

#### 1.4. Les progrès, de 1919 à 1939

À la fin de la première guerre mondiale, un grave problème de reconversion industrielle se posa. Quel était l'avenir de l'industrie aéronautique créée pour la production en grande série pendant la guerre ? Et que faire des avions construits ? La sécurité et la fiabilité des appareils, bien que très supérieures à celles des avions de 1914, étaient encore insuffisantes pour envisager le transport de passagers sur une vaste échelle. Par ailleurs, la capacité des appareils n'était pas adaptée au développement rapide d'une aviation de transport commercial.

Aussi, il fallait envisager d'autres débouchés. L'intérêt de la poste aérienne fut perçu par Pierre-Georges Latécoère : les lignes aériennes Latécoère, puis celles de l'Aéropostale, desservirent successivement l'Espagne, le Maroc, l'Afrique Occidentale, l'Argentine et le Chili. Le service postal 100 % aérien entre la France et l'Amérique du Sud fut ouvert en 1930, avec la liaison Dakar-Natal.

Pour la traversée de l'Atlantique Sud, deux concepts s'affrontaient :

- l'hydravion qui était, à l'époque, très en faveur, pour des raisons liées à la sécurité au-dessus des océans. C'est avec un Latécoère 28 modifié en hydravion, le « Comte-de-la-Vaulx » que Jean Mermoz franchit, pour la première fois, l'Atlantique Sud, de Saint-Louis du Sénégal à Natal, en mai 1930 ;

- l'avion à décollage et atterrissage terrestres, tel que les Bréguet 14, Latécoère 25, Latécoère 28, Potez 25 qui équipaient les lignes Latécoère et celles de l'Aéropostale.

Ce débat entre les partisans, pour les vols au-dessus de l'océan, des hydravions d'une part et des avions d'autre part, était essentiellement fondé sur la capacité réelle des hydravions à amerrir et de ses passagers à survivre en pleine mer, en cas de panne de moteurs. Or, contrairement aux espérances des constructeurs et des services officiels, le fait de pouvoir décoller et amerrir sur un lac ou dans une rade abritée ne garantit pas la possibilité de le faire en pleine mer, où la sécurité apportée par les flotteurs est fugitive, sinon tout à fait illusoire. En outre, l'hydravion est un appareil hybride qui doit, à la fois, avoir une carène hydrodynamique, avec redan et résistant aux chocs de la houle, et présenter une forme aérodynamique permettant des performances en vol. Enfin, le décollage d'un hydravion peut même sur un plan d'eau totalement abrité à la surface parfaitement calme, s'avérer difficile, comme Mermoz s'en aperçut lors de tentatives infructueuses en Amérique du Sud.

En comparaison, l'avion monoplan, sans haubans et avec train d'atterrissage rentrant, a un coefficient de traînée  $C_x$  beaucoup plus faible, d'où des vitesses et des distances franchissables bien supérieures.

La sécurité des vols transocéaniques ne résidait pas dans le concept de l'hydravion, comme le démontra mal-

heureusement la perte du Latécoère 300 « La Croix du Sud », à bord duquel Mermoz et son équipage périrent en décembre 1936. Le survol de l'océan était essentiellement conditionné par la fiabilité des moteurs. L'avion multimoteur était la bonne solution. « L'Arc-en-Ciel » de Couzinet, trimoteur, montra, dès 1930, la voie à suivre.

Le monoplan multimoteur permit un développement notable de l'aviation de transport. Le Junkers Ju 52 trimoteur et surtout le Douglas DC3 Dakota, bimoteur, concurrença un très grand succès.

