L'hélice d'avion : développement et évolution, 1910-1930

The Aircraft Propeller: Development and Evolution, 1910-1930

Geoffroy Levy

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/ephaistos/8037>

DOI : 10.4000/ephaistos.8037

ISSN : 2552-0741

Éditeur

IHMC - Institut d'histoire moderne et contemporaine (UMR 8066)

Référence électronique

Geoffroy Levy, « L'hélice d'avion : développement et évolution, 1910-1930 », *e-Phaïstos* [En ligne], VIII-2 | 2020, mis en ligne le 27 octobre 2020, consulté le 16 septembre 2021. URL : <http://journals.openedition.org/ephaistos/8037> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ephaistos.8037>

Ce document a été généré automatiquement le 16 septembre 2021.

Tous droits réservés

L'hélice d'avion : développement et évolution, 1910-1930

The Aircraft Propeller: Development and Evolution, 1910-1930

Geoffroy Levy

- 1 L'hélice est partout. Elle a précédé l'aviation ; elle lui est intimement liée. Élément indispensable d'un avion au même titre que le moteur, l'hélice reste cependant au second plan. Peu de travaux universitaires, en France ou à l'étranger, ont étudié sa naissance, tandis que les ouvrages sur les différents types d'avion ou de moteurs abondent. Quelques ouvrages abordent ponctuellement le sujet. Georges Lehr lui consacre un court chapitre (Lehr 1949) dans le volume de la collection « Que-sais-je ? » qu'il a consacré à la propulsion des avions. *L'hélice, son histoire, ses techniques* de Jean Grampaix est l'un des rares exemples de synthèse, plutôt succincte d'ailleurs, rédigée sur le sujet (Grampaix 1966). Le livre co-écrit par George A. Rozen et Charles A. Anezis, *Thrusting Forward: a History of the Propeller* (Rosen, Anezis 1900/1984), peut être considéré comme une référence. Rénald Fortier enfin, conservateur au *Canada Aviation Museum*, a publié un article présentant à l'histoire générale de l'hélice dans son pays (Fortier 2008).
- 2 D'autres ouvrages évoquent la question de l'hélice à partir d'une approche moins directe, et constituent des sources et des références appréciables. Ainsi Martin Peter et Jean Pierre Cuisinier, dans *Eiffel, la bataille du vent* (Peter, Cuisinier 2007), Claudine Fontanon dans *La naissance de l'aérodynamique expérimentale et ses applications à l'aviation : une nouvelle conception sociotechnique* (Fontanon 1998) insistent l'un et l'autre sur une partie des développements de l'hélice à partir des premiers travaux de recherche en aérodynamique réalisés notamment par Gustave Eiffel, dans ses souffleries. Quant aux ouvrages d'Emmanuel Chadeau, *Le rêve et la puissance, l'avion et son siècle* (Chadeau 1996) et *L'industrie aéronautique en France. 1900-1950* (Chadeau 1997) demeurent des bases de travail particulièrement utiles pour replacer les aspects techniques dans un contexte aéronautique plus large. Les ouvrages biographiques peuvent avoir leur importance pour suivre l'action et la pensée des personnages qui ont contribué au développement de l'objet et de sa technologie. L'histoire de l'invention et du développement de l'hélice

quoique ce soit un champ d'études fécond et prometteur, reste encore un chantier à ouvrir.

- 3 Dans cette étude, nous nous proposons de retracer l'évolution de l'hélice aérienne de ses débuts jusqu'à la maturité de l'hélice à pas fixe dans les années 1930, indépendamment des types de machines volantes. Les types d'hélices en effet, et leur évolution ne sont pas caractérisés par un type d'engin mais par un ensemble complexe de critères physiques et techniques que cet article propose de déterminer. Un intérêt particulier a été porté aux matériaux et à la production de ces hélices. Nous insisterons plus particulièrement sur le processus d'innovation qui a abouti à l'hélice des années 1930.

Hélice aérienne : naissance d'un objet technique

- 4 L'hélice aérienne naît de la volonté des hommes de se diriger dans les airs. Depuis les frères Montgolfier, le vol humain était acquis, mais il restait à y ajouter la possibilité de naviguer. Les recherches furent menées à la fois par des civils et des militaires. De riches notables, comme Ernest Archdeacon ou Alberto Santos Dumont, des scientifiques fortunés comme Tissandier ont activement contribué au développement de la propulsion des machines volantes par leurs essais ou leur soutien financier. Les crédits alloués par le Ministère de la Guerre et le développement du site de recherche de Chalais Meudon ont aussi permis à des chercheurs comme Charles Renard ou Ferdinand Ferber de mener des campagnes d'essais de grande envergure. La production d'hélices est restée cependant, durant cette période, au stade prototypal (fig.1 et 2)

Fig. 1. Hélice en structure entoillée du dirigeable électrique des frères Tissandier en 1883

Avant 1900, la faible puissance des motorisations thermiques ou électriques ainsi que la faible vitesse des ballons et dirigeables sur lesquels elles étaient montées, ont amené à l'utilisation de structures légères entoillées, inspirées des pagaies, faisant office d'hélices. Les vitesses de rotation se comptaient alors plus en centaines de tours par minute qu'en milliers quelques années plus tard.

Gaston Gradis, *Les ballons dirigeables*, Paris, Hermieux, 1923

Fig. 2. Hélice de moto-ballon en structure métallique

Fig. 2. — La « Méditerranée II » et son ballon dans le hangar de l'Épave.

L'évolution des motorisations a engendré une augmentation rapide des vitesses de rotation des hélices. Les efforts subis ont alors largement dépassé les capacités des hélices en structures entoilées. Bien que la conception restât la même, le bois et la toile ont rapidement laissé la place à la feuille métallique comme sur le moto ballon « Méditerranéen II ».

