ECOLE SUPERIEURE D'ART D'AVIGNON

Ecole Supérieure d'Art d'Avignon

Mémoire de fin d'études Diplôme National Supérieure d'Expression Plastique Option Art

Mention conservation - restauration

La restauration du gouvernail de direction du Breguet 19 « *Nungesser et Coli* » : dimension commémorative, matérialité et approche narrative

Yonghan CHOI

Année scolaire 2024-2025

Ecole Supérieure d'Art d'Avignon

Mémoire de fin d’études Diplôme National Supérieure d’Expression Plastique Option Art

Mention conservation - restauration

La restauration du gouvernail de direction du Breguet 19 « *Nungesser et Coli* » : dimension commémorative, matérialité et approche narrative

Direction de Projet : Hervé Giocanti

Enseignant à Ecole Supérieure d'Art d'Avignon

Direction de mémoire: Gaspard Salatko

Enseignant à Ecole Supérieure d'Art d'Avignon

Responsable scientifique : Patrick Dettling

Restaurateur du musée de l’Air et l’Espace

Yonghan CHOI

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma plus profonde gratitude à l'ensemble du personnel du Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget, qui a apporté un soutien essentiel à ce projet.

Je remercie tout particulièrement Agnès Mirambet-Paris, conservatrice en charge de la régie, de la restauration, de la conservation préventive, pour l'intérêt qu'elle a porté à mon travail et pour avoir autorisé la réalisation de ce projet.

J'exprime également ma reconnaissance à Marion Weckerle et Mathilde Buaillon, chargées de collection, pour leur appui constant, leur disponibilité, et pour avoir elles aussi approuvé et soutenu ce travail dès ses débuts.

Je souhaite adresser une reconnaissance toute particulière à Patrick Dettling, restaurateur, sans qui ce projet n'aurait jamais vu le jour. Dès le début de mon stage, il m'a accompagné avec une passion remarquable, m'a aidé à concevoir et rendre réalisable ce projet, en partageant généreusement ses connaissances et en me témoignant une confiance totale. Son implication a été décisive et je lui en suis profondément reconnaissant.

Je remercie également Arnaud Mars, restaurateur, dont le projet de restauration du Yak-3 m'a apporté une inspiration précieuse dans le cadre de cette recherche.

Je remercie vivement toutes les personnes qui m'ont apporté leurs conseils et leur accompagnement au cours de cette année.

Mes remerciements vont à Gaspard Salatko, directeur de mémoire, et à Hervé Giocantti, référent projet, ainsi qu'à Sylvie Neral, qui a supervisé l'ensemble du processus de recherche.

J'adresse ma profonde reconnaissance à Marie Broyer pour ses conseils constants et éclairés sur les matériaux tout au long de mon parcours.

Je remercie également François Duboisset pour ses recommandations, son soutien et les contacts précieux qu'il m'a transmis dans le cadre de mes recherches.

Je suis reconnaissant à l'équipe de l'association Memorial Flight pour les informations techniques détaillées concernant la matière et la fabrication du gouvernail du Breguet 19.

Je remercie également Georges Vella et Xavier Ulliana du club ULM de Carpentras pour leurs explications concernant les méthodes de pilotage et les conditions de vol de l'époque.

J'exprime ma sincère gratitude à Daniele Amoroso-Waldeis, Isabelle Devergne, à toute l'équipe Amoroso-Waldeis, ainsi qu'à Thierry Martel, pour leur engagement généreux, leur enthousiasme et leurs conseils passionnés.

Je remercie tout particulièrement Dalila Druesnes et Luc Ruther, restaurateurs, pour leurs conseils avisés concernant les protocoles de conservation-restauration des toiles d'entoilage aéronautique.

Je remercie Delphine Pauletto pour sa relecture attentive et précieuse.

Je souhaite également remercier chaleureusement Patricia Dal-Prà, professeure de spécialité textile à l'INP, ainsi que ses étudiants·es, pour leur analyse du support textile du gouvernail.

Ma gratitude va également à l'équipe d'analyse du patrimoine de l'Université d'Avignon, notamment à Carole de Souza et Céline Joliot, pour leur collaboration scientifique.

Enfin, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mes camarades de 5e année de la promotion 2024–2025, qui m'ont offert, en tant qu'étudiant étranger, un soutien constant, une écoute bienveillante et une solidarité précieuse tout au long de cette aventure.

Résumé

Ce mémoire présente l'étude et la proposition de conservation-restauration du gouvernail du Breguet 19 « Nungesser et Coli ». Au-delà de sa fonction technique, cet élément incarne une mémoire complexe faite de récits historiques, d'usages successifs et de strates matérielles. L'approche adoptée allie analyse matérielle, contexte muséographique et lecture symbolique, afin de stabiliser l'objet tout en valorisant sa dimension narrative. Ce travail souligne l'importance d'un regard interdisciplinaire sur le patrimoine aéronautique, porteur de mémoires visibles et invisibles.

ABSTRACT

This thesis presents the study and the conservation-restoration proposal for the rudder of the Breguet 19 "Nungesser et Coli." Beyond its technical function, this component embodies a complex memory made up of historical narratives, successive uses, and material layers. The approach combines material analysis, museographic context, and symbolic interpretation, aiming to stabilize the object while highlighting its narrative dimension. This work emphasizes the importance of an interdisciplinary perspective on aeronautical heritage, as a bearer of both visible and invisible memories.

Sommaire

Remerciements **4**
Résumé **6**
Introduction **9**
Présentation du musée de l'Air et de l'Espace **13**
Chapitre 1 : Etude historique **18**
Introduction 18
1.A. Louis BREGUET 18
1.B. Breguet XIX : Un Héritage de l'Aviation Militaire et des Records Aériens 22
1.C. Breguet XIX, GR n° 1685 26
Chapitre 2 : Etude technique et histoire matérielle **38**
Introduction 38
2.A. La dérive d'avion 38
2.B. Support – structure, toile, couche enduit 42
2.C. Couche picturale 47
2.D. Entoilage 50
2.E. Réparation 52
Chapitre 3 : Etude matérielle **54**
Introduction 54
3.A. Support 55
3.A.1. Lin 55
3.B. Couche picturale 57
3.B.1. Nitrate Cellulose 57
3.B.2. Acétate de cellulose 59
3.B.3. Comparaison des propriétés physico-chimiques de la nitrocellulose et de l'acétate de cellulose 61
Chapitre 4 : Identification de l'objet **62**
4.A. Identification de l'objet 62
4.A.1. Description 64
4.A.2. Iconographie 64
4.A.3. Observation des traces de fabrication sur le gouvernail de direction 64
4.A.4. Environnement d'utilisation de l'avion 67

Chapitre 5 : Constat d'état 68
5.A. Constat d'état 68
Introduction 68
5.A.1. État général de la toile du gouvernail de direction 70
5.A.2. Altération du support textile 72
5.A.3. Altérations de la couche picturale 78
Chapitre 6: Proposition de traitement 84
6.A. Problématique 84
6.A.1.Quelle authenticité pour le patrimoine technique ? 85
6.B. Proposition de traitement 87
Introduction 87
6.B.1. Un objet à mettre en récit : réflexions sur les modes d'intervention 88
Chapitre 7 : Proposition d'intervention 97
Introduction 97
7.A.1. Types principaux d'altérations identifiés lors du diagnostic de conservation .. 98
7.A.2. Définition des objectifs de l'intervention de conservation-restauration 99
7.B. Conservation curative 100
7.B.1. Support 100
7.B.2. Couche picturale 104
7.C. Conservation préventive 107
7.D. Restauration 107
7.D.1. Décrassage localisé 107
Conclusion 109
Bibliographie 110
Annexe 117
Liste des annexes 117
Liste des figures 135

Introduction

Le choix de la toile du gouvernail de direction du Breguet 19 n°1685 « Nungesser et Coli » comme sujet d'étude repose sur mon intérêt personnel depuis le début de l'année à l'école supérieure d'art Avignon ainsi que sur mon expérience de stage. Avant même d'étudier la conservation-restauration, j'étais intrigué par les artefacts militaires et l'art de propagande[1]. En tant que ressortissant de la Corée, un pays idéologiquement divisé, le patrimoine militaire et la guerre de Corée de 1950 ont toujours occupé une place importante dans mon quotidien. De plus, après avoir servi pendant deux ans dans l'armée de l'air, j'ai pu expérimenter directement ces aspects, ce qui a renforcé mon intérêt pour cette thématique. C'est pourquoi j'ai choisi de rédiger mon mémoire sur les artefacts militaires, un choix qui s'est également reflété dans mon stage.

Mon stage de Master 1 s'est déroulé pendant trois mois au Musée de l'Air et de l'Espace, enrichissant ainsi mes connaissances et mon expérience dans le domaine de la conservation-restauration du patrimoine technique et militaire. Grâce à ce stage, j'ai pu observer comment les avancées scientifiques et technologiques interagissent avec le patrimoine militaire et culturel, et réfléchir à la manière dont la guerre a accéléré le développement technologique et dont l'innovation a évolué à travers les tentatives audacieuses, les recherches mais aussi les sacrifices de nombreuses personnes.

En particulier, l'histoire de l'aviation a permis de repousser les limites du temps et de l'espace. Cette histoire continue d'inspirer aujourd'hui, contribuant non seulement aux innovations technologiques telles que les avions de supersoniques civils et militaire comme le Concorde et militaires comme le SEPECAT Jaguar, mais aussi au développement de la littérature, de l'art et de la culture sous diverses formes. On peut citer, par exemple, *Terre des hommes* d'Antoine de Saint-Exupéry dans la littérature, et « *Interstellar* » de Christopher Nolan dans le cinéma.

Ces récits ont nourri mon intérêt pour le patrimoine militaire et ont guidé mes recherches, me conduisant à rédiger un mémoire sur le patrimoine culturel de l'histoire de l'aviation. Les artefacts aéronautiques et aérospatiaux sont fascinants car ils ont permis à l'humanité d'exploiter le mouvement non seulement sur les axes x et y, mais aussi sur l'axe z, offrant ainsi une nouvelle liberté dans nos déplacements dynamiques. Ils ont ouvert la voie à l'exploration du monde au-delà de notre portée, vers des altitudes et des distances inconnues, leur conférant une valeur inestimable. L'observation des oiseaux et

[1] « *Ensemble des actions et des moyens mis en œuvre pour répandre et faire prévaloir une idée, une opinion, une doctrine. Faire de la propagande pour un parti politique. La propagande électorale, gouvernementale* ». - Dictionnaire de l'Académie française, 9e éd., « propagande » [en ligne], https://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9P4598 (consulté le 10.05.2025).

le rêve de voler librement dans le ciel ont inspiré l'humanité à développer des technologies parmi les plus avancées de la civilisation.

L'histoire de l'aéronautique et de l'espace en France possède une singularité. Elle est retranscrite à travers différents médias. L'épopée des frères Montgolfier a été ravivée lors du relais de la flamme olympique des Jeux de Paris 2024, unissant les peuples du monde entier (*Figure1*). Antoine de Saint-Exupéry, écrivain et aviateur de génie, a éveillé ma nostalgie d'enfance à travers l'histoire intemporelle du Petit Prince et son pilote, qui continuent à vivre dans mon imagination. De même, les récits de Jules Verne où les personnages voyagent à bord d'aéronefs vers des destinations lointaines, m'ont donné le courage d'explorer le monde. Ces histoires sont intimement liées à la France, mais aussi à mon propre parcours. Je suis convaincu que le patrimoine aéronautique et les musées sont une source d'inspiration pour l'avenir. Chaque génération d'avions, perfectionnée et améliorée au fil du temps, a conduit à l'essor de l'aviation jusqu'à l'avènement des vols supersoniques. L'histoire de ces avancées témoigne du génie humain et de notre quête incessante de repousser les limites du possible. C'est ce dont témoigne l'objet que j'ai étudié dans le cadre de mon DNSEP en conservation-restauration.

Figure 1, CHANG, Martin/SIPA, « Touristes devant la Flamme olympique au Jardin des Tuileries » : [photographie de presse], tiré de Les Echos, [en ligne], 2024,

Le Breguet 19 n°1685 « *Nungesser et Coli* » (*Figure2*), sujet central de ce mémoire, est un avion emblématique dans l'histoire de la technologie aéronautique française. Il occupe une place essentielle dans l'histoire de l'aviation européenne des années 1920 et dans l'évolution des technologies aéronautiques. Son rôle dans la quête du tour du monde et les liens de camaraderie indéfectibles entre pilotes témoignent de l'esprit d'aventure et de fraternité qui caractérisent la chronologie de l'aviation française que nous admirons tant. Aujourd'hui, l'héritage de Breguet se perpétue à travers sa fusion avec Dassault, prolongeant ainsi cette histoire de l'aéronautique française.

Figure 2, « Costes et Le Brix ont traversé l'océan Atlantique Sud à bord de ce Breguet XIX GR n°1685, baptisé Nungesser-Coli, du 14 au 15 octobre 1927 » : [photographie], tiré de This day in aviation, [en ligne],

Ce mémoire porte spécifiquement sur la restauration isolée de la toile du gouvernail de direction de cet avion. Contrairement aux objets du patrimoine artistique, le patrimoine technique trouve sa valeur essentielle dans l'expérience de son utilisation et dans son rôle fonctionnel. Mais comme tout objet du patrimoine technique, cette toile ne peut ni exprimer sa fonction ni raconter son passé par elle-même. Ainsi, dans un cas comme celui-ci, la restauration physique de l'objet ne constitue qu'un point de départ. Et il est tout aussi essentiel d'explorer la signification de cette toile, en la resituant dans son contexte historique et technologique[2].

Cette toile ne se limitait pas à son rôle de gouverne pour assurer l'équilibre de l'avion ; elle servait également de support de propagande pour la technologie aéronautique française, renforçait le sentiment de fierté nationale parmi les Français vivant Outre-mer ou sur le front, et jouait ainsi un rôle diplomatique et symbolique important[3]. C'est pourquoi ce travail analysera cette pièce sous différents angles afin d'en offrir une compréhension plus approfondie et multidimensionnelle. Après près d'un siècle de silence et de repli, il s'agira de redonner lisibilité et narration à cet élément d'avion. De plus, la copie exposée dans l'atelier de restauration de Dugny (*Figure3*) enrichira cette étude en offrant une réflexion approfondie et rigoureuse sur l'authenticité de l'objet original.

Figure 3, © CHOI, Yonghan, Copie de la toile du gouvernail de direction, exposée dans l'atelier de restauration de Dugny : [photographie], 2024.

En tant que composant d'un avion, ce gouvernail, privé de sa structure d'origine, a perdu sa forme, sa signification et sa valeur. Ce mémoire vise à proposer une méthodologie de restauration et d'exposition permettant de le rendre compréhensible au grand public.

En partant du cas de la restauration du gouvernail de direction du Breguet 19 n°1685, ce mémoire à pour enjeu de considérer que le patrimoine technologique ne se limite pas à la simple restauration physique d'un objet aéronautique, mais qu'il est le fruit du défi et de la créativité humaine. La restauration matérielle n'est qu'un commencement. L'objectif ultime est de redécouvrir et de transmettre avec elle les récits portés par cette toile aux générations futures.

[2] AKRICH Madeleine, *« Les réseaux socio-techniques »* in *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique* / CALLON Michel, LASCOUMES Pierre, BARTHE Yannick (dir.).- Seuil, 2001.
[3] Cette dimension de propagande est illustrée par les nombreux témoignages présents dans « *Notre Tour de la Terre* » où les auteurs relatent les rencontres avec des ambassadeurs et des présidents lors de leur tour du monde, soulignant ainsi l'importance symbolique et diplomatique de leur exploit - COSTES Dieudonée, LE BRIX J.M, « *Notre Tour de la Terre* », Hachette, 1928

Les études sur la conservation et la restauration du patrimoine technologique aéronautique et spatial sont encore rares par rapport à celles portant sur d'autres types de patrimoine artistique ou technique[4]. J'espère ainsi que cette recherche encouragera des analyses et des études plus approfondies dans ce domaine. Au-delà d'un simple travail de restauration, j'aimerais que ce mémoire puisse devenir une source d'inspiration, aussi modeste soit-elle, pour l'avenir de l'histoire aéronautique française.

Au cours de mes recherches sur le patrimoine technique, j'ai pu identifier certaines spécificités propres à ce type d'objets, notamment à travers l'étude des revêtements en toile utilisés pour les avions. Les objets techniques conçus dans un but fonctionnel, comme les aéronefs, sont en effet soumis, dès leur mise en service, à des réparations, modifications et remplacements répétés. Ils évoluent ainsi continuellement au fil du temps.

La prise en considération des conditions d'usage entre souvent en contradiction avec l'approche traditionnelle de la conservation du patrimoine, fondée sur la préservation d'un "état original" fixe. Dès lors, un principe de conservation reposant uniquement sur l'authenticité matérielle s'avère insuffisant pour en restituer pleinement le sens partant de cette problématique, le présent mémoire propose une étude de conservation-restauration du gouvernail de direction du Breguet 19 n°1685, avion fabriqué en France dans les années 1920. Cet objet a été impliqué dans plusieurs vols de longue distance et un tour du monde emblématique. Au cours de son exploitation, il a subi des réparations et modifications répétées, notamment au niveau de la peinture de son revêtement extérieur.