Les progrès accomplis par l'aviation entre 1919 et 1939 peuvent être chiffrés en termes de vitesse, qui passa de 200 à 700 km/h, ou d'altitude maximale, qui s'éleva de 6000 à 13 000 m. Ces progrès étaient dus :

- aux recherches en aérodynamique et, en particulier, aux essais en soufflerie. Les souffleries de grandes dimensions, telles que celle du NACA à Langley Field (Virginie, États-Unis) ou celle de Chalais-Meudon (devenue ultérieurement S1 Ch ONERA), permirent d'effectuer des essais sur des avions réels ou sur de grandes maquettes. Les essais en soufflerie permirent aussi de réaliser le capotage des moteurs à refroidissement par air. Ceci eut des conséquences très importantes pour la conception des moteurs en étoile de forte puissance ;

- à la construction des cellules, où le bois, le contreplaqué et la toile furent remplacés par des alliages d'aluminium. Les ailes métalliques, plus rigides que les ailes entoilées, n'exigeaient plus de haubans. C'est ainsi que les monoplans supplantèrent progressivement les biplans, d'où des cellules ayant une traînée aérodynamique plus faible ;

- aux innovations telles que les volets hypersustentateurs et le train rentrant, qui apparurent en 1934 et accrurent les performances au décollage, en croisière et à l'atterrissage ;

- à l'accroissement de la puissance des moteurs à pistons, à l'efficacité de leur refroidissement et de leur suralimentation ;

- à l'utilisation d'hélices à pas variable, d'abord de façon réglable, puis de façon automatique ;

- à l'emploi d'instruments de pilotage et de contrôle du vol rassemblés sur le tableau de bord, tels que la « planche de bord » Badin à suspension élastique. Ces instruments de bord permirent d'effectuer vols sans visibilité et vols de nuit dans de bonnes conditions de sécurité.

Quelle progression depuis les appareils issus de la première guerre mondiale ! Les routes aériennes étaient désormais parcourues par des avions bien supérieurs à ceux dont avaient disposé les pionniers de l'Aéropostale ou encore Charles Lindbergh, dont la traversée de l'Atlantique Nord en 1927 -6300 kilomètres en 33 heures- eut un impact retentissant sur l'opinion mondiale.

De 1919 à 1939, nombreux furent les pilotes, les navigateurs et les équipages, tels que Nungesser et Coli, Costes et Bellonte, qui forcèrent l'admiration des peuples et ouvrirent la voie du trafic aérien commercial. Les records de

## La grande soufflerie S1 Ch

Albert Caquot, qui était alors Directeur général technique au Ministère de l'Air, fit admettre, dès 1929, le principe de la construction, en France, d'une grande soufflerie à basse vitesse. Celle-ci, grâce à une veine de section elliptique (16 m x 8 m) devait permettre l'essai, en vraie grandeur, d'avions de 12 m d'envergure. À cette époque, il n'existait qu'une seule soufflerie de grandes dimensions, celle du NACA (National Advisory Committee of Aeronautics) à Langley (États-Unis), qui avait une veine circulaire de 6 m de diamètre.

Le projet retenu par Albert Caquot fut celui d'Antonin Lapresle. Une soufflerie pilote (3 m x 1,5 m) fut construite à l'Éta-

blissement d'Expériences Techniques d'Issy-lès-Moulineaux. La grande soufflerie, baptisée S1 Ch (Chalais-Meudon) fut construite de 1932 à 1934 et mise en route en 1935. (Aux États-Unis, le NACA réalisa de 1931 à 1933 une soufflerie également à veine libre, de 18,3 m x 9,1 m, vitesse 53 m/s, selon une conception très voisine).

Les six ventilateurs, d'une puissance totale de 4500 kw, engendraient une vitesse d'écoulement, dans la veine, de 40 m/s. Cette soufflerie, que l'ONERA reçut en dotation lors de sa création en 1946, permit l'essai de grandes maquettes montées sur balance ou semi-libres, mais aussi de petits avions réels avec pilote à bord. Les maquettes des avions militaires et civils réalisés en France de 1935 à 1940, puis de 1946 à 1960, y furent essayées.