CNUM 0173.T.169.966.1417 - La Nature, 1904

- 5 L'année 1910 apparaît comme un moment-charnière dans le développement de l'hélice. La naissance d'un marché des avions engendra par ricochet un marché des accessoires. La forte demande qui apparaît à cette époque, avec le développement des moteurs à combustion interne et l'amélioration des performances des hélices grâce aux études aérodynamiques, fit entrer l'hélice aérienne dans une nouvelle phase de production. Le concept passe alors de la pagaie (qui en tournant s'appuie sur l'air pour propulser un engin) au profil d'aile complexe (qui en tournant crée une portance capable de propulser la machine volante). Ce changement tire son origine de deux événements. En premier lieu, la lente évolution des moteurs depuis l'apparition de la combustion externe, communément appelée machine à vapeur, pour remplacer la force musculaire, a fourni la puissance et la vitesse nécessaires aux hélices pour qu'elles puissent devenir efficaces. Cette vitesse a mis en évidence les imperfections des propulseurs alors utilisés. En second lieu, des ingénieurs comme Gustave Eiffel œuvrèrent à développer les connaissances sur les écoulements de fluides gazeux comme l'air (Fontanon 1998). L'aérodynamique en tant que science était née et avec elle la possibilité de comprendre le fluide et de créer un objet dont la forme rendrait possible l'utilisation efficace de ce fluide. Les résultats des expériences menées par Eiffel ont abouti à la création de l'hélice à profil complexe telle qu'elle est encore utilisée.

Du métal au bois

- 6 Née bien avant les hélices en bois, l'hélice métallique fut rapidement abandonnée car elle ne présentait pas les capacités de résistance requises par les vitesses de rotation élevées des moteurs à combustion interne. Les déformations observées sur les hélices métalliques montées sur les premiers moteurs à explosion ne pouvaient être tolérées pour des raisons de sécurité et de performance (fig.3).

Fig 3. Monoplan Levavasseur-Antoinette équipé d'une hélice métallique Voisin datant de 1908

Avant 1910, la puissance des moteurs et les connaissances aérodynamiques ont rendu les hélices métalliques en tôle très populaires parmi les constructeurs d'aéronefs. Héritière de la pagaie aérienne, l'hélice métallique était le plus souvent constituée de feuilles d'aluminium rivetées à un longeron central. La faible résistance de l'ensemble et les mauvaises performances aérodynamique ont ouvert la voie au développement de l'hélice en bois.

Collections du Musée de l'air et de l'Espace du Bourget - photographie de l'auteur.

- 7 Les profils complexes expérimentés en laboratoire nécessitaient, pour être réalisés, un matériau à la fois léger et présentant de très bonnes propriétés mécaniques. Le bois apparut à cette époque comme le matériau le plus adapté dans la mesure où il se travaille facilement. À la fois léger et résistant, il était disponible à un prix acceptable et en abondance. « La densité du bois étant 11 à 12 fois plus petite que celle de l'acier, on peut donner à une hélice une grande épaisseur sans que le poids dépasse ou même atteigne le poids de la même hélice en acier. (...), explique l'ingénieur Lucien Chauvière, l'inventeur de l'hélice en lamellé-collé. « Inutile d'ajouter, observait-il en complément, que l'acier est incomparablement plus difficile à travailler que le bois, plus plastique et qui se prête à des procédés de travail très intéressants dans la construction des hélices » (Guéret 1911 : 208).

- 8 Mais l'avantage se transformait en inconvénient lorsque la pale rencontrait des objets ou particules au voisinage du sol, du fait que le bois résiste mal aux impacts et offre une tendance à l'éclatement. Il a donc fallu apprendre à protéger le bord d'attaque des pales pour prolonger la durée d'utilisation des hélices en bois et permettre l'adaptation de ces dernières à des vitesses de rotation toujours plus grandes. Au départ, ce fut l'entoilage, utilisé pour donner de la rigidité aux hélices, qui fit office de protection *a minima*. Ainsi l'hélicier Ratmanoff, en 1911, fabriquait deux types d'hélices : les hélices « normales », entoilées, de couleur rouge et les hélices « françaises », non entoilées colorées en vert et destinées aux écoles de pilotage « où l'on casse du bois » (Guéret 1911 : 230).

Le blindage des hélices

- 9 C'est en 1915-1916 que la pratique du « blindage » c'est-à-dire l'ajout d'un matériau différent sur le bord d'attaque d'une pale pour la protéger, est apparue nécessaire, sans que cela fasse disparaître les hélices sans blindage. En effet, il a toujours existé un besoin en hélices non blindées, quand le potentiel horaire n'était pas une caractéristique recherchée. La toile marouflée a été le premier type de blindage utilisé à partir de 1915. Dans les collections du Musée de l'air et de l'espace se trouve un exemplaire d'hélice dont les pales ont été protégées par un enduit coloré. Mais, au début des années 20, la toile n'est déjà plus envisagée. La pose d'une faible épaisseur de métal s'était imposée comme la solution la plus adaptée pour préserver la solidité de l'assemblage de bois et le profil des pales. En 1928, le blindage métallique était obligatoire pour tous les appareils terrestres et marins, à l'exception des dirigeables.
- 10 Le premier blindage métallique semble avoir été le laiton. Les blindages en acier et en alliages légers apparurent dans les années 1920. Les *Prescriptions relatives au blindage des hélices*, publiés en 1922 et 1928 par le Ministère des Travaux publics, préconisent trois types de blindages : le type « ordinaire », utilisé pour la plupart des appareils, consistait à placer une feuille de métal seulement sur le bord d'attaque de chaque pale ; le type « à sabot », utilisé pour les appareils marins dont les hélices étaient particulièrement exposées à l'eau de mer, comportaient en plus, une partie recouvrant l'extrémité de la pale ; le troisième type dit « Sahara » était destiné au service dans les régions « sablonneuses » (Archives musée de l'air 1922, 1928). Les matières utilisées étaient de deux sortes : les alliages légers pour les appareils terrestres et le cuivre ou les alliages à base de cuivre (laiton) pour les appareils marins. Les dimensions du blindage étaient variables dans la version de 1922. Les blindages courts (2/5^e du rayon) se distinguaient des blindages longs (3/5^e du rayon). En 1928, les dimensions des blindages étaient ramenées à un tiers du diamètre de l'hélice, pour une épaisseur ne dépassant pas le millimètre. En 1922, l'usage des clous, des rivets et des vis était autorisé à condition qu'ils soient du même métal et les vis étaient autorisés pour la fixation du blindage. Une peau ou un enduit élastique devaient être placés entre le métal et le bois. En 1928, les clous ont disparu et la fixation par vis est décrite comme peu résistante. La séparation entre le blindage et la pale devait être recouverte avec le produit de finition de l'hélice afin d'éviter les infiltrations d'eau.
- 11 La pose d'un blindage sur une hélice en bois améliore son potentiel et sa résistance, mais apporte en contrepartie une hétérogénéité de matériaux. Or, une hélice se déforme lorsqu'elle tourne. L'utilisation de deux matériaux dans la construction de l'hélice implique de prendre en compte les différences de résistance aux forces subies

par l'objet, chaque matériau supportant les contraintes d'une manière particulière. Aussi, certains modèles présentèrent des fentes transversales se prolongeant jusqu'au voisinage immédiat du bord d'attaque, de manière à permettre à la feuille de métal de suivre les déformations du bois sans être altérée. La résistance des matériaux utilisés est un point essentiel de l'évolution de l'hélice.

