité de mouvement de la masse M , R la résistance ; on aura, d'après le théorème de la quantité de mouvement projetée, appliqué pendant un intervalle d'une seconde (et en négligeant toujours les frottements) :

$$R = 2 M V$$

Mais comme $M = \frac{dSV}{g}$:

$$R = \frac{2dSV}{g} V = \frac{2d}{g} SV^2$$

d'où on conclut : $K = \frac{2d}{g}$.

Nous citons ce dernier raisonnement, parce qu'il nous fournit l'occasion de mettre en garde contre l'emploi du théorème de la

quantité de mouvement en aérodynamique, emploi qu'on fait souvent à tort, dans des cas où il n'est pas applicable.

Déjà on voit qu'il y a contradiction entre ce résultat et celui que donnerait l'application de l'équation des forces vives. La quantité d'air qu'on suppose déplacée étant double de celle considérée par Newton, la considération de la force vive donnerait une valeur double pour le coefficient K, soit $\frac{d}{g}$ ou 0,432. Or le théorème de la quantité de mouvement, avec les mêmes hypothèses, donne encore deux fois plus. Il y a contradiction, et nécessairement l'un au moins des deux raisonnements est faux.

L'application de l'équation des forces vives est correcte, les hypothèses étant admises. Mais le théorème de la quantité de mouvement projetée *n'est pas applicable*. Sa démonstration suppose, en effet, que la force est directement appliquée à toute la masse considérée pendant tout l'intervalle du temps considéré. Or ici, la force n'est appliquée que successivement aux diverses tranches du cylindre d'air, au fur et à mesure que le plan les rencontre ; en outre, on suppose que la force n'est appliquée à chaque molécule que pendant un temps infiniment court, chaque molécule prenant instantanément la vitesse du plan au moment où elle est heurtée, et n'augmentant plus sa vitesse ensuite.

Ce mode est complètement différent de celui que suppose le théorème de la quantité de mouvement, et ce dernier ne pourrait être légitimement appliqué que si on le démontrait au préalable en partant des hypothèses faites ; or, on trouverait, en faisant la démonstration, une autre loi, qui s'écrirait :

$$P = \frac{1}{2} mV.$$

C'est sous cette forme que la quantité de mouvement pourrait être utilisée dans les problèmes analogues à celui-ci.

Nous voilà donc en présence de deux formules théoriques, $\frac{d}{2g}$ et $\frac{d}{g}$ (la troisième formule $\frac{2d}{g}$ étant éliminée).

Laquelle choisir? Aucune.

Toutes deux négligent la véritable cause de la résistance de l'air, à savoir les frottements, qui sont en définitive le terme et l'unique aboutissement du travail.

L'idée du cylindre d'air déplacé est à côté de la réalité, et il ne se passe rien qui justifie cette hypothèse. L'air n'est pas refoulé; il s'écarte latéralement au passage du plan, puis se referme derrière lui.

Si on examine les mouvements que prennent les filets d'air au voisinage d'un plan qui s'y déplace orthogonalement, on constate qu'ils sont représentés par la figure 23 (page 498). L'air est troublé jusqu'à une certaine distance du mobile, dans un cylindre C de section plus grande que le mobile.

Les molécules fluides décrivent des trajectoires telles que abc , contournant le plan et reprenant ensuite leur position. Il y a compression en avant du plan, et dépression en arrière. Entre les filets qui s'écartent à l'avant et ceux qui se rapprochent à l'arrière sont emprisonnées deux masses d'air qui se déplacent avec le plan.

A l'avant est une masse m appelée la *proue d'air*, qui est comprimée et transmet sa compression au plan. Elle est agitée de tourbillons qui, au voisinage de la surface du mobile, sont centripètes.

A l'arrière est une masse n beaucoup plus grande appelée la *poupe d'air*, qui est en dépression. Le frottement des filets tels que bc y engendre des tourbillons qui, au voisinage de la surface du mobile, sont centrifuges, et d'ailleurs très instables.

Nous avons eu l'occasion de constater *de visu* d'une façon frappante, l'existence de la poupe d'air. En 1908, par un temps de brouillard très opaque, étant en gare de Valenciennes, nous avons vu un train qui entrait dans le hall de la gare, émergeant, en quelque sorte, du brouillard qui régnait au dehors. Derrière le dernier wagon, on remarquait une tranche de brouillard opaque, très nette, comme solidifiée, entraînée à la suite du train et paraissant attachée derrière lui et en faire partie. Elle l'a suivi pendant une quarantaine de mètres pour se dissiper au moment où le train s'arrêtait.

Un fait très curieux, confirmé par l'expérience, est que dans la partie axiale la vitesse des tourbillons s'ajoute à celle du mobile, de sorte que dans l'air entraîné il y a une partie qui avance plus vite que le mobile.

L'hypothèse qui sert de base au raisonnement de Newton ne correspond donc nullement à la réalité, et si la valeur théorique qu'il trouve se rapproche de la valeur expérimentale, c'est un effet du hasard.

On peut remarquer, d'ailleurs, que la pression sur des corps ayant même surface, ou plus exactement même maître couple, est très variable suivant la forme du corps.

Pour un plan mince, elle n'est pas la même sur un carré, sur un cercle, ou sur un rectangle. Si l'on met deux plans minces à distance convenable l'un derrière l'autre, la résistance totale est moindre que celle d'un seul plan (Eiffel).

Si au lieu d'un plan on prend une surface concave, ou convexe, ou fuselée, la résistance augmente ou diminue dans une proportion très grande, comme nous le verrons ci-après.

Pourtant le raisonnement théorique serait toujours le même, car ce raisonnement ne se sert en rien de ce que le mobile est un plan, de ce qu'il est mince, de ce qu'il a telle ou telle forme, et il ne se sert pas davantage des propriétés des gaz. On ne voit pas ce qui l'empêcherait d'être applicable à un corps solide, ou pâteux, ou pulvérulent.

Un exemple dans lequel les efforts seront plus grands, et par suite les inexactitudes plus visibles, va nous mettre sur la voie. Cherchons quel est le coefficient de résistance du sable. Prenons un plan, appliquons-lui une force F , et cherchons à quelle vitesse il va avancer dans une masse de sable. Ce sera, si on veut, la fondation d'une maison, et nous allons chercher de combien cette fondation va descendre par seconde. Vous me direz que le sable n'est pas un gaz. Mais où donc le raisonnement invoque-t-il les propriétés des gaz? On n'a admis qu'une chose, c'est que le frottement est nul, ce qui est faux, aussi bien pour l'air que pour le sable. Si le sable pèse 1.500 k. par

mètre cube, on trouvera : $K = \frac{d}{2g} = 76$

Ainsi, si une fondation de maison supporte seulement 76 kilogs par mètre carré, elle descendra de 1 m. par seconde. Or, on sait qu'on fait travailler couramment les fondations à 20.000 et 40.000 kilogs par m², et qu'elles ne descendent pas du tout, même en un siècle.

Autre exemple : la résistance dans l'huile est bien plus grande que dans l'eau, et cependant l'huile est moins dense.

Ici on voit tout de suite le nœud de la question. L'huile est visqueuse ! Oui, l'eau aussi, les gaz aussi, mais dans une proportion différente. Avec un corps très visqueux tel que le goudron, la cire, on verrait la chose encore mieux.

La viscosité du fluide, les frottements moléculaires, tout est là. Tout le travail se perd en frottements. Si le fluide était parfait, si l'ensemble formé par la proue et la poupe d'air pouvait se déplacer sans frottement dans la masse, il suffirait d'imaginer cet ensemble très allongé et très fuselé, et il avancerait en déplaçant les masses d'air rencontrées avec une lenteur aussi grande qu'on voudrait, de sorte que la résistance due aux forces vives serait aussi petite qu'on voudrait. Le corps une fois lancé conserverait indéfiniment sa vitesse.

M. Henri Poincaré, dans son livre « Science et Méthode » résume excellemment la question dans les termes suivants :

« On sait qu'un corps plongé dans un fluide éprouve, quand il est en mouvement, une résistance considérable, mais c'est parce que nos fluides sont visqueux ; dans un fluide idéal, parfaitement dépourvu de viscosité, le corps agiterait derrière lui une poupe liquide, une sorte de sillage ; au départ, il faudrait un grand effort pour le mettre en mouvement, puisqu'il faudrait ébranler non seulement le corps lui-même, mais le liquide de son sillage. Mais, une fois le mouvement acquis, il se perpétuerait sans résistance, puisque le corps, en s'avancant, transporterait simplement avec lui la perturbation du liquide, *sans que la force vive totale de ce liquide augmentât* ».

Ainsi, pour calculer théoriquement le coefficient K , il faudrait étudier le mouvement des filets fluides heurtés par un plan mince carré, en établir les équations différentielles en tenant compte des frottements, et intégrer. C'est un problème qu'on ne sait pas résoudre

en l'état actuel de l'analyse mathématique. Il est peu probable qu'on y arrive jamais.

Nous concluons donc qu'on ne peut pas calculer théoriquement le coefficient K.

RÉSISTANCE DES CARÈNES.

Si, au lieu d'un plan mince, on prend des corps de divers profils, on trouve des résistances très différentes.

Les résistances varient dans le rapport de plus de 4 à 30 pour des corps ayant même maître couple, c'est-à-dire même projection sur un plan perpendiculaire au mouvement, et paraissant, par suite, être rencontrés par des cylindres d'air égaux.

Une surface concave donne une résistance plus grande qu'une surface plane. Poncelet supposait que la résistance était proportionnelle à l'étendue de la surface développée, mais Thibault a montré que l'augmentation est beaucoup plus rapide, et qu'elle atteint 20 à 23 % pour un arc de 20°, dont le développement n'est que de 1 % supérieur à celui d'un plan.

Le colonel Renard a indiqué les valeurs suivantes (1) ; il appelait *coefficient de réduction* d'une carène le rapport entre sa résistance et la résistance d'un plan orthogonal de même maître couple :

SURFACE	COEFFICIENT de RÉSISTANCE	COEFFICIENT de RÉDUCTION
Plan.....	0,085	1
Sphère.....	0,0135	0,1585
Demi-sphère concave.....	0,109	1,283
Demi-sphère convexe.....	0,0333	0,392
Cylindre transversal.....	0,0507	0,596
Corps fusiforme, allongement 2 (courbure parabolique symétrique).....	0,00623	0,0733 (1/14)
Corps fusiforme, allongement 3.....	0,00273	0,0321 (1/31)
» » allongement 2 (marche transversale).....	0,0368	0,433

(1) *Comptes rendus* de l'Ac. des Sciences, 24 mai 1904.

M. Eiffel (2) a trouvé les résultats suivants :

	Coefficient de résistance.	Coefficient de réduction.
Cylindre vertical à base circul., hauteur 1 rayon	0,071	1
d° d° 2 rayons	0,069	0,97
d° d° 3 rayons	0,051	0,71
Cône circulaire, hauteur égale au diam. de la base	0,015	0,21
Demi-sphère concave de 1/16 de m ² de surf. projeté	0,072	1,07
d° d° de 0 ^m ,50 de diamètre	0,084	1,14

M. Eiffel a également trouvé que deux plaques planes placées l'une derrière l'autre à distance convenable, ont une résistance totale moindre que celle d'une plaque seule.