Signalons, notamment, les essais, de 1937 à 1940, de maquettes motorisées, à l'échelle 1/4 ou 1/5, des grands appareils (avions ou hydravions) alors en projet. Les moteurs à pistons étaient remplacés par des moteurs électriques. Les mesures étaient très complètes : efforts et moments globaux, mais aussi tractions et couples des hélices, moments de charnière des gouvernes.

À partir de 1946, les formes nouvelles d'avions, subsoniques ou supersoniques, furent expérimentées en vue d'étudier leur comportement aux faibles vitesses. L'hypersustentation y fut étudiée, ainsi que le contrôle de la couche limite. Grâce à ses grandes dimensions de veine, S1 Ch permit l'étude, en 1969, d'une maquette de Concorde, à des angles d'incidence et de dérapage très supérieurs à ceux du vol normal.

## Les calculateurs rhéoélectriques

En 1932, le Professeur Joseph Pérès et son assistant Lucien Malavard appliquent à l'étude des écoulements aérodynamiques la méthode de « l'analogie électrique » dont Kirchhoff avait indiqué le principe dès 1845. La répartition des potentiels et des courants électriques dans une cuve remplie d'un liquide conducteur permet de simuler l'écoule-

ment aérodynamique autour d'un profil introduit à l'intérieur de la cuve.

C'était le point de départ de la filière du calcul analogique, étendue ensuite au calcul hybride à base de réseaux électriques plus commodes et plus puissants que les cuves rhéoélectriques.

Au départ, la cuve rhéoélectrique permet d'établir des tables numériques facilitant la résolution de l'équation

intégrale de Prandtl (qui détermine la répartition de la portance le long de l'envergure de l'aile). Cette méthode fut très employée avant 1939. Son emploi se prolongea au cours des années 50 et 60, notamment pour le calcul de la portance d'ailes avec spoilers et volets, ou de celle d'ailes à flèche variable (cf. *travaux de l'Institut de Mécanique des Fluides de Lille et de l'ONERA*).

## Conséquences des progrès de l'aérodynamique sur la conception et la réalisation des cellules d'avions

Pour tirer pleinement parti des progrès en aérodynamique, il fallait pouvoir réaliser des cellules ayant le minimum d'entretoises et de haubans. Ce n'est qu'en 1915 que Junkers conçut, en Allemagne, la première cellule monoplane cantilever avec les ailes directement fixées au fuselage sans aucun renfort extérieur. Mais cette cellule, réali-

sée avec revêtement travaillant en acier, était trop lourde.

Ce fut Adolphe Rohrbach qui, après dix années de recherches et d'expérimentations, mit au point le revêtement travaillant en duralumin. H. Wagner découvrit qu'une feuille de métal peut résister à une charge accrue (jusqu'à 85 %) lorsqu'elle a subi une certaine déformation.

À partir du milieu des années 1930, les monoplans à ailes métalliques à revêtement travaillant commencèrent à remplacer les avions en toile et contreplaqué avec leurs multiples entretoises et hau-

bans. Les nouvelles cellules d'avions présentaient tous les avantages :

- permanence et intégrité de la structure ;
- capacité de charge élevée ;
- résistance aérodynamique faible.

Ces avantages furent immédiatement mis à profit, à la fois pour les avions militaires (dont les performances furent nettement accrues tant en termes de vitesse maximale, que de capacités d'évolution et de manœuvre à haut facteur de charge) et pour les avions civils (vitesse de croisière, charge utile, rayon d'action).

## Exemples de recherches ayant conduit à des progrès majeurs de l'aviation, au cours de la période 1919-1939

### Le capotage des moteurs

Les moteurs à pistons (avec cylindres disposés en étoile) à refroidissement par air, qui virent leur emploi se généraliser à partir des années 20, présentaient l'inconvénient de créer une forte traînée aérodynamique. L'opinion n'était pas en faveur de l'installation d'un capot, car l'on craignait que cela soit préjudiciable au refroidissement des cylindres. Le capotage semblait réservé aux moteurs rotatifs qui étaient, par conception, bien refroidis. Il revint à H.L. Townsend, du National Physical Laboratory, en Grande-Bretagne, de montrer que l'installation d'un anneau autour d'un moteur en étoile réduisait la traînée aérodynamique, au lieu de l'augmenter. Mais c'est le centre de Langley du National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), aux États-Unis, qui conçut un dispositif de capotage caréné qui réduisit la traînée aérodynamique des moteurs en étoile d'une façon très efficace.