Des hélices non réparables ?

- 12 Les hélices en bois étaient réputées non réparables. L'*Instruction relative à la réparation des hélices rigides en bois* publiée en 1923 par le Service technique Aéronautique montre que quelques réparations légères pouvaient tout de même être envisagées : retouches au vernis, pose de pièces, remise au pas, changement des lames de rives, changement du blindage et rééquilibrage (Archives musée de l'air 1923). Dans tous les cas, les méthodes et les techniques utilisées devaient être identiques à celles de la production initiale. Les retouches partielles de laque étaient suivies de l'application d'une couche de laque noire pour montrer qu'une intervention avait été effectuée. Les pièces à poser devaient être collées dans le sens du fil avec des surfaces taillées en sifflet et ruginées, en utilisant la même essence de bois. Pour la réparation du bord de fuite ou bord d'attaque, on collait une pièce sur chaque face (intrados ou extrados). La remise au pas, opération lourde, n'était effectuée que de manière exceptionnelle. Le changement de blindage et le rééquilibrage étaient plus courants. Pour rééquilibrer une hélice, il était interdit d'introduire dans les pales des objets comme des clous ou des rivets. Enfin, le délaminage ne pouvait être réparé.

Un mot sur les calages

- 13 L'étude de l'évolution chronologique des calages¹ ne met pas en évidence de limites particulières dans la répartition chronologique des différents types d'hélices. L'hélice à calage fixe, la première créée, est utilisée durant toute la période étudiée. Le calage réglable au sol, tout comme la variation de pas en vol apparaissent dès 1900 et restent présents jusqu'à la fin des années 1930. Il est important de rappeler l'absence d'hélices à calage réglable et d'hélices à pas variable durant la Première Guerre mondiale. La normalisation de l'information nécessaire pour la base de données gomme les différences qui existent entre les hélices comportant le même système de calage. Les premières hélices à pas variables étaient destinées à des ballons dirigeables. C'étaient des hélices réversibles facilitant les manœuvres et non de véritables hélices à pas variable telles qu'elles furent conçues à la fin des années 1930. Les premières hélices à calage réglable furent créées pour tenter de faciliter l'adaptation d'une hélice à plusieurs moteurs et à différentes conditions de vol, avec des résultats moyens dans la majorité des cas. Le critère de la variation de pas ou de calage devint important après la Première Guerre mondiale, lorsque les hélices à pas fixe montrèrent leurs limites.

Hélicier : la naissance d'un métier et son évolution

- 14 L'hélice en bois coïncide donc avec le développement industriel de l'aviation. Mais son assemblage complexe nécessitait un savoir-faire spécifique pour obtenir la résistance nécessaire à l'utilisation en vol. Sa technicité grandissante eut pour effet l'invention d'un métier spécialisé avec ses compétences propres, le métier d'hélicier.

- 15 La production de l'hélice en bois relevait du domaine artisanal. Même en cas de production à grande échelle, elle ne pouvait s'effectuer dans un cadre industriel ayant fait l'objet de procédures de rationalisation. La construction d'une hélice fait appel en effet à un savoir-faire particulier dans le sens où l'ensemble des sens sont mobilisés (fig. 4, 5 et 6).

Fig. 4. Collage des lames de bois lors de la fabrication d'une hélice dans les ateliers Levasseur.

Cette étape de mise sous presse des lames encollées permettait de produire une ébauche brute contenant la forme définitive de l'hélice en facilitant l'approvisionnement de matière première et en garantissant une meilleure homogénéité du bois dans l'ensemble du montage en comparaison avec une hélice monobloc.

Musée de l'air et de l'Espace du Bourget - MA15360 – carton : hélice France 2

Fig. 5. Rabotage et vérification de l'incidence lors de la fabrication d'une hélice dans les ateliers Levasseur

À partir de l'ébauche en lamellé collé, le profil évolutif des pales était sculpté puis raboté pour donner la forme définitive à l'hélice. Une vérification minutieuse des angles d'incidence du profil permettait de garantir la conformité et les performances du produit.

Musée de l'air et de l'Espace du Bourget - carton : hélice France 2

Fig. 6. Ponçage et finition des hélices dans les ateliers Levasseur

Cette étape de finition consistait à lisser le profil pour s'approcher au mieux du profil théorique des pales. Elle permettait aussi d'appliquer la couche de finition sous la forme d'un vernis, d'une peinture ou d'un entoilage.

Musée de l'air et de l'Espace du Bourget carton : hélice France

- 16 Elles ne sont pas le fruit d'actions identiques répétées. La forme définitive d'une hélice en lamellé-collé est obtenue par retrait de matière à l'aide d'une gouge. L'ouvrier, dans l'ensemble des étapes nécessaires à la réalisation d'une hélice, ajuste son geste en fonction de son propre ressenti. Le vernissage au tampon fait aussi appel à ce ressenti. Le fini du vernis dépend des informations données par le produit que seul l'ouvrier formé peut lire et interpréter. L'évaporation du solvant conditionne la résistance qu'offre l'étalement de la gomme. Même les mesures de contrôle et les opérations d'équilibrage nécessitent un savoir-faire particulier, conditionné par l'interprétation que fait l'ouvrier des informations données par la matière (fig.7).

Fig.7. Équilibrage d'une hélice en bois

Après que l'hélice a été formée et poncée, elle était placée sur un axe à faible frottements permettant d'équilibrer la répartition des masses entre chaque pale. L'opérateur vérifiait alors que, quelle que soit la position de l'hélice, celle-ci ne tournait pas autour de son axe du fait d'une partie plus lourde. De la matière était enlevée avec parcimonie pour rééquilibrer l'ensemble au gramme près et aligner le centre de gravité à l'axe de rotation.

Musée de l'air et de l'Espace du Bourget – carton : hélice France 1

- 17 L'hélice en bois se fabrique dans une totale interaction entre l'ouvrier et la matière, et mobilise des savoir-faire utilisés dans les autres métiers du bois. Aux matériaux d'encollages près, qu'il fallut maîtriser, les techniques utilisées étaient identiques aux techniques mises en œuvre par les ébénistes et les fabricants de meubles.