L'état actuel du gouvernail de direction conservé au musée ne correspond pas à sa forme d'usage en service, ni à sa forme finale prévue, mais semble être le résultat d'une recomposition réalisée lors de sa donation par Louis Breguet, à des fins d'exposition. Cette interprétation est étayée par les photographies prises lors de la donation ainsi que par les documents relatifs à la procédure de don. Ainsi, cette recomposition ne relève pas d'une simple réparation fonctionnelle, mais s'inscrit dans une logique plus complexe, incluant la construction de l'image institutionnelle, la médiation muséographique et la valorisation industrielle.

Dans une perspective comparable, Tiziana Beltrame et Laurent Rabier, à travers l'exemple de la restauration d'une aile de SPAD S.VII(*Figure4*), ont montré que la restauration ne se limite pas à une réparation fonctionnelle. Elle s'inscrit dans un processus de médiation muséographique prenant en compte la tension entre l'histoire matérielle de l'objet et sa

[4] À ce jour, les principales références collectées concernant la restauration d'aéronefs sont :
– MIKESH Robert, *Restoring Museum Aircraft* . - Schiffer Military History, 2009 ;
– MORRIS, David; GREAT BRITAIN ROYAL NAVY FLEET AIR ARM MUSEUM, Corsair KD431: the time-capsule fighter, Sutton in association with Fleet Air Arm Museum, 2006
– STEVENS Nigel, *Restauration des Avions*, tomes 1, 2 et 3. - Fédération RSA, 2016

fragilité. Cette approche offre un éclairage pertinent pour analyser également la recomposition du gouvernail de direction étudié dans ce travail.

Figure 1, © CHOI, Yonghan, Détail d'une aile du SPAD S.VII conservé au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget: [photographie], 2024.

Présentation du musée de l'Air et de l'Espace

L'avion Breguet 19 « *Nungesser et Coli* » est un patrimoine d'une grande valeur historique dans l'histoire de l'aviation française, et plusieurs institutions et éléments contribuent à sa préservation et à son étude. Parmi eux, le musée de l'Air et de l'Espace du Bourget joue un rôle central en tant que lieu emblématique témoignant de l'évolution de l'aviation et des avancées technologiques en France.

Fondé en 1919, le musée de l'Air et de l'Espace est l'un des plus anciens musées aéronautiques au monde et occupe une place centrale dans l'histoire de l'aviation française. Il possède une vaste collection allant des premiers aéronefs aux technologies aérospatiales modernes. De plus, son emplacement au sein de l'aéroport du Bourget lui confère une importance historique particulière : cet aéroport a été le théâtre de nombreux exploits et succès des pilotes français et est reconnu comme un site où se sont concrétisées d'importantes avancées technologiques et records mondiaux dans l'aviation.

Depuis le 1er janvier 1994, Selon l'article R3413-62 du *Code de la défense*, le musée de l'Air et de l'Espace est un établissement public national à caractère administratif, chargé de conserver et de valoriser le patrimoine aéronautique et spatial national(E.P.A.)[5] Doté de personnalité juridique et d'autonomie financière. Il est placé sous la tutelle de la

[5] Code de la défense, art. R3413-62, version en vigueur au 07.04.2025. « *Le musée de l'Air et de l'Espace est un établissement public national à caractère administratif doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière placé sous la tutelle du ministre de la défense [...]* ». Disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr (consulté le 07.04.2025).

Direction de la Mémoire, de la Culture et des Archives (DMCA) du ministère des Armées français[6]. Dès sa création, il s'est affirmé comme un musée aéronautique et spatial de référence, couvrant à la fois l'aviation civile et militaire, ainsi que les domaines aéronautiques et aérospatiaux français et internationaux.

Le musée de l'Air et de l'Espace s'étend sur deux sites totalisant 25 hectares : 12 hectares pour le site du Bourget, où se situe le musée, et 13 hectares pour les réserves techniques à Dugny. Il dispose de 11 halls d'exposition dans lesquels sont présentés environ 120 aéronefs. Au total, la collection comprend environ 400 avions, en incluant ceux conservés en réserve, ainsi que près de 600 000 objets liés à l'histoire de l'aéronautique et de l'espace. Le musée abrite également un planétarium ouvert au public.[7].

Les travaux de restauration et de conservation du Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget sont réalisés sur le site de Dugny, qui comprend cinq réserves et un atelier de restauration. Deux associations de conservation et de recherche du patrimoine aéronautique collaborent avec le musée pour mener à bien ces opérations de restauration. Elles interviennent sur des avions historiques tels que le Breguet 19 « *Point d'Interrogation* »[8], ainsi que sur des chasseurs retirés du service, divers moteurs et autres aéronefs. Cette coopération permet au musée de bénéficier de l'expertise et de la passion de ces associations, jouant ainsi un rôle essentiel dans la conservation du patrimoine aéronautique de manière plus structurée et efficace.

Le caractère particulier des objets aéronautiques exige une approche de conservation-restauration dépassant la simple restitution de leur forme ou de leur fonction.

Celle-ci doit prendre en compte les différentes strates de temporalité, de symbolique, de fonctionnalité et d'image qui le composent.

Cette perspective est rejointe avec la définition élargie de l'authenticité proposée par la Déclaration de Nara sur l'authenticité 1994[9], laquelle stipule que l'authenticité ne peut être déterminée selon un critère unique, mais doit être évaluée à travers des éléments

---

[6] Musée de l'Air et de l'Espace. « *L'institution* ». [en ligne], Disponible sur https://www.museeairespace.fr/le-musee/linstitution/, (consulté le 07.04.2025).
[7] *Ibidem*, Livret pédagogique, octobre 2023, p.9, [en ligne], https://www.museeairespace.fr/wp-content/uploads/sites/2/2023/10/Livret-pedagogique-10-2023.pdf (consulté le 07.04.2025).
[8] Le Breguet 19 T.F. Super Bidon, plus connu sous le nom de Point d'Interrogation, est considéré comme l'un des trois trésors les plus importants du musée de l'Air et de l'Espace. En 1930, Costes et Bellonte réalisèrent à son bord la première traversée aérienne sans escale de Paris à New York, franchissant l'Atlantique d'est en ouest en plus de 37 heures, *Ibid.* « Breguet XIX T.F. Super Bidon "Point d'Interrogation », [en ligne], https://www.museeairespace.fr/aller-plus-haut/collections/breguet-xix-tf-super-bidon-point-dinterrogation/ (consulté le 07.04.2025).
[9] ICOMOS, *Document de Nara sur l'authenticité*, Conférence de Nara (Japon), novembre 1994. [En ligne], https://www.icomos.org/fr/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/186-document-de-nara-sur-lauthenticite, (consulté le 11.11.2024).

tels que le contexte culturel, la fonction, la structure, les matériaux, la forme, l'usage ou encore les traditions[10].

Ce mémoire se propose ainsi de retracer et d'analyser de manière rigoureuse la composition matérielle et l'histoire du gouvernail de direction du Breguet 19, afin de dégager les différentes strates de son authenticité.

L'objectif est de formuler une proposition de restauration et de présentation adaptée à la nature spécifique de ce patrimoine technique.

Plan du mémoire

La conservation et l'étude du gouvernail de direction du Breguet 19 « Nungesser et Coli » nécessitent une analyse approfondie de son contexte historique ainsi que de ses caractéristiques matérielles. Pour cela, plusieurs étapes majeures sont requises.

1. **Étude historique du sujet de recherche**
2. **Analyse technique et étude de la composition matérielle**
3. **Diagnostic de l'état de conservation et analyse des interventions antérieures**
4. **Proposition de restauration et d'orientation muséographique**
5. **Stratégie d'intervention en conservation-restauration et plan de mise en œuvre**

La conservation et l'étude du gouvernail de direction du Breguet 19 « Nungesser et Coli » impliquent une analyse approfondie de son contexte historique ainsi que de ses caractéristiques physiques. Pour cela, plusieurs étapes de recherche et de conservation sont nécessaires. Premièrement, une étude historique doit être menée. Il s'agit d'examiner l'histoire complète de cet aéronef, depuis sa conception jusqu'à son intégration dans la collection du musée. Deuxièmement, une analyse physique est essentielle pour évaluer l'état de conservation du gouvernail, en étudiant sa structure et les matériaux qui le composent. Troisièmement, une étude du processus de restauration doit être réalisée afin d'analyser les précédents travaux de restauration effectués par le musée et d'évaluer les techniques de conservation applicables à cet objet. Enfin, une valorisation par l'exposition et l'éducation est nécessaire. Il s'agit d'intégrer cette pièce restaurée dans les programmes d'exposition et d'éducation du musée afin d'en faire un

[10] « *Article 13. Dépendant de la nature du monument ou du site et de son contexte culturel, le jugement sur l'authenticité est lié à une variété de sources d'informations. Ces dernières comprennent conception et forme, matériaux et substance, usage et fonction, tradition et techniques, situation et emplacement, esprit et expression, état original et devenir historique. Ces sources sont internes à l'œuvre ou elles lui sont externes. L'utilisation de ces sources offre la possibilité de décrire le patrimoine culturel dans ses dimensions spécifiques sur les plans artistique, technique, historique et social.* » ICOMOS, *ibidem*, Conférence de Nara (Japon), novembre 1994. [en ligne], https://www.icomos.org/fr/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/186-document-de-nara-sur-lauthenticite (consulté le 06.04. 2025).

élément pédagogique et accessible au public. Ces différentes étapes de recherche et de conservation ne se limitent pas à la simple restauration physique de l'aéronef, mais visent à transmettre l'héritage aéronautique français aux générations futures, en en faisant un véritable projet culturel et historique.

La conservation et l'étude de l'avion Breguet 19 « *Nungesser et Coli* » revêtent une importance majeure dans l'histoire de l'aviation française. En tant que centre de conservation du patrimoine aéronautique, le musée de l'Air et de l'Espace du Bourget met en valeur la signification historique et le contexte de cet aéronef. À travers un processus méthodique de recherche et de restauration, il joue un rôle essentiel dans la transmission de ce patrimoine national aux générations futures. Les recherches à venir devront approfondir les méthodes de conservation et de restauration de cet avion tout en renforçant la mission du musée dans ce domaine.

• Fiche d'Identification de l'objet

Identification de l'objet

-Titre: Toile d'aile de gouverne de direction (la queue d'avion),
N°1685 Breguet XIX « *Nungesser et Coli* »

-Nom d'auteur : Atelier de Louis Breguet

-**Date de creation** : Juin1926[11]

-N°d'inventaire : SN4689, TV9

-**Musée /propriétaire** : Musée de l'air et de l'espace de Bourget

-**Lieu de réservation** : Atelier de restauration du Musée de l'air et de l'espace:
1 avenue de la 2e DB 93440 Dugny,
dans la réserve Jean-Paul Béchat

-**Condition de conservation** : Reserve climatisée

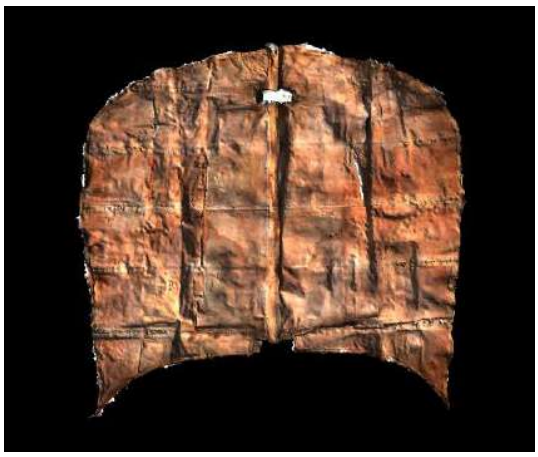
-**Technique /matériaux** : Toile enduite peinte (liant : acétate cellulose ?)

-**Structure** : Absente (La structure originale[12] est en duralumin.)
Elle est conservée dans l'atelier de restauration situé à Dugny.

-**Dimension générale (avant dépliage)** : H107cm x L45.5cm x E15 cm

-**Dimension générale (après dépliage)** : H173cm x L162cm[13]

© MULE, Victor, Face, recto après dépliage. Image capturée avec l'application , Polycam par CHOI, Yonghan, modélisation 3D réalisée par © MULE, Victor » : [photographie], 2025



© MULE, Victor, Face, recto après dépliage. Image capturée avec l'application, Polycam par CHOI, Yonghan, modélisation 3D réalisée par © MULE, Victor » : [photographie], 2025.

[11] DEGRDIND Alain, « *LA PREMIÈRE TRAVERSÉE DE L'ATLANTIQUE SUD SANS ESCALE PAR COSTES ET LE BRIX ET LEUR TOUR DU MONDE* », *Association des Amis du Musée de l'Air, Pégase : revue de l'Association des Amis du Musée de l'Air*, [en ligne], 1977 n° 77, pp. 14–20, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033/f11.item (consulté le 27.04.2025).

[12] Il se pourrait que la structure portant originellement cette toile soit exposée avec une toile copiée au Musée. Elle est conservée dans l'atelier de restauration situé à Dugny

[13] La toile a été retrouvée pliée dans une boite en polypropylène en 2015

Chapitre 1 : Etude historique

Introduction

Comme nous l'observons, ce gouvernail de direction du Breguet 19 n°1685 « *Nungesser et Coli* » ne possède pas de structure interne et demeure sous la simple forme de toile. En d'autres termes, il a perdu sa fonctionnalité pratique en tant qu'élément technique, ce qui rend prioritaire son analyse en tant que patrimoine technologique et culturel. Dans ce chapitre, nous examinerons tout d'abord le corps principal du gouvernail, c'est-à-dire les informations historiques et la narration que cet avion conserve. Avant d'aborder le rôle et la fonction du gouvernail, il est essentiel de garder à l'esprit que cet élément, situé à l'extrémité arrière de l'appareil, est une composante clé permettant de maintenir l'équilibre de l'avion et de contrôler sa direction.

Dans notre analyse de ce gouvernail, l'explication du fuselage de l'avion doit être menée en parallèle. Cet objet ne peut être appréhendé comme une entité indépendante, car il fonctionnait en tant que partie intégrante de l'ensemble de l'appareil. Une étude isolée présenterait inévitablement des limites. Pour comprendre pleinement une seule pièce, il est indispensable de la replacer dans la structure globale à laquelle elle appartient. Cette approche ne relève pas d'un simple choix, mais d'une nécessité.

Dans le premier chapitre, nous explorerons le contexte historique et la signification de cette toile lorsqu'elle remplissait encore son rôle en tant que composant de l'avion.

1.A. Louis BREGUET[14]

Avant d'expliquer l'avion lui-même, il est nécessaire d'aborder l'histoire de l'entreprise qui l'a conçu ainsi que celle de son fondateur. Un aéronef n'est pas simplement un produit mécanique, mais le résultat d'un contexte technologique et historique spécifique, imprégné de la philosophie de son concepteur et de l'entreprise qui l'a fabriqué. En particulier, Breguet Aviation, qui a développé le Breguet 19 ainsi que de nombreux autres avions innovants, a joué un rôle déterminant dans le développement de l'industrie aéronautique française. Au centre de cette entreprise se trouvait Louis Breguet.

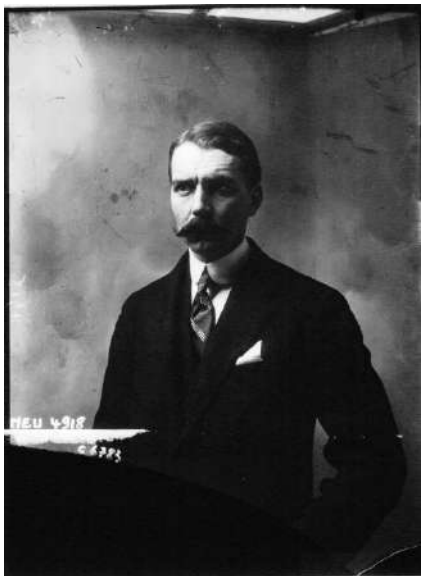


Figure 2, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, Mr. Breguet, aviateur : [photographie de presse], [en ligne], 1909

Louis Breguet (1880-1955) fut un ingénieur et entrepreneur (*Figure 5*) qui contribua de manière décisive à l'industrialisation et au progrès technologique de l'aviation française. En 1911, il fonda Breguet Aviation (Société Anonyme des Ateliers d'Aviation Louis Breguet), qui devint l'un des piliers de l'industrie aéronautique en

[14] Association des Amis du Musée de l'Air, *Pégase : revue de l'Association des Amis du Musée de l'Air*, numéro spécial consacré à Louis Breguet, décembre 1980, utilisé comme référence principale.