Le capotage NACA fut très vite adopté par les constructeurs et par les compagnies aériennes qui y trouvèrent avantage, tant pour les performances que pour les coûts d'exploitation. La recherche entreprise par le centre de Langley sur le capotage des moteurs d'avions s'effectua, de 1926 à 1936, en plusieurs étapes :

- de 1926 à 1928, essais en soufflerie d'un moteur réel équipé successivement de dix capots différents. À la grande surprise des chercheurs du NACA, ce fut le capot le plus englobant qui s'avéra le meilleur ;

- en 1928 et 1929, essais en vol de deux avions monomoteurs équipés de ce capot. La vitesse fut accrue de 118 à 137 milles par heure pour l'un des avions, et de 157 à 177 milles par heure pour l'autre. Grâce à ces succès, le NACA remporta son premier Collier Trophy, « pour la réalisation la plus importante pour l'aviation américaine en 1929 » ;

- de 1929 à 1932, les équipes du NACA consacrèrent leurs efforts à l'étude des capots pour les avions multimoteurs. Ils déterminèrent l'emplacement optimal des nacelles par rapport aux ailes. Ils montrèrent que grâce à

cette disposition, le capotage complet des moteurs en étoile pouvait apporter à la fois réduction de traînée, amélioration du refroidissement du moteur et accroissement du CZM (coefficient de portance maximum).

À partir de 1932, presque tous les avions de transport ou de bombardement américains à moteur en étoile furent équipés de capots NACA et leurs nacelles furent disposées par rapport aux ailes conformément aux données du NACA. Ce fut le cas, notamment, de l'avion de transport DC3 et du bombardier B17 « forteresse volante ».

- en 1933 et 1934, se posa le problème du refroidissement des moteurs ayant deux étoiles de cylindres. Pour poursuivre les études du capotage de ces moteurs, la méthode purement expérimentale utilisée jusqu'alors ne suffisait plus. Les aérodynamiciens du NACA durent faire appel au chef de la Physical Research Division, Theodore Theodorsen, qui estimait que :

« une discipline scientifique ne peut se développer expérimentalement que pendant une durée limitée. Aussi longtemps que les faits sont peu nombreux et évidents, la théorie n'est pas nécessaire. Mais ce n'est plus le cas lorsqu'il faut analyser les résultats d'expérimentations. La tendance à produire davantage de résultats d'essais, qui ne peuvent être interprétés par la théorie ou appliqués par l'industrie, doit être surmontée ».

Le NACA réalisa une maquette à échelle 1 d'un moteur dont un cylindre était chauffé électriquement. Des essais en soufflerie furent entrepris avec différentes nacelles. Des mesures de pression en différents points de l'écoulement externe et interne permirent d'expliquer le fonctionnement du capotage, qui constituait un radiateur (ou plus exactement un convecteur) plus efficace que la pleine exposition des cylindres dans l'air extérieur. Cette étude expérimentale détaillée, conduite en fonction de bases théoriques, apporta une contribution essentielle à la conception des avions militaires utilisés par les États-Unis et leurs alliés pendant la deuxième guerre mondiale.

La méthode utilisée par le NACA-Langley pour l'étude du capotage des moteurs en étoile est un bel exemple du dialogue entre la théorie et l'expérimentation, celle-ci étant réalisée en faisant varier systématiquement les paramètres et en utilisant des mesures précises en différents points de l'écoulement.