L'invention des hélices en lamellé-collé (années 1910)

L'hélice « Intégrale »

- 18 C'est Lucien Chauvière, ingénieur Arts et Métiers, qui mit au point la technique du lamellé-collé appliqué aux hélices². Baptisée « l'Intégrale », l'hélice fut montée pour la première fois sur un aéroplane en 1907. Louis Blériot en équipa le Monoplan Blériot XI avec lequel il traversa la Manche en juin 1909 (Armengaud 1980, Kinney 2017). La même année, Henri Farman adaptait l'Intégrale au moteur Gnôme (L'Aéronaute 1909 :9). Ce fut la clé du succès. Connue pour sa solidité et ses performances, l'Intégrale fut retenue par les plus célèbres aviateurs de l'époque.
- 19 Les premières hélices « intégrales » étaient construites en un seul bloc. L'épaisseur du bois employé comportait souvent des défauts cachés, susceptibles de compromettre la solidité de l'hélice. Les bois présentaient toujours des différences de densité, pouvant aller jusqu'à 20% d'une extrémité à l'autre d'une pale. Ces différences rendaient très difficile l'équilibrage de l'hélice. Chauvière eut alors l'idée de juxtaposer et de coller

une série de lames disposées en éventail, en prenant soin d'alterner le sens des lames. Ce procédé facilita l'équilibrage de l'hélice et permit un examen rigoureux du bois. La production se diversifia en divers types adaptés à chaque moteur, avec un choix de diamètres et de pas, qui furent vendus à des milliers d'exemplaires en Europe et aux États-Unis. La société Chauvière, qui produisait également des hélices destinées aux hydroglisseurs, écoula plus de 8 000 hélices entre 1909 et 1914. Durant la Première Guerre mondiale, sa production couvrait le quart des besoins français (Hartmann 2009).

- 20 Pourtant la concurrence s'affirma rapidement (Guéret 1911, Hartmann 2009). Dès que le concept du lamellé-collé eut prouvé sa fiabilité, de nombreux constructeurs d'hélices lui avaient emboité le pas : Ratmanoff (hélice « Normale »), Régy, Lioré, Gallia, Ratier (hélice « Rapid »), aéro-propulseur (hélices AP). L'offre était cependant inférieure à la demande, du fait des nombreuses casses dans les écoles de pilotage. La guerre accrut encore la demande : entre septembre 1914 et novembre 1918, les manufactures parisiennes produisirent pas moins de 250 000 hélices (Hartmann 2009).

Le recours aux menuisiers et ébénistes : Dassault et l'hélice « Éclair »

- 21 Les constructeurs eurent recours à la sous-traitance, et les menuisiers et ébénistes parisiens se reconvertirent dans la production d'hélices. La fabrication de l'hélice Éclair en est un exemple. En 1915, Marcel Bloch, futur Marcel Dassault (1892-1986), affecté à la réception des essais en vol des Farman à Buc, entreprend d'améliorer l'hélice du Caudron G3. En collaboration avec Henry Potez (1891-1981) qui avait travaillé sur les plans du G3, il dessina un prototype qu'il put réaliser chez son beau-père, Marcel Hirsch Minckès, fabricant de meubles, rue du faubourg Saint-Antoine à Paris.
- 22 L'hélice fut présentée au centre d'essais du Service technique de l'aéronautique à Villacoublay, où elle séduisit par ses performances. Vendue à bas prix, 150 francs, commandée à 50 exemplaires en novembre 1915, elle équipa les Caudron G3 destinés à l'instruction. En 1916, « les ateliers de M. Hirsch ne suffisaient plus et tous les fabricants de meubles du faubourg Saint-Antoine s'étaient mis à construire des hélices 'Éclair' », raconte Marcel Dassault dans son autobiographie (Dassault 1970). Hirsch, Minckès, associé à Edeline, montèrent la Société des Hélices Éclair. Potez et Bloch furent nommés directeurs techniques. L'entreprise assura sa place en remportant le marché de fourniture des hélices pour le chasseur Nieuport 12. Puis, les différents types d'hélices Éclair équipèrent une grande partie des avions destinés à l'Armée : Caudron G4, Farman 40, Sopwith, Letord, Spad VII. En 1917, la Société des Hélices Éclair était devenue le quatrième producteur d'hélices, après Chauvière, Régy et Ratmanoff (Hartmann 2009).

Le retour des hélices métalliques (années 1920)

- 23 Le tryptique « moteur à combustion interne / hélice en bois / recherches en aérodynamique » fut essentiel pour l'essor de l'aviation. Le développement de l'aviation de transport de fret et de passagers au lendemain de la guerre, rendu possible par les progrès techniques accumulés pendant les hostilités, permirent le maintien du marché aéronautique. Mais les nouveaux besoins engendrés par l'évolution des moteurs et des vols obligèrent à de nombreux changements dans la conception de l'hélice aérienne. L'efficacité ne pouvait s'obtenir que par la complexification des systèmes et de nouvelles contraintes mécaniques. L'hélice en bois perdit en intérêt sans disparaître

toutefois, car l'aviation légère avait besoin d'hélices à pas fixe, à la fois légères et robustes. Les héliciers se tournèrent à nouveau vers le métal.

- 24 Plusieurs solutions pour fabriquer des hélices en métal virent le jour, notamment grâce à Pierre Levasseur³ : des hélices légères formées de plaques gauchies mais dont la résistance restait inférieure à celle des hélices en bois. Les vibrations engendrées les rendaient inutilisables. Levasseur s'intéressa alors à l'invention de l'Américain Reed, qui en 1920 avait déposé un brevet pour une « *Aeronautical Propeller* » en duralumin (Kinney 2007 :149) (fig.8). La première hélice en alliage léger produite en série en France, l'hélice Levasseur-Reed à pas variable (en vol), fut construite pour la première fois en 1921.

Fig.8 Brevet US1518410 de 1922 déposé par Sylvanus A. Reed pour un procédé de fabrication d'une hélice métallique en tôle formée

L'aspect innovant du procédé Reed réside dans la mise en forme par matriçage d'une tôle d'aluminium permettant d'obtenir une hélice légère de manière rapide et avec peu de perte de matière à la fabrication. La force centrifuge aidait cette hélice à gagner en résistance lors de l'utilisation.