France. En 1919, il créa également Les *Messageries Aériennes*[15], une compagnie qui allait plus tard fusionner pour former Air France[16]. Issu de la prestigieuse famille Breguet, il hérita d'un génie technique remarquable. Son ancêtre Abraham-Louis Breguet était un horloger de renom, reconnu par les cours royales européennes, tandis que son père, Antoine Breguet, était un ingénieur en électricité ayant contribué au développement de la dynamo Gramme. Évoluant dans cet environnement scientifique, Louis Breguet poursuivit des études à l'École Supérieure d'Électricité, avant de travailler dans l'entreprise familiale en tant qu'ingénieur. En 1905, inspiré par le succès des frères Wright, il se lança dans la recherche aéronautique.

En 1906, pour mener ses recherches de manière plus méthodique, il développa un aéro-dynamomètre (aéro-dynamométrique) destiné à l'étude des flux d'air[17]. En 1907, il construisit le Gyroplane Breguet-Richer n° 1 (*Figure 6*), qui démontra les principes du vol vertical et posa les bases des futurs hélicoptères[18]. Ce projet fut officiellement présenté à l'Académie des Sciences. Cependant, la destruction du Gyroplane Le Breguet-Richet n°2bis (*Figure 7*) et des contraintes financières le contraignirent à abandonner temporairement la recherche sur les aéronefs à voilure tournante, pour se concentrer sur les avions à voilure fixe[19]. En 1909, il construisit son premier avion, le Breguet type I (*Figure 8*), qu'il pilota lui-même avec succès[20]. L'année suivante, il participa à un concours militaire, remportant d'importants contrats avec l'Armée de l'Air française. Dès 1911, en pleine guerre franco-marocaine, les avions Breguet furent utilisés dans les premières opérations militaires à longue distance[21], prouvant ainsi leur efficacité.

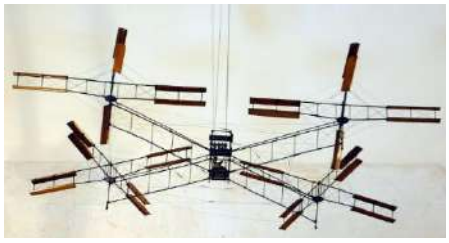


Figure 6, © Musée des arts et métiers, FAVAREILLE, Michèle, Modèle au 1/10 du Gyroplane Breguet-Richet n°1, conçu par Louis Breguet en 1907 : [photographie], [s.d.].

Figure 7, Archives de l'Aéro-Club de France, Le Breguet-Richet n°2bis en 1908 : [photographie], tiré de G. Hartmann, « Les premiers appareils Breguet », 2019, p. 5.

[15] HARTMANN Gérard, « *Vers les sommets. Breguet 1919-1939* », [en ligne], 2008, p. 5, Disponible sur http ://www.hydroretro.net/etudegh/index.php (consulté le 26.04.2025).
[16] National Air and Space Museum Archives, Smithsonian Institution, « *Compagnie des Messageries Aériennes* », [en ligne], https://airandspace.si.edu/collection-archive/compagnie-des-messageries-aeriennesair-union-ticket-weinstock/sova-nasm-xxxx-1008 (consulté le 06.0402025.).
[17] BROCAD, Jean, « *LA PENSEE SCIENTIFIQUE ET TECHNIAUE DE LOUIS BREGUET*, », Association des amis du Musée de l'air. Auteur du texte. Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'air, [en ligne], 1980, n°20, p.8, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265107/f1.item (consulté le 26.04.2025).
[18] *Ibidem,* p.5
[19] *Ibid*., p.6.
[20] HARTMANN Gérard, « *Breguet* », étude publiée sur Hydroretro, [en ligne], https://www.hydroretro.net/etudegh/breguet.pdf, p. 6 (consulté le 26.04.2025).
[21] PERNOT François ; VILLATOUX Marie-Catherine. « *L'aéronautique militaire au Maroc avant 1914* », *Revue Historique des Armées*, 2000, n°218, p. 90, Disponible sur https://www.persee.fr/doc/rharm_0035-3299_2000_num_218_1_4907 (consulté le 26.04.2025).

Avec le déclenchement de la Première Guerre mondiale en 1914, les avions Breguet furent mobilisés pour des missions de reconnaissance et de bombardement. Face aux besoins croissants de l'aviation militaire, le gouvernement français demanda une production en série. En réponse, en 1916, Louis Breguet conçut le Breguet 14 (*Figure 9*), un bombardier doté d'une structure en duralumin[22], un matériau léger et robuste. Grâce à ses performances remarquables, cet avion permit aux Alliés d'assurer une supériorité aérienne. Après la guerre, le Breguet 14 fut réadapté pour des usages civils et postaux, devenant un succès commercial à l'échelle internationale.

Dans l'entre-deux-guerres, Louis Breguet se tourna vers l'aviation commerciale et lança en 1921 le Breguet 19. En 1922, cet appareil remporta la compétition internationale de Madrid organisée par le ministère de la Défense espagnol[23], ce qui conduisit à d'importantes commandes à l'international. En 1930, le Breguet 19 fut encore propulsé sous les projecteurs lorsque Dieudonné Costes et Maurice Bellonte réalisèrent la première traversée de l'Atlantique Nord sans escale de Paris à New-York, renforçant ainsi la notoriété de l'appareil.

Figure 9, BREGUET, Emmanuel, Le Breguet XIV « Limousine » assurant la liaison Paris–Londres en 1919 : [photographie de presse], tiré d'Actu Toulouse, [en ligne], 25 décembre 2016

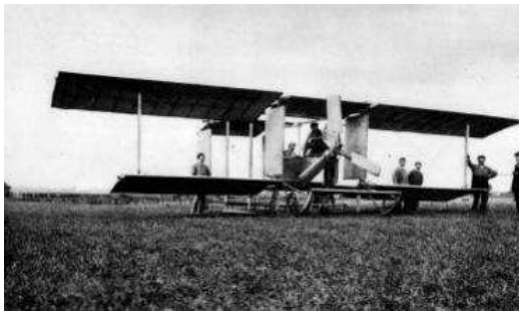


Figure 8, Archives de l'Aéro-Club de France, Le Breguet type I avant un vol en 1909 : [photographie], tiré de G. Hartmann, « Les premiers appareils Breguet », 2019, p. 6.

À la fin des années 1930, Louis Breguet développa des avions militaires tels que le Br 690, un bombardier léger, ainsi que le Br 482, un bombardier à long rayon d'action[24]. Il conçut également l'énorme avion de transport Deux-Ponts 5 (Br.761/763) (*Figure 11*). Durant la Seconde Guerre mondiale, il collabora avec l'aviation française pour développer et produire des avions de combat destinés aux Alliés. Après la guerre, il reprit ses recherches sur les hélicoptères et les avions à voilure fixe, notamment en partenariat avec René Dorand[25](*Figure 12*). Ces recherches influencèrent

[22]*Duralumin : emprunté de l'allemand Duraluminium, composé du radical de Düren, ville de Westphalie où cet alliage a été découvert, et d'aluminium. Marque de domaine : métallurgie. Alliage léger à base d'aluminium, employé en raison de sa faible densité et de sa résistance à la corrosion (marque déposée).* — *Dictionnaire de l'Académie française*, 9e éd., « *Duralumin* » [en ligne], Disponible sur https://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9D3374 (consulté le 26.04.2025).

[23] Le Gaulois, « *La vie sportive, Aeronautique* », [en ligne], 1923, p. 6, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k539370j/f6.image.r=madrid (consulté le 26.04.2025)

[24]BROCAD, Jean, *Op. cit*, p.8

[25]DORAND, J.-F., «René Dorand, *Un grand pionnier du gyroplane; A la mémoire de mon père », Pionniers : revue aéronautique trimestrielle des Vieilles tiges,* [en ligne], 1982, n°72, pp.19-20, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bd6t53402599/f1.image (consulté le 26.04.2025).

grandement les technologies des hélicoptères modernes. Parallèlement, il s'intéressa aux missiles et aux nouvelles technologies aéronautiques.

Figure10, © MANTEUFEL, Ralf, Le Breguet 763 « Provence » d'Air France à l'aéroport de Berlin-Tempelhof, le 13 octobre 1965 : [photographie], [en ligne]

Louis Breguet s'éteint en 1955, mais son entreprise continua de prospérer et d'innover. Ses recherches influencèrent fortement le développement des avions de l'OTAN et contribuèrent à l'évolution de l'industrie aéronautique européenne[26]. Son impact ne se limita pas à la conception d'aéronefs, mais s'étendit aussi à la formation de nombreux ingénieurs et spécialistes. Parmi eux, René Dorand joua un rôle clé dans le développement des hélicoptères, tandis que Marcel Riffard, après avoir travaillé chez Breguet, rejoignit Caudron-Renault et remporta la Coupe Deutsch de la Meurthe. René Leduc développa la technologie des tuyères thermopropulsives, contribuant ainsi à l'essor des moteurs à réaction. Vuillierme, qui supervisa la production des Breguet 14 et 19, créa ensuite sa propre entreprise aéronautique. Lucien Servanty, après avoir fait ses armes chez Breguet, devint l'un des concepteurs principaux du programme Concorde [27], un des avions les plus emblématiques de l'aviation civile. Il occupa par la suite des postes de premier plan au sein de S.N.C.A.S.O. et Sud-Aviation, façonnant ainsi l'industrie aéronautique moderne.

Figure11, BOYER, Pierre, Couverture de l'ouvrage René Dorand – 50 ans de giraviation, de BOYER. Pierre, Éd. Trait d'Union, rééd. 2015.

Grâce à son perfectionnisme et son obsession du progrès technologique, Louis Breguet transforma son entreprise en un acteur majeur de l'aviation mondiale et forma plusieurs générations d'ingénieurs aéronautiques. Jusqu'en 1970, Breguet Aviation continua de produire des avions civils et militaires. En 1971, elle fusionna avec l'entreprise de Marcel Dassault, donnant naissance à Avions Marcel Dassault-Breguet Aviation (AMD-BA). Finalement, en 1990, l'entreprise adopta le nom de Dassault Aviation[28], mettant officiellement fin à l'appellation « Breguet ». Cependant, l'héritage laissé par Louis Breguet et ses collaborateurs perdure encore aujourd'hui, inscrivant son nom dans l'histoire de l'aviation comme l'un des plus grands pionniers de son époque.

---

[26] *En 1957, l'OTAN lança un programme pour doter ses forces d'un chasseur léger standardisé ; Breguet répondit à cet appel avec le Br.1001 Taon, conçu selon le cahier des charges de l'organisation.* Voir « LAMBERT, Arnaud, Breguet Br.1001 Taon », *Avions Légendaires*, [en ligne], 2009, Disponible sur https://www.avionslegendaires.net/avion-militaire/breguet-br-1001-taon/ (consulté le 27.04.2025).

[27] MAZURIER, Bruno, « *Le Concorde : mythique mais peu rentable* », *Le Parisien*, [en ligne], 2000, Disponible sur https://www.leparisien.fr/archives/le-concorde-mythique-mais-peu-rentable-26-07-2000-2001528530.php (consulté le 27.04.2025).

[28] « *Biarritz – Histoire du site* », *Dassault Aviation*, [en ligne], Disponible sur https://www.dassault aviation.com/fr/passion/histoire/sites/biarritz/ (consulté le 27.04.2025).

1.B. Breguet XIX : Un Héritage de l'Aviation Militaire et des Records Aériens[29]

La Première et la Seconde Guerre mondiale ont ravagé l'Europe et causé des pertes humaines considérables. Ironiquement, ces conflits ont également accéléré le développement des sciences et des technologies, notamment dans le domaine de l'aéronautique. Le ciel est devenu un champ de bataille stratégique où les technologies les plus avancées s'affrontèrent pour la conquête de la supériorité aérienne et l'ouverture de nouvelles routes. L'expérience acquise durant la Première Guerre mondiale a ainsi conduit à la nécessité de développer des bombardiers stratégiques capables de voler plus haut et de transporter plus de charges explosives, ainsi que des avions de reconnaissance de longue durée pour assurer la surveillance des lignes ennemies.

Le Breguet 19 a été conçu dans l'immédiate après-guerre, à une époque marquée par une relative paix avant le déclenchement de la Seconde Guerre mondiale. Durant cette période, les pilotes étaient soit des héros de guerre, soit des pionniers de l'aviation qui cherchaient à établir de nouveaux records de distance et de durée de vol[30]. Le développement d'avions adaptés à ces défis est ainsi devenu un objectif clé pour l'industrie aéronautique.

Figure 12, Appareil de reconnaissance métallique de Breguet (le prototype du Breguet 19), en bas : [photographie de presse], tiré de L'Aérophile, [en ligne], 1921, n°1-2, p. 357

Après le succès du Breguet 14, produit à plus de 8,500 exemplaires à partir de 1917, Breguet a entrepris la conception du Breguet 19 afin d'améliorer les performances de son prédécesseur. L'appareil a été conçu par Marcel Vuillerme[31], ingénieur en chef de la société Breguet. Lors du Salon de l'Aéronautique de 1921, le prototype du Breguet 19 (*Figure12*) est dévoilé pour la première fois. Il était alors équipé d'une hélice quadri-pale et d'un moteur Bugatti composé de deux moteurs 8 cylindres fusionnés en un moteur 16 cylindres. Il adoptait une architecture sesquiplane[32], caractérisée par une aile inférieure beaucoup plus petite que l'aile supérieure.

---

[29] DEGRDIND Alain, *Op. cit*, p.17

[30] Le Breguet 19 n°1685 a réalisé ;
27 septembre 1926 : vol Paris-Assouan - 4 050 km,
28 octobre 1926 : vol Paris-Jask - 5 396 km ,
4 juin 1927 : vol Paris-Tagilsk - 4 640 km,
15 octobre 1927 : traversée du sud de l'Atlantique,
10 octobre 1927 – 14 avril 1928 : tour du monde.

[31] « *Dans la légion d'honneur », L'Aérophile*. [en ligne],1920, n°23-24, p.365, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6551880w/f1.item# (consulté le 27.04.2025).

[32] Le terme "sesquiplan", dérivé du latin *sesqui* signifiant "un et demi", désigne un avion biplan dont l'aile inférieure possède une surface représentant la moitié, voire moins, de celle de l'aile supérieure. Source : SPICK Mike, GREEN William et SWANBOROUGH Gordon, « *Illustrated Anatomy of the World's Fighters*« , Zenith Imprint, 2001, 256, p. 38, cité via Wikipédia [version française], (consulté le 06.04.2025).

Le premier vol d'essai a été réalisé en mai (ou mars) 1922 par le pilote Robert Thiery, ce qui a permis d'apporter des modifications aux spécifications de l'appareil. Une nouvelle version avec une hélice bipale et un moteur Renault a finalement été retenue. Après le vol inaugural, 11 appareils de pré-série ont été fabriqués, et les caractéristiques définitives du modèle de série ont été établies. Le Breguet 19 a ensuite été produit en grande quantité, tout en conservant une architecture similaire à celle du Breguet 14.

L'un des éléments les plus innovants du Breguet 19 est l'utilisation du duralumin pour la structure principale de l'appareil, à l'exception des ailes. Ce matériau, déjà utilisé sur le Breguet 14, a permis à l'entreprise d'obtenir un succès technologique et commercial. Avant le duralumin, l'aluminium pur était employé ; mais, bien que léger, il était trop malléable et fragile. Afin d'améliorer sa résistance, un alliage composé de 4 % de cuivre et 0,5 % de magnésium a été mis au point par Alfred Wilm au début du XXe siècle [33] . Ce matériau a été largement utilisé dans la construction aéronautique, notamment sur les dirigeables Zeppelin allemands (*Figure 13*) qui ont bombardé Londres pendant la Première Guerre mondiale[34].

Figure13, Atterrissage du « Zeppelin » à Lunéville, le 3 avril 1913, 1913 : [photographie], [en ligne]

Le Breguet 19 a acquis une renommée internationale en accomplissant plusieurs exploits, dont la traversée de l'Atlantique Sud, le vol Paris-Chine et la liaison Europe-Asie.

Entre 1923 et 1933, il a été l'un des avions les plus utilisés par l'Armée de l'Air française, servant principalement comme avion de reconnaissance (A2) et bombardier (B2). Il a été déployé dans plusieurs unités aériennes, notamment le 11e Régiment (Metz), le 12e Régiment (Neustadt), le 32e Régiment (Dijon), le 33e Régiment (Mayence), le 34e Régiment (Le Bourget), le 35e Régiment (Lyon), ainsi que les groupes aériens d'Afrique du Nord et le 37e Régiment du Maroc[35].

Son succès ne s'est pas limité à la France. Le Breguet 19 a été exporté et utilisé par plusieurs pays tels que le Japon, la Belgique, la Pologne et l'Espagne. En 1925, les pilotes japonais ADE et KAWACHI ont réussi un vol aller-retour Tokyo-Paris à bord d'un Breguet

[33] *Ce matériau, sujet du thème 3 de la partie I, est le premier alliage d'aluminium utilisé en aéronautique. Il a été obtenu par Alfred Wilm en ajoutant une faible quantité de cuivre (≤ 4%), de magnésium (≤1%) et de manganèse (<1%) dans une base aluminium*. (HARDOUIN DUPARC O., *« Alfred Wilm et les débuts du Duralumin »,* Les Cahiers d'histoire de l'aluminium, n° 34, Institut pour l'histoire de l'aluminium, 2005, pp.63-77).