### Hypersustentation

Pour accroître la portance maximale de l'aile et retarder le décrochage à grande incidence, le jeune pilote allemand G.V. Lachmann proposa à Ludwig Prandtl d'essayer en soufflerie une aile à fentes dont chaque section pourrait fonctionner à une incidence normale. La portance maximale fut ainsi accrue de plus de 60 %.

De son côté, la société britannique Handley Page étudiait des ailes à volets multiples rétractables, qui permettaient d'obtenir une portance accrue dans un facteur supérieur à 300 %. La combinaison des ailes à fentes et des volets constitua une avancée considérable dont les applications concernèrent aussi bien les avions de combat (pour éviter le décrochage aux incidences élevées en manœuvre) que les avions de transport (amélioration des performances à l'approche et à l'atterrissage).

### L'hélice à pas variable

Conjointement avec les progrès des moteurs et de l'aérodynamique, l'introduction de l'hélice à pas variable permit d'accroître notablement les performances des avions de combat, en particulier la vitesse ascensionnelle. C'est ainsi que le Messerschmitt 109 disposa, en 1937, d'une hélice Hamilton-Standard bipale à pas variable, puis d'une hélice VDM tripale, à pas variable également. Cet avion de chasse, qui bénéficiait aussi d'un moteur puissant et d'une cellule de grande pureté aérodynamique, fut le premier avion de combat qui incorporait pleinement les avancées techniques de l'entre-deux-guerres.

vitesse, de distance, d'altitude étaient largement relatés par la presse internationale. L'aviation était devenue un élément essentiel du prestige d'une nation moderne. Cela était nettement perçu par l'opinion publique, comme par les gouvernements, préoccupés par la tension grandissante en Europe Occidentale où la menace d'une guerre se précisait de plus en plus, à partir de 1935.

Ce sont d'ailleurs les avions qui firent leur premier vol vers 1935 qui permirent ensuite aux alliés de rega-

ner la supériorité aérienne acquise par les Allemands en 1939-1940 : le Boeing B 17 (future « forteresse volante »), le Douglas DC3 (dont la version militaire Dakota devait être commandée à plus de 10900 exemplaires) aux États-Unis, le Hawker Hurricane et le Supermarine Spitfire au Royaume-Uni, ont effectué leurs premiers vols en 1935 et 1936. Les vitesses maximales du Hurricane et du Spitfire étaient respectivement de 520 et de 580 km/h.

## Les hydravions, de 1919 à 1939

La période 1919-1939 fut une période faste pour les hydravions. Par rapport aux avions, ils présentaient alors l'avantage de pouvoir être réalisés en des dimensions plus importantes -d'où la possibilité d'avoir une charge utile supérieure et une capacité en carburant plus grande- en s'affranchissant des trains d'atterrissage. Ceux-ci étaient alors un des points faibles des avions. Après le grand précurseur que fut Henri Fabre, l'Allemand Claudius Dornier doit être considéré comme un des principaux pionniers de l'hydraviation. Au sein de la société des dirigeables Zeppelin, il envisagea de réaliser un hydravion à fuselage monocoque en duralumin, avec deux moteurs placés en tandem au-dessus de la voilure monoplane « parasol ». Le Dornier Wal (envergure 22,5 m, longueur 17 m, masse à vide 3,1 t) pouvait emporter 4000 litres de carburant. Ce remarquable hydravion fut à l'origine d'une lignée d'appareils d'exploration (Roald Amundsen vers le pôle Nord en 1925) de raids, de records, de transport. La Lufthansa en utilisa pour le courrier postal vers l'Amérique du Sud, en compétition avec la société française Aérospostale. Les hydravions Wal de la Lufthansa étaient ravitaillés en carburant, dans l'Atlantique Sud, par un navire allemand transformé en base flottante. Le Westfalen. Claudius Dornier réalisa ensuite d'autres hydravions qui eurent moins de succès. Ce fut notamment le cas du DoX propulsé par douze moteurs montés en 6 tandems au-dessus d'une voilure de 48 m d'envergure. Cet appareil de 40 m de long et 10 m de haut avait une masse totale en charge de 56 t, ce qui faisait de lui le plus gros

aérodyne : il pouvait emporter 66 passagers, avec un équipage de 14 membres. Cependant, ce gigantesque appareil se heurta à de nombreuses difficultés et ne fut pas fabriqué en série.