US Patent 1518410, Reed, 1922

L'hélice en Duralumin Levasseur-Reed

- 25 Le principe de l'hélice métallique Levasseur Reed était basé sur l'utilisation de pales minces réduisant la traînée. L'hélice était composée d'une seule tôle en Duralumin qui avait été découpée, cintrée et trempée. La simplicité du modèle permettait un gain certain du temps de fabrication et un contrôle plus sûr. La rigidité des pales n'était pas obtenue grâce à leur épaisseur, mais grâce à la force centrifuge. Cette force, auparavant ennemie de l'hélice, était devenue une alliée. Les ébauches forgées étaient fabriquées par Schneider au Creusot puis travaillées dans les ateliers Levasseur (Hartmann 2009). La chaîne opératoire différait évidemment de celle de la production des hélices en bois.

La plaque métallique était grossièrement découpée pour lui donner un contour convenable. Elle était ensuite tordue à froid, puis rabotée pour obtenir des pales s'affinant du moyeu au saumon. L'hélice est percée et vernie pour protéger le métal.

- 26 Les machines-outils spéciales nécessaires à la fabrication des hélices Reed étaient coûteuses. Mais au contraire des hélices en bois, peu ou pas réparables, les hélices métalliques du type Reed pouvaient être redressées et réparées à l'usine. Une consigne était marquée de part et d'autre du moyeu : « Ne redressez jamais au marteau ou par tout autre procédé une hélice tordue. Ne chauffez jamais une pale, même localement et avec une lampe à souder. Renvoyez-la à l'usine pour réparations. » La simplicité du concept ne signifiait pas une maintenance et des réparation aisées. Le matériau devait être parfaitement compris pour pouvoir être travaillé, en effet. Une réparation hasardeuse pouvait avoir des conséquences désastreuses au regard des forces qui s'appliquent sur les hélices.

De l'hélicier au motoriste

- 27 Les techniques de production évoluant avec les matériaux, d'autres industriels s'intéressèrent à la fabrication des hélices, au rang desquelles Bréguet (Paris XVI^e), qui disposait des outils nécessaires au travail de l'aluminium et qui fabriquait aussi des roues et des freins ; et des motoristes comme Hispano-Suiza (Bois-Colombes) et Gnome-et-Rhône (Paris XIV^e). C'est en 1927, alors que l'utilisation des alliages à base d'aluminium était devenue une pratique courante que Gnome-et-Rhône débuta la fabrication des hélices. Les techniques et le savoir-faire utilisés pour produire ces hélices étaient proches de ceux mis en œuvre pour la production des réducteurs et des compresseurs.
- 28 Avec le développement de l'aviation commerciale dans les années 1930, fabriquer des hélices devint une nécessité pour les motoristes. Avec la complexité croissante des moteurs, l'adaptation des éléments complémentaires devenait de plus en plus difficile. Les motoristes furent requis, à la fois par l'État et par les aviateurs privés, de fournir des « groupes motopropulseurs » complets et cohérents comportant le moteur, le bâti, les capotages aérodynamiques, le circuit d'échappement, le circuit de refroidissement, de distribution, les éléments annexes (démarrateur, dynamos, magnétos, pompes, filtres, etc.), et donc, le porte-hélice et l'hélice (Hartmann 2009).

L'industrialisation du savoir-faire

- 29 Quoiqu'il en soit, le passage des hélices en bois aux hélices métalliques dans les années 1920 eut pour effet des changements profonds dans le savoir-faire. Des industriels aux spécialités différentes, des motoristes notamment, se mirent à produire des hélices. Le choix des alliages légers coïncida avec l'introduction de machines-outils. Les brevets Reed utilisés par Levasseur induisirent l'utilisation de machines à gauchir les pales d'hélices. Les pales n'étaient plus directement formées par l'ouvrier, désormais mis au service de la machine. Le manque d'éléments concernant les détails de ces machines ne permet pas de conclure sur un changement de capteurs, mais il ne serait pas étonnant que le « coup d'œil » de l'ouvrier ait été peu à peu remplacé par un appareil de mesure et des réglages gradués. Les opérations d'affinage des pales et de polissage restèrent dans un premier temps le fait de l'ouvrier et de son outil.

- 30 L'usinage dans la masse acheva la transition de l'artisan au technicien. La construction des hélices bascula définitivement d'un savoir-faire vers un savoir technique. Des nombreuses entreprises d'hélices qui existaient à la veille de la Première Guerre mondiale, seuls quatre subsistaient en 1930, indique Gérard Hartmann (Hartmann 2009). Chauvière (Paris XI^e) produisait des hélices en magnésium et en bois ; Levasseur (Paris XV^e), des hélices en Duralumin ; Ratier (Montrouge) et Régy (Paris XV^e) produisaient des hélices en bois et acier. Dans les années 1940, la production des hélices avait rejoint le domaine de la production de masse, à la chaîne, sur répétition et fractionnement des étapes de production⁴.

Les débuts de l'hélice en matériaux composites (années 1930)

- 31 A côté des hélices en alliages métalliques légers, une autre voie fut explorée dans les années 1930, celle des matériaux composites. D'une certaine manière, cette lignée technique prend son origine dans les hélices en lamellé-collé. Un matériau composite, ou tout simplement un composite est en effet un matériau formé de plusieurs composants élémentaires dont l'association confère à l'ensemble des propriétés qu'aucun des composants pris séparément ne possède (Larousse). Or, l'assemblage de lames de bois de dimensions réduites pour former une pièce homogène de dimension plus importante améliore considérablement les performances et la résistance de l'essence de bois utilisée. Un brevet de 1916 intitulé « perfectionnement apporté aux hélices » propose un assemblage mixte de pièces de toile et de lame de bois composant normalement les hélices est mentionnée, et va jusqu'à imaginer une mise en forme de l'assemblage sous presse par l'utilisation de matrices (Archives du musée de l'air 1916). L'idée de matière composite moulée était donc présente dès ce moment.
- 32 La première hélice en matériau composite fut fabriquée à East Pittsburg (États-Unis), par la *Westinghouse Manufacturing & Electrical Company*. Parus en 1918 et en 1924, divers rapports du *Propeller Department*, première division d'ingénierie ouverte par le gouvernement américain, dans le cadre du centre de recherches en aéronautique qu'il met en place à Dayton, Ohio, en 1917 (Kinney 2001), détaillent l'invention. L'hélice était en Micarta, c'est-à-dire composée de séries de lames de toiles de coton grossières imprégnées de Bakélite, cette résine synthétique à base de formaldéhyde et de phénol, en fait le premier plastique thermdurcissable, qu'avait inventé Baekeland en 1907. La masse de toile et de bakélite était placée dans un moule sous pression (1 000 livres par pouce carré) à haute température, afin d'obtenir au bout de trois heures une matière solide ayant la forme générale de l'objet attendu, des lames flexibles de toile de 5/8^e de pouce d'épaisseur (environ dix épaisseurs de toile). L'ébauche était alors rectifiée, équilibrée, polie et percée. Puis, on découpait les pièces dans les lames obtenues et on les plaçait dans une presse hydraulique, pour faire fondre la bakélite, coller les lames entre elles et enfin cuire la résine pour lui donner sa rigidité à l'hélice, qui demeurerait toutefois résistante et élastique (Caldwell, Clay 1924).
- 33 Les avantages étaient nombreux : la toile de coton, matériau aisément disponible, remplaçait avantageusement, le bois, dont les essences requises venaient à manquer. L'hélice en Micarta n'était pas sujette aux déformations dues à l'humidité et aux fentes. Pour la même résistance, il était possible de faire une hélice plus mince. Et le blindage n'était pas nécessaire. Des essais de tir sur l'hélice montrèrent que le matériau utilisé supportait bien les impacts de petits corps ou de balles lancés à grande vitesse. Mais

