3 francs

ÉLÉMENTS D'AVIATION

PAR

VICTOR TATIN

Publication de l' **"Aérophile"**

REVUE TECHNIQUE de la LOCOMOTION AÉRIENNE

53, Avenue des Champs-Elysées, PARIS

PARIS

H. DUNOD & E. PINAT, Editeurs

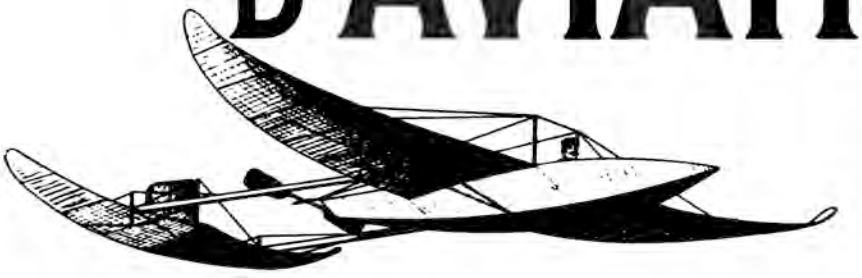
49, Quai des Grands-Augustins, 49

1908

Tous droits de traduction et de reproduction réservés pour tous les pays, y compris la Suède, la Norvège et le Danemark.

ÉLÉMENTS D'AVIATION

ÉLÉMENTS D'AVIATION



PAR

VICTOR TATIN

Publication de l' **" Aérophile "**

REVUE TECHNIQUE de la LOCOMOTION AÉRIENNE

63, Avenue des Champs-Elysées, PARIS

PARIS

H. DUNOD & E. PINAT, EDITEURS

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1908

Tous droits de traduction et de reproduction réservés pour tous les pays, y compris la Suède et la Norvège

AVERTISSEMENT DE L'ÉDITEUR

Par un phénomène assez singulier, on chercherait vainement, dans la littérature aéronautique, un exposé d'ensemble succinct ou détaillé du problème du vol mécanique et des solutions que l'on a proposées ou obtenues.

Les documents abondent cependant dans cette branche de la bibliographie technique. Certains sont bons, d'autres — le plus grand nombre — n'ont pas grande valeur. Ils gardent tous, fâcheusement, un caractère fragmentaire, et se trouvent épars un peu partout dans les journaux, dans les revues, dans les publications parfois disparues, si bien qu'il faut un véritable travail de recherches et une perte de temps considérable pour arriver à les connaître et, les connaissant, à les retrouver.

Cette situation regrettable pouvait encore être tolérée lorsque l'aviation n'intéressait guère qu'une élite, appliquée à sonder les mystères du vol mécanique encore lointain, et qui ne ménageait point sa peine pour conquérir un à un les éléments du problème. Il n'en est plus de même aujourd'hui ; les magnifiques réalisations auxquelles nous venons d'assister, et qui progressent si rapidement, ont secoué l'opinion publique tout entière ; il n'est plus, actuellement, un homme intelligent qui ne suive, avec un intérêt passionné, les expériences de nos aviateurs, et qui n'aspire, sinon à les reproduire ou à les dépasser, tout au moins à les bien comprendre.

Nous étions mieux placés que personne pour connaître les *desiderata* de ce public nouveau — le grand public — qui demande un travail d'ensemble, un guide clair et méthodique dans cette question si complexe et si capitale.

C'est à tous ces amis, nouveaux, mais fervents du vol mécanique, que le présent ouvrage pourrait être dédié.

Il n'était point aisé de le mettre sur pied, et l'on avait à craindre deux écueils.

Il fallait éviter d'amasser autour de l'aviation, comme on l'a fait trop souvent, un menaçant nuage de formules quelquefois inutiles, souvent insuffisamment justifiées dans les faits, et la débarrasser d'un fatras de mathématiques transcendantes qui peut intéresser les spécialistes, mais qui jusqu'à présent n'a nullement contribué aux progrès, tout en rebutant la majorité des lecteurs. Mais, il était nécessaire, néanmoins, de ne rien abandonner de la rigueur scientifique indispensable, de dégager les principes généraux en les appuyant sur des notions absolument sûres, et de ne pas sacrifier « la substantifique moelle » dont parle Rabelais, aux papotages abondants d'un banal ouvrage de vulgarisation dans lequel l'abus du style figuré n'eût fait aucune illusion sur la pauvreté du fond.

Photo Branger

Victor TATIN

Pour cette œuvre délicate, pour cette première initiation du public aux données du problème et à la discussion rationnelle de sa solution, nous avons fait appel au dévouement d'un homme qui demeure l'une des gloires françaises de l'aviation : j'ai nommé Victor Tatin.

M. Tatin a bien voulu accepter ; nous ne saurions trop le remercier du nouveau service qu'il rendra ainsi à une science qui passionna toute sa vie.

Par ses connaissances techniques approfondies, par ses études expérimentales directes, Victor Tatin était l'homme tout désigné pour une telle œuvre à la fois théorique et pratique. Les nombreux conseils sollicités de lui, les conférences et les cours publics d'aviation qu'il a inaugurés, l'ont, en outre,

éclairé sur les points principaux à mettre en lumière, sur les erreurs à dissiper et les préjugés à combattre.

Et c'est ainsi que dans cet ouvrage substantiel, profitable aux techniciens comme aux simples sportsmen, on trouvera un exposé général méthodique et critique du « problème de l'aviation ».

Le premier chapitre résume à grands traits l'état actuel de la question, et relate les expériences récentes.

Dans le deuxième, Victor Tatin étudie les lois de la résistance de l'air, et leur application au problème de l'aéroplane. Il ne se borne pas à enregistrer les connaissances classiques à ce sujet ; il les discute et les réfute lorsqu'il les croit erronées.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude des hélices aériennes. Nous connaissons les beaux travaux de Tatin sur ce point, parus en grande partie dans l'*Aérophile* ; ils se trouvent condensés et mis à jour avec une clarté remarquable.

Les notions générales ainsi exposées, Victor Tatin convie le lecteur à étudier méthodiquement avec lui la construction d'un aéroplane et les conditions rationnelles auxquelles on doit satisfaire, et dont on ne saurait s'écarter pour établir un bon appareil.

Il conclut enfin par un aperçu historique dans lequel il rappelle les progrès successifs de l'aéroplane.

Bien des aviateurs qui se croient documentés constateront, non sans étonnement, que le problème de l'aviation était connu et déterminé dans ses éléments essentiels, bien avant les travaux des Américains auxquels nous accordons trop bénévolement certaines priorités dont ils n'ont pas le mérite.

Tatin n'est point le « laudator temporis acti », mais il a cru devoir rendre à la mémoire de ses maîtres et de ses amis, un hommage qui profite au bon renom de la science française, et qui fait cesser la méconnaissance bien injuste d'une œuvre admirable.

Que les aviateurs d'aujourd'hui se souviennent, et tout en ayant le droit de s'enorgueillir, qu'ils reportent à leurs pères le principal mérite de leurs succès ; il ne manqua à ces derniers que le moteur léger, venu à l'aviation par la voie détournée de l'Automobile.

Dans tout son travail, Victor Tatin n'hésite pas à conclure ; il discute, il critique, il choisit, il donne ses préférences et leurs raisons. A ceux mêmes dont il n'entraînerait pas la conviction, il fournit toujours des aperçus originaux, nés d'une connaissance approfondie de la question et une base de discussion.

Tel qu'il se présente, ce livre suffira, espérons-le, à atteindre le but que l'on s'est proposé : fournir à tous ceux qui s'intéressent à l'aviation, le moyen de comprendre et même le guide qui permet de créer à son tour.

Nous avons voulu qu'il demeurât, par son prix, accessible à tous. Sous un format commode, qui n'exclut pas le soin matériel apporté à l'édition, ces *Eléments d'aviation* contiennent tout ce qui est nécessaire. La plupart des figures, excepté les vues photographiques, sont inédites et dessinées exprès pour cet ouvrage par l'auteur lui-même ; c'est dire combien elles font corps avec le texte, combien elles en illustrent, au vrai sens du mot, la lecture.

Peut-être certains points eussent-ils pu être développés plus longuement, car le public français, grâce à l'automobilisme, est devenu l'un des meilleurs lecteurs d'œuvres scientifiques et ne s'effraie plus de démonstrations qui auraient semblé ardues à nos pères ; mais nous avions hâte d'apporter à l'aviation l'ouvrage qu'elle réclamait depuis longtemps, et c'est pourquoi nous pensons que, sauf complément ultérieur, ces *Eléments d'aviation* feront mieux connaître et mieux apprécier la locomotion nouvelle, et lui amèneront de nouveaux adeptes ; c'est là, est-il besoin de le dire, le vœu le plus cher de l'éditeur comme de l'auteur.

« L'AÉROPHILE. »

P.-S. — Pendant l'impression de cet ouvrage eurent lieu les expériences de l'aviateur américain W. Wright ; voir, à ce sujet, l'*Appendice* ajouté par l'auteur à la fin du volume.

L'A.

Le Grand Prix d'Aviation Deutsch-Archdeacon

Photo Rol.

Henri Farman gagne le Grand Prix d'aviation Deutsch-Archdeacon de 50.000 francs, le 13 janvier 1908, à Issy-les-Moulineaux (1 kilomètre en circuit fermé en 1 minute 28 sec.)

Le Grand Prix d'aviation fut créé en 1904 par MM. H. Deutsch de la Meurthe et Ernest Archdeacon. Doté d'une allocation de 50.000 francs dont chacun des généreux donateurs avait souscrit la moitié, il devait être attribué par les soins et sous le contrôle de la Commission d'aviation de l'Aéro-Club de France au premier aviateur qui, après avoir coupé en plein vol une ligne de départ délimitée par deux poteaux distants de 50 mètres, irait virer autour d'un troisième poteau placé à 500 mètres sur une perpendiculaire élevée du milieu de la ligne de départ et reviendrait couper en plein vol cette ligne de départ, sans avoir touché terre en cours de route.

Photo Rol.

Les deux donateurs du Grand Prix d'aviation, MM. Henry Deutsch de la Meurthe et Ernest Archdeacon, commentant le succès d'Henry Farman à Issy-les-Moulineaux le 13 janvier 1908. — A gauche : M. Henry Deutsch de la Meurthe ; à droite : M. Ernest Archdeacon.

Cette épreuve fut gagnée, comme il est dit plus haut, par Henry Farman.

Le retentissement de cette performance a achevé de donner le branle au mouvement actuel en faveur de l'aviation, ainsi que le souhaitaient les créateurs de l'épreuve.

LES ÉTAPES DE L'AVIATION

RECORDS

DISTANCE

25 mètres.	—	SANTOS-DUMONT, à Bagatelle	(23 octobre 1906).
220	—	— —	(12 novembre 1906).
770	—	Henri FARMAN, à Issy-les-Moulineaux	(26 octobre 1907).
1.000	—	— —	(13 janvier 1908).
2.004	—	— —	(21 mars 1908).
3.925	—	Léon DELAGRANGE, —	(11 avril 1908).
12.750	—	— à Rome	(30 mai 1908).

DURÉE

	21 secondes 1/5.	— SANTOS-DUMONT, à Bagatelle		(12 novembre 1906).
	52 secondes.	Henri FARMAN, à Issy-les-Moulineaux		(26 octobre 1907).
1 minute	28 —	—	—	(13 janvier 1908).
3 —	31 —	—	—	(21 mars 1908).
9 —	15 —	Léon DELAGRANGE	—	(11 avril 1908).
15 —	26 — 4/5.	—	à Rome	(30 mai 1908).
16 —	30 —	—	à Milan	(22 juin 1908).
20 —	20 —	Henri FARMAN, à Issy-les-Moulineaux		(6 juillet 1908).

VITESSE

41 kil. 292 m. à l'heure. — SANTOS-DUMONT 12 novembre 1906.
52 kil. 500 m. à l'heure. — Henri FARMAN 26 octobre 1907.

ÉPREUVES DIVERSES DÉJA GAGNÉES

Prix des 60 mètres (100 francs offerts par la Commission d'aviation de l'Aéro-Club de France).
SANTOS-DUMONT, par 220 mètres, le 12 novembre 1906, à Bagatelle.

Prix des 100 mètres (1.500 francs offerts par la Commission d'aviation de l'Aéro-Club de France).
SANTOS DUMONT, par 220 mètres, le 12 novembre 1906, à Bagatelle.

Prix des 150 mètres (prime de 200 francs et grande plaquette de vermeil offertes par la Commission d'aviation de l'Aéro-Club de France).
Henri FARMAN, par 770 mètres, le 26 octobre 1907, à Issy-les-Moulineaux.

Prix spécial (une médaille de vermeil créé par la Commission d'aviation et attribué à :
Louis BLÉRIOT pour un vol de 184 mètres à Issy-les-Moulineaux, le 17 septembre 1907.

Prix des 200 mètres (prime de 200 francs et grande plaquette de vermeil offertes par la Commission d'aviation de l'Aéro-Club de France).
1er Léon DELAGRANGE, par 269 m. 50, le 17 mars 1908, à Issy-les-Moulineaux.
2e Louis BLÉRIOT, par un vol non mesuré d'une façon précise, mais dépassant 700 mètres, à Issy-les-Moulineaux, le 29 juin 1908.

Grand Prix d'aviation Deutsch-Archdeacon : 50.000 francs offerts par MM. Henry DEUTSCH, de la Meurthe, et Ernest ARCHDEACON.
Henri FARMAN, le 13 janvier 1908, à Issy-les-Moulineaux.

Prix du " Daily Mail " (2.500 francs pour le premier aviateur effectuant un circuit fermé d'un demi-mille de developpement).
Henri FARMAN, le 13 janvier 1908, à Issy-les-Moulineaux.

Médaille de vermeil de l'Aéro-Club de France au constructeur de l'appareil gagnant le Grand Prix d'aviation.
Les frères VOISIN, constructeurs de l'aéroplane *Farman I*.

Médaille de vermeil de l'Aéro-Club de France au constructeur du moteur de l'appareil gagnant le Grand Prix d'aviation de l'Aéro-Club de France.
La SOCIÉTÉ ANTOINETTE.

Prix Triaca, médaille d'or offerte par M. Albert-C. TRIACA au constructeur du moteur de l'appareil gagnant le Grand Prix d'aviation.
Léon LEVAVASSEUR, directeur de la SOCIÉTÉ ANTOINETTE.

Prix Armengaud jeune, 10.000 francs offerts par M. ARMENGAUD jeune au premier aviateur effectuant un séjour continu d'un quart d'heure dans l'atmosphère.
Henri FARMAN, par 20 minutes 20 secondes, à Issy-les-Moulineaux, le 6 juillet 1908.

COUPE ERNEST ARCHDEACON (Épreuve challenge de distance)

1er détenteur : SANTOS-DUMONT. — Bagatelle, 23 octobre 1906 : 25 mètres.
— 12 novembre 1906 : 220 mètres.
2e détenteur : Henri FARMAN. — Issy-les-Moulineaux, 26 octobre 1907 : 770 mètres.
— 13 janvier 1908 : 1.000 mètres.
— 21 mars 1908 : 2.004 mètres.
3e détenteur : Léon DELAGRANGE. — 11 avril 1908 : 3.925 mètres.

PRÉFACE

Mon ami Besançon me demande d'écrire deux mots de préface pour cette intéressante brochure de M. Tatin, prétendant que mon passé de vulgarisateur m'oblige à patronner, une fois de plus, une œuvre utile à la science qui m'est chère.

Or, comme je professe la plus profonde sympathie pour l'éditeur, pour l'auteur, et pour l'œuvre qu'ils entreprennent, c'est avec le plus vif plaisir que j'écris cette modeste introduction.

Je crois tout d'abord indispensable de commencer par deux mots de biographie sur l'ami Tatin, qui montreront combien il était qualifié pour publier cet intéressant et utile travail de vulgarisation :

Tatin n'avait, malheureusement, pas eu la chance de naître avec des rentes ; par contre, il était né inventeur, inventeur de grand talent, mais malheureusement inventeur poète, ne sachant, ni faire valoir ses grandes qualités, ni en tirer un parti fructueux ; c'est pourtant ce qu'il aurait certainement pu faire, étant données ses grandes capacités et les personnalités mondaines riches que les hasards de l'existence l'ont appelé à coudoyer.

C'est d'ailleurs de ce moment qu'il commença à étudier avec passion la science de l'aviation.

Tatin, dès 1874, commença à travailler avec le célèbre professeur Marey, dont il fut, pendant quatre ans, l'indispensable collaborateur dans ses remarquables expériences de physiologie: leurs expériences communes d'analyse et de synthèse du vol des oiseaux sont connues dans le monde entier, et ont donné lieu à la création d'appareils spéciaux, d'une merveilleuse ingéniosité, dans la confection desquels Tatin prit plus que sa bonne part.

Tatin fut, en effet, un précurseur, dans toute la force du terme ; car il s'occupa d'aviation même avant Lilienthal, ce grand ancêtre de l'aviation si souvent (et d'ailleurs si justement) cité.

En effet, alors que Lilienthal ne commença vraiment ses expériences qu'en 1891, *Tatin avait construit,* dès 1879, *un petit aéroplane (d'ailleurs décrit dans cette brochure),* MU PAR UN MOTEUR A AIR COMPRIMÉ *qui pesait* 1.750 *grammes, et qui, expérimenté à Meudon à cette époque, vola par ses propres moyens autour du poteau auquel il était attaché, et passa même par-dessus la tête d'un spectateur. On verra, d'après le dessin contenu dans la brochure, que la silhouette de cet aéroplane ressemble joliment à la silhouette générale de nos aéroplanes les plus modernes ! !*

En 1890, *en* 1896, *en* 1897, *nouvelles expériences de Tatin, avec de nouveaux aéroplanes de petite dimension, construits avec le concours du professeur Richet, qui jouit encore aujourd'hui d'une célébrité méritée dans les milieux scientifiques et médicaux.*

Si Tatin n'a pas, dès cette époque, résolu le problème d'une façon complète, c'est justement parce qu'il avait été « trop précurseur ». *En effet, à ce moment, le problème de l'enlèvement d'un homme n'était que difficilement soluble, parce qu'on n'avait pas encore trouvé les moteurs « extra-légers » qui se trouvaient être indispensables, et qui ont été créés depuis.*

Toutes les fois que Tatin a fait des expériences pour le compte des quelques personnes qui, comme Richet, ont bien voulu l'aider, il a toujours trouvé moyen, au lieu d'en tirer un profit personnel quelconque, d'y rajouter de sa poche, et d'engloutir dans ces mêmes recherches tout son patrimoine personnel.

Et voilà comment Tatin, après toute une vie de labeur, n'est pas riche, alors qu'il est cependant un mécanicien de grande valeur, un écrivain scientifique de talent, et probablement l'homme de France le plus savant dans la question de l'aviation

Aujourd'hui que le moteur léger existe, que la question de l'aviation est mûre, et qu'il existe maintenant quelques hommes riches qui se font construire des appareils, je veux espérer que

l'un d'entre eux fera un jour appel à la grande compétence de Tatin, en permettant ainsi à cet excellent savant, jusqu'à présent peu heureux, de nous donner sa mesure.

En attendant, pour en revenir à la brochure qui fait l'objet de cette préface, je n'hésite pas à dire, bien sincèrement, comme je le pense, que le besoin de « cet ouvrage » s'imposait d'une façon absolue.

La science de l'aviation a été, jusqu'à présent, extrêmement peu répandue, et elle est restée le monopole de quelques spécialistes, très rares.

Aussi, les principes généraux qui la régissent, et les résultats des expériences, très peu nombreuses, faites jusqu'à ce jour, sont disséminées dans quantités de publications différentes, où il faut aller les pêcher bribes par bribes, ce qui est souvent bien difficile.

De plus, ces études sont mélangées d'un tas de détails inutiles. Les néophytes de la science qui sont désireux de s'instruire n'ont donc à leur disposition aucun ouvrage, leur donnant d'une façon claire et précise, sans tomber dans des détails oiseux ou des calculs inutiles, les principes généraux de la science nouvelle.

La brochure de Tatin, sous son petit volume, contient tous les éléments essentiels de l'aviation, et je suis convaincu qu'un homme intelligent, possédant, en outre, quelques connaissances mécaniques, pourrait, avec les seules indications de ce « vade-mecum » bien comprises et bien digérées, arriver à construire un aéroplane susceptible de marcher.

Je souhaite donc vivement que cette intéressante brochure de Tatin attire sur son auteur toute l'attention dont il est digne, et qu'elle se vende à plusieurs milliers d'exemplaires, aidant ainsi à former toute l'intéressante génération des « ingénieurs-aviateurs de demain », pour la plus grande gloire et pour le plus prompt triomphe de l'Aviation française.

ERNEST ARCHDEACON.

ÉLÉMENTS D'AVIATION

CHAPITRE I

État actuel de la question

Enfin l'aéroplane est arrivé aujourd'hui à la complète démonstration de la possibilité de son vol, tout en portant son pilote et en conservant très suffisamment son équilibre, tant longitudinal que transversal ; malgré ce grand progrès, n'oublions pas pourtant que les appareils qui l'ont réalisé ne sont encore que des machines très imparfaites et infiniment perfectibles, ce dont aucun sage ne saurait douter.

Nous étonnerons sans doute quelques-uns de nos lecteurs en leur disant que des résultats probablement analogues auraient déjà pu être obtenus il y a environ quarante ans. A cette époque toutes les données utilisées et mises en pratique aujourd'hui étaient connues ; nous n'avions pas, il est vrai, le léger moteur à pétrole qui fait florès de nos jours, mais nous avions la possibilité de construire des machines à vapeur guère plus lourdes, à force égale, que nos moteurs actuels et susceptibles en tous cas, de permettre d'emporter des approvisionnements suffisants pour une marche de quelques minutes, c'est-à-dire à peu près aussi longue que ce que l'on obtient aujourd'hui ; après, l'on aurait certainement été arrêté par l'accroissement des poids ; mais qui sait, en présence des premiers résultats, quelles inventions n'auraient pas jailli du cerveau des chercheurs. Mais nous étions alors, en France, ce que nous avons longtemps été, ce que beaucoup sont encore de nos jours, de parfaits routiniers, et les quelques hommes qui osaient parler ouvertement de progrès à réaliser par l'aviation étaient souvent considérés comme des esprits déséquilibrés ; nous en savons personnellement quelque chose ; la plupart ont dû abandonner la lutte, vaincus par l'indifférence et quelquefois l'hostilité générale.

Nous n'avons commencé à nous ressaisir qu'en apprenant que l'étranger travaillait la question et y obtenait même quelques succès. C'est alors que quelques esprits clairvoyants comprirent enfin l'avenir certain de la science renaissante et que surgirent heureusement les Archdeacon, les Ferber, les Deutsch de la Meurthe (que ne se sont-ils éveillés plus tôt) dont l'enthousiasme éclairé suscita le mouvement que nous constatons aujourd'hui. Le moteur d'automobile, réduit de poids par quelques ingénieurs bien inspirés, et parmi lesquels nous devons une mention spéciale à Levavasseur, nous permit enfin d'espérer un succès devenu relativement facile, puis, des hommes nouveaux comme les Voisin, Blériot, Farman, Santos-Dumont, Delagrange, etc. (j'en passe, et d'excellents), aidant et payant de leur bourse et de leurs personnes, ce succès est venu et maintenant le progrès est en marche, rien ne doit plus l'arrêter ; nous en sommes personnellement très heureux.

Mais qu'il soit permis à un ouvrier de la première heure de donner son opinion au sujet des expériences étrangères qui ont stimulé notre émulation. Nous devons rappeler en première ligne les expériences si intéressantes, mais si malheureusement terminées de Lilienthal. En parcourant ses écrits, nous trouvons d'abord que Lilienthal avait en vue surtout de pratiquer le vol à voile, tel que le pratiquent beaucoup de gros oiseaux ; il était convaincu qu'avec de l'exercice, il parviendrait à imiter la nature ; et quand, vers la fin de sa carrière, il parla de munir son appareil d'un moteur, il n'avait en vue que de pouvoir suppléer momentanément à l'insuffisance du vent pour se maintenir quand même dans l'air au moyen de quelques battements de l'extrémité des ailes de son appareil ; il était donc, on le voit, assez éloigné de l'aéroplane et, à cause de cela, nous pensons qu'il n'aurait jamais réussi ; son appareil qui eut alors été, moitié voilier, moitié ornithoptère, ne nous semblant pas appelé au moindre succès ; son moteur, d'ailleurs, qui devait avoir une

puissance de deux à trois chevaux, aurait été notoirement insuffisant. Malgré cela, ses expériences contre le vent, en se faisant enlever par un planeur, certainement assez difficile à maintenir en équilibre, n'en sont pas moins fort remarquables ; elles ont eu, pour tous, l'avantage de rappeler l'attention sur l'aviation et, à ce titre, nous ne pouvons

Fig. 1. — Lilienthal s'exerçant à faire du vol à voile sur son appareil à une surface de 1892 et 1893.

que glorifier sa mémoire. Il avait dit cette chose fort juste que ce n'était que peu de chose d'imaginer et même de construire un appareil d'aviation, mais que le tout était de savoir s'en servir. C'était très judicieux, surtout parce qu'il s'agissait d'un appareil destiné à pratiquer le vol à voiles. Mais, dans la suite, ce raisonnement fut appliqué à tous les appareils destinés à voler, que ceux-ci soient de simples planeurs sans moteurs ou de véritables aéroplanes munis de leur machine, hélice, etc.

On a même avancé cette proposition au moins bizarre : les oiseaux eux-mêmes sont obligés d'apprendre à voler. Nous croyons que pour avancer une telle énormité, il faut n'avoir jamais observé, ou avoir observé bien mal ; il est possible qu'on ait pu constater qu'un jeune oiseau, quittant son nid trop tôt, avait toujours quelque peine à y revenir et que ce n'est que graduellement qu'il arrivait enfin à faire en sécurité toutes les sorties et les évolutions qui caractérisent le vol de son espèce ; mais, est-ce bien là apprendre à voler ; nous n'en croyons rien et sommes bien persuadé que si les premiers vols de cet oiseau ont été quelque peu difficiles, on ne saurait attribuer ce fait qu'à la témérité du jeune volatile qui, dans son impatience, a voulu tâter du vol alors que ses ailes n'étaient pas encore complètement formées, ses rémiges pas assez rigides, et surtout, la force de ses muscles encore insuffisante. Prenez donc un oiseau tout jeune, encore au nid, élevez-le enfermé, sans contact avec ses congénères et, lorsqu'il aura sûrement atteint son entier développement, qu'il sera complètement adulte, lâchez-le ; vous pouvez être assuré qu'il n'aura aucune hésitation à prendre son vol, et ce vol, qui sera celui de son espèce, lui permettra aussitôt toutes les évolutions propres à cette espèce, vous donnant ainsi la preuve qu'il n'a eu besoin d'aucun apprentissage.

Quoi qu'il en soit, nous sommes bien persuadé que la conduite d'un aéroplane complet est beaucoup plus facile que celle d'un simple planeur destiné à faire du vol à voiles, surtout si cet aéroplane est bien conçu, ce qui n'a pas toujours été le cas. C'est ainsi que nous avons vu les Américains, qui les premiers ont tenté de continuer les expériences de Lilienthal, employer des appareils assez différents de ceux de l'ingénieur allemand ; celui-ci avait employé des appareils rappelant quelque peu l'oiseau ; c'était très rationnel puisqu'il

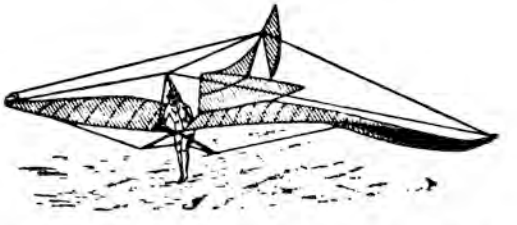


Fig. 2. — Premier appareil de Lilienthal imitant la forme et la courbure des surfaces de l'oiseau (1891).

cherchait à l'imiter ; il avait obtenu en peu de temps des résultats assez satisfaisants ; dans ses dernières expériences, il avait cependant sensiblement modifié son type original et avait essayé l'emploi de deux paires d'ailes superposées ; enfin un jour qu'il expérimentait avec un appareil détérioré et

insuffisamment réparé, celui-ci se brisa en l'air et le malheureux fut tué.

Les appareils dont les Américains se sont d'abord servis pour continuer les études de Lilienthal étaient à plans multiples, plus ou moins mobiles et placés les uns au-dessus des autres ; il y en eut d'abord six, puis cinq, puis quatre, et ainsi de suite, n'obtenant que de médiocres résultats, quoique pourtant ceux-ci devinssent meilleurs à mesure que le nombre des plans diminuait ; enfin, ils s'en sont tenus à deux ; l'on peut se demander pourquoi ils se sont arrêtés en si bon chemin (pour des raisons de facilité de construction, parait-il). Cependant, avec ces appareils, après bien des années d'exercice, ils ne sont jamais arrivés à des résultats aussi concluants que ceux obtenus par Lilienthal ; leurs vols n'atteignant guère plus du tiers de la longueur de ceux de ce dernier ; nous en avons compris la cause dès que nous avons eu connaissance de la disposition des appareils américains ; ceux-ci, en effet, étaient d'abord munis d'une queue assez bien placée, mais évidemment trop bas et trop petite ; les résultats étaient médiocres ; mais, au lieu de faire cette queue plus grande et mieux appropriée à leurs appareils, ils la placèrent par devant, assez près des plans sustenteurs, et encore insuffisante, suivant nous ; or, à cause de cette disposition défectueuse de la queue, l'équilibre de-

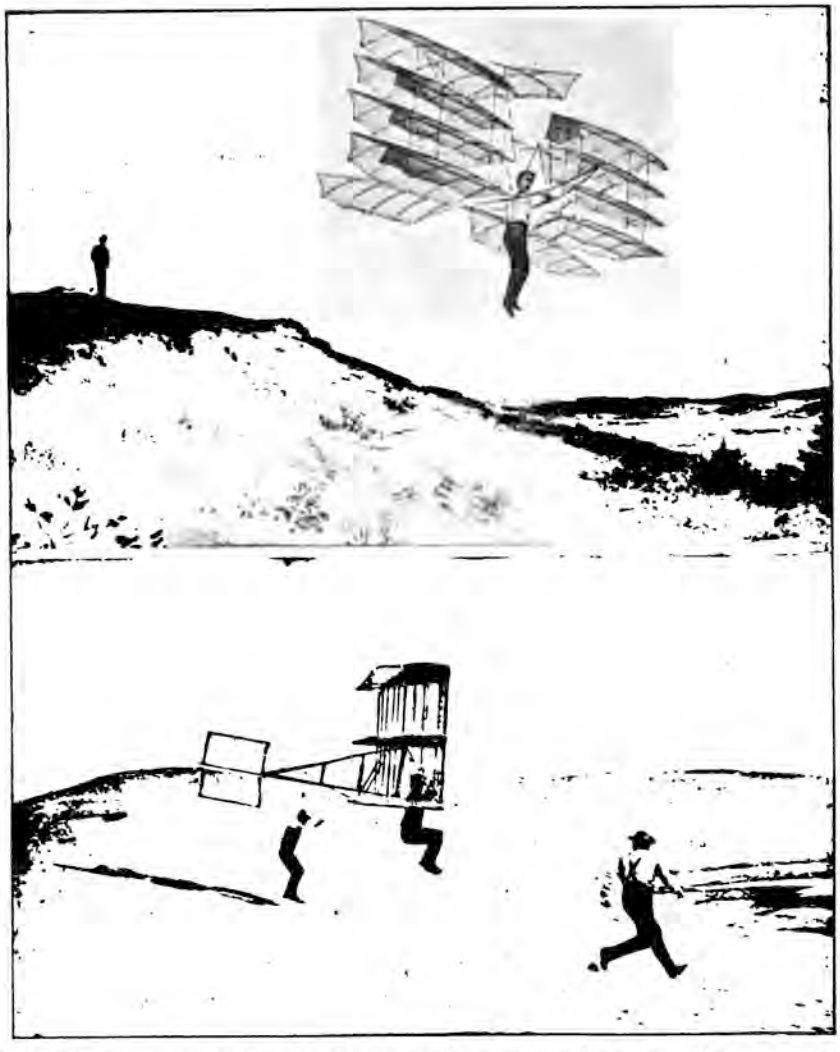


Fig. 3. — En haut, premier type de planeur américain à surfaces multiples superposées. En bas, appareil américain réduit à trois surfaces.

venait fort difficile à maintenir et les expérimentateurs se sont débattus pendant des années contre cette difficulté qu'il était si facile de vaincre par un dispositif plus ra-

Fig. 4. — Appareil planeur américain à deux surfaces et à queue en arrière.

années, tout en montrant au monde que nous n'étions pas encore dénués d'initiative. Aujourd'hui, il semble qu'on ait enfin compris ; les appareils nouveaux ont la queue plus éloignée, mais il subsiste encore, comme par une sorte d'atavisme, un gouvernail à l'avant ; cependant, nous devons constater qu'il tend de plus en plus à disparaître ; espérons que bientôt aussi disparaîtront les plans multiples qui ne nous paraissent pas propices aux grandes vitesses que nous devrons atteindre dans un avenir assez proche sans doute ; cependant nous devrons conserver quelques machines de ce type, destinées à faire faire leurs premiers pas, ou plutôt leurs premiers

Fig. 5. — Planeur américain à queue ou gouvernail horizontal par devant.

tionnel. De là, cette véritable légende dont on commence seulement à s'affranchir, que de conserver l'équilibre d'un aéroplane en plein vol demande un fort long apprentissage ; les Américains ont mis, en effet, bien des années pour obtenir de leurs appareils des résultats médiocres, alors que nous commençons à voir, en France, qu'en disposant la queue de nos appareils d'une dimension suffisante et en la plaçant à une distance convenable, l'équilibre est à peu près automatique et que, en quelques heures d'exercice, nos pilotes peuvent conduire leurs aéroplanes avec toute la sécurité désirable, au moins sous le rapport de l'équilibre.

Nous ne pouvons que regretter qu'on ait commencé chez nous par copier un peu trop servilement les appareils si défectueux d'outre-Atlantique malgré nos avis réitérés ; l'on aurait pu peut-être gagner quelques vols, aux débutants un peu timides ; ces appareils moins rapides ne pourront que faciliter leurs premiers exercices ; ce sera certainement leur seule utilité dans l'avenir. Les Américains qui utilisent toujours ce type auraient à leur actif, disent-ils, quelques beaux succès, obtenus déjà depuis plusieurs années par les frères Wright ; la chose nous parut d'abord possible, donc admissible ; mais depuis que nous avons pu voir les difficultés de conduite d'un tel genre d'appareil, nous sommes devenus plus sceptique et, enfin, le mystère dont ils ont voulu s'entourer a achevé de fixer notre opinion : ils ont sans doute obtenu quelques résultats, mais il est probable, sinon certain, que ces résultats sont loin d'être ceux qui avaient été d'abord annoncés ; enfin il est probable aussi que nous avons franchement repris le premier rang parmi les na-

tions qui s'occupent de cette question ; d'après nos antécédents, cela nous devait bien revenir.

Mais il faut nous occuper maintenant de rechercher les moyens les plus rationnels pour progresser aussi rapidement que possible, tout en n'adoptant que des théories dont l'exactitude soit démontrée par l'expérience ou une pratique suffisante ; passons donc en revue ces moyens.

CHAPITRE II

Recherches sur les lois de la résistance de l'air

La valeur absolue de la résistance de l'air pouvant être d'une grande utilité lorsqu'il s'agit de déterminer l'étendue et la forme convenables à donner aux surfaces portantes d'un aéroplane, nous allons exposer ce que nous connaissons sur ce sujet en nous efforçant de faire ressortir les points douteux et sur lesquels les études nous paraissent encore incomplètes ; nous attirerons surtout l'attention sur les effets de cette résistance dans les actions obliques, celles-ci étant d'une application constante en aviation ; nous ferons aussi ressortir l'importance de la forme des plans.

Les plus anciennes lois connues sur ce sujet ont été émises par Newton ; ce sont les suivantes :

1° La résistance est normale à la surface ;
2° Elle est proportionnelle au carré de la vitesse ;
3° Elle est proportionnelle à la densité du fluide ;
4° Elle est proportionnelle au carré du sinus de l'angle d'incidence ;
5° Elle est proportionnelle à l'étendue de la surface.

Depuis Newton, bien des chercheurs se sont livrés à l'étude et à la vérification de ces lois ; citons parmi les principaux : Borda, d'Alembert, Dubuat, Bossut, Hutton, Avanzini, Thibault, Duchemin, etc., etc., dont les travaux ont jeté sur ce sujet un jour nouveau et modifié très sensiblement les lois, toutes théoriques d'ailleurs, du grand physicien anglais ; nous allons les reprendre une à une et voir dans quel sens elles ont été modifiées par les expériences des savants qui ont repris l'étude de cette question.

1° **La résistance est normale à la surface.** Cette proposition paraît d'abord parfaitement exacte ; les molécules qui composent un fluide ayant, les unes autour des autres, une extrême mobilité, on conçoit que tout excès de pression, dans quelque sens qu'il se produise, se traduira toujours par un effort normal à la surface qui lui sera opposée ; pourtant, il peut naître un doute sur ce point, car malgré la mobilité des molécules, la pression ne se répand pas régulièrement sur toute l'étendue de la surface ; cette pression se fait surtout sentir vers le bord avant de la surface en mouvement : affaire d'inertie des molécules fluides qui sont d'abord déplacées par la partie avant, c'est évident ; mais pourquoi la pression, plus forte en avant, ne se transmet-elle pas à toute la surface ? Car le centre de pression conserve sa place, même lorsque le mouvement est très ralenti, ou tout au moins ne se déplace dans ce cas que d'une façon inappréciable ; son principal changement de position est dû surtout aux variations de l'angle d'incidence et suit une certaine loi découverte par Avanzini et formulée plus tard, en 1870, par Joessel : lorsqu'un plan se meut dans un fluide, normalement à sa direction, le centre de résistance est au centre de figure, ce qui est rationnel ; mais dès qu'on incline le plan sur la direction de son mouvement, le centre de résistance se rapproche graduellement du bord qui est le plus avancé, jusqu'à se trouver à une distance de 1/5 de la longueur du plan, point qui sera atteint lorsque l'angle d'incidence sera minimum. La formule indiquée par Joessel pour déterminer la distance d du bord antérieur à laquelle se trouve le centre de pression du fluide sous un plan de longueur L et se mouvant sous l'incidence a est : $d = (0,2 + 0,3 \sin a)$ L ; équation qui donne la position cherchée pour tous les angles. On peut aussi trouver la position du centre de pression sous un plan oblique par

la méthode graphique : Soit (fig. 6) un plan CA en mouvement suivant la direction indiquée par une flèche, au bas de la figure ; supposons que ce plan puisse prendre les diverses positions indiquées par C1, C2, etc., jusqu'en CA', où il sera normal à la direction ; pour déterminer la distance *d* à laquelle se trouvera le centre de pression par rapport au point C et pour chacun des angles que pourra faire le plan avec sa trajectoire, nous tracerons une demi-circonfé-

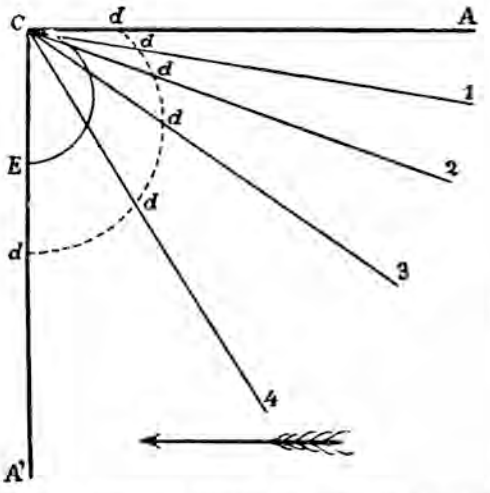


Fig. 6. — Positions variées du centre de pression selon l'inclinaison d'un plan sur sa trajectoire.

rence tangente à C et dont le diamètre CE sera des 3/10 de CA ; puis, prenant une longueur égale aux 2/10 de CA, nous la porterons successivement, sur CA d'abord, puis, du demi-cercle que nous venons de tracer sur C1, C2, etc., de sorte qu'arrivé sur CA', la distance de C à *d* se trouvera atteindre les 3/10 + les 2/10 de CA' et se trouvera ainsi aux 5/10, c'est-à-dire au milieu du plan, tandis que, sur CA, nous n'aurons pu porter que 2/10 seulement ; sur toutes les autres positions du plan, le point ainsi trouvé indiquera la distance *d* à laquelle se trouvera le centre de pression, cette distance étant mesurée à partir de C. En réunissant par une ligne ponctuée les points ainsi trouvés, on aura la distance *d* pour toutes les inclinaisons intermédiaires de CA ; mais ceci ne résout pas le problème de savoir si la pression reste normale au plan ; nous croyons pourtant qu'on peut l'admettre tant qu'il s'agit de plans plats ; mais que se passe-t-il lorsque les plans, comme ceux qu'on emploie dans les aéroplanes, sont plus ou moins creux par leur face qui s'appuie sur l'air ? la résistance est-elle normale à la corde de l'arc de courbure ? peut-être ; mais puisque nous avons vu que, dans les actions obliques, le centre de pression se porte en avant du centre de figure, ne pouvons-nous admettre que la pression normale soit perpendiculaire à une tangente à la courbe au lieu où se trouve précisément le centre de cette pression ? C'est bien possible et quelques auteurs l'ont admis ; nous croyons pourtant ne pas devoir nous pronon-

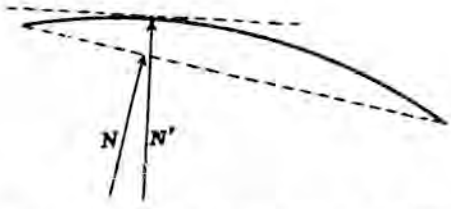


Fig. 7. — Inclinaisons différentes de la normale suivant qu'elle est considérée comme normale à la corde ou comme normale à la tangente au centre de pression : N normale à la corde ; N' normale à la tangente.

cer sur ce point qui ne semble pas suffisamment élucidé.

Mais nous allons voir qu'une autre raison pourrait bien encore mettre en défaut la loi d'Avanzini et de Joessel, lorsqu'il s'agit de plans creux. Il est convenu qu'en vertu de cette loi, le centre de pression passe en avant du centre de figure ; mais nous savons aussi, d'autre part, que cette pression est d'autant plus grande que l'angle d'attaque est plus ouvert ; donc, dans le cas d'un plan courbe, que nous supposerons s'avançant parallèlement à la tangente à son bord avant où l'incidence est presque nulle, la pression sera aussi presque nulle vers ce point, puis ira en augmentant graduellement jusqu'à l'extrémité arrière où elle se trouvera la plus forte, puisque là, l'incidence sera la plus grande. On peut donc se demander si cet effet, combiné avec la loi d'Avanzini, ne va pas déplacer considérablement le centre de pression et, peut-être, changer aussi la direction de la normale. Il y a là encore un point qui n'est pas du tout élucidé et qui ne peut l'être que par des expériences assez compliquées et assez délicates. Actuellement, dans la construction des aéroplanes, on place ordinairement le centre de gravité vers le premier tiers de

la largeur des plans sustenteurs ; si la queue est un peu éloignée, elle corrige d'elle-même le faible écart qu'il pourrait y avoir entre la position choisie pour le centre de gravité et la position vraie qu'il devrait occuper, et, en cas d'insuffisance, on déplace légèrement quelques poids ; mais on s'inquiète peu de savoir si la résistance est ou n'est pas normale au plan, ce qui, d'ailleurs, n'a d'intérêt qu'au point de vue du rapport entre les composantes de la résistance et dont nous ne nous occuperons qu'en traitant du travail moteur à appliquer aux appareils en étude. Mais, pour en revenir à la loi de Newton, nous avons vu plus haut qu'elle n'est *peut-être* pas très exacte ; cependant, si cette inexactitude est réelle, elle n'est pas très inquiétante au point de vue spécial qui nous occupe.

2° **La résistance est proportionnelle au carré de la vitesse.** Cette deuxième loi est assez exacte, au moins pour les vitesses utilisables en aviation. Cependant, il est bon de faire la remarque suivante : l'air étant un corps éminemment compressible, il est évident qu'à mesure que la vitesse augmentera, ce fluide devenant plus dense au devant du corps en mouvement, ce corps éprouvera, de ce fait, une certaine augmentation de résistance, et l'inertie des molécules d'air ne sera plus seule en cause ; à l'arrière du corps, au contraire, se produira un vide relatif exerçant une sorte de succion qui tendra évidemment à retenir le corps, c'est-à-dire à augmenter encore sa résistance au déplacement. On peut calculer la valeur de cette dernière augmentation de la façon suivante : étant donné que l'air de densité moyenne peut se précipiter dans le vide avec une vitesse

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

H représentant la hauteur d'une colonne d'air supposée de densité régulière et correspondante à la pression d'une atmosphère ; dans ces conditions on a V = 416 mètres environ ; à cette vitesse on aurait donc, en arrière du corps en mouvement, le vide complet, c'est-à-dire une aspiration égale à 1 k. 03 par cmq ; il est vrai qu'au-delà de cette vitesse, cette aspiration demeurerait constante et ne saurait augmenter, tandis que, dans les vitesses comprises entre 0 et 416 mètres, cette dépression irait toujours en augmentant proportionnellement au carré de la vitesse, venant ainsi augmenter V^2 jusqu'à atteindre $2\,V^2$ à la vitesse de 416 mètres. La résistance pourra alors s'exprimer par :

$$R = V^2 \left[1 + \left(\frac{V}{416} \right)^2 \right] ;$$

ce qui, on le voit, pourrait à certaines vitesses augmenter assez sensiblement R pour qu'il en soit tenu compte ; remarquons toutefois que dans des appareils d'aviation cette augmentation serait assez négligeable, à cause des faibles vitesses que nous n'avons encore pu dépasser ; en effet, pour des vitesses de 40 mètres par seconde, que nous ne sommes pas près d'atteindre, cela n'augmenterait la résistance que de 1 /100e.

On voit donc, qu'en somme, s'il est vrai que la résistance de l'air croît plus vite que le carré de la vitesse, nous n'avons pas trop à nous en préoccuper dans nos projets d'aéroplanes.

3° **La résistance est proportionnelle à la densité du fluide.** Cette loi est sensiblement exacte, mais il nous faut ici présenter une remarque. En effet, le fluide dans lequel nous nous proposons d'opérer est l'air atmosphérique ; or, quelle est donc sa densité ? Il est évident qu'elle est très variable et qu'il serait un tant soit peu imprudent de toujours compter sur sa densité moyenne, telle qu'on l'admet généralement en physique, et qui est celle qui correspond à une pression de 0 m. 76 de Hg et ramenée à la température de 0° centigrade, cas dans lequel nous savons que sa densité est telle que son poids est de 1 k. 29 le mètre cube ; mais si nous supposons que nous expérimentions pendant la belle saison, alors que la température peut fort bien atteindre 30°, le poids du mètre cube d'air aura alors singulièrement diminué : étant donné que pour chaque degré centigrade d'augmentation de sa température, l'air se dilate de 1/273e de son volume à 0°, on voit qu'à 30°, par exemple, son poids sera réduit de 30/273e, et par conséquent, descendra à 1 k. 15 seulement le mètre cube ; si, d'autre part, le baromètre descend de 0 m. 02 ou 0 m. 03, ce qui n'aurait rien d'excessif, même en restant près du sol, le poids de l'air diminuera encore d'une nouvelle quantité 3/76, et il ne pèsera plus alors que 1 k. 11 à 1 k. 12, ce qui constituerait une diminution totale de 13 à 14 %,

et il est évident que ce ne serait pas négligeable ; enfin, nous devons prévoir que, dans un avenir que nous pouvons considérer comme assez prochain, nos aéroplanes seront appelés à s'élever au-dessus du sol à des hauteurs de plus en plus grandes, ce qui, pour chaque centimètre de Hg de dépression, diminuera encore la densité de l'air de 1/76. On voit donc qu'il nous faudra tenir compte de toutes ces causes de variations dans la densité du fluide sur lequel nous devrons nous appuyer ; attendons-nous à des changements météorologiques plus ou moins brusques et sachons prévoir des diminutions de densité pouvant atteindre de 15 à 30 % ; ce dernier chiffre pour le cas où nous nous proposerions de franchir quelque élévation montagneuse, et qui, dès lors, ne serait pas excessif. L'étendue de nos plans sustenteurs, ou les poids que nous voudrons leur faire porter, devront donc toujours être calculés en conséquence.

4° La résistance est proportionnelle au carré du sinus de l'angle d'incidence. Cette loi est complètement erronée et n'est exacte en aucun cas. Il est probable que la théorie sur laquelle Newton s'est basé pour l'énoncer, théorie qui pouvait sembler rationnelle, était la suivante : puisque, à mesure que l'angle d'incidence diminue, la projection dans le sens de la marche suit cette diminution, le nombre de filets d'air rencontrés doit diminuer aussi avec le sinus de l'angle ; si, en outre, on suppose le plan se mouvant horizontalement, comme dans les aéroplanes, l'air repoussé normalement au plan, pour une vitesse donnée, sera déplacé d'autant moins que l'incidence sera plus petite ; ainsi, nous aurons d'une part, le nombre des filets d'air plus petit et, d'autre part, leur déplacement plus petit ; ces deux effets étant tous deux les causes de la résistance éprouvée par le plan et aussi étant tous deux proportionnels au sinus de l'angle α, on conçoit qu'on ait pu écrire que cette résistance était proportionnelle à $\sin^2 \alpha$. Mais on va voir qu'il n'en est rien.

Peu à peu, en effet, on constatait expérimentalement qu'en partant de 90°, c'est-à-dire de l'attaque normale de l'air par le plan, la résistance n'allait pas en décroissant suivant le sinus de l'angle d'attaque à mesure qu'on fermait cet angle, en se rapprochant de l'incidence O, et encore moins suivant le sinus carré ; on avait trouvé qu'à 14° environ, la résistance était encore de la moitié de la résistance normale ; enfin dans les petits angles, elle était à peu près le double de ce qu'elle aurait dû être en admettant qu'elle soit seulement proportionnelle au simple sinus de l'angle d'incidence. Hutton, Thibault, et quelques autres expérimentateurs en avaient depuis longtemps fait la remarque, lorsque Duchemin, après de nombreuses expériences, nous donna la formule empirique suivante pour indiquer la proportionnalité de cette résistance relativement à l'incidence : la résistance R éprouvée par un plan se mouvant obliquement dans un fluide est :

$$R = \frac{2 \sin \alpha}{1 + \sin^2 \alpha},$$

que toutes les expériences faites depuis ont démontrée exacte.

Cette loi fut énoncée par Duchemin en 1842 et a été corroborée depuis, notamment par les travaux de Langley sur le même sujet, cinquante ans après notre compatriote ; cette loi était donc bien connue avant les travaux du physicien américain, et c'est à tort que quelques personnes lui en ont attribué la découverte. Reconnaissons que Langley était un savant d'une grande valeur, mais rendons à César...

En aviation, nous n'employons guère que de petits angles, ce qui est évidemment avantageux puisque alors la composante horizontale de la résistance est plus petite relativement à la composante verticale que nous devons rechercher aussi grande que possible ; dans ce cas, $\sin^2 \alpha$ est à peu près négligeable, puisque à l'angle de 6° environ, sa valeur n'est que de 0,01 (ou 1/100) ; nous pourrons donc, sans erreur bien sensible, admettre que la résistance, dans les aéroplanes, est proportionnelle à $2 \sin \alpha$ tout simplement.

Disons, entre parenthèses, que ces découvertes n'ont pas empêché que l'on ait continué de professer, et l'on professe peut-être encore, que la résistance qui nous occupe est, d'après la loi de Newton, proportionnelle au *carré du sinus* de l'angle d'incidence. C'est du moins ce que nous avons tous appris lorsqu'on nous enseignait la physique ; c'est nier l'évidence, mais une erreur officiellement consacrée est toujours bien difficile à déraciner et nous savons que celle-ci a encore de nombreux partisans parfaitement convaincus. On pourrait pourtant dé-

montrer que, en admettant cette loi du carré du sinus, la plupart des oiseaux n'auraient qu'une surface de voilure de moins de 10 fois celle qui leur serait nécessaire pour trouver sur l'air un appui suffisant à soutenir leur poids, ce qui ne laisserait pas d'être au moins compromettant pour notre science, car je crois que nous avons tous vu des oiseaux voler.

5° **La résistance est proportionnelle à l'étendue de la surface.** Ici encore nous sommes en pleine erreur, et nous allons voir de quelle façon considérable se trouve modifiée la résistance de l'air sous un plan de surface donnée, selon les variations qu'on peut apporter à la forme et, peut-être aussi, à l'étendue absolue de ce plan.

On a déjà remarqué depuis longtemps qu'un plan de forme irrégulière, rectangulaire par exemple, et que nous supposerons deux ou trois fois plus long que large, éprouve à se mouvoir dans l'air une résistance qui varie à peu près du simple au double, selon qu'on le fait progresser par l'un de ses bords étroits, ou par l'un de ses bords larges ; cette différence est d'autant plus accentuée que le plan est plus long par rapport à sa largeur. Ce phénomène peut, en partie, s'expliquer en admettant que, lorsque le plan s'avance par l'un de ses bords étroits, les filets d'air rencontrés ne pressent pas sous le plan jusqu'à son extrémité arrière, mais sont plutôt écartés et rejetés aussitôt latéralement sans que la surface en action ait éprouvé toute la résistance que ces

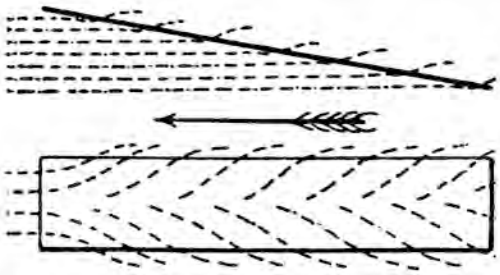


Fig. 8. — Directions prises par les filets d'air déplacés par un plan qui se meut par l'un de ses petits côtés. En haut, vue latérale ; en bas, vue par sa face inférieure ; la flèche indique le sens du déplacement du plan.

filets pouvaient lui offrir; tandis que, pendant la progression par le bord le plus large, les filets d'air ne peuvent s'échapper, retenus qu'ils sont par leurs voisins immédiats ; une petite partie seulement peut s'échapper près des bords étroits latéraux et ainsi la résistance qu'ils offrent peut être mieux utilisée. D'autre part, supposons un instant

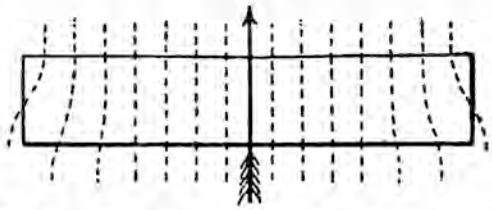


Fig. 9. — Directions des filets d'air déplacés sous un plan se mouvant, par son bord large, dans le sens indiqué par la flèche.

deux plans semblables, ayant tous deux 1 mètre sur 3 mètres et dont l'un se déplacera obliquement par l'un de ses bords de 1 mètre, pendant que l'autre fera le même mouvement, à la même vitesse, mais celui-ci par l'un de ses bords de 3 mètres ; au bout de 10 mètres de parcours, effectué en une seconde par exemple, le premier se sera appuyé sur une couche d'air de 1 × 10 = 10 mètres carrés ; alors que l'autre aura eu pour appui une couche de 3 × 10

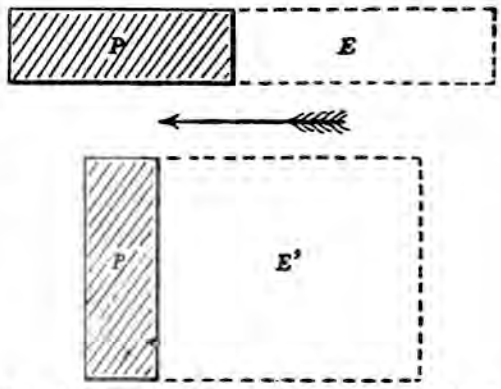


Fig. 10. — Un plan rectangulaire P se meut dans le sens de la flèche ; en haut, en s'avançant par un de ses bords étroits, il s'est appuyé, après un certain parcours, sur une étendue de fluide E ; en bas, en s'avançant par l'un de ses bords larges, le même plan, après le même parcours, s'est appuyé sur l'étendue E', beaucoup plus grande que E.

= 30 mètres carrés, c'est-à-dire trois fois plus que le précédent ; la surface choquante aura été la même dans les deux cas, alors que la surface choquée sera accrue dans le second ; aussi pourra-t-on admettre que le plan marchant en travers aura rencontré un point d'appui plus grand que l'autre ? Cela

semble presque rationnel et, d'ailleurs, toutes les expériences faites pour constater cet effet sont unanimement concluantes. La résistance n'est donc pas simplement proportionnelle à l'étendue de la surface ; mais dans quelle mesure la différence que nous venons de signaler se fait-elle sentir ? le manque d'expériences précises sur ce sujet nous oblige à la plus grande réserve ; mais on peut toujours affirmer que, toutes choses égales d'ailleurs, un plan oblique porte d'autant plus, par unité de surface, que son envergure est plus grande par rapport à sa longueur d'avant en arrière.

Nous avons déjà fait quelques aéroplanes qui nous ont servi à l'étude de l'aviation et qui tous volaient par leurs propres moyens ; tous avaient leurs plans sustenteurs en travers de la marche et, d'après les expériences et les calculs que nous avons pu faire avec ces appareils, il nous a semblé qu'en multipliant la résistance admise pour l'unité de surface par un certain coefficient, on pouvait obtenir d'une façon suffisamment approximative la valeur à attribuer à la résistance des plans étroits s'avançant par leur côté large ; ce coefficient était obtenu de la manière suivante : pour tout plan plus étendu en envergure qu'en longueur d'avant en arrière, nous cherchions le rapport de ces deux dimensions ; puis la racine carrée de ce rapport nous servait de coefficient. Exemple : un plan a 1 mètre sur 5 mètres ; rapport 1 : 5 ; la racine carrée de 5 étant 2,23, nous multiplions nos 5 mètres carrés par 2,23 et nous trouvons que le plan en question doit éprouver une résistance égale à celle d'un plan de 5 × 2,23 = 11,15, c'est-à-dire de plus du double de celle d'un plan de même surface mais de forme régulière. Cependant, empressons-nous de dire que ce calcul ne nous semble applicable que lorsque le rapport des deux dimensions n'est pas très grand, comme d'ailleurs c'était le cas dans nos expériences. Si ce rapport dépasse 6, c'est l'inconnu ; il est évident, en effet, que si le rapport atteignait 20 ou 30, la résistance cesserait d'augmenter suivant la progression que nous indiquons ci-dessus ; mais dans quelle mesure augmenterait-elle encore ? Impossible de répondre à cette question tant qu'on n'aura rien déterminé par quelques bonnes expériences.

Pourtant, dans la construction d'un aéroplane, il sera bon d'utiliser cette propriété de la forme étroite des plans ; c'est d'ailleurs ce qu'on fait assez généralement ; à défaut d'autres preuves de l'efficacité de cette disposition, nous pouvons toujours considérer les oiseaux : la nature impeccable les a évidemment munis des surfaces les mieux appropriées en vue du résultat à atteindre, savoir : utiliser au mieux les surfaces les moins lourdes et les moins encombrantes, tout en les laissant suffisantes pour supporter le poids de l'animal ; nous devons admettre qu'elle a assez bien résolu ce problème. Or, comme il est évident qu'un bon

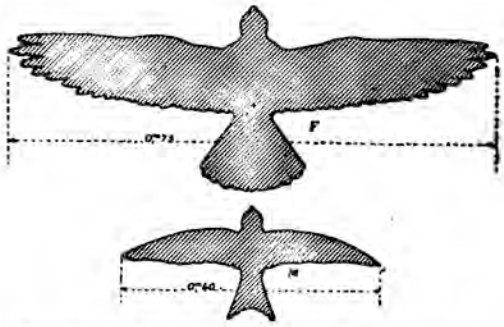


Fig. 11. — Projection sur un plan horizontal des surfaces portantes d'un faucon F, d'après Mouillard, et d'un martinet M, d'après l'auteur.

aéroplane devra toujours être un bon planeur, je crois que nous ne risquerons rien en adoptant les formes de plans sustenteurs que nous trouvons chez les oiseaux, ou tout au moins des formes assez voisines, et nous estimons que, dans cette voie, nous ne risquerons guère de nous égarer ; il est même probable que nous aurions quelque peine à faire mieux. Or, chez eux, on trouve parmi les volateurs seulement passables, un rapport des dimensions des ailes de 1 : 5 ; chez de bons volateurs, comme la série des faucons, on a 1 : 6 au moins ; chez les oiseaux rapides, comme les martinets et leur famille, on constate 1 : 8 ; chez les oiseaux de mer un peu gros, comme les procellariés, qui sont des volateurs tout à fait remarquables, on a 1 : 10 et même au bout de la série on trouve, chez l'albatros, 1 : 20 et quelquefois plus encore. Dans quelle mesure la résistance de l'air est-elle modifiée dans ces cas d'extrême allongement transversal du plan sustenteur ? C'est encore un des points qui restent obscurs.

On a remarqué aussi depuis longtemps, que lorsqu'un plan présente une certaine courbure, sa résistance au déplacement est sensiblement augmentée quand, bien entendu, cette courbure se présente au vent

relatif par son côté concave : Poncelet voulait que, dans ce cas, la résistance éprouvée fût proportionnelle, non pas à la projection de la surface ainsi courbée, mais à son étendue absolue développée à plat ; on voit que pour de faibles courbures l'augmentation de résistance serait assez insignifiante ; pourtant Thibault, dans ses expériences, a trouvé que cette augmentation atteignait 20 à 23 % pour un arc de courbure de 20° ; il a fait aussi des expériences sur des plans dont l'arc atteignait 40° et 60° ; l'accroissement était alors plus grand, mais ne permettait pas d'expérimenter sur les petits angles auxquels nous devons nous en tenir en aviation, car ses plans étant en étoffe tendue par ses bords avant et arrière, lorsqu'il voulait fermer l'angle d'incidence au delà d'une certaine limite, l'air les frappait vers l'avant par leur partie supérieure qui, se trouvant ainsi dégonflée, réduisait l'étendue de la surface en expérience, ce qui devait fausser les résultats. Mais d'autres expérimentateurs auraient, paraît-il, employé des plans courbes rigides en les faisant mouvoir suivant un angle beaucoup plus petit que celui qui correspondrait à une trajectoire tangente au bord d'attaque et auraient alors trouvé une résistance beaucoup plus grande, presque double de celle éprouvée par un simple plan plat à la même incidence.

Des expériences de Phillips en 1891 ont suggéré à Lillienthal l'idée de faire des essais sur ce sujet intéressant et ce dernier trouva que, dans de petits appareils d'étude de 1/2 à 1 m² de surface, la courbure la plus avantageuse était celle dont la flèche était d'environ le 1/12 de la corde ; mais dans les expériences qu'il fit ensuite sur des appareils planeurs assez grands pour porter le poids d'un aviateur, il trouva que les meilleurs résultats étaient obtenus lorsque la flèche ne dépassait pas 1/18 à 1/20. On voit donc, qu'ici encore, il reste un point très intéressant à élucider, et en attendant qu'il le soit, nous ne pouvons que conseiller de s'en tenir à ce qui semble le plus rationnel, c'est-à-dire adopter la plus grande courbure possible à la condition, toutefois, que cette courbure soit telle que le plan en mouvement ne frappe jamais l'air par sa face dorsale, ce qui sera obtenu quand la courbe du bord avant sera tangente à la trajectoire ; cela ferait une flèche moitié plus courte que celle trouvée par Lillienthal, mais il faut remarquer que nos appareils sont appelés à fonctionner sous des angles qui, très probablement, seront beaucoup plus petits que ceux que Lillienthal obte-

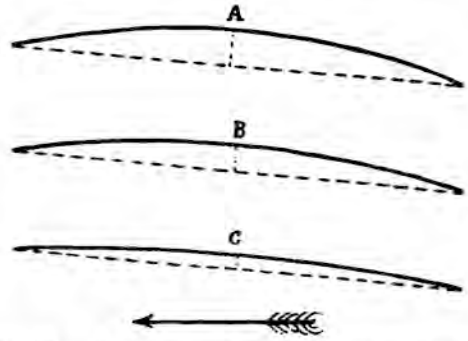


Fig. 12. — Diverses courbures antéro-postérieures d'un plan. A, courbure dont la flèche est du 1/12 de la corde ; B, la flèche n'est que de 1/18 ; C, la courbure est telle que le bord avant soit tangent à la trajectoire, quand le plan se déplace dans le sens de la flèche indiquant la direction et sous l'inclinaison de 1/10.

nait sur son vent relatif pendant ses glissades et qui, d'ailleurs, ne sont pas connus d'une façon bien certaine.

Chez l'oiseau, que nous devons toujours considérer comme le modèle idéal, on remarque une courbure assez accentuée des plumes de l'aile d'avant en arrière ; mais cette remarque ne peut guère se faire que sur un oiseau au repos ou sur un oiseau mort ; quelle est l'importance de cette courbure lorsque l'oiseau s'appuie de tout son poids sur l'air ? Ce serait bien difficile à déterminer ; cependant nous possédons quelques photographies instantanées, prises par Marey pendant le vol, où nous pouvons constater que la courbure est bien peu sen-

Fig. 13. — Extraite du « Vol des oiseaux », par Marey. Pigeon, d'après une photographie instantanée.

sible ; elle est cependant encore visible, mais bien peu. Enfin nous dirons que Pénaud a cherché à se rendre compte de la courbure

probable des plumes de l'aile chez l'oiseau en action, par un procédé assez élégant : il étendait les ailes d'un oiseau sur une table en fixant leur bord antérieur ; puis il chargeait les plumes jusqu'à ce que les ailes deviennent plates, ou à peu près, et prétendait, en additionnant les poids employés, trouver le poids approximatif de l'animal en expérience ; il aurait, paraît-il, trouvé ce procédé très exact chez quelques grosses espèces.

Ce que nous venons de dire des variations de la résistance de l'air selon les formes qu'on voudra donner aux surfaces en action s'entend de surfaces disposées de telle façon que le fluide qu'elles rencontrent soit en état de repos, au moins relativement à l'appareil en expérience, seul cas dans lequel on puisse compter sur tout l'appui offert par l'inertie de ce fluide ; mais il n'en serait plus de même si on trouvait, environnant ces surfaces, des objets divers tels que : haubans trop nombreux et trop volumineux, corps de personnes ou de machines, ou enfin différents organes ou accessoires qui, en déplaçant partiellement l'air, enlèveraient certainement à ces surfaces une partie de leur efficacité à cause de la plus grande difficulté de l'écoulement du fluide, ce qui provoquerait une altération du rapport entre les composantes de la résistance normale, la composante horizontale augmentant sans doute par suite de la plus grande résistance à la pénétration tandis que, au contraire, la composante verticale diminuerait à cause de l'entraînement partiel du fluide ambiant par les objets environnants ; mais nous admettons que, en général, l'ingéniosité de nos constructeurs saura rendre ces effets nuisibles aussi négligeables que possible ; il sera bon pourtant d'y penser.

C'est à cause des considérations présentées ci-dessus que nous craignons que, malgré la facilité de construction qu'il procure, l'emploi de plusieurs plans superposés ne soit pas une disposition avantageuse ; ces plans devant évidemment se nuire mutuellement, au moins dans une certaine mesure, quoique cependant moins que lorsque des plans multiples sont placés les uns derrière les autres ; de nombreuses expériences ont déjà démontré, d'ailleurs, que dans ces cas, on est obligé, pour soutenir le même poids, d'avoir recours à des surfaces beaucoup plus étendues que lorsqu'on n'emploie qu'un plan unique. Nous croyons qu'à ce point de vue l'on peut encore s'en rapporter à la nature et soyons persuadés que nous ne sommes pas près de construire des plans sustenteurs don-

Fig. 14. — Plan se mouvant obliquement dans des filets de fumée. On voit que l'ensemble des filets est quelque peu envoyé vers le bas après le passage du plan et que le fluide est encore troublé, assez loin en arrière. (Expérience de Marey.)

nant de meilleurs résultats que ceux qu'elle a obtenus.

Il nous faut encore examiner un autre point qui nous semble bien aussi infirmer cette loi de la proportionnalité de la résistance à l'étendue de la surface. Depuis longtemps, les physiologistes et les naturalistes ont constaté que les oiseaux, ayant tous des formes et des proportions sensiblement les mêmes, malgré leurs différences de dimensions, se trouvaient de ce fait d'autant plus voilés relativement à leur poids qu'ils étaient plus petits ; ce qui est tout géométrique, d'ailleurs, puisque les surfaces croissent comme les carrés des dimensions linéaires, alors que les poids croissent comme les cubes de ces dimensions. Il y a certainement dans les formes des oiseaux des différences assez sensibles de telle espèce à telle autre, mais il est évident que, quelques exceptions à part, ils ont dans leur ensemble la même conformation ; on peut donc se demander pourquoi, chez des oiseaux de petite taille, le mètre carré de surface alaire ne peut porter 2 kilos, tandis que chez les gros, qui sont sensiblement construits dans les mêmes proportions, ce même mètre carré peut porter 10 kilos. D'après les quelques recherches que nous avons pu faire sur cet intéressant sujet, nous avons pu constater qu'il faut de 90 à 100 petits oiseaux pour qu'ensemble leurs ailes atteignent le mètre carré qui porte si peu, alors que chez les gros un seul oiseau de 10 kilos atteint cette étendue de voilure ; de là à supposer que l'air portait plus, relativement, sous les grandes surfaces que sous les petites, il n'y avait qu'un pas : nous avons essayé de le franchir. Remarquons tout d'abord qu'il n'y a pas lieu de faire intervenir ici une question de

vitesse qu'on pourrait supposer plus grande chez les plus gros ; il n'en est rien ; tous les oiseaux, au moins comme moyenne, ont une vitesse normale qui est sensiblement la même chez tous, les petits volant même assez souvent plus vite que les gros : un pigeon vole plus vite qu'un vautour qui est pourtant 30 fois plus lourd que lui ; enfin une hirondelle, 15 fois plus légère qu'un pigeon, vole aussi plus vite que ce dernier ; la dépense de travail des muscles doit être, a-t-on dit, plus grande chez les grands ; il n'en est rien non plus, car les muscles qui actionnent les ailes sont, chez tous, dans un rapport constant avec le poids total du corps : 1/6 environ ; de plus, nous savons que les gros, même lorsqu'ils sont obligés de ramer constamment, n'en font pas moins des trajets aussi longs que les petits et on a constaté qu'ils peuvent même rester en l'air beaucoup plus longtemps qu'eux. Il semble donc assez rationnel d'admettre que les grandes surfaces portent relativement plus que les petites.

Nous avons alors recherché si quelques précédents ne confirmeraient pas cette hypothèse et nous avons trouvé que, dès 1763, Borda avait déduit de ses expériences que la résistance de l'air était proportionnelle, non pas à la simple surface, mais à la puissance 1,1 de cette surface. Plus tard, en 1826, Thibault, dont les importants travaux sur la résistance de l'air sont bien connus, a voulu vérifier l'exactitude de la valeur trouvée par Borda ; à cet effet, il expérimenta sur des plans dont les surfaces étaient dans le rapport de 1 : 4 et les chiffres qu'il trouva ainsi concordaient assez bien avec ceux qu'avait trouvés Borda ; cependant d'autres expériences encore font admettre par Thibault qu'il est probable que les différences constatées ne sont que des erreurs dues aux difficultés de contrôle de ces expériences. Nous estimons devoir faire quelques réserves à ce sujet.

C'est à la suite de ces constatations que nous avons pensé à appliquer aux oiseaux un calcul conforme à la thèse de Borda. Dans ce but, nous avons d'abord réuni un groupe de dix petits oiseaux, comprenant de bons et de médiocres volateurs, puis nous avons mesuré leurs surfaces et leurs poids ; nous avons obtenu ainsi une série initiale dans laquelle le mètre carré d'ailes porte un peu moins de deux kilos. Puis nous avons pesé et mesuré une seconde série, celle-ci de poids moyens, et en prenant pour point de départ notre série initiale, nous avons trouvé par le calcul que l'étendue des surfaces, dans cette seconde série, décroissait assez exactement dans la proportion indiquée par Borda ; prenant ensuite une troisième série, composée cette fois de poids lourds, nous avons encore trouvé, par rapport à notre série initiale, une diminution relative des surfaces en concordance presque parfaite avec la thèse que nous cherchons à approfondir. Serait-elle donc exacte ? C'est bien probable ; en tout cas, si nous l'appliquons à quelques aéroplanes à un seul plan, tels qu'il en a été expérimenté quelques-uns assez récemment, on trouve encore une concordance très suffisante et même parfaite pour au moins l'un d'eux ; dans les calculs relatifs aux aéroplanes, nous avions pris comme point de départ initial une surface d'un mètre carré portant 10 kilos ; ces proportions étant à peu près celles qu'on rencontre chez les grands vautours et quelques autres grandes espèces. Ainsi donc, il serait possible, et personnellement nous serions tenté de l'admettre avec peu de réserves, que la résistance de l'air s'accroisse dans les proportions indiquées par Borda, c'est-à-dire comme la puissance 1,1 de la surface ; ce serait encore une des raisons pour lesquelles la dernière loi de Newton serait erronée.

La connaissance aussi parfaite que possible des lois qui nous occupent étant très utile, sinon indispensable, lorsqu'on se propose d'étudier un projet d'aéroplane, nous allons rechercher maintenant quelle valeur numérique absolue on peut donner au coefficient K dans l'équation : $R = K S V^2$; remarquons d'abord que c'est presque toujours de cette équation que l'on part, risque ensuite à attribuer à K les valeurs les plus diverses et les plus inattendues, et disons aussi le plus souvent injustifiées ; c'est ainsi qu'on trouve, suivant les auteurs, 65 grammes, 70, 86, 130, 180, puis 300 et même 700 et 800 grammes ; et pourtant presque tous sont dans le vrai ; il nous suffira pour l'admettre de constater qu'il n'est presque jamais indiqué que la valeur de K se rapporte à telle ou telle condition, d'étendue, de forme, d'incidence ou autres circonstances qui peuvent varier presque à l'infini et qui entraînent toujours une variation plus ou moins importante de cette valeur. Pour mettre un peu d'ordre dans ce chaos, procédons rationnellement : voyons d'abord quelle sera cette valeur lorsqu'il s'agira d'un

plan simple de 1 mètre carré se mouvant orthogonalement, c'est-à-dire normalement à sa trajectoire, et à la vitesse de 1 mètre par seconde. Newton admettait que, théoriquement, la pression exercée sur un plan en mouvement dans un fluide, à une vitesse déterminée, était égale au poids d'une colonne de ce fluide dont la hauteur correspondrait à la hauteur de chute nécessaire pour obtenir cette vitesse ; ceci semble, en effet, théoriquement exact ; or, nous savons que la hauteur H nécessaire pour obtenir la vitesse V est : $H = \frac{V^2}{2g}$; par conséquent, si nous supposons que V égale l'unité, et que la surface sur laquelle s'exerce la pression soit de 1 mq, nous aurons en désignant par Δ le poids d'un mètre cube du fluide : $K = \frac{\Delta}{2g}$; pour le cas où le fluide est l'air atmosphérique K = 0 k. 065.

Cette théorie, cependant, est sans doute incomplète, ce que les expériences ont démontré, d'ailleurs, puisque cette valeur de K a toujours été trouvée sensiblement plus élevée ; les plus récentes expériences, et qui semblent les plus précises, ont donné : par Ch. Renard 0 k. 085, et par Canovetti 0 k. 070 ; la raison de cette augmentation doit s'expliquer ainsi : pour que la théorie de Newton soit exacte, il faudrait admettre que la surface en expérience soit choquée par une veine fluide dont la section ne dépasserait pas la projection de cette surface perpendiculairement à la veine ; or, en réalité, il n'en est jamais ainsi quand on opère dans un milieu indéfini comme l'atmosphère, les filets avoisinant ceux qui ont rencontré le plan empêchent ceux-ci de s'échapper librement vers l'extérieur, d'où l'augmentation de résistance constatée dans toutes les expériences. Il semble donc probable que lorsque toutes les précautions auront été prises pendant les expériences de façon à ce qu'aucune influence étrangère ou extérieure quelconque ne vienne troubler l'atmosphère dans laquelle on opérera, lorsque enfin la surface en action sera bien isolée de façon à ce que l'écoulement de l'air déplacé puisse se faire sans la moindre entrave, l'on trouvera pour la valeur de K l'un des chiffres les plus faibles parmi ceux que nous avons cités plus haut. Quant aux autres chiffres, les plus forts, ils ont été constatés dans des expériences où la surface se mouvait obliquement et aussi sans indiquer quelle était la forme de cette surface, ni sa dimension absolue ; nous avons déjà vu quelles importantes modifications peuvent être apportées à la valeur de la résistance suivant qu'un plan est plus ou moins allongé transversalement ; que son inclinaison est plus ou moins grande par rapport à la trajectoire suivie ; qu'il est plus ou moins creux ; que ses dimensions sont plus ou moins étendues ; et enfin, sans doute, bien d'autres influences encore et que nous ne connaissons pas. Or, on a souvent compris dans K toutes ces circonstances pourtant si diverses et, de là, le grand désaccord observé, désaccord qui doit disparaître dès que toutes les conditions des expériences sont connues.

L'année dernière le capitaine Ferber put dire à l'Académie des Sciences : *qu'une surface se meuve orthogonalement ou presque tangentiellement à sa trajectoire, la résistance que l'air lui oppose est la même.* Il se basait sur les résultats d'expériences faites avec des aéroplanes pouvant porter un homme et cette constatation l'avait peut-être surpris ; elle peut cependant s'expliquer de la façon suivante : supposons qu'un plan d'un mètre, normal à la direction, éprouve une pression de 70 grammes à 1 mètre de vitesse ; que maintenant ce même plan se meuve sous un angle dont le sinus soit 0,1, ou environ 6°, ce qui est l'angle moyen des aéroplanes, la résistance deviendra : 70 × 2 sin α, d'après Duchemin, ce qui fera 14 grammes ; admettons maintenant que ce plan ait une étendue d'une quinzaine de mètres carrés, cela nous donnerait, d'après Borda, $\frac{14 \times 15^{1,1}}{15}$ = 28 grammes par mq ; si, en outre le plan offre un certain creux, sa résistance sera augmentée de ce fait, d'après Thibault, de 1 5 au moins, soit : 28 × 1,2 = 33,5 ; enfin si le plan est étendu en envergure de 5 ou 6 fois sa largeur, la résistance par unité de surface sera encore plus que doublée et nous obtenons alors pour chaque mètre carré le même chiffre 70 grammes que nous trouverions dans le mouvement orthogonal. Ferber avait donc parfaitement raison, tout paradoxal que le fait puisse paraître au premier abord.

De ce qui précède on peut déduire que la résistance de l'air, tout en ne nous étant connue que d'une façon encore indécise sur quelques points, l'est cependant très suffisamment pour nous permettre de calculer les dimensions à donner aux plans susten-

teurs de tel aéroplane projeté ; les quelques obscurités qui subsistent encore ont principalement trait à la valeur de K qui, comme nous l'avons exposé, est si variable suivant les formes que l'on peut adopter, mais nous croyons avoir indiqué suffisamment dans quel sens avaient lieu ces variations pour chaque cas déterminé.

Faisons remarquer aussi que tout ce que nous venons d'exposer s'applique à la résistance éprouvée par la face inférieure d'une surface se mouvant obliquement dans un fluide, comme c'est le cas dans les aéroplanes ; mais cette résistance doit être considérée comme normale au plan et par conséquent comme la résultante de deux composantes, dont l'une verticale doit faire équilibre à la pesanteur ; c'est celle qui nous donnera le poids disponible ; quant à l'autre composante, celle-ci horizontale, elle représentera l'effort à faire pour obtenir la progression de cette surface à la vitesse nécessaire à la sustentation de l'ensemble du système. La composante verticale aura donc pour expression : $Rv = R \cos \alpha$; tandis que la composante horizontale représentant l'effort de traction nécessaire à l'obtention de la vitesse sera $Rh = R \sin \alpha$. Nous verrons plus loin que cet effort est absolument

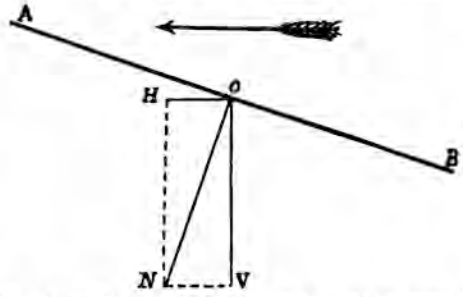


Fig. 15. — Plan AB se mouvant dans le sens de la flèche : la ligne ON lui est normale et sa longueur indique l'importance de la résistance éprouvée par le plan ; OV représente, de la même façon, la valeur et la direction de la composante verticale, et OH celles de la composante horizontale. Le rectangle HOVN est ce qu'on appelle le parallélogramme des forces.

insuffisant pour entraîner un aéroplane et nous chercherons le moyen de réduire autant que possible l'excédent de travail mécanique nécessité par l'imperfection de nos constructions.

CHAPITRE III

Des hélices aériennes

Cette partie de notre travail sera la reproduction, revue et sensiblement retouchée, d'une note que nous avons déjà publiée dans l'*Aérophile*, il y a quatre ans, et que nous pensons devoir reproduire à cause des demandes assez nombreuses qui nous ont été faites ; nous conserverons à cette note sur les hélices son caractère général, sans nous limiter exclusivement aux hélices d'aéroplanes, les hélices destinées aux aéronats ou aux hélicoptères offrant également un certain intérêt.

Les principaux organes que semble devoir utiliser la locomotion aérienne sont certainement les plans inclinés et les hélices ; ces dernières doivent même être assimilées à des plans inclinés se mouvant circulairement, ou bien, ce qui reviendrait au même, un plan incliné ne serait, pendant son déplacement, que la branche d'une hélice de rayon indéfini ; cela est évident puisque les plans inclinés comme les hélices, éprouvent, pour se mouvoir dans l'air, une résistance qui, dans les deux cas, est toujours proportionnelle au sinus de l'angle que forme le plan, ou la branche d'hélice, par rapport à la trajectoire que décrit l'objet en mouvement; c'est là la composante nuisible de la résistance totale, celle qu'il faudra toujours s'efforcer de réduire au minimum ; tandis que l'autre composante, perpendiculaire à la première, et par conséquent proportionnelle au cosinus de l'angle d'attaque est, dans les deux cas, celle que l'on cherche à utiliser et, dès lors, à rendre aussi grande que possible ; l'analogie entre le plan incliné et l'hélice est donc réelle. C'est ma manière de comprendre ce dernier organe, telle que je crois pouvoir la déduire de mes expériences et de mes observations, que je vais exposer ici.

Des hélices en général. — Une hélice est un organe destiné à transformer un mouvement circulaire, autour de l'axe d'un

arbre, en un mouvement de progression dans le sens de cet axe ; nous aurons alors une hélice propulsive. Mais si nous désirons avoir une hélice sustentatrice, tout le travail dépensé à faire tourner l'arbre devra être transformé en poussée ou effort dans le sens de la direction de l'axe, avec, dans ce cas, une progression nulle, ou du moins très faible. On conçoit que ces deux genres d'hélices ne sauraient être de même forme et que, par conséquent, il est logique de diviser les hélices en deux classes : les hélices propulsives et les hélices sustentatrices. Nous verrons tout à l'heure quelles différences dans leur construction sont nécessitées par leur destination. Rappelons d'abord quelques considérations qui doivent être communes à toutes les hélices, quel qu'en soit le genre.

Il est, je crois, assez facile de construire de bonnes hélices, très régulières de pas ; il suffit pour cela de tracer l'hélice géométriquement pure que nous comprenons bien tous ; une telle hélice doit avoir un pas unique dans toute son étendue, depuis le centre jusqu'à sa circonférence ; elle constituera ainsi une vis dont tous les points pourront progresser uniformément, ce qui semble une bonne condition ; on comprend, en effet, que si le pas était plus long à tel endroit qu'à tel autre, la région où le pas serait le plus long aurait une tendance à progresser plus vite que le reste qui, dès lors, viendrait rencontrer le fluide par sa face tournée en avant, créant ainsi une certaine résistance à cette progression. Une hélice doit donc, en principe, être de pas régulier ; nous verrons plus loin jusqu'à quel

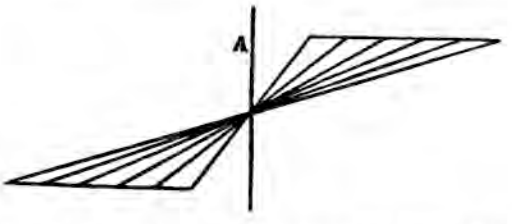


Fig. 16. — Montrant les inclinaisons successives que doit avoir une branche d'hélice régulière, supposée ici, vue par son bout extérieur et dont l'axe serait en A ; cette inclinaison, très peu accentuée vers le centre, arrive à son maximum à l'extrémité de la branche.

point et dans quelles conditions il peut être permis de s'écarter de cette forme.

L'hélice, qui est bien l'un des plus merveilleux organes dont dispose la mécanique, le transformateur de mouvement probablement le plus économique, a cependant eu, et a encore, beaucoup de détracteurs ; empressons-nous de dire que ceux-ci ne l'ont évidemment pas comprise ; on peut constater, d'ailleurs, que toutes les tentatives faites en vue de la remplacer par quelque autre organe ont piteusement échoué. Quelques-uns l'accusent sans preuves ; tels sont ceux qui prétendent que l'hélice gaspille la force motrice en rejetant autour d'elle les filets d'air qu'elle a déplacés ; cette lourde erreur est assez répandue et démontre que ceux qui s'en font l'écho n'ont jamais ni expérimenté ni observé ; le fait, s'il existait, serait pourtant facile à contrôler ; or, une expérience assez simple et à la portée de tous nous fait voir que, non seulement le phénomène de la dispersion des filets n'existe pas, mais encore que c'est précisément l'opposé qui a lieu. Si, auprès d'une hélice en mouvement, on présente, suspendus, des corps légers et mobiles susceptibles d'indiquer, par la position qu'ils prennent, la direction des filets d'air dans lesquels ils sont plongés, on constate aussitôt que, même dans le plan de rotation de l'hélice, l'air est attiré, au lieu d'être rejeté au dehors à la

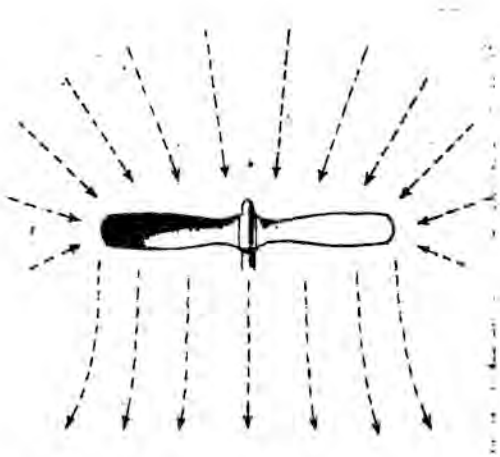


Fig. 17. — Indiquant la direction que prennent les filets d'air avoisinant une hélice en rotation. Dans la partie supérieure de la figure, la longueur des lignes indique approximativement l'intensité de l'aspiration.

façon d'un ventilateur comme beaucoup de personnes le croient encore ; l'hélice aspire, non seulement au devant d'elle, mais aussi latéralement, et même encore un peu au delà de son plan de rotation ; ensuite, un

peu en arrière et en dehors, on rencontre une zone de calme, puis enfin un fort refoulement dès que l'on pénètre dans le cylindre dont le grand cercle décrit par l'hélice forme la base ; un peu plus loin encore, en arrière, ce cylindre s'élargit et cela d'autant plus qu'on s'éloigne de cette base ; l'effet nuisible dont on a tant parlé n'existe donc pas.

Au point de vue de l'utilisation du travail dépensé à les mouvoir, les hélices ont été aussi l'objet de nombreuses expériences plus ou moins bien faites et trop souvent mal, car nous avons fréquemment entendu dire que cet organe de propulsion devait être rejeté à cause de son rendement par trop réduit ; nous allons voir l'injustice flagrante de cette appréciation et démontrer que toute hélice bien faite utilise toujours, et très facilement, presque toute la force motrice qu'on a dépensée pour la mouvoir. Les mauvais résultats que de nombreux expérimentateurs croient avoir obtenus sont dus, le plus souvent, non pas à l'hélice, mais à leur manière d'interpréter leurs expériences et qui leur fait souvent comparer des choses qui ne sont pas comparables. C'est ainsi que trop fréquemment on entend dire : « J'ai actionné une hélice au moyen d'un moteur, de 100 kilogrammètres par exemple, et je n'ai obtenu qu'une traction de 10 ou 15 kilos », d'où l'opérateur déduit que l'hélice n'est susceptible que d'un rendement de 10 ou de 15 %, selon le chiffre relevé. Or, il est facile de voir que, dans cette façon d'apprécier les résultats obtenus, on commet une erreur fondamentale, puisque l'on prétend comparer le travail moteur, c'est-à-dire des kilogrammètres, à des kilogrammes, représentés dans ce cas par un simple effort tout statique et ne produisant aucun travail. (Il est entendu qu'il s'agit ici d'une expérience au point fixe et sans déplacement dans le sens de l'arbre.) L'expérimentateur qui conclut ainsi a évidemment oublié que, en mécanique, le travail est le produit de deux facteurs : l'un, l'effort qui peut se chiffrer en kilogrammes, et l'autre le chemin parcouru par le point d'application de cet effort et qui se chiffre en mètres ; le produit de ces deux facteurs donnant des kilogrammètres, c'est-à-dire l'expression d'un travail. Remarquons en passant que ces deux facteurs peuvent varier dans une même hélice, tout en utilisant toujours la même quantité de travail moteur, selon que l'expérience sera faite au point fixe ou pendant que l'hélice progressera ; car, dans le premier cas, l'air sera attaqué sous un angle plus grand que dans le second, et, dès lors, le facteur effort sera plus élevé et le facteur vitesse réduit ; le contraire ayant lieu quand l'hélice peut progresser, car dans ce dernier cas, la rotation pourra être plus rapide.

Voici donc comment, dans une expérience de ce genre, supposée faite au point fixe, il convient d'interpréter les résultats obtenus : soit une hélice, d'un diamètre quelconque, mais dont le pas serait de 1 mètre, ou autrement dit, qui avancerait de 1 mètre par tour si elle se vissait dans un écrou solide (ce qui définit exactement ce qu'on nomme le pas d'une hélice) ; supposons que

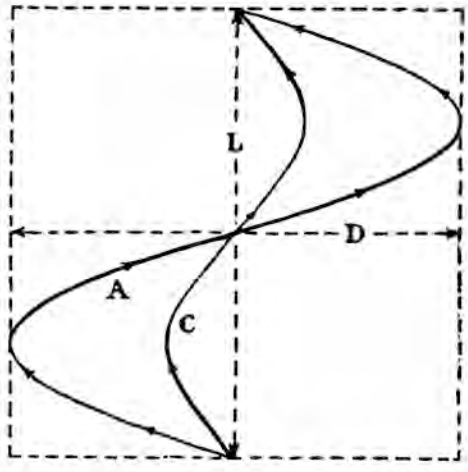


Fig. 18. — Trajectoire d'une branche d'hélice dont le pas L est égal au diamètre D, et faisant un tour complet sans recul. A, trajectoire de l'extrémité externe de la branche ; C, trajectoire de la partie de la branche la plus rapprochée du centre.

cette hélice, actionnée par un moteur de 1 cheval, soit 75 kgm. par seconde, puisse faire pendant chaque seconde, 6 tours ; on constatera que, pendant l'expérience, l'effort dans le sens de l'arbre a été de 11 kilos, par exemple ; le travail produit par cette hélice sera donc, évidemment, 11 kilos × 6 mètres, ou 66 kgm., puisque, si l'hélice n'a pas avancé de 6 mètres, son point d'appui a dû être refoulé de cette longueur ; l'effort a donc bien duré pendant tout le parcours imposé au point d'appui ; le travail récolté est donc bien de 66 kgm., quoique n'étant sensible extérieurement que par le déplacement de la colonne d'air attaquée par l'hé-

lice ; or, le travail dépensé pour obtenir ce résultat étant de 75 kgmètres, le rendement de l'hélice en expérience sera de 66/75 ou de 88 %, en chiffres ronds. Si, ensuite, nous modifions cette hélice en vue d'obtenir un effort de traction plus grand, soit en changeant son pas, soit en variant ses formes, mais sans changer le travail moteur qui sera toujours de 75 kgm., nous pourrions très bien arriver à ce résultat que l'effort de traction devienne de 12 kilos 1/2, au lieu de 11 kilos que nous avions tout à l'heure ; cette nouvelle hélice sera t-elle donc supérieure à la précédente ? peut-être, mais non sûrement, car pour connaître son rendement dans ces nouvelles conditions, il nous faut, non seulement connaître l'effort exercé, mais aussi l'autre facteur du travail, celui qui représente le chemin parcouru, et il se pourrait très bien que celui-ci, dans cette nouvelle expérience, ne fût plus que de 5 mètres, car la résistance à la rotation a très bien pu augmenter au point que l'hélice ne puisse plus faire que 5 tours par seconde, au lieu de 6 qu'elle faisait dans l'expérience précédente ; nous aurions alors pour le travail recueilli : 12 kil. 5, × 5 mètres = 62 kgm. 5 c'est-à-dire moins que précédemment ; le rendement serait donc cette fois de 62,5/75 ou 83 % seulement au lieu des 88 % que nous avions trouvés dans la première expérience. Ainsi cette seconde hélice, tout en nous donnant un plus grand effort de traction, aurait pourtant un rendement sensiblement inférieur à la première.

Les chiffres qui viennent de nous servir comme exemples sont en réalité ceux qu'on trouve assez couramment dans la pratique lorsqu'on emploie des hélices de perfection moyenne ou médiocre, mais ils peuvent être surpassés lorsque la construction de l'hélice est très soignée, et il n'en manque pas d'exemples ; cependant, on ne pourrait, en aucun cas, prétendre à un rendement de 100 %, ce qui s'explique pour les raisons que voici : pour retrouver tout le travail dépensé par le moteur, il nous faudrait admettre que l'hélice expérimentée ait les qualités suivantes : d'abord que ses branches n'aient aucune épaisseur, car alors seulement leur déplacement dans le fluide ne serait la cause d'aucune perte de travail ; on comprend de suite qu'il ne saurait en être ainsi, et que, inévitablement, ces branches éprouveront, pour traverser l'air, une résistance supplémentaire, indépendante de celle due à leur inclinaison sur la trajectoire qu'elles décrivent, mais due seulement à leur épaisseur propre ; ces branches se trouvent forcément soumises aux lois du déplacement des mobiles dans les fluides ; c'est-à-dire qu'elles éprouveront une résistance au mouvement qui sera proportionnelle au carré de leur vitesse, et enfin, elles absorberont, pour ce mouvement, un travail proportionnel au cube de cette vitesse. Cette première cause de perte de travail ne saurait donc, en aucun cas, être réduite à zéro, mais peut être atténuée par une construction soignée qui ferait, des branches, des projectiles aussi parfaits que possible, en réduisant leur épaisseur et en en tenant les bords tranchants, aussi bien à l'entrée du pas qu'à sa sortie.

Une autre cause de perte de travail est due au frottement du fluide sur les surfaces qui sont en contact avec lui ; on comprend, en effet, que des surfaces rugueuses éprouveront sûrement une résistance au déplacement sensiblement supérieure à celle qu'offriraient des surfaces bien unies ou polies. Ces deux causes de perte de travail doivent donc nous inciter à faire des hélices dont les branches ne comportent aucune saillie, notamment si celles-ci devaient se présenter transversalement au mouvement, et enfin à éviter toutes irrégularités de forme en général. Enfin, ces causes de perte dans le rendement étant connues, il sera facile d'y remédier dans une large mesure en s'appliquant à se rapprocher de la perfection dans la construction de ces organes. Ce que je viens de dire se rapporte au rendement de l'hélice elle-même et c'est ce que, pour cette raison, j'ai proposé d'appeler le *rendement de construction* ; mais nous allons voir que, lorsqu'on a besoin d'employer des hélices, il faut aussi tenir compte d'une autre sorte de rendement, surtout lorsqu'il s'agit d'hélices propulsives, et qui s'applique, celui-là, seulement à la façon dont l'hélice est employée ; je l'ai nommé, à cause de cela, *rendement d'appropriation*. Nous allons voir en quoi il consiste.

Hélices propulsives. — Recul. — Une hélice destinée à propulser un mobile quelconque, ayant un pas déterminé, et supposée bien faite, c'est-à-dire ayant un bon rendement de construction, peut-elle entraîner ce mobile à une vitesse correspondante à son pas multiplié par le nombre de tours

qu'elle fait? Evidemment non! Il y aura toujours une perte, et le chemin parcouru par le mobile traîné ou poussé par l'hélice sera toujours moindre que celui correspondant au pas et à la vitesse de rotation de l'hélice dans le même temps. La différence indiquera la perte due à ce qu'on appelle le *recul* de l'hélice. On comprend bien que cette perte soit inévitable, mais aussi qu'elle peut être très variable suivant les cas, car il semble bien, à première vue, qu'on ne puisse appliquer telle hélice à un mobile quelconque sous le prétexte que cette hélice a un très bon rendement (j'entends *rendement de construction*) ; cette manière de voir nous permettrait d'employer une excellente hélice de canot à mouvoir un navire de quelques milliers de tonnes ; je fais ici cette absurde proposition parce que beaucoup de personnes croient encore qu'une petite hélice tournant vite donne les mêmes résultats, quant au rendement, qu'une autre plus grande mais qui tournerait plus lentement ; ce qui est radicalement faux pour la raison suivante : le point d'appui d'une hélice, étant un fluide, ne demande qu'à se dérober, et en réalité se dérobe d'autant plus facilement que la résistance au déplacement du mobile auquel est attelé l'arbre de ce propulseur est plus grande ; dès lors le mobile se déplace peu et c'est le fluide qui est repoussé en arrière, créant ainsi un énorme recul et dépensant en pure perte la plus grande partie du travail moteur ; cet effet est évidemment d'autant plus accentué que la colonne de fluide attaquée par l'hélice est de plus petite base ; si, au contraire, la base de cette colonne de fluide a une grande surface, elle offrira à l'hélice, à cause de sa plus grande masse, un point d'appui beaucoup plus résistant et le mobile se déplacera avec plus de facilité ; la perte de travail deviendra ainsi minimum. Il est donc nécessaire d'étudier dans chaque cas quel type d'hélice conviendra le mieux à ce cas spécial ; quelques exemples vont rendre plus tangible cette proposition.

Supposons un aéronat, d'un cube quelconque, mais très bien construit, bien allongé, et ne présentant que le minimum de résistances accessoires ; une hélice bien étudiée et bien appropriée lui communiquera la plus grande vitesse que l'on pouvait espérer, et cela, avec un moteur d'une force déterminée : chacun trouvera évidemment que le type d'hélice employé est tout à fait parfait , mais s'ensuivra-t-il que cette hélice fera preuve des mêmes qualités si nous la transportons ensuite sur un autre aéronat, de même volume, de même force motrice, mais d'une forme très différente et que nous supposerons cette fois grosse et courte, et enfin, qui serait construit sans le moindre souci d'éviter les résistances accessoires toujours si nuisibles ; n'est-il pas évident que, dans ce second cas, les résistances à vaincre étant de beaucoup supérieures à ce qu'elles étaient dans le premier, l'hélice épuisera sa force à rejeter en arrière une colonne d'air de base insuffisante pour lui permettre d'y trouver le point d'appui nécessaire à mouvoir un mobile éprouvant trop de résistance à se déplacer ; nous devrons donc reconnaître que, si l'hélice nous paraissait si parfaite appliquée au premier aéronat, c'est qu'elle était alors bien appropriée, tandis qu'elle est maintenant trop petite, mais elle n'est pas mauvaise pour cela ; ce n'est pas celle qui convient à ce nouveau cas ; voilà tout ; nous devrons donc, et l'agrandir, et probablement en diminuer le nombre de tours, en un mot, la mieux approprier ; dans tous les cas, la meilleure sera celle dont l'effort de poussée sur l'arbre, multiplié par la vitesse obtenue par l'aéronat, donnera le produit se rapprochant le plus du travail moteur dépensé, déduction faite, bien entendu, du rendement de construction de l'hélice et que nous supposons assez bon ; la différence, et il y en aura toujours une, sera évidemment la perte due au recul, celui-ci étant toujours d'autant plus grand que l'hélice sera plus petite et, par conséquent, mal appropriée. Il pourrait arriver cependant que l'hélice soit trop grande ; dans ce cas la perte serait moins due au recul qu'aux causes qui font diminuer le rendement de construction ; il y a donc aussi une limite, pour chaque cas, à la grandeur des hélices.

Je crois que, lorsque l'hélice est à la fois bien construite et bien appropriée, la perte totale du travail développé par le moteur ne doit pas être supérieure à 30 % et peut presque toujours descendre à moins.

Les hélices destinées aux appareils d'aviation du genre aéroplane sont plus faciles à établir dans de bonnes conditions ; ici la vitesse de translation de l'appareil doit toujours être plus grande que dans le cas de l'emploi des ballons ; aussi le facteur chemin parcouru dans l'unité de temps doit-il toujours être plus grand, tandis que le facteur effort, ou poussée, sera relativement

moindre, puisque le mobile ne devra rencontrer qu'une moindre résistance au déplacement, sa projection dans le sens de la marche étant de beaucoup plus petite étendue que celle d'un aéronat ; l'hélice ou les hélices peuvent être alors d'un diamètre plus réduit et tourner plus vite ; il est aussi plus facile, vu leurs petites dimensions, d'apporter plus de soin à leur construction. Enfin, les mêmes causes qui peuvent faire varier l'importance du recul dans les aéronats produiront les mêmes effets dans les aéroplanes ; il est cependant compréhensible que, dans ces derniers appareils, les causes de perte seront plus faciles à éviter, l'ensemble de leur construction pouvant plus facilement ne présenter qu'une projection très réduite dans le sens de la marche et, en outre, n'offrir à l'air traversé que des lignes très fuyantes, ce qui devra en faire des projectiles offrant peu de résistance au déplacement.

Quant au pas optimum à donner à une hélice propulsive, par rapport à son diamètre, il paraît d'abord probable que le plus court devrait être le meilleur ; pourtant, comme il faut faire intervenir ici les causes qui font diminuer le rendement de construction, on doit considérer qu'un pas trop court, en nécessitant une rotation plus rapide pour un parcours donné, aggraverait l'importance de ces causes. Sur ce point, nous n'avons encore que des données assez incomplètes en ce qui concerne les hélices aériennes ; mais en marine, il a été fait de nombreuses expériences en vue d'élucider ce point et l'on est arrivé à admettre qu'un bon pas, pratique et économique, devait être de 1 fois et 1/3 le diamètre de l'hélice. Je dois dire que j'ai pu appliquer à de petits aéroplanes d'étude, trop petits pour être montés (33 kilos), mais cependant assez rapides (17 à 18 mètres), des hélices propulsives dont le pas atteignait 1 diamètre 1/2 et qui m'ont donné d'excellents résultats, sous tous les rapports ; d'autre part, j'ai eu l'occasion de construire quelques hélices pour aéronats ; je leur avais donné un pas de 1 diamètre, et même quelquefois un peu plus ; les résultats en parurent très bons ; pourtant une fois que j'en fis une du pas de 2/3 du diamètre seulement, le résultat parut meilleur encore ; mais peut-être n'est-ce là qu'un fait isolé et dont il serait imprudent de généraliser les conséquences. Il semble donc probable qu'on pourra appliquer aux aéroplanes des hélices à pas d'au moins un diamètre et peut-être un peu plus; alors qu'il sera bon de réserver aux aéronats les hélices dont le pas serait, ou seulement égal au diamètre, ou peut-être un peu inférieur ; ceci, toutefois, sous toutes réserves.

Je dois faire remarquer que le pas que je préconise plus haut, pour les hélices d'aéroplanes, obligerait celles-ci à ne tourner qu'à une vitesse sensiblement inférieure à celle que nous voyons journellement adopter, sans quoi, le moteur ne pourrait plus les entraîner ; il serait donc indispensable de les démultiplier, puisqu'on ne saurait songer à réduire le nombre normal de tours du moteur. Ce serait certainement une petite complication, mais je crois qu'elle serait, non seulement utile, mais qu'elle se révélera indispensable dans une avenir assez prochain. La plupart des hélices d'aéroplanes servent aujourd'hui de volant à leur moteur ; de ce fait, elles doivent en avoir la vitesse de rotation, ce qui les oblige d'abord à avoir un pas très court et, par suite, un assez mauvais rendement de construction ; ensuite les branches sont, à cause de la force centrifuge, sollicitées à se détacher de leur moyeu, et cela, par un effort qui n'est pas inférieur à plusieurs milliers de kilogrammes ; cette énorme tension des bras qui portent les palettes, jointe aux chocs éminemment destructifs que ces bras reçoivent à chaque explosion du moteur, ordinairement quatre par tour, ou 75 à 80 par seconde, rendent la solidité de ces organes toute relative ; nous avons déjà, d'ailleurs, à enregistrer de trop nombreuses ruptures dues à cette cause ; on frémit en pensant à ce qui arriverait fatalement si un tel accident se produisait en plein vol et à une certaine hauteur. J'estime donc préférable de démultiplier, risque à ce que cette modification entraîne l'emploi d'un volant indépendant ; aux vitesses de rotation des moteurs d'aviation, ce volant ne serait pas d'un poids prohibitif ; quant à la perte due à la transmission, elle serait bien compensée par le gain obtenu sur le rendement ; on n'aurait plus rien à craindre de la force centrifuge, ce qui ne serait pas un mince avantage ; enfin, je proposerais l'emploi d'un dispositif, enclanchement de l'hélice seulement quand elle pousse, ou débrayage à volonté, ce qui permettrait à l'hélice de devenir folle dans le cas d'arrêt du moteur, quelle que soit la cause de cet arrêt qu'on doit prévoir ; l'appareil alors pourrait continuer son vol en planant et, dans une certaine mesure,

choisir son point d'atterrissage ; cette manœuvre serait presque impossible avec une hélice embrayée, car celle-ci, alors, s'opposerait très fortement, beaucoup plus qu'on ne le pense généralement, à toute vitesse de l'appareil muni d'un tel frein ; et la chute devenue trop rapide ne laisserait pas que d'être très dangereuse, pour ne pas dire désastreuse.

Hélices sustentatrices. — Ce qui différencie les hélices sustentatrices des hélices propulsives consiste surtout en ceci que, ne progressant pas, leur recul est de 100 %, absorbant ainsi tout le travail laissé disponible par le rendement de construction ; elles doivent, par conséquent, avoir sur leur arbre la plus grande poussée possible, sans avoir aucun chemin à parcourir (sauf une légère progression au moment du départ). Il faut donc logiquement en déduire que les deux facteurs du travail à recueillir doivent être dans un rapport tout autre que dans le cas des hélices propulsives dans lesquelles ce rapport peut varier considérablement, suivant qu'on veut obtenir plus de vitesse avec moins de poussée, ou inversement. Ici, il faut toujours obtenir la plus grande poussée possible, et comme conséquence, réduire au minimum possible l'autre facteur du travail, la vitesse, c'est-à-dire le pas décrit par l'hélice dans l'unité de temps : le pas devra donc être aussi court qu'on pourra le faire.

D'autre part, puisque tout le travail est perdu en recul, il est nécessaire de réduire ce recul autant que possible ; or, il n'est qu'un moyen de le réduire ; c'est de s'appuyer sur la couche d'air la plus étendue, d'où : le diamètre doit être aussi grand que possible. Il ne suffirait pas, en effet, pour augmenter le poids maintenu dans l'air par une hélice suspensive, d'augmenter sa vitesse de rotation en adoptant un plus petit diamètre, tout en conservant le même pas, puisque alors le pas décrit dans le même temps serait plus grand ; la perte de travail moteur augmenterait donc avec l'augmentation du recul ; il n'y aurait qu'une ressource pour obtenir l'augmentation du poids soulevé, ce serait, non de diminuer le diamètre, mais, au contraire, de l'augmenter en réduisant la vitesse de rotation, et même le pas si cela était nécessaire, pourvu qu'on puisse s'appuyer sur une couche d'air plus étendue et qui, par conséquent résisterait plus. La conclusion serait donc d'employer le plus grand diamètre possible avec un pas extrêmement réduit.

Mais ceci est tout théorique, et il est facile de voir qu'on serait malheureusement bientôt arrêté dans cette voie pour les raisons suivantes : d'abord, l'impossibilité évidente de construire légèrement et solidement une hélice trop grande ; ensuite la résistance qu'on éprouverait à mouvoir dans l'air des branches devenues de volumineux mobiles et absorbant ainsi trop de force motrice ; enfin les frottements de l'air sur d'énormes surfaces constitueraient bientôt un frein par trop nuisible. En un mot, le rendement de construction serait déplorable.

On ne saurait donc assigner à ces hélices un pas et un diamètre optima pour telle puissance motrice ou tel poids à soutenir puisque, si un grand diamètre et un pas très court sont à recommander, on ne saurait, d'autre part, trop appuyer sur la nécessité absolue d'une perfection aussi grande que possible dans leur construction, perfection dont on ne saurait prévoir la limite ; l'importance des résultats à atteindre reste donc subordonnée à cette dernière condition.

Formes des hélices. — Dans une hélice supposée régulière, c'est-à-dire dont le pas est bien le même du centre à la périphérie, l'inclinaison de la surface des branches va évidemment en augmentant à mesure qu'on se rapproche de l'axe de rotation ; aussi peut-on craindre que, dans les parties avoisinant le centre de l'hélice, l'air n'ait une tendance à être rejeté extérieurement ; en réalité, si cet effet se produit, c'est d'une façon bien faible, car, ainsi que je le disais plus haut, on ne constate rien de semblable autour d'une hélice en mouvement, puisque au contraire, l'air est encore aspiré même dans le plan de rotation ; néanmoins, il est évident que près du centre, la composante de la résistance de l'air qui est dans la direction de l'arbre, celle qui est utilisable, se trouve être presque nulle, tandis que l'autre composante, celle qui, précisément fait obstacle à la rotation, est au contraire maximum ; il m'a donc paru qu'il serait plutôt avantageux de supprimer purement et simplement la partie de la surface de la branche qui frappe l'air en cet endroit, où on ne laisserait subsister que la carcasse,

et cela, au moins jusqu'au point où l'inclinaison de la branche atteint 45°, ou même un peu moins ; c'est toujours ainsi que j'ai construit les hélices aériennes et je m'en suis toujours bien trouvé. Cette disposition est, d'ailleurs, assez généralement adoptée.

On peut encore apporter au pas d'une hélice une petite modification qui, dans certains cas, peut procurer une certaine amélioration dans le rendement, notamment lorsque l'on devra prévoir un recul un peu important ; cette modification consiste à construire l'hélice de telle façon que le pas soit un peu plus court vers le centre ; mais il faut, pour pouvoir profiter réellement de l'avantage que peut présenter cette disposition, connaître assez exactement la valeur du recul ; on construira alors l'hélice de telle sorte que, près du centre, la surface de la branche passe dans le fluide comme si l'hélice se vissait dans l'air sans recul ; cette disposition, appliquée avec exactitude, permettrait, on le voit, de conserver la surface de la branche jusqu'au moyeu, sans éprouver l'effet nuisible qui nous avait incité tout à l'heure à supprimer cette partie de la surface. Les hélices de ce genre, qui sont assez fréquemment employées en marine, sont dites à pas croissant du centre à la périphérie ; on en a obtenu d'assez bons résultats.

Il me faut dire aussi quelques mots du creux qu'il convient de donner aux branches des hélices ; les surfaces concaves offrent, dit-on, à l'air, une résistance plus grande que les surfaces planes ; c'est, en effet, une propriété des surfaces de forme creuse et qui a été utilisée dans les parachutes notamment ; nous avons, d'ailleurs, déjà traité ce point en exposant les lois de la résistance de l'air. Dans les hélices, je crois qu'une certaine courbure ne serait pas nuisible, au contraire ; mais à la condition, toutefois, que cette courbure soit assez faible pour qu'en aucun cas la face dorsale de la branche ne puisse frapper l'air ; or, lorsque, dans une application bien conçue de l'hélice, on n'a qu'un faible recul, ce qui devrait toujours être, la trajectoire décrite par la branche est assez voisine du pas réel de l'hélice pour que la courbure possible soit presque insignifiante ; on peut calculer que, dans une hélice de bonne qualité moyenne et bien appropriée, la flèche de la courbure ne peut être que d'environ 1/50 de la corde, pour que cette courbure soit, au bord d'attaque, tangente à la trajectoire décrite ; au delà, le dos de la branche frapperait l'air et il y aurait évidemment effet nuisible. Ceci s'applique surtout aux hélices propulsives ; pour les hélices sustentatrices qui seront employées dans les hélicoptères, le bord qui attaquera l'air pourra donc être sensiblement tangent au plan de rotation, puisque ces hélices n'auront pas à progresser, ou du moins très peu. En tous cas, le creux des branches ne peut faire changer le rapport entre les deux facteurs du travail que peut rendre l'hélice ; il ne peut que, en augmentant un peu la résistance de l'air, permettre de diminuer un peu son diamètre, ce qui suffirait peut-être à augmenter un peu son rendement de construction. Ces hélices sont dites à pas croissant d'avant en arrière.

La largeur des branches d'une hélice n'est pas non plus indifférente ; si elles sont trop étroites, on comprend qu'elles ne trouveront pas sur l'air un appui suffisant, ce qui conduirait à exagérer l'étendue de ce propulseur ; cependant une branche trop étroite semble moins nuisible qu'une branche trop large ; dans ce dernier cas, c'est sans doute à l'augmentation inutile du frottement dans l'air qu'on doit de voir diminuer le rendement. La fraction du pas total, c'est-à-dire la longueur d'avant en arrière d'une hélice, ce qui détermine la largeur des branches, semble devoir être de 1/10 du pas, comme convenant à tous les genres d'hélices ; il a même été reconnu qu'il y avait quelque avantage à réduire encore cette longueur en s'approchant de l'extrémité de la branche où elle peut n'atteindre que 1/15 à 1/18 ; cette disposition

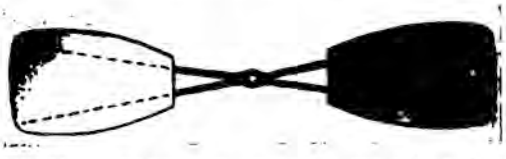


Fig. 19. — Hélice dont la partie centrale a été supprimée et est représentée par la carcasse seule ; la longueur de cette hélice est de 1/10 de son pas, dans les parties moyennes, et de 1/16 seulement au bout des branches.

laisse une surface d'appui très suffisante encore à l'endroit où précisément l'on peut craindre, à cause de la plus grande vitesse, l'influence de toutes les résistances nuisibles qui pourraient faire diminuer le rendement de construction.

Les branches d'une hélice aérienne ne

doivent être qu'au nombre de deux ; en en employant un plus grand nombre, le fluide déplacé par une branche n'a pas le temps de s'immobiliser de nouveau avant que la branche suivante se présente au même point du cercle décrit ; en réalité, cette immobilisation ne saurait jamais être complète, car toute la colonne de fluide est entraînée presque dans son ensemble, cependant la vitesse des filets composant cette colonne ne peut pas être absolument la même en tous ses points ; il en résulte que l'hélice à branches trop nombreuses ne trouve plus sur cette colonne l'appui sur lequel on pouvait compter, cependant que les autres résistances nuisibles dont j'ai parlé plus haut, déplacement des branches et frottements, sont augmentées en raison directe du nombre des branches en mouvement ; d'ailleurs, de nombreuses expériences (dont les premières remontent sans doute à Wenham en 1866), ont déjà démontré la réalité de ce phénomène constaté nombre de fois depuis, en faisant voir que telle hélice à branches multiples donnait un rendement qui, à dépense de force motrice égale, augmentait à mesure que l'on réduisait successivement le nombre des branches, jusqu'à ce qu'il n'en restât plus que deux ; le rendement fut alors trouvé maximum.

CHAPITRE IV

Étude et construction d'un aéroplane

D'après ce que nous avons exposé aux chapitres précédents il est facile de se rendre un compte suffisamment approximatif des valeurs relatives des poids, vitesse, incidence et même forme, du plan sustenteur d'un aéroplane que l'on se proposerait de construire ; mais il nous faut un point de départ pour nos calculs, c'est-à-dire nous fixer d'abord l'une, ou même plusieurs de ces valeurs. Or, nous croyons qu'il faudrait aujourd'hui construire des appareils marchant assez vite, ce qui, d'abord, permettrait d'en réduire les dimensions, puisque les poids pouvant être supportés par les surfaces croissent comme le carré de la vitesse ; ou, en un mot, si la vitesse n'était que de 10 mètres par seconde, il serait nécessaire de munir l'appareil de surfaces quatre fois plus grandes que si cette vitesse atteignait 20 mètres. Cette dernière vitesse ne nous semble pas excessive, elle a, d'ailleurs, été déjà atteinte et il est de toute évidence que nous ne devons pas tarder à la dépasser ; nous verrons bientôt que les difficultés à vaincre pour l'obtenir ne sont pas bien extraordinaires et peuvent être assez facilement surmontées ; elle offre un réel avantage, à cause de la réduction des dimensions de l'ensemble que ne permettrait pas une vitesse plus réduite ; l'appareil peut être ainsi plus maniable lorsqu'il s'agit de le déplacer à terre ; il peut se démonter en parties peu volumineuses pour les transports aux lieux d'expérience et, enfin, il ne nécessiterait qu'un abri relativement réduit. A cette vitesse, et même à une vitesse plus grande, les manœuvres de départ seront toujours assez faciles, mais il ne faut pas oublier qu'il n'en sera pas de même des manœuvres d'atterrissage ; si à cette vitesse l'atterrissage n'est pas encore très dangereux, il n'en sera pas moins nécessaire, et même indispensable, que le pilote qui montera l'appareil ait acquis une certaine pratique avant de se risquer à atterrir à des vitesses supérieures.

De l'inclinaison à donner aux plans. — La détermination de l'angle d'incidence optimum à adopter pour le plan sustenteur demande aussi à être étudiée d'assez près ; nous avons vu plus haut que la résistance éprouvée, dans le mouvement oblique d'un plan, est normale à la surface de ce plan et qu'on pouvait considérer cette résistance comme la résultante de deux forces qui en sont les composantes ; la plus grande de ces composantes est verticale et exerce son effort de bas en haut, sous le plan ; elle a pour valeur : $R \cos \alpha = P$; P étant le poids total de l'appareil ; l'autre composante est horizontale et égale à l'effort E nécessaire pour entretenir la vitesse capable de maintenir ce poids P sur l'air ; sa valeur doit donc s'exprimer par $E = R \sin \alpha$, et le rapport de ces deux composantes sera $\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$

= cot α. Or, puisque c'est au moteur qu'il faudra demander cet effort indispensable à la sustentation du poids P, il y aura donc grand avantage à réduire l'angle d'incidence, puisque alors cot α deviendra plus grand ; ainsi, si l'incidence était telle que cot α = 20, l'effort à faire pour que le poids soit maintenu ne serait que de $E = \frac{P}{20}$; si, au contraire, cot α = 10 seulement, l'effort devra être double ou $E = \frac{P}{10}$; c'est pourquoi il y a, théoriquement, avantage à n'employer que de petits angles.

Mais il faut considérer, d'autre part, que le plan sustenteur qui utilisera le plus petit angle, c'est-à-dire celui qui ne demandera pour progresser dans l'air qu'un effort de $\frac{P}{20}$, devra avoir une étendue double de celle qui serait nécessaire si l'angle d'attaque était deux fois plus ouvert, puisque nous savons que, dans les petits angles, la résistance de l'air, et par suite la faculté sustentatrice du plan, est sensiblement proportionnelle au sinus de l'angle d'incidence ; ainsi donc si, d'une part, l'emploi d'un petit angle nous fait économiser une certaine quantité de force motrice, d'autre part, la nécessité d'avoir un plan beaucoup plus grand nous fera perdre une grande partie de cet avantage ; en effet, un plan plus grand est plus difficile à construire ; il est plus difficile de le maintenir suffisamment pour qu'il ne subisse pas de déformations nuisibles ; indépendamment de la résistance qu'il éprouve à se mouvoir du fait de son obliquité, il éprouve encore un supplément de résistance dû à son volume même, à son épaisseur et à celle des haubans deux fois plus longs ou plus nombreux dont nous devrons le munir, le tout considéré comme autant de projectiles se mouvant dans le fluide ; ses surfaces, d'étendue double, éprouveront par suite du frottement de l'air à leur contact, une résistance double ; et enfin, il est probable que son poids sera aussi à peu près doublé. On peut donc se demander s'il y aurait réellement quelque chose à gagner en employant un angle trop petit.

Dans la construction de petits appareils ne pouvant servir que de modèles d'étude, et toujours beaucoup trop petits pour pouvoir être montés, des plans relativement grands sont encore assez faciles à exécuter et, dans diverses expériences, nous avons pu obtenir d'excellents résultats avec des angles de moins de 3° ; cependant nous avons dû constater que les résistances accessoires dues à nos grandes surfaces étaient relativement énormes et seraient tout aussi difficiles à éviter dans des constructions plus grandes ; ceci, joint aux difficultés très réelles qu'on rencontrerait dans l'établissement de ces surfaces, nous a fait admettre qu'il serait sans doute plus pratique d'employer un angle un peu plus ouvert ; nous pensons donc qu'on peut aller jusqu'à 10 % d'inclinaison des plans sur la direction de leur mouvement ; ce qui ferait pour α un maximum de 5° 45', cas dans lequel sin α = 0,1 ; si pourtant, l'on devait employer de plus grandes vitesses, il serait bon de s'efforcer de rester au-dessous de cette valeur. Dans les expériences d'aéroplanes montés, on a pu remarquer que cet angle est presque toujours plutôt plus grand ; il est possible que cela soit admissible pour des vitesses réduites telles que celles de ces appareils, mais on comprend bien que cet angle diminuera nécessairement quand la vitesse sera augmentée, puisque nous savons que la résistance de l'air $R = V^2 \sin \alpha$ et que, par conséquent α pourra diminuer dans le même rapport que V^2 augmentera, la sustentation restant quand même assurée.

Notons aussi que, malgré la régularité de fonctionnement du moteur, celui-ci ne nous permettra jamais de compter sur une sécurité absolue ; ce serait, croyons-nous, d'une grave imprudence ; cette sécurité ne sera jamais que relative et l'on doit envisager le cas d'un arrêt possible de ce moteur, si parfait qu'il soit ; dans ce cas, nous devons pouvoir trouver une ressource contre une catastrophe possible, dans la descente oblique de l'appareil, descente qui ne doit jamais se transformer en chute ; pour cela, il est indispensable que la surface des plans, si réduits soient ceux-ci, reste encore suffisante pour que l'appareil puisse être dirigé comme un simple planeur sans moteur, et suivant une pente aussi rapprochée que possible de l'horizontale, ce qui doit permettre à son pilote de choisir pour l'atterrissage le point qui lui semblera le moins dangereux parmi ceux qui lui paraîtront accessibles en une telle occurence. Il est donc probable que la plus élémentaire prudence nous conduira à ne jamais employer que des plans assez étendus pour qu'ils puissent encore soutenir l'appareil lorsque, pour une cause quelcon-

que, la vitesse deviendrait insuffisante pour qu'il puisse conserver sa marche horizontale sans baisser. La limite du poids que l'on pourra faire supporter aux plans sera très probablement de 20 kilos au maximum par mètre carré de surface. Cette condition de l'étendue des plans devra toujours être observée, quelle que soit, d'ailleurs, la vitesse très supérieure, peut-être, pour laquelle l'aéroplane aurait été construit. Si l'on avait un excès de force motrice, ce qui devrait toujours être, on pourrait l'employer à obtenir une vitesse plus grande en diminuant un peu l'incidence des plans sur la trajectoire décrite, ce qui sera toujours facile, car il n'est pas possible d'admettre un tel appareil qui ne serait pas muni d'un gouvernail de profondeur, quel qu'en soit le système, et qui permettra cette manœuvre.

sont plus allongés dans le sens transversal à leur marche ; cette propriété doit être utilisée dans la construction des aéroplanes ; mais quel rapport devrons-nous adopter entre les deux dimensions principales, longueur et largeur ? Il est probable que les proportions employées par la nature sont assez rationnelles ; mais elles varient beaucoup suivant les espèces ; on peut cependant remarquer que, dans l'ensemble, les meilleurs volateurs ont le plus souvent les ailes étroites ; les ailes relativement larges se rencontrent surtout chez les oiseaux à vol lourd, comme les gallinacés, par exemple ; enfin, nous avons déjà vu que, dans quelques espèces, le rapport de la largeur de l'aile à l'envergure augmente au point d'atteindre 1 : 20 et quelquefois plus. Est-ce à dire que nous devrions adopter ces dernières

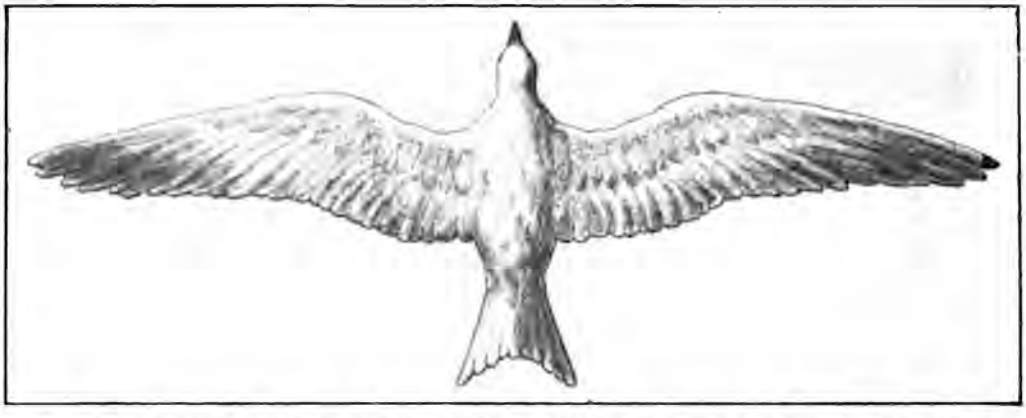


Fig. 20. — Surfaces portantes chez la *mouette* ; la largeur moyenne des ailes est, par rapport à l'envergure, dans le rapport 1 : 8.

Puisque nous devons prévoir la possibilité d'avoir pendant la marche une incidence variable, il sera donc bon, en construisant l'appareil, de disposer le plan sustenteur de telle façon qu'il présente, par rapport à l'axe général et longitudinal de la machine, un angle moyen entre l'angle maximum de 10 % et le plus petit angle sous lequel on pourra encore se soutenir dans le cas où la vitesse pourrait être augmentée ; ce petit angle sera probablement de 6 %, d'où l'inclinaison moyenne à donner au plan par rapport à l'axe général au corps serait d'environ 8 %.

Forme à donner aux plans sustenteurs. Nous avons vu, à propos de la résistance de l'air, que les plans obliques portent d'autant plus, relativement à leur étendue, qu'ils

proportions ? nous ne le pensons pas, mais nous estimons que c'est être quelque peu timide que de rester dans le rapport que nous employons le plus ordinairement et qui ne dépasse guère 1 : 5, ce qui nous semble un peu faible. En tout cas, il sera prudent de ne s'en rapporter qu'à l'expérience ; ce qui réussit dans la nature réussirait peut-être aussi dans nos machines. A ce sujet, nous préconiserons les formes de plans dont les extrémités extérieures sont plus étroites que les parties voisines du centre et rappelant, au moins vaguement, la forme générale de la voilure de l'oiseau ; il est probable que la résistance sous des plans de cette forme serait sensiblement la même que sous des plans rectangulaires de même surface et de même envergure ; cette disposition aurait peut-être l'avantage de pouvoir construire plus

solidement, puisque la région des plans qui, étant la plus étendue, aurait le plus de poids à supporter, serait de ce fait plus rapprochée du centre.

Un autre avantage de cette forme, offrant moins de surface vers les parties les plus éloignées du centre, serait d'assurer l'équilibre latéral d'une façon plus certaine ; on comprend, en effet, que les causes perturbatrices de cet équilibre, étant dues en grande partie aux irrégularités de la surface ou aux différences de leur incidence provoquées par des flexions partielles toujours possibles, ces causes, disons-nous, se feront d'autant plus sentir qu'elles proviendront de surfaces plus étendues et qu'elles agiront sur un plus long bras de levier. Tout milite donc en faveur des plans plus étroits vers leurs extrémités extérieures.

Le rapport des deux dimensions devrait donc, selon nous, n'être jamais inférieur à 1 : 6 ; il serait évidemment mieux de faire ce rapport plus grand encore et on devra le faire quand les difficultés de la construction ne s'y opposeront pas. Les formes générales d'un tel plan pourraient rappeler, en projection horizontale, une ellipse à grand

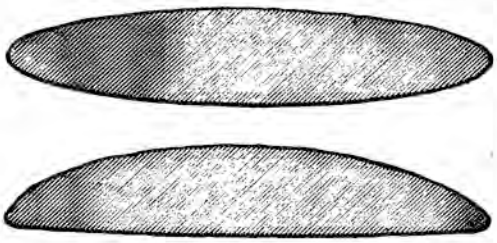


Fig. 21. — En haut, une ellipse à grand axe transversal ; en bas, une demi-ellipse ayant à peu près la même surface. On remarque que ces formes rappellent celles des voilures d'oiseaux de la figure 11.

axe transversal ; on pourrait aussi adopter la forme d'une demi-ellipse, coupée suivant son grand axe, et présentant son bord courbe en avant et avec les extrémités légèrement arrondies ; ou bien encore quelque forme intermédiaire entre les deux précédentes. On aurait certainement ainsi des surfaces très efficaces et, ce qui ne gâterait rien, très satisfaisantes au point de vue esthétique.

Maintenant que nous avons tenté de déterminer la meilleure forme à donner aux plans d'un aéroplane, vu en projection horizontale, voyons celle qui conviendrait le mieux en projection verticale, comme si l'appareil était vu de l'avant, par exemple. Ici nous serions encore tenté de prendre modèle sur les oiseaux auxquels, comme nous le croyons, on ne doit guère emprunter que les formes de la voilure. Or, chez ces animaux, on peut remarquer que, tant qu'ils sont appuyés sur l'air, leurs ailes étendues prennent la forme d'une courbe à concavité supérieure. Nous savons bien qu'on les a souvent représentés avec chaque aile ayant une courbure précisément opposée à celle-là, c'est-à-dire à concavité inférieure ; mais nous croyons que, le plus souvent, cette représentation avait surtout pour but l'art pur, sans un souci suffisant de la nature. Tout le monde a pu observer cette courbure qui peut être représentée d'une façon si élégante et si pittoresque, mais nous sommes bien certain que l'oiseau ainsi reproduit était, souvent même à l'insu du dessinateur, dans la phase de son vol répondant au relèvement de ses ailes. Il est vrai qu'au repos, les grandes rémiges de l'aile sont assez courbées, du moins chez certaines espèces, celles qui, précisément, volent le plus mal, comme les gallinacés ; tandis qu'au contraire, chez les meilleurs volateurs, cette courbure est moins sensible ; en plein vol, la courbure primitive persiste chez quelques oiseaux pendant que les ailes se relèvent et celles-ci présentent alors leur courbure tournée vers la terre ; mais chaque fois que l'oiseau les abaisse, les ailes sont nettement courbées vers le ciel, soit dans tout leur ensemble, soit par leurs extrémités seulement, suivant les espèces ; il en est encore de même lorsqu'il les maintient étendues et sans battements, comme par exemple dans le planement, car il faut bien alors que la pression de l'air sous les ailes soit égale au poids du volateur, sans quoi il ne serait plus soutenu ; c'est cette pression qui courbe les rémiges et leur donne l'aspect que nous indiquons et que chacun peut constater.

On peut se rendre parfaitement compte de ce que nous avançons en consultant, comme nous l'avons fait, quelques photographies instantanées d'oiseaux obtenues par Marey pendant la phase de l'abaissée de l'aile en plein vol, et d'autres pendant le planement. On y remarque que, pendant son appui sur l'air, l'aile du genre *Larus* (mouettes, goélands, etc.) a ses extrémités très nettement courbées vers le ciel, alors

qu'on se plait couramment à représenter les ailes de ces oiseaux avec une courbure inverse, comme si elles étaient constamment en relèvement. Dans le genre *Columba* (pigeons) on voit que cette courbure est bien plus accentuée encore et que toute l'aile semble y participer ; enfin on trouve encore cette courbure dans le genre *Anas* (canards) nous avons déjà expliqué comment Pénaud l'avait, le premier, appliquée en 1871, même en l'exagérant un peu, surtout vers les extrémités, et s'en était fort bien trouvé ; mais remarquons que si, dans de très petites constructions, on peut assez facilement réaliser un plan présentant la courbure que nous préconisons, puisqu'il suffit alors d'em-

Fig. 22. — *Mouettes, pigeons, canard*, pendant le planement ou l'abaissée de l'aile ; on voit la courbure générale que prennent les surfaces portantes de ces oiseaux.

ce qui montre bien que cette forme est générale pendant l'appui, car on sait combien l'aile de ces derniers oiseaux est relativement petite et rigide.

Nous déduirons donc de ces observations ployer un fort papier, ou une carte, renforcés au besoin par une légère nervure, il n'en est plus de même dans des constructions quelque peu plus importantes et à plus forte raison lorsqu'il s'agira d'aéroplanes destinés

Fig. 23. — Grand *vautour oricou* pendant le planement (d'après Mouillard) ; flexion remarquable des extrémités extérieures des grandes rémiges.

que la nature, pour soutenir les oiseaux sur l'air, les a munis de surfaces dont l'ensemble présente une courbe à concavité supérieure ; ne semble-t-il pas, d'ailleurs, qu'on ait comme l'intuition qu'une telle courbure, avec le centre de gravité du système au milieu de l'envergure et légèrement en contrebas, doive en effet, assurer la stabilité de l'ensemble d'une façon très satisfaisante ; c'est évident chez l'oiseau et c'est pourquoi nous avons toujours admis qu'il serait prudent de construire nos appareils dans une forme aussi rapprochée que possible de celle qui réussit si bien à l'impeccable nature ; à être montés ; dès qu'il faut tendre une étoffe, ou même un fort papier parcheminé, sur une carcasse rigide, la difficulté d'obtenir des surfaces courbes, sans poches ni plis, devient très réelle ; aussi s'est-on contenté quelquefois d'employer des plans simplement horizontaux et, si on leur donnait quelque courbure, on ne les recouvrait d'étoffe que du côté bombé ; les aviateurs, qui leur préfèrent, à juste titre, des plans relevés extérieurement, donnent à leur projection verticale, vue de face, la forme d'une ligne brisée dont une partie, au centre, est formée par le corps de l'appareil, et dont

le reste est représenté par les ailes se relevant de chaque côté et formant entre elles un angle dièdre largement ouvert par en haut ; ce n'est peut-être pas très mauvais, et c'est au moins très passable ; en tout cas, c'est une disposition qui nous a déjà réussi ; néanmoins, nous sommes bien persuadé que les résultats seront toujours meilleurs lors-

Fig. 24. — Aéroplane dont les ailes n'ont pas de courbure transversale et sont simplement disposées en angle dièdre ouvert par en-haut.

qu'on pourra réaliser facilement et employer la courbure sans angles à laquelle nous accordons notre prédilection. N'oublions pas que, en adoptant cette disposition, ou toute autre analogue, la surface utile pour la sustentation doit être prise, non pas sur la surface réelle, mais sur la projection de cette surface sur un plan horizontal. Pour fixer plus facilement les idées au sujet de la courbure des ailes d'un aéroplane dans le sens transversal, disons que, dans notre esprit,

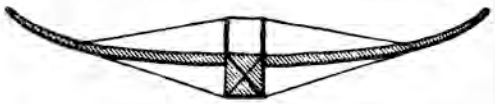


Fig. 25. — Vue par l'avant d'un aéroplane dont les ailes offrent une courbure elliptique analogue à celle qu'on trouve chez les oiseaux.

cette courbure devrait à peu près représenter la partie inférieure d'une ellipse que l'on aurait coupée parallèlement à son grand axe et un peu au-dessous de celui-ci ; on aurait ainsi une courbe assez élégante et d'autant plus accentuée qu'on se rapprocherait des extrémités extérieures ; c'est, d'ailleurs, à peu près la forme qu'on peut observer dans les ailes des oiseaux pendant l'abaissée ; cette forme offre en outre l'immense avantage d'assurer d'une façon parfaite l'équilibre transversal.

Enfin, comme nous avons vu à propos de la résistance de l'air qu'un certain creux dans le sens antéro-postérieur des surfaces portantes augmente assez sensiblement leur efficacité, nous pourrons adopter cette forme ; nous pensons cependant que la courbe que nous pourrons donner dans ce sens à nos ailes ne devra pas excéder celle qu'on peut inscrire entre les deux horizontales, limitant en haut et en bas la section verticale d'avant en arrière de ces ailes ; nous avons déjà expliqué que chez les oiseaux cette courbe est assez peu accentuée. Les ailes d'un aéroplane devront toujours être plus fortes vers la partie avant ; la loi d'Avanzini nous en a fait voir la raison ; cette nécessité nous entraînera vraisemblablement à faire cette partie des ailes plus épaisse que le reste de l'organe ; nous croyons qu'il sera bon, dans ce cas, de ne pas porter toute l'épaisseur supplémentaire sur une seule face de l'aile ; ordinairement, l'on porte cette augmentation sur la face supérieure seulement ; nous croyons fermement qu'il serait mieux qu'on la fît porter aux deux faces à la fois, moitié pour chacune ; de cette façon la réaction de l'air sur la face dorsale de l'aile, vers l'avant, serait compensée par une réaction égale sous la face inférieure, évitant ainsi tout effet nuisible, si ce n'est la légère augmentation de la résistance au déplacement de l'ensemble due à sa plus grande projection dans le sens de sa marche ; mais ce sera toujours là un fait à peu près inévitable.

Ajoutons que nous avons déjà construit quelques aéroplanes, de toutes grandeurs, et que nous avons toujours employé des plans complètement plats, et cela sans y avoir trouvé le moindre inconvénient. Nous nous proposons pourtant d'employer à l'avenir des plans légèrement creux, comme nous venons de l'indiquer.

Nous montrons, figure 26, la forme que pourraient avoir les nervures d'une aile ainsi construite ; B et C représentent deux nervures antéro-postérieures de construction différente et qui seraient aussi une coupe de l'aile à l'endroit où se trouveraient ces nervures ; la première, B, serait construite en bois évidé, comme il est indiqué plus bas par la section D ; la seconde, C, serait simplement découpée sans évidement, sa section serait alors celle représentée en E ; on remarquera, dans chacune de ces nervures, les mortaises destinées à recevoir les charpentes qui doivent en réunir un certain nombre entre elles de façon à fournir la carcasse d'une aile ; ces charpentes, qui doivent être courbées transversalement, dans le sens de l'envergure, peuvent être de section rectangulaire, comme il est indiqué en F, ou bien simplement rondes ; dans ce dernier cas, on pourra les faire de bambous, ou

même de tubes métalliques ; mais notre préférence irait à l'emploi du bois cintré dans le sens de l'envergure et de section rectangulaire. Sur la même figure, on voit en A la carcasse complète d'une aile ainsi construite ; B, B,... sont les petites charpentes courbes évidées, indiquées à côté, en plus grand, en B ; et F, F,.... les charpentes longitudinales. Enfin, une mince latte de bois cintré encadre le tout ; cet ensemble doit être recouvert sur ses deux faces.

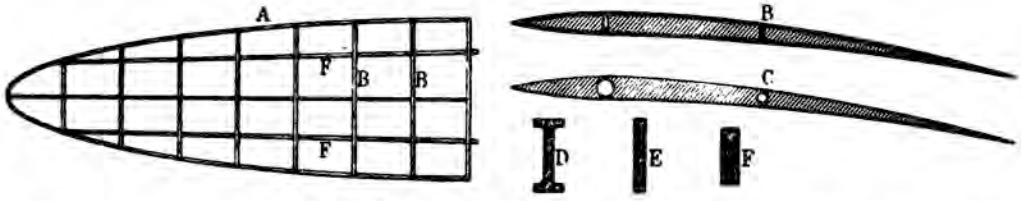


Fig. 26. — Sections de diverses parties d'une aile d'aéroplane légèrement creuse et plus épaisse vers l'avant, où se fait sentir davantage la réaction de l'air. Ensemble d'une carcasse d'aile.

Stabilité longitudinale. — Pour assurer la stabilité d'un aéroplane dans le sens longitudinal, on devra évidemment avoir recours à une queue, ou tout au moins à un organe sensiblement analogue et capable d'en remplir utilement la fonction. Nous avons déjà vu qu'on avait tenté de mettre cet organe par devant, mais que les résultats obtenus par ce système n'ont pas été très brillants ; aussi en est-on revenu presque complètement aux queues, ou gouvernails de profondeur, placés à l'arrière ; c'est ainsi qu'on les trouve chez l'oiseau ; chez celui-ci, cet organe est placé assez près du corps ; on a même observé que, lorsque sa longueur tend à s'exagérer, l'oiseau vole plutôt moins bien ; ce fait provient de ce qu'alors il traîne inutilement derrière lui une surface qui ne peut qu'augmenter les frottements de l'air ; les meilleurs volateurs n'ont qu'une queue moyenne, ou même courte. Cela leur suffit, car ils savent s'en servir merveilleusement ; tellement même que les mouvements de cet organe sont pour ainsi dire automatiques : la ligne de vol qu'un oiseau s'est donnée vient-elle à être troublée par une cause quelconque qui le fera tout d'un coup, ou trop s'élever, ou trop descendre, un coup de queue, absolument instinctif, interviendra aussitôt pour rétablir l'équilibre longitudinal menacé, et cela est si vrai qu'on peut faire l'expérience suivante qui, croyons-nous, n'est pas très connue, mais qui réussit toujours : prenez un oiseau quelconque, le premier pigeon venu, par exemple, s'y prêtera très bien ; tenez-le à la main de façon que son corps soit à peu près horizontal, comme lorsqu'il vole ; sa queue alors sera aussi sensiblement horizontale ; inclinez brusquement l'axe de son corps, soit en avant, soit en arrière ; aussitôt l'oiseau braquera sa queue, soit en haut, soit en bas, selon le sens qui conviendrait à rétablir sa position sur l'horizontale s'il était au vol ; son mouvement sera aussi rapide que le vôtre, ce qui permet de supposer que cet acte est tout à fait instinctif et que le raisonnement n'a pas le temps d'intervenir ; il ne faut évidemment pas compter donner une telle sensibilité à nos aéroplanes, même en comprenant le pilote comme partie intégrante. Si, dans les aéroplanes, la queue est aussi courte et aussi rapprochée du corps que chez l'oiseau, sa manœuvre doit être continuelle et, malgré cela, à cause du peu de précision de cette manœuvre, due surtout au trop court rayon des oscillations décrites, l'équilibre sera toujours fort difficile à maintenir et l'appareil offrira d'autant moins de sécurité. En ceci donc, ne cherchons pas à copier l'oiseau ; nous ne pourrions l'imiter ; mais nous pourrons munir nos appareils d'une queue dont la surface pourra avoir les mêmes proportions par rapport aux ailes, à la condition de l'éloigner beaucoup plus du corps ; cette disposition permettra à l'appareil qui aurait quelque tendance à perdre son équilibre longitudinal de ne décrire dans le plan vertical que des oscillations qui ne seront jamais trop brusques à cause de leur grand rayon, ce rayon augmentant d'autant plus que la queue sera plus éloignée ; sa manœuvre sera alors grandement facilitée, les oscillations à réprimer étant de beaucoup plus longue durée. Mais nous allons voir qu'une

queue un peu longue peut aussi assurer l'équilibre longitudinal d'une façon en quelque sorte automatique, ce qu'on ne saurait demander à une queue trop courte ou trop rapprochée du corps. Une queue un peu longue peut, en effet, remplir l'office d'un empennage stabilisateur destiné à corriger les dénivellations qui pourraient se produire pendant les déplacements possibles, quoique presque insensibles, du centre de gravité, par rapport au centre de sustention sur l'air. Cette sorte de queue, pour que la fonction qui lui est dévolue soit assurée, ne doit avoir aucune inclinaison par rapport à la direction de la marche, alors que le plan sustenteur a son bord antérieur relevé pour attaquer l'air sous l'incidence prévue. On conçoit que, par cette disposition, si l'incidence vient à varier pour une cause quelconque, l'air viendra frapper cette queue, soit par-dessus, soit par-dessous, selon que l'angle diminuera ou augmentera, et son action sur elle obligera l'ensemble à revenir à l'angle primitif. Cet effet viendra s'ajouter à celui qui sera dû à la loi d'Avanzini ; nous avons vu que le centre de pression, sous un plan se mouvant obliquement dans un fluide, s'approche d'autant plus du bord avant du plan que l'angle d'attaque est plus petit ; le centre de gravité doit alors être placé de façon à coïncider avec le centre de pression pour que le système soit en équilibre ; mais, si ensuite, par une cause quelconque, l'angle d'incidence venait à s'ouvrir, le centre de pression serait reporté un peu en arrière et le centre de gravité qui, lui, n'aurait pas bougé, se trouvant alors en avant du centre de suspension, rappellerait

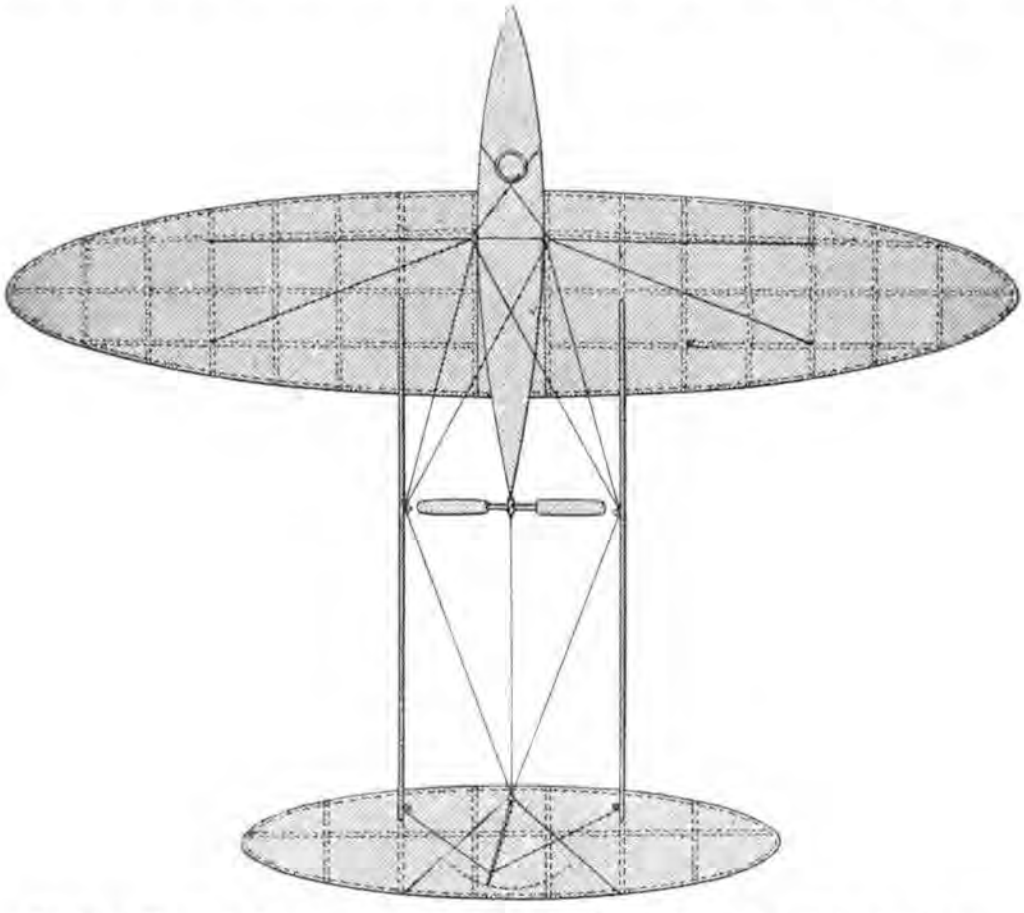


Fig. 27. — Ensemble d'un aéroplane, vu de dos, et indiquant la position relative de chacune de ses parties ; on y remarque la distance à laquelle se trouve la queue, ainsi que la forme et l'étendue de celle-ci. L'hélice est dégagée de toute part.

le plan à sa position primitive ; l'effet opposé se produisant si l'angle d'attaque des plans venait à se fermer ; l'équilibre serait donc, de ce fait, théoriquement automatique, la queue que nous venons de décrire venant encore augmenter la sécurité ; la pratique a toujours démontré, d'ailleurs, qu'elle était indispensable.

Son efficacité, avons-nous déjà dit, est d'autant plus accrue qu'elle est plus éloignée du corps où se trouvent les plans porteurs ; on peut, à notre avis, la placer à une telle distance que la longueur totale de l'ensemble de l'appareil soit à peu près égale à son envergure ; il sera bon aussi de la placer à une hauteur qui soit au moins égale à celle des plans porteurs pendant la marche de l'appareil ; si l'on pouvait même la placer un peu plus haut, cela pourrait faciliter d'autant plus le relèvement de l'avant de l'appareil au moment de l'atterrissage et lui éviter qu'elle ne vienne se détériorer au contact plus ou moins brutal du sol. Sa forme devra rappeler celle du plan principal, c'est-à-dire que sa surface devra s'étendre surtout en largeur ; nous en avons déjà expliqué la raison ; enfin l'expérience a fait voir qu'elle peut être légèrement courbée transversalement, à peu près comme la partie du plan sustenteur qui lui correspond dans la projection d'avant en arrière de l'ensemble ; cette disposition augmente encore un peu l'équilibre ; enfin, comme elle est destinée à être choquée par l'air sur l'une ou l'autre de ses faces, elle ne doit avoir aucune courbure antéro-postérieure et sa surface, qui peut être d'environ le quart de celle du plan principal, ne doit pas être comprise comme surface portante. Un fait très remarquable, quoique encore inexpliqué, c'est que cette queue placée à une certaine distance et allongeant ainsi l'ensemble de l'appareil, contribue, non seulement à son équilibre longitudinal, mais aussi à son équilibre tranversal ; c'est un effet que nous avons pu maintes fois observer.

L'importance de la disposition à employer pour la queue d'un aéroplane est telle qu'on peut hardiment affirmer que, de cet organe, dépendent à la fois et la sécurité de l'équilibre et la facilité de toutes les manœuvres; on peut l'établir de telle façon qu'on n'ait presque pas à s'en occuper en cours de route ; il suffit, pour cela, que sa distance et son inclinaison, par rapport au plan sustenteur, soient bien celles qui conviennent à l'appareil. Si la queue est trop rapprochée, si l'angle qu'elle forme avec les ailes est tant soit peu trop accentué, aussitôt que l'appareil atteindra sa vitesse normale il se cabrera ; sa vitesse diminuant alors, il devra revenir au sol ; nous en avons eu récemment de nombreux exemples. On comprend bien qu'un tel inconvénient peut être évité en manœuvrant rapidement ; d'abord en abaissant la queue pour enrayer l'élévation trop rapide suivant une courbe à concavité supérieure ; puis aussitôt après, par un léger mouvement inverse, maintenir l'appareil à l'horizontalité. C'est évidemment très faisable ; l'oiseau ne fait pas autrement ; mais puisque nous n'avons pas encore, et que nous n'aurons certainement jamais, les mouvements instinctifs de l'oiseau, qui suppléent si bien à ce qui serait, chez l'homme, une rapidité de décision sur laquelle il est plus prudent de ne pas compter, disposons donc la queue de nos appareils de façon à ce que la brusquerie de leurs oscillations soit atténuée, ou, ce qui serait mieux, à en obtenir toujours l'équilibre automatique. C'est très possible, après quelques tâtonnements peut-être, et il est certain, dès lors, que, dans un avenir assez prochain, on ne concevra pas d'aéroplanes autrement équipés.

On voit donc que l'équilibre des aéroplanes, tant tranversal que longitudinal, peut être facilement obtenu automatiquement ; on sait d'ailleurs, depuis longtemps, que des petits appareils d'étude, construits d'après les principes indiqués ci-dessus, jouissent d'une telle stabilité, qu'il devient, s'ils sont bien faits, bien entendu, absolument impossible de les faire chavirer, quelle que soit la position qu'on leur fasse prendre en les abandonnant dans l'air.

Nous avons vu plus haut qu'un aéroplane doit pouvoir au besoin avoir des vitesses diverses et que, dès lors, l'inclinaison du plan sustenteur sur la trajectoire qu'il décrit doit pouvoir varier quelque peu ; donc, si la queue de l'appareil faisait un angle fixe par rapport au plan principal, elle s'opposerait à toute variation de l'incidence ; il devient alors indispensable qu'elle ait une certaine mobilité de façon à ce qu'on puisse toujours faire coïncider son plan avec la direction de la marche ; pour remplir ce but, il lui suffirait de pouvoir varier son inclinaison dans les limites entre lesquelles peut varier celle du plan sustenteur, c'est-à-dire de quelques degrés seulement ; à cet effet, on pourrait l'articuler sur une charnière horizontale et transversale ; mais nous pré-

férerions lui faire prendre la position utile par simple flexion de ses supports ; cette solution nous paraîtrait assez élégante et offrirait, en outre, un surcroît de sécurité, car si, pour une raison quelconque, on était momentanément obligé de l'abandonner à elle-même, l'équilibre ne risquerait pas d'être compromis.

Puisque cette queue doit avoir une certaine mobilité de haut en bas, il est tout indiqué d'utiliser ce mouvement pour provoquer les ascensions et les descentes de l'appareil, en un mot, pour en faire en toutes circonstances où cela sera nécessaire, un gouvernail de profondeur ; comme il suffira de modifier son inclinaison de quelques degrés seulement, nous ne croyons pas utile d'avoir recours à aucun dispositif spécial, ce que nous avons dit de l'élasticité qu'on peut lui donner doit largement suffire ; on évitera ainsi la complication d'un gouvernail horizontal auxiliaire qui ne saurait rendre les mêmes services avec la même sécurité.

Direction latérale. — Chez les oiseaux, nos maîtres, la direction latérale s'obtient par des procédés qu'il ne serait peut-être pas prudent de vouloir imiter ; dans le vol plané, celui qui a le plus d'analogie avec le vol de nos machines, l'oiseau, pour changer sa direction, donne une incidence un peu plus grande à l'aile qui est du côté du centre de la courbe qu'il veut décrire ; la résistance augmentant de ce côté, l'autre aile peut avancer relativement plus vite, ce qui provoque le mouvement tournant ; cet effet peut être vérifié facilement sur des petits planeurs artificiels, découpés en papier et convenablement lestés ; ce procédé, malgré sa parfaite efficacité, ne suffit cependant pas toujours à provoquer un virage suffisamment rapide de l'oiseau, notamment s'il est nécessaire que ce virage soit un peu court ou un tant soit peu brusque, comme, par exemple, lorsqu'il chasse ; il est alors obligé de faire intervenir un mouvement de torsion de sa queue qu'il porte en même temps du côté où il désire se diriger. Inutile de dire qu'il serait bien imprudent de chercher à imiter un tel mouvement dans nos appareils d'aviation; le mouvement de torsion des ailes seules serait peut-être plus facilement réalisable, mais il nous paraît presque aussi dangereux ; il nous semble plus sage de construire nos machines de façon à ce qu'elles constituent un seul tout, bien homogène et dont toutes les parties, au moins celles qui supportent l'ensemble, soient bien rigides, bien reliées entre elles et aussi indéformables que possible ; là seulement, doit être la sécurité ; puisque nous pouvons, sans compromettre la solidité du tout, adjoindre à nos machines un gouvernail vertical, employons donc cet organe si simple à installer, si facilement manœuvrable et toujours si efficace. Le meilleur emplacement pour un tel gouvernail est à l'arrière de l'appareil et aussi loin que possible du centre de gravité ; il agira ainsi au bout d'un levier plus long et l'effort qu'il aura à supporter sera ainsi réduit au minimum ; il est vrai qu'il ne pourra pas faire décrire à l'appareil des courbes d'aussi court rayon que s'il était moins loin, mais, puisque ces courbes seront d'autant moins dangereuses à aborder que leur rayon sera plus grand, tout sera donc ainsi pour le mieux. Ce gouvernail vertical doit-il être placé au-dessus ou au-dessous de la queue ? Nous avons quelques raisons d'admettre qu'il doit être au-dessus ; si, en effet, il est placé dessous, il sera aussi au-dessous du centre de gravité de l'ensemble et dès lors, pendant le virage, l'appareil étant incliné vers le centre de la courbe décrite, sera sollicité à s'incliner encore davantage par l'effet du gouvernail qui tirera sa partie inférieure vers l'extérieur ; si, au contraire, le gouvernail est placé au-dessus, son effort aura plutôt une tendance à lutter

Fig. 28. — Vue latérale d'un aéroplane ; les ailes et la queue sont vues en section ; les ailes forment avec la direction de la marche un angle ouvert en avant ; la queue est complètement horizontale ; au-dessus de celle-ci, on voit le gouvernail pour la direction latérale. L'hélice est à hauteur du centre de résistance.

contre l'inclinaison prise pendant le virage et à maintenir l'aéroplane plus près de l'horizontale ; nous placerions donc, pour cette raison, cet organe au-dessus de la queue ; l'avantage obtenu par cette disposition sera sans doute de minime importance, mais aucun détail n'est à négliger lorsqu'il s'agit d'assurer la sécurité. Cette disposition lui éviterait peut-être aussi d'être détérioré au moment de l'atterrissage.

Corps central. — Le corps de l'aéroplane est une de ses parties que l'on néglige quel-

quefois trop, ce qui fait que, pendant le vol, il retarde souvent beaucoup la tendance que pourrait avoir l'appareil à progresser plus rapidement ; le meilleur moyen de réduire autant que possible la résistance au déplacement de ce corps est évidemment d'en faire le meilleur projectile qu'on pourra ; pour cela, nous recommanderons la forme fuseau déjà adoptée par quelques aviateurs bien avisés ; ce fuseau serait terminé en pointe à chacun de ses bouts ; sa section transversale serait mieux ronde, mais c'est là une forme qui se prêterait assez difficilement à une construction solide ; la section quadrangulaire généralement adoptée est encore très acceptable ; elle se prête bien, d'ailleurs, à l'installation, à son intérieur, du moteur et de ses accessoires, ainsi que du siège du pilote ; son maître-bau sera porté un peu vers l'avant, ce qui est très bon comme forme de projectile et est, en outre, presque nécessaire pour le facile aménagement des objets que doit contenir ce corps. Ses formes devront être, extérieurement, bien suivies et bien unies, comme s'il s'agissait de la coque d'un bon bateau ; rien, autant que possible, ne doit faire de saillie à l'extérieur et la partie arrière doit être au moins aussi soignée que l'avant ; il ne devra avoir que les ouvertures indispensables et on devra s'attacher à les réduire au minimum ; quelques trous pour d'inévitables tuyaux et un autre pour la tête du pilote seulement, s'il est possible ; il est évident qu'au cas où celui-ci ne pourrait s'introduire dans l'appareil par un trou trop petit, un ou plusieurs panneaux démontables remédieraient facilement à cet inconvénient ; ceux-ci seront d'ailleurs nécessaires pour rendre plus commode l'accès du moteur. Les ailes viendront s'implanter de chaque côté et à la partie supérieure de ce corps et de façon à ce que le centre de gravité de l'ensemble, tout compris, se trouve aussi exactement que possible sous le centre de suspension ; à cet effet, le corps devra être construit très solidement à cet endroit, tandis que les parties n'ayant que peu d'efforts à supporter pourront être beaucoup plus légères.

La figure 29 fait voir un corps d'aéroplane de ce genre, avant qu'on ne l'ait recouvert d'étoffe ; on remarque que le pilote peut s'y trouver dans une position très acceptable ; on a négligé, sur cette figure, les accessoires du moteur et la transmission ; celle-ci peut s'obtenir de façons si diverses qu'il serait à peu près impossible de prévoir d'avance la disposition qui conviendrait le mieux, puisque le choix de cette disposition sera forcément subordonné au genre de moteur employé.

On remarquera que, dans cette figure, nous avons placé le pilote en avant du moteur ; il y a à cela deux raisons que nous croyons également bonnes ; la première est qu'il est ainsi mieux placé pour voir devant lui, le sol ne pouvant lui être caché par une partie quelconque de son appareil ; la seconde a trait à sa sécurité : supposons que, pour une raison quelconque, et il n'en manquera malheureusement pas, l'aéroplane soit obligé de revenir au sol malgré la volonté de son pilote, la partie de l'appareil, qui vraisemblablement touchera d'abord sera l'avant, d'où un arrêt brusque amorti quelque peu par le bris de la carcasse de la pointe construite, nous l'avons dit, plus légèrement que la partie centrale ; le pilote, qui n'est pas fixé d'une façon solide à son banc, pourra être projeté en avant, plus ou moins violemment, c'est possible, mais soit sur le sol, soit sur les débris de la partie avant de son appareil ; le moteur, lui, n'aura pas bougé de son bâti qui est assez résistant pour l'avoir maintenu en place et il n'y aura ainsi aucun risque que ce moteur vienne écraser l'aviateur ; si, au contraire, le moteur était devant, le pilote serait, dans un pareil cas, infailliblement projeté sur

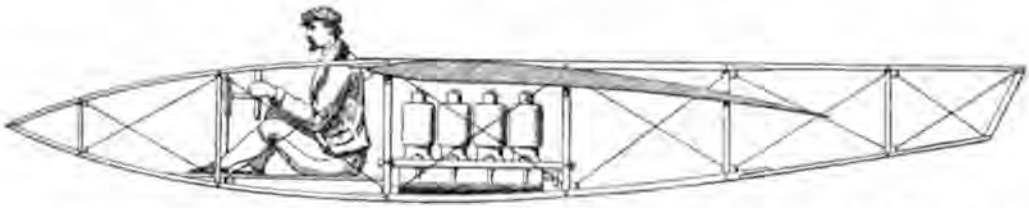


Fig. 29. — Corps fusiforme à section carrée formé de longrines maintenues par des gabarits et des croisillons en fil d'acier ; l'emplacement des ailes est indiqué en noir.

lui et il est probable que son contact serait plus à craindre que celui du sol ou même de quelques éclats de bois légers qui pourraient, en somme, jouer quelque peu le rôle d'amortisseurs. Remarquons aussi qu'il n'est nullement certain que l'avant du corps de l'appareil toucherait le sol, car si, sur notre figure, nous n'avons indiqué aucun support sous ce corps, il est pourtant probable que, presque toujours, on y placera, soit des roues à ressort, soit tout autre système destiné à amortir l'atterrissage ; mais la projection probable du corps non fixé du pilote et l'immobilité relative du moteur n'en subsisteront pas moins.

Notre figure n'indique pas non plus les positions des réservoirs ni du radiateur ; mais il se pourrait que ces objets ne soient pas indispensables sur certains moteurs, aussi ne saurait-on prévoir leur emplacement.

Ces détails, ainsi que le haubannage indispensable, sont généralement assez bien compris pour qu'il soit inutile de nous étendre davantage sur ce point ; contentons-nous donc d'appuyer fortement sur la nécessité de faire de ce corps un bon projectile, comme l'est, dans la nature, le corps de l'oiseau.

L'hélice ou les hélices. — Il est probable qu'aucun ingénieur ne proposerait aujourd'hui pour les aéroplanes un autre genre de propulseur que l'hélice ; cet organe a fait ses preuves et nul ne saurait en contester sérieusement la supériorité ; (il reste cependant encore quelques-uns de ces retardataires, mais on peut les considérer comme négligeables). Le nombre d'hélices à employer pour mouvoir un aéroplane semble devoir être rationnellement de deux ; elles tourneraient alors en sens inverses, de manière à neutraliser mutuellement leur couple de renversement tendant au chavirage latéral de l'appareil ; ce serait là le principal avantage de cette disposition ; nous l'avons employée et elle nous a donné de bons résultats ; par contre, elle a le désavantage de nécessiter une certaine transmission qui ne peut guère se faire sans l'emploi d'engrenages coniques qui sont toujours d'un rendement si désastreux. L'emploi d'une seule hélice qui, à première vue, paraît offrir moins de sécurité au point de vue de l'équilibre latéral, semble prédominer aujourd'hui ; mais il est bien évident que la principale raison pour laquelle ce dispositif est adopté provient surtout de la facilité qu'il offre de placer l'hélice unique directement dans le prolongement de l'arbre du moteur ; nous avons vu plus haut, au chapitre des hélices, à quels graves dangers l'on s'expose en adoptant cette funeste pratique ; sans doute l'on évite ainsi la complication d'une transmission et le poids supplémentaire qu'elle entraînerait ; mais de quel prix n'est-on pas menacé de payer ce mince avantage ? enfin, le rendement de l'hélice en est-il meilleur ? C'est bien douteux ; nous craindrions même que, à cause de la grande vitesse de rotation, ce rendement ne soit inférieur à celui d'une hélice à pas plus long tournant moins vite ; nous en avons déjà exposé la raison. L'emploi de l'hélice unique remonte aux expériences de A. Pénaud ; pour obtenir l'équilibre latéral, malgré la tendance au renversement, il eut l'idée, toute naturelle d'ailleurs, de lester en conséquence l'extrémité de l'une de ses ailes et le résultat cherché fut obtenu ; c'est ce procédé qu'on emploie encore aujourd'hui avec succès et, si la théorie ne nous l'a pas fait adopter plus tôt, nous sommes tout disposé, en présence des résultats obtenus dans des expériences journalières, à le déclarer maintenant très pratique. Rappelons, toutefois, que Pénaud lui-même, dans un projet de grand aéroplane qu'il avait conçu, était revenu à l'emploi des hélices jumelles tournant en sens inverse, et chose plus grave de la part de Pénaud, ces hélices devaient être placées en avant de son appareil ; il nous semble que ce soit là une assez grosse faute, que nous avons d'ailleurs commise, mais que nous ne commettrons plus ; cette disposition des hélices n'est pas aussi critiquable lorsqu'elles sont placées au-devant des plans que lorsqu'elles sont devant le corps même ; cette dernière position nous semble tout à fait inadmissible. Et, en effet, dans la plupart des expériences auxquelles nous assistons, il nous faut bien constater que le recul de l'hélice est énorme, incomparablement plus grand que ce que l'on obtient en marine, par exemple ; et pourtant, dans nos aéroplanes, la maîtresse-section du corps à mouvoir est, par rapport au grand cercle décrit par l'hélice, beaucoup plus petite que dans les navires. Les Américains ont une formule empirique qui leur permet d'évaluer approximativement le recul de l'hélice d'un navire ; c'est la suivante : $R = 4\frac{M}{H}$, dans

laquelle R est le recul cherché ; M la surface de la maîtresse-section immergée, et H l'aire du grand cercle décrit par l'hélice. Cette formule s'applique aux navires bien faits, bien entendu ; elle nous permet pourtant de voir que, si nos aéroplanes étaient d'aussi bons projectiles que les navires américains, le recul de leur hélice serait assez faible pour être négligeable. Le recul désastreux que nous constatons dans nos constructions nous semble dû à ce que le corps de nos appareils d'aviation est retardé par l'énorme courant d'air rejeté en arrière, à cause du recul, et dans lequel il lui faut progresser quand même. On nous objectera

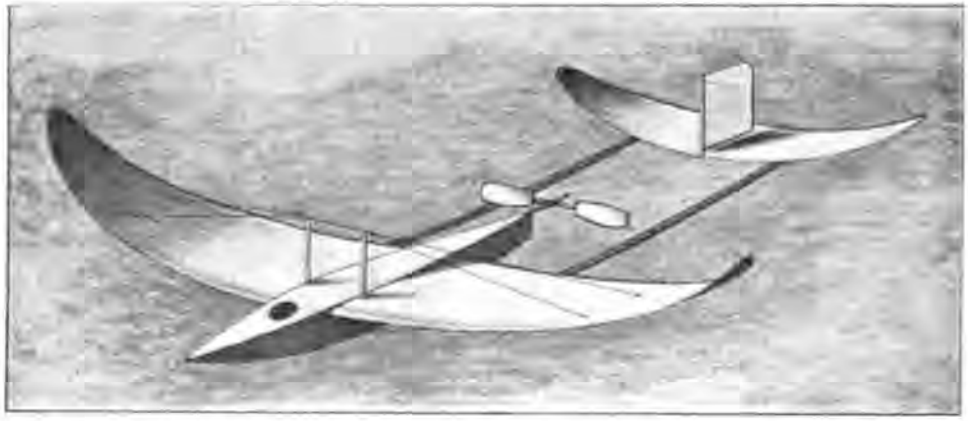


Fig. 30. — Aspect probable d'un aéroplane tel que nous l'avons supposé et vu en plein vol. Pour éviter la confusion, on a supprimé la plupart des haubans et autres accessoires.

peut-être que, dans d'autres appareils dont l'hélice est derrière le corps, on constate le même mauvais résultat : c'est possible, mais alors c'est que la position de l'hélice est encore défectueuse, mais pour d'autres raisons. Disons donc : pour qu'une hélice ait un bon rendement, elle doit être dégagée autant que possible, surtout en arrière ; mais il ne faut pas non plus qu'en avant l'air ne puisse pas être aspiré librement ; une hélice qui serait trop rapprochée d'un corps qui aurait un diamètre voisin du sien propre, ne pourrait guère travailler qu'à la poussée, l'aspiration du fluide ne pouvant se faire que par sa circonférence ; alors que, si elle est aussi bien dégagée en avant qu'en arrière, elle peut travailler à la fois à l'aspiration et au refoulement conclusion : dégageons donc nos hélices, elles rendront d'autant mieux.

Afin que la traction même de l'hélice ne soit pas une cause de perturbation de l'équilibre longitudinal de l'appareil, il est indispensable que cette traction ait lieu à la hauteur du centre de résistance. On comprend bien, en effet, que si cette traction avait lieu par un point plus élevé que le centre de résistance, la partie inférieure aurait quelque tendance à rester en arrière et, dès lors, l'appareil chercherait constamment à plonger de l'avant ; il aurait, au contraire, une tendance à se cabrer continuellement, si la traction de l'hélice avait lieu sur une partie trop au-dessous du centre de résistance ; dans les deux cas, le gouvernail horizontal devrait intervenir constamment, ce qui créerait certainement une résistance supplémentaire à la progression et qui pourrait être assez importante pour n'être pas négligeable ; il se pourrait même que l'équilibre longitudinal soit impossible à maintenir.

Quant au diamètre optimum à donner à une hélice d'aéroplane, il est évident qu'il devra varier avec chaque appareil ; tel appareil, parfait projectile, et pouvant fonctionner sous une faible incidence, n'aura évidemment besoin que d'une hélice moins grande que celle qu'il faudrait employer pour un appareil éprouvant une grande résistance à la pénétration dans le fluide et attaquant celui-ci sous un angle plus ouvert ; nous ne pourrions donc, à ce sujet, que répéter ce que nous avons déjà dit au chapitre des hélices. Nous pensons pourtant que pour propulser un aéroplane, bien conçu et pesant dans les environs de 300 à 400 kilos, une hélice de 2 mètres de diamètre suffirait largement ; tandis que pour un appareil qui serait à la fois, et plus lourd, et plus imparfait, il faudrait adopter au moins

le diamètre de 2 m. 50. Dans les deux cas, pourtant, le pas devra être au moins égal au diamètre et un peu plus grand, s'il est possible. Nous savons bien que ce pas est incompatible avec la vitesse des moteurs ; tant pis ; il faut alors démultiplier ; acceptons donc cette petite complication qui, sûrement, ne tardera pas à s'imposer, et cela tant que nos aéroplanes n'atteindront pas la vitesse de 35 ou 40 mètres par seconde.

Force motrice à appliquer aux aéroplanes. — A propos de la résistance de l'air, nous avons vu que la composante horizontale de cette résistance, celle qui serait nécessaire à la progression du plan, était proportionnelle au sinus de l'angle d'incidence et que le poids pouvant être supporté était proportionnel au cosinus de cet angle, d'où : $R = P \sin \alpha$; R étant la résistance éprouvée pendant la translation horizontale du plan, P le poids supporté, et α l'angle d'incidence ; $P \sin \alpha$ indiquant l'effort nécessaire à vaincre la résistance, nous aurons la valeur du travail mécanique T à dépenser, en multipliant cet effort par la vitesse V que nous voudrons donner à notre plan, soit : $T = P \sin \alpha \ V$. Ainsi, dans un appareil pesant, par exemple, 400 kilos, et avançant à la vitesse de 20 mètres par seconde, ce qui est très réalisable aujourd'hui, nous aurions pour la résistance à la progression, sous une inclinaison supposée de 10 %, à dépenser un travail mécanique $T = 400 \times 0{,}1 \times 20 = 800$ kilogrammètres ou 10 chev. 2/3. En réalité, si l'appareil que nous supposons ici avait une surface d'une vingtaine de mètres carrés, il n'aurait besoin, pour se soutenir sur l'air à cette vitesse, que de s'avancer à l'angle de 4° 35', soit une inclinaison de 8 % seulement ; avec l'inclinaison de 10 %, il pourrait porter environ 500 kilos ; nous exagérons donc à dessein, afin de ne pas risquer de donner ici des valeurs trop faibles ; l'on peut cependant voir combien l'aviation serait facile si nous n'avions à compter qu'avec la résistance due à l'obliquité du plan sustenteur. Malheureusement, les chiffres ci-dessus ne s'appliquent qu'au plan lui-même et, seulement, en tant que plan purement géométrique, c'est à dire en le supposant un plan idéal, sans épaisseur et assez uni pour n'éprouver aucun frottement au contact du fluide qu'il traverse ; c'est évidemment irréalisable. Il nous faudra donc tenir compte d'une dépense supplémentaire de travail, nécessaire, celle-ci, pour vaincre les résistances au déplacement de l'appareil considéré comme projectile matériel, plus ou moins rugueux et traversant le fluide ; ce sera là une seconde quantité de travail à dépenser. Pour distinguer entre ces deux parts du travail, nous appellerons la première part : *travail de suspension* et la seconde : *travail de translation*. La première est toujours déterminée, d'une façon immuable, par les conditions de poids, de vitesse et d'incidence et ne saurait être réduite tant que ces conditions restent invariables, mais elle est toujours indépendante de l'étendue des plans ; nous allons voir comment l'on pourrait déterminer assez approximativement la seconde part et, aussi, comment on peut la réduire au minimum possible.

Il nous faut bien constater d'abord que, dans la plupart des appareils d'aviation actuels, même ceux qui donnent les meilleurs résultats, le travail dépensé pour la translation est tout à fait excessif ; il est souvent le triple du travail de sustentation ; il faut absolument nous efforcer d'apporter un remède à un état de choses qui constitue un aussi formidable gaspillage de force motrice ; nous verrons que la seconde part du travail peut très bien n'être pas plus grande que la première. Le seul moyen d'y arriver est évidemment de soigner davantage la forme de nos aéroplanes ; il faut nous décider à prendre le plus grand souci d'éviter les résistances nuisibles ; on peut y arriver, comme nous l'avons déjà dit, en construisant des corps bien effilés, entièrement fermés de toutes parts, en construisant des plans sustenteurs à tranche mince et dont la carcasse soit également enfermée entre les surfaces supérieures et inférieures; en nous efforçant de ne laisser saillir à l'extérieur aucun organe ou accessoire pouvant créer une augmentation de résistance ; et enfin en réduisant les haubans au strict nécessaire ; la queue et les gouvernails devront également n'offrir au courant d'air relatif que des bords tranchants et des surfaces bien unies. Il est bien entendu aussi que nous ne pourrons arriver à des résultats assez importants pour constituer un réel progrès, que par l'emploi d'aéroplanes à un seul plan ; les appareils à plans multiples offrant toujours, et c'est certainement l'avis général, une résistance à la translation plus grande, à surface égale, que les appareils à plan unique. Quant aux appareils cellu-

laires du genre des cerfs-volants Hargrave, les essais qu'on en a faits sur les aéroplanes n'ont pas été très encourageants ; on comprend, du reste, que leurs cloisons verticales ne peuvent qu'accroître leur résistance à la translation. Ce type semble d'ailleurs abandonné.

On pourrait évaluer, d'une façon tout approximative, cela s'entend, le travail de translation d'un aéroplane donné et supposé bien fait, puisque nous pourrons toujours connaître les formes et les dimensions des parties de l'appareil qui seront la cause de sa résistance au déplacement. Pour présenter plus clairement cette proposition, nous supposerons un aéroplane dont le corps, de section rectangulaire, aurait 0 m. 70 de côté ; la longueur de ce corps étant supposée de 5 mètres, ce qui nous donne une idée suffisante de l'allongement de ses formes. Chacune de ses faces pourra être considérée, du maître-bau à l'avant, comme autant de plans inclinés, très allongés, et se mouvant dans le fluide par un de leurs petits côtés, c'est-à-dire dans le sens où ils devront éprouver la moindre résistance ; mais cette supposition ne se rapporterait qu'à l'une des faces des plans, la face antérieure ; aussi admettrons-nous que l'autre face, la postérieure, peut être représentée par la partie du corps allant du maître-bau à l'arrière ; dans ces conditions, la résistance est sensiblement proportionnelle au sinus de l'angle moyen formé par les parois du mobile avec son axe (en marine, on considère même cette résistance comme moindre encore). Dans notre cas, ce sinus sera donc : de $\frac{0,70}{5}$ = 0,14 ; et comme notre maîtresse-section sera de 0,70 × 0,70 = 0,49 ou, en chiffres ronds, un demi-mètre carré, elle offrira à la translation une résistance R = 0,5 × 0,14 = 0,07 ; soit les 7/100 de celle qu'offrirait un mètre carré de surface qui se déplacerait normalement.

A cette surface ajoutons celle qui pourrait correspondre à la résistance des ailes ; en supposant celles-ci d'une épaisseur moyenne de 0 m. 08 à 0 m. 10 et d'une envergure de 10 à 11 mètres, elles nous offriraient une section d'un mètre carré ; mais comme elles seront d'un profil longitudinal sensiblement plus effilé que le corps, et que nous les supposerons bien unies et bien vernies extérieurement, il est certain que leur résistance n'atteindra qu'à peine celle d'une surface normale à sa direction et qui n'aurait qu'un dixième de la section des ailes ; soit 0 m² 10 ; la queue et les gouvernails peuvent être admis pour le 1/3 de cette valeur, soit 0 m² 035 ; enfin, les haubans, que nous compterons largement en leur attribuant 100 mètres de long sur 2 m/m d'épaisseur moyenne, et que nous supposerons offrir une résistance égale à leur projection, comme s'ils offraient au courant d'air des surfaces plates, représenteront ainsi 0 m² 20 ; cela nous fera : 0,07 + 0,10 + 0,035 + 0,20 = 0 m² 405 ; pour les roues et la tête du pilote, nous compterons 0,095 pour arrondir, et nous aurons ainsi une résistance au déplacement égale à celle d'un demi-mètre carré de surface se mouvant orthogonalement ; cette résistance étant $R = KSV^2$ le travail à employer pour la vaincre, à la vitesse V, sera T = RV ou $T = KSV^3$; ce qui, en admettant pour K la valeur 0,07 trouvée récemment par Canovetti et en attribuant à V la valeur 20 mètres que nous devons bien compter obtenir couramment, fera 280 kilogrammètres ou 3 chevaux 3/4 ; tel serait le travail de translation d'un aéroplane dont les sections seraient celles que nous venons de supposer.

Si un tel appareil pesait 400 kilos comme celui que nous avons supposé à propos du travail de sustentation, il lui suffirait, pour se soutenir sur l'air, d'avancer à la vitesse de 17 mètres par seconde seulement ; mais nous conserverons le chiffre de 20 mètres dans nos appréciations afin de nous conserver une large marge ; cela ferait donc en tout 10 2/3 + 3 3/4 = 14 chevaux 1/2, en chiffres arrondis. Il faudrait ajouter à ce travail demandé au moteur un certain supplément pour compenser la perte inévitable due au rendement de construction de l'hélice propulsive ; cette perte, dans une hélice bien faite ne doit pas être supérieure à 10 % (elle pourrait être moindre) enfin, une dernière perte serait due au recul de l'hélice ; cette perte, si l'appareil offre à peu près les résistances au déplacement que nous avons supposées en recherchant le travail de translation, ne doit pas atteindre plus de 10 %, mais nous la porterons à 20 %, par prudence ; soit donc une perte totale, pour l'hélice de 30 % ; le travail trouvé plus haut ne serait donc que les 7/10 du travail nécessaire ; par conséquent, la force motrice devrait donc maintenant atteindre : $\frac{14,5}{0,7}$ = 20 ch. 7, ou en chiffres ronds 21 chevaux.

Nous pouvons également nous rendre

compte de l'importance de l'effort de traction de l'hélice qui sera nécessaire pour communiquer à un aéroplane la vitesse que nous avons prévue ; en effet, si nous admettons comme exactes les valeurs que nous avons trouvées pour un appareil tel que celui que nous venons de supposer, l'hélice devra, à cause de son recul, décrire dans une seconde un parcours de 25 mètres, supposé fait dans un écrou solide, au lieu de 20 mètres qui suffiraient si le recul était nul. La dépense de travail nécessaire, en marche horizontale normale, étant de 21 chevaux, ou 21 × 75 = 1.575 kilogrammètres, la traction de l'hélice devra être de $\frac{157.5}{25^m}$ = 63 kilogs. Enfin, si son pas était de 2 mètres, elle devrait faire 12 tours 1/2 par seconde.

Départ, montées et virages. — Dans les calculs qui précèdent, nous avons tenu compte seulement du travail à dépenser dans le cas de la marche ordinaire de l'appareil, supposé en plein vol, et suivant une trajectoire simplement horizontale ; mais tel ne sera pas toujours le cas dans la pratique. Au départ, par exemple, ce travail devra être quelque peu augmenté ; aujourd'hui, il est démontré expérimentalement qu'on peut partir en palier ; l'on partirait plus facilement, évidemment, si l'on pouvait toujours disposer d'un terrain quelque peu incliné et en partant alors à la descente; l'on peut également partir plus facilement s'il fait un léger vent et qu'alors on se dirige contre la direction de ce vent ; mais il faut prévoir que ces deux conditions réunies, vent pas trop fort, et soufflant contre la pente, ne se rencontreraient pas assez fréquemment ; aussi ne pouvons-nous qu'approuver les départs en palier pendant lesquels on aura toujours au moins l'avantage de pouvoir partir contre le vent, ce qui, en augmentant la vitesse relative de l'air sous les plans pendant le lancement, permet le soulèvement de l'appareil après une course sur le sol moins longue qu'en cas de calme ou de vent soufflant dans la direction de la marche. Or, pendant cette course du départ, il sera toujours nécessaire pour que l'appareil s'élève que ses plans sustenteurs offrent à l'air, à un moment donné, une incidence un tant soit peu plus grande que celle rigoureusement nécessaire au maintien de l'horizontalité du vol lorsque l'appareil est en plein air, sans quoi, il continuerait à courir horizontalement ; cette augmentation de l'incidence, qui peut en réalité être très faible, n'en nécessitera pas moins un certain travail supplémentaire, si peu que ce soit ; il y a bien aussi l'inévitable frottement de roulement ; mais nous savons que son importance diminue rapidement dès que l'appareil prend de la vitesse, puisqu'il est alors en partie soulevé par ses plans et, par conséquent, porte d'autant moins sur le sol ; il est, en outre, assez réduit lorsque l'appareil est, comme on le fait couramment, monté sur ressorts et muni de roues garnies de pneumatiques ; c'est cependant déjà un petit excès nécessaire de travail ; mais dès que l'appareil a quitté terre, le surcroît de travail requis devient plus important ; en effet, maintenant, il faut monter ; or, un corps qui s'élève doit, pour cela, dépenser un travail égal à autant de fois son poids-mètre qu'il s'élève de mètres ; donc, si un aéroplane veut s'élever de deux mètres par seconde, par exemple, il lui faudra, s'il pèse 400 kilos, dépenser pendant cette ascension un travail supplémentaire de 400 × 2 = 800 kgm., soit un peu plus de 10 chevaux ; ce ne serait pas négligeable et pourtant, pour un appareil dont la vitesse serait de 20 mètres par seconde, il ne pourrait s'élever que suivant une pente de 10 % ; il est vrai qu'on pourrait se contenter de moins ; 5 % permettrait encore de se trouver à 50 mètres au-dessus de son point de départ, au bout d'un trajet d'un kilomètre ; mais si l'appareil est appelé à se déplacer quelque peu, à faire de petits voyages, et même des grands, comme nous devons le prévoir, il pourrait rencontrer des hauteurs ou de simples petites collines dont les flancs pourraient bien dépasser l'inclinaison de 10 % ; c'est un cas qu'il est bon de prévoir, car, si nous n'en sommes pas encore là, nous y serons peut-être bientôt.

Un aéroplane qui n'a pas, au départ, un excès de force motrice suffisant, peut cependant s'élever tout de même ; mais alors il ne peut le faire qu'en employant pour son ascension une partie de la force vive emmagasinée dans sa masse ; dans ce cas, sa vitesse diminue sensiblement, surtout si l'appareil, mal équilibré, a quelque tendance à se cabrer : cette vitesse devient insuffisante pour sa sustentation et l'appareil doit revenir au sol, quelquefois un peu durement, comme nous l'avons exposé plus haut.

Les virages nécessitent aussi un certain

excès de dépense de travail moteur ; on comprend bien que, pendant un virage, l'aéroplane devra s'incliner d'autant plus, vers le centre de la courbe qu'il décrit, que ce virage se fera sur un plus petit rayon. Si, pendant ce temps, la dépense de force motrice restait la même, l'appareil glisserait latéralement, peu à peu, vers le centre de cette courbe et en suivant la paroi imaginaire du cône engendré par sa trajectoire pendant le mouvement tournant. Il est donc nécessaire, pour qu'il se maintienne à la même altitude pendant le virage, qu'il puisse disposer d'un excédent de travail moteur, puisque, pendant ce temps, il aura à soutenir, non seulement son poids, mais aussi à compenser l'augmentation apparente de ce poids due à la force centrifuge ; c'est ainsi que la gravité, agissant toujours verticalement, représentera maintenant la composante verticale de ce nouveau poids, pendant que sa composante horizontale sera représentée par la force centrifuge ; la résultante, représentant le poids total nouveau à soutenir, sera normale au plan sustenteur, auquel on devra faire prendre une incidence un peu plus grande pendant le virage, afin qu'il puisse supporter le nouveau poids.

On peut trouver facilement la valeur de cette augmentation, si l'on connaît le rayon de virage, le poids total de l'appareil et sa vitesse. Prenons un exemple : l'aéroplane pèse 400 kilos ; sa vitesse est de 20 mètres par seconde ; il vire autour d'un cercle de 100 mètres de diamètre, soit 50 mètres de rayon ; la force centrifuge F étant : $F = \frac{P V^2}{g R}$, nous aurons, en effectuant les calculs : F = 325 kilos ; ce sera là la composante horizontale du nouveau poids ; la composante verticale, nous la connaissons, c'est le poids lui-même P = 400 kilos ; en construisant avec ces données le parallélogramme des forces, sa diagonale D nous donnera la résultante cherchée ; ainsi donc $D = \sqrt{P^2 + F^2}$ ce qui fait, en chiffres ronds : 515 kilos, comme résistance normale sous les plans sustenteurs, au lieu de 400 que nous avons seulement lorsque l'appareil marche en ligne droite et horizontalement ; le travail de suspension devra donc être augmenté dans le même rapport et, dès lors, au lieu de 800 kgm., il deviendra $\frac{800 \times 515}{400} = 1.030$ ou près de 14 chevaux, au lieu de 10 2 3 ; l'inclinaison de l'appareil, qui devra être normale à la résultante trouvée plus haut, serait alors de $\frac{400}{515}$ ou environ 77 %, ce qui correspond à un angle d'un peu moins de 38° . Il serait donc prudent, au moins tant qu'on en aura la place, de ne virer que sur un rayon plus long.

Quant au travail de translation, il faut bien compter qu'il sera aussi quelque peu augmenté, car toutes les parties de l'appareil se présenteront plus ou moins obliquement à l'air et il se pourrait qu'il en résulte une dépense supplémentaire, difficile à chiffrer, mais qui sera probablement aussi de plusieurs chevaux. Ainsi, pour se réserver d'une part de quoi s'élever de 5 à 10 % en cas de besoin, et, d'autre part, pour pouvoir virer suivant un rayon qui n'est pas encore excessivement court, il sera donc nécessaire d'avoir une réserve de force motrice capable de porter de 2, à environ 3, le total du travail ; ce qui, pour un appareil tel que celui qui nous a servi d'exemple, nécessiterait l'emploi d'un moteur d'à peu près 30 chevaux.

Il est probable que ce chiffre, non seulement n'aurait pas besoin d'être dépassé, mais qu'il serait plutôt sensiblement au-dessus de celui qui serait rigoureusement nécessaire, car nous avons vu combien largement toutes les résistances ont été comptées.

Ainsi, dans un appareil, qui semble encore assez facile à construire, on voit qu'on peut très bien arriver à ne pas dépenser plus de travail pour la translation que pour la sustention, et aussi qu'il serait assez facile d'avoir une réserve de travail assez importante pour parer aux nécessités, soit d'une montée un peu rapide, soit d'un virage à rayon relativement court. Ces avantages seraient incontestablement dus aux formes extérieures de l'aéroplane qui, tel que nous l'avons décrit, rappellerait bien quelque peu l'oiseau, sauf pour la queue ; nous en avons expliqué la raison.

Il est bien entendu que notre description ne vaut que comme une sorte de schéma et qu'il ne serait pas indispensable qu'un appareil eût exactement les mêmes étendue, poids, vitesse, force motrice, etc.; nous avons voulu montrer seulement, par un exemple, qu'il est très possible de construire, dès à présent, des aéroplanes capables de donner des résultats sensiblement supérieurs à ceux déjà obtenus.

Les roues qui supportent aujourd'hui nos aéroplanes, et qui nous paraissent encore

indispensables, sont un véritable barbarisme ; ce système a quelque chose d'enfantin et de primitif qui, évidemment, ne saurait se perpétuer ; par quoi pourrait-on bien les remplacer ? Nous l'ignorons encore, mais il est bien évident que l'énorme résistance qu'elles feront éprouver à un aéroplane quelque peu rapide, pendant sa translation, ne tardera pas à rendre ces organes inadmissibles ; aujourd'hui, les départs se font sur des terrains qui nécessitent des roues de diamètre d'autant plus grand que le sol est plus rugueux ; ne pourrait-on trouver alors un moyen de les abandonner sur le sol au moment de le quitter ? Ce serait très facile, mais alors comment faire l'atterrissage ? Il y a là un problème qui n'est pas très facile à résoudre ; il faudra y arriver, cependant ; les roues pourraient peut-être être remplacées par des patins à ressorts, comme on l'a déjà proposé depuis longtemps ; ou bien, par une sorte de compromis, ces patins pourraient peut-être porter seulement de petites roulettes, et, le tout se reployant ; cela a déjà été proposé aussi ; mais il nous faudrait alors des emplacements de départ et d'atterrissage apprêtés tout spécialement et presque aussi unis que des parquets ; ce ne serait pas impossible à réaliser et l'avenir est peut-être là. En tous cas, l'une des plus grandes difficultés de la manœuvre des futurs aéroplanes sera certainement de réussir toujours des atterrissages aussi rigoureusement tangentiels que possible.

Il nous faut aussi présenter une remarque, au sujet de la dépense du travail moteur, dans le cas où l'on voudrait augmenter quelque peu la vitesse. Supposons donc un aéroplane dont le travail de translation serait égal au travail de suspension ; la vitesse doit passer, de 20 mètres par seconde, à 25 mètres, par exemple ; le travail de suspension, dans ce cas, pourra rester le même, puisque l'on pourra fermer l'angle d'attaque α d'autant que V^2 s'accroîtra, de façon à ce que le produit de ces deux facteurs de la sustentation reste le même ; on pourrait même le voir diminuer un peu ; mais nous allons voir qu'il n'en est pas de même en ce qui concerne le travail de translation ; la résistance au déplacement d'un mobile se mouvant dans un fluide, étant proportionnelle au carré de la vitesse, augmentera donc d'abord comme V^2 ; puis le travail à produire étant proportionnel au chemin parcouru, nous aurons donc au total une dépense de ce travail proportionnelle à V^3. Or, comme les vitesses 20 m. et 25 m. sont dans le rapport 1 : 1,25, le travail T à produire deviendra donc, pour passer de la première vitesse à la seconde : $T \times 1{,}25^3$; c'est-à-dire qu'il faudra, en chiffres ronds, le doubler. Nous trouverions sans doute ce travail supplémentaire dans celui que nous aurions pu réserver pour le vol ascendant. Mais ce sera toujours la nécessité de cette réserve, absolument inéluctable, qui limitera forcément, quelque jour, la vitesse des machines aériennes et, ici encore, on ne peut atténuer cet inconvénient qu'en construisant des appareils parfaits comme projectiles ; nous en sommes encore assez loin. Enfin, les moteurs n'ont pas dit non plus leur dernier mot ; leur légèreté sera évidemment pour nous un excellent atout.

Mais malgré tous les progrès que nous réserve l'avenir, il n'en sera pas moins toujours vrai que si, à la vitesse de 20 mètres, un aéroplane, dont les travaux ci-dessus spécifiés seraient égaux, et pourraient être représentés par 2, par exemple, devait être modifié, ou reconstruit, en vue d'obtenir la vitesse de 40 mètres, vitesse à laquelle on ose déjà penser, il lui faudrait multiplier la moitié de son travail par 2^3 puisque la vitesse serait doublée ; le travail moteur passerait ainsi, de 2, à $1 + (1 \times 2^3) = 9$: ce qui serait peut-être assez difficile, pour ne pas dire impossible à obtenir.

CHAPITRE V

Les progrès de l'aéroplane

On trouve dans l'histoire les relations d'expériences plus ou moins authentiques qui auraient été faites par un grand nombre de chercheurs, en vue de rendre accessible à l'homme le vol qu'il voyait journellement pratiquer par les oiseaux ; la plupart de ces tentatives étant absolument dénuées de tout point de départ scientifique, nous

n'avons pas à nous y arrêter. L'aéroplane paraissant aujourd'hui être le seul genre d'appareil d'aviation pratiquement utilisable, c'est de lui que nous nous occuperons principalement.

En suivant l'ordre chronologique, on trouve, en tête des inventeurs de l'aéroplane, sir George Cayley; cet homme de génie, qui vivait au commencement du siècle dernier, nous semble bien avoir imaginé l'aéroplane, tout à fait complet, et tel qu'il est probable qu'aujourd'hui même le meilleur appareil sera celui proposé, il y a cent ans, par Cayley et sans qu'il soit nécessaire de lui apporter de grandes modifications. Dans le monde des aviateurs (et nous étions déjà une certaine pléiade en 1874) le nom de Cayley était peu connu; Pénaud, qui cependant avait appris qu'il avait dû être publié à Londres quelques-uns des travaux de ce précurseur, se mit à leur recherche et fut assez heureux pour découvrir un certain nombre d'articles parus dans *Nicholson's Journal* de 1809, vol. 24, et dans *Philosophical Magazine* de la même époque; voici comment Pénaud s'exprimait sur cette découverte (comptes rendus des séances de la Société française de Navigation aérienne, 1874) :

« Les écrits qui dormaient ignorés depuis « tant d'années sur les rayons poudreux « de vieilles bibliothèques comptent, selon « moi, parmi les plus importants qui exis- « tent sur la navigation aérienne, aviation « et direction des ballons. La théorie « de l'aile, l'avantage de l'oblique, l'im- « portance de la petitesse de la résistance « à la marche, l'intérêt qu'il y aurait à « faire des expériences méthodiques sur la « résistance de l'air, l'aéroplane à hélices, « l'équilibre aérien, etc., etc., y sont ex- « posés en peu de mots, mais avec une net- « teté parfaite. La question des moteurs est « clairement posée et les principaux moyens « de la résoudre sont indiqués. Le ballon « fusiforme à hélice; la nécessité de sa très « grande taille et de sa rigidité : le moyen « d'obtenir cette dernière au moyen d'une « poche à air et d'un ventilateur; les prin- « cipaux systèmes statiques et dynamiques « propres à descendre et à monter sans per- « dre de lest, sont clairement exposés... »

Et un peu plus loin : « Une pensée triste « naît cependant devant un semblable « spectacle. Voilà un homme qui, au com- « mencement du siècle, inventa la chau- « dière tubulaire, le condenseur par sur- « face, un type de machine à explosions à « mélange gazeux, etc., qui indique la plu- « part des conceptions qui feront la navi- « gation aérienne et dont plusieurs ont « fait, isolées, le renom de beaucoup d'au- « tres chercheurs. C'est à Londres, dans un « journal scientifique des plus répandus, « que ces lignes sont imprimées. Eh bien, il « ne se trouve personne qui comprenne la « portée de cet esprit, qui l'encourage, qui « l'aide, et qui soit stimulé par ces vivi- « fiantes pensées. L'arbre meurt avant « d'avoir porté fruit et l'existence même « de Cayley était inconnue en France... »

L'enthousiasme de Pénaud pour les travaux de l'ingénieur anglais est bien réellement justifié; on trouve, en effet, dans les publications citées plus haut, des articles de Cayley étonnants par la profondeur des idées et par leur lucidité. On y trouve un calcul relatif à une machine à vapeur légère, destinée à la locomotion aérienne et dans laquelle la chaudière se composerait de tubes à eau, de petit diamètre, et disposés de façon à former l'enveloppe même du foyer; une étude très complète du vol des oiseaux, de laquelle il tire que : un plan incliné à 10 %, mû à la vitesse de 11 mètres par seconde, pourra soutenir sur l'air un poids de une livre par pied carré de sa surface; il a parfaitement compris le rapport des composantes de la résistance normale; il étudie la résistance supplémentaire que pourra offrir à la progression le volume du corps considéré comme projectile, en comparant ce corps à celui des oiseaux. Il constate les variations de la position du centre de pression qui se déplace selon l'incidence et il remarque que, le centre de gravité ne se déplaçant pas, on pourrait avoir ainsi une sorte d'équilibre automatique; enfin, il prévoit une queue horizontale analogue à celle des oiseaux et qui, par l'action de l'air sur l'une ou l'autre de ses faces, selon la variation de l'incidence par rapport à la trajectoire suivie, permettrait d'assurer en toute sécurité, et automatiquement cet équilibre, en même temps que, par un léger déplacement autour d'un axe horizontal, elle permettrait d'assurer la direction ascendante ou descendante de l'appareil.

C'est bien là un aéroplane très complet et très rationnel qui est ainsi décrit et il semble même probable qu'il serait difficile de

faire aujourd'hui un bon appareil qui ne comporterait pas la plupart des dispositions indiquées par Cayley ; ne cherchons donc pas trop à faire du nouveau quand même, sous le prétexte évident, quoique souvent inavoué, de créer un type qui soit bien personnel à son auteur ; n'oublions pas qu'une vérité, même très ancienne, est toujours préférable à la plus neuve des erreurs. Les travaux de Cayley constituent une œuvre magistrale qu'il sera bon de ne pas oublier ; Cayley ; quoi qu'il en soit, cet appareil fut exécuté, mais il ne put donner aucun résultat ; la force motrice, produite par une machine à vapeur, devait être notoirement insuffisante. Nous n'indiquons donc la tentative de Henson, qui n'amena aucun progrès, que parce que c'était la première fois qu'un projet d'aéroplane était exposé avec tous ses détails, les publications de Cayley ne se composant que de notes, très claires assurément, mais beaucoup moins étendues,

Fig. 31. — Aéroplane de Henson, 1842.

il essaya lui-même de mettre en pratique ses idées sur l'aéroplane ; il construisit, à cet effet, un appareil simplement planeur qui lui donna, paraît-il, d'excellents résultats ; puis un véritable aéroplane à moteur ; mais, dit-il, celui-ci fut brisé accidentellement avant qu'il ait pu en essayer l'appareil propulseur.

Après Cayley, dont les travaux passèrent, comme nous l'avons dit, presque inaperçus, et assez longtemps après lui, vint Henson qui, en 1842, décrivit un projet très complet d'aéroplane ; les dessins de cet appareil ont été publiés à grand bruit à cette époque ; on les trouvera, notamment dans la revue française *l'Illustration*, accompagnés d'un texte explicatif très complet. Cette machine n'était, en somme, que celle préconisée par Cayley, sauf peut-être pour la queue que Henson avait cru devoir disposer en éventail extensible ce qui, à notre avis, était assez inférieur à ce qu'avait proposé surtout en ce qui concerne les dessins.

Pour trouver quelque modification au type primitif, il faut maintenant nous rapprocher jusqu'en 1866 ; en cette année, à la première séance de l'*Aeronautical Society of Great Britain*, Wenham propose l'emploi des plans superposés, étroits et nombreux, et disposés à peu près comme les feuillets des persiennes dites « jalousies ». Il fit, avec divers appareils construits sur ce principe, un certain nombre d'expériences, mais sans résultat probant, ce qui était à prévoir puisqu'il n'employait, comme moteur, que la force musculaire de l'expérimentateur ; celui-ci, pour la première fois, et bien avant les frères Wright, était placé horizontalement au milieu de son appareil et à sa partie inférieure. Plus tard, il fit, avec Stringfellow, quelques expériences, sans succès d'ailleurs, avec un aéroplane muni d'un moteur à vapeur évidemment insuffisant ; ce dernier appareil ne compor-

tait plus que trois plans superposés seulement. A citer aussi, dans les écrits de Wenham, une très judicieuse et très exacte

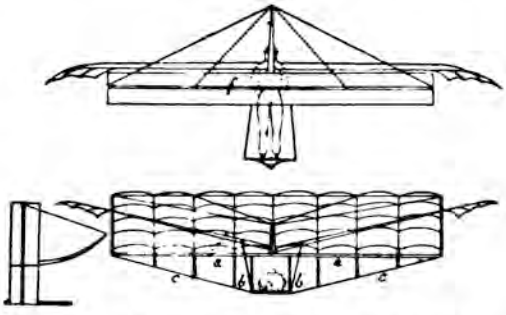


Fig. 32. — Aéroplane de Wenham, à plans superposés et mû par la force humaine. Plan vertical ; plan horizontal et profil latéral.

étude sur les hélices propulsives ; on ne saurait mieux dire aujourd'hui

Vint ensuite Alphonse Pénaud qui, en 1871, nous montra une expérience décisive ; son petit aéroplane à ressort de caoutchouc ne constituait pas une invention nouvelle, puisque c'était toujours le principe préconisé par Cayley ; mais ce qui était nouveau, c'est qu'il volait ! Pour la première fois, un appareil d'aviation du type aéroplane se soutenait et évoluait librement dans l'air par ses propres moyens. Jusqu'à lui, les nombreux expérimentateurs qui avaient construit et essayé des aéroplanes, soit à moteur, soit mus par la force musculaire de l'homme, n'avaient jamais pu obtenir le vol de leurs appareils. Les échecs successifs des divers essais tentés jusqu'à cette époque étaient dus, tant à l'insuffisance de la force motrice qu'au défaut d'équilibre. Grâce à l'emploi du ressort de caoutchouc, moteur léger et relativement puissant, Pénaud put faire la démonstration de la possibilité de faire voler ces machines, ce qui, quoique admis théoriquement, n'avait pas encore eu la sanction de l'expérience directe.

Le problème troublant de l'équilibre dans les deux sens était résolu d'une façon parfaite et par des moyens qu'il est regrettable de ne pas voir employer plus généralement aujourd'hui, au lieu de se débattre, comme beaucoup le font encore, contre une difficulté quelque peu chimérique. Nous avons vu plus haut que, n'employant qu'une seule hélice, il compensait la tendance au renversement latéral par le lestage de l'extrémité de l'une de ses ailes. Il avait aussi renoncé à l'angle dièdre des ailes, pour adopter la courbure transversale, analogue à celle que nous avons exposée au chapitre précédent, et qui lui a donné les meilleurs résultats sous le rapport de l'équilibre latéral. Quant à l'équilibre longitudinal, il a employé, pour l'obtenir, le dispositif dont l'efficacité parfaite, indiquée par Cayley, venait d'être démontrée expérimentalement par J. Pline, qui l'appliquait à de petits planeurs sans moteur; ce dispositif, que nous avons décrit en citant les travaux de Cayley, n'avait jamais été appliqué tel que celui-ci l'avait conçu ; dans tous les essais antérieurs à

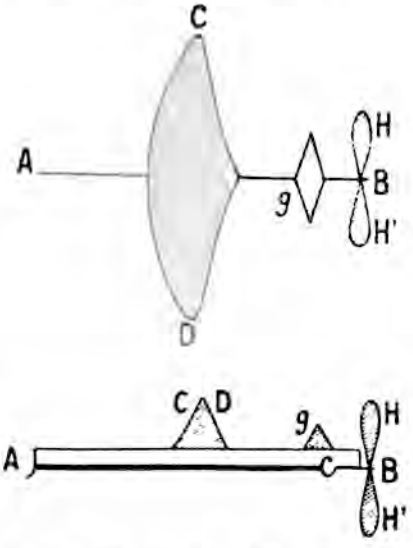


Fig. 33. — Petit aéroplane de Pénaud ; vue en plan horizontal et en profil latéral.

ceux de Pénaud, on avait fait seulement de cette sorte de queue un simple gouvernail de profondeur, sans songer à en faire un équilibreur automatique.

Quelques années plus tard, nous voyons apparaître les appareils à plans successifs. L'idée en avait bien été émise, en 1871, par Danjard, mais sans être mise en exécution ; c'est seulement en 1874 que D. S. Brown en présente quelques modèles à l'*Aeronautical Society of Great Britain*, en rendant compte des expériences qu'il avait faites avec ces appareils, expériences peu probantes quant au résultat général, mais dans lesquelles l'équilibre longitudinal était, pa-

raît-il, parfait. Il attribuait la sécurité de l'équilibre à cette disposition, nouvelle alors, d'avoir construit des plans dont le bord postérieur était flexible ; ce qui a été

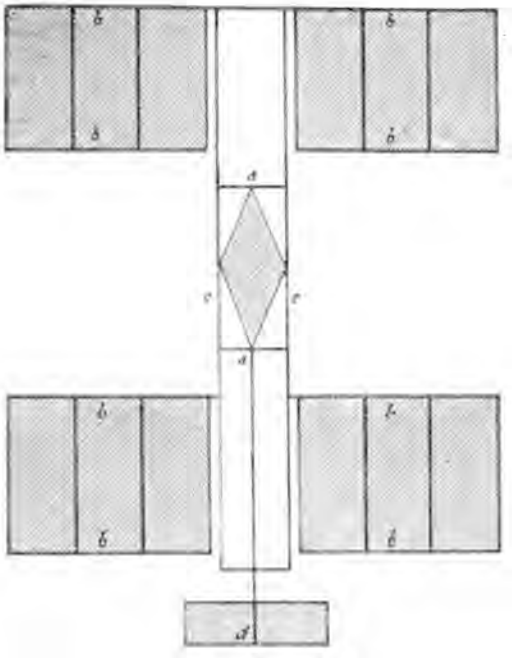


Fig. 34. — Planeur à plans successifs de Brown, dénommé par lui : aéro-bi-plane.

réinventé maintes fois depuis. Ces deux plans successifs rappelaient bien quelque peu la disposition employée par Pénaud, car dans les appareils de ce dernier, la queue, qui était assez semblable au plan sustenteur principal, n'était, en somme, qu'un second plan plus petit que le premier, mais ne supportant rien ; dans ces appareils, ces deux plans, en admettant qu'on puisse les considérer comme tels, faisaient entre eux un certain angle ouvert par en haut, ce qui assurait l'équilibre pour les raisons avancées par Cayley ; dans les appareils de Brown, les deux plans étaient parallèles et étaient porteurs, ce qui, en réalité, offrait l'avantage, à cause de leur distance, d'avoir une certaine latitude pour l'emplacement du centre de gravité ; de cette façon, l'équilibre longitudinal, qui ne pouvait être assuré d'une façon absolue, ne pouvait cependant être troublé qu'après un assez long parcours ; la rectilignité du vol ne pouvait pas exister et l'appareil ne pouvait évidemment que décrire, dans un plan vertical, des courbes de très grand rayon ; aussi Brown a-t-il dû munir son appareil d'une queue supplémentaire stabilisatrice et, dès lors, tout marcha bien ; mais il nous faut bien faire remarquer que c'est là une complication par rapport aux appareils de Cayley et de Pénaud, puisque, en somme, pour obtenir le même résultat, Brown emploie un plan de plus.

En 1878, nous avons à enregistrer le succès de Enrico Forlanini; l'appareil de cet ingénieur n'était pas un aéroplane, c'était un hélicoptère ; mais c'était la première fois qu'un appareil aérien quittait le sol, mû par une machine à vapeur ; c'était alors

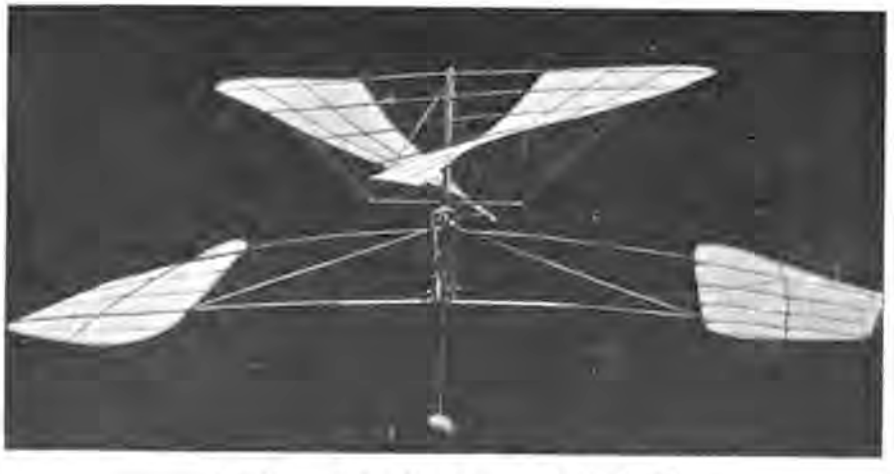


Fig. 35. — Hélicoptère à vapeur de Forlanini

le seul moteur sur lequel on pût compter. Pénaud avait déjà construit des hélicoptères fonctionnant très bien, mais ils étaient mus par des ressorts de caoutchouc ; tout le monde sait le joli jouet vulgarisateur qu'ils sont devenus. L'appareil de Forlanini était beaucoup plus important, il pesait 3 kilos ; sa petite machine développant environ 1/4 de cheval, cela faisait donc 12 kilos par cheval qui étaient soulevés par cet intéressant appareil ; il se maintenait en l'air en parfait équilibre sans aucun guidage ni contact quelconque avec le sol. Mais c'était un hélicoptère et non un aéroplane, aussi n'était-il susceptible d'aucun mouvement de translation ; nous ne le rappelons ici que parce qu'il fut le premier appareil enlevant une machine motrice ; c'est là, ce nous semble, un titre de gloire pour Forlanini son auteur.

Nous avions déjà perdu quelques années à l'étude des oiseaux, en vue de résoudre par l'ornithoptère le problème du vol mécanique, lorsque nous dûmes reconnaître enfin que, seul, l'aéroplane pouvait nous conduire au succès. Après quelques essais d'appareils à ressorts de caoutchouc, nous décidions la construction d'un appareil à moteur mécanique ; nous avons construit à cet effet une petite machine à air comprimé, très légère et fonctionnant bien ; puis nous l'avons appliquée à un petit aéroplane ; le tout, y compris le réservoir d'air comprimé et l'air même (60 gr.), pesait 1 kilogr. 750, tout monté sur un léger chariot ; nous avons pu faire, avec cet appareil, quelques expériences dans de très bonnes conditions, aux ateliers aérostatiques militaires de Chalais-Meudon, grâce à l'obligeance extrême qu'ont eue pour nous les officiers Renard et Krebs, et dont nous garderons toujours le meilleur souvenir. Ces expériences eurent lieu sur une grande plate-forme circulaire, en plancher, et autour de laquelle la petite machine était assujettie à courir, retenue qu'elle était par un léger cordage fixé au centre de cette piste et destiné à éviter l'évasion de la petite machine sous l'influence de la force centrifuge. L'appareil partait sans lancement, sous la seule traction de ses hélices et lorsque la vitesse, augmentant graduellement, atteignait environ 8 mètres par seconde, il quittait le sol et continuait sa course dans l'air. Ne l'ayant jamais abandonné en course libre, nous ne savons pas s'il aurait pu alors conserver son équilibre ; mais aujourd'hui, plus instruit par d'autres expériences, nous pensons qu'il ne l'aurait pas pu, ou, du moins, pas pour un bien long parcours.

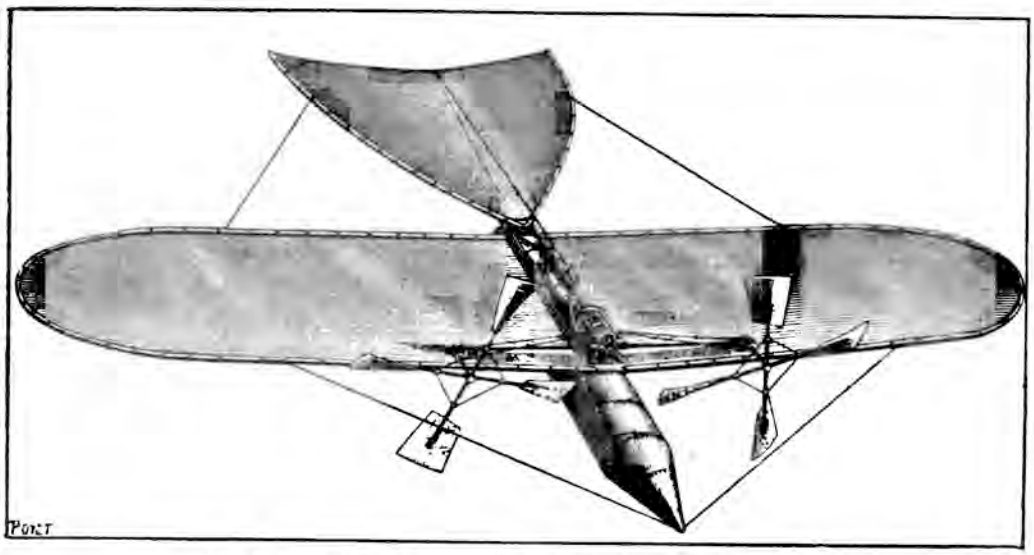


Fig. 36. — Vue en perspective de l'aéroplane à air comprimé.

Quelques chiffres déduits de ces expériences vont nous faire voir la valeur des résultats obtenus ; les hélices, au nombre de deux et placées de chaque côté de l'avant, donnaient, au dynamomètre, une traction de 0 k. 325, ce qui fait un peu

moins du 1/5 du poids total ; le recul de ces hélices, qui étaient relativement grandes, n'était que de 20 % ; enfin le travail total dépensé était de 3 kgm. 25, dont, à cause du recul, 2 kgm. 6 seulement étaient utilisés pour la traction ; il résulte donc de ces chiffres que le cheval-vapeur pouvait, dans cet appareil, porter un poids de 40 kilos, ce qui est, croyons-nous, encore unique aujourd'hui. Il est vrai que la vitesse de 8 mètres est absolument inutilisable, elle entraine à l'emploi de surfaces portantes trop étendues ; mais nous avons pensé cependant que cette expérience comportait quelques enseignements et nous avons cherché surtout ce qui en était critiquable. Dans cet appareil, le travail de sustentation atteignait 1 kgm. 8 ; le reste : 1 kgm. 45, était absorbé par le recul et la translation; or, si nous avions voulu doubler la vitesse obtenue, ce qui n'eût été qu'une vitesse très normale pour un aéroplane, ce dernier travail eut dû être élevé à $1,45 \times 2^3 = 11$ kgm. 6 ; avec le travail de suspension, il nous aurait donc fallu dépenser en tout 13 kgm. 4 ; l'appareil devenait irréalisable. Remarquons toutefois que, dans le cas d'une telle augmentation de vitesse, les plans sustenteurs auraient pu être considérablement réduits, ce qui certainement eût réduit, peut-être dans le même rapport, le travail de translation ; mais enfin, nous ne l'avons pas fait ; c'est un tort. Les plans formaient entre eux un angle dièdre, dans le genre de celui représenté fig. 24, au lieu d'avoir la courbure qui réussit si bien à Pénaud ; enfin, les bords de ces plans n'étaient pas amincis et étaient composés de roseaux, évidemment trop volumineux ; nous avouons les avoir ainsi faits par économie, ce qui est encore un tort. La queue rappelait vaguement celle d'un oiseau, elle aurait dû être plus étendue en largeur et surtout plus éloignée du corps. Cette machine, on le voit, ne manquait pas de défauts, mais la plupart ne nous sont apparus que bien plus tard ; il était néanmoins bon de les signaler.

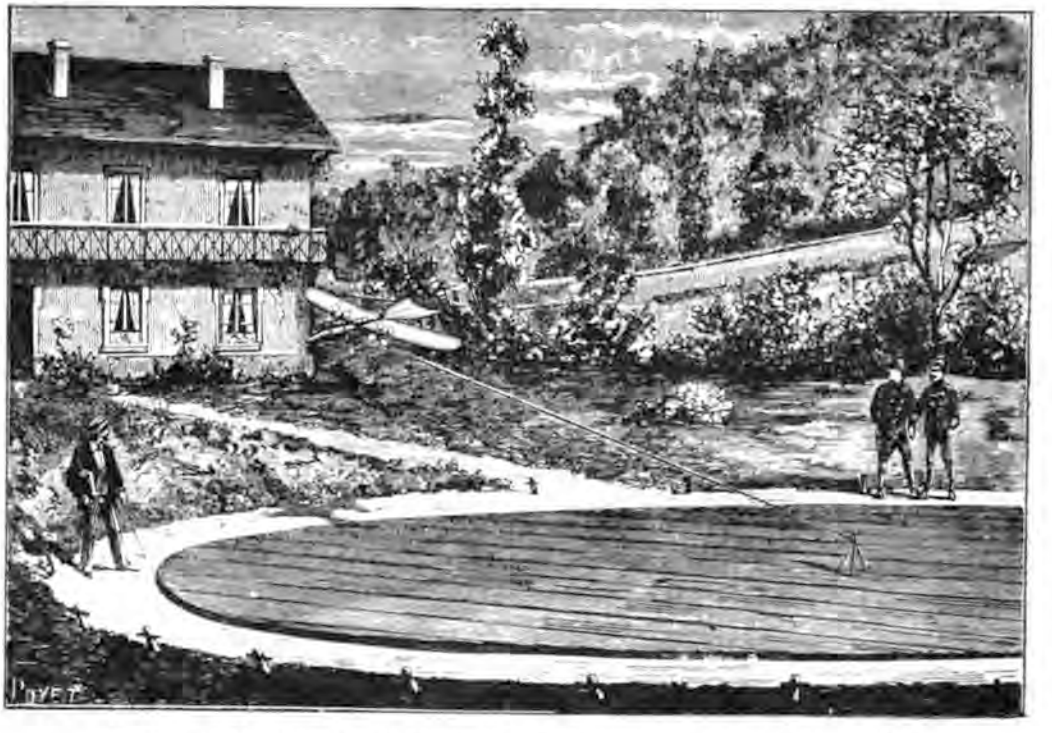


Fig. 37. — Une expérience de l'aéroplane à air comprimé, sur sa piste circulaire, à Chalais-Meudon.

Vint ensuite une période assez longue pendant laquelle rien d'intéressant n'est à signaler ; ce n'est qu'en 1890 et les années suivantes que nous constatons les efforts de Maxim, Hargrave, Langley, Lilienthal, Richet et Tatin, Phillips, etc. Jetons un

coup d'œil sur les travaux de ces divers chercheurs.

Maxim, après de nombreuses recherches de laboratoire, construisit un énorme aéroplane, le plus grand qui ait jamais été établi ; il pesait, en effet, 7.000 livres; sa force motrice lui était fournie par une machine à vapeur de 300 chevaux ; ce moteur, à lui seul, était une véritable merveille de mécanique, mais les dispositions générales, en tant qu'aéroplane, étaient, selon nous, beaucoup trop défectueuses pour qu'on puisse escompter un succès. Les plans sustenteurs furent d'abord placés à la partie supérieure de l'ensemble et les hélices propulsives au-dessous de ceux-ci ; ce qui ne

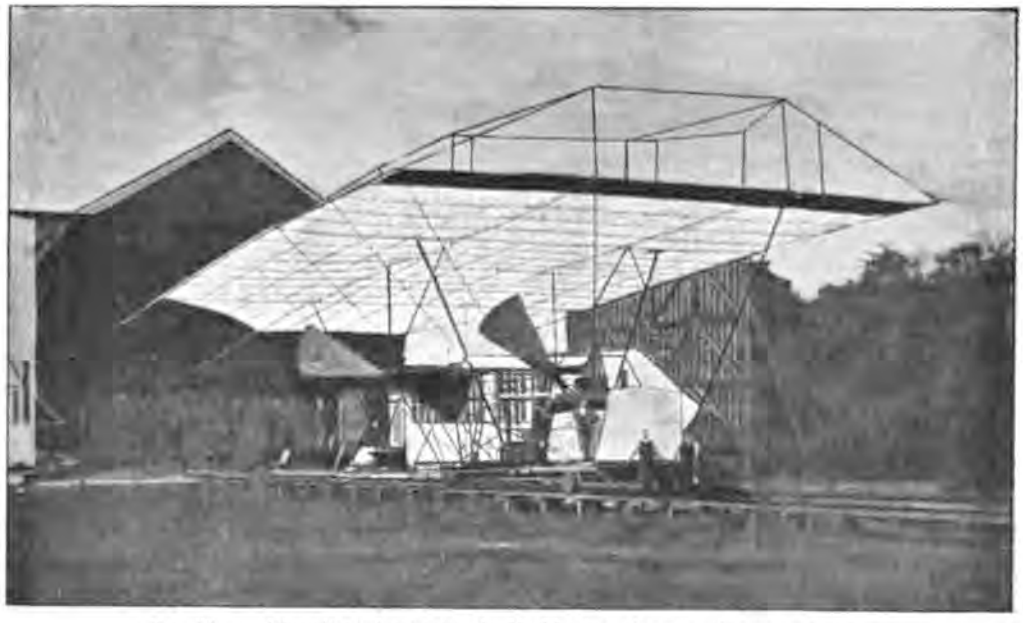


Fig. 38. — Aéroplane à vapeur de H. Maxim, dans sa forme primitive.

Fig. 39. — Aéroplane de Maxim après les premières modifications.

nous semble déjà pas très rationnel, le centre de traction paraissant ainsi placé trop bas ; mais l'appareil fut modifié par l'adjonction de nouveaux plans, ceux-ci à la partie inférieure ; puis enfin, les résultats n'étant pas encore satisfaisants, d'autres plans intermédiaires vinrent compliquer cette machine, au point d'en faire une inextricable forêt de plans, mâts, haubans, etc., dont la résistance à la pénétration dans l'air devait être formidable. Quoi qu'il en soit, aucun résultat sérieux ne fut obtenu avec cet appareil qui fut détérioré pendant ses dernières expériences et qui semble aujourd'hui abandonné. Son auteur a dépensé d'énormes sommes et, malgré sa science et sa bonne volonté, il ne semble pas avoir fait faire de progrès à la question qui nous occupe. Nous lui devions cependant cette citation à cause de l'importance matérielle de ses constructions.

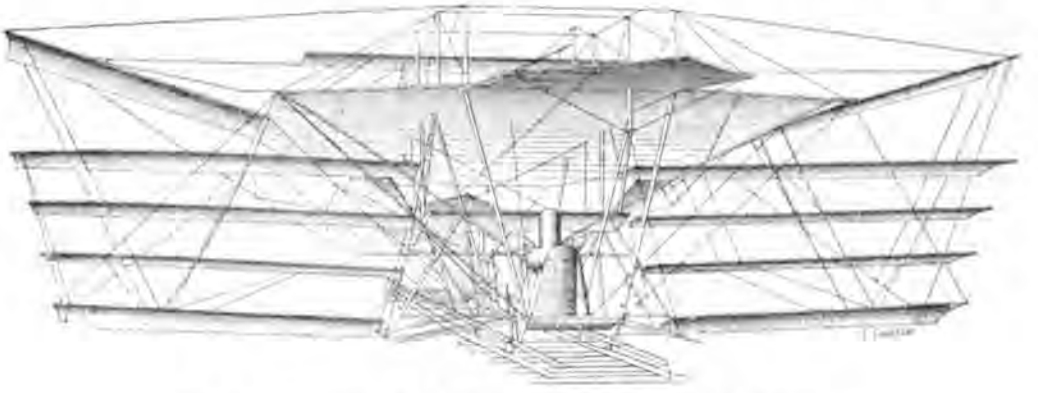


Fig. 40. — Aéroplane de Maxim avec les modifications définitives.

L. Hargrave, de Sydney, en Australie, s'occupait depuis de longues années déjà de recherches sur l'aviation ; il produisit, en 1890 et 1891, divers appareils dans lesquels il chercha à unir l'aéroplane à l'ornithoptère et obtint, dans cette voie, quelques résultats intéressants. Son appareil se composait d'un plan sustenteur disposé en dièdre et traîné par deux ailes battantes placées en avant ; cet ensemble hybride, et au moins bizarre, parvint pourtant à voler d'une façon assez économique ; ce n'était qu'un petit appareil d'étude, mais ceux de ces appareils ayant réellement volé par leurs propres moyens étant alors assez rares, nous lui devions cette mention. Un peu plus tard, en 1893, il imagina et expérimenta les cerfs-volants cellulaires et plus tard quelques aviateurs pensèrent pouvoir construire ainsi les plans porteurs de leurs aéroplanes ; nous ne croyons pas que ce soit là un progrès, cette disposition augmentant considérablement la résistance à la pénétration des appareils.

Fig. 41. — Aéroplane de Hargrave, entraîné par des ailes battantes.

C'est à cette époque que nous voyons apparaître les premiers travaux de Langley. En 1891, il adressait à notre Académie des sciences le résultat de ses recherches sur la résistance de l'air dans les actions obliques. On fit, surtout en Amérique, beaucoup de bruit autour de ses travaux; ses compatriotes prétendirent même qu'avant lui tout n'était que chaos ; cependant les chiffres trouvés par Langley, et les Américains ont dû le reconnaître eux-mêmes, n'étaient que la corroboration de ceux trouvés chez nous par Duchemin, ainsi que nous l'avons déjà dit, et ainsi que le fit remarquer à l'Académie Drzewiecki, le savant aviateur russe bien connu. La conclusion la plus intéressante de ces recherches était que, sous un petit angle, un

plan incliné pouvait supporter sur l'air un poids de 95 kilos, à la vitesse de 20 mètres par seconde et moyennant une dépense de travail moteur de 1 cheval-vapeur ; tous les aviateurs français pouvaient déduire des travaux de Duchemin des prémisses analogues : de Louvrié, Pénaud, nous-même et tant d'autres n'y avaient pas manqué ; mais ce que nous savions tous aussi, par expérience, c'est qu'il ne suffit pas de compter seulement sur la résistance théorique offerte par un plan idéal ; le problème eût été trop facile et eût été résolu depuis longtemps.

Cependant Langley tenta de réaliser un appareil de démonstration, de la force d'un cheval ; après diverses réfections, il y réussit parfaitement, en 1896, mais alors le poids supporté était réduit à 13 kilos, et la vitesse de translation réduite à 10 mètres ; le travail moteur étant toujours de 1 cheval. Les résultats obtenus avec ce petit appareil étaient réellement merveilleux : il parvint à parcourir, en route libre, au moins 1 kilomètre en conservant un équilibre parfait, ce qui n'a jamais été obtenu d'un petit appareil d'étude. Malheureusement, sa vitesse, par trop réduite, indiquait d'énormes vices de construction, une

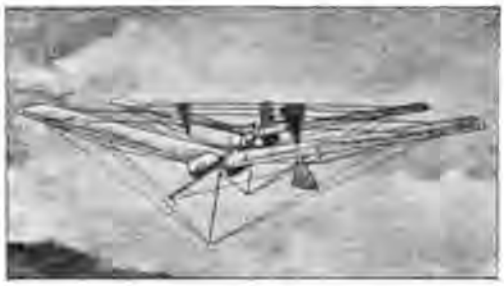


Fig. 42. — Premier aéroplane de Langley, petit modèle non monté.

pénétration difficile, en un mot, un déplorable projectile, son travail de translation étant près de dix fois plus grand que son travail de sustentation ; de sorte que, pour obtenir même une assez faible augmentation de vitesse, un appareil de ce type devenait absolument irréalisable. La disposition des plans sustenteurs de cette petite machine était exactement celle imaginée par Brown : ce dernier n'a pas été cité et l'on a appelé ce type, on l'appelle encore, bien à tort, le type Langley. Nous avons vu plus haut, à propos de Brown et de Pénaud, ce qu'on doit penser des appareils de ce genre. Langley obtint de son gouvernement les subsides nécessaires à la construction d'un aéroplane, assez grand cette fois pour pouvoir être monté ; mais les résultats

Fig. 43. — Aéroplane de Langley, monté par un pilote.

s'étant un peu trop fait attendre, les ressources lui furent coupées alors que pourtant quelques expériences paraissaient assez encourageantes, quoique ayant démontré la nécessité de quelques importantes retouches. Tout fut alors abandonné. Langley n'en reste pas moins l'un des principaux pionniers de l'aviation.

Nous devons signaler aussi, à la même époque, les travaux de Phillips, dont nous trouvons la description dans l'*Engineering* de mai 1893. La machine de Phillips était un aéroplane à plans multiples superposés, d'après le principe indiqué par Wenham ; l'envergure totale était de 7 mètres ; la hauteur du groupe de plans, de 3 mètres ; ceux-ci, au nombre de cinquante, n'avaient pas 4 centimètres de largeur (1 pouce 1/2) et étaient galbés de façon à présenter à l'air leur surface inférieure relativement très creuse ; le poids total, y compris la machine à vapeur motrice, l'hélice de 2 mètres et un long chariot-support, était de 150 kilos. Cet appareil fut essayé de la même façon que notre aéroplane à air comprimé de 1879 et assujetti comme lui à rouler sur une piste circulaire ; la partie avant du chariot porteur était très allongée, de sorte que presque tout le poids portait sur la partie postérieure de ce chariot : pendant les expériences qui eurent lieu à la vitesse de 12 m. 50 par seconde, c'est toujours cette partie qui était soulevée et Phillips en conclut, après quelques calculs, que tout l'appareil pourrait l'être en modifiant quelques disposi-

tions. La force du moteur étant de 5 chevaux 1/2, le poids supporté par cheval aurait donc été de plus de 32 kilos, ce qui serait très satisfaisant si la vitesse avait pu être un peu plus grande.

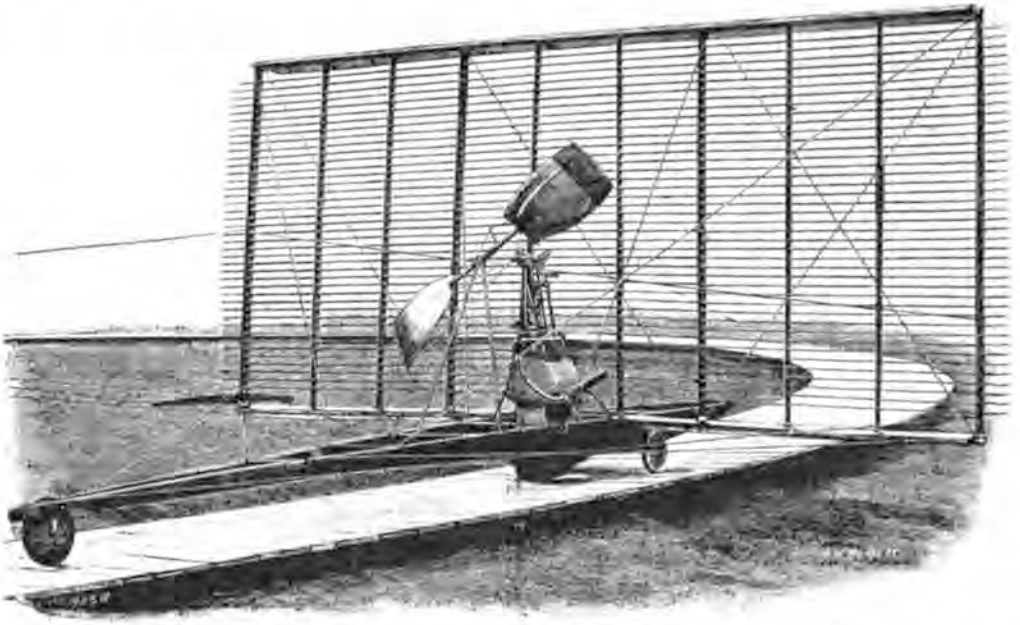


Fig. 44. — Aéroplane à plans multiples de Phillips, entraîné sur sa piste par son moteur à vapeur.

C'est encore à la même époque qu'eurent lieu les expériences de Lilienthal, dont nous avons déjà entretenu le lecteur au premier chapitre de ce travail; nous n'y reviendrons donc pas. Les personnes qui désireraient de plus amples détails sur les planements exécutés par l'aviateur allemand pourront consulter notamment : *Zeitschrift für Luftschiffahrt und Physic de Atmosphare*, novembre 1893, où nous avons nous-même puisé la plupart de nos renseignements.

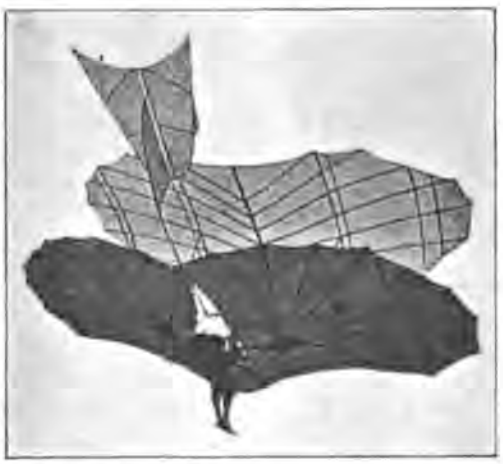


Fig. 45. — Planeur à plans superposés de Lilienthal ; dernier type avec lequel il se tua.

C'est aussi dans ce même temps que Ch. Richet et nous construisions un modèle d'aéroplane à vapeur ; cet appareil, sensiblement plus grand que celui de Langley, pesait en tout 33 kilos. Il se composait d'un corps fusiforme, de section carrée ; de deux plans sustenteurs relativement grands; et enfin, d'une queue placée à l'arrière, mais encore beaucoup trop près du corps ; l'aspect, vu de face, était sensiblement celui indiqué par la figure 24 de ce mémoire. La machine à vapeur, avec tous ses accessoires, était complètement contenue dans le corps central ; elle actionnait deux hélices, plutôt grandes (0 m. 85), placées une à chaque extrémité du corps et tournant en sens inverse l'une de l'autre ; cet ensemble avait une envergure totale de 6 m. 60. Les essais eurent lieu sur la Méditerranée, en 1896, très peu après ceux de Langley, en Amérique ; l'appareil était placé sur une piste à rails, disposée en plan incliné et aboutissant au-dessus de la mer ; cette piste, qui

avait le profil latéral d'une courbe à concavité supérieure, se terminait, en bas, par une partie horizontale. Afin que l'appareil ne pût quitter les rails avant le moment opportun, nous l'avions fixé sur un chariot à roulettes, assez lourd, pour qu'il ne pût être enlevé et qu'un système spécial détachait de l'aéroplane lorsque le tout arrivait au bout inférieur de la piste.

On fit ainsi trois expériences, toutes terminées par une chute dans la mer, où l'appareil put être repêché sans trop de dégâts. La vitesse varia de 17 à 18 mètres à la seconde; le premier parcours se termina à 90 mètres de distance par un virage de l'appareil à la suite d'un cabrement; la vitesse s'étant trouvée réduite par suite du redressement de l'appareil, celui-ci rencontra la mer avant d'avoir repris la vitesse nécessaire à son soutien, mais toutefois sans chavirer; la trajectoire décrite avait évidemment été une courbe de très grand rayon à concavité supérieure; donc l'angle formé par les plans sustenteurs et la queue était trop grand, ce qui avait tendance à trop soulever l'avant; enfin cette queue était trop près et surtout trop petite; tout cela fut modifié; l'angle d'attaque devint d'un peu moins de 3° et la queue un peu agrandie. Les expériences suivantes donnèrent alors un parcours de 140 mètres, mais ce parcours se terminait toujours exactement de la même façon : ainsi donc pour obtenir l'équilibre automatique de cet appareil, la queue était encore trop inefficace et l'angle qu'elle formait avec les plans sustenteurs trop accentué. Cependant, il fut, à chaque fois, constaté très nettement, et par toutes les personnes qui assistaient à ces expériences, que si l'appareil eût été monté, un léger mouvement de la queue l'eût facilement et sûrement rappelé à l'incidence convenable, la trajectoire décrite ayant été évidemment, comme nous le disons plus haut, une courbe de grand rayon et à concavité supérieure.

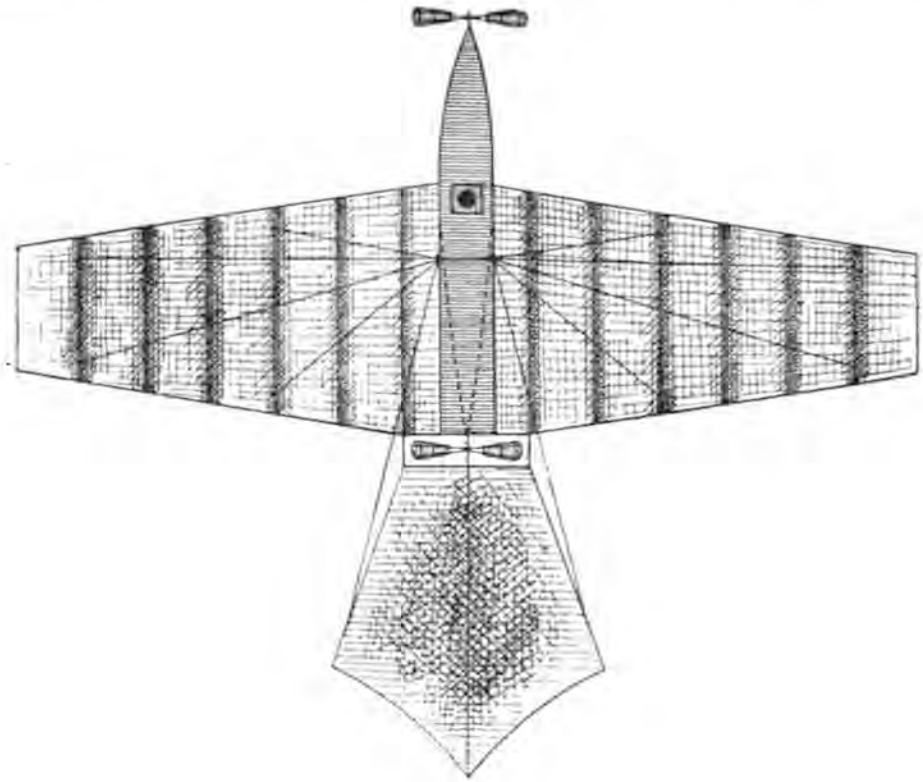


Fig. 46. — Aéroplane à vapeur par Richet et Tatin; vue de l'ensemble projeté sur un plan horizontal.

Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus peuvent s'exposer ainsi : avec une force mo-

trice relativement faible (environ 125 kilogrammètres), nous avons pu obtenir le vol d'une machine pesant 33 kilos, la plus lourde qui ait volé jusqu'alors, et s'avançant dans l'air à une vitesse moyenne de 17 m. 50 par seconde, ce qui était alors de beaucoup la plus grande qui ait jamais été atteinte. L'équilibre automatique eût pu évidemment être complètement obtenu en apportant à l'appareil quelques modifications que nous regrettons, d'ailleurs, de n'avoir pu faire ; nous aurions alors assisté à un spectacle beaucoup plus intéressant, puisque les provisions du bord pouvaient permettre à la machine motrice de fonctionner au moins quatre minutes.

La distribution du travail pouvait, dans cet appareil, être assez exactement évaluée, ce qui permet de faire voir les défauts de disposition ou d'exécution ; voici, à ce sujet, ce que nous avons pu relever : les hélices décrivaient, par seconde, 20 m. 50 de parcours supposé fait dans un écrou solide, d'où l'on peut calculer que le recul atteignait 15 %, ce qui est très bon et assez rarement obtenu, croyons-nous ; l'effort sur l'arbre était de 5 kilos, soit donc 102,5 kgm. utilisés sur les 125 que produisait la machine ; la différence est la perte due aux transmissions et au frottement des hélices dans l'air, ce qui n'est pas trop mauvais non plus pour une aussi faible machine actionnant des hélices relativement grandes ; enfin sur ces 102,5 kgm., le travail de sustentation n'en absorbait pas 30 ; le travail de translation était donc beaucoup trop grand ; en calculant aussi exactement que possible la résistance de l'appareil, en tant que projectile, on trouve à peine une dépense de travail égale au travail de sustentation ; le reste doit donc avoir été absorbé, partie par le recul des hélices, et partie par le frottement sur l'air de tout l'ensemble, pendant la marche ; c'est certainement ce qui a dû se produire car nos surfaces, que nous avions faites énormes, étaient d'une étoffe assez grossière comme grain (ponghée de Chine non verni) et couverte d'aspérités et de poils dont l'effet devait être et était, en effet, désastreux. Nous avions pensé faire ces surfaces aussi grandes (8 m²) afin de pouvoir employer une faible incidence et réduire ainsi le travail de sustentation ; on voit que, d'un autre côté, nous avons perdu, et au delà, tout le bénéfice de cette disposition. Ne le regrettons pas trop, c'était une école utile.

On voit, en somme, que cet appareil, malgré les défauts bien évidents que nous venons de signaler, n'en disposait pas moins de 20 kilos de poids par cheval, tout rendement de transmission et d'hélices compris, ce qui, étant donnée sa vitesse, pas très grande peut-être, mais déjà très acceptable, nous semble un résultat encore assez loin d'être égalé, même aujourd'hui. Insistons donc sur les points qui sont peut-être la raison de cette économie de travail moteur : le corps de l'appareil était allongé et entièrement fermé ; les bords des plans étaient très amincis; les haubans réduits au minimum ; les hélices étaient relativement grandes et à pas un peu long, presque un diamètre et demi ; enfin, l'appareil n'emportait pas ses roues dans son vol, celles-ci se détachant au moment où la machine quittait le sol ; nous avons vu déjà que l'application de cette dernière disposition à nos appareils actuels est un problème encore assez loin d'être résolu.

C'est à la suite de ces expériences que nous avons fait de nouveaux essais sur de simples petits planeurs et que nous avons pu nous convaincre de l'extrême importance qu'on doit attacher à la disposition de la queue ; nous avons compris alors combien il était avantageux d'éloigner cet organe du corps principal, plus loin que nous ne l'avions jamais fait, et plus loin aussi que ne le faisait Pénaud ; la sécurité de l'équilibre ne peut être assurée qu'à cette condition.

Nous avons vu plus haut que, en France, nous nous étions laissé influencer par les essais faits en Amérique avec des appareils que nous ne saurions approuver ; ces essais ont eu pourtant leur bon côté, celui de nous stimuler.

Nous ne pensons pas avoir à exposer quoi que ce soit à propos des résultats qu'auraient obtenus les frères Wright en Amérique ; le secret gardé jalousement sur leurs expériences, ou plutôt sur les appareils auxquels ils auraient réussi à faire parcourir des distances encore loin d'être atteintes chez nous aujourd'hui ; leurs prétentions de vouloir vendre, chat en poche, leurs prétendues découvertes ou inventions : tout cela nous a ému d'abord, puis finalement nous a laissé sceptique et indifférent ; et c'est bien, croyons-nous, tout ce que méritent leurs cachotteries injustifiées.

Le principal est que nous nous soyons enfin mis au travail; de nombreux expérimentateurs construisirent des aéroplanes plus ou moins rationnels, et obtinrent des résultats divers et même quelques succès. Santos-Dumont, qu'on trouve toujours parmi les pionniers de la locomotion aérienne, obtint, le premier, un vol de quelque durée, au moyen d'un appareil quelque peu bizarre monté par lui-même. C'était une machine énorme, très légère, et munie d'un moteur relativement très puissant. Elle se composait de deux séries de cellules Hargrave, disposées de chaque côté du moteur et en forme de V très ouvert : le corps de l'appareil s'étendait en avant comme un long bec au bout duquel une autre cellule devait remplir l'office de deux gouvernails ; cette cellule était articulée, à cet effet, verticalement et horizontalement. Une telle disposition ne laissait, surtout dans le sens vertical, qu'un assez petit angle maniable : la longue partie avant du corps ayant elle-même tendance à faire gouvernail et à accentuer de plus en plus les écarts possibles de l'axe de l'appareil par rapport à la ligne du vol. Nous avons été très surpris de voir cet appareil maintenir son équilibre pendant 220 mètres ; cet exploit n'a, d'ailleurs, jamais pu être renouvelé. Santos-Dumont a bien compris les défauts de cet appareil et a fait depuis de nouvelles tentatives avec un aéroplane beaucoup plus rationnel, mais qui est encore assez loin de la mise au point nécessaire et demandera quelques retouches assez importantes. Ce dernier appareil a l'avantage d'être très petit et, par conséquent, plus facilement maniable, il a déjà donné quelques résultats encourageants.

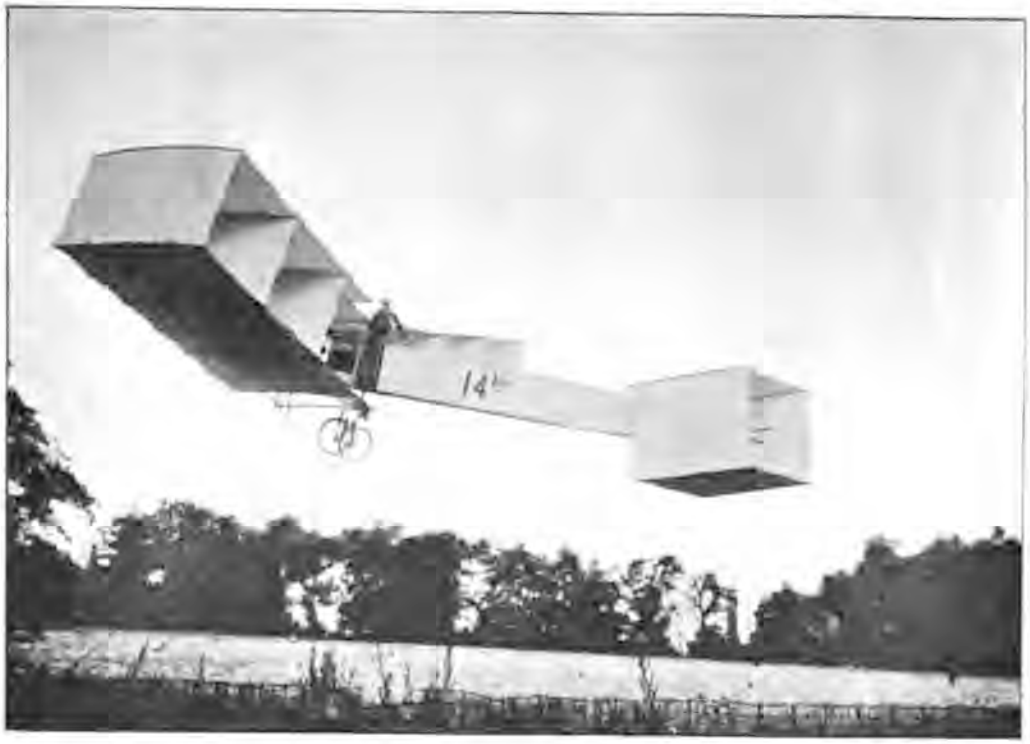


Photo Rol

Fig. 47. — Premier aéroplane de Santos-Dumont, avec lequel il put, le premier, parcourir 220 m

Presque tous les aéroplanes construits et essayés, ont réussi à faire quelques envolées plus ou moins longues, mais pleines de promesses ; il serait trop long d'énumérer ici tous ces essais, la plupart étant, d'ailleurs, assez connus. Disons seulement que si quelques chercheurs ont simplement suivi les précédents américains, même dans leurs erreurs, d'autres ont prudemment modifié ces dispositions et, jusqu'à présent, s'en sont bien trouvés ; enfin, d'autres encore, ce qui nous paraît plus louable, ont bravement mis sur chantier des appareils

absolument différents et certainement beaucoup plus rationnels ; nous devons citer parmi ces derniers : Vuia, Blériot, Santos-Dumont, Esnault-Pelterie, de La Vaulx et enfin Ferber, l'apôtre si convaincu, le promoteur de notre émulation actuelle et que nous regrettons bien de n'avoir pas vu entrer plus tôt dans la vraie voie.

trice égale, que les aéroplanes ayant donné, jusqu'à ce jour, les meilleurs résultats; mais cet appareil n'ayant aucune translation, les résultats atteints ne sont pas comparables à ceux obtenus avec des aéroplanes ; ses auteurs, dont la haute valeur n'est pas contestable, se proposent, paraît-il, de le modifier en vue d'en obtenir le déplace-

Photo Rol

Fig. 48. — Nouvel aéroplane de Santos-Dumont, avant les dernières modifications.

Quelques-uns de ces appareils ne seront peut-être pas très maniables, toujours à cause de la mauvaise disposition de leur queue, mais nous sommes certain que leurs auteurs sauront rapidement corriger un défaut qui bientôt leur sautera aux yeux.

On a aussi tenté récemment de réaliser le vol mécanique au moyen d'un appareil du genre hélicoptère ; nous en parlons seulement pour mémoire, car il est bien évident que ce type est sans avenir ; pourtant celui de Richet et des frères Breguet est parvenu à soulever un poids plus élevé, à force moment latéral ; attendons donc, et souhaitons-leur un succès que nous n'osons encore espérer.

Les derniers succès de l'aviation, les inoubliables performances de H. Farman et de L. Delagrange, ont été obtenus avec des appareils semblables et dont, dans chacun d'eux, la partie portante était composée des deux plans superposés, genre américain, mais avec cette heureuse différence que, tandis qu'en Amérique on préconise les surfaces à extrémités extérieures abaissées, ici l'on a donné à ces surfaces la courbure

transversale à concavité supérieure qui nous semble bien mieux assurer l'équilibre ; nous pensons pourtant qu'on aurait pu accentuer un peu plus cette courbure. La stabilité dans le sens longitudinal est assez bien assurée par une queue assez éloignée l'horizontalité de la route, ou pour la modifier suivant les besoins, a-t-on dû munir l'appareil d'un gouvernail de profondeur et, par un reste de l'influence américaine qui nous semble bien loin d'être justifiée, ce gouvernail fut placé devant l'ensemble ;

Fig. 49. — Hélicoptère de Richet et des frères Bréguet.

des plans antérieurs et formée, comme eux, de deux plans superposés, mais plus petits ; elle n'est pas mobile, est placée un peu en contre-bas et participe en partie à la sustentation ; agissant toujours par la même face, elle ne peut donc pas être considérée comme capable d'assurer l'équilibre entièrement automatique ; aussi, pour maintenir il nous semble constituer ainsi un organe supplémentaire inutile, puisque le même résultat eût pu être obtenu, et bien plus sûrement, par un léger mouvement de la queue autour d'un axe imaginaire horizontal. On eût ainsi diminué sensiblement l'énorme résistance à la pénétration de l'appareil, tout en assurant mieux l'efficacité

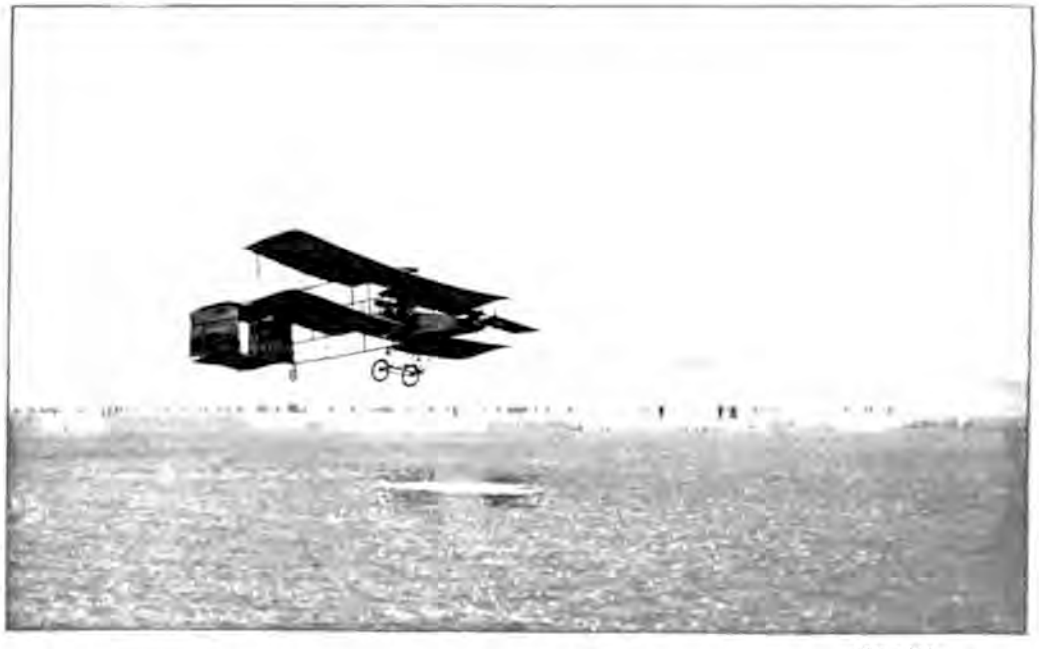


Photo Rol.

Fig. 50. — Aéroplane de Farman, construit par les frères Voisin, et avec lequel il gagna le Grand Prix d'aviation Deutsch-Archdeacon.

des plans sustenteurs qui, à cause de cette disposition ne trouvent plus à s'appuyer que sur un air déjà agité dans diverses directions par l'organe qui les précède. Une partie fort intéressante de cet appareil est l'établissement des roues à ressorts qui, indépendamment qu'elles permettent à l'appareil de rouler sur le sol pendant le lancement du départ, amortissent l'atterrissage d'une façon très parfaite ; il y avait là une réelle difficulté à vaincre et, les frères Voisin, constructeurs de cette machine, s'en sont tirés de la façon la plus satisfaisante ; malheureusement, ainsi que nous le disions plus haut, il y a là un dispositif d'une énorme résistance à la translation et, à cause de cela, il faudra, et très prochainement, songer à le modifier du tout au tout.

Photo Branger

Fig. 51. — Aéroplane Delagrange qui détient aujourd'hui le record du parcours et de la durée du vol.

Les conclusions à tirer des diverses expériences que nous avons décrites se déduisent d'elles-mêmes ; elles sont indiquées au cours de ce travail par le simple exposé des faits. Tous les progrès à réaliser peuvent, il nous semble, se résumer en quelques mots : construire les appareils les plus simples, afin qu'ils soient toujours des projectiles peu résistants à la translation et, par ce fait même, nous verrons réduire la dépense de travail moteur à dépenser, tout en obtenant facilement de plus grandes vitesses, ce qui est bien le desideratum suprême, puisqu'alors la question de poids relatif, qui domine tout aujourd'hui, perdra de son importance et rendra, par conséquent, les constructions plus faciles à réaliser d'une façon solide, et cela, tout en offrant plus de sécurité.

Nous terminerons en donnant un exposé comparatif de quelques-uns des résultats obtenus dans les différentes expériences que nous avons décrites, tant de petits appareils-modèles que de grands appareils montés ; chacun pourra en déduire l'efficacité de tel ou tel type d'appareil, au point de vue de la bonne utilisation de la force motrice. Pour cela, nous prendrons, pour chaque appareil analysé, son poids P, sa vitesse V, et le travail T dépensé par seconde ; nous chercherons ensuite pour chacun la

valeur de $\frac{T}{P\,V}$, autrement dit ce que coûte, dans chaque appareil, et exprimé en kilogrammètres, le transport d'un kilo à un mètre de distance; on aura ainsi un véritable coefficient d'utilisation du travail moteur.

On a vu dans le chapitre précédent qu'il était possible de construire un aéroplane de 400 kilos, atteignant la vitesse de 20 mètres par seconde, et dont le travail moteur serait de 21 chevaux, en chiffres ronds, et sans tenir compte de l'excédent qui serait nécessaire pour s'élever sur une certaine rampe; en y ajoutant cet excédent, nous avions admis que 30 chevaux constitueraient une force motrice très largement suffisante pour parer à tous les aléas; dans ces conditions, l'utilisation du travail, en admettant que celui-ci soit toujours entièrement dépensé ressortirait à $\frac{2250^{kgm}}{400 \times 20}$ = 0,280, ou 280 grammètres par kilo de poids transporté à 1 mètre; or, nous avons vu que, en marche normale, il suffirait de 21 chevaux, ce qui donnerait seulement 197 grammètres pour obtenir le même résultat. Ces chiffres vont nous servir de point de départ pour les comparaisons que nous voulons faire.

Prenons d'abord notre expérience de 1879, avec un petit aéroplane à air comprimé, nous trouvons $\frac{3.25}{1.750 \times 8}$ = 0,230, ou 230 grammètres; comme cet appareil n'aurait évidemment pu disposer d'aucun excédent de travail moteur, nous constatons qu'il n'eût guère pu dépenser moins; nous avons exposé déjà les défauts qui devaient réduire son rendement; celui-ci, pourtant, n'est pas trop mauvais.

Pour les appareils de Phillips et de Maxim, il y a trop d'incertitude quant au poids soulevé pour qu'on puisse leur appliquer utilement un calcul quelconque, puisque ces appareils n'ont jamais pris complètement leur vol.

L'aéroplane à vapeur de Langley pesait 13 kilos; il employait un cheval-vapeur et atteignait la vitesse d'environ 10 mètres par seconde; donc : $\frac{75}{13 \times 10}$ = 0,580 grammètres. On remarquera combien ici la dépense de travail moteur semble énorme. Il faut en voir la cause dans l'emploi des plans successifs et aussi, pour beaucoup, dans l'imperfection de l'ensemble comme projectile.

Dans l'appareil que nous avons expérimenté, vers la même époque, et avec la collaboration de Ch. Richet, il n'y avait que la force nécessaire à la marche horizontale : nous trouvons pour cet aéroplane $\frac{33}{125 \times 17,50}$ = 0,150 grammètres de travail par kilo et par mètre parcouru; c'est, croyons-nous, le meilleur résultat qui ait jamais été obtenu; il aurait peut-être pu être un peu meilleur encore; nous en avons indiqué la raison. Cette économie de force motrice nous semble due à ce que cet appareil était complètement fermé; c'était le seul ainsi construit jusqu'alors; c'est encore le seul aujourd'hui; aussi reste-t-il, encore aujourd'hui, le plus économique.

Parmi ceux des appareils montés qui ont réalisé les plus belles performances, constatées officiellement et récompensées par des lauriers bien mérités, nous trouvons celui qui permit à Santos-Dumont de réaliser le premier vol de quelque importance. Les données qui nous intéressent étaient, pour ce curieux aéroplane : $\frac{3750}{300 \times 10}$ = 1,250; c'est fort instructif; ainsi voilà un appareil qui dépense, pour entraîner un kilo de son poids à la distance de 1 mètre, un travail dépassant sensiblement 1 kilogrammètre ! C'est plus, par conséquent, qu'il n'en faudrait pour l'élever à 1 mètre de hauteur ! Cette dépense fantastique, presque inadmissible, était due à l'emploi des plans cellulaires, à l'imperfection notoire de la construction et, enfin, à une hélice, si mal appropriée et si mal disposée, qu'elle faisait perdre, par son recul exagéré, 60 % du travail du moteur. Le résultat sportif était merveilleux pour sa nouveauté; le résultat scientifique était le plus déplorable qu'on eût jamais enregistré.

Enfin les dernières et les plus belles expériences sont, sans contredit, celles de Farman et de Delagrange; l'analyse de l'utilisation de leurs appareils qui, comme nous l'avons dit, sont semblables, nous donne pour l'emploi d'un travail de 40 chevaux que leur fournit ordinairement leur moteur : $\frac{3.000}{530 \times 13}$ = 0,435; il y a donc un grand progrès par rapport au seul aéroplane ayant transporté son pilote avant ces mémorables expériences; mais néanmoins, nous ne saurions trop faire remarquer combien ces machines sont perfectibles; et, en les examinant quelque peu, il est facile de

voir dans quel sens on devra porter ses efforts, puisque l'on peut déduire d'expériences précédentes que la dépense de travail pourrait être réduite d'à peu près moitié. Nous ne doutons pas que l'ingéniosité de nos aviateurs et de leurs constructeurs ne vienne rapidement à bout des difficultés qui restent à vaincre. Rappelons, d'ailleurs, qu'en aviation il n'y a depuis longtemps rien à inventer, tout a été dit, et presque tout a été expérimenté ; aujourd'hui, il ne reste qu'à utiliser au mieux les matériaux qui nous ont été laissés par nos prédécesseurs ; discerner dans ces innombrables travaux le bon grain de l'ivraie est une tâche qui demande, croyons-nous, une assez longue expérience de la question ; les hommes intelligents qui se consacrent aujourd'hui à la recherche du progrès dans la science nouvelle qui nous occupe sauront certainement faire assez rapidement cette distinction ; c'est ce que nous leur souhaitons de tout cœur après avoir fait notre possible pour défricher la voie à suivre.

Nous devons dire en terminant que le travail que nous présentons ici est absolument sans prétention, et nous admettrons très bien que notre opinion ne soit pas celle de tout le monde ; nous avons exposé simplement et sincèrement notre manière de voir personnelle au sujet d'une question qui nous fut toujours très chère et nous a toujours vivement intéressé (trop même, soit dit pourtant sans regrets). Et si quelqu'un peut tirer de notre travail quelque chose d'utilisable, si peu que ce soit, nous nous trouverons largement récompensé en pensant seulement que nos longs efforts n'ont pas été complètement stériles.

VICTOR TATIN

APPENDICE

Le travail contenu dans les pages précédentes était entièrement écrit, et sous presse, lorsque l'aviateur américain Wilbur Wright put enfin commencer, près du Mans, les expériences qu'il poursuit encore avec un aéroplane du type qui lui avait déjà donné, en Amérique, les résultats que nous avions, jusqu'à présent, considérés comme ne devant être admis qu'avec réserve ; notre scepticisme était, croyons-nous, parfaitement justifié, par le secret dont on avait entouré les performances accomplies et jusqu'aux dispositions de l'appareil lui-même ; et puis, disons-le aussi, par la crainte d'avoir, une fois de plus, reçu d'Amérique des nouvelles un tant soit peu exagérées ; le cas en est assez fréquent pour nous engager à nous tenir sur nos gardes.

Enfin, pour cette fois, c'était sans doute exact ; et nous nous excusons très volontiers d'avoir conservé trop longtemps quelques doutes sur l'exactitude des résultats obtenus dans le Nouveau Monde. Nous ne pouvons donc qu'adresser aux frères Wright nos plus chaudes félicitations pour leur ingéniosité, leur ténacité et la merveilleuse adresse qui leur a permis d'accomplir, les premiers sans doute, quelques vols mécaniques surpassant tous les essais antérieurs tentés avec des appareils montés par l'homme. Les expériences que W. Wright vient de nous faire voir, quoique n'ayant pas encore atteint l'amplitude de celles qui auraient eu lieu dans leur patrie, n'en sont pas moins suffisamment concluantes.

Mais ceci dit, il nous faut chercher à tirer des expériences des Hunaudières les enseignements qu'elles peuvent comporter. Presque tous les aviateurs français ont déjà, dans diverses publications, fait connaître leur avis sur l'appareil aux expériences duquel ils ont, pour la plupart, assisté. Tous n'ont pas, comme quelques incompétences l'ont fait, loué sans réserve le travail des aviateurs américains, et je crois que ce sont ceux-là qui ont eu raison : plusieurs observations d'Archdeacon, des frères Voisin et de quelques autres, sont très judicieuses ; enfin, nous avons lu un avis émanant d'un officier de marine italien, Mario Calderara, qui nous donne, je crois, la note juste.

Qu'il nous soit permis d'émettre ici notre appréciation personnelle, tant sur l'appareil lui-même que sur sa manœuvre et sur son avenir probable.

La principale qualité de l'aéroplane est bien certainement de n'avoir besoin que d'une force motrice réellement inférieure à celle que nous employons couramment dans des appareils analogues. Est-il donc réellement très supérieur à ce que nous faisons en France, sous le rapport de la facilité de pénétration ? C'est peu probable ; cependant chacun s'accorde à reconnaître que sa construction est beaucoup plus soignée que ce que nous faisons ordinairement ici ; c'est certainement une bonne chose, mais, est-ce suffisant ? Nous constatons, dans cet appareil, que le côté *bon projectile* est très négligé : tout est en plein air, pilote, moteur et accessoires, carcasse, etc. Comme facilité de pénétration, cela nous semble déplorable et nous devons préférer et de beaucoup, les dispositifs employés par Blériot, Esnault-Pelterie, etc., qui se sont efforcés d'éviter toutes résistances nuisibles.

Supposons, par exemple, un petit canot ou une yole portant un homme ; cet ensemble placé sur l'eau représentera, par sa partie immergée, un projectile dont les contours seront parfaitement aptes à lui permettre de se déplacer avec le minimum de résistance ; ce sera l'analogue, dans cette comparaison, des appareils des ingénieurs que nous venons de citer ; mais, admettons maintenant que cette même embarcation soit réduite en morceaux, comme si on voulait en faire du bois à brûler, et que ces morceaux soient reliés ensemble et jetés à l'eau, dans laquelle se mettra aussi l'homme lui-même avec eux : nous aurons alors un ensemble de corps, bois et homme, dont le volume ne déplacera

que le même volume d'eau que tout à l'heure ; mais quelle différence au point de vue de la facilité de propulsion ! Dans ce second cas, nous aurons l'analogue de l'aéroplane Wright et de quelques autres similaires dans lesquels on ne s'est pas suffisamment attaché à construire un bon projectile ; la vitesse de ces appareils doit évidemment s'en ressentir ; c'est bien, en effet, ce que l'on peut constater : les appareils des Blériot, Esnault-Pelterie, etc., atteignent environ 22 mètres de vitesse, alors que les autres n'atteignent que difficilement 15 mètres.

Par contre, nous trouvons dans l'aéroplane Wright un emploi de l'hélice parfaitement judicieux ; la surface des cercles d'air attaqués par les propulseurs est trois à quatre fois plus grande que celle sur laquelle nous avons coutume de nous appuyer, en France ; aussi, malgré l'imperfection notoire de l'appareil américain, en tant que projectile, pouvons-nous constater chez lui une utilisation de la force motrice encore inconnue de nos aviateurs français. Cette constatation n'est pas sans nous satisfaire, car on voudra bien se rappeler que, depuis fort longtemps déjà, nous préconisons les grandes hélices à vitesse de rotation réduite ; on l'a vu dans les pages qui précèdent, mais nous n'avons guère été entendu : puisse donc l'expérience des Wright démontrer à tous que, de la bonne appropriation du propulseur, dépend en grande partie le succès.

Quant à l'équilibre de cet appareil, il est de beaucoup plus précaire que dans les constructions françaises ; il ne peut être assuré transversalement que par la manœuvre constante des organes de gauchissement ; dans le sens longitudinal, il est tout aussi difficile à maintenir et, sous ce rapport, l'appareil n'est pas sans danger ; en effet, le gouvernail horizontal destiné à assurer cet équilibre est placé en avant ; dans ce cas, s'il est trop rapproché du plan principal, les mouvements de tangage se feront sous un trop court rayon et ces mouvements devront être réprimés rapidement et presque constamment ; si, au contraire, ce gouvernail est trop éloigné, les oscillations longitudinales seront plus lentes, c'est vrai, mais, par contre, elles devront se limiter à un angle assez peu ouvert et au delà duquel l'appareil risquera le chavirage, soit par l'arrière, soit par l'avant. La manœuvre d'un tel aéroplane demande donc une attention extrêmement soutenue, la moindre hésitation pouvant entraîner une catastrophe ; c'est, d'ailleurs, ce qui explique l'apprentissage de plusieurs années qui fut nécessaire aux constructeurs américains pour acquérir toute la maîtrise indispensable pour oser se livrer à une semblable machine.

Quelle différence avec nos appareils français ! Dans ceux-ci, l'on a déjà un équilibre presque automatique ; on l'aura bientôt complètement ; l'apprentissage du pilote sera à peu près nul, et, enfin, il est probable que, dans le cas imprévu où le pilote abandonnerait l'appareil à lui-même, en pleine marche, et quelle que soit la cause de cet abandon, l'équilibre étant parfaitement maintenu automatiquement, tout danger sera écarté.

Nous partagerons donc l'opinion de M. Calderara lorsqu'il dit que le génie français n'a rien à envier au génie américain ; nous irons même un peu plus loin en disant que le type d'appareil américain, devant lequel quelques-uns se sont peut-être un peu trop hypnotisés, n'est pas du tout un appareil d'avenir ; c'est répéter d'ailleurs ce que nous avons dit déjà, il y a plusieurs années, en prenant connaissance du dispositif employé. Les Américains, ou plutôt deux Américains nous ont peut-être dépassés un moment : peut-être nous dépassent-ils encore aujourd'hui ; ce n'est pas très certain ; en tout cas, il semble bien que nous soyons maintenant dans une voie certainement meilleure que celle que nous leur voyons suivre ; encore quelques efforts, nous serons *sûrement* en tête et on ne nous rattrapera plus.

V. T.

TABLE DES MATIÈRES

	Pag.	Col.
Avertissement de l'éditeur	I	
Les fondateurs du Grand Prix d'aviation (photographie)	III	
Les étapes de l'Aviation	IV	
Préface de M. E. Archdeacon	V	
Chap. Ier. — Etat actuel de la question	1	
Un planement de Lilienthal (*fig.* 1)	2	1
Lilienthal dans un appareil forme oiseau (*fig.* 2)	2	2
Planeurs américains à plans multiples (*fig.* 3)	3	
Planeur américain à deux surfaces (*fig.* 4)	4	1
Planeur américain à queue devant (*fig.* 5)	4	
Chap. II. — Recherches sur les lois de la résistance de l'air	5	
Lois de Newton ; la résistance est-elle normale au plan ?	5	1
Loi d'Avanzini et de Joessel	6	1
Position du centre de pression sous un plan oblique (*fig.* 6)	6	1
Proportionnalité de la résistance au carré de la vitesse	7	1
Variation de la résistance due à la densité du fluide	7	2
Influence du sinus de l'angle d'incidence	8	1
Formule de Duchemin	8	2
La résistance est-elle proportionnelle à l'étendue de la surface ?	9	1
Déplacement du fluide sous des plans rectangulaires (*fig.* 8 et 9)	9	1
Surfaces d'air offertes à l'appui des plans allongés (*fig.* 10)	9	2
Projections horizontales de la voilure d'un faucon et d'un martinet	10	2
Influence de la courbure antéro-postérieure des plans	11	1
Courbure des ailes d'un pigeon, par Marey (*fig.* 13)	11	2
Déplacement de filets de fumée par le mouvement d'un plan (*fig.* 14)	12	2
L'étendue absolue des surfaces et les recherches de Borda	13	
Diverses valeurs de K	14	1
Causes des variations constatées de K	14	2
Chap. III. — Des hélices aériennes	15	
Des hélices en général	15	2
Direction des filets d'air autour d'une hélice (*fig.* 17)	16	2
Rendement des hélices	17	
Hélices propulsives. — Recul	18	2
Hélice d'aéronat bien et mal appropriée	19	
Longueur du pas d'une hélice	20	1
Danger des hélices à grande vitesse et formant volant	20	2
Hélices sustentatrices	21	1
Forme des hélices	22	2
Chap. IV. — Etude et construction d'un aéroplane	23	
De l'inclinaison à donner aux plans	23	2
Poids à leur faire supporter	24	1
Forme des plans sustenteurs	25	1
Projection horizontale d'une mouette (*fig.* 20)	25	
Courbure des ailes de divers oiseaux, par Marey (*fig.* 22)	27	
Vautour planant, d'après Mouillard (*fig.* 23)	27	
Stabilité longitudinale	29	1
Aéroplane stable (*fig.* 27)	30	
Position de la queue	31	
Direction latérale, gouvernail	32	1
Corps central	32	2
L'hélice ou les hélices	34	1
Nécessité de bien dégager le propulseur	35	1
Aspect probable d'un aéroplane rationnel en plein vol (*fig.* 30)	35	
Diamètre à donner à l'hélice	35	2
Force motrice à appliquer aux aéroplanes	36	1
Travail de sustentation et travail de translation	36	2
Calcul des diverses résistances à vaincre	37	
Départ, montées et virages	38	1
Augmentation du travail moteur dans les montées	38	2
Augmentation du travail moteur dans les virages	39	1
Le travail de translation croît comme le cube de la vitesse	40	
Chap. V. — Les progrès de l'aéroplane	40	
Opinion de Pénaud sur sir George Cayley	41	1
Aéroplane de Henson (*fig.* 31)	42	
Appareil à plans multiples de Wenham (*fig.* 32)	43	1
Aéroplane de Pénaud 1871 (*fig.* 33)	43	2
Aéro-bi-plane de Brown (*fig.* 34)	44	1
Hélicoptère de E. Forlanini (*fig.* 35)	44	
Aéroplane à air comprimé de Tatin, en perspective (*fig.* 36)	45	
Le même en expérience (*fig.* 37)	46	
Grand aéroplane de H. Maxim, première forme (*fig.* 38)	47	
Modification du même (*fig.* 39)	47	
Dernière forme (*fig.* 40)	48	
Appareil hybride de Hargrave (*fig.* 41)	48	1
Aéroplane à vapeur de Langley, petit modèle (*fig.* 42)	49	1
Aéroplane Langley, monté (*fig.* 43)	49	2
Aéroplane à plans multiples de Phillips (*fig.* 44)	50	
Planement par Lilienthal (*fig.* 45)	50	1
Aéroplane à vapeur de Richet et Tatin (*fig.* 46)	51	
Calculs relatifs à cet appareil	52	
Premier aéroplane de Santos-Dumont (*fig.* 47)	53	
Son dernier appareil (*fig.* 48)	54	
Hélicoptère de Richet et Bréguet frères (*fig.* 49)	55	
Aéroplane de H. Farman (*fig.* 50)	55	
Aéroplane de Delagrange (*fig.* 51)	56	
Résultats comparatifs obtenus avec les diverses machines ci-dessus décrites	56	2

INDEX ALPHABÉTIQUE

des sujets traités, des figures et des auteurs cités

Pag. Col.

A

Aéronat (hélice bien ou mal appropriée).. 19
Aéro-bi-plane de Brown (*fig.* 34)..... 44 1
Aéroplane à ailes droites disposées en ligne brisée (*fig.* 24)..... 28 1
Aéroplane à air comprimé..... 45 1
— — — vu en perspective (*fig.* 36)..... 45
Aéroplane à air comprimé, en expérience (*fig.* 37)..... 46
Aéroplane à ailes à courbure elliptique rappelant la forme de la voilure des oiseaux (*fig.* 25)..... 28 1
Aéroplane en vue latérale ; position de l'hélice et du gouvernail (*fig.* 28)..... 32 2
Aéroplanes divers (voir aux noms de leurs auteurs).
Archdeacon..... 1 2
— (préface)..... III
— photographie..... II
Aspect probable d'un aéroplane vu en plein vol (*fig.* 30)..... 35
Avantage des formes d'ailes plus étroites par leurs extrémités..... 25 2
Avanzini..... 5 2
Avertissement de l'éditeur..... I

B

Blériot..... 1 2
Borda (résistance de l'air proportionnelle à S)..... 13 1
Branches d'hélices (largeur des)..... 22 2
Brown, appareil à deux surfaces successives (*fig.* 34)..... 44 1
Bréguet frères et Richet, hélicoptère (*fig.* 49)..... 55

C

Calculs relatifs à l'aéroplane à air comprimé..... 45 2
Calculs relatifs à l'aéroplane à vapeur Richet et Tatin..... 52 1
Calculs relatifs à la répartition du travail moteur dans divers aéroplanes..... 56 2
Canovetti..... 14 1
Carré de la vitesse (résistance proportionnelle au)..... 7 1
Carré du sinus de l'angle d'incidence..... 8 1
Cayley (sir George) d'après Pénaud..... 41 1
Centre de pression, sa position d'après Joessel..... 6 1
Construction d'un aéroplane, chapitre IV.. 23
Corps central..... 32 2
Corps fusiforme à section carrée, avec l'emplacement du pilote et du moteur (*fig.* 29)..... 33
Courbure des ailes de divers oiseaux pendant le vol (*fig.* 22 et 23)..... 27
Courbure des plans sustenteurs (influence de la)..... 11 1
Courbure transversale à donner aux plans. 26 2
Courbures à flèches diverses pour la même corde (*fig.* 12)..... 11 2

D

Danger de la trop grande vitesse de rotation des hélices..... 20 2
Dégagement de l'hélice d'un aéroplane (*fig.* 27)..... 30
Dolagrange..... 1 2
— (aéroplane, *fig.* 51)..... 56
Densité de l'air..... 7 2
Départ, montées et virages..... 38 1
Détermination du travail de sustentation. 36 1
— — propulsion.. 37 1
Deutsch de la Meurthe..... 1 2
— — photographie..... II
Diamètre de l'hélice d'un aéroplane..... 35 2
Direction prise par les filets d'air déplacés par un plan se mouvant par son bord étroit (*fig.* 8)..... 9 1
Direction des filets quand le plan se meut par son bord large (*fig.* 9)..... 9 2
Direction latérale des aéroplanes..... 32 1
Directions prises par les filets d'air avoisinant une hélice en mouvement (*fig.* 17). 16 2
Diverses courbures antéro-postérieures des plans sustenteurs (*fig.* 12)..... 11 2
Donateurs du grand Prix d'aviation (photographie)..... II
Drzewiecki..... 48 2
Duchemin, formule de la résistance des plans obliques..... 8 2

E

Ellipse (plans étendus en travers, *fig.* 21).. 26 1
Ensemble d'un aéroplane, vu de dos, position relative des ailes, queue, hélice, etc. (*fig.* 27)..... 30
Equilibre longitudinal par la position de la queue..... 30
Etapes de l'Aviation..... V
Etat actuel de la question (aviation), chapitre premier..... 1
Etendue de la surface (résistance de l'air). 9 1
— de fluide sur laquelle s'appuie un plan selon qu'il se meut par son bord étroit ou son bord large (*fig.* 10)..... 9 2
Etude et construction d'un aéroplane, chapitre IV..... 23
Expérience de l'aéroplane à air comprimé (*fig.* 37)..... 46
Expérience de l'aéroplane à vapeur Richet et Tatin..... 50 2
Expérience montrant qu'un oiseau rétablit son équilibre instinctivement lorsqu'il est compromis..... 29

F

Farman..... 1 2
— (aéroplane, *fig.* 50)..... 55
Ferber..... 1 2
— résistance des surfaces se mouvant normalement ou obliquement..... 14 2
Filets d'air près d'une hélice en mouvement (*fig.* 17)..... 16 2
Filets d'air déplacés par un plan se mouvant en long (*fig.* 8)..... 9 1
Filets d'air déplacés par un plan se mouvant en travers (fig. 9)..... 9 2
Filets de fumée déplacés par le mouvement oblique d'un plan (*fig.* 14)..... 12 2
Force motrice à appliquer aux aéroplanes. 36 1
Forme des hélices..... 21 2
— à donner aux plans sustenteurs d'un aéroplane..... 25 1

Pag. Col.

Forlanini (hélicoptère, *fig.* 35)..... 44
Formule de la résistance de l'air entre les vitesses 0 et 416 mètres..... 7 2
Formule de Duchemin..... 8 2

G

Gouvernail horizontal..... 32 1
— latéral, sa position (*fig.* 28).. 32 2
Grand Prix d'aviation (photographie des donateurs)..... III

H

Hargrave, appareil mixte (*fig.* 41)..... 48 2
Hélices aériennes, chapitre III..... 15
Hélice appliquée à un aéronat..... 19
— à pas croissant d'avant en arrière. 22 2
— — — du centre à la périphérie..... 22 1
Hélice dont la partie centrale a été supprimée et dont la longueur du pas a été diminuée vers l'extérieur (*fig.* 19)..... 22 2
Hélices pour appareils d'aviation..... 19 2
— sustentatrices..... 21 1
— en général..... 19 2
— propulsives..... 18 2
— pour hélicoptères..... 21 1
Hélice (l') ou les hélices..... 34 1
Hélicoptère de Forlanini (*fig.* 35)..... 44
Hélicoptère Richet et Bréguet frères (*fig.* 49)..... 55
Henson, son aéroplane (*fig.* 31)..... 42
Hutton..... 8 2

I

Inclinaison à donner aux plans d'un aéroplane..... 23 2
Inclinaisons différentes des normales à la corde ou à la tangente (*fig.* 7)..... 6 2
Inclinaisons des diverses parties d'une branche d'hélice (*fig.* 16)..... 16 1
Influence des objets environnants sur la résistance de l'air..... 12 1

J

Joessel, position du centre de pression.. 6 1

K

K (valeur de) comme coefficient de la résistance de l'air..... 13 2

L

Langley, appréciation de ses expériences. 8 2
— petit aéroplane d'étude (*fig.* 42).. 49 1
— aéroplane plus grand et monté (*fig.* 43)..... 49 2
Levavasseur..... 1 2
Lilienthal..... 1 2
— dans son appareil forme oiseau (*fig.* 2)..... 2 2
Lilienthal dans son appareil à deux surfaces superposées (*fig.* 45)..... 50 1
Lilienthal s'exerçant à faire du vol à voile (*fig.* 1)..... 2 1
Lois de la résistance de l'air, chapitre II. 5
— — — selon Newton 5 1
Louvrié (de)..... 49 1

M

Marey, pigeon au vol (*fig.* 13)..... 11 2
Martinet, projection horizontale de sa voilure (*fig.* 11)..... 10 2
Matières (table des)..... 59
Maxim, aéroplane 1re forme (*fig.* 38)..... 47
— — modifié (*fig.* 39)..... 47
— — dernier aspect (*fig.* 40). 48

Pag. Col.

Montées (travail supplémentaire dans les) 38 2
Moteur, sa position dans le corps de l'appareil (*fig.* 29)..... 33
Mouette, surfaces portantes (*fig.* 20)..... 25
Mouettes, pigeons, canard, courbure des ailes (*fig.* 22)..... 27
Mouillard, voilure d'un faucon (*fig.* 11).... 10 2
— vautour oricou planant (*fig.* 23). 27

N

Nervures d'ailes d'aéroplanes (sections, *fig.* 26)..... 29
Newton, lois de la résistance de l'air..... 5 1
Nicholson's Journal et *Philosophical Magazine*..... 41 1
Normale à la corde ou à la tangente (*fig.* 7)..... 6 2
Normale (résistance) à la surface..... 5 1

P

Parallélogramme des forces (*fig.* 15)..... 15 2
Pas d'une hélice (*fig.* 18)..... 17 2
Pénaud..... 41 1 et 49 1
— aéroplane à ressort de caoutchouc (*fig.* 33)..... 43 2
Phillips, aéroplane à plans superposés multiples (*fig.* 44)..... 50
Pigeon au vol, par Marey (*fig.* 13)..... 11 2
Pigeon (courbure des ailes du), par Marey (*fig.* 22)..... 27
Pilote, sa position dans un aéroplane (*fig.* 29)..... 33
Planeur américain à surfaces multiples (*fig.* 3)..... 3
Planeur américain à trois surfaces (*fig.* 3). 3
Planeur américain à deux surfaces, queue en arrière (*fig.* 4)..... 4 1
Planeur américain à deux surfaces, queue en avant (*fig.* 5)..... 4
Plan rectangulaire se déplaçant par son bord large ou par son bord étroit (*fig.* 10)..... 9 2
Plans sustenteurs (forme des)..... 25 1
Plans successifs de Brown (*fig.* 34)..... 44 1
Poids des oiseaux relativement à leurs surfaces alaires..... 12 2
Position de la queue d'un aéroplane, ses mouvements..... 30
Positions variables du centre de pression sous un plan dont on modifie l'incidence (*fig.* 6)..... 6 1
Progrès de l'aéroplane, chapitre V..... 40
Projection horizontale des voilures d'un faucon et d'un martinet (*fig.* 11)..... 10 2
Préface par E. Archdeacon..... IV

Q

Queue, son importance pour assurer l'équilibre..... 30
Queue d'un oiseau (mouvement instinctif de la)..... 29 2

R

Rapport entre la largeur de l'aile et l'envergure chez diverses espèces d'oiseaux. 10 2
Recherches sur les lois de la résistance de l'air, chapitre II..... 5
Recul des hélices aériennes..... 18 2
— — de navires..... 34 2
Répartition du travail dans divers aéroplanes décrits..... 56 2
Résistance de l'air normale au plan..... 5 1
— — proportionnelle à la densité du fluide..... 7 2
Résistance de l'air proportionnelle à l'étendue de la surface..... 9 1
Résistance de l'air proportionnelle au carré de la vitesse..... 7 1

Pag. Col.

Résistance de l'air proportionnelle au carré du sinus de l'angle..... 8 1
Résistance éprouvée par un plan, normale et composantes (*fig.* 15 ..... 15 2
Résistances nuisibles dans un aéroplane.. 37 1
Renard, coefficient K..... 11 1
Rendement d'appropriation des hélices.. 18 2
— de construction des hélices.. 18 2
— des hélices en général..... 17
Richet et Bréguet frères, hélicoptère (*fig.* 49)..... 55
Richet et Tatin, aéroplane à vapeur (*fig.* 46)..... 51

S

Santos-Dumont..... 1 2
— 1er aéroplane, à plans cellulaires (*fig.* 47)..... 53
Santos-Dumont, dernier aéroplane (*fig.* 48).. 54
Sections de diverses parties d'une aile d'aéroplane (*fig.* 26 29
Stabilité longitudinale..... 29 1
Stringfellow..... 42 2
Superposition de plans sustenteurs (*fig.* 3)..... 3
Superposition de plans sustenteurs (*fig.* 4 et 5)..... 4
Superposition de plans sustenteurs, par Wenham (*fig.* 32)..... 43 1
Superposition de plans sustenteurs, par Phillips (*fig.* 44 50
Surfaces des ailes des oiseaux relativement à leur poids..... 12 2
Surfaces des ailes de la mouette (*fig.* 20 .. 25
Surfaces des ailes d'un faucon et d'un martinet (*fig.* 11)..... 10 2

Pag. Col.

T

Table des matières..... 59
Tatin, aéroplane à air comprimé..... 45 1
— — — — perspective et expérience (*fig.* 36 et 37)..... 46
Tatin et Richet, aéroplane à vapeur (*fig.* 46)..... 51
Thibault..... 8, 2 et 13 1
Trajectoire d'une branche d'hélice pendant un tour (*fig.* 18)..... 17 2
Travail dans divers aéroplanes (répartition du)..... 56 2
Travail de sustention d'un aéroplane..... 36 1
— de propulsion ou de translation.. 37 1
— supplémentaire pendant les montées..... 34 2
Travail supplémentaire pendant les virages..... 39 1
Travail maximum probable..... 39 2

V

Valeur de K, coefficient de la résistance de l'air..... 13 2
Vautour oricou planant, d'après Mouillard (*fig.* 23)..... 27
Virages (travail pendant les 39 1
Vitesse des aéroplanes..... 23 1
Voisin frères..... 1 2
— constructeurs des aéroplanes Farman et Delagrange..... 56 1

W

Wenham, aéroplane à plans superposés (*fig.* 32)..... 43 1
Wright frères, leurs prétendus secrets.... 52 2

MEMENTO DE L'AVIATEUR

ADRESSES UTILES

Brevets

Marques

Modèles

Procès

WEISMANN & MARX

Ingénieurs des Arts et Manufactures
Conseils en matière de Propriété Industrielle
Membres de la Chambre Syndicale des Industries Aéronautiques

Téléphone

111-16

PARIS (IXe Arrt)

90, Rue d'Amsterdam, 90

"ASTRA" SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTIONS AÉRONAUTIQUES

(Anciens Établissements SURCOUF)

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE UN MILLION DE FRANCS

Les Établissements SURCOUF

Ont construit le "LEBAUDY"

Les Établissements SURCOUF

Ont construit la "VILLE-DE-PARIS"

Les Établissements SURCOUF

Ont construit l'aérostat "L'ILE-DE-FRANCE"

qui a battu dans la *Coupe Gordon-Bennett 1907*, le record mondial de durée, contre des aérostats en étoffe caoutchoutée double

Les Établissements SURCOUF

ONT INTRODUIT EN FRANCE

les étoffes caoutchoutées doubles

Les Etablissements "ASTRA"

Ont construit le "CLÉMENT-BAYARD"

Dirigeable de 3.500 mètres cubes

Les Etablissements "ASTRA"

Ont construit le "VILLE-DE-BORDEAUX"

Dirigeable de 3.000 mètres cubes

ATELIERS ÉLECTRIQUES ET BUREAUX

à BILLANCOURT (Seine)

121, 123, rue de Bellevue — 15, rue Couchot

TÉLÉPHONE: 689-10

E. HÜE

PARIS — 63, Rue des Archives, 63 — PARIS

BAROMÈTRES, INSTRUMENTS DE PRÉCISION

Baromètres Anéroïdes, Altimétriques et Statoscopes pour Aéronautes et Alpinistes, etc.

MONTRE-BAROMÈTRE (Modèle déposé)

ENREGISTREURS — BAROMÈTRES — THERMOMÈTRES — HYGROMÈTRES

Prix Modérés — Fabrication Garantie

Altimètre montée-descente

Altimètre enregistreur aluminium

Statoscope

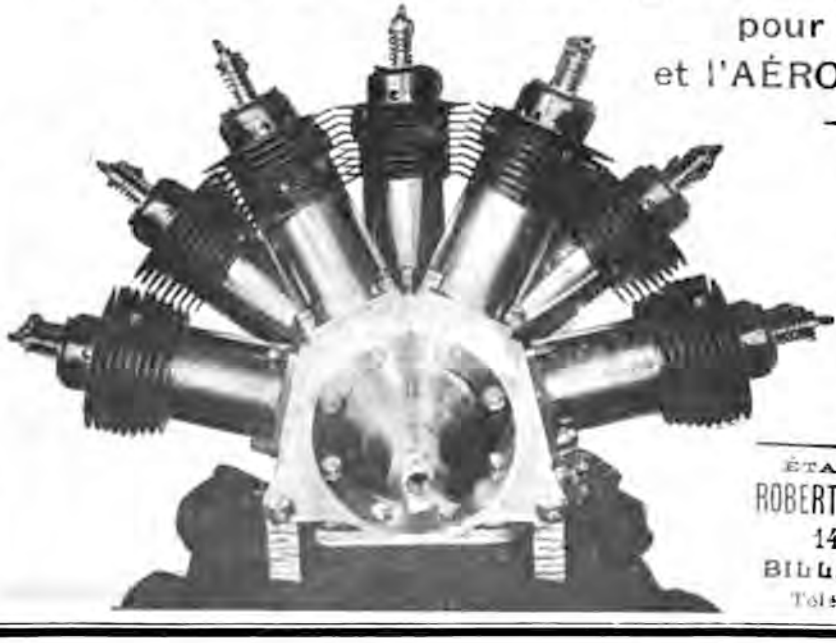
A.-C. TRIACA, agent général pour les États-Unis et le Canada

AÉROPLANES REP.

Monoplans

Moteurs extra-légers REP.

pour l'AVIATION
et l'AÉROSTATION



Poids en ordre de marche

20 hp.....	37 k. 500
30 hp.....	52 k.
40 hp.....	72 k.
60 hp.....	98 k.

Pour chaque moteur :

Essai d'une heure

aux puissances indiquées avant livraison

ÉTABLISSEMENTS
ROBERT ESNAULT-PELTERIE
149, rue de Silly
BILLANCOURT (Seine)
Téléphone : 672-01.

AUX

FRÈRES VOISIN

FARMAN

et

DELAGRANGE

ont demandé leurs ailes

Tous les Aéroplanes VOISIN sont vendus avec la garantie d'un parcours en circuit effectué par l'acheteur.

4, Rue de la Ferme, BILLANCOURT (Seine)

Téléphone : 167

L'Aéroplane Antoinette I.
MOTEUR *Antoinette*, DE 100 CHEVAUX, CONSTRUIT DANS LES ATELIERS D'AVIATION *Antoinette*.

Distinguons !!

Certainement M. Tatin A RAISON

Les aviateurs français, dont il est l'éminent représentant, savaient depuis bien longtemps que les aéroplanes étaient la solution pratique du plus lourd que l'air et ils savaient construire des aéroplanes stables, mais. . . . . .

Si **LEVAVASSEUR** n'avait pas, en 1903, pour l'aviation, inventé son moteur

ANTOINETTE

Si **LEVAVASSEUR** n'avait pas démontré, en 1904-1905-1906, que ce moteur placé sur les canots

ANTOINETTE

était à la fois puissant, léger, robuste et ultra-résistant,

CROYEZ-VOUS que, le 22 novembre 1906, **SANTOS-DUMONT**, sans son moteur

ANTOINETTE

aurait pu, en faisant 220 mètres, vous démontrer que les aviateurs n'étaient pas des utopistes ?

CROYEZ-VOUS que, le 13 janvier 1907, **H. FARMAN,** sans son moteur

ANTOINETTE

aurait pu, en faisant 1 kilomètre en circuit fermé, vous démontrer que le vol était possible ?

CROYEZ-VOUS que, le 6 juillet 1908, **FARMAN,** sans son moteur

ANTOINETTE

aurait pu, en restant 20 minutes en l'air et en parcourant 20 kil. vous prouver que les temps nouveaux prédits par cet article étaient arrivés ?

Eh bien ! soyons justes et rendons justice à

L'ANTOINETTE

Aéroplane Mengin-Gastamlide en plein vol
CONSTRUIT PAR LES ATELIERS D'AVIATION *Antoinette*
28, Rue des Bas-Rogers, PUTEAUX

AÉROSTATION
AUTOBALLONS
AÉROPLANES

Les Grands Ateliers Aéronautiques

MAURICE MALLET

CONSTRUISENT

LES

Appareils de Locomotion Aérienne

DE TOUTES FORMES

& DE TOUS SYSTÈMES

Maurice Mallet

INGÉNIEUR-AÉRONAUTE, ✡ I., ✠

Vice-Président de la Chambre Syndicale des Industries Aéronautiques

Les plus Hautes Récompenses aux Expositions

Hors Concours — Membre du Jury

10, Route du Havre, à PUTEAUX (Seine)

PRÈS LA DÉFENSE DE COURBEVOIE

Téléphone : 136-PUTEAUX

Ch. Levée et A. Triaca, Agents Exclusifs pour les États-Unis et le Canada

ARMENGAUD Jeune

Ingénieur-Conseil

Ancien Élève de l'Éco e Polytechnique
Président deux fois de la Société Française de Navigation Aérienne

CABINET FONDÉ EN 1836

Pour la Protection de la Propriété Industrielle

Brevets d'Invention en France et à l'Étranger

Modèles et Dessins industriels — Marques de fabrique

Consultations techniques et légales

Étude spéciale des questions de l'Aéronautique
Nombreuses Communications et Conférences à la Société Française de Navigation Aérienne, à la Société des Ingénieurs civils de France, à la Société d'Encouragement à l'Industrie Nationale, à la Société Française de Physique sur la dirigeabilité des Aérostats et sur le problème de l'Aviation

PARIS

23 -- Boulevard de Strasbourg -- 23

TÉLÉPHONE 408-30

HELICE " INTÉGRALE "

extra légère : 1 kilo par mètre de diamètre

La plus haute récompense à l'Exposition des Sports en 1907

MÉDAILLE DE VERMEIL

L. CHAUVIÈRE

INGÉNIEUR CIVIL

Membre de la CHAMBRE SYNDICALE des Industries Aéronautiques, de l'AÉRO-CLUB et de la SOCIÉTÉ FRANÇAISE de NAVIGATION AÉRIENNE

GRANDS ATELIERS pour Constructions d'AÉROPLANES,

HÉLICOPTÈRES, DIRIGEABLES, POUTRES ARMÉES SPÉCIALES, HÉLICES A PAS VARIABLE, TRAINS D'AMORTISSEURS

Modèles et Spécimens. — Appareils en réduction, etc.

Téléph. 915-08 — 52, RUE SERVAN — Paris

Agence Générale d'Aviation et d'Aérostation

TRAITE TOUTES LES OPÉRATIONS SE RATTACHANT A L'AÉRONAUTIQUE

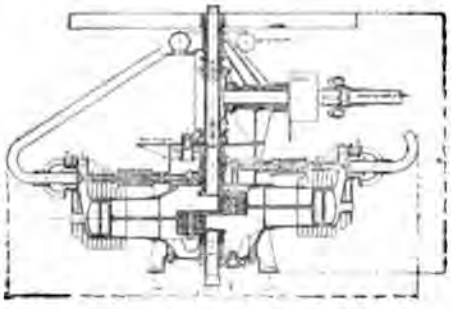
Téléphone 672-02 — *77, Avenue de la Grande-Armée*

"AÉROMOTEURS"

J.-Ambroise FARCOT

PARIS — 9, Boulevard Denain — PARIS

TÉLÉPHONE 446-00



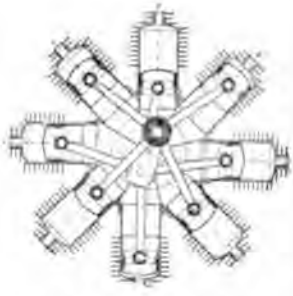
AÉROMOTEURS

LÉGERS

à

refroidissement à air

BREVETÉS S. G. D. G.



30 HP : 40 kgs. — 50 HP : 55 kgs. — 100 HP : 95 kgs.

en ordre complet de marche

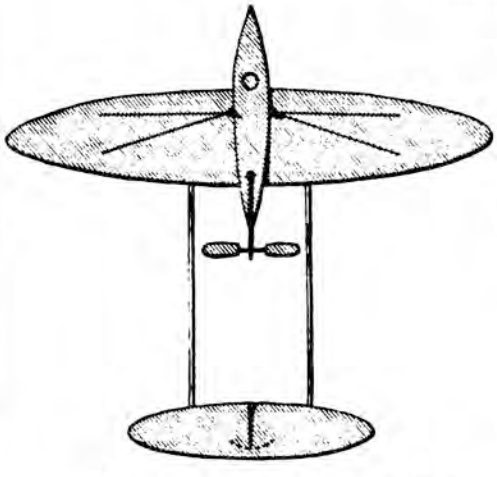
Les seuls moteurs garantis pendant plusieurs heures de marche consécutives et rigoureusement équilibrés.

SÉRIEUSES RÉFÉRENCES

Victor TATIN

INGÉNIEUR-AVIATEUR

Lauréat du prix Penaud à l'Académie des Sciences



ÉTUDE & CONSTRUCTION

D'AÉROPLANES

ET

D'HELICES AERIENNES

PARIS, 14, rue de la Folie-Regnault, 14

l'Aérophile

revue technique et pratique
de la locomotion aérienne

PUBLICATION BI-MENSUELLE ILLUSTRÉE (Seizième Année)

GEORGES BESANÇON, Directeur

Rédigé avec la collaboration des principaux savants français et étrangers

l'Aérophile

a, depuis longtemps, conquis une place de choix
dans la presse aéronautique du monde entier

Les articles théoriques et pratiques ont trait à toutes les branches
et à toutes les applications
DE LA LOCOMOTION AÉRIENNE

Son programme, parfaitement rempli, tient en trois mots :

les FAITS,

les DOCUMENTS,

les CHIFFRES

Rédaction et Administration :

63, Avenue des Champs-Elysées, 63 — PARIS

Abonnements d'un an : FRANCE, 15 francs ; ÉTRANGER, 18 francs

Le Numéro : 0 fr. 75

Paris. — Soc. An. de l'Imp. Wellhoff et Roche, 16-18, rue Notre-Dame-des-Victoires. Anceau, directeur.