L'expérience a montré que le minimum de résistance s'obtient avec les profils dits « fuselés » très allongés, terminés à l'arrière par une pointe effilée. La forme de l'avant a relativement peu d'importance.

Il n'y a pas avantage à terminer l'avant en pointe ; on peut le terminer sans grande augmentation de résistance par un demi-cercle,



FIG. 28. — Carène à forme fuselée.

et même par une partie plane. Par contre, la forme effilée de l'arrière ne saurait être trop soignée ; elle doit être à courbes très douces et à pointe très aiguë, pour que les deux masses d'air qui se rejoignent ne se heurtent pas et ne créent pas

de remous (fig. 28).

L'effet du fuselage est, en effet, de supprimer les remous, et d'emprisonner, en quelque sorte, la poupe d'air et la proue d'air dans le solide ; les filets d'air qui contournent le solide sont ainsi guidés suivant des courbes très douces, mettant en jeu des forces vives très faibles ; l'air revient au repos aussitôt que le solide est passé ; tout se réduit à une question de frottements entre l'air et le solide. Lorsque le solide est lisse et poli, le frottement de l'air sur lui

(2) Recherches expérimentales sur la résistance de l'air, 1907.

est beaucoup moindre que le frottement de l'air sur l'air, qui se produit dans le cas de la proue et de la poupe d'air. Si même le corps était infiniment lisse, il y aurait avantage à l'allonger indéfiniment.

L'application du fuselage à un corps isolé de tous côtés conduit à la forme dite « pisciforme » ou « en cigare », que la nature a donnée aux poissons et aux oiseaux. On remarque nettement, chez les poissons les plus rapides (requins, brochets), que le maître-couple est rapproché de l'avant.

Le même principe appliqué à une ligne ou à une surface conduit au profil cylindrique que nous retrouvons dans l'aile des oiseaux.

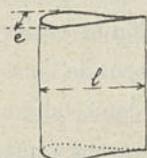


FIG. 29.
Cylindre fuselé.

Voici quelques résultats d'expériences :

Pour un cylindre à profil fuselé (fig. 29) avec $l = 4,5 e$, la résistance est égale à celle d'un plan divisée par 12,5 (Maxim). Pour $l = 6e$, le coefficient de réduction est 1 : 30 (colonel Renard).

M. Louis Breguet a trouvé les chiffres suivants :

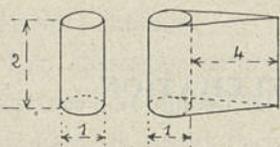


FIG. 30. — Cylindre court.

Cylindre court à base circulaire (fig. 30), hauteur double du diamètre : $K = 0,032$.

Le même cylindre muni d'une poupe en pointe : $K = 0,011$.

Cylindre long à base circulaire (fig. 31), hauteur égale à 50 fois le diamètre : $K = 0,058$.

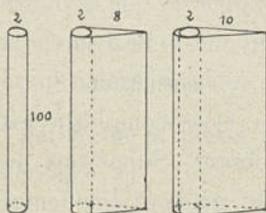


FIG. 31. — Cylindre long.

Le même cylindre avec poupe (allongement 4) $K = 0,009$.

Le même cylindre avec poupe effilée et proue arrondie (allongement 5) : $K = 0,007$.

La prépondérance de l'influence de la poupe sur la proue montre l'erreur de principe que constituent les coupe-vent qu'on met parfois à l'avant d'un mobile, d'une locomotive, par exemple. Ce sont les remous de

l'arrière qu'il faut éviter ; un coupe-vent à l'arrière serait beaucoup plus efficace.

D'après Maxim, un profil pisciforme, présentant une extrémité arrondie et l'autre effilée, présente notablement moins de résistance (0,23) quand la partie arrondie est en avant que quand la pointe est en avant et la partie arrondie en arrière (0,59).

Les remarquables « spectres aérodynamiques », publiés par M. Riabouchinsky (1), ont jeté sur les phénomènes d'écoulement de l'air autour d'une carène une lumière nouvelle. Ces spectres sont obtenus en plaçant dans le courant d'air une feuille de papier recouverte de poudre de lycopode ; la poudre dessine des lignes et des ondulations qui donnent une idée très nette du mouvement de l'air. On remarque une proue d'air qui affecte la forme d'une demi-sphère presque régulière quel que soit le corps ; suivant que le corps a une forme plus ou moins favorable à l'écoulement de l'air, le diamètre de cette demi-sphère diffère ; ainsi pour un corps en forme de demi-sphère concave, le diamètre de la proue d'air est deux fois et demie supérieur à celui du corps.

INFLUENCE DE L'ACCÉLÉRATION

Dans l'étude de la fonction de la vitesse, nous avons toujours supposé la vitesse régulière et constante et un régime permanent établi.

Le mouvement restant toujours rectiligne, supposons que la vitesse soit variable ; qu'arrive-t-il ? La résistance continue-t-elle à suivre la loi du carré des vitesses ? Ou bien dépend-elle de l'accélération ?

C'est là un problème mal résolu jusqu'ici, et sa complexité est telle qu'il restera probablement longtemps obscur. Supposons un corps au repos dans l'air ; supposons-le ensuite, au bout d'un temps très court, brusquement animé d'une vitesse V ; les filets d'air

(1) *Bulletin de l'Institut aérodynamique de Koutchino*, fasc. III, 1910.

commencent leur mouvement de contournement autour de lui, et ce mouvement n'atteint son régime régulier qu'au bout d'un certain temps ; d'autre part, la poupe et la proue d'air, qui accompagnent le corps, passent brusquement de l'état de repos à l'état de mouvement, et une certaine force vive est mise en jeu en un temps très court ; comme l'a fait remarquer M. Poincaré, il faut une force supplémentaire au départ, pour établir le régime, et la résistance sera pendant un moment beaucoup plus grande que celle qu'indique la loi du carré des vitesses. Par contre, une fois le régime établi, si on arrête le corps, la force vive de l'ensemble tend à continuer le mouvement ; notamment la poupe d'air, continuant sa lancée, vient pousser le corps en avant.

Des phénomènes du même genre se passent si, au lieu de partir du repos, le corps passe d'une vitesse à une autre, ou s'il change constamment de vitesse suivant une loi déterminée.

Il apparaît nettement que, quand le corps accélère sa vitesse, la résistance est plus grande que celle qui correspond au carré de la vitesse qu'il a un moment considéré, et que, lorsqu'il ralentit, la résistance diminue.

Une idée assez naturelle est d'admettre que la formule de la résistance doit contenir un terme dépendant de l'accélération, terme qui disparaît quand l'accélération est nulle. C'est ce qu'a essayé d'établir Didion, qui a proposé la formule suivante :

$$R = S \left(0,036 + 0,084 V^2 + 0,164 \frac{dV}{dt} \right)$$

formule dans laquelle $\frac{dV}{dt}$ est l'accélération, qui n'est autre que la dérivée de la vitesse par rapport au temps, le mouvement étant rectiligne.

L'existence d'un terme constant dans cette formule suffit à la faire rejeter. D'autre part, comme la résistance dépend de l'établissement d'un régime qui nécessite un certain temps, il s'ensuit que la résistance dépend, non seulement de la vitesse et de l'accélération au moment

considéré, mais aussi des mouvements effectués pendant toute une période de temps antérieure, d'une durée d'ailleurs difficile à définir (1); et il ne suffirait même pas d'introduire dans la formule les accélérations du second ordre, du troisième ordre, etc., qui sont les dérivées seconde, troisième, etc., de la vitesse; car les mouvements antérieurs peuvent ne pas suivre une loi continue. En particulier, le corps peut partir du repos ou y revenir. Donnons-en un exemple facile à concevoir. Soit un corps lancé; arrêtons-le brusquement. La poupe et la proue d'air, ainsi que toutes les autres masses d'air lancées à une certaine vitesse, tendent à continuer leur mouvement, et poussent en avant le corps qui vient de s'arrêter, comme un wagon vient heurter la locomotive qui le traînait. Le corps éprouvera donc une poussée d'arrière en avant, force qui ne sera pas nulle, bien que la vitesse et toutes ses dérivées soient nulles; cette poussée persistera un certain temps et disparaîtra progressivement au fur et à mesure que le calme se rétablira. Dans ce cas, la force sera fonction non pas de la vitesse ni de ses dérivées, mais du temps.

Cet exemple fait voir combien une loi générale de la résistance de l'air serait difficile à établir.

Diverses expériences ont été faites en vue de déterminer cette loi.

Lilienthal a indiqué, en 1889 (2), que la résistance éprouvée par des ailes battantes peut être 20 fois plus considérable que la résistance éprouvée en mouvement uniforme. Ce fait, très important au point de vue du vol des oiseaux, a été constaté également dans une mesure moindre, par d'autres observateurs.

Goupil a décrit en 1904 (3) une expérience sur un sustentateur à ailes, de laquelle il conclut que la pression moyenne dans un mouvement alternatif en arc de cercle est plus grande que dans le mouvement uniforme et rectiligne.

(1) En réalité, un régime n'est parfaitement établi qu'au bout d'un temps infini.

(2) LILIENTHAL, *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*.

(3) *Bull. technol. des Anciens Elèves Arts-et-Métiers*.

Riabouchinsky (4) décrit une expérience qu'il a faite sur un plan B se mouvant sur une tige, par un mouvement commandé par une bielle AB, le point A décrivant une circonférence uniforme.

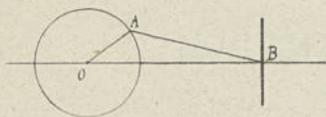


FIG. 32. — Expérience pour mesurer la résistance de l'air dans un mouvement alternatif.

Le plan B était pliant de façon à n'offrir de résistance que dans un sens. En calculant la loi du mouvement du plan B, en lui appliquant la loi du carré de la vitesse et en intégrant, on obtenait un certain travail théorique. D'autre part, on pouvait mesurer le travail réellement dépensé sur l'arbre O ; de la comparaison de ces deux travaux, on déduisait le coefficient moyen de résistance de l'air applicable au mode de mouvement considéré ; on a trouvé que ce coefficient était 1,3 fois plus grand qu'en mouvement uniforme. Les expériences de ce genre sont très peu précises, et il convient d'attendre de nouveaux résultats avant de tirer des conclusions définitives.

Elles suffisent cependant à établir que la loi du carré des vitesses n'est applicable qu'en cas de vitesse sensiblement constante et qu'elle ne peut pas servir à étudier les problèmes où la vitesse est rapidement variable. Notamment, on n'a pas le droit de l'appliquer à l'étude du mouvement d'un corps pesant dans l'air en tenant compte de la résistance de l'air ; elle ne peut servir qu'à chercher quel est le régime qui tendra à s'établir.

A Suivre.

(4) *Bull. de l'Inst. aérodyn. de Koutchino*, fascicule II, 1909.

DEUXIÈME PARTIE

DOCUMENTS DIVERS

LISTE DES SOCIÉTAIRES

PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

Au 1^{er} Octobre 1910.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
* 7	F. T.	1	Agache (Édouard), manufacturier, rue de Tenremonde, 18, Lille.
* 73	C. B. U.	125	Agache (Edmond), 3, rue Delezenne, Lille.
1109	C. B. U.	221	Agache (Donat), industriel. 44, boulevard de la Liberté, Lille.
* 144	G. C.	350	Agniel (Georges), ingénieur de la Compagnie des Mines de Vicoigne et Nœux, à Verquin (par Béthune) (P.-d.-C).
555	G. C.	162	Alexis-Godillot (Georges), ingénieur des Arts et Manufactures, 2, rue Blanche, Paris.
1135	G. C.	427	Anglès d'Auriac (Pierre), ingénieur des Mines, sous-directeur de l'Institut Industriel du Nord de la France, 2, rue de Bruxelles, Lille.
649	G. C.	196	Antoine (Victor), ingénieur des Arts et Manufactures, fabricant de produits à polir, 22, rue Marais, Lille.
1087	G. C.	407	Antoine (Carlos), ingénieur des Arts et Manufactures, 89, rue de Jemmapes, Lille.
904	G. C.	305	Arbel (Pierre), administrateur-délégué des Forges de Douai.
983	F. T.	264	Arnould (Colonel), ancien directeur de l'École des Hautes Etudes Industrielles, 266, r. Nationale, Lille.

Le signe * indique les membres fondateurs

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
625	G. C.	188	Arquembourg , ingénieur des Arts et Manufactures, ingénieur délégué de l'Association des Industriels du Nord contre les Accidents, 33, boulevard Bigo-Danel, Lille.
560	G. C.	167	Asselin , ancien élève de l'École Polytechnique, ingénieur principal du Matériel roulant à la Compagnie du Chemin de fer du Nord, La Chapelle-Paris.
1080	G. C.	400	Baillet (Ernest) , ingénieur, 57, rue Roland, Lille.
436	A. C.	172	Barrois-Brame (Gustave) , fabricant de sucre, Marquillies.
573	F. T.	173	Barrois (Henri) , filateur de coton, 18, rue de Bouvines, Fives-Lille.
655	A. C.	167	Barrois (Théodore) fils, professeur à la Faculté de Médecine, 51, rue Nicolas-Leblanc, Lille.
1006	F. T.	265	Barrois (Maurice) fils, filateur de coton, 57, rue de Lannoy, à Fives.
593	G. C.	170	Barthélemy, Bousigues et C^{ie} , entrepreneurs, 16, rue de Valmy, Lille.
577	C. B. U.	113	Basquin , agent d'assurances, rue Masséna, 73, Lille.
300	C. B. U.	18	Bataille (Georges) , co-propiété ^r e de la Belle Jardinière, 177, boulevard de la Liberté, Lille.
559	F. T.	167	Batteur (Étienne) , directeur d'assurances, 2, rue Chevreul, Lille.
697	G. C.	209	Baudon (René) , fondeur-constructeur, à Ronchin-lez-Lille.
1147	F. T.	290	Baudot (Paul) , ingénieur-chimiste, 18, place Thiers, Tourcoing.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
*138	G. C.	336	Beriot (G.), fabricant de céruse, 19, rue de Bouvines, Fives-Lille.
507	A. C.	122	Bernard (Maurice), raffineur, 11, rue de Courtrai, Lille.
637	A. C.	161	Bernard (Joseph), distillateur, 20, r. de Courtrai, Lille.
1187	A. C.	247	Bernard (neveux), fabricants et raffineurs de sucre, à Santes (Nord).
490	C. B. U.	151	Bernhard (Charles), fondé de pouvoirs de la Société Anonyme de Pérenchies, 12, rue du Vieux-Faubourg, Lille.
553	G. C.	311	Berte (Charles), ingénieur des Arts et Manufactures, directeur des Usines de Biache (Société anonyme des Fonderies et Laminoirs de Biache-St-Vaast, ancienne Société Eschgen, Ghesquière et C ^{ie}), à Vitry (Pas-de-Calais).
632	F. T.	181	Berthomier , représentant de la Société Alsacienne des Constructions Mécaniques, 17, rue Faidherbe, Lille.
57	F. T.	86	Bertrand (Alfred), ingénieur des Arts et Manufactures, administrateur délégué de la Société anonyme Blanchisserie et Teinturerie de Cambrai; Proville, près Cambrai.
*122	C. B. U.	4	Bigo (Émile), imprimeur, 85, rue Royale, Lille.
166	G. C.	61	Bigo (Louis), agent des Mines de Lens, 95, boulevard Vauban, Lille.
967	G. C.	334	Bigo (Ernest), manufact ^r , 18, rue de Lille, à Lambersart.
*129	C. B. U.	152	Bigo (Omer), industriel, 95, boulevard de la Liberté, Lille.
1165	G. C.	451	Biron , constructeur de Réfrigérants Capillaires « Lawrence », 90, rue du Chevalier-Français, Lille.
*140	G. C.	356	Blain , ingénieur des Arts et Manufactures, administrateur des fonderies de Lesquin, 110, boulevard de la Liberté, Lille.
802	G. C.	250	Blanzy-Poure et C^{ie} , plumes métalliques, Boulogne-sur-Mer.

Nos d'inscription à la Société.	Comités.	Nos d'inscription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
968	A. C.	222	Blattner , ingénieur, directeur des usines Kuhlmann de Loos.
990	G. C.	344	Blondel , constructeur, 112, rue de Lille, La Madeleine
973	C. B. U.	227	Bocquet (Auguste), ingénieur des Arts et Manufactures, Association des Industriels du Nord, 9, rue des Ponts de Comines, Lille.
* 52	G. C.	3	Boire , ingénieur civil, 32, rue des Mathurins, Paris.
600	G. C.	176	Bollaert (Félix), administrateur de la Société des Mines de Lens, 131, boulevard de la Liberté, Lille.
479	F. T.	149	Bommart (Raymond), filateur de lin, 55, boulevard Vauban, Lille.
677	G. C.	204	Bonet (Paul), ingénieur en chef de l'Association des Propriétaires d'Appareils à Vapeur du Nord de la France, 248, rue Solférino, Lille.
1203	F. T.	299	Boniface (André), fabricant de toiles, 191, rue de Paris, Lille.
388	C. B. U.	71	Bonte (Auguste), agent des Mines de Béthune, 5, rue des Trois-Mollettes, Lille.
746	G. C.	224	Bonzel (Charles), fabricant de tuiles, Haubourdin.
925	G. C.	449	Borrot (Prosper), ingénieur, 62, boulevard Victor-Hugo, Lille.
1007	G. C.	371	Boucquey-Dupont , rue de Lille, La Madeleine.
1198	G. C.	473	Bouderlique , ingénieur, Directeur des Ateliers Génin à Ham (Somme).
1033	G. C.	363	Boulanger (Henri), industriel, Faubourg de Douai Lille.
1055	A. C.	232	Boulez , (V.), ingénieur-chimiste, 90, rue Caumartin Lille.
970	A. C.	223	Bouriez , chimiste-expert, 107, r. Jacquemars-Giélée, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
* 69	F. T.	52	Boutry (Édouard) , filateur de coton, 40, rue du Long-Pot, Fives-Lille.
1060	F. T.	276	E. & G. Brabant & Vandier , filateurs, Loos.
1071	G. C.	399	Bressac (Albert) , ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la succursale de Lille, maison Babcock et Wilcox, 4, place Richebé, Lille.
1127	G. C.	426	Bridelance (Léon) , ingénieur civil, 155, rue d'Arras, Lille.
645	A. C.	162	Buisine (A.) , professeur à la Faculté des Sciences, 41, rue Jacquemars-Giélée, Lille.
1053	G. C.	381	Butzbach , ingénieur des Arts et Manufactures, directeur de la maison Mollet-Fontaine, 39, rue Virginie Ghesquière, Lille.
836	A. C.	211	Calmette (Albert) , docteur, directeur de l'Institut Pasteur, boulevard Louis XIV, Lille.
1026	C. B. U.	202	Cambier (E.) , maire de Pont-à-Vendin.
940	G. C.	327	Canler , ingénieur des Arts et Manufactures, 27, rue Jacquemars-Gielée Lille.
523	G. C.	149	Carels frères , constructeurs, Gand (Belgique).
1181	G. C.	463	Carles (Henri) , ingénieur-constructeur, 128, rue de Lille, La Madeleine.
880	C. B. U.	168	Carlier-Kolb , négociant en huiles, 16, rue Caumartin, Lille.
522	G. C.	148	Carrez , ingénieur des Arts et Manufactures, Aire-sur-la-Lys.
61	F. T.	29	Catel-Béghin (Gustave) , filat. de lin, 2, r. d'Iéna, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
730	G. C.	217	Catoire (Gaston), agent de la Société houillère de Liévin (Pas de-Calais), 5, rue de Bourgogne, Lille.
1188	C. B. U.	234	Cau (Jean), licencié-ès-sciences, professeur à l'École supérieure pratique de Commerce et d'Industrie de Lille, contrôleur-général de la Société anonyme de direction et de garantie d'assurances sur la vie, 94, rue Jacquemars-Giélée, Lille.
221	C. B. U.	81	Cavrois-Mahieu , filateur de coton, boulevard de Paris, Roubaix.
849	G. C.	273	Charpentier , (Henri), ingénieur civil des mines, 119, rue Colbert, Lille.
1032	A. C.	229	Charrier , ingénieur des Arts et Manufactures, 7, rue de Toul, Lille.
810	F. T.	211	Chas (Henri), manufacturier, 1, rue de la Gare, Armentières.
1046	C. B. U.	210	Clément (Charles), avocat, 2, rue Alphonse Mercier, Lille.
893	G. C.	295	Cocard (Jules), fondeur, 13, rue de Valenciennes, Lille.
1167	E. T.	292	Cogney (Paul), ingénieur, directeur de peignage, 151 bis, rue du Collège, Roubaix.
971	F. T.	55	Comptoir de l'Industrie Linière , 91, rue d'Uzès, Paris.
988	C. B. U.	184	Constant (Gustave) fils, négociant en huiles et articles industriels, 179, rue Nationale, Lille.
455	G. C.	130	Cordonnier (Louis-Marie), architecte, 28, rue d'Angleterre, Lille.
1049	G. C.	369	Cormorant , ing.-constructeur, agent des moteurs à gaz Crossley et gazogènes Pierson, 204, rue Nationale, Lille.
1157	G. C.	446	Cotté (Émile), directeur de la Société Anonyme d'Éclairage et d'Applications Électriques, 141, quai d'Orsay, Paris.
812	G. C.	257	Courquin (l'Abbé), professeur à l'École Industrielle de Tourcoing, 29, rue du Casino, Tourcoing.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités	NOMS ET ADRESSES.
1182	C. B. U.	231	Courtecuisse (Victor), négociant, éditeur de bronzes d'art, 101, rue Nationale, Lille.
889	G. C.	294	Cousin (Paul), ingénieur des Arts et Manufactures, sous-agent des Mines de Béthune, 113, Grande-Route-de-Béthune, Loos.
1137	G. C.	428	Couvreur (Paul), secrétaire-général du Gaz de Wazemmes, 25, rue St-Sébastien, Lille.
860	C. B. U.	163	Crédit Lyonnais (M. le Directeur de la succursale de Lille du) 28, rue Nationale, Lille.
675	G. C.	203	Crépelle (Jean), constructeur, 52, rue de Valenciennes. Lille.
* 65	G. C.	6	Crépelle-Fontaine , constructeur de chaudières, La Madeleine.
* 35	C. B. U.	8	Crépy (Alfred), filateur de lin, 1, rue de la Faisanderie, Paris.
64	F. T.	33	Crépy (Ernest), filateur de lin, boulevard de la Moselle, Lille.
682	C. B. U.	130	Crépy (Eugène), propriétaire, 19, boulevard de la Liberté, Lille.
751	C. B. U.	140	Crepy (Auguste), vice-consul de Portugal, industriel, 28, rue des Jardins, Lille.
*136	F. T.	260	Crépy (Maurice), filateur de coton, Canteleu-Lambersart
*132	F. T.	233	Crépy (Georges), 6, boulevard Vauban, Lille.
*133	F. T.	234	Crépy (Lucien), 77, rue Royale, Lille.
*134	F. T.	235	Crépy (Gabriel), 126, boulevard Vauban, Lille.
1160	G. C.	448	Crépy (Pierre), 24, place de Tourcoing, Lille.
210	F. T.	70	Crespel (Albert), filateur de lin, 101, rue de l'Hôpital-Militaire, Lille.
1059	C. B. U.	212	Crespel (Etienne), négociant, 14, rue des Fleurs, Lille.
1145	G. C.	435	Cuvelette (Ernest), sous-directeur des Mines de Lens, 24, rue Edouard-Bollaert, Lens.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
729	F. T.	197	Cuvelier (Lucien), filateur, 12, rue de Bouvines, Fives-Lille.
*135	C. B. U.	214	Danel (Liévin), imprimeur, 105, boulevard de la Liberté, Lille.
*148	C. B. U.	30	Danel (Louis), imprimeur, 17, rue Jean-sans-Peur, Lille.
1149	G. C.	439	Danel (Paul), industriel, 4, rue Denis-Godefroy, Lille. 1, rue des Bois Blancs, Lille.
727	F. T.	195	Dansette-Thiriez , industriel, 232, rue Nationale, Lille.
817	F. T.	213	Dantzer (James), professeur à l'Institut Industriel du Nord et à l'Ecole Supérieure Pratique de Commerce et d'Industrie, 85, rue Brûle-Maison, Lille.
* 30	F. T.	6	Dautremer , fils aîné, filateur de lin, 28, parvis St-Michel Lille.
1042	C. B. U.	195	David (Charles), fabricant de produits réfractaires,
861	G. C.	280	Daw , constructeur, 62, rue d'Isly, Lille.
809	F. T.	210	De Baillencourt , manufacturier, rue de l'Abbaye-des-Prés, Douai.
667	A. C.	205	DeBruyn et ses fils , faïenciers, 22, rue de l'Espérance, Fives-Lille.
626	A. C.	156	Declercq , ingénieur chimiste, 39, rue de l'Hôpital-Militaire, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES
1162	G. C.	452	Declercq (Paul), appareils d'éclairage et de chauffage, 83, boulevard de la Liberté, Lille.
926	C. B. U.	175	Decoster , négociant, 128, rue de La Louvière, Lille-Saint-Maurice.
401	A. C.	93	Decroix , négociant en métaux, 54, rue de Paris, Lille.
709	C. B. U.	137	Decroix (Henri), banquier, 42, rue Royale, Lille.
1088	C. B. U.	136	Decroix (Pierre), banquier, 126, rue Royale, Lille.
76	G. C.	22	Degoix , ingénieur hydraulicien, 44, rue Masséna, Lille.
635	A. C.	160	Delaune (Marcel), député du Nord, distillateur, ancien élève de l'École Polytechnique, 120, rue de l'Hôpital-Militaire, Lille.
923	A. C.	220	Deldique (Charles), ingénieur, directeur des usines Kuhlmann de La Madeleine et St-André (Nord).
1001	C. B. U.	188	Delebarre , négociant, 18, boulevard des Ecoles, Lille.
745	F. T.	201	Delebart (Georges), filateur de coton, 60, rue du Long-Pot, Fives.
431	G. C.	124	Delebecque (Émile), ingénieur-directeur des Usines à gaz de Lille, ancien élève de l'École Polytechnique, 25, rue St-Sébastien, Lille.
418	A. C.	97	Delemer (Paul), brasseur, 20, rue du Magasin, Lille.
1102	C. B. U.	220	Delemer (Jean), industriel, 42, rue Voltaire, Lille.
* 36	F. T.	51	Delesalle (Alphonse), filateur de coton, 86, rue Saint-André, Lille.
472	F. T.	143	Delesalle (Albert), filateur, 23, rue de Gand, Lille.
569	C. B. U.	110	Delesalle (Charles), propriétaire, maire de Lille, 96, rue Brûle-Maison, Lille.
766	F. T.	208	Delesalle (Édouard), filateur, La Madeleine.
832	F. T.	214	Delesalle (Louis), filateur, 204, rue Pierre-Légrand, Fives-Lille.

N° d'ins- cription à la Société	Comités.	N°s d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
941	F. T.	240	Delesalle (René), filateur, 62, rue Négrier, Lille.
949	F. T.	245	Delesalle (Lucien), filateur, 80, rue de Jemmapes, Lille.
1009	F. T.	266	Delesalle-Delattre, rue Pasteur, La Madeleine.
1140	G. C.	429	Delestré (Lucien), ingénieur, 310, rue Solférino, Lille.
794	G. C.	243	De Loriol (A.), ingénieur-électricien, 17, rue Faidherbe, Lille.
1136	F. T.	287	De Prat (Daniel), professeur de filature et de tissage à l'Ecole des Hautes Etudes Industrielles, 7, Parvis-Notre-Dame, Boulogne-sur-Mer.
877	G. C.	286	De Ruyver, fils, constructeur, à Ronchin-lez-Lille.
1063	G. C.	402	Derrevaux (Henri), importateur d'huiles, 219, rue Léon-Gambetta, Lille.
1101	F. T.	282	Dervaux (Maurice), filateur, Quesnoy-sur-Deûle.
403	F. T.	130	Descamps (Ernest), manufacturier, 38, rue Jean-Jacques-Rousseau, Lille.
568	F. T.	172	Descamps (Alfred), filateur de lin, 1, square Rameau, Lille.
578	C. B. U.	114	Descamps-Scrive, négociant, 23, boulevard Vauban, Lille.
643	C. B. U.	122	Descamps (Maxime), négociant, 22, rue de Tournai, Lille.
950	F. T.	246	Descamps (Joseph), manufacturier, 38, rue Jean-Jacques-Rousseau, Lille.
956	F. T.	251	Descamps (Léon), filateur, 5, rue de Courtrai, Lille.
150	G. C.	438	Descamps (Léon), ingénieur des Arts et Manufactures, 6, rue Auber, Lille.
848	F. T.	220	Desurmout-Descamps, manufacturier, 29, rue de Bradford, Tourcoing.
227	G. C.	69	Dewaleyne, constructeur-mécanicien, 32, rue Barthélemy-Delespaul, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société,	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
1111	F. T.	283	Dhont (René), filateur, rue Kléber, Lille.
1194	G. C.	470	Didier (Émile), rédacteur en chef de la <i>Revue Noire</i> , 23, rue d'Amiens, Lille.
562	G. C.	168	Doosche, fils, constructeur, 90, rue de la Plaine, Lille.
1156	G. C.	445	Dreyfus (Georges), directeur de la Société Lilloise d'Éclairage Électrique, 87, rue de la Barre, Lille.
518	F. T.	158	Drieux (Victor), filateur de lin, 9, rue de Fontenoy, Lille.
1069	G. C.	395	Dropsy, représentant de la S ^{té} Escaut et Meuse, 10, avenue des Lilas, Lille-St-Maurice.
1193	G. C.	469	Druot (Antoine), directeur de l'École Nationale Profes- sionnelle d'Armentières, Armentières.
177	C. B. U.	58	Dubar (Gustave), directeur de l'Écho du Nord, membre du Conseil Supérieur de l'Agriculture, 9, rue de Pas, Lille.
336	G. C.	105	Dubreucq-Pérus, ingén ^r des Arts et Manufactures, 262, rue Pierre-Légrand, Fives-Lille.
1151	G. C.	440	Ducastel (Georges), électricien, 61, rue Nationale, Lille.
*110	G. C.	63	Duchaufour (Eugène), ancien trésorier payeur général à Rocroi (Ardennes).
734	F. T.	198	Dufour (Eugène), fabricant de toiles, 8, rue de l'École, Armentières.
692	A. C.	173	Duhem (Arthur), teinturier, fabricant de toiles, 22, rue Saint-Genois, Lille.
915	F. T.	237	Duhem (Maurice), fabricant de toile, 20, rue Saint- Genois, Lille.
1050	F. T.	274	Duhot, Frémaux et Delplanque, filateurs. Lomme.
1120	G. C.	422	Dujardin (André), ingénieur des Arts et Manufactures, 32, rue André, Lille.
898	G. C.	299	Dulieux (Henry) et C ^{ie} , automobiles, 36, rue de l'Hô- pital-Militaire, Lille.
* 145	C.B.U.	228	Dupleix (Pierre), négociant en lins, 5, rue Patou, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
1175	F. T.	296	Durand (Albert), directeur de la Fédération des Fabri- cants de toile de France, 17, rue du Nouveau- Siècle, Lille.
835	F. T.	216	Duriez (Gustave), filateur, Seclin.
* 82	F. T.	91	Duverdyn (Eugène), fabricant de tapis, 95, rue Royale, Lille.
1084	G. C.	404	École Nationale des Arts et Métiers (M. le Directeur), boulevard Louis XIV, Lille.
1161	G. C.	453	Énergie Électrique du Nord de la France (M. le Directeur de la Société), 12, rue de la Chambre- des-Comptes, Lille.
104	A. C.	27	Ernoul-Taffin (François), teintures et apprêts, 77, rue du Grand-Chemin, Roubaix.
585	A. C.	139	Eycken , fabricant de produits chimiques, à Was- quehal.
1189	C. B. U.	235	Facq-Hilst (Paul), fabricant de mobilier, 10, rue Royale, Lille.
1132	A. C.	239	Fanyau (Oscar), pharmacien à Hellemmes.
651	C. B. U.	123	Farinaux (Albert), négociant, 7, rue des Augustins, Lille.
*123	F. T.	35	Faucheur (Edmond), président de la Chambre de Commerce, 13, square Rameau, Lille.
476	F. T.	146	Faucheur (Félix), filateur de lin, 16, boulevard Vauban, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
477	F. T.	147	Faucheur (Albert), filateur de lin, 241, rue Nationale, Lille.
652	F. T.	182	Faucheur (René), filateur de lin, 93, boulevard Vauban, Lille.
724	F. T.	193	Faucheur (Émile), industriel, 4, rue de la Chambre-des-Comptes, Lille.
*120	C. B. U.	96	Fauchille (Auguste), avocat, docteur en droit, licencié ès-lettres, 56, rue Royale, Lille.
948	G. C.	325	Fauchille (Georges), manufacturier, 46, rue Blanche, St-Maurice-Lille.
974	C. B. U.	181	Fauchille (Charlemagne), agent de change, 28, rue Basse, Lille.
1117	G. C.	419	Faure (Jean), ingénieur-directeur de la Cie des Tramways Électriques de Lille et de sa Banlieue, 2, rue Auber, Lille.
445	A. C.	106	Fichaux (Eugène), malteur, Haubourdin.
795	G. C.	244	Finet (A.), ingénieur-électricien, 17, rue Faidherbe, Lille.
*116	G. C.	300	Fives-Lille (Compagnie), construction de machines, Fives-Lille.
473	F. T.	144	Flipo (Charles), filateur, 190, rue Winoc-Choqueel, Tourcoing.
615	G. C.	180	Flipot , constructeur, 120, r. des Processions, Fives-Lille.
875	F. T.	225	Florin (Eug.), filateur, 98, rue de Douai, Lille.
952	F. T.	218	Fockedey-Poullier , filateur, 219 bis, boulevard de la Liberté, Lille.
3	C. B. U.	21	Fockedey-Catel , négociant en fil de lin, 13 ^{bis} , rue du Molinel, Lille.
*71	F. T.	54	Fontaine-Flament , 41, rue de l'Hôpital-Militaire, Lille.
1054	G. C.	382	Fouvez (Augustin), constructeur, 151, rue de Tourcoing, Roubaix.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités	NOMS ET ADRESSES.
690	G. C.	207	Franchomme (Hector), industriel, Boulevard Carnot, Marcq-en-Barœul.
1104	G. C.	414	Franchomme (Henri), ingénieur, 66, boulevard Vauban, Lille.
1138	G. C.	430	Françq (Roger), ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Société " Electrique Lille-Roubaix-Tourcoing " (Réseau Mongy), 4, rue de la Chambre-des-Comptes, Lille.
725	F. T.	194	Fremaux (L.) et C ^{ie} , manufacturiers, 1, rue Nationale, Armentières.
1106	C. B. U.	217	Freyberg (Paul), directeur des Écoles Berlitz du Nord, 5, rue Faidherbe, Lille.
352	A. C.	76	Gaillet (Paul), ingénieur- directeur de la maison Albert Dujardin et C ^{ie} , 19, rue d'Artois Lille.
288	F. T.	110	Gallant (H.), manufacturier, Comines (Nord)
581	F. T.	176	Gavelle (Emile), receveur de l'Asile d'Aliénés de Bailleul, route d'Ypres, Bailleul.
558	C. B. U.	108	Genoux-Roux , administrateur du Crédit du Nord, boulevard de la Liberté, 29, Lille.
1190	G. C.	466	Ghesquier (J.-B.), directeur de l'École des Hautes Etudes industrielles et commerciales, 14, r. Virginie-Ghesquière, Lille.
615	G. C.	181	Ghesquière , directeur des usines de Biache, 28, rue Saint-Paul, Paris
1130	C. B. U.	226	Giraud (Paul), nég.t, 53, quai de la Basse-Deûle, Lille.
796	C. B. U.	155	Glorieux (Henri), industriel, boulevard de Paris, Roubaix.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les Comités	NOMS ET ADRESSES.
1119	G. C.	420	Godin (Oscar), industriel, rue St-Nicolas, 18, Lille.
1201	G. C.	476	Godin (André-Georges), ingénieur des Arts et Manu- factures, 18, rue St-Nicolas, Lille
*147	C. B. U.	232	Godron (Emile), avoué, agréé, docteur en droit, 103, boulevard de la Liberté, Lille.
345	G. C.	107	Gossart (Albert), ingénieur des Arts et Manufactures, ingénieur-constructeur, 105, rue Saint-Gabriel, Saint- Maurice (Lille).
*216	A. C.	34	Gosselet, doyen honoraire de la Faculté des Sciences, 18, rue d'Antin, Lille.
879	G. C.	288	Goube, représentant d'usines métallurgiques, 138, rue Barthélemy-Delespaul, Lille.
1206	G. C.	236	Goutierre (Henri), ancien Notaire, rue Brûle-Maison, 113, Lille.
787	C. B. U.	245	Gouvion (Albert), ingénieur des Arts et Manufactures, 154, route de Condé, Anzin.
630	A. C.	159	Grandel, ancien élève de l'École Polytechnique, direc- teur technique des Établissements Kuhlmann, 13, square de Jussieu, Lille.
1205	F. T.	301	Grandel (Julien), fils industriel, Loos
899	F. T.	230	Gratry (M. le Directeur des Etablissements), 11, rue de Pas, Lille.
1196	C. B. U.	235	Gréau (Eusèbe), directeur de la Banque de France, 75, rue Royale, Lille.
1089	C. B. U.	215	Gruson, fabricant de coffres-forts, 21, rue Royale, Lille.
859	A. C.	213	Guénez, chimiste en chef des Douanes, 100, rue Barthélemy-Delespaul, Lille.
739	C. B. U.	143	Guérin (Louis), gérant du Comptoir de l'Industrie linière, 80, rue de Paris, Lille.
792	C. B. U.	33	Guermonprez (Docteur François), professeur à la Faculté libre de Médecine, rue d'Esquermes, 63, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
1171	G. C.	458	Guerre (Paul) , ingénieur en chef des services du fond à la C ^{ie} des Mines de Courrières, Billy-Montigny (P.-d.-C.)
927	C. B. U.	176	Guilbaut , négociant, 45, rue Basse, Lille.
704	F. T.	189	Guillemaud (Claude) , filateur, Seclin.
901	F. T.	231	Guillemaud (Arthur) , filateur, Loos.
921	F. T.	238	Guillemaud (Eugène) , Hellemmes.
1166	F. T.	293	Guillemaud (André) , ingénieur des Arts et Manufactures, filateur, 6, rue Jacquart, Hellemmes.
1125	G. C.	425	Guillot (Louis) , ingénieur-électricien 202, rue Solférino, Lille.
878	G. C.	287	Guyot , constructeur, 209, rue du Faubourg-de-Roubaix, Lille
1077	G. C.	394	Hannecart , agent commercial de la Société Escaut et Meuse, Anzin.
556	F. T.	165	Hassebroucq , fabricant, Comines (Nord).
772	G. C.	234	Hennebique (François) , ingénieur, 1, rue Danton, Paris.
804	G. C.	252	Henneton , ingénieur-électricien, 5, rue Colson, Lille.
209	F. T.	69	Herboux-Tibeauts , filateur de laines, Tourcoing.
888	G. C.	293	Hille , ingénieur des Arts et Manufactures, Vimy (P.-d.-C.).
*374	A. C.	86	Hochstetter (Jules) , ingénieur des Arts et Manufactures, 18, place de la Carrière, Nancy.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
*102	F. T.	61	Holden (Isaac) et fils, peigneurs de laines, Croix (Nord).
*139	F. T.	263	Houdoy (Jules), avocat, docteur en droit, 10, rue de Puébla, Lille.
763	A. C.	196	Houtart , maître de verreries, Denain (Nord).
1021	F. T.	271	Huet (André), 21, rue des Buisses, Lille.
474	F. T.	145	Joire (Alexandre), filateur de coton, Tourcoing.
984	G. C.	342	Jolly , ingénieur des Arts et Manufactures, ingénieur-architecte, 100, rue de la Gare, Roubaix.
1057	C. B. U.	206	Kenion , câbleries du Nord, Armentières.
1110	F. T.	288	Kennedy (Howard), ingénieur, 4, rue Nationale, Lille.
521	A. C.	126	Kestner , (Paul), ingénieur, 3, rue de la Digue. Lille.
1095	A. C.	236	King , agent consulaire des États-Unis, 97 bis, rue des Stations, Lille.
1029	G. C.	375	Labbé , inspecteur-général de l'Enseignement technique, membre du Conseil supérieur de l'Enseignement technique, 18, rue Camille-Desmoulins, Lille.
121	A. C.	20	Lacombe , ingénieur des Arts et Manufactures, professeur de chimie à l'Institut Industriel, 41, rue de Bourgogne, Lille.
1086	G. C.	406	Langlois , ingénieur, 58, rue de La Bassée, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
1210	G. C.	478	Langrand (Gaston), Ingénieur-représentant de la Maison Lambert Frères, de Levallois-Perret, 1, place de la Gare, Lille.
738	G. C.	221	Laurence (Marcel), entrepreneur, 110, boulevard Vauban, Lille.
1168	G. C.	454	Laurence (Eugène), entrepreneur, 6, rue Pierre-Martel, Lille.
936	F. T.	239	Leak, représentant, 11, rue Lamartine, Lille.
* 31	F. T.	7	Le Blan (Paul), filateur de lin et coton, 24, rue Gauthier-de-Châtillon, Lille
33	F. T.	27	Le Blan (Émile), fils, filateur de lin et coton, 8, boulevard Vauban, Lille.
957	F. T.	253	Le Blan (Paul), fils, filateur, 1, rue de Trévise, Lille.
958	F. T.	254	Le Blan (Gaston), filateur, 23, rue Solférino, Lille.
964	F. T.	257	Le Blan (Maurice), 2, rue Arnould-de-Vue, Lille.
298	F. T.	298	Le Blan - Wallaert (Julien), filateur de coton, 122, boulevard Vauban, Lille.
134	G. C.	32	Le Clercq (Alexandre), ingénieur conseil, 16, rue d'Artois, Lille.
882	F. T.	226	Leclercq-Mulliez, chef de la Maison Leclercq-Dupire, 42, rue St-Georges, Roubaix.
583	A. C.	137	Leconte (Édouard), teinturier, 20, rue du Bois, Roubaix.
* 149	C. B. U.	146	Ledieu (Achille), consul des Pays-Bas, 27, rue Négrier, Lille.
235	A. C.	43	Lefebvre-Desurmont (Paul), fabricant de céruse, 103, rue de Douai, Lille.
* 25	F. T.	49	Lefebvre-Ridez (Jules), filateur de coton, 280, rue Gambetta, Lille.

N ^{os} d'ins- cription à la Société.	Comités.	N ^{os} d'ins- cription dans les comités	NOMS ET ADRESSES.
1155	G. C.	444	Le Goaster (Honoré), inspecteur principal à la Com- pagnie du chemin de fer du Nord. 26, rue Puëbla, Lille.
800	G. C.	248	Lemaire (Jules), fabricant de courroies, Tourcoing.
947	F. T.	241	Lemaire (G.), retorderie, 15, rue Roland, Lille.
1035	A. C.	230	Lemaire (Louis), ingénieur-chimiste 12, rue de Valmy, Lille.
1185	G. C.	465	Lemoine (Armand), ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur des Travaux municipaux de la ville de Lille, 26, rue Caumartin, Lille.
1024	A. C.	228	Lemoult , directeur de l'Ecole supérieure pratique de Commerce et d'Industrie de Lille et de la région du Nord, 48, rue Brûle-Maison, Lille.
627	A. C.	157	Lenoble , professeur de chimie à la Faculté libre, 36, rue Négrier, Lille.
1051	C. B. U.	207	Lepercq (Paul) fabricant d'huile, rue de l'Hospice, Quesnoy-sur-Deûle.
679	G. C.	205	Lepez , entrepreneur, 131, rue Jacquemars-Giélée, Lille.
686	A. C.	170	Lequin , Manufactures de Glaces et Produits Chimiques de Saint-Gobain, 1, place des Saussaies, Paris (VIII ^e).
584	A. C.	138	Leroy (Charles), fabricant de produits chimiques, Wasquehal.
628	C. B. U.	117	Leroy (Paul), négociant 141, boulevard de la Liberté, Lille.
989	C. B. U.	183	Leroy , entrepreneur, 58-62, rue de la Plaine, Lille.
900	A. C.	217	Lesaffre , distillateur, Marcq-en-Barœul.
611	A. C.	149	Lescœur (D ^r), professeur à la Faculté de Médecine 11, place de la Gare, Lille.
204	F. T.	97	Leurent (Désiré), fabricant de tissus, Tourcoing.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
1159	F. T.	291	Leurent (Edouard), fabricant, 48, boulevard Gambetta, Tourcoing.
1011	C. B. U.	191	Leverd-Drieux , cuirs, 98, rue du Marché, Lille.
519	C. B. U.	103	Lévi (Otto), négociant, 18, rue de Bourgogne, Lille.
1134	F. T.	289	Lindsay (J.-O.), ingénieur, 59, rue Léonard Danel, Lille.
754	A. C.	193	Locoge , ingénieur-chimiste, 18, place de Barlet, Douai.
276	F. T.	102	Lorent (Victor), filateur, 11, rue de Thionville, Lille.
946	F. T.	217	Lorthiois frères , filateurs de coton, 36, quai de l'Ouest Lille.
1200	G. C.	475	Magnien (P.), ingénieur des Manufactures de l'Etat, rue du Pont-Neuf, Lille.
1115	G. C.	421	Maire (Alfr.), ingénieur des Arts et Manufactures, directeur des usines Kulmann de Roubaix-Wattrelos.
1173	A. C.	243	Malet (Julien), directeur technique des fabriques de produits de chimie organique « de Laire », rue d'Amérique, Calais.
1078	G. C.	396	Malissart , directeur de la Société Escaut et Meuse, Anzin.
1008	C. B. U.	190	Malpel (Maurice), 30, boulevard de la Liberté, Lille.
83	C. B. U.	44	Maquet (Ernest), négociant, 15, rue des Buisses, Lille.
801	C. B. U.	249	Martinval , directeur de la succursale de la maison A. Piat et ses fils, 7, rue Faidherbe, Lille.
953	F. T.	249	Mas-Descamps , 22, rue de Tournai, Lille.
760	C. B. U.	144	Masquelier (Georges), négociant en coton, 59, boulevard de la Liberté, Lille.

Nos d'inscription à la Société	Comités.	Nos d'inscription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
369	F. T.	126	Masurel (Edmond), filateur de laines, 63, rue Nationale, Tourcoing.
1070	F. T.	278	Mathieu-Wattrelot , fabricant de peignes à tisser, 2, rue du Bois-St-Sauveur, Lille.
919	C. B. U.	174	Melchior , directeur des Annuaires Ravet-Anceau, consul de Belgique, 48, rue Pierre-le-Grand, Fives-Lille.
471	A. C.	115	Menu (Edmond), fabricant de colle et de bleu d'outremer, 74, rue des Stations, Lille.
587	C. B. U.	115	Mercier , directeur d'assurances, 155, boulevard de la Liberté, Lille.
1016	G. C.	358	Mercier , directeur général des Mines de Béthune à Bully-les-Mines.
995	G. C.	349	Messenger , ingénieur des Arts et Manufactures, Compagnie Thomson-Houston et Société Postel-Vinay, 61, rue des Ponts-des-Comines, Lille.
1018	G. C.	370	Messier , ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, rue de Paris (cour des Bourloirs), Lille.
1164	G. C.	455	Métayer (Maurice), ingénieur, professeur à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, 2, rue Rembrandt, Paris.
81	A. C.	30	Meunier (Maxime), propriétaire et directeur de l'Union générale du Nord, 37, boulevard de la Liberté, Lille
1003	G. C.	450	Meynier (A.), ingénieur-électricien, 5, avenue du Parc-Monceau, Lille (Saint-Maurice).
309	F. T.	113	Mielliez (Ed), toiles, Armentières.
200	G. C.	56	Mines d'Aniche.
1093	C. B. U.	216	Morel-Goyez , ameublements, 29, rue Esquermoise, Lille.

Nos d'ins- cription la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
907	G. C.	303	Moritz (René), ingénieur-chimiste, rue de l'Église, Wasquehal.
561	F. T.	168	Motte (Albert), manufacturier, Roubaix.
842	F. T.	222	Motte-Bossut et fils, manufacturiers, Roubaix.
1019	G. C.	357	Mottram , représentant de la maison Summer, 12, rue du Dragon, Lille.
1191	G. C.	467	Naudé (Emile), ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur de l'Institut Industriel, 4, rue de Bruxelles, Lille.
1208	F. T.	303	Neu (Henri), ingénieur, 7, rue de Toul, Lille.
943	G. C.	324	Newnham , architecte, 5, rue de Valmy, Lille.
15	G. C.	47	Nicodème (Émile), ingénieur, 138, boulevard de la Liberté, Lille.
1114	G. C.	418	Nicodème (Georges), ingénieur des Arts et Manufactures, 140, boulevard de la Liberté, Lille.
955	F. T.	250	Nicolle (Louis), filateur, Lomme.
495	A. C.	121	Obin , tenturier, 101, rue des Stations, Lille.
961	C. B. U.	179	Obry (Henri), négociant, 124, boulevard Vauban, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités	NOMS ET ADRESSES.
343	G. C.	106	Olry , ingénieur en chef des Mines, délégué général du Conseil d'administration de l'Association des Propriétaires d'Appareils à Vapeur du Nord, 11-13, rue Faidherbe, Lille.
728	F. T.	196	Ovigneur (Georges), fabricant de toiles à Halluin.
986	C. B. U.	185	Ovigneur (Paul), négociant, 25, rue Sans-Pavé, Lille.
*701	A. C.	179	Paillot , docteur ès-sciences, professeur à la Faculté des Sciences, 53, boulevard Montebello, Lille.
*137	G. C.	335	Paindavoine (Amédée), constructeur, 24, rue Arago, Lille.
1184	A. C.	246	Pascal (Paul), maître de conférences à la Faculté des Sciences, 5, rue Alexandre-Deleamar, Mons-en-Barœul.
797	G. C.	246	Paulus (Martin), ingénieur-constructeur, rue de Tourcoing, à Roubaix.
1180	A. C.	245	Pellet (Léon), ingénieur-chimiste, 31, rue Auber, Lille.
1158	G. C.	447	Petit (Henri), ingénieur aux ateliers d'Hellemmes, 171, boulevard de la Liberté, Lille.
857	G. C.	278	Petot , professeur à la Faculté des Sciences, 55, rue Auber, Lille.
1082	G. C.	403	Pittet (Henri), ingénieur, 9, rue Faidherbe, Lille.
748	F. T.	202	Pouchain (Victor), industriel, Armentières.

Nos d'inscription à la Société	Comités.	Nos d'inscription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
641	C. B. U.	121	Poullier (Auguste), vice-consul du Brésil, directeur d'assurances, 79, rue Nationale, Lille.
1005	C. B. U.	192	Prate (Éloi), huiles, 168, rue des Postes, Lille.
866	C. B. U.	165	Raquet , changeur, 91, rue Nationale, Lille.
1153	G. C.	442	Ravet (Victor), électricien, 83, rue Nationale, Lille.
685	G. C.	206	Rémy (Charles), ingénieur, 16-18, rue des Arts, Lille.
693	G. C.	208	Renard , ingénieur, usine à gaz de Vauban, 49, rue Charles-de-Muysart, Lille.
*117	F. T.	4	Renouard (Alfred), ingénieur civil, 49, rue Mozart, Villa Lux, Paris.
488	G. C.	136	Reumaux (Élie), directeur général des Mines de Lens (Pas-de-Calais).
1204	F. T.	300	Reynaert (Paul), industriel, 1, rue St-Genois, Lille.
1177	A. C.	244	Richter (Frédéric), fabricant de bleu d'outremer et couleurs diverses, 83-85, rue Gantois, Lille.
580	F. T.	175	Rogez (Henri), fabricant de fils à coudre, 125, rue du Marché, Lille.
549	G. C.	166	Rogie (Eugène), tanneur, 64, rue des Stations, Lille.
*143	A. C.	234	Rolants , chef de laboratoire à l'Institut Pasteur, 67, rue Brûle-Maison, Lille.
638	C. B. U.	119	Rollez (Arthur), directeur d'assurances, 48, boulevard de la Liberté, Lille.
93	A. C.	17	Roussel (Émile), teinturier, 148, rue de l'Épéule, Roubaix.
324	G. C.	100	Roussel (Édouard), manufacturier, 137, rue des Arts, Roubaix.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comites.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
856	G. C.	277	Roussel (Alfred), constructeur, 40, rue Alexandre-Leleux, Lille.
197	G. C.	52	Royaux fils, fabricant de tuiles, Leforest (Pas-de-Calais).
332	G. C.	103	Ryo (Alphonse), ingénieur des Arts et Manufactures, constructeur-mécanicien, 23, rue Pellart, Roubaix.
761	F. T.	206	Saint-Leger (André), fils, rue Royale, 107, Lille.
1036	C. B. U.	204	Sanders (J.-F.), consul du Chili, 47, rue Gantois, Lille.
1121	G. C.	423	Sarasin (Paul-Émile), ingénieur des Arts et Manufactures, fondeur en cuivre, 212, rue Gambetta, Lille.
827	G. C.	374	Sargant et Faulkner , architectes, 27, rue Faidherbe, Lille.
607	G. C.	178	Sartiaux , ingénieur-constructeur, Hénin-Liétard.
642	G. C.	193	Schneider (Paul), président des Mines de Douchy, 4, place des Saussaies, Paris.
*127	C. B. U.	124	Schotsmans (Auguste), négociant, 9, boulevard Vauban, Lille.
1094	F. T.	281	Schubart , négociant en lins, 19, rue St-Jacques, Lille.
353	A. C.	77	Scrive (Gustave), manufacturier, 99, rue de l'Hôpital-Militaire, Lille.
892	F. T.	229	Scrive-Loyer (Antoine), 45, rue de Roubaix, Lille.
891	F. T.	228	Scrive-Loyer (Jules), 294, rue Gambetta, Lille.
1186	F. T.	297	G. Scrive-Thiriez , tissage mécanique de toiles et coutils, La Madeleine.
6	G. C.	13	Sée (Paul), ingénieur-constructeur, 62, rue Brûle-Maison, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
1163	G. C.	456	Sée (Alexandre), ingénieur, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, 62, rue Brûle-Maison, Lille.
1179	G. C.	462	Sénard (Albert), ingénieur des Arts et Manufactures, ingénieur aux établissements Kuhmann, 13, square Jussieu, Lille.
325	G. C.	101	Simon , ingénieur-directeur des Mines de Liévin.
1030	F. T.	272	Sington (Adolphus) et Cie, de Manchester (Agence de Lille), 55, rue des Ponts-de-Comines, Lille.
531	F. T.	160	Six (Édouard), filateur, rue du Château, Tourcoing.
966	G. C.	333	Smits (Albert), ingénieur, 23, rue Colbrant, Lille.
1124	C. B. U.	225	Société Anonyme des papeteries de l'Aa , à Wizernes P.-de-C.).
1031	A. C.	223	Société Chimique du Nord de la France , 116 rue de l'Hôpital-Militaire, Lille.
976	F. T.	261	Société Cotonnière d'Hellemmes .
1199	G. C.	474	Société Fontaine, Coppez & Cie , spécialité de foyers industriels, Mortagne du Nord.
805	G. C.	253	Société française de l'accumulateur Tudor , (Le Directeur de la), route d'Arras, Thumesnil.
688	A. C.	171	Société des Produits Chimiques d'Hautmont , (M. l'Administrateur),
609	A. C.	150	Solvay (Ernest), industriel, 25, rue du Prince-Albert, Bruxelles.
513	G. C.	146	Stahl , directeur-général des Établissements Kuhlmann, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, 13, square de Jussieu, Lille.
1012	C. B. U.	196	Steverlynck (Gustave), 11 ^{bis} , place de Tourcoing, Lille.
500	G. C.	141	Stoclet , ingénieur en chef des Ponts et Chaussées du département du Nord, 25, rue Jeanne-d'Arc, Lille.
1174	G. C.	460	Stoffaes (l'abbé Eugène), directeur de l'Institut catho- des Arts-et-Métiers, 6, rue Auber, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
1010	F. T.	270	Suttil , articles industriels, 15, rue du Sec-Arembault, Lille.
1062	G. C.	384	Swyngedauw , professeur à l'Institut électrotechnique de la Faculté des Sciences, 1, rue des Fleurs, Lille.
1178	C. B. U.	230	Tamboise (Albert) , docteur en droit, notaire, 20, rue de Bourgogne, Lille.
1079	C. B. U.	213	Tancrez , négociant 42, rue des Jardins-Caulier, Lille.
128	C. B. U.	12	Thiriez (Julien) , filateur, Loos.
129	F. T.	36	Thiriez (Louis) , filateur, Loos.
130	G. C.	37	Thiriez (Léon) , ingénieur des Arts et Manufactures, filateur, Loos (Nord).
*142	G. C.	379	Thiriez (Alfred) , ingénieur des Arts et Manufactures, 10, rue Auber, Lille.
1112	G. C.	416	Thiriez (Léon) fils , ingénieur des Arts et Manufactures, 84, rue du faubourg de Béthune, Lille.
*131	F. T.	209	Thiriez-Descamps , manufacturier, 61, faubourg de Béthune, à Lille.
*146	F. T.	295	Thiriez-Wallaert (Pierre) , industriel, 15 bis, boulevard Vauban, Lille.
410	G. C.	123	Tilloy (Charles) , ingénieur, 9, rue Delezenne, Lille.
1139	A. C.	240	Tilloy (Maurice) , industriel, Courrières (P. de C.).
*115	F. T.	117	Toussin (G.) , filateur de coton, 55, rue Royale, Lille
874	A. C.	227	Trémiset (Henri) , représentant de la maison Solvay et Cie, 22, place Sébastopol, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités.	NOMS ET ADRESSES.
16	C. B. U.	22	Trystram , négociant, Dunkerque.
716	C. B. U.	161	Vaillant (Eugène), vice-consul de Perse, 7, place de Béthune, Lille.
245	G. C.	76	Valdelièvre (Georges), fondeur, 33, rue des Tanneurs, Lille.
313	F. T.	116	Vancauwenberghe , filateur de jutes, Dunkerque.
586	C. B. U.	150	Vandame (Georges), député du Nord, conseiller général, ancien élève de l'École polytechnique, brasseur, 9, place Jacquart, Lille.
890	F. T.	227	Van de Weghe (Albert), filateur, 1, rue Patou, Lille.
1207	F. T.	302	Van Eecke (Charles-François), ingénieur-constructeur, 101, rue de la Gare, Roubaix.
212	A. C.	36	Vandewinckèle , blanchisseur, Comines (Nord).
719	C. B. U.	138	Vandorpe-Grillet , papiers en gros, 5-7, rue Gombert, Lille.
1058	C. B. U.	205	Vanlaer (Maurice), avocat, 118, rue Jacquemars-Giélée, Lille.
712	F. T.	190	Vanoutryve (Félix), manufacturier, 91, boulevard de la République, Roubaix.
1169	G. C.	457	Vanuxem (Paul), industriel, 260, rue Nationale, Lille.
851	A. C.	212	Verbièse , ingénieur-chimiste, 47, rue du Molinel, Lille.
1183	G. C.	464	Verlé (Jean), chef du service extérieur du gaz de Wazemmes, rue d'Iéna, Lille.
131	C. B. U.	40	Verley (Charles), banquier, 40, rue Voltaire, Lille.
576	C. B. U.	112	Verley-Bigo (Pierre), banquier, 49, rue Royale, Lille.
629	A. C.	158	Verley-Descamps , produits d'amidon, Marquette-lez-Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités	NOMS ET ADRESSES.
706	C. B. U.	134	Verley-Bollaert (Charles), banquier, 9, boulevard de la Liberté, Lille.
1017	A. C.	226	Verley (André), administrateur des amidonneries d'Haubourdin.
1014	G. C.	373	Verlinde , Maurice, appareils de levage, 16-18, rue Malus, Lille.
883	C. B. U.	169	Vermersch , négociant, 26, r. Grande-Chaussée, Lille.
58	G. C.	50	Vignerón (Eugène), ingénieur des Arts et Manufactures, 75, rue des Postes, Lille.
785	G. C.	241	Vignerón (Léon), ingénieur des Arts et Manufactures. 241, Grand-Route de Béthune, Loos.
834	F. T.	215	Villard (Joseph), fabricant de toiles, Armentières.
* 88	G. C.	10	Villette (Paul), constructeur de chaudières, 37, rue de Wazemmes, Lille.
46	A. C.	26	Virnot (Urbain), salines et savonneries, 5, rue de Thionville, Lille.
*141	C. B. U.	198	Virnot (A.), route de Roubaix, 64, Mons-en-Barceul.
681	A. C.	235	Voituriez (Achille), industriel, 135, rue Jacquemars-Giélée, Lille.
755	A. C.	194	Waché (Alfred), industriel, 9, place St-François Xavier, Paris.
* 54	C. B. U.	10	Wahl-Sée (Jules), 192, Bd Malesherbes, Paris.
* 85	G. C.	7	Walker fils, constructeur de métiers, 21, boulevard Montebello, Lille.
1037	G. C.	361	Walker (James), vice-consul britannique, 95, rue des Stations, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société	Comités.	Nos d'ins- cription dans les comités	NOMS ET ADRESSES.
* 118	F. T.	128	Wallaert (Georges), manufacturier, 6, place de Tourcoing, Lille.
*119	F. T.	127	Wallaert (Maurice), manufacturier, 66, boulevard de la Liberté, Lille.
* 124	F. T.	156	Wallaert (Henri), filateur, 75, rue de Fontenoy, Lille.
* 64	G. C.	5	Wargny (Hector), fondeur en cuivre, 185, boulevard de la Liberté, Lille.
916	A. C.	219	Watrigant (Henri), fabricant d'extraits tinctoriaux et tanniques, 80, quai de la Basse-Deûle, Lille.
110	G. C.	230	Wauquier , (Eugène), ingénieur-constructeur, 69, rue de Wazemmes, Lille.
1096	G. C.	412	Werth , ingénieur des Arts et Manufactures, directeur des Hauts-Fournaux, Forges et Aciéries de Denain et d'Anzin, Denain (Nord).
1197	G. C.	472	Wéry (Aimé), ingénieur des ateliers du matériel roulant du chemin de fer du Nord. 63, rue Ferdinand-Mathias, Hellemmes-Lille.
1128	F. T.	101	Wibaux (René), filateur-tisseur, rue de la Fosse-aux-Chênes, Roubaix.
1192	G. C.	468	Wibratte (Louis), ingénieur des Ponts et Chaussées, 15 bis, place Simon-Vollant, Lille.
1195	G. C.	471	Wibratte (Eugène), ingénieur-conseil, gérant de la Société d'Entreprise et d'Exploitation de distribution d'éclairage et de force motrice, 43, rue Barthélemy-Delespaul, Lille.
1126	C. B. U.	223	Wicart (Alphonse), fabricant de toiles, 7, rue de Tenremonde, Lille.
1170	F. T.	294	Wilson (Arthur), ingénieur, négociant, 32, rue Faidherbe, Lille.

Nos d'ins- cription à la Société.	Comités.	Nos d'ins- cription dans les Comités.	NOMS ET ADRESSES.
498	G. C.	139	Witz (Aimé) , ingénieur des Arts et Manufactures, docteur-ès-sciences, doyen de la Faculté libre des Sciences, 29, rue d'Antin, Lille.
666	C. B. U.	127	Woussen (Lesté) , négociant, 18-20, rue de Morienne, Dunkerque.
687	F. T.	279	Wuillaume (Ch.-A.) , industriel, Frelinghien.
1141	C. B. U.	229	Wuillaume (Maurice) , négociant en lin, vice-consul de Belgique, 98, rue Brûle-Maison.

MEMBRES DU CONSEIL D'ADMINIS-

ANNÉES	PRÉSI- DENTS	VICE-PRÉSIDENTS			
1873	Kuhlmann.	Crespel.	F. Mathias.	Longhayé.	Delattre.
1874					
1875					
1876					
1877					
1878					
1879	F. Mathias.	A Wallaert	Corenwinder.	Agache	Bonte.
1880					
1881					
1882					
1883					
1884					
1885	Agache.	A. Renouard	Kolb.	Faucheur.	Bigo-Danel.
1886					
1887					
1888					
1889					
1890					
1891	Bigo-Danel.	Cornut.	E. Delebecque.	Guérin.	Parent.
1892					
1893					
1894					
1895					
1896					
1897	J. Thiriez.	Descamps.	L. Nicolle.	Witz.	
1898					
1899					
1900					
1901					
1902					
1903	Hochstetter.	Chapuy.			
1904					
1905					
1906					
1907					
1908					
1909	J. Thiriez.				
1910					

TRATION DEPUIS LA FONDATION.

Secrétaires généraux	Secrétaires du Conseil	Trésoriers	Bibliothécaires.	MEMBRES DÉLÉGUÉS		
				de Roubaix	de Tourcoing	d'Armentières
Corenwinder	Sée.	Verley.	Bigo.	Vinchon.	J. Leblan.	Pouchain.
	Paul Crepy.	Bigo.	Hartung.			
A. Renouard	M ^{ce} Barrois	E. Faucheur	A. Descamps	E. Roussel.	Ed. Masurel.	Miellez.
Piéron		E. Le Blan.				
Kéromnés.	Kestner.	M ^{ce} Barrois	L. Bigo.	E. Roussel.	Ed. Masurel.	Miellez.
Hochstetter.		A. Delesalle				
Parent.	L. Danel.	Max Descamps	Kestner.	E. Roussel.	Ed. Masurel.	Miellez.
E. Delebecque.		L. Danel.				
Bonnin.	Descamps.	L. Danel.	Kestner.	E. Roussel.	Ed. Masurel.	Miellez.
Petit.		L. Danel.				

CONSEIL D'ADMINISTRATION ACTUEL.

MM. Ed. AGACHE, Président d'honneur.

Em. BIGO-DANEL, Président.

L. GUÉRIN,

A. WITZ,

L. NICOLLE,

Julien THIRIEZ,

} Vice-Présidents.

Henri PETIT, Secrétaire-Général.

Max. DESCAMPS, Secrétaire du Conseil.

Liévin DANIEL, Trésorier.

P. KESTNER, Bibliothécaire.

Em. ROUSSEL, délégué à Roubaix.

Edm. MASUREL, — à Tourcoing.

Ed. MIELLEZ, — à Armentières.

et les quatre Présidents de Comités.

BUREAUX DES COMITÉS.

Génie Civil.

MM. CHARRIER, Président.

E. MESSENGER, Vice-Président.

L. DESCAMPS, Secrétaire.

Arts Chimiques.

MM. LEMAIRE, Président.

E. ROLANTS, Vice-Président.

P. PASCAL, Secrétaire.

Filature et Tissage.

MM. A. SCRIVE, Président.

Pierre CRÉPY, Vice-Président.

Léon THIRIEZ, Secrétaire.

Commerce,

Banque et Utilité publique.

MM. A. BOCQUET, Président.

J. WALKER, Vice-Président.

GODIN, Secrétaire.

SECRETARIAT ET OFFICE DE RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES ET INDUSTRIELS

M-André WALLON, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Compagnie Française pour l'Exploitation des procédés

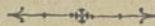
Thomson-Houston

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*

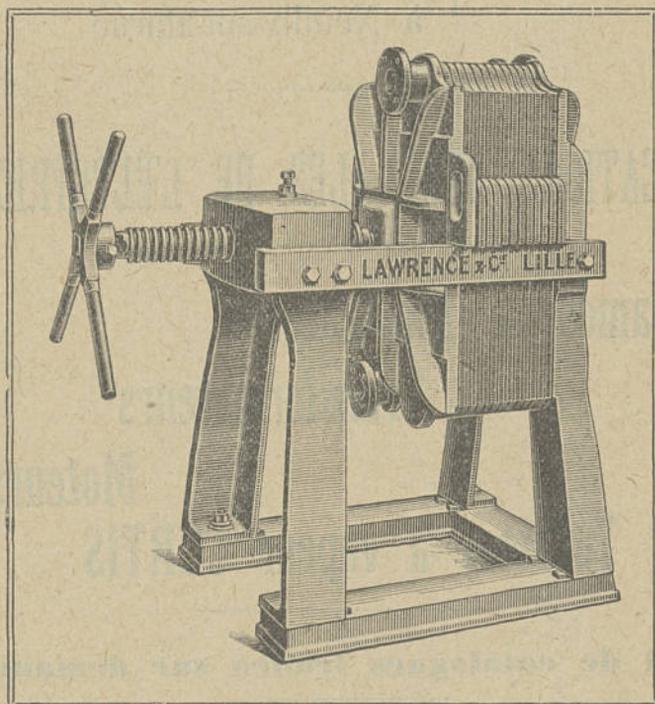
PAR L'EMPLOI DU

Condenseur - Réchauffeur ☞

☞ Capillaire " LAWRENCE "

BREVETÉ S. G. D. G.

Société d'encouragement
pour l'Industrie Nationale



MEDAILLE D'ARGENT
Janvier 1909

L. BIRON

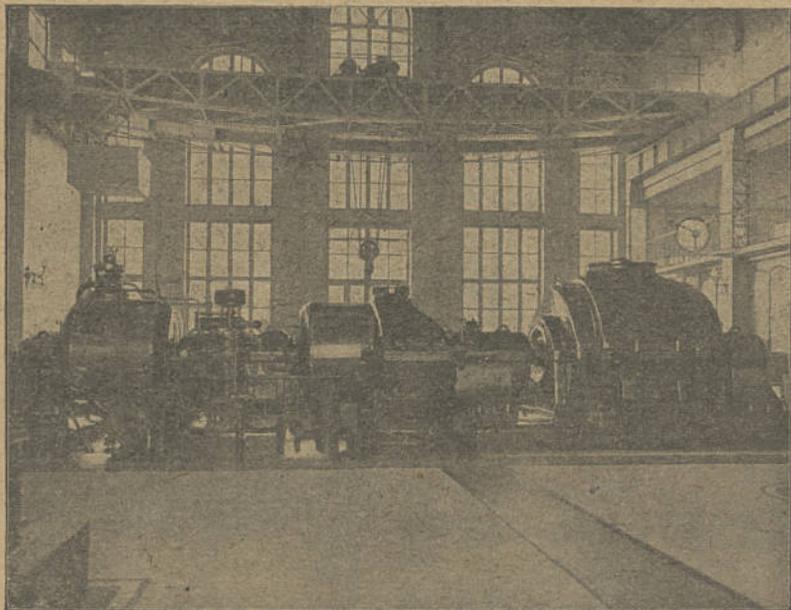
CONSTRUCTEUR

90, Rue du Chevalier-Français. - LILLE

COMPAGNIE ÉLECTRO-MÉCANIQUE

LE BOURGET (SEINE)

AGENCES A } LILLE, 9, Rue Faidherbe. TÉLÉP. 2.10
 LYON, 53, rue de la Bourse.
 NANCY, 2, rue de Lorraine.



Société des Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est, à Jeumont :
 turbo-alternateur triphasé de 6.000 kw., 1.500 tours 10.500 volts — 50. périodes. (Cette station
 centrale comporte en outre deux autres turbo-alternateurs BROWN, BOVERI-PARSONS,
 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 & Cie

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 100 pages contre 0 fr. 40 en timbres du pays.



LE MOIS SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL — 8, Rue Nouvelle, PARIS (9^{me})

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 ennemis 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 tiendra 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 Arrt)

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 APPLICATIONS :

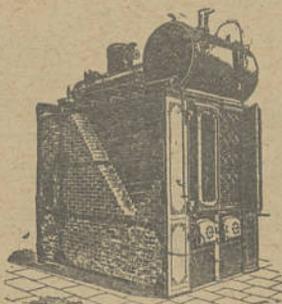
PLUS D'UN MILLION
de chevaux-vapeur

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 :

Cuirassés, 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

DOCTEUR ÈS SCIENCES

PROFESSEUR DE CHIMIE ORGANIQUE À LA BORDONNE

ANCIEN PRÉPARATEUR À 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^{ers} janvier et juillet)

	UN AN	SIX MOIS	LE NUMÉRO	No de collection d'un an et précédents
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

TÉLÉPHONE 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 MÉTIERS SELFACTINGS

Pour les Fins Numéros (N^{os} 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 A LOUER

Charles DAVID

LILLE — 4, 3, 5, Rue des Bois-Blancs, 4, 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

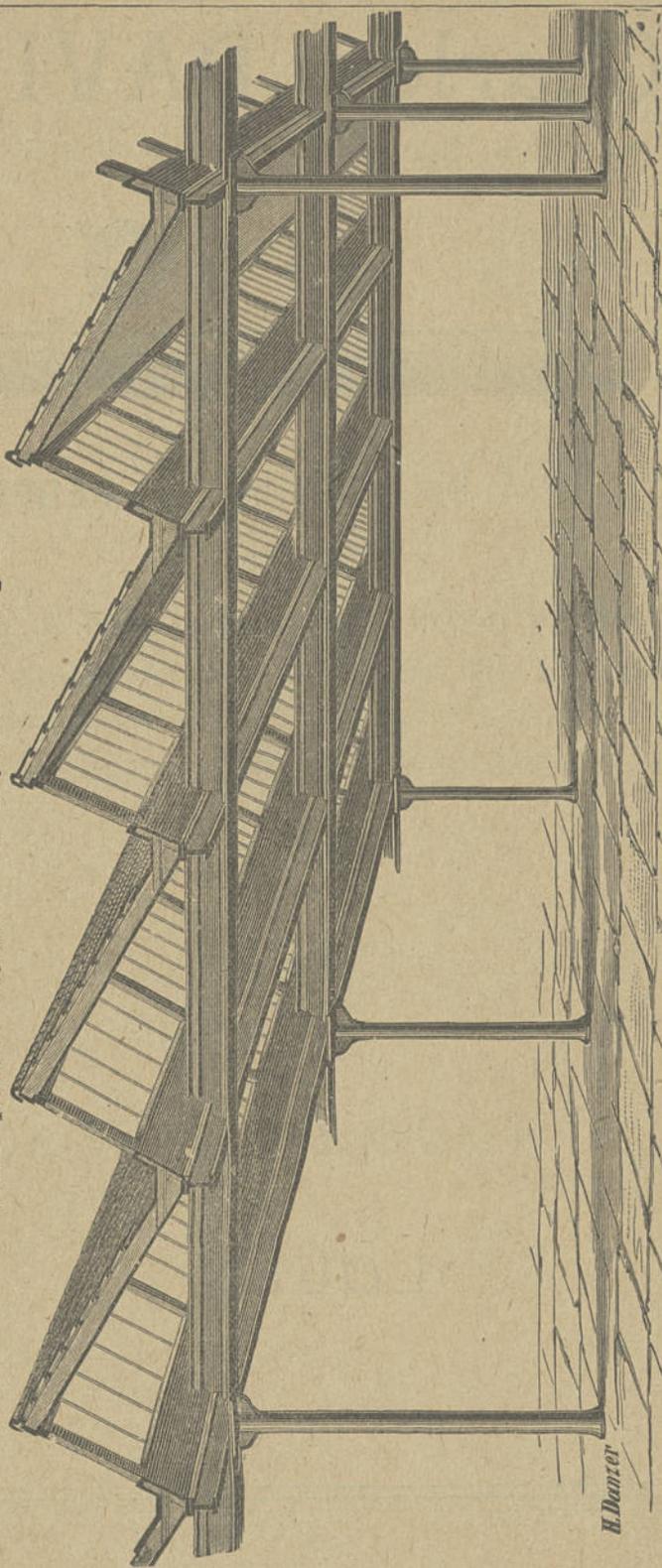
A

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
 Clément armé. — **Bangars depuis 8 francs le mètre carré.**
 Verre parasol rejetant les rayons calorifiques du soleil.



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

760 USINES CONSTRUITES DEPUIS 1866.

CASE

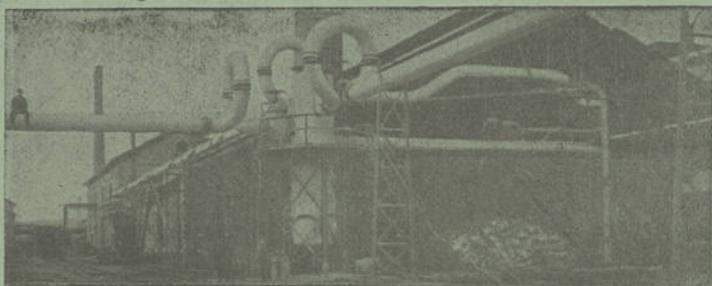
A

LOUER

CHARLES DAVID

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

— 00 TÉLÉPHONE 1047 00 —



Spécialité de Calorifuge pour Vapeur Surchauffée

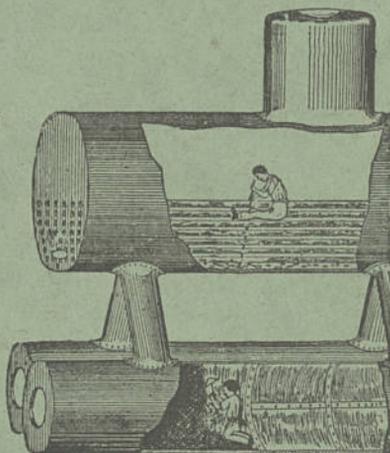
HAUTE ET BASSE PRESSION ET CONTRE LA GELÉE

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.