deux inconvénients majeurs retardèrent sa production : le coût des moules d'une part, le poids de l'hélice d'autre part, l'hélice en Micarta étant deux fois plus lourde qu'une hélice en bois. Ce n'est que bien plus tard, dans les années 1970, que cette lignée technique se développa.

- 34 Les années 1930 marquent une sorte d'asymptote dans l'évolution de l'hélice aérienne. C'est alors que furent inventés les concepts liés à la mobilité des pales par rapport au moyeu. L'hélice à calage fixe fut presque entièrement remplacée par le calage réglable ou le pas variable continu ou à positions prédéfinies. La caractéristique principale des hélices des années 1930 est la construction séparée des différents éléments : les pales sont dissociées par rapport au moyeu. Les hélices produites à partir de ce moment diffèrent peu des hélices actuelles. Les grandes différences apparaissent au niveau des systèmes permettant la variation de l'angle des pales par rapport à l'axe de l'hélice.

L'hélice aérienne : objet technique innovant ?

D'un système technique à l'autre

- 35 Dans « La voiture électrique dans La Nature (1890-1905), approche micro-historique d'un échec technique », Anne-Françoise Garçon développe la notion d'innovation technique (Garçon 2003). Elle fait la distinction entre une innovation de mutation, appartenant au même système technique et une innovation de greffe ou de transfert. La mutation intervient dans un seul système technique caractérisant le processus de production de l'objet ou son fonctionnement. La greffe intervient entre deux systèmes techniques ; il y a transfert d'un savoir-faire ou d'une particularité technique d'un système technique à un autre.
- 36 L'hélice aérienne a été élaborée à partir du savoir-faire acquis au moment de la naissance de l'hélice marine. Les connaissances accumulées par les ingénieurs à partir des hélices marines ont été mobilisées à nouveau dans le cadre de l'hélice aérienne. L'hélice aérienne a vu le jour au sein du système technique « fer-charbon-vapeur ». Les essais de ballons dirigeables (Henri Giffard et Dupuy de Lôme) ainsi que les projets d'engins plus lourds que l'air (Henson et Stringfellow) ont pris place dans le système technique « fer-charbon-vapeur ». Le pétrole n'était pas utilisé en combustion interne. L'électricité n'avait pas encore été associée à la navigation aérienne. Pour l'automobile comme pour l'aviation, il n'y a pas eu de greffe. En effet, l'automobile est née tout comme l'avion alors que le système technique « pétrole-alliages-électricité » s'épanouissait. Le désir de voler et de se déplacer de façon fiable et rapide dans les airs s'inscrit dans un processus séculaire, mais l'innovation a eu lieu alors que le système technique européen de la Belle Époque était en pleine mutation.

Les trois phases de l'innovation

- 37 Patrice Flichy distingue trois phases dans l'évolution de l'innovation technique (Flichy 2003). La première phase renvoie à la préhistoire de l'innovation. Des développements non liés entre eux voient le jour et aboutissent à des objets précurseurs dans le domaine considéré. Les concepts préliminaires tels que la vis ou les ailes des moulins : les premiers objets imaginés comme l'hélicoptère de Léonard de Vinci représentent ce premier âge. Les essais des premiers aérostats avaient tous comme point commun la

direction des ballons. Les solutions employées étaient très différentes (hélices, rames aériennes, propulsion par réaction...).

- 38 La deuxième phase correspond à la mise en place du concept d'un objet valise, c'est-à-dire un objet qui, dans un cadre abstrait, regroupe des objets techniques primitifs, ayant les caractéristiques de l'objet mais n'ayant pas encore dépassé le stade du prototype. Cette période instable est un temps d'euphorie inventive dans laquelle l'imaginaire a une place importante. Jules Verne, à sa manière, propose des « solutions » pour la mise au point de l'objet « hélice » en tant que propulseur aérien, ou encore, plus concrètement, les frères Tissandier, Charles Renard et Arthur Krebs qui équipèrent leurs ballons dirigeables d'hélices dans les années 1870. Les structures entoilées qui constituaient ces hélices apparaissent comme les objets primitifs anticipant sur la création de l'objet « hélice » d'aéroplane. Les réalisations concrètes furent rares néanmoins en comparaison du nombre de schémas, de principes et de descriptions abstraites. Les controverses et débats se multiplièrent autour des premiers exemplaires produits. L'hélice n'avait pas encore prouvé sa valeur.
- 39 La phase suivante correspond à la naissance d'un cadre concret pour le développement de l'objet. Cette phase de concrétisation suscite l'adhésion de partenaires multiples autour de projets expérimentaux (maquettes, prototypes...). L'objet produit dans cette période est appelé, par Patrice Flichy, « objet frontière ». Les hélices métalliques produites au tournant du siècle avaient enfin prouvé qu'il s'agissait du propulseur idéal pour les appareils plus lourds que l'air. Les premiers succès rallièrent nombre de sceptiques à sa cause. Les scientifiques et expérimentateurs cherchèrent à construire le propulseur le plus adapté en menant des essais avec des modèles réduits. La majorité des appareils créés avant 1910 étaient des prototypes. Cette phase correspond au passage du système technique « fer-charbon-vapeur » au système technique « pétrole-alliage-électricité ». En effet, les hélices métalliques en forme de pagaies ont été créées pour apporter une solution aux problèmes de résistance engendrés par l'utilisation nouvelle des moteurs à combustion interne.
- 40 Le troisième temps est celui de la consolidation du cadre dit de référence socio-scientifique. Lorsque l'objet commence à être utilisé, le cadre d'usage, c'est-à-dire l'ensemble des éléments qui permettent et conditionnent l'utilisation de l'objet, se confond avec le cadre préexistant de fonctionnement propre à l'objet, c'est-à-dire l'ensemble de savoirs et savoir-faire qui sont mobilisés ou mobilisables dans l'activité technique. Cette fusion donne le cadre sociotechnique, repère dans lequel l'objet est produit à grande échelle. La singularité de l'objet disparaît au fur et à mesure que les unités sont produites. Les modèles apparaissent. Cette phase débute à partir du moment technique de 1910. La production augmente alors considérablement. Les hélices en bois, adaptées aux puissances des moteurs à combustion interne, laissaient, comparativement aux hélices précédentes, peu d'incertitudes quant à leurs performances. Les aéroplanes commençaient à être véritablement efficaces et leur usage s'était considérablement développé. Les habitudes et éléments naissant avec l'usage pouvaient alors se mêler avec ceux liés à l'objet en lui-même. La consolidation du cadre sociotechnique a été rendue possible par l'apparition d'acteurs spécialisés dans la construction de l'hélice : les héliciers. Les techniques utilisées et l'organisation de la production ont favorisé cette consolidation.
- 41 À partir du moment où une technique ou un objet l'emporte de façon définitive sur les solutions alternatives, ce cadre sociotechnique se verrouille. L'objet technique tel qu'il

existe à ce moment précis est concret, fonctionnel et efficace. La notion de verrouillage ne peut cependant exclure l'évolution de la technique ou de l'objet considéré. L'hélice de 1914 dut être constamment améliorée pour éliminer les défauts inhérents à sa construction, mais aussi pour s'adapter à la constante augmentation de la puissance des moteurs. Cette étape marque la fin de l'hélice comme innovation et fait entrer l'objet dans la phase de développement. L'hélice à pas variable est une amélioration de l'hélice à pas fixe.

- 42 Le processus d'amélioration est mis en avant dans cet extrait d'un article paru dans *La Nature* : « Toute nouveauté (...) est presque exclusivement le fruit d'une hybridation, soit reprise d'inventions antérieures, soit le fruit d'un réarrangement de l'existant : disons immédiatement que le tricycle automobile en question (le tricycle automobile Bollée) ne renferme d'innovations en aucune de ses parties, mais qu'il réunit avec adresse tous les progrès que l'industrie des voitures automobiles a réalisé aujourd'hui. » (Garçon 2003). La construction d'hélices à pas variable a été rendue possible grâce aux techniques d'alliages mises au point durant la Première Guerre mondiale. L'association de nouveaux matériaux comme les alliages légers à base d'aluminium, de nouvelles techniques d'usinage et des progrès faits en aérodynamique ont permis la naissance de cette hélice adaptée aux grandes puissances des moteurs. La propulsion des aéronefs a aussi été rendue possible grâce à un amalgame de technologies. Le moteur à combustion interne a ainsi été associé à l'hélice métallurgique, en aluminium dans un premier temps, puis en bois à partir de 1910. Le groupe motopropulseur était né, assurant ainsi l'avenir du plus lourd que l'air et apportant une solution intéressante pour la propulsion des plus légers que l'air. D'après Emmanuel Chadeau, l'aviation profita des innovations des autres domaines (automobile, industrie métallurgique, aérodynamique...), avant de devenir très vite un monde technique en soi, avec ses règles, ses institutions et sa dynamique propre, portée vers un seul objectif, la performance (Chadeau 1996). Il en fut ainsi, pour l'hélice aérienne entre les années 1910 et les années 1930.

BIBLIOGRAPHIE

- Archives du musée de l'air et de l'espace, 6 avril 1916, carton hélices France 7. Brevet N°502874, déposés par Louis Paulhan, Henri Joseph et Léon Marie de la Chevardièrre de la Granville
- Archives du Musée de l'air et de l'espace, 1923, carton hélices France divers, instructions relatives à la réparation des hélices rigides en bois
- ARMENGAUD Jules, *Le problème de l'aviation : sa solution par l'aéroplane*, Conférence au Conservatoire national des arts et métiers, 1908
- AUGUSTIN-NORMAND Paul, *La genèse de l'hélice propulsive*, Paris, Académie de Marine, 1962
- CHADEAU Emmanuel, *De Blériot à Dassault, Histoire de l'industrie aéronautique en France, 1900-1950*, Paris, Fayard, 1987

CHADEAU Emmanuel, *Le rêve et la puissance, l'avion et son siècle*, Paris, Fayard, Collection pour une histoire du XX^e siècle, 1996

CHADEAU Emmanuel, « État, industrie, nation : la formation des technologies aéronautiques en France (1900-1950) », *Histoire, économie et société*, vol.4, n°2, 1985, p.275-300

CALDWELL F.W., CLAY N.S., "Micarta Propellers, I. Materials, II. Method of Construction, III. General Description of the Design", *Technical Notes*, National Advisory Committee for aeronautics. n° 198 à 200, 1924 (<https://ntrs.nasa.gov>)

CUISINIER Jean-Pierre, MARTIN Peter, *Eiffel, la bataille du vent*, Marne-la-Vallée, CSTB, 2007

DASSAULT Marcel, *Le Talisman*, Paris, J'ai lu, 1970

DRZEWIECKI S., *Théorie générale de l'hélice, hélices aériennes et hélices marines*, Paris, Gauthier-Villars, 1920

FLICHY Patrice, *L'innovation technique. Récents développements en sciences sociales : vers une nouvelle théorie de l'innovation*, Paris, Éditions La Découverte, 2003

FONTANON Claudine, « La naissance de l'aérodynamique expérimentale et ses applications à l'aviation : une nouvelle configuration socio-technique », in *Histoire de la mécanique appliquée : enseignement, recherche et pratiques mécaniciennes en France après 1880*, Fontenay-les-Roses, ENS Éditions, 1998

FORTIER Rénald, *A Few Words on Propellers*, Ottawa, Canadian aviation museum, 2008

GARÇON Anne-Françoise, « La voiture électrique dans La Nature (1890-1900). Approche micro-historique d'un échec technique », *L'imaginaire et la pensée technique*, Paris, Éd. Classiques Garnier, 2012, p.213-238

GRAMPAIX Jean, *L'hélice, son histoire, ses techniques*, Éditions d'Argenson, 1966

GUERET André, *Notes sur les hélices aériennes : étude technique, tracé, construction, essais*, Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1911

GUERIN Patrick, *Aéronautique et espace, 1908-2008 : un siècle d'industrie française*, Paris, Le Cherche Midi, 2008

HARTMANN Gérard, *Les héliciers français*, 2009, <https://www.hydroretro.net/etudegh/heliciersfrancais.pdf>

KINNEY Jeremy R., "Frank W. Caldwell and Variable-Pitch Propeller Development, 1918-1938", *Journal of Aircraft*, vol.3, n°5, 2001, p.967-976

KINNEY Jeremy R., *Reinventing the Propeller. Aeronautical Speciality and the Triumph of the Modern Airplane, 1920-1960*, Cambridge University Press, 2017

L'Aéronaute. Bulletin mensuel illustré de la navigation aérienne, vol.42, 1909

LEVY Geoffroy, *Invention et développement de l'hélice aérienne : 1840-1930*, Mémoire de master 2 sous la direction d'A-F. Garçon, Centre d'Histoire des Techniques, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2009

LEHR Georges, *La propulsion des avions*, Paris, PUF, 1949

LORAIN Pierre, *L'hélice propulsive, étude théorique et expérimentale du propulseur marin*, Paris, Dunod, 1923

LUCBERT Françoise, TISON Stéphane Tison (dir.), *L'imaginaire de l'aviation pionnière*, Rennes, Presses Universitaires des Rennes, 2018

PARROCHIA Daniel, *L'homme volant : philosophie de l'aéronautique et des techniques d'aviation*, Seyssel, Champ Vallon Éditions, 2003

PASSAQUI Jean-Philippe, « Mobilisation des facteurs de production et coordination de l'activité industrielle aux usines Schneider du Creusot de 1914 à 1918 », in FRIDENSON Patrick et GRISET Pascal (dir.), *L'industrie dans la Grande guerre*, Paris, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, 2018, p.299-324

PHILIPPE Jean-Luc, *Hélices aériennes, Techniques de l'Ingénieur, traité de Génie mécanique*, 1999

PRONNIER Anne-Laure, *L'aluminium pendant la Première Guerre mondiale, innovations, utilisations, récits*, mémoire de master 1 sous la dir. d'Anne-Françoise Garçon, Centre d'Histoire des Techniques, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2007

RICHARD M., « Jean-Joseph Etienne Lenoir », *Revue de la société d'entraide des membres de la Légion d'Honneur*, n°107, mai 1990, p.16-18

ROSEN George, ANEZIS Charles A., *Thrusting Forward. A History of the Propeller*, Hamilton standard, division of United Technologies Corp./British Dynamics Group, Hatfield Lostock division, 1984

NOTES

1. On appelle calage d'une pale d'hélice l'angle formé par la corde de la pale et le plan de rotation de l'hélice. Le calage permet d'adapter l'hélice aux conditions de vol (ndlr).
2. La société Chauvière, qui existait rue Servan, à Paris, rue Servan, depuis 1853, débuta ses premières productions aéronautiques en 1895, et progressivement, elle se spécialisa dans la production des pièces pour dirigeables et hydroplanes.
3. Pierre Levasseur s'était fait connaître au début des années 1910 par la qualité de ses hélices, dont il avait doté le bord d'attaque d'une courbure négative, « en lame de sabre », qui réduisait la résistance à la pénétration, puisque l'attaque de l'air se faisait par le côté concave (Géret 1911). Après la première guerre mondiale, il se spécialisa dans les avions pour l'Aéronavale (Hartmann 2009).
4. La société Levasseur fit faillite en 1935. Dans ces mêmes années, Ratier devenait le premier producteur d'hélices, grâce à ses hélices métalliques à pas variable (Hartmann 2009).

RÉSUMÉS

L'hélice aérienne est née de la volonté des hommes de pouvoir se diriger dans les airs. Elle est partout. Elle a précédé l'aviation et lui est intimement liée. Élément indispensable d'un avion, au même titre que le moteur, qui est quant à lui particulièrement étudié en histoire des techniques de l'aviation, l'hélice reste cependant au second plan. Les types d'hélices et leur évolution ne sont pas caractérisés par un type d'engin mais par un ensemble complexe de critères physiques et techniques que cet article propose de déterminer. Il s'agit d'étudier quelle a été l'évolution de l'hélice aérienne associée à l'avion et quels ont été les éléments accompagnant cette évolution de 1910 à 1930. Un intérêt particulier a été porté aux matériaux et à la production de ces hélices. Cet article tente de constituer une base de travail pour explorer la genèse de l'hélice aérienne de ses

origines aux années 1930. Les hélices produites à partir des années 1930 diffèrent peu des hélices réalisées encore aujourd'hui. L'objet en lui-même apparu comme transparent dans les travaux historiques et techniques sur l'aviation ancienne doit revenir en pleine lumière.

The aerial propeller was born from men's desire to fly in the air. It preceded aviation and is intimately linked to it. Although it is an indispensable part of an aircraft, just like the engine, which has been particularly studied in the history of aeronautical technicity while the propeller remained in the background. The object itself, forgotten by historians, has to be put in the forefront. Its types and its evolution are not linked to a specific type of aircraft but to a complex set of physical and technical criteria that this article tries to determine. This article aims to provide a basis for exploring the genesis of the aircraft propeller from its origins to the 1930s, by studying aircraft propeller's evolution and the elements that accompanied its evolution, particularly materials and production methods.

INDEX

Mots-clés : histoire des techniques, aviation, avion, hélice, moteur, vol, innovation

Keywords : history of technology, airplane, propeller, flight, innovation

AUTEUR

GEOFFROY LEVY

Diplômé d'un Master en Histoire des techniques à l'université Paris1 Panthéon-Sorbonne, j'ai travaillé dans la mise en valeur du patrimoine technique avant d'évoluer vers la R&D en milieu industriel. C'est au cours de mon Master que j'ai exploré l'évolution de l'hélice aérienne. Utilisant les outils de l'historien au quotidien, je travaille actuellement à l'émergence de solutions industrielles de rupture grâce à la recombinaison de solutions oubliées pour répondre aux enjeux actuels