[34] KOSTER Roman, « *Zeppelin, Carl Berg et le développement d'alliages d'aluminium pour l'aviation allemande (1890-1930)* », *Cahiers d'histoire de l'aluminium*, 2013, n°50, p. 74.

[35]DEGRDIND Alain, *Op. cit*, p.17

Figure 14, « Japanese Pioneers Depart from Croydon Aerodrome » : [photographie de presse], tiré de Sporting and Dramatic News, [en ligne],1925

19[36](*Figure 14*). En 1926, les pilotes belges Medaets et Verhaegen ont rallié Bruxelles à Léopoldville (Congo belge)[37]. La production s'est élevée à environ 1 370 exemplaires en France, et environ 170 unités en Espagne, 146 en Belgique, ainsi que quelques unités fabriquées sous licence en Yougoslavie et au Japon, portant le total à 1 700-1 900 appareils[38].

Différentes variantes du Breguet 19 ont vu le jour pour s'adapter à divers rôles. Parmi celles-ci, on retrouve : B2 (bombardier). A2 (avion de reconnaissance), CN2 (avion de combat nocturne), 19TR Bidon,19TR Super Bidon (longue distance). GR (Grand Raid ou Grand Reconnaissance), un modèle destiné aux missions de reconnaissance à grande échelle, produit en nombre limité.

À partir de 1932, la série des Breguet 19 (*Figure 15*) a connu une évolution marquée par l'intégration de moteurs de plus en plus puissants. Le premier modèle de cette dernière génération, le Br 19.7, était équipé d'un moteur Hispano de 650 chevaux ; il fut notamment commandé à 50 exemplaires par la Turquie et produit également en Yougoslavie. Ensuite vint le Br 19.8, doté d'un moteur Gnôme-Rhône « *Mistral Major* » de 690 chevaux, puis, en 1934, le Br 19.9 fit son apparition avec un moteur Hispano 12 Y de 860 chevaux, devenant ainsi le plus puissant de la série. Ce dernier modèle rencontra un certain succès à l'international. Parallèlement, une version équipée d'un moteur Wright Cyclone fut aussi développé selon la même logique d'amélioration continue. Ces variantes tardives du Breguet 19 témoignent de l'effort ultime pour optimiser les performances de

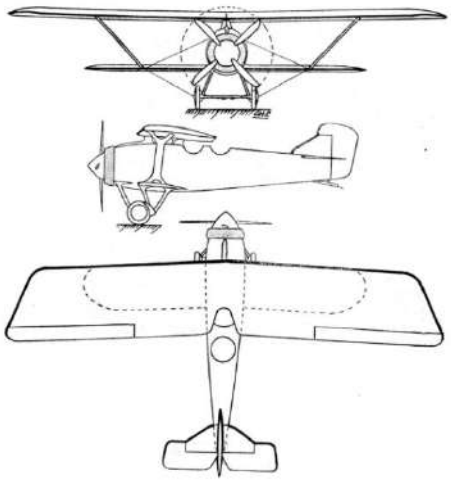


Figure 15, LÉMONON, E.H., LE SESQUIPLAN BRÉGUET 19 A 2 : [photographie de presse], tiré de Les Ailes, [en ligne], le 26 janv. N°1 ,1922, p.2.

[36] « *LA FIN DU RAID D'ABE ET DE KAWACHI ; Les deux aviateurs japonais qui ont fourni Tokio-Paris sont arrivés hier* », *Le Petit Journal*, [en ligne], 29 sept. 1925, p.1, Disponible sur https://www.retronews.fr/journal/le-petit-journal/29-septembre-1925/1/59e6d396-a42f-4e27-8d05-83bc13ecd233 (consulté le 27.04. 2025).

[37] DE LAFERETE . G, « *Une victoire aérienne franco-belge* », *L'Écho de Paris*, [en ligne], le 24.03.1926, p.1, Disponible sur https://www.retronews.fr/journal/lecho-de-paris/24-mars-1926/1/0527cfb4-055b-40e5-805a-9f26f308ba56 (consulté le 27.04.2025).

[38]REVEIHAC J.B., « *COSTES Dieudonné* », *Association des Amis du Musée de l'Air, Pégase : revue de l'Association des Amis du Musée de l'Air*, [en ligne], 1977 n° 77, p.19, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033/f11.item (consulté le 27.04.2025).

l'appareil, marquant ainsi la phase finale de son développement avant le passage à une nouvelle génération d'avions[39].

Son importance historique ne réside pas seulement dans son usage militaire, mais aussi dans son rôle dans l'aviation de records. Entre 1923 et 1930, le Breguet 19 a battu plusieurs records de vol longue distance. L'un des exploits les plus marquants a été réalisé entre 1927 et 1928, lorsque Dieudonné Costes et Joseph Le Brix ont utilisé un Breguet 19 GR 3500 pour effectuer la première traversée de l'Atlantique Sud sans escale et un tour du monde en 187 jours.

De plus, en 1930, Costes et Maurice Bellonte ont réalisé la première traversée de l'Atlantique Nord sans escale (Paris-New-York) à bord du Breguet 19 TR « *Point d'Interrogation* » (*Figure 16*), marquant une avancée majeure dans l'histoire de l'aviation.

Ces records ont été possibles grâce aux travaux de Louis Breguet, qui a développé une formule de portée de vol, qui a ensuite influencé la conception des avions de longue distance.

Le Breguet 19 ne fut pas seulement un avion militaire performant, mais un symbole de défi et d'accomplissement, gravé dans l'histoire de l'aéronautique mondiale. Grâce à sa polyvalence et à ses succès, il demeure un élément clé du patrimoine aéronautique français et un témoignage du savoir-faire industriel de l'époque.

Figure16, ©Memorial-flight, Breguet 19 « Super Bidon » TR : [photographie], [en ligne],

[39] DEGRDIND Alain, *Op. cit*, p.18

1.C. Breguet XIX, GR n° 1685

1.C.1. Breguet 19 GR (Grand Raid)

Le modèle Breguet 19 GR (Grand Raid), apparu en 1926, est une version modifiée du Breguet 19 conçue pour les vols longue distance, élargissant ainsi le concept de "Grande Reconnaissance" (reconnaissance à longue portée). Ce modèle a vu l'augmentation significative de la capacité des réservoirs de carburant du modèle A2 standard, et trois appareils furent sélectionnés pour être modifiés[40] : les numéros de série 1685, 1686 et 1687.

Ces avions ont subi plusieurs modifications majeures. L'envergure des ailes supérieures a été augmentée de deux mètres, la structure a été renforcée et la taille des gouvernes de queue a été agrandie. L'armement fut retiré et le poste de pilotage déplacé vers l'arrière afin de permettre l'installation d'un grand réservoir principal de 2 250 litres ainsi que de deux réservoirs auxiliaires de 350 litres chacun. Ces modifications ont optimisé leurs capacités de vol longue distance. Trois versions différentes de l'appareil furent équipées de moteurs distincts [41] : un premier modèle équipé d'un moteur W12 Farman de 520 ch(*Figure 17*), un second avec un moteur V12 Renault de 550 ch et un dernier avec un moteur V12 Hispano-Suiza de 500 à 550 ch. Sur environ 2 000 unités produites de la série Breguet 19, seuls trois appareils furent sélectionnés pour être transformés en versions Grand Raid.

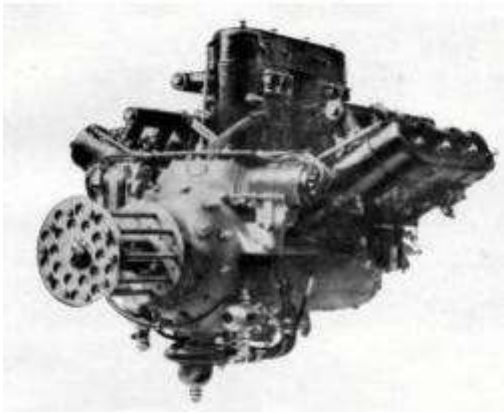


Figure 17, Catalogue constructeur, Moteur Farman 12 Wers de 520 ch (1926), à grande cylindrée et couple élevé, mais à forte consommation : [photographie], tiré de « Vers les sommets. Breguet 1919–1939 », [en ligne], 2008, p. 12

Le Breguet 19 GR est rapidement devenu l'un des avions les plus emblématiques des années 1920 en termes de records de vol longue distance. Le 31 août 1926, les pilotes français Weiser et Challe prirent leur envol à bord d'un Breguet 19 GR équipé d'un moteur Farman, décollant du Bourget en direction du golfe Persique. Ils parcoururent 5 174 km en 27 heures et 15 minutes, établissant ainsi un record mondial de distance en vol[42]. Trois ans plus tard, le même avion, piloté cette fois par Burtin, établit un nouveau record

---

[40] HARTMANN, Gérard, *Vers les sommets : Breguet 1919-1939*, [en ligne], 2008, p. 12. Disponible sur https://www.hydroretro.net/etudegh/vers_les_sommets_breguet_1918-1939.pdf (Consulté le 06.04. 2025).

[41] *Ibidem*.

[42] *« LE RECORD DU MONDE DE LA DISTANCE EN AVION ; Premières photographies du raid du lieutenant Challe et du capitaine Weiser prises à Bender-Abbas, où atterrirent les aviateurs, et à Téhéran, où ils firent escale au retour ». Excelsior*, [en ligne], le 19.09.1926, p. 1, Disponible sur https://www.retronews.fr/journal/excelsior/19-septembre-1926/1/71ff6c71-7423-4be3-a62c-4896b040eaf0 (Consulté le 06.04.2025).

mondial d'altitude en atteignant 9 374 mètres avec 500 kg de charge utile. Il réitéra l'exploit en atteignant 8 089 mètres avec une charge plus lourde de 1 000 kg, démontrant ainsi une nouvelle fois les performances exceptionnelles de l'appareil[43].

L'année 1926 fut marquée par plusieurs autres exploits notables des Breguet 19 GR, notamment ceux de la version Hispano-Suiza. En juillet, les pilotes Girier et Dordilly effectuèrent un vol de 4 716 km entre la France et Omsk, en Sibérie, testant ainsi l'endurance de l'appareil[44](*Figure 18*). En septembre, Costes et de Vitrolles réalisèrent un vol de 4 100 km entre Paris et Assouan, en Égypte. Un mois plus tard, Costes et Rignot réussirent un vol de 5 396 km, établissant ainsi un nouveau record de distance[45](*Figure19*). Toujours en septembre 1926, les frères Arrachart tentèrent un vol sans escale entre Paris et Tokyo à bord d'un Breguet 19 GR motorisé par Renault. Malheureusement, des vents violents et des conditions météorologiques défavorables les contraignirent à atterrir en urgence à Nazepetrovsk en Russie, après un vol de 3 800 km[46].

Figure 18, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, Le Bourget : retour du Capitaine Girier et Lieutenant Dordilly qui battent le record du monde de distance Paris-Omsk : [photographie de presse], [en ligne]

[43] *« BURTIN, SUR UN BREGUET 19- a battu un record du monde d'attitude », L'Ère nouvelle*, [en ligne], 28 juil. 1929, p.4, Disponible sur https://www.retronews.fr/journal/lere-nouvelle/28-juillet-1929/4/0566bd72-30b5-415c-b685-e7bacbf4634b (Consulté le 06.04.2025).
[44] « *LE RECORD DU PLUS LONG VOL EST BATTU GIRIER ET DORDILLY ONT ATTERRI A OMSK (SIBÉRIE)* », *Le Petit Parisien*, [en ligne], le 16.07.1926, p.1, Disponible sur https://www.retronews.fr/journal/le-petit-parisien/16-juillet-1926/1/fe5e2ef0-1b48-4753-94b7-1b698c3ec4a9 (Consulté le 06.04.2025).
[45] « *COSTES ET RIGNOT SONT RENTRÉS HIER AU BOURGET* », *Le Petit Parisien,* [en ligne], le 12.11.1926, pp. 1, Disponible sur https://www.retronews.fr/journal/le-petit-parisien/12-novembre-1926/1/f7e51886-5fb5-41ec-b3d2-f232a76df4ec (Consulté le 06.04.2025).
[46] « *POUR LE RECORD DU MONDE DE DISTANCE LE MAUVAIS TEMPS A OBLIGÉ LES FRÈRES ARRACHART A ATTERRIR EN RUSSIE ORIENTALE* », *Le Petit Journal*, [en ligne], le 30.09.1926, p.1, Disponible sur https://www.retronews.fr/journal/le-petit-journal/30-septembre-1926/1/44115f95-9513-430a-97dc-50b3bdc56a3b (Consulté le 06.04.2025).

Figure 19, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, Le Bourget, 1927 : Dieudonné Costes et Georges Alexandre Rignot près de leur Breguet 19, avant leur tentative de record de distance, Omsk : [photographie de presse], [en ligne], 1927

Cependant, les exploits les plus marquants du Breguet 19 GR eurent lieu entre 1927 et 1928. Le 10 octobre 1927, Dieudonné Costes et Joseph Le Brix entreprirent un tour du monde à bord d'un Breguet 19 GR motorisé par un Hispano-Suiza, baptisé « *Nungesser et Coli* ». Le 11 octobre, ils atteignirent Saint-Louis du Sénégal, avant de traverser l'Atlantique Sud sans escale et d'atterrir à Natal, au Brésil, le 14 octobre. Après un périple de 43 étapes, ils atteignirent New-York le 11 février 1928, avant de retourner en France le 14 avril 1928, après un voyage de 57,147 km et 187 jours de vol. Cet exploit permit au Breguet 19 GR de s'imposer comme bien plus qu'un simple avion militaire de reconnaissance, devenant un pionnier des vols d'exploration et des traversées transcontinentales.

Le Breguet 19 GR numéro 1685, livré par les usines Breguet le 15 juin 1926, fut l'un des trois exemplaires modifiés pour établir des records de distance. Initialement équipé d'un moteur Hispano-Suiza de 500 ch, il fut ensuite équipé d'un moteur Hispano-Suiza de 600 ch afin de réaliser la traversée de l'Atlantique Sud. Le 14 juillet 1926, le capitaine Girier et le lieutenant Dordilly (*Figure 20*) prirent les commandes de cet avion et décollèrent du Bourget pour un vol de 4 700 km en 29 heures, atteignant ainsi Omsk en Sibérie. Ils établirent ainsi un nouveau record de distance en ligne droite, surpassant le précédent record de 4 305 km réalisé en juin 1926 par les frères Arrachart (*Figure 21*) à bord d'un Potez 28 motorisé par Renault.

Le Breguet 19 A2 fut ensuite modifié pour porter la capacité des réservoirs à 2 850 litres, ce qui permit d'augmenter son autonomie jusqu'à 6 000 km. L'appareil démontra ses performances exceptionnelles même dans des conditions météorologiques extrêmes, ouvrant ainsi la voie aux futurs vols longue distance et aux tentatives de traversée de l'Atlantique. Le 10 janvier 1927, il fut officiellement renommé « *Nungesser et Coli* » et

devint l'avion destiné au tour du monde, marquant ainsi un tournant dans l'histoire de l'aviation.

Figure 20, , MEYNIEL, Stéphanie, Le capitaine Girier et le lieutenant Dordilly en quête d'un record de distance au 14 juillet 1926 : [photographie de presse], tiré d'Air-journal, [en ligne], 2021

Figure 21, MEYNIEL, Stéphanie, Paul et Ludovic Arrachart réalisent un vol record au 27 juin 1926 : [photographie de presse], tiré d'Air-journal, [en ligne], 2023

1.C.2. Breguet XIX GR, N°1685 « *Nungesser et Coli* »

Le Breguet 19 GR numéro 1685, livré par les usines Breguet le 15 juin 1926, fut l'un des trois exemplaires modifiés pour établir des records de distance. Initialement équipé d'un moteur Hispano-Suiza de 500 ch, il fut ensuite équipé d'un moteur Hispano-Suiza de 600 ch afin de réaliser la traversée de l'Atlantique Sud. Le 14 juillet 1926, le capitaine Girier et le lieutenant Dordilly prirent les commandes de cet avion et décollèrent du Bourget pour un vol de 4 700 km en 29 heures, atteignant ainsi Omsk en Sibérie. Ils établirent ainsi un nouveau record de distance en ligne droite, surpassant le précédent record de 4 305 km réalisé en juin 1926 par les frères Arrachart à bord d'un Potez 28 motorisé par Renault.

Le Breguet 19 A2 fut ensuite modifié pour porter la capacité des réservoirs à 2 850 litres, ce qui permit d'augmenter son autonomie jusqu'à 6 000 km. L'appareil démontra ses performances exceptionnelles même dans des conditions météorologiques extrêmes, ouvrant ainsi la voie aux futurs vols longue distance et aux tentatives de traversée de l'Atlantique. Le 10 octobre 1927, il fut officiellement renommé « *Nungesser et Coli* » et devint l'avion destiné au tour du monde, marquant ainsi un tournant dans l'histoire de l'aviation.

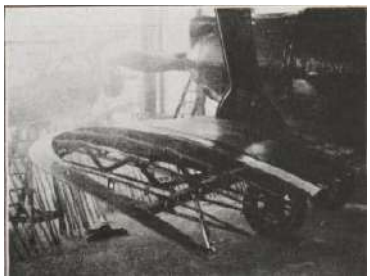


Figure 22, HIRSCHAUER, L., Le BREGUET, photographié après le grand voyage, dans les ateliers de Villacoublay : [photographie de presse], tiré de L'Aéronautique, [en ligne], 1928, n°108, p. 152

En 1932, le Breguet 19 GR numéro 1685 fut offert au musée de l'Air et de l'Espace par Louis Breguet. Il est aujourd'hui

conservé dans l'état dans lequel il était lors de son retour triomphal en France le 14 avril 1928. Son aile inférieure droite, endommagée à l'atterrissage à Marignane, fut raccourcie d'environ 40 cm (*Figure 22*) et réparée de manière temporaire, tandis que l'aile inférieure gauche a été partiellement dépourvue de son revêtement en toile avant d'être exposée.

Figure 23, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, la cérémonie de donation du Breguet 19 GR n°1685 par Louis Breguet au Musée de l'Air en 1932, 1932, © Yonghan Choi.

Le Breguet 19 GR demeure un témoin emblématique de l'histoire aéronautique française. Conçu initialement comme un avion de reconnaissance militaire, il s'est imposé comme un pionnier des vols d'exploration et des grandes traversées intercontinentales. Véritable chef-d'œuvre de l'ingénierie aéronautique de son époque, il incarne l'innovation et l'ambition de la France dans le domaine de l'aviation et reste l'un des symboles les plus marquants de la conquête des airs au XXe siècle.

1.C.3 . Vol autour du monde, Traverser l'Atlantique Sud

L'année 1927 marque un tournant décisif dans l'histoire de l'aviation française. Cette année-là, Charles Lindbergh (*Figure 24*)[47] et d'autres aviateurs américains, réussissent la traversée de l'Atlantique de l'Amérique vers l'Europe. Cet exploit stimule fortement la concurrence aéronautique en France, qui, en tant que puissance aérienne majeure en Europe, ressent le besoin de répondre à ce défi et de réaffirmer sa suprématie technologique et industrielle dans le domaine aéronautique.

[47] En 1927, il réalisa le premier vol sans escale entre New York et Paris à bord du *Spirit of St. Louis*, conçu pour remporter le prix Orteig de 25 000 dollars.

Figure 24, Agence Rol, Charles Lindbergh devant le Spirit of St. Louis, probablement lors de son arrivée dans le Pacifique : [photographie de presse], [en ligne],1927.

Parallèlement, la disparition tragique de Nungesser et Coli lors de leur tentative de traversée de l'Atlantique Nord accentue cette nécessité de relever un nouveau défi. Dans ce contexte, Dieudonné Costes, pilote d'essai en chef de Breguet, décide d'entreprendre la traversée de l'Atlantique dans le sens inverse, de l'Europe vers le continent américain. Son objectif ne se limite pas à battre un record aérien : il s'agit également de prouver au monde entier l'excellence de l'industrie aéronautique française et de restaurer le prestige de la nation. Pour mener à bien cette mission, Louis Breguet met à disposition un appareil spécialement conçu pour les longs trajets : le Breguet 19, numéro de série 1685. Joseph Le Brix (*Figure 25*), lieutenant de vaisseau et navigateur expérimenté, est nommé copilote. Ensemble, ils vont former un duo légendaire dans l'histoire de l'aviation française.

Figure 25, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, Costes et Le Brix en 1927 : [photographie de presse], [en ligne],1927

Avant d'entreprendre leur tour du monde, l'appareil est modifié pour répondre aux exigences des vols longue distance, donnant naissance au Breguet 19 GR 3500[48]. Parmi les principales modifications apportées, on note l'ajout de réservoirs supplémentaires à l'intérieur des ailes pour augmenter l'autonomie en carburant, l'installation de poches d'air (dispositifs de flottaison) à l'intérieur du fuselage permettant une meilleure flottabilité en cas d'amerrissage forcé, l'équipement d'un ski de flottaison spécial conçu pour faciliter un éventuel amerrissage, ainsi qu'un système d'évacuation rapide du carburant destiné à alléger l'appareil en cas d'urgence. Lors du décollage, le poids total de l'appareil atteint 4 270 kg, dont 2 050 kg de carburant.

[48] La désignation GR 3000 faisait référence à un bidon de carburant de 3000 litres, qui fut modifié en un bidon de 3500 litres pour le projet de tour du monde, donnant ainsi naissance au nom GR 3500.

Le 10 octobre 1927 à 7 heures du matin, Costes et Le Brix quittent l'aéroport du Bourget, embarquant 600 kg de courrier ainsi que des provisions et du matériel de survie. Leur périple dure 187 jours, parcourant au total 57 410 km et réalisant 43 escales, pour une durée cumulée de 342 heures de vol. Le premier défi majeur de leur tour du monde est la traversée de l'Atlantique Sud sans escale. À cette époque, après l'arrivée triomphale de Lindbergh à Paris, l'industrie aéronautique française s'est retrouvée reléguée au second plan. Ce vol constitue donc un défi stratégique et un symbole de revanche pour la France.

Figure 26, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, le Breguet XIX GR n°1685 « Nungesser – Coli » prêt au départ pour un tour du monde depuis le Bourget : [photographie de presse], 1927, Collection privée ©René Brioux / Régis Jacquemin.

Après 17 heures de vol, Costes et Le Brix atteignent Natal, au Brésil, en partant de Saint-Louis du Sénégal, réussissant ainsi là où Nungesser et Coli avaient échoué quelques mois plus tôt. Par cet exploit, ils concrétisent enfin la traversée de l'Atlantique Sud sous les couleurs françaises[49], réaffirmant ainsi le savoir-faire de l'aviation hexagonale. Leur succès constitue une réponse symbolique aux avancées américaines et marque un jalon historique dans l'aviation mondiale.

L'exploit du Breguet 19 GR 3500 dépasse largement la simple performance aéronautique. Ce tour du monde joue un rôle clé dans l'ouverture de nouvelles routes aériennes et dans le renforcement des relations diplomatiques internationales. Dans leur ouvrage « *Notre tour de la Terre* », Costes et Le Brix relatent l'importance diplomatique et symbolique de leur voyage. À chaque escale, ils rencontrent des officiels gouvernementaux, des diplomates et même des chefs d'État, mettant en

Figure 27, FIELD, Mitchel, « Long Island, le 11 février 1928 : Le Brix descend du « Nungesser-Coli », tandis que Costes range ses effets personnels » : [photographie de presse], 1928, © Associated Press New York / graphisme : Éditions Latérales.

[49] MORTANE, *Jacques, Les Vainqueurs de l'Atlantique Sud : Costes et Le Brix, récits recueillis par Jacques Mortane*, Bernardin-Béchet, 1928, p. 36

avant le rayonnement technologique et industriel de la France.

Outre l'aspect diplomatique (*Figure 28*), leur voyage permet également de renforcer les liens avec les expatriés français à travers le monde. À chaque étape, ils se rendent auprès des communautés françaises locales, distribuant des lettres et journaux acheminés depuis la métropole, jouant ainsi un rôle clé dans le développement d'un réseau de communication international.

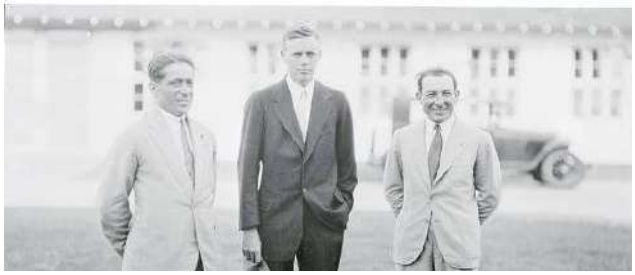


Figure 28, © Bettmann Archive, « Portrait of Charles Lindbergh with French Aviators. De gauche à droite : Dieudonné Costes, Charles Lindbergh et Joseph Le Brix, réunis à France Field (Zone du Canal, Panama). Les vainqueurs respectifs de l'Atlantique Sud et de l'Atlantique Nord » : [photographie de presse], [s.d.].

Le 14 avril 1928 à 13h10, Costes et Le Brix atterrissent à Marseille-Marignane, bouclant ainsi leur périple autour du globe. Cependant, l'état du terrain provoque une avarie sur l'aile inférieure droite de l'appareil. Mais cet incident ne les arrête pas : ils rééquilibrent l'appareil en retirant le revêtement de l'aile opposée et poursuivent leur vol. À 16 heures, ils survolent Lyon, et à 18h15, leur Breguet 19 se pose enfin au Bourget, mettant un point final à cette extraordinaire aventure. Une foule immense les accueille en héros, leur offrant un triomphe digne des plus grandes légendes de l'aviation.

Le tour du monde de Costes et Le Brix n'a pas seulement été une prouesse technologique, mais aussi un événement déterminant pour la diplomatie et l'aviation française. En réalisant un vol total de 57 410 km en 342 heures, ils inscrivent leur nom parmi les plus grands explorateurs du ciel. Ce voyage permet à la France de réaffirmer sa place sur la scène aéronautique mondiale et ouvre la voie à de futurs développements dans le domaine des vols longue distance. Aujourd'hui encore, leur Breguet 19 No.1685 trône dans les collections du musée de l'Air, rappelant l'une des plus grandes aventures de l'histoire de l'aviation. Un témoignage intemporel du courage et de l'ingéniosité humaine.

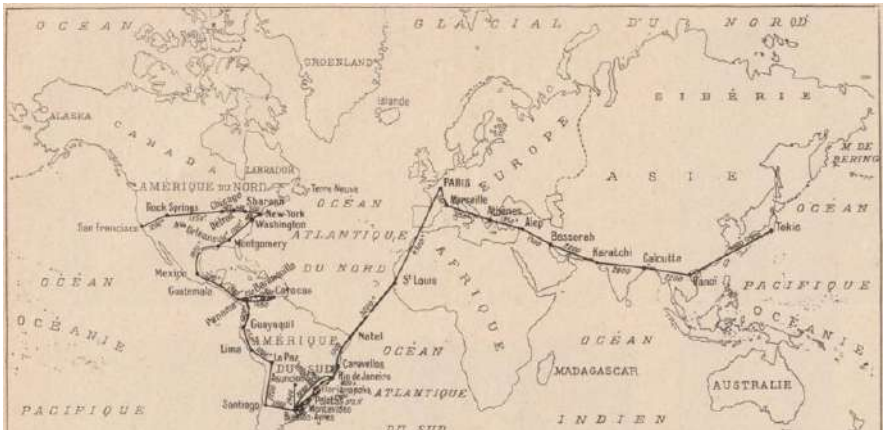


Figure 29, HIRSCHAUER, L., « le tour du monde de Costes et Le Brix » : [illustration], tiré de L'Aérophile, [en ligne], 1928, n°152, p. 134.

1.C.4. Œuvre héroïque (« *Oiseau blanc* » - Nungesser et Coli)

Avant d'entreprendre la restauration de cet objet, il est essentiel de procéder à une analyse approfondie de la valeur historique, technologique et symbolique de cet élément d'aile. Conçu par la société Louis Breguet comme successeur du Breguet 14, le Breguet 19 représente l'un des fleurons de l'industrie aéronautique française de l'entre-deux-guerres. Il s'est rapidement imposé comme un modèle emblématique, tant sur le plan commercial que technologique. Ce type d'aéronef a notamment marqué la période de paix entre les deux guerres mondiales par l'établissement de nombreux records, attirant ainsi l'attention internationale.

Parmi les différentes variantes, le Breguet 19 GR, numéro 1685, dit « *Nungesser et Coli* », occupe une place singulière dans l'histoire de l'aviation. Il est associé à un exploit réalisé par les aviateurs Dieudonné Costes et Joseph Le Brix, auteurs de la première traversée de l'Atlantique Sud sans escale. Leur vol transatlantique, reliant Rio de Janeiro à New-York, suivi d'un périple à travers l'Amérique, l'Asie et l'Indochine jusqu'au retour en France au Bourget, constitue un jalon majeur de l'histoire aéronautique.

Dans cette perspective, la restauration de cet avion ne saurait se réduire à une simple opération technique ; elle se justifie pleinement par la portée historique, patrimoniale et culturelle de l'appareil. Sans son existence, il serait légitime de s'interroger sur l'impact qu'aurait eu l'aviation française – et plus largement mondiale – dans le développement des routes aériennes, des innovations technologiques et même des représentations littéraires du vol. Au-delà de ses performances mécaniques, cet avion se distingue par la puissance symbolique de son nom, qui mérite une lecture approfondie.

En effet, l'appellation « *Nungesser et Coli* » ne se limite pas à une désignation fonctionnelle. Contrairement à la nomenclature habituelle des avions – généralement identifiés par le constructeur ou une numérotation technique –, ce nom constitue un hommage explicite à deux figures héroïques de l'aviation française, Charles Nungesser et François Coli, célèbres pour leur tentative de traversée de l'Atlantique Nord en 1927 à bord de L'Oiseau Blanc (*Figure 30*).

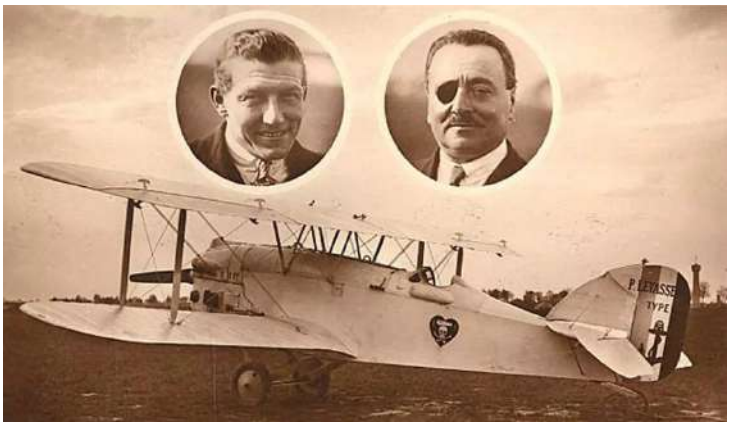


Figure 30, © Ministère des Armées, « Photo d'archive de Charles Nungesser et François Coli » : [photographie], tiré de LECAPLAIN, Philippe, « Aéronautique : dernières informations sur l'Oiseau Blanc », RFI, [en ligne], 2015

Bien que leur mission ait échoué, leur disparition en mer n'a pas été perçue comme un échec, mais au contraire comme un acte fondateur, incarnant l'esprit de conquête et de progrès. L'hommage rendu par Costes et Le Brix à ces pionniers dans leur propre récit témoigne de l'héritage moral et historique transmis à travers les générations. Le nom « *Nungesser et Coli* », attribué au Breguet 19, s'inscrit donc dans une logique mémorielle forte, conférant au gouvernail de direction de cet avion une valeur dépassant largement sa seule matérialité.

Par conséquent, ce modèle ne saurait être considéré uniquement comme une réussite technologique : il joue un rôle essentiel dans la construction narrative de l'histoire de l'aviation française, et sa restauration participe d'une entreprise de transmission mémorielle et d'appropriation culturelle. Cette dimension symbolique est renforcée par les valeurs de fraternité et de camaraderie portées par ces aviateurs, qui incarnent les idéaux de toute une génération.

Figure 31. « Nungesser et Coli : à gauche, Charles Nungesser ; à droite, François Coli, aviateurs français », [s.d.], © Collection Archives Larousse.

Pour mieux comprendre la signification de cette appellation, il convient de rappeler brièvement les parcours de Charles Nungesser et François Coli. Le premier s'est illustré durant la Grande Guerre par ses 36 victoires aériennes, son emblème redouté – un cœur noir frappé d'un crâne et d'un cercueil –, et son courage reconnu par la Légion d'honneur. Malgré de multiples blessures, il a toujours repris le combat. Après la guerre, il participe activement à la formation de nouveaux pilotes à Orly et prépare, avec Coli, une tentative ambitieuse de traversée transatlantique.

François Coli, lui aussi décoré de la Légion d'honneur et de nombreuses autres distinctions, continue à voler malgré une perte de vision d'un œil. Après plusieurs exploits, dont la traversée de la Méditerranée en 1919 avec Henri Roget et une tentative de vol sans escale entre Villacoublay et Dakar[50], il devient l'un des principaux candidats au Prix Orteig[51], qui promettait une récompense à l'équipage capable de relier Paris à New-York sans

[50] MEYNIEL Stéphanie, « *Le 26 janvier 1919 dans le ciel : Double traversée aérienne de la mer Méditerranée par Roget et Coli* », [en ligne], le 26.01.2015, Disponible sur https://www.air-journal.fr/2015-01-26-le-26-janvier-1919-dans-le-ciel-double-traversee-aerienne-de-la-mer-mediterranee-par-roget-et-coli-5131706.html (Consulté le 06.04.2025).

[51] Le prix Orteig, créé en 1919, offrait 25 000 USD au premier vol sans escale entre New York et Paris,

escale. Ce projet, entrepris avec Nungesser, s'est malheureusement soldé par leur disparition en mai 1927[52], sans qu'aucune trace définitive de l'appareil ne soit retrouvée.

Quelques jours après leur disparition, Charles Lindbergh accomplit la traversée dans le sens inverse. Ce succès immédiat replace Nungesser et Coli au cœur de l'attention publique comme les véritables précurseurs de cette épopée aérienne. Lindbergh lui-même rendra hommage à leurs efforts, reconnaissant que son exploit s'inscrivait dans la continuité de leur rêve.

Dès lors, le nom « *Nungesser et Coli* » attribué au Breguet 19 dépasse largement une simple dénomination commémorative. Il s'agit d'un symbole de courage, d'innovation et de mémoire, inscrit dans l'histoire aéronautique nationale. La restauration de cet avion ne se limite donc pas à une opération de conservation matérielle ; elle revêt une signification académique, culturelle et mémorielle, visant à transmettre un héritage aux générations futures, tout en célébrant l'évolution de l'aviation française.

L'analyse approfondie du Breguet 19 GR n°1685 « *Nungesser et Coli* » a permis de mettre en lumière la complexité historique, technologique et symbolique de cet appareil. Loin d'être un simple avion de reconnaissance militaire, il incarne une convergence remarquable entre prouesse technique, ambition nationale et mémoire collective. Son rôle dans l'ouverture des grandes routes aériennes, sa participation aux records internationaux de distance, ainsi que son association à des figures emblématiques comme Dieudonné Costes et Joseph Le Brix, en font un véritable jalon dans l'histoire de l'aviation française et mondiale.

Le nom même de « *Nungesser et Coli* » (*Figure 32*), attribué à l'appareil, ne relève pas d'une simple dénomination honorifique : il porte en lui une charge mémorielle puissante, en hommage aux pionniers disparus dans leur quête de traversée transatlantique. Ce choix d'appellation illustre la manière dont un objet technique peut se transformer en vecteur narratif, en témoin matériel d'une époque, et en support symbolique de valeurs collectives telles que le courage, l'innovation et le dépassement de soi.

Figure 32, FIELD, Mitchel, « Long Island, le 11 février 1928 : Le Brix descend du « Nungesser-Coli », tandis que Costes range ses effets personnels » : [photographie de presse], 1928, © Associated Press New York / graphisme : Éditions Latérales.

Ainsi, l'étude de ce modèle particulier du Breguet 19 ne se limite pas à une analyse fonctionnelle de ses caractéristiques mécaniques ou aérodynamiques. Elle invite à une lecture élargie de l'objet patrimonial, intégrant à la fois son contexte de conception, ses usages, les récits qui l'ont accompagné et la manière dont il a été perçu et conservé dans le temps. Cette approche globale, à la croisée de l'histoire, de la technique et de la mémoire,

[52]M.B, *« A bord de Nungesser et Coli tentaient la première traversée de* l'Atlantique » *La Croix*, [en ligne], le 08.05.1952, pp.3, Disponible sur https://www.retronews.fr/journal/la-croix/08-mai-1952/3/5620718d-efc7-47c5-9a62-cdd1ea081460 (Consulté le 06.04.2025).

constitue une base essentielle pour aborder, dans les chapitres suivants, les analyses structurelles et matérielles de l'objet, ainsi que les réflexions sur les principes de conservation-restauration à lui appliquer.

En ce sens, le Breguet 19 GR n°1685 se présente comme un objet-clé pour penser la restauration non seulement comme une opération matérielle, mais aussi comme une démarche intellectuelle, éthique et culturelle visant à transmettre un héritage riche de significations aux générations futures.

Chapitre 2 : Etude technique et histoire matérielle

Introduction

Dans ce chapitre, nous analyserons les éléments constituant l'objet d'étude sous les angles historique et matériels, afin de les reconsidérer dans une perspective de conservation-restauration. L'objectif est non seulement de documenter l'état actuel de l'objet, mais aussi de comprendre en profondeur les caractéristiques intrinsèques des matériaux et leurs processus de dégradation, afin de fournir une base scientifique solide pour l'élaboration de futures stratégies de conservation et de restauration.

L'objet étudié dans cette recherche est la toile du gouvernail de direction, qui était autrefois solidement fixée sur une structure en duralumin. Ce chapitre vise donc à expliquer les principaux éléments qui composent les ailes et le gouvernail de direction, ainsi que les fonctions spécifiques de chacun de ces éléments. En analysant le processus de fabrication des ailes, il s'agira d'approfondir la compréhension de l'objet étudié et d'examiner en profondeur la valeur technologique de l'objet, en évaluant les contraintes mécaniques et les facteurs externes auxquels la toile a été soumise durant le vol, afin de mieux comprendre leur impact sur son état actuel.

La caractéristique la plus importante de cette toile réside dans le fait que, contrairement à une œuvre picturale traditionnelle, elle était partie intégrante d'un avion réel ayant volé dans le ciel. Ainsi, bien que les premières approches aient envisagé les méthodologies de conservation et de restauration des œuvres peintes, l'influence des conditions environnementales liées au vol ainsi que les contraintes physiques dues à son utilisation ont révélé une différence fondamentale entre cette toile et une peinture traditionnelle.

Dans cette optique, ce chapitre se focalisera en particulier sur l'étude des procédés techniques utilisés à chaque étape de la fabrication et de leur rôle dans la construction de l'avion. Ces informations seront ensuite confrontées aux observations visuelles de l'objet afin de mieux comprendre les caractéristiques structurelles des ailes et du gouvernail. L'objectif est d'identifier comment la toile était initialement fixée et utilisée dans sa structure d'origine, et d'analyser les transformations matérielles et les processus de dégradation qui ont eu lieu avec le temps.

2.A. La dérive d'avion

Afin de comprendre précisément les ailes d'un avion, des illustrations explicatives détaillant leur nomenclature et leur structure ont été jointes. En particulier, la compréhension du gouvernail de direction nécessite une connaissance de base de la structure globale des ailes d'un aéronef. De nombreux éléments influencent la portance et la maniabilité d'un appareil, mais l'élément fondamental demeure l'aile. Néanmoins, nous nous concentrerons uniquement sur les aspects essentiels liés à notre recherche, plutôt que d'aborder l'ensemble des types d'ailes existants.

Les ailes d'un avion influencent sa stabilité et sa vitesse en fonction de leur forme, de leur position et de leur structure, chacune présentant des avantages et des inconvénients spécifiques. L'aile principale est la plus grande aile d'un avion et joue un rôle crucial dans la génération de la portance lors du vol. En fonction de son positionnement sur le fuselage, on distingue les configurations haut-ailes, milieu-ailes et bas-ailes. Par ailleurs, en fonction du nombre d'ailes, les avions peuvent être classés en monoplanes ou biplans[53](*Figure 33, 34*).

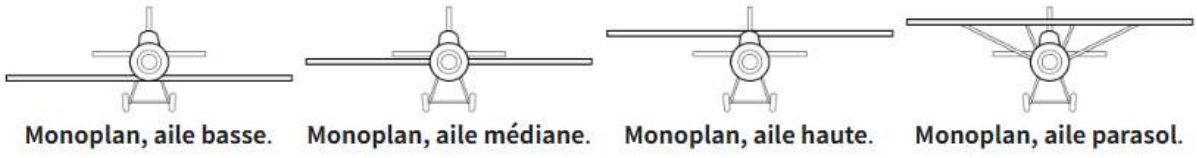


Figure 33, © Steelpillow, différentes configurations d'aile pour les monoplans (vue de face) : aile basse, aile médiane, aile haute et aile parasol, [illustration], tiré de Wikipédia, « Configuration d'aile », [en ligne], 2009© Steelpillow, différentes configurations d'aile pour les monoplans (vue de face) : aile basse, aile médiane, aile haute et aile parasol, [illustration], tiré de Wikipédia, « Configuration d'aile », [en ligne], 2009

Figure 34, © Steelpillow, configurations des aéronefs à ailes multiples : biplan, sesquiplan et sesquiplan inversé (vue de face), [illustration], tiré de Wikipédia, « Configuration d'aile », [en ligne], 2009

Outre les ailes principales, une autre structure essentielle au pilotage d'un avion est l'empennage. Situé généralement à l'arrière du fuselage, l'empennage est responsable de la stabilité et du contrôle de l'appareil. Cependant, certaines conceptions historiques se démarquent. Un exemple notable est le Flyer I des frères Wright, dont l'empennage était positionné à l'avant de l'appareil *(Figure 35*). Cette conception permettait une réactivité plus rapide aux commandes du pilote, mais elle avait également l'inconvénient de rendre l'appareil trop sensible et difficile à contrôler.

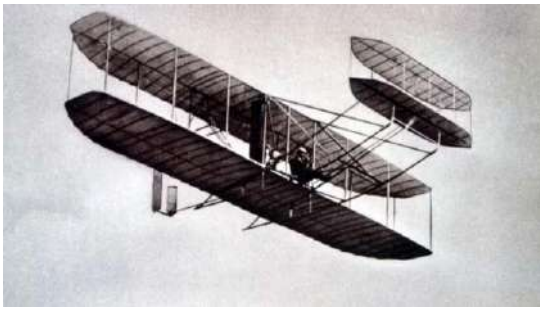


Figure 35, © maxppp, « Orville Wright à bord de l'avion des frères Wright », tiré de CHESNEL. Sandrine, « 17 décembre 1903, premier vol motorisé de l'histoire de l'aviation » : [photographie de presse], franceinfo, [en ligne], 2014

[53] LEE, Jae-pil, «Encyclopédie des armes - *Ailes et contrôle des aéronefs* » *Monde militaire, Dong-A Ilb,* [en ligne], le 13 mars 2018, Disponible sur https://bemil.chosun.com/site/data/html_dir/2018/03/13/2018031302532.html (Consulté le 03.04.2025).

Afin de pallier ces problèmes, les avions construits après les années 1910 adoptèrent progressivement l'empennage arrière, augmentant ainsi la stabilité en vol et permettant de mieux répondre aux vitesses croissantes des aéronefs[54].

L'empennage a évolué au fil du temps en fonction des besoins spécifiques de conception des aéronefs. En plus des empennages classiques, des variantes telles que l'empennage en T, l'empennage en V et l'empennage en H existent, et certaines conceptions intègrent même des avions sans empennage. Un exemple emblématique est le B-2 Spirit[55], un bombardier moderne conçu pour minimiser sa signature radar tout en conservant d'excellentes performances de vol.

Ainsi, la queue d'un avion est composée d'une dérive verticale (gouvernail de direction) et d'un plan horizontal (gouvernail de profondeur). Il existe plusieurs configurations d'empennages adaptées à différents types d'aéronefs[56]. Dans le cas du Breguet 19, son empennage présente une conception standard.

Il est essentiel de clarifier la terminologie employée pour désigner cette partie de l'avion. L'élément étudié dans le cadre de cette recherche, nécessitant conservation et restauration, porte le nom exact de gouvernail de la direction.

STRUCTURE DES EMPENNAGES[57] (*Figure 36*)

- Dérive

La dérive est une structure fixe attachée au fuselage de l'avion. Elle sert à supporter le gouvernail de direction et joue un rôle essentiel dans le maintien de la stabilité directionnelle de l'appareil.

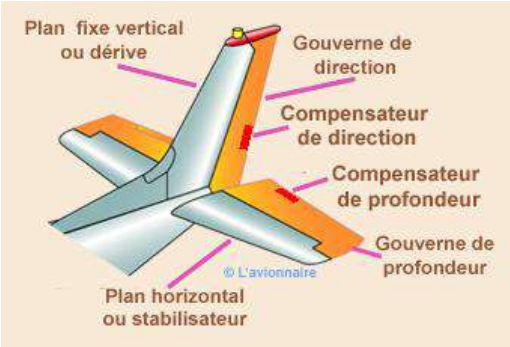


Figure 36, © L'avionnaire, « Cellule des aéronefs, Les différents empennages d'un aérone: But de l'empennage »: [illustration], tiré de L'avionnaire [en ligne], [s.d.]

[54] Lee Jae-pil, Monde militaire, Dong-A Ilbo au 13 mars 2018, Encyclopédie des armes, « *Ailes et contrôle des aéronefs* »
[55] Le B-2 Spirit est un bombardier stratégique américain de type aile volante
[56] Poizot Christopher, *Formation à l'aéronautique. Tout le programme du BIA, préparation au LAPL et au PPL*, Dunod, 2022, p. 95.
[57] Lee Jae-pil, *Op. cit*.

- Gouverne de direction

Fixée à l'arrière de la dérive par des charnières, la gouverne de direction est une surface mobile qui pivote de gauche à droite en réponse aux actions du pilote sur les pédales, modifiant ainsi l'écoulement de l'air pour diriger l'avion.

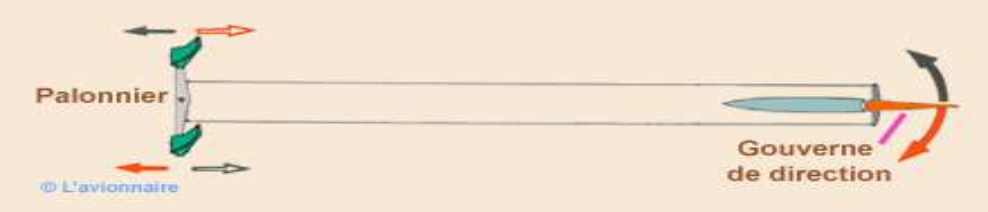


Figure 37, © L'avionnaire, « Cellule des aéronefs les gouvernes de vol : L'axe de lacet »: [illustration], tiré de L'avionnaire [en ligne], [s.d.]

L'empennage vertical joue un rôle crucial dans la direction de l'avion. Lorsque le pilote actionne la gouverne de direction, le nez de l'avion s'oriente vers la gauche ou la droite, modifiant ainsi la trajectoire. Ce mouvement est appelé le mouvement de lacet (yaw)[58]. Cependant, lorsqu'un avion vole à grande vitesse, l'utilisation exclusive de la gouverne de direction peut entraîner un phénomène de glissade (slip)[59], où le nez de l'avion pivote sans que l'ensemble de l'appareil ne suive immédiatement la direction souhaitée. Cela est dû à l'effet persistant de la force inertielle[60].

Ainsi, pour effectuer un changement de direction efficace, l'utilisation conjointe de la gouverne de direction et des ailerons est nécessaire. En inclinant l'avion à l'aide des ailerons, un mouvement de roulis (roll) se produit, facilitant la manœuvre de virage de manière plus fluide et efficace[61].

L'empennage d'un avion joue donc un rôle fondamental dans le contrôle du vol. Cependant, il ne peut à lui seul gérer toutes les manœuvres latérales ; il doit être assisté par les ailerons des ailes principales et par les gouvernes de profondeur situées sur l'empennage horizontal pour permettre un contrôle optimal en vol[62].

Concernant le fonctionnement des empennages, la gouverne de direction, qui contrôle les mouvements latéraux, est actionnée par les pédales situées sous le poste de pilotage[63]. Quant à la gouverne de profondeur, qui régule les mouvements de montée et de descente, elle est contrôlée par le mouvement avant et arrière du manche[64].

Le gouvernail de direction, qui nous intéresse particulièrement, est commandé par les deux pieds du pilote. Lorsque celui-ci appuie sur la pédale droite, la gouverne de direction s'oriente vers la droite, et inversement, en appuyant sur la pédale gauche, elle pivote vers

[58] POIZOT. Christopher, *Op.cit*, p. 73
[59] Lee Jae-pil, *Loc. cit*.
[60] Lee Jae-pil, *Loc. cit*.
[61] POIZOT Christopher, *Op.cit.*, p. 72.
[62]POIZOT Christopher, *Op.cit.*, p.73.
[63]*Ibidem*
[64]*Ibid*.

la gauche. Une coordination harmonieuse de ces mouvements est essentielle pour obtenir une trajectoire fluide et maîtrisée.

En physique aéronautique (*Figure 38*)

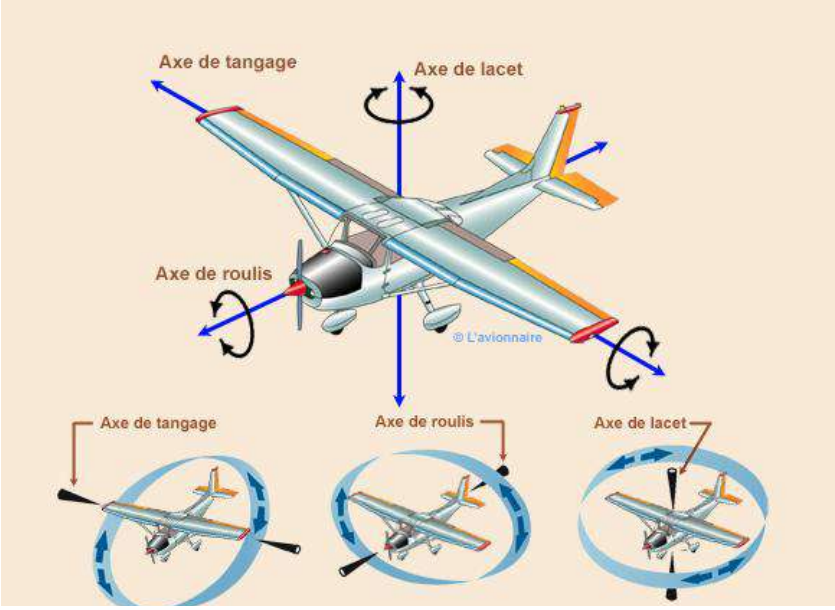


Figure 38, © L'avionnaire, « Cellule des aéronefs les gouvernes de vol : Introduction»,: [illustration], tiré de L'avionnaire [en ligne], [s.d.]

2.B. Support – structure, toile, couche enduit

2.B.1. Structure

Le Breguet XIX est conçu avec une structure en duralumin (*Figure 39*), un alliage léger et robuste largement utilisé dans la conception aéronautique pour réduire le poids de l'appareil tout en garantissant une grande résistance.

Il existe différentes formes de gouvernes de direction, et celle du Breguet XIX présente un design caractéristique des avions de cette époque.

Actuellement, la structure métallique de la gouverne et la toile d'origine sont séparées, et une réplique de la toile originale a été appliquée sur la structure métallique existante.

Figure 39, Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET, « Gouvernail de direction de l'avion Breguet 19 A2-B2 » : [illustration], tiré de Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET, « Notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2 B2 », 2ème édition, 1926, p. 58.

2.B.2. La toile d'avion

L'utilisation de la toile de lin dans la construction des ailes d'avion est un fait peu connu du grand public, bien qu'elle ait joué un rôle essentiel dès les débuts de l'histoire de l'aviation.

Le désir de l'humanité de voler a conduit au développement de divers types d'aéronefs, et dans ce contexte, les matériaux textiles – en particulier les toiles – se sont imposés comme des composants structurels incontournables.

Les premiers aéronefs, notamment les dirigeables et les ballons, utilisaient largement la toile comme matériau principal pour le revêtement extérieur, en raison de sa légèreté et de sa capacité à couvrir de grandes surfaces.

Aujourd'hui encore, certains avions ultralégers ou de loisirs continuent d'employer la toile pour le revêtement de leur structure, tirant parti de ses propriétés de légèreté et de flexibilité, renforcées par des traitements spécifiques qui en améliorent la résistance et l'imperméabilité.

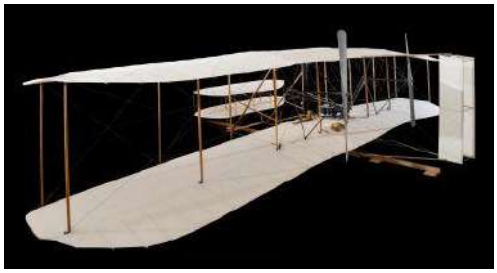


Figure 40, © Smithsonian National Air and Space Museum, PRESTON, Jim, « Wright Flyer (1903), biplan canard motorisé » : [photographie], [en ligne], 2022

Un exemple emblématique de l'utilisation de textiles dans l'aéronautique est celui du Flyer I (1903) des frères Wright (*Figure 40*), considéré comme le premier avion motorisé de l'histoire. Sa structure en bois était recouverte de mousseline[65], illustrant la place centrale qu'occupaient les matériaux textiles dans les aéronefs pionniers.

Avec l'évolution des technologies aéronautiques, la réduction du poids est restée un facteur déterminant, conduisant au développement de métaux légers tels que le titane.

Les textiles utilisés dans le domaine de l'aviation étaient majoritairement composés de fibres naturelles telles que la soie, le lin et le coton. Si la soie fut utilisée dans un premier temps, elle fut rapidement remplacée par le lin en raison de sa meilleure résistance à la traction. En France, le lin provenant de la région des Vosges a été traditionnellement employé comme textile aéronautique[66], et il continue d'être produit aujourd'hui. Dans le cas du Breguet 19 n°1685, c'est également une toile de lin qui a été utilisée.

---

[65] *La section de mousseline « Pride of the West » faisait partie de l'aile inférieure gauche du Wright Flyer lors de ses vols historiques du 17 décembre 1903 à Kitty Hawk. Elle a été retirée lors de la restauration menée par Orville Wright entre 1926 et 1927 pour une exposition au Science Museum de Londres, puis conservée par la famille Wright jusqu'à sa donation au National Air and Space Museum en* 2008. - National Air and Space Museum, Smithsonian Institution, [en ligne], https://airandspace.si.edu (consulté le 05.04.2025) traduit par DeepL

[66] Nigel Stevens, *Restauration des avions Tome1*, fédération RSA la passion de l'avion, 2016, p.134

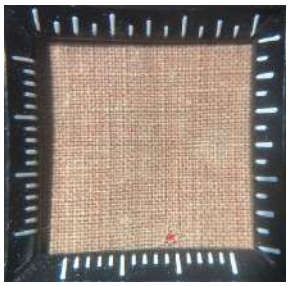


Figure 41, © CHOI, Yonghan, Vue rapprochée du tissage de la toile de lin du gouvernail de direction du Breguet 19 n°1685 : [photographie], 2025.

Ce matériau a été choisi pour sa forte résistance mécanique combinée à une grande légèreté, le rendant particulièrement adapté aux contraintes dynamiques subies par les ailes en vol. Le lin destiné à un usage aéronautique est constitué de fibres pouvant supporter jusqu'à 3 000 kg de traction par mètre[67], ce qui en fait un matériau privilégié pour les structures soumises à des tensions importantes.

Aujourd'hui encore, ce type de toile de lin est commercialisé en France au format standard de 137 cm de largeur pour un grammage de 133 g/m^2[68].

La toile utilisée sur le Breguet 19 n°1685 présente un tissage en armure sergé simple, avec une densité de 31 fils de chaîne et 31 fils de trame par cm^2 (Figure 41). Cette configuration lui confère à la fois une résistance mécanique élevée et une bonne tenue face aux agressions environnementales.

2.B.3. Produit enduit[69] - acétate cellulose

L'utilisation de la toile remonte aux débuts de l'histoire de l'aviation[70]. À l'origine, les avions ne volaient que par beau temps, ce qui rendait un simple traitement imperméable suffisant. Mais, avec les progrès de la technologie aéronautique, le besoin d'avions capables de remplir des missions par mauvais temps a émergé, mettant en avant l'importance d'un traitement pour imperméabiliser le fuselage et les ailes.

Les matériaux traditionnellement utilisés pour les ailes, comme le lin et le coton, étaient très absorbants. Par conséquent, en cas de pluie, d'humidité élevée ou d'exposition à des projections d'huile provenant du moteur, ces tissus pouvaient retenir l'humidité et alourdir l'avion, ce qui aurait compromis ses performances en vol[71].

---

[67] Société anonyme des ateliers d'aviation Louis Breguet, *Notice de réparation de l'avion Breguet 19 A2-B2* 2ème édition , 1926, p.60

[68] Nigel Stevens, *Restauration des avions Tome1*, fédération RSA la passion de l'avion, 2016, p.134

[69] La partie consacrée à l'entoilage s'appuie sur plusieurs références essentielles, notamment *la Notice de réparation du Breguet 19, la Notice de fabrication du Breguet 19*, *Restauration des Avions, tome 1*, ainsi que les recherches de Nigel Stevens.

[70] En 1903, les frères Wright ont construit le Flyer 1. A cette époque, les ailes de l'avion étaient recouvertes de mousseline.

[71] W. H. Smith, *Airplane Dopes and Doping*, Report No. NACA-TR-38, National Advisory Committee for Aeronautics,[en ligne], 1919, p.410, Disponible sur : https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19930093711/downloads/19930093711.pdf (consulté le 06.04.2025).

Figure 42, « Usines du Rhône à Saint-Fons » : [photographie], tiré de LAFERRERE, Michel ; RACINE, Roland, « La Chimie de Guerre » [en ligne], 2021

Pour résoudre les difficultés liées à l'approvisionnement en enduits imperméables nécessaires à la production aéronautique, la France et le Royaume-Uni ont dès le début de la guerre mené des recherches sur divers matériaux tels que le caoutchouc, le formaldéhyde, la colle, l'huile, la gomme-laque, la caséine, la gélatine ou encore l'amidon. Toutefois, la plupart de ces substances n'ont pas dépassé le stade expérimental. En France, l'acétate de cellulose produit avant la guerre par la Société Chimique des Usines du Rhône, à Lyon, était déjà reconnu pour sa qualité et utilisé à grande échelle[72]. Avec l'intensification du programme aéronautique français après 1914, la demande intérieure pour cet acétate a considérablement augmenté, ce qui a entraîné une réduction drastique des exportations vers le Royaume-Uni. Pour sécuriser l'approvisionnement national, le gouvernement français a fait construire une usine complémentaire à Rouen, en collaboration avec les frères Dreyfus[73]. Pendant toute la durée du conflit, l'acétate des Usines du Rhône (*Figure 42*) est resté le matériau privilégié par les autorités françaises, en raison de la grande régularité de ses propriétés chimiques et physiques, essentielles pour garantir la performance et la stabilité des enduits appliqués sur les toiles d'aviation.[74]

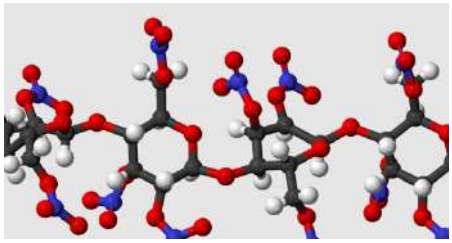


Figure 43, © Benjah-bmm27, Modélisation en 3D de la molécule de nitrocellulose : [illustration], tiré de Wikimedia Commons, [en ligne], 2007

Le nitrate de cellulose a été le premier ester de cellulose utilisé comme enduit pour les avions avant la Première Guerre mondiale. Cet enduit possédait une tension exceptionnelle et a constitué une avancée majeure en établissant une norme de référence pour évaluer les polymères alternatifs. [75] Dans ce cas, l'enduit servait uniquement à l'imperméabilisation, sans objectif d'améliorer la tension du tissu.

---

[72] DRINKER Philip, *European Practice in Cellulose Acetate and Dopes During the War*, *THE JOURNAL OF INDUSTRIAL, AND ENGINEERING CHEMISTRY*, Harvard Medical School, 1921, p. 831.

[73] L'Acétol est un acétate de cellulose industriel, inventé et breveté au début des années 1900 en Suisse par les frères Dreyfus.

[74] '*in 1596, on a balloon destined for polar exploration. In this case the dope was purely for protection and not for tautening effects. Substitutes such as casein, glue, gelatin, starch pastes, rubber, etc., have been tried at various times, in both England and France, but their use has never passed beyond the experimental stage, and, at the outbreak of the war*' - DRINKER Philip, *Op. cit,* p. 41

[75] Kline and Malmberg, 1938; Reinhart and Kline, 1939; Inoue, 1941.
- Kline, G M, Malmberg, C G, *Suitability of plastics for airplane dopes*, Industrial and Engineering Chemistry, 30/5, 1938, pp.542–549.
- Inoue, Y, "*Studies on the cellulose lacquers: weathering test of the doped fabrics"*, Journal of the Society of Fiber Science and Technology, Japan, 1941, pp.36–39.

Cependant, au début de la Première Guerre mondiale, l'utilisation de nitrocellulose et de cellulose acétate comme enduits était déjà bien établie en Europe.

L'enduit à base de nitrocellulose présentait des avantages importants, notamment sa légèreté et son excellente imperméabilité. En séchant, cet enduit durcissait et offrait une forte tension, ce qui permettait de maintenir la forme des ailes. Cela renforçait également le tissu, augmentant sa solidité, son élasticité et sa résistance à la pénétration de l'air et de l'eau.

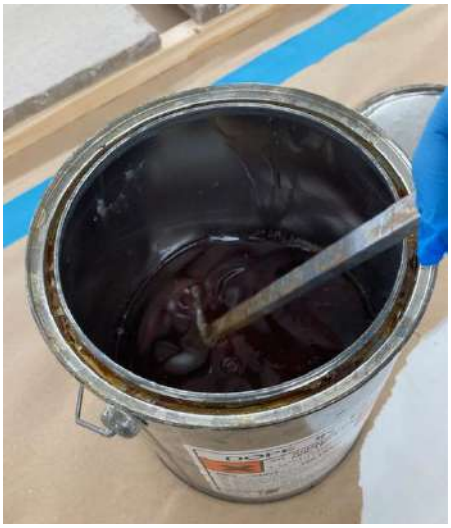


Figure 44, © CHOI, Yonghan, Nitrocellulose à l'état liquide, utilisée comme enduit pour toiles aéronautiques : [photographie], 2024.

Cependant, la nitrocellulose avait deux inconvénients majeurs [76] . D'une part, elle était extrêmement inflammable, ce qui la rendait dangereuse en cas d'incendie. D'autre part, elle était vulnérable aux projections d'huile du moteur, qui pouvaient l'endommager. En raison de ces limitations, elle était jugée inadaptée pour les avions militaires, et la cellulose acétate, un matériau non inflammable, a été adoptée comme alternative.[77]

La cellulose acétate utilisait le tétrachloréthane comme principal solvant, ce qui la rendait mieux adaptée aux avions de guerre. Cependant, le tétrachloréthane était extrêmement toxique, ce qui conduisit la France, pionnière dans l'utilisation des enduits, à interdire rapidement son usage.

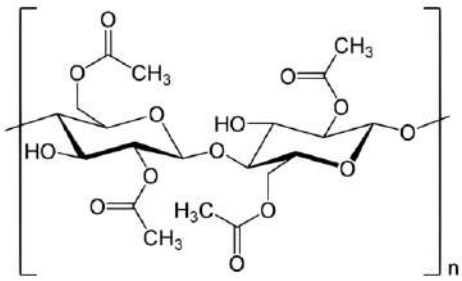


Figure 45, Acétate de cellulose, pur : [illustration], tiré de laboratoriumdiscounter, [en ligne], [s.d.]

Les enduits jouaient un rôle essentiel dans la structure des avions, en augmentant la solidité, la tension, l'élasticité et l'imperméabilité du tissu. Les surfaces des ailes étaient constituées de cadres en bois ou en tubes métalliques recouverts d'un tissu tendu. Ce tissu devait répondre à des critères stricts définis par M. de Prat, qui les résume ainsi [78]:

1. Durabilité : Le tissu devait résister aux vents violents et aux descentes rapides sans se déchirer.
2. Élasticité : Il devait pouvoir absorber les chocs soudains sans se déformer.

[76] STRATTON S. W, *War work of the bureau of standards, Bureau of standards*, Miscellaneous Publications of the Bureau of standards, n°46, 1921, p.48.
[77] DRINKER Philip, *Op. cit*, p. 41.
[78] CLEMENT. L, RIVIERE. C, *La cellulose et les éthers cellulosiques leurs applications industrielles*, Librairie Polytechnique,1920, p.154.

3. Imperméabilité : L'air et l'eau ne devaient pas pénétrer le tissu, et il devait résister à la pluie, au brouillard, à la neige et aux nuages.
4. Résistance à la lumière : Le tissu devait être insensible aux effets de la lumière du soleil, de la chaleur et d'autres rayonnements.

Pour les avions de combat britanniques, les enduits appliqués en plusieurs couches augmentaient le poids du tissu d'environ 2 onces par mètre carré (soit environ 60 à 70 grammes). Cette méthode permettait de conserver les propriétés protectrices du tissu pendant environ 90 jours d'exposition à l'air libre [79]. Ces spécifications se sont développées au fil de la guerre, à partir d'exigences initiales moins strictes, en s'appuyant sur l'expérience acquise pendant le conflit.

La toile enduite a joué un rôle fondamental dans les premiers développements de l'aviation, contribuant à la performance et à la sécurité des avions. Les enduits à base de nitrocellulose et de cellulose acétate ont chacun marqué une étape importante, bien que leurs avantages et inconvénients aient orienté leur usage. Ces avancées technologiques ont été essentielles pour répondre aux besoins croissants des missions aéronautiques, qu'elles soient civiles ou militaires.

2.C. Couche picturale

2.C.1. La peinture pour l'avion

Selon Georges Ramat dans son ouvrage « *Bréviaire du Mécanicien d'Aérodrome* » (3e éd, 1938) p.386 chapitre II - *Enduisage*, les peintures utilisées sur les avions militaires se composent principalement de deux types de formulations. La première formulation comprend 50 g d'acétate de cellulose, 410 g d'acétone, 230 g d'alcool, 300 g de benzène et 10 g d'alcool benzylique ou de phénol (pour 1 kg). La seconde formulation est composée de 80 g d'acétate de cellulose, 543 g d'acétate de méthyle, 127 g d'alcool, 250 g de benzène et 10 g d'alcool benzylique ou de phénol (pour 1 kg) (Annexe I).

Ces compositions sont spécifiquement conçues pour répondre aux besoins des revêtements textiles utilisés dans l'aviation militaire, tels que le lin ou le coton, et visent à garantir une bonne adhérence, une imperméabilité, une résistance à la lumière et un temps de séchage contrôlé, grâce à une combinaison maîtrisée de solvants organiques.

Concernant la couleur des avions militaires, des pigments spécifiques étaient ajoutés en fonction de leur usage opérationnel. Les avions utilisés de jour étaient généralement peints en kaki, tandis que ceux destinés aux opérations nocturnes étaient recouverts de la teinte couleur marron foncé (*Figure 46*). L'appareil étudié dans cette recherche présente un fuselage kaki (*Figure 47*), indiquant qu'il était utilisé pour des missions

[79] RATHBUN John. B, *AEROPLANE CONSTRUCTION AND OPERATION Including Notes on Aeroplane Design and Aerodynamic Calculation, Materials, Etc*, Stanton and Van Vliet Company Publishers, Chicago, 1918, pp.201-209.

diurnes. La toile de l'appareil est ornée de couleurs correspondant au drapeau français, ainsi que d'inscriptions en noir[80].

Figure 46, © CHOI, Yonghan, Airco DH.9, version de nuit, présenté au Meeting Air Festival, avec une livrée marron foncé : [photographie], 2024.

Figure 47, © ENGLAND, Chris, Bréguet 19 GR n°1685 « Nungesser et Coli » sur le site de Chalais-Meudon : [photographie], [en ligne], 1971

Le procédé d'application des peintures suivait généralement un processus en trois à quatre étapes. Tout d'abord, une couche d'enduit d'imprégnation incolore (*Figure 49*) était appliquée pour pénétrer et protéger la toile. Ensuite, deux couches de peinture colorée (Enduit teinté) étaient appliquées pour obtenir la teinte souhaitée. Enfin, une couche de finition transparente (Enduit à lisser) était ajoutée pour protéger l'ensemble. Bien que le nombre exact d'applications puisse varier, ce processus est conforme aux indications mentionnées dans la notice technique.

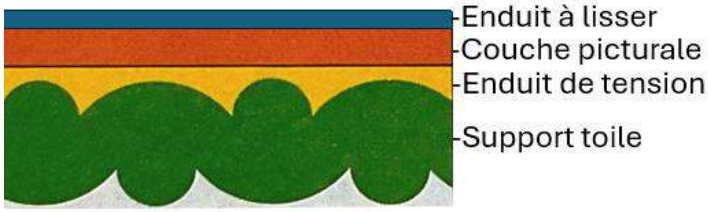


Figure 48, © CHOI, Yonghan, Structure stratifiée de la toile d'avion : [illustration], 2025.

[80] Pour les opérations nocturnes, une teinte très sombre, désignée à l'époque sous le nom de « Tête de nègre », était utilisée. Bien que cette appellation ait été couramment employée dans les documents techniques du début du XXe siècle, elle est aujourd'hui considérée comme inappropriée voire offensante. Son emploi ici est maintenu à des fins de contextualisation historique uniquement.

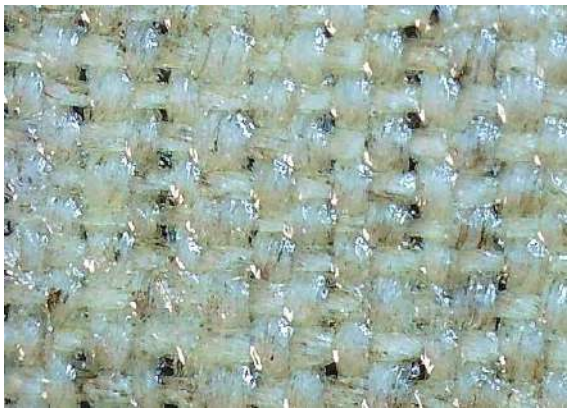


Figure 49, © CHOI, Yonghan, Échantillon de toile enduite à la nitrocellulose observée au microscope, dans le cadre d'une analyse expérimentale : [photographie], 2025.

Lors de l'application des peintures, il était impératif de respecter certaines conditions environnementales. La température ambiante devait être maintenue à au moins 14°C, tandis que l'humidité relative ne devait pas dépasser 80%. La peinture devait être appliquée uniformément en croisant les passes de pinceau dans le sens de la chaîne et de la trame du tissu.[81] Chaque couche devait sécher pendant au moins 12 heures, mais ce temps pouvait être réduit à 6 heures si la température ambiante dépassait 25°C[82].

De plus, les pièces peintes devaient être placées à au moins 3 mètres de toute source de chaleur ou de chauffage afin d'éviter une contraction inégale de la toile. Pour garantir une application précise, des pinceaux plats spécifiques étaient utilisés, et chaque couleur nécessitait un pinceau distinct afin d'éviter toute contamination des couleurs.

*Figure 50, « Ripolin, peinture laquée, reproduction d'une affiche publicitaire » : [arts graphiques], 10.5 *14.8 cm, [en ligne], [s.d.], © Musée Carnavalet, Histoire de Paris.*

À ces données techniques s'ajoute le témoignage précieux d'Arnaud Mars, restaurateur au Musée de l'Air et de l'Espace, recueilli dans le cadre de cette recherche. Selon lui, les revêtements des toiles étaient réalisés à partir d'enduits de tension teintés à base de cellulose comme l'Avialine[83], à ne pas confondre avec les peintures classiques. En revanche, les marquages et décorations – comme les lettres noires ou les bandes tricolores – étaient le plus souvent réalisés à l'aide de peintures glycéro, comme utilisé dès 1914 (*Figure 50*). Concernant l'avion étudié, il suppose que la teinte verte correspond à un enduit pigmenté (à base de cellulose), tandis que le bleu, le rouge et le noir seraient plutôt des peintures à l'huile.

[81] RAMAT Georges, *Bréviaire du Mécanicien d'Aérodrome, 3e éd.,* 1938, p.386.
[82] *Ibidem*
[83] Acétate cellulose vernis produit par Clément-Rivière

Figure 51, © CHOI, Yonghan, Peinture alkyde utilisée dans les travaux de reconstruction d'avions anciens menés par l'association Memorial Flight : [photographie], 2024.

Il précise également un point crucial pour la pratique actuelle : « *Aujourd'hui, on utilise toujours un enduit que l'on teinte, et pour les marquages, on utilise des peintures modernes, moins dangereuses pour la santé, comme les peintures alkyde* (*Figure 51*) ». Cette remarque est d'une importance fondamentale pour la sélection des matériaux de retouche ou de réintégration dans les interventions muséales contemporaines. Elle souligne la nécessité d'un équilibre entre respect des pratiques historiques et prise en compte des normes de sécurité sanitaire modernes.

Ce témoignage permet d'enrichir la documentation technique historique par une approche empirique et professionnelle, apportant un éclairage précieux sur l'identification des matériaux en place, tout en orientant les choix de restauration. Il contribue ainsi à définir des stratégies de conservation qui prennent en compte à la fois la stabilité matérielle et l'identité visuelle de l'objet patrimonial.

2.D. Entoilage [84]

L'entoilage constitue une étape essentielle dans la construction et la maintenance des aéronefs, garantissant à la fois la protection du fuselage, la cohésion structurelle et la performance aérodynamique. Le tissu traditionnellement employé est un lin de haute qualité, préféré au coton ou à la soie en raison de sa résistance supérieure à la traction et de sa meilleure tenue face aux variations climatiques. Ce tissu, traité à l'eau chaude afin d'éliminer les apprêts et de prévenir le retrait ultérieur, doit répondre à une densité de tissage précise (entre 28 et 32 fils par centimètre[85]), ainsi qu'à des critères stricts de résistance mécanique. Pour les avions de transport, une résistance à la traction d'au moins 2 000 kg/m est requise, tandis que les appareils de chasse peuvent exiger jusqu'à 3 000 kg/m[86].

Avant l'application de l'enduit, la toile est solidement fixée à la structure selon deux méthodes principales : le collage ou le lardage. Dans les deux cas, il est impératif

[84] Source dans son ouvrage de RAMAT, Georges *Bréviaire du Mécanicien d'Aérodrome, 3e éd.*, 1938, pp.380-384, La partie consacrée à l'entoilage s'appuie sur plusieurs références essentielles, notamment *la Notice de réparation du Breguet 19, la Notice de fabrication du Breguet 19, Restauration des Avions, tome 1*, ainsi que les recherches de Nigel Stevens.

[85] SMAGHUE, Nicolas. *Les toiles d'Armentières. Entreprises et entrepreneurs du lin (XIXe-XXIe siècles). Histoire*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2015, p.76.

[86] Société Anonyme des Ateliers d'Aviation Louis Breguet, *Notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2*, 2e édition, 1926, p.60

d’obtenir une tension régulière sur l’ensemble de la surface, afin de prévenir les plis, les faiblesses structurelles ou les ruptures prématurées en vol.

La méthode du collage repose sur l’emploi d’adhésifs spécifiques tels que la colle à base d’acétate de cellulose. Deux couches d’adhésif sont appliquées sur la structure, suivies d’un temps de séchage complet. La face intérieure de la toile est ensuite pré-imprégnée avec une colle diluée afin d’assurer une meilleure pénétration des fibres. Une fois positionnée sous tension, la toile est laissée à sécher naturellement, puis fixée définitivement à l’aide de rivets ou par couture selon la configuration.

Le lardage, quant à lui, est particulièrement utilisé dans les zones où la structure est creuse, notamment au niveau des nervures. Cette technique ne requiert pas nécessairement l’usage d’aiguilles courbes : un simple point de couture traversant permet de fixer solidement la toile sur les éléments internes. Le fil employé, généralement en lin ciré ou en coton renforcé, doit présenter une résistance minimale de 15 kg[87]. Afin d’éviter l’arrachement ou l’usure, des bandes de renfort peuvent être ajoutées sous les points de couture, et la tension du fil doit rester constante tout au long de l’opération.

La toile est découpée selon les formes spécifiques de la cellule, en suivant le longeron principal, et appliquée avec précision. Une fois le tissu mis en place et les fixations achevées, plusieurs couches d’enduit sont apposées afin d’augmenter la résistance aux contraintes mécaniques et d’assurer l’étanchéité de l’ensemble.

Des vestiges de cette méthode de lardage sont encore visibles aujourd’hui sur la toile conservée du gouvernail de direction du Breguet 19 n°1685, soulignant la mise en œuvre effective de cette technique sur cet appareil historique. Ce type d’observation matérielle témoigne non seulement du savoir-faire technique de l’époque, mais participe également à une lecture plus large de l’histoire industrielle et aéronautique française.

[87] RAMAT, Georges, *Op. cit.,* p.380

2.E. Réparation[88]

L'élément le plus frappant sur la face arrière de la toile de l'avion est la présence de plusieurs zones où des déchirures ont été réparées par des coutures visibles. En réalité, ces réparations constituent un aspect essentiel dans la conservation et la restauration de l'objet. Puisque l'objectif de ces réparations était de maintenir la fonctionnalité de l'avion, leurs traces apportent une valeur supplémentaire à l'originalité de la toile. En particulier, la technique de couture observée correspond parfaitement aux instructions détaillées dans la « *Notice de techniques de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2* » (*Figure 52, 53*). Afin de mieux comprendre ce processus, une courte explication de la procédure de réparation a été ajoutée. Cette méthode est normalisée selon la notice de réparation du Breguet 19.

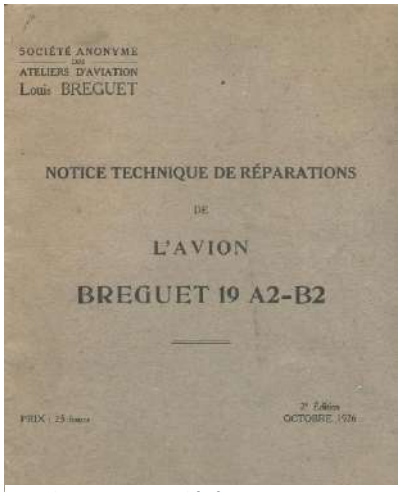


Figure 52, Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET, « La notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2, 2e édition, octobre 1926 », : [illustration], tiré de Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET. « la notice

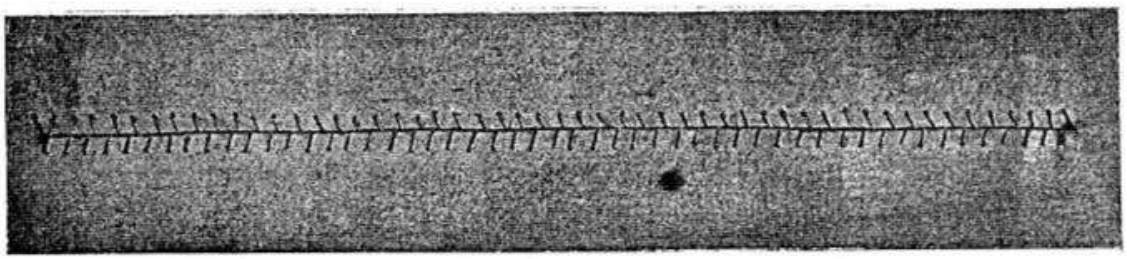


Figure 53, « Technique de couture utilisée pour la réparation » : [photographie], tiré de « la notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2, 2e édition », 1926, p. 61.

[88] Société Anonyme des Ateliers d'Aviation Louis Breguet, *Notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2*, 2e édition,1926. utilisé comme référence principale.

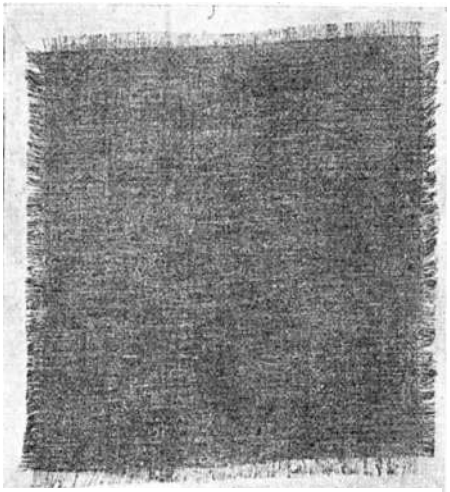


Figure 54, « *Pièce effilochée* » : *[photographie]*, tiré de « *la notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2, 2e édition* », 1926, p. 60.

Figure 55, « Publicité pour les produits cellulosiques de la société Clément & Rivière, notamment les enduits pour toiles "Avialine" » : [illustration], tiré de « Annuaire du commerce Didot-Bottin », [en ligne], 1928, p. 4205

La réparation de la toile doit être effectuée dans un environnement exempt d'humidité et à une température constante, avec une condition idéale de 20°C minimum. Tout d'abord, un morceau de toile de 25 mm plus grand que la zone endommagée est préparé. Ce patch peut être réalisé soit en toile effilochée sur 5 mm à ses bords, soit en toile dont les bords ont été crantés pour une meilleure adhérence (*Figure 54*).

Une première couche d'enduit incolore Avialine (*Figure 55*) est appliquée sur la zone à réparer, puis rapidement séchée à l'aide d'une plaque métallique chauffée (plaque tôle brûlante). Ensuite, la toile de réparation est préchauffée, enduite sur ses deux faces, puis appliquée sans plis sur la surface endommagée. Cette étape est essentielle pour éviter un blanchiment de l'enduit et assurer une tension uniforme de la toile.

Par la suite, plusieurs applications successives de produit sont réalisées, alternant entre des couches d'Avialine incolore et d'Avialine kaki teintée, tout en respectant des temps de séchage suffisants. À chaque étape, le processus de séchage rapide par chauffage est maintenu afin de garantir une adhérence optimale et une solidité accrue de la réparation. Il est crucial de s'assurer que l'environnement de travail reste sec tout au long de l'opération afin de minimiser les risques de dégradation du tissu.

Grâce à cette méthode, les réparations sont réalisées de manière solide et durable, tout en limitant autant que possible l'impact sur l'état original de la toile.

Chapitre 3 : Etude matérielle

Introduction

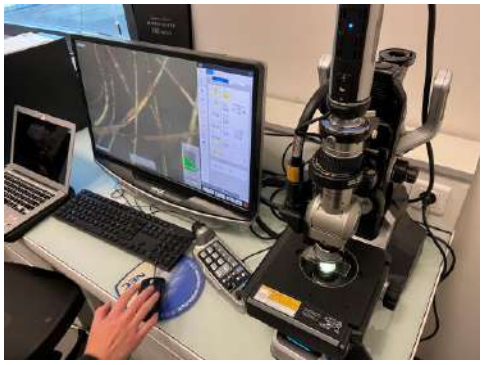


Figure 56, © DAL-PRA, Patricia, « Observation de fibres textiles réalisée à l'INP au microscope numérique haute résolution Keyence VH-ZST RZ avec éclairages mixte et coaxial complet » : [photographie], 2025.

Les matériaux constitutifs du gouvernail de direction du Breguet 19 « *Nungesser et Coli* » ont été progressivement identifiés grâce à des analyses scientifiques visant à mieux comprendre ses caractéristiques structurelles et chimiques. L'étude du support textile a été réalisée au laboratoire d'analyse de l'Institut National du Patrimoine (INP) par des étudiantes en spécialité conservation-restauration des textiles, sous la direction de la professeure Dal-Prà Patricia. Les résultats ont révélé que la toