

1.2. La naissance de l'aviation

1.2.1. Les visionnaires et les précurseurs

À la différence de l'aérostation, fondée sur le principe d'Archimède, l'aviation utilise les lois de l'aérodynamique.

Le cerf-volant est la première application, par l'homme, de l'aérodynamique pour assurer la sustentation d'un corps dans l'air. L'origine du cerf-volant remonte au IV^e ou au V^e siècle avant Jésus Christ.

Il était utilisé pour les jeux et festivals en Chine, en Corée, au Japon. On le retrouvait pour la pêche en Mélanésie et en Polynésie. En 196 avant Jésus Christ, un général chinois utilisa le cerf-volant pour la reconnaissance aérienne : il détermina la longueur du tunnel à creuser pour atteindre la fortification ennemie survolée. Les cerfs-volants furent aussi utilisés pour transmettre des signaux et larguer des messages à des troupes ou des populations encerclées.

Il faut souligner qu'Alexander Graham Bell, l'inventeur du téléphone, qui se passionnait par ailleurs pour l'étude aérodynamique du cerf-volant, écrivit :

« Une machine volante convenablement réalisée devrait pouvoir voler comme un cerf-volant. Réciproquement, un cerf-volant, convenablement réalisé, devrait pouvoir être utilisé comme machine volante, une fois équipé de son propre moteur ».

C'est cependant sur l'imitation directe des oiseaux que se fondèrent, pendant des siècles, les réflexions des savants et des inventeurs. Léonard de Vinci (1452-1519) commença ses études sur le vol vers 1486 et l'on peut trouver, dans ses dessins, des aperçus vers les avions et les hélicoptères d'aujourd'hui. Ses premiers travaux concernèrent des machines à ailes battantes. Ce n'est qu'à la fin de sa vie qu'il s'intéressa sérieusement au vol plané.

Dès 1680, Giovanni Alfonso Borelli démontra que les muscles pectoraux de l'oiseau représentent une part importante de son poids (environ 1/6^e pour l'espèce considérée) et que la transposition à l'homme était inconcevable. Cependant, longtemps encore, les partisans du vol battu s'opposèrent à ceux du vol plané.

Sir George Cayley (1773-1857) est considéré Outre-Manche comme « l'inventeur de l'aéroplane ». Il saisit l'intérêt de la cambrure des profils pour en accroître la portance et préconisa, dès 1809, la réalisation d'un appareil comportant :

- des ailes en dièdre, pour assurer l'équilibre latéral ;
- un gouvernail de profondeur pour obtenir la montée et la descente ;
- un gouvernail de direction pour permettre la conduite dans le plan horizontal ;
- des organes motopropulseurs munis d'hélices.

Cayley réalisa plusieurs maquettes capables de transporter un homme et leur fit effectuer des vols planés. Il conçut également un appareil que l'on appellerait désor-

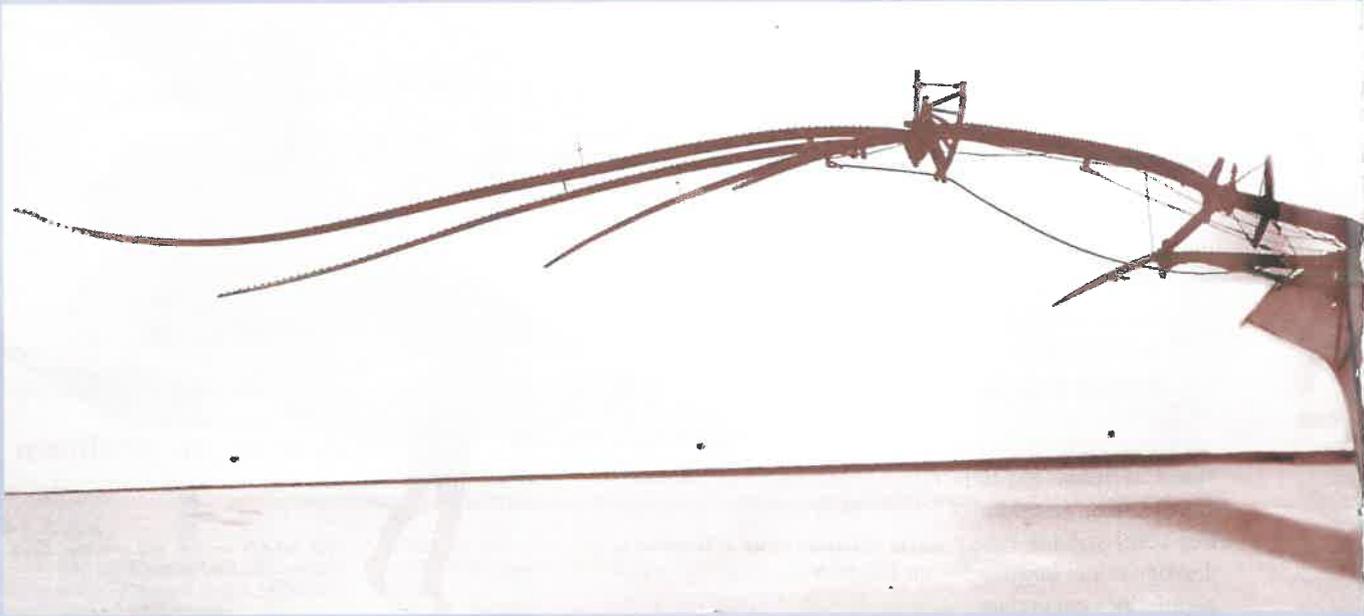


Fig. 7. – Le premier envol dynamique humain (J. M. Le Bris) en 1856

mais un « combiné », avec des hélices sustentatrices et des hélices propulsives.

En France, parmi les précurseurs de l'aviation, Jean-Marie Le Bris (1817-1872) fut l'un de ceux qui alliaient, avec le plus d'efficacité, rigueur dans l'analyse et audace dans l'expérimentation. Officier de marine, il observa, très attentivement, le vol des oiseaux des mers du Sud. Revenu en France, il réalisa un grand planeur dont la voilure, le fuselage et la queue étaient inspirés de l'albatros. Pour le décollage, le planeur était installé sur un berceau fixé à une charrette. De cette façon, le cheval lancé à vive allure, face au vent, sur la plage de Trefeuntec en Bretagne, permit à Le Bris de s'envoler en manoeuvrant ses ailes. Le bond fut si violent que la corde qui retenait le planeur à la charrette (Le Bris avait prévu de maintenir ainsi son planeur à la façon d'un cerf-volant avec pilote à bord) cassa, et s'enroula autour du conducteur de la charrette qui fut, de la sorte, le premier passager (imprévu) d'un aéronef. Le planeur s'éleva jusqu'à une centaine de mètres. Le Bris se posa, avec adresse, sur le sable, sans dommage pour lui-même ni pour son passager. Jean-Marie le Bris fut ainsi, en 1856, le premier homme à s'élever avec un plus lourd que l'air (Fig.7). Il déposa un brevet le 9 mars 1857 et recommença des essais avec un deuxième appareil en 1867 et 1868 dans le port de Brest.

Alphonse Pénaud (1850-1880) observa lui aussi très attentivement le vol des oiseaux. À partir du vol en piqué des corbeaux, il établit une théorie de la descente planée et détermina la traînée aérodynamique. Il montra que la stabilité longitudinale pouvait être obtenue grâce à une queue, analogue à celle des oiseaux. Dans son brevet, en date du 18 février 1876, il décrivit un aéroplane



Clément Ader, le grand précurseur

Né en 1841, à Muret près de Toulouse, Clément Ader est, dès son enfance, fasciné par le vol des oiseaux dont il remarque que le profil des ailes est creux. Au cours de sa carrière d'ingénieur, il se passionne pour les techniques nouvelles. Très inventif, il dépose de nombreux brevets dans des domaines variés : véhicule à chenille, vélocipède à roues caoutchoutées, téléphone, télégraphie sous-marine, etc. Ses activités, particulièrement fécondes dans l'industrie du téléphone (la Société générale des téléphones, dont il est l'un des administrateurs, effectue la construction du premier réseau téléphonique de Paris), ne lui font pas oublier ses observations de jeunesse sur les oiseaux et ses expérimentations avec des cerfs-volants : dès 1870, il avait proposé la réalisation d'un cerf-volant capable de sustenter un observateur aérien. À la fin des hostilités entre la France et la Prusse, en 1871, il est convaincu de l'intérêt militaire du vol humain. Il mesure la portance et la traînée de ses planeurs à l'aide de dynamomètres placés sur les cordes qui les retiennent en cerfs-volants captifs lorsqu'ils sont maintenus en l'air par le vent d'autan, à Castelnaudary. Il optimise la forme du profil creux et détermine ainsi la « courbe universelle », qu'il

matérialise par une spirale logarithmique. Il pressent que le profil doit être plus cambré pour les faibles vitesses que pour les vitesses élevées. En 1873, Ader peut mesurer la finesse (rapport portance/traînée) de ses modèles (finesse de l'ordre de 10) et vérifier l'efficacité de la commande d'assiette par déplacement des ailes. Ader est ainsi le premier à connaître l'ordre de grandeur de deux paramètres essentiels pour le vol :

- la portance, d'où la charge alaire et la surface de voilure nécessaire à la sustentation ;

- la traînée, d'où la puissance nécessaire à la traction.

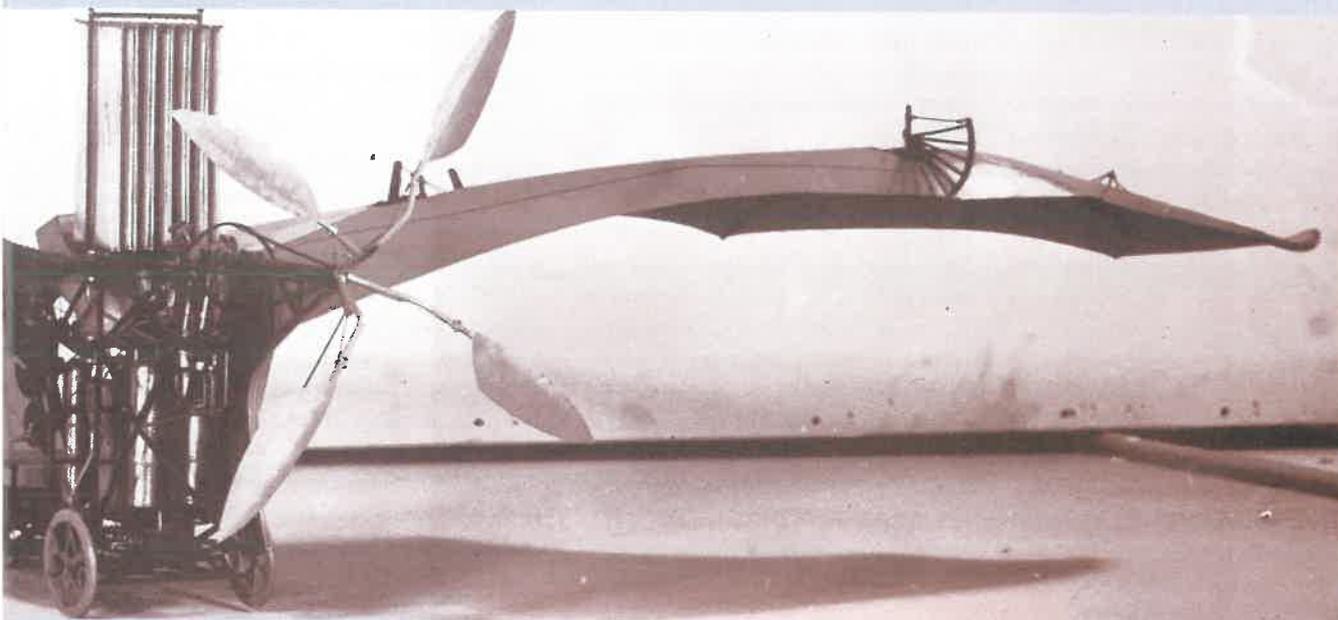
Ader est bien conscient de la nécessité d'un contrôle de l'orientation suivant les trois axes, mais il considère que le problème essentiel est de disposer d'un moteur léger, suffisamment puissant, entraînant une hélice efficace.

Dès 1885, il définit son premier appareil motorisé, qu'il dénomme Éole. À cette époque, le seul moteur autonome opérationnel était la machine à vapeur (la première voiture automobile à moteur à explosion ne sort qu'en 1892). Mais, dans les années 1880-1890, les machines à vapeur les plus performantes, celles des torpilleurs de marine les plus rapides, avaient un rapport poids/puissance de l'ordre de 20 kg/cheval-vapeur. Ce rapport, obtenu pour des machines de

4000 chevaux, était bien supérieur (50 à 100 kg/cheval) pour les machines à vapeur de plus faible puissance. Or l'objectif de Clément Ader était 6 kg/cheval. Il dut donc revoir complètement la conception et la réalisation des différents constituants des machines à vapeur, de façon à obtenir un ensemble léger, autonome en eau pour le vol de croisière et capable d'une forte puissance pendant la brève durée du décollage.

Le 19 avril 1890, Ader dépose un brevet pour un « Appareil ailé pour la navigation aérienne, dit Avion ». Le 9 octobre 1890, à Armainvilliers, près de Paris, il réussit, avec Éole, à voler à quelques décimètres de hauteur, sur une cinquantaine de mètres, en ligne droite.

L'Avion n° 2 était conçu pour être doté d'un moteur de même type que celui d'Éole, mais beaucoup plus puissant : 36 chevaux, soit près du triple pour un poids supérieur de 50 % seulement. Mais, lorsqu'il calcula le couple de renversement produit par ce moteur entraînant une hélice quadripale d'un diamètre de 3 m, Ader décida d'abandonner la formule du monomoteur et conçut l'Avion n°3, bimoteur avec deux hélices tournant en sens inverse et de pas contraire. Ceci l'obligea à modifier profondément la cellule et à réaliser un nouveau moteur de puissance intermédiaire



ICARE 134

entre celle du moteur d'Éole et celle du moteur de l'Avion n°2. Ce nouveau moteur fournit 24 chevaux avec le même poids (23 kg) que celui d'Éole. Toutes ces transformations prirent beaucoup de temps et l'Avion n°3 ne fut réalisé qu'en juillet 1897.

Mais Ader n'avait pas acquis la maîtrise du contrôle de vol de ses appareils. Ceci explique le relatif insuccès de la tentative du 14 octobre 1897 à Satory. Cette tentative fut vécue par Ader comme une « envolée ininterrompue de 300 m », mais ne fut pas attestée par les membres de la commission officielle, situés à une distance trop grande pour apprécier la hauteur réelle de l'« envolée » qui se termina en dehors de la piste du fait du vent (celui-ci soufflait transversalement à l'endroit où l'Avion n°3 d'Ader quitta la piste). À noter que la piste était circulaire, car Ader pensait que cela faciliterait l'entraînement au pilotage par temps calme. Ader considéra que ses travaux étaient « aux neuf dixièmes réussis » mais, n'ayant pas emporté la conviction des services officiels, il dut y mettre fin, faute de crédits.

En conclusion, on peut dresser le bilan des réalisations et expérimentations de Clément Ader comme suit :

– les innovations incontestables :

- le choix d'un excellent profil ;
- la forme en plan de la voilure ;
- la conception des hélices ;
- le devis de masse bien calculé et respecté ;
- le bilan propulsif satisfaisant grâce à un moteur de bon rapport puissance/poids.

– les insuffisances :

- les commandes de vol : les appareils de Clément Ader ne comportaient pas de commande d'inclinaison en roulis. L'Avion n°3 était équipé d'une commande de direction, actionnée par des pédales qui dirigeaient à la fois le gouvernail de direction et la roue arrière. En outre, une commande à manivelle et vis sans fin permettait de déplacer les ailes vers l'avant ou vers l'arrière, d'où une action sur l'assiette longitudinale (angle de tangage), mais la vitesse de réponse devait correspondre davantage à celle d'un changement de configuration « trim » qu'à celle d'une véritable commande de vol ;
- la conception et la réalisation de la voilure (aile souple de forme et de cambrure compliquées, d'où des réparations longues et coûteuses) ;
- la réalisation des hélices en matériaux légers, bambou, liège, papier entoilé, de comportement mécanique incertain (fluage du noyau en liège) ;

- la difficulté d'intégrer, dans la cellule, une machine à vapeur de fort encombrement vertical, d'où une forme de fuselage peu aérodynamique.

De ce bilan tout de même très positif, il résulte que Clément Ader a démontré la possibilité du vol humain à l'aide d'un véhicule plus lourd que l'air, doté d'un ensemble de propulsion mécanique. Cependant, la formule qu'il a adoptée était trop voisine de celle du monde animal pour être facilement réalisable et aisément réparable. Par ailleurs, si Clément Ader avait disposé d'un moteur à explosion, la conception de ses appareils aurait été grandement facilitée. En 1885, l'industrie automobile n'existait pas encore. Pouvait-on concevoir l'avion avant l'automobile ?

Clément Ader était donc trop en avance sur son temps. Cependant, sans l'avoir totalement délogée, il prépara la voie qui serait ouverte au début du XX^e siècle par les pionniers de l'aviation, dont les premiers furent les frères Wright.

Clément Ader, ce perspicace observateur du vol animal, ce remarquable expérimentateur, cet excellent ingénieur, était aussi un visionnaire dont les vues sur l'importance de l'aviation, et notamment de l'aviation militaire, allaient être pleinement vérifiées un quart de siècle plus tard.

Clément Ader est donc bien le grand précurseur de l'aéronautique.

Otto Lilienthal (1848-1896)

Otto Lilienthal fut, lui aussi, un grand précurseur de l'aviation. Cet ingénieur mécanicien allemand étudia le vol animal, d'une façon très approfondie. En 1889, il publia un ouvrage intitulé "Der Vogelflug als Grundlage der Fliegenkunst" (Le vol des oiseaux comme base de l'art de voler).

Il concluait :

« La seule voie qui puisse nous conduire à une rapide solution du vol humain passe par une pratique systématique et énergique des expériences de vol véritable ».

En 1891, Lilienthal réalisa des planeurs ayant une voilure monoplane, d'envergure 7 m, et une queue avec un gouvernail de direction et un gouvernail de profondeur. La structure de la voilure et des gouvernails était en rotin et en bambou et revêtue d'un mince voile de coton. L'ensemble ne pesait qu'une vingtaine de kilogrammes ; avec l'expérimentateur, l'appareil devait donc soulever une centaine de kilogrammes.

Otto Lilienthal effectua environ 2000 vols planés, en augmentant progressivement la hauteur de départ. Il améliora sa technique de décollage en s'élançant, face au vent, depuis le sommet de collines aux environs de Berlin. Certains de ses vols lui permirent de parcourir près de 400 m de distance. En vol, Lilienthal rétablissait l'attitude de son planeur, en se servant de son corps comme balancier. Mais le 9 août 1896, il s'écrasa au sol, à la suite d'une forte rafale de vent qui avait trop cabré l'appareil. Lilienthal décéda le lendemain. Sa mort, qui interrompit des travaux rigoureux, l'empêcha de passer du planeur à l'appareil à moteur, qui était son objectif final.

À la différence des expérimentations de Clément Ader, celles d'Otto Lilienthal eurent immédiatement un considérable retentissement.

Sur le plan expérimental, on peut réellement parler d'une « École Lilienthal » : dans divers pays, de nombreux enthousiastes du plus lourd que l'air imitèrent Lilienthal.

Aux États-Unis, Samuel Langley, secrétaire de la prestigieuse Smithsonian Institution de Washington qui avait suivi, avec un vif intérêt, les expérimentations de Lilienthal, réalisa des appareils à échelle réduite qu'il appela « Aérodomes ». Les essais qu'il effectua à partir de 1896 furent concluants : l'Aérodomo n° 5, partant d'une plateforme flottant sur le Potomac, parcourut près de 1000 m en 90 secondes. Langley réalisa ensuite un aéroplane



FIG. 8. - Planeur biplan d'Otto Lilienthal (1896)

pilote ayant une surface alaire de 96 m² et un moteur à essence de 52 CV. Mais la tentative de décollage, le 7 octobre 1903, se solda par un échec dû à la structure trop fragile de l'appareil.

De son côté, l'Américain d'origine française, Octave Chanute, ingénieur réputé pour ses réalisations en ponts et viaducs, publia en 1894 un livre intitulé "Progress in flying machines". Comme Lilienthal, il élaborait un programme d'expérimentation de planeurs. Ce programme débuta en 1896 par l'essai d'un appareil de type Lilienthal, à proximité du Lac Michigan. Chanute réalisa ensuite, avec son équipe, des appareils multiplans pour aboutir à la

formule du biplan léger mais robuste (grâce aux mâts et aux haubans) et présentant une grande stabilité. Chanute déclara en 1903, à l'Aéro-club de France : « Je n'ai eu d'autre mérite que de prendre les expériences de Lilienthal là où la mort l'avait surpris, de les perfectionner de mon mieux, jusqu'à ce que d'autres, plus heureux, les amènent au résultat parfait. Le progrès de la science, surtout en aéronautique, se fait par étapes successives ». Modeste et désintéressé, Chanute avait un véritable esprit scientifique. Il fut un excellent conseiller pour les frères Wright qui avaient pris connaissance, en 1899, du livre de Chanute. C'est en réalisant et en expérimentant eux-mêmes des planeurs

inspirés de ceux de Lilienthal que les frères Wright aux États-Unis, et Ferdinand Ferber, en France, firent accomplir à l'aviation ses premiers grands progrès. Sur le plan de la théorie, également, les vols de Lilienthal eurent une grande importance. Le mathématicien allemand Wilhelm Kutta s'appliqua à calculer la portance aérodynamique des profils minces incurvés utilisés par Lilienthal. Comme celui-ci avait procédé à ses nombreux essais en notant méthodiquement les paramètres et les conditions expérimentales, Kutta put vérifier la relation

entre la portance et la circulation. Cette relation, qui fut précisée par Joukowski en 1906, est celle du « théorème de Kutta-Joukowski » (cf. page 22). Elle est à la base de l'aérodynamique expérimentale. Si l'on situe le début de celle-ci à 1896 (fin des essais de Lilienthal) et le commencement de l'aérodynamique théorique à la formulation du théorème de Kutta-Joukowski en 1906, on voit que les connaissances expérimentales ont précédé de dix années les connaissances théoriques. C'est essentiellement grâce à l'expérimentation que l'aéronautique est née à l'aube du XX^e siècle, avec les travaux des pionniers dont les tout premiers furent Wilbur et Orville Wright.

mû par un moteur de 30 chevaux et capable de voler à 25 m/s avec une incidence de 2 degrés. Le contrôle de l'appareil était assuré par l'action du pilote sur deux gouvernails horizontaux et sur un gouvernail vertical. Pénaud fit voler de petites maquettes au moyen d'une hélice entraînée par un ressort en caoutchouc, comme ce fut le cas, beaucoup plus tard, pour certains jouets.

Quant à l'intérêt du gauchissement des ailes, il fut découvert par Louis Mouillard (également à partir de l'observation des oiseaux). Le 18 mai 1881, Mouillard et Chanute déposèrent un brevet concernant un appareil dont la stabilité latérale était assurée par le gauchissement des ailes.

Ainsi, l'ensemble des découvertes de Pénaud et de Mouillard préfigurait la conception de l'aéroplane que les Français allaient appeler « avion » en hommage à Clément Ader.

Parmi les précurseurs qui, au siècle dernier, s'aventurèrent dans la voie du plus lourd que l'air, c'est en effet incontestablement Clément Ader qui entreprit les plus grands efforts. Dès 1890, il fit faire à son « Éole » les premiers « sauts de puce » d'un appareil à moteur. Cependant, les voilures conçues par Ader pour ses appareils « Éole » et « Avion » étaient trop calquées sur la morphologie des chauves-souris ou sur celle des oiseaux pour être à l'origine d'aérodynes pilotés par l'homme, et pour pouvoir être réalisés d'une façon industrielle. Par ailleurs, Ader n'avait pas résolu les délicats problèmes de la stabilité de vol, du pilotage et de la manœuvrabilité. Par contre, il eut le mérite d'effectuer une analyse méthodique du vol plané et de réaliser un excellent moteur, constitué par une machine à vapeur de grand ratio puissance/poids.

Clément Ader sut aussi percevoir, dès 1890, l'avenir de l'aviation. En grand visionnaire, il écrivit dans son livre « L'aviation militaire » :

« L'aviation militaire deviendra toute puissante, d'elle dépendra l'avenir des nations ».

1.2.2. Les pionniers

C'est aux frères Orville et Wilbur Wright qu'il revient le mérite d'avoir conçu les premiers aéroplanes, pilotables et manœuvrables : leurs vols du 17 décembre 1903 marquèrent la naissance de l'aviation et le début de sa période héroïque. Celle-ci fut caractérisée par une démarche essentiellement expérimentale, fondée principalement sur les essais en vol, effectués directement sur l'appareil réel. Comme les frères Wright aux États-Unis, de nombreux pionniers tels que Henry Farman, Gabriel et Charles Voisin, Alberto Santos-Dumont, Louis Blériot en France et bien d'autres à l'étranger, n'hésitèrent pas à s'élancer sur des appareils dont ils ne pouvaient connaître le comportement qu'en les expérimentant dans les conditions réelles, sans aucune simulation ou essai au sol préalable. Seule la portance aérodynamique pouvait

être estimée à partir des travaux théoriques de Joukowsky ou des études expérimentales d'Otto Lilienthal sur les planeurs (*Fig. 8*).

Les frères Wright, après avoir procédé à des expérimentations dans une soufflerie rudimentaire et à de multiples essais en vol plané (plus d'un millier), mirent au point une cellule dont la voilure était un biplan. Un empennage horizontal, avec gouverne de profondeur, servait à la stabilisation horizontale et à la manœuvrabilité dans le plan longitudinal. La stabilisation latérale et la manœuvrabilité transversale étaient obtenues par le gauchissement des extrémités de la voilure.

L'appareil ne comportait pas de fuselage. Le pilote était couché à plat ventre dans un berceau dont l'inclinaison latérale commandait le gauchissement des ailes (ultérieurement, cette commande fut effectuée par un manche particulier, distinct du manche servant à la commande de la gouverne de profondeur).

L'appareil des frères Wright était très maniable, mais du fait de son manque de stabilité longitudinale, il exigeait une grande adresse de la part du pilote. Grâce à ces innovations, couvertes par de nombreux brevets, les frères Wright furent les premiers à voler sur un aérodyne plus lourd que l'air et à le faire évoluer. Cependant beaucoup de progrès restaient à accomplir. En particulier, les premiers appareils des frères Wright ne pouvaient pas décoller de façon autonome. Ils ne disposaient pas de roues et glissaient sur un rail. En 1904, les frères Wright utilisèrent un dispositif, avec pylône et contrepoids, qui permettait un décollage plus court. Ce n'est qu'en 1910 qu'ils adoptèrent les roues qui avaient été utilisées pour les premiers appareils français.

La technique du décollage fut découverte par Henry Farman, de façon purement fortuite. Avant lui, chacun croyait que, pour décoller, l'avion devait rester cabré. Mais la vitesse acquise dans cette attitude était trop faible et l'appareil, lorsqu'il décollait, se trouvait, à quelques mètres du sol, dans une situation proche du décrochage, donc à la merci de la moindre saute de vent. Avec un appareil des frères Voisin, Henry Farman ne put réaliser que des vols ne dépassant pas 200 m. Après de nombreuses tentatives infructueuses, il lâcha le volant de profondeur au lieu de le tirer vers lui. Abandonné à lui-même, l'appareil prit de la vitesse. Henry Farman eut alors l'idée de refaire une nouvelle tentative en poussant sur le volant ; l'avion, qui parvint alors à la vitesse de 50 km/h, répondait beaucoup mieux aux commandes que lors des essais précédents, où la vitesse ne dépassait pas 35 km/h. Le 26 octobre 1907, à Issy-lès-Moulineaux (tout proche de Paris), Henry Farman put faire homologuer un vol sur 771 m, par la Fédération Aéronautique Internationale qui venait d'être créée le 12 octobre, avec son siège à Paris. Farman apprit ensuite à effectuer des virages et le 13 janvier 1908, ce fut l'apothéose : Farman réussit un vol avec aller retour entre deux pylônes distants de 500 m. Il avait parcouru un circuit fermé d'un kilomètre en 1 minute et 28 secondes, et remportait ainsi

Les frères Wright, pionniers de l'aviation

Wilbur Wright, né en 1867, et son frère Orville, né en 1871, furent, dès leur enfance, inséparables. Ce lien familial très étroit et leurs goûts communs, notamment pour la mécanique, furent les clés de la réussite de ces deux américains. Après avoir exercé leurs talents inventifs dans différents domaines (presse d'imprimerie, bicyclettes, machines-outils), ils se passionnèrent pour l'aviation au cours des années 1890. En 1899, Wilbur écrivit à la Smithsonian Institution pour obtenir des informations sur les machines volantes, en justifiant ainsi sa demande :

« Je me suis intéressé au vol mécanique depuis mon enfance... Mes observations n'ont fait que renforcer ma conviction que le vol humain était possible... Ce n'est qu'une question de connaissance et d'adresse... Le peu que je pourrais apporter devrait aider celui qui atteindra le résultat final ».

Ce résultat allait être acquis en moins de cinq ans par les frères Wright eux-mêmes !

Leurs principaux atouts étaient, outre leur parfait esprit d'équipe :

- une profonde conviction que la machine volante verrait le jour. Cette conviction était fondée, rationnellement, sur leur connaissance des publications aéronautiques et notamment celles de Samuel Pierpont Langley, d'Otto Lilienthal, de Louis-Pierre Mouillard et d'Octave Chanute. Celui-ci joua un rôle essentiel en les informant des expérimentations en Europe et en les conseillant sur de nombreux points ;

- un esprit critique qui les conduisait à confronter constamment théorie et expérience, d'abord sur des modèles réduits et sur des maquettes en soufflerie, puis sur des planeurs, qu'ils pilotèrent eux-mêmes de 1900 à 1902, et des appareils à moteur à partir de décembre 1903. Il faut noter que les essais en soufflerie, effectués à une vitesse de l'ordre de 15 m/s, dans une veine de section 0,4 m x 0,4 m et de longueur 2 m, équipée de balances pour mesurer la portance et la traînée, leur permirent d'étudier plus de deux cents profils d'aile. Ces essais en soufflerie leur montrèrent également l'intérêt des ailes à grand allongement :

- une grande compétence en mécanique : ils réalisèrent les planeurs et les cellules des appareils "Flyer" dotés de moteurs et d'hélices qu'ils conçurent et construisirent eux-mêmes.

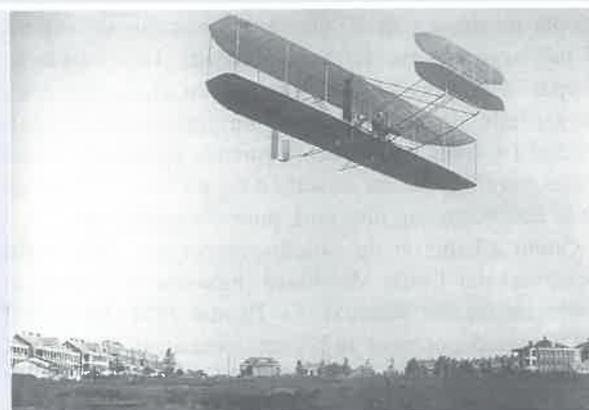
- une aisance naturelle dans la maîtrise du vol, à l'aide de commandes efficaces, telles que l'action sur le gauchissement des extrémités des ailes (alors que Clément Ader concevait le virage essentiellement par l'action sur la gouverne de direction et que Lilienthal obtenait l'inclinaison en roulis par le déplacement de ses jambes).

C'est en utilisant tous ces atouts avec méthode et ténacité que les frères Wright obtinrent, dès 1903, de magnifiques succès :

- Les succès

- le 17 décembre 1903, Flyer 1, piloté par Orville Wright, quitte son rail et vole sur 30 mètres en 12 secondes. Wilbur Wright franchit ensuite 260 mètres en 59 secondes ;
- le 20 septembre 1904, Wilbur Wright réussit le premier virage de 360° sur Flyer 2 à 50 km/h (inclinaison en roulis : 6 à 7°) ;
- le 1^{er} décembre 1904, Orville Wright, sur Flyer 2, parcourt 4.515 mètres en 5 minutes et 8 secondes. Au cours de ce vol, il effectue quatre virages complets ;
- le 4 octobre 1905, Orville Wright, sur Flyer 3, parcourt 33456 m en 34 minutes. Le lendemain, Wilbur Wright parcourt 38956 m en 39 minutes et 23 secondes.

Au cours de ces vols, les frères Wright ont acquis la maîtrise du contrôle longitudinal (gouverne de profondeur, en avant de l'appareil) et transversal (gauchissement des extrémités d'ailes). Le double plan vertical arrière est gouvernable par une commande combinée avec le gauchissement ou séparée (sur Flyer 3). Le décollage est effectué sur rail (Flyer 1), sur rail puis par catapulte (Flyer 2), par catapulte (Flyer 3). Le moteur (4 cylindres à plat) développe une puissance de 12 ch (Flyer 1), 16 ch (Flyer 2), 20 ch (Flyer 3).



9 septembre 1908. Orville Wright vole pendant plus d'une heure

- Les insuffisances

De 1905 à 1908, les frères Wright consacraient leurs activités à protéger leurs travaux par des brevets et à tenter d'obtenir des contrats de vente, aux États-Unis et en Europe, pour leurs appareils. Orville aux États-Unis, Wilbur en France, présentèrent le Flyer A où le pilote et ultérieurement le passager sont assis (à la différence des Flyer précédents où le pilote était allongé). Les appareils restèrent donc figés jusqu'à la reprise de leurs vols en 1908.

Le décollage reste tributaire d'une catapulte (les frères Wright n'adopteront les roues qu'en 1910). Le pilotage est délicat car les commandes ne sont pas instinctives : sur le Flyer A, biplace destiné à former des pilotes, deux manches placés, l'un à droite, l'autre à gauche de l'équipage, servent tous deux à commander la profondeur ; entre les deux pilotes, un manche unique commande à la fois le gauchissement et la direction, il est actionné vers la gauche ou vers la droite pour le gauchissement et en avant ou en arrière pour la gouverne de direction. Ces difficultés de pilotage, que les frères Wright croyaient avoir résolues, d'une part à force de tâtonnements et d'échecs, d'autre part grâce à une indéniable dextérité naturelle, ont rebuté de nombreux élèves pilotes.

Néanmoins, les brillantes démonstrations de Wilbur Wright, en France en 1908, lui permirent de montrer les qualités de vol du Flyer A, qui fit l'objet de nombreuses commandes d'achat. Cette campagne de présentation en France fut aussi une puissante incitation pour les constructeurs français qui, à partir de 1905, s'étaient lancés dans la réalisation de « machines volantes ».

le grand prix d'aviation offert par Archdeacon et Deutsch de la Meurthe. Un compte rendu à l'Académie des Sciences expliqua cette découverte. La technique de Henry Farman permit, à partir de 1908, à tous les autres avions, quelle que soit leur conception, de décoller et d'effectuer des vols de plus en plus longs, à des vitesses et altitudes de plus en plus grandes.

Robert Esnault-Pelterie, ingénieur, constructeur, pilote (et de surcroît, théoricien de la propulsion par réaction) inventa (brevet de 1906) le manche à balai pour commander à la fois l'assiette longitudinale (angle de tangage) par action sur la gouverne de profondeur et l'assiette latérale (angle de roulis) par action sur les extrémités des ailes.

L'invention du manche à balai fut essentielle pour faciliter le pilotage des avions. Ce fut une innovation majeure par rapport aux appareils des frères Wright qui comportaient deux commandes séparées, l'une pour le tangage, l'autre pour le roulis et le lacet (qui furent ensuite commandés séparément).

Avec le manche à balai pour le tangage et le roulis, un palonnier commandé aux pieds pour le lacet, une main restait libre pour le contrôle du moteur. Esnault-Pelterie avait ouvert la voie du pilotage des avions.

La stabilisation en roulis et l'évolution transversale (mise en virage, tenue du virage, sortie du virage) qui étaient ainsi très facilitées par le manche à balai furent améliorées par l'installation d'ailerons mobiles dans la partie de la voilure la plus éloignée du fuselage. C'est à Louis Blériot qu'il faut reconnaître le mérite de l'utilisation des ailerons mobiles.

Il faut noter aussi que Blériot mit en valeur le monoplane, alors que de nombreux appareils étaient encore des biplans : c'est avec un monoplane que Blériot effectua la première traversée de la Manche le 25 juillet 1909 (38 km en 37 minutes).

Ainsi, en quelques années, à partir de 1905, l'aviation progressa rapidement, grâce aux efforts de pionniers - à la fois inventeurs, ingénieurs, pilotes. Ils maîtrisèrent, à leurs risques et périls, les procédés de décollage, tenue de vol, atterrissage, en même temps qu'ils conçurent les cellules, les moteurs et les hélices, à partir de méthodes essentiellement empiriques.

Cependant, il faut signaler le rôle de Charles Renard et de Ferdinand Ferber, qui constituèrent à Chalais-Meudon le premier centre d'essais de moteurs et de cellules au monde. La théorie et les essais au sol progressèrent conjointement. Dès 1904, Prandtl avait défini la notion de couche limite en aérodynamique. Lilienthal avait, expérimentalement, introduit la notion de « polaire » de profil d'aile, à partir des multiples essais de planeurs (entrepris dès 1892) au cours desquels ce méthodique pionnier de l'aérodynamique perdit la vie en 1896.

De son côté, Gustave Eiffel fit fonctionner sa première soufflerie en 1909 : dans sa veine de 1,5 m de diamètre, il essayait des maquettes d'avions jusqu'à 63 km/h, vitesse pourtant inférieure à celle qu'atteignaient les avions à cette époque. Même si leurs perfor-

mances ne permettaient pas encore de parcourir l'ensemble du domaine de vol des avions, les souffleries constituaient un moyen très pratique pour dégrossir les solutions, éliminer les configurations douteuses, améliorer les formes des cellules les plus prometteuses.

La « grande » soufflerie Eiffel à Paris (Auteuil) permit de souffler à 100 km/h dans une veine de diamètre utile de 2 m. C'est dans cette soufflerie qu'Eiffel vérifia expérimentalement que la portance d'un profil d'aile résulte davantage de la dépression créée sur l'extrados que de la pression sur l'intrados (dans la proportion 2/3, 1/3). Les essais en soufflerie devinrent alors systématiques : 10000 essais y furent effectués de 1912 à 1914 et, pendant la guerre 1914-1918, les essais sur les maquettes d'avions militaires prédominèrent.

Par ailleurs, 1909 fut, pour l'Aéronautique, une année mémorable, non seulement pour la traversée de la Manche par Louis Blériot, ou encore pour la mise en service de la première soufflerie Eiffel, mais aussi pour :

- la création, sous l'impulsion du Colonel Jean-Baptiste Roche, de l'École Supérieure d'Aéronautique et de Construction Mécanique (qui est devenue l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace) ;
- l'organisation, à Paris, de la première « exposition internationale de locomotion aérienne » (aujourd'hui « Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace », au Bourget, à proximité de Paris) ;

- la constitution des premiers éléments de l'aviation militaire française, qui furent placés, en 1910, sous la direction du Général Jean-Baptiste Roques (qui avait également le commandement de l'aérostation et des ballons dirigeables).

En ce qui concerne les appareils à voilure tournante, il faut citer le premier envol d'un « gyroplane », le 24 août 1907. Il s'agissait d'un vol captif à 60 cm du sol et d'une durée de 20 minutes, d'un appareil réalisé par les frères Louis et Jacques Bréguet, avec le concours du professeur Richet. Il comportait 4 hélices à axe vertical actionnées par un seul moteur Antoinette de 45 CV. L'Ingénieur Volumard était à son bord. Le 13 novembre 1907, Paul Cornu effectuait le premier vol libre d'un hélicoptère, appareil qu'il avait construit lui-même. En 1908, le gyroplane Bréguet-Richet fit un vol libre. Ses pales étaient montées sur un moyeu à l'aide de cardans, de façon à s'orienter sous l'action combinée des forces centrifuges et des forces aérodynamiques, en préfigurant ainsi les rotors des hélicoptères modernes.

À la même époque, naquirent les hydravions. Le premier vol de l'« aéroplane à flotteurs » ou « hydroaéroplane » eut lieu à l'étang de Berre, près de Marseille, le 28 mars 1910. L'appareil avait été conçu par Henri Fabre, qui le pilota lui-même. De type canard, il était propulsé par une hélice entraînée par un moteur Gnôme de 50 CV. Il reposait sur trois flotteurs. Henri Fabre le fit décoller dès le premier essai et effectua un vol de 500 mètres à 5 mètres de hauteur. Le lendemain (29 mars 1910) il réussit un vol de 6 km.

Les connaissances scientifiques en Mécanique des Fluides à l'époque d'Ader et des frères Wright

La résistance de l'air a été calculée, pour la première fois, par Isaac Newton. Dans le cas d'une plaque plane placée perpendiculairement à un écoulement d'air uniforme à la vitesse V , Newton considérait que la résistance de l'air résultait des chocs des molécules sur la plaque et obtenait la formule :

$$R = kSV^2$$

Lorsque la plaque était inclinée de l'angle α par rapport à la direction de l'écoulement, la formule devenait :

$$R = kSV^2 \sin^2\alpha$$

Cette formule était obtenue en supposant que les molécules rebondissaient sur la plaque en faisant avec la normale un angle égal et opposé à l'angle d'incidence (par analogie avec les lois de la réflexion optique).

La résultante de tous ces chocs était une force, perpendiculaire à la plaque, et s'exerçant au centre géométrique de celle-ci. À partir de cette formule et en se fondant sur des résultats expérimentaux (peu fiables) de mesures du coefficient k , de grands savants, tels que l'astronome Lalande en 1782 ou le physicien Lord Kelvin en 1896, conclurent à l'impossibilité du vol humain.

En réalité, le raisonnement de Newton n'est valable qu'en air raréfié, lorsque le libre parcours moyen des molécules est de l'ordre de grandeur des dimensions de l'obstacle. Il ne peut s'appliquer à l'aérodynamique des véhicules aériens.

D'Alembert démontre, en 1752, que, si l'on néglige les forces de frottement, la résistance de l'air sur corps est nulle si le fluide se referme derrière le corps supposé bien fuselé : c'est le paradoxe de d'Alembert. Kirchoff, en 1869, et Lord Rayleigh, en 1876, résolvent le paradoxe de d'Alembert en admettant que des discontinuités en aval de la plaque séparent une « zone morte » de deux zones externes. Helmholtz suggère que dans cette « zone morte » s'établissent des tourbillons dissipateurs d'énergie.

En effet, le physicien allemand Hermann Von Helmholtz (1821-1894) fut le premier à introduire le concept de « tourbillon » dans l'analyse de l'écoulement incompressible non visqueux. Il démontra que, dans ce cas, l'intensité d'un tourbillon reste constante sur toute sa longueur et qu'un tourbillon doit s'étendre jusqu'à l'infini ou former un circuit fermé.

Le britannique Frederick.W. Lanchester, ingénieur spécialiste des moteurs à combustion interne, introduisit en 1894 la notion de « circulation » autour d'un profil d'aile et établit sa relation avec la portance aérodynamique. Cependant, dans ses conférences et articles de 1894 et 1897, Lanchester n'expliqua pas clairement comment on pouvait appliquer sa théorie. Il faut attendre 1907, avec la parution de son livre « Aerodynamics », pour obtenir un exposé détaillé de l'aérodynamique des ailes à envergure finie avec, pour la première fois, la mention des tourbillons d'extrémité se rejoignant le long de l'aile grâce au tourbillon lié.

Indépendamment des travaux de Lanchester, le professeur allemand de mathématiques Wilhelm Kutta tenta de calculer la portance aérodynamique des ailes des planeurs de Lilienthal. Il découvrit que l'écoulement au bord de fuite d'un profil pointu fixe la valeur de la circulation autour du profil. Il fut alors convaincu qu'il existait une relation entre circulation et portance.

Ce fut le professeur russe de mécanique Nicolai. Y. Joukowski qui, à partir de résultats théoriques et expérimentaux, établit et publia en 1906 la relation :

$$L = \rho V \Gamma$$

La théorie mathématique de Joukowski s'appliquait à un écoulement bidimensionnel irrotationnel et déterminait, pour une aile d'envergure infinie, la valeur de la portance L en fonction de la densité ρ , de la vitesse V et de la circulation Γ . Cette relation, qui fut ensuite appelée « théorème de Kutta-Joukowski », fut à la base de la théorie des profils d'ailes qui se développa pleinement à partir de 1918.

Mais le grand mérite d'avoir déterminé, pour la première fois, la portance aérodynamique d'une aile à partir de ses caractéristiques géométriques et d'avoir établi une théorie rigoureuse de la portance des ailes à envergure finie revient à Ludwig Prandtl. Ses travaux sur la couche limite (concept qui lui est dû), le frottement à la paroi, le transfert de chaleur entre l'écoulement et la paroi, et sur la séparation des écoulements lui donnèrent une notoriété telle qu'en 1904, Prandtl fut nommé directeur de l'Institut de Physique Technique à l'Université de Göttingen. Il y créa ce qui devint le plus grand centre de recherche aérodynamique au monde pendant la période 1904-1930. De 1905 à 1910, il étudia les écoulements supersoniques et mena de pair les études théoriques sur les ondes de choc et les ondes de détente, de même que les études expérimentales à l'aide, notamment, d'un dispositif optique, tout nouveau à l'époque, la strioscopie.

Prandtl reçut en 1908 la visite de Lanchester et approfondit les concepts de celui-ci en développant, de 1910 à 1920, la « théorie de la ligne portante ». En 1918, Max Munk, collègue de Prandtl, introduisit le concept de « traînée induite » (traînée liée à la portance). Une grande partie des travaux de Prandtl et de son équipe sur la théorie de l'aile d'envergure finie fut classée « secrète » par le gouvernement allemand pendant la première guerre mondiale. Pour l'essentiel, les travaux de Prandtl ne furent publiés qu'à partir de 1918.

Ce rappel historique montre bien qu'aucune théorie scientifique n'était réellement disponible pour le calcul, a priori, des caractéristiques aérodynamiques de la voilure de Clément Ader ou de celles des frères Wright.

Lors de l'époque héroïque de l'aviation (c'est-à-dire jusque vers 1910), les progrès furent acquis grâce à l'expérimentation le plus généralement en vraie grandeur, avec des appareils pilotés par d'audacieux pionniers, dont la créativité et la témérité ne sauraient trop être soulignées.

Les premières souffleries

L'emploi d'une soufflerie pour étudier l'aérodynamique autour d'un profil remonte à 1871 : le Britannique Herbert Wenham utilisa une veine d'une longueur de 3,6 m et de section carrée (45 cm x 45 cm) ouverte aux deux extrémités. L'air y était insufflé par un ventilateur mû par la vapeur. Cette soufflerie fut construite et installée à Greenwich.

Pour améliorer l'écoulement et éviter la rotation de l'air, un autre Britannique, Horatio Phillips, utilisa, en 1884, un jet de vapeur pour aspirer l'air dans la veine (première soufflerie à trompe à vapeur).

En 1894, Ch. Renard construisit une soufflerie pour étudier la stabilité des dirigeables. J. Marey, en 1900, visualisa l'écoulement dans une soufflerie à l'aide de filets de fumée qu'il photographia.

En 1901, les frères Wright, bien que sceptiques sur les résultats obtenus jusqu'alors, construisirent leur propre soufflerie.

De nombreux progrès furent apportés aux souffleries, notamment par Gustave Eiffel (1832-1923). Sa soufflerie du champ de Mars, au pied de la Tour Eiffel, comportait une veine de 1,5 m de diamètre où l'air était aspiré au lieu d'être soufflé, d'où une meilleure uniformité de l'écoulement. La vitesse dans la veine était de 20 m/s. Eiffel construisit ensuite, en 1911-1912, à Auteuil (Paris), une plus grande soufflerie avec un convergent à l'entrée, ce qui permettait de porter la vitesse dans la veine à 32 m/s, et un divergent à la sortie avant le ventilateur. Ludwig Prandtl (1875-1953) réalisa, en 1908, la première soufflerie à circuit fermé, à l'Université de Göttingen. Ce concept présente, par rapport aux souffleries en circuit ouvert de type Eiffel, les avantages suivants :

- insensibilité de l'écoulement aux fluctuations de l'air extérieur ;
- possibilité de contrôler la pression et l'humidité dans la veine ;
- puissance nécessaire plus faible (une partie de l'énergie cinétique de l'air est récupérée).

Une soufflerie de deuxième génération fut construite à Göttingen en 1916, avec une chambre de tranquillisation dans le circuit fermé.

Pendant de nombreuses années, la qualité des résultats en soufflerie n'a semblé liée qu'à celle de l'écoulement, dont la régularité et l'uniformité dans la section de la veine étaient très insuffisantes. C'est en 1912 qu'apparut un nouveau critère : « le nombre de Reynolds ».

Osborne Reynolds avait publié en 1883 les résultats de ses études sur l'écoulement de liquides dans des tubes de verre. Si l'on augmentait la vitesse du liquide, l'écoulement passait d'un régime calme et régulier, que Reynolds dénomma « laminaire » à un régime heurté et irrégulier, qu'il qualifia de « turbu-

lent ». Ce passage s'effectuait à une vitesse différente selon la densité du liquide. Le critère de la transition entre le régime laminaire et le régime turbulent était la valeur du nombre :

$$\frac{\rho VD}{\mu}$$

- ρ : densité du liquide
- V : vitesse de l'écoulement
- D : diamètre du tube
- μ : coefficient de viscosité du liquide

L'allemand A. Sommerfeld retrouva le même critère, en 1908, en étudiant l'écoulement de l'air. Il lui donna le nom de « nombre de Reynolds » en appelant

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

- ν : viscosité cinématique

d'où le nombre de Reynolds :

$$R = \frac{VL}{\nu}$$

L étant une dimension caractéristique de l'obstacle dans le sens de l'écoulement, par exemple, pour une aile, sa corde.

L'intérêt du nombre de Reynolds pour l'aviation apparut en 1912, lors d'une controverse entre, d'une part, Gustave Eiffel qui venait de publier les résultats de ses premiers essais à sa soufflerie d'Auteuil et, d'autre part, Prandtl qui avait répété, dans sa soufflerie de Göttingen, un des essais d'Eiffel. Celui-ci consistait à mesurer la traînée d'une sphère bien polie. Les traînées mesurées par Prandtl et par Eiffel étaient différentes. Prandtl suggéra qu'Eiffel avait dû commettre une erreur de calcul « bien pardonnable étant donné son âge ». Gustave Eiffel (alors âgé de 80 ans) fut piqué au vif.

Il effectua des essais sur des sphères de diamètres différents, dans des écoulements à différentes vitesses. Il retrouva ainsi le critère que Sommerfeld avait identifié et appelé « nombre de Reynolds » (critère que Prandtl et Eiffel ignoraient).

La différence des résultats d'Eiffel et de Prandtl était due au fait que la soufflerie d'Eiffel avait une veine de dimensions bien plus grandes que celle de Prandtl et qu'ainsi Eiffel avait effectué ses mesures sur une sphère plus grande.

Cette controverse, qui aboutissait au triomphe d'Eiffel sur Prandtl, pionnier de l'aérodynamique théorique, eut un retentissement immédiat : à partir de 1912, tous les laboratoires aérodynamiques se sont dotés de souffleries permettant les essais sur des maquettes de grandes dimensions (de l'ordre du

mètre au lieu du décimètre) à des vitesses beaucoup plus élevées. Simultanément, la conception des souffleries fit de grands progrès, dans la voie proposée par Eiffel, avec mise en place de filtres pour la tranquillisation de l'écoulement, et le dessin de convergents et divergents appropriés.

Alors qu'avant 1912 on se contentait de la seule similitude géométrique, on tint ensuite à respecter la similitude de Reynolds.

À titre d'exemple, citons les valeurs suivantes pour le nombre de Reynolds :

- en soufflerie :
 - . maquette des frères Wright (1901) : 70000 ;
 - . maquette en soufflerie de Göttingen (1908-1918) : 175000 ;
 - . maquette en soufflerie G. Eiffel (1912) : 700000 (soit 0,7 M).
- pour un avion réel :
 - . Éole Clément Ader (1890) : 1,7 M ;
 - . Douglas DC3 (1933) : 17 M ;
 - . Airbus A 330 (1993) : 50 à 100 M (selon l'altitude).

Dans leur conception première, les souffleries ne permettaient pas d'obtenir un nombre de Reynolds supérieur au dixième du Reynolds de vol. Il en résultait une discordance entre les résultats des souffleries et ceux des essais en vol, notamment pour la vitesse d'atterrissage, liée au C_{zmax} , et pour la vitesse maximale, définie par le C_{xmin} .

Pour augmenter le nombre de Reynolds avant de se lancer dans la réalisation de grandes souffleries, certains choisirent la solution consistant à utiliser, dans la veine en circuit fermé, de l'air comprimé. Ce fut le cas au National Physical Laboratory (Royaume-Uni) et au NACA (États-Unis) où, sous l'impulsion de Max. M. Munk, le « Variable Density Tunnel » (VDT) commença à fonctionner à Langley en 1922. Le VDT permit de comparer les résultats d'essais à 1, 2,5, 5, 10, et 20 bars et fournit ainsi les premières données expérimentales rigoureuses sur l'effet du nombre de Reynolds.

Cependant, les détracteurs du VDT soulignèrent l'importance de la turbulence de l'écoulement et préconisèrent la réalisation de grandes souffleries à la pression atmosphérique. C'est pourquoi le NACA-Langley construisit (1931-1933) le "Full Scale Tunnel" (FST). Les essais des nacelles de moteurs étaient, eux, effectués dans une soufflerie spécialisée, le Propeller Research Tunnel (PRT) construit en 1928.

Par la suite, le français Denhaut inventa la formule de l'hydravion à coque avec redan et comportant des flotteurs stabilisateurs aux extrémités des ailes. Cette formule permettait un décollage plus aisé de l'appareil.

Par ailleurs, l'Américain Eugène Ely fut le premier à faire décoller un avion à partir du pont d'un navire, le 14 novembre 1910, au large de Hampton Roads (Virginie - États-Unis). L'avion (Curtiss), partant du navire à 12 m au-dessus du niveau de la mer, évita les flots, de justesse, et se posa sur la terre ferme. Cet exploit permettait d'envisager de réaliser des porte-avions, mais il fallut attendre la fin de la première guerre mondiale pour les voir apparaître.

En octobre 1911, se tint, à Reims, le premier concours d'avions militaires avec, pour cahier des charges :

- construction entièrement nationale ;
- circuit fermé de 300 km sans escale ;
- triplace - charge utile 300 kg ;
- vitesse : 60 km/h ;
- décollage et atterrissage en terre labourée ;
- démontage et remontage rapide après transport par route ou par chemin de fer.

L'aviation militaire française prenait ainsi son départ.

Les Britanniques organisèrent, eux aussi, un tel concours en 1912. Aux États-Unis, la première école de pilotage militaire fut ouverte début 1911.

L'année 1912 fut marquée par une chute rapide de records :

- vitesse : 200 km/h (avion Deperdussin en contre-plaqué, moteur Gnome 160) ;
- altitude : 6120 m, (avion Nieuport, moteur Rhône 80) ;
- distance : 1010 km, (avion Farman, moteur Renault 70).

Aux États-Unis, A.Sperry réalisa le premier pilote automatique. L'année 1912 vit aussi le premier saut en parachute à partir d'un avion.

Les premiers vols de nuit furent expérimentés de 1911 à 1913.

Les appareils furent progressivement équipés d'instruments de bord, tels que l'anémomètre, réalisé par Badin en 1911.

Ainsi, en quelques années, l'aviation se développa très rapidement. Ces progrès furent déclenchés par l'enthousiasme suscité en Europe, et notamment en France, par les vols des frères Wright : leurs succès de 1903 furent bien à l'origine de l'Aéronautique, mais il faut cependant reconnaître à Clément Ader, le visionnaire de l'Aviation, l'antériorité de ses réalisations.

Les scientifiques apportèrent très vite leur concours aux pionniers et aux ingénieurs. Paul Painlevé, mathématicien et homme politique français, enseigna la « Mécanique de l'avion » à l'École d'Aéronautique dès sa création en 1909 (cf. *supra*). Il affirma : « l'avion doit être et sera un instrument de recherche scientifique. Le progrès ne peut naître que de la coopération de la théorie et de la pratique. C'est toujours l'expérience qui doit avoir le dernier mot ».

1.3. L'Aviation, de 1914 à 1918

Pour l'aviation, comme pour l'industrie aéronautique, la première guerre mondiale fut la cause d'un développement considérable :

- en 1914, la France, la Grande-Bretagne et la Russie ne pouvaient aligner, respectivement, que 162, 84 et 190 avions. En face, l'Allemagne et l'Autriche-Hongrie ne disposaient, au total, que de 288 appareils.

- de 1914 à 1918, pour satisfaire les besoins des armées, l'industrie aéronautique européenne produisit 160.000 avions (quarante fois plus que les États-Unis).

- en 1918, la France avait, en ligne, 4400 avions.

Son industrie avait produit, depuis 1914, plus de 51000 appareils et 92000 moteurs. L'aviation française, qui ne disposait que de 200 pilotes en 1914, en comptait 12000 en 1918.

Une telle croissance, qui donnait totalement raison à Clément Ader lorsqu'il avait prophétisé l'avenir de l'aviation militaire, était due à un profond revirement de l'avis des États-Majors sur le rôle de l'aviation.

En effet, les États-Majors, en 1914, considéraient que l'aviation ne pouvait servir qu'à la reconnaissance et à l'observation des forces terrestres de l'adversaire. L'importance de l'aviation dans ce domaine fut manifestée avec éclat par Louis Bréguet qui décela, en septembre 1914, la manœuvre de Von Kluck évitant d'attaquer Paris. Ceci permit aux généraux français Joffre et Galliéni de livrer, avec succès, la première bataille de la Marne.

Ayant ainsi joué un rôle décisif lors de la « guerre de mouvement » en 1914, l'aviation montra également son importance lors de la guerre de tranchées, qui donna un élan considérable aux moyens aériens. L'aérostation était chargée, avec l'implantation régulière de ballons ou « saucisses », dotés d'une nacelle avec un observateur disposant d'un téléphone, de surveiller les positions adverses et de régler le tir de l'artillerie. De leur côté, les avions d'observation et de reconnaissance veillèrent sur les arrières de l'ennemi et effectuèrent, à partir de 1915, une couverture photographique du front, qu'ils tinrent à jour régulièrement.

À cette mission d'observation, vint s'adjoindre une autre mission, celle du bombardement. À l'origine, les avions étaient dotés de fléchettes en acier et d'obus à empennage qui étaient jetés par dessus bord. Ces armements rudimentaires furent ensuite remplacés par de véritables bombes. L'aviation de bombardement utilisa alors des appareils conçus spécialement, soit pour une branche tactique, chargée de l'appui au sol, soit pour une branche stratégique, pour les actions à l'arrière contre les gares de triage, les usines d'armement, etc.

Du fait du développement des appareils d'observation et des avions de bombardement, il fallut mettre en œuvre une aviation de chasse. Son efficacité fut rapidement accrue, d'une part grâce à la manœuvrabilité des appareils conçus spécialement dans ce but (certains