L'hydravion connut son apogée en 1939 avec la première traversée commerciale de l'Atlantique Nord le 17 juin 1939, par le Yankee Clipper (Boeing 314) qui vola, sans escale, de New-York à Marseille. Ce quadrimoteur de 40 tonnes pouvait voler à 250 km/h à l'altitude de 3400 m. De 46 m d'envergure, il pouvait transporter 40 passagers et 2,25 tonnes de fret. La PanAm avait acquis 6 de ces hydravions pour ses lignes vers les îles Hawaii, les Bermudes, le Brésil et l'Afrique. L'exploitation au-dessus de l'Atlantique Nord fut interrompue par la deuxième guerre mondiale.

De son côté, la compagnie britannique Imperial Airways avait commandé 28 exemplaires d'un hydravion Short -conçu en 1936- qui pouvait transporter 24 passagers et 1,36 tonnes de fret.

Igor Sikorsky, dont l'entreprise créée aux États-Unis en 1925 était devenue, en 1929, une filiale de United Aircraft, réalisa en 1931 un hydravion S 40, à coque surmontée d'une aile parasol reliée par une poutre à l'empennage arrière. Entre la coque et l'aile, 4 moteurs Pratt et Whitney Hornet de 575 CV assuraient la propulsion du S 40. Celui-ci, avec son envergure de 34 m et sa longueur de 22,1 m, était alors le plus grand hydravion construit aux États-Unis. Il pouvait emporter 38 passagers et 6 membres d'équipage sur 800 à 1000 km. Trois hydravions S 40 desservirent le Mexique, la Jamaïque et Haïti, de 1931 jusqu'au début des années quarante. Sikorsky produisit également le S 42 en 1934. Avec 4 moteurs Pratt et Whitney de 800 CV, il pouvait transporter, à la vitesse de 270 km/h, 32 passagers.

Cet appareil avait une coque à double redan, les volets de bord de fuite étaient à commande hydraulique. Dix hydravions S 42 furent produits pour la PanAm qui les exploita notamment sur la ligne Manille-Hong-Kong, en prolongement de la ligne San Francisco-Manille qui était desservie par un autre type d'hydravion construit par la société américaine Martin, le M 130.

Sikorsky réalisa ensuite le S 44, hydravion militaire quadrimoteur dont la version civile, le VS-44 A Excalibur, pouvait franchir 6000 km, à la vitesse de croisière de 250 km/h.

En France, les deux principaux constructeurs furent Bréguet et Latécoère :

- Bréguet réalisa des hydravions militaires ainsi que le Bréguet 521 Saïgon (trimoteur de 15 tonnes qui entra en service en 1935 entre Marseille et Tunis, via Ajaccio) ;

- Latécoère produisit le Laté 300, quadrimoteur, pour le service aérospostal entre Dakar et Natal. C'est à bord du Laté 300 « Croix-du-Sud » que Jean Mermoz et son équipage périrent dans l'Atlantique Sud en 1936. Cet hydravion fut suivi par le Latécoère 301 (que la compagnie Air France exploita sur l'Atlantique Sud), par le Laté 521, en 1935, et par le Laté 522 qui effectua des vols sur l'Atlantique Nord en 1939. Le « chant du cygne » de cette firme prestigieuse fut le Laté 631, hexamoteur à coque parfaitement profilée et à empennage bidérive. Conçu en 1937 pour transporter 46 passagers au-dessus de l'Atlantique Sud, il fut réalisé en plusieurs exemplaires, dont trois furent livrés à Air France à partir de 1947. Mais les progrès accomplis par les avions au cours de la deuxième guerre mondiale étaient tels que les grands hydravions de transport devinrent alors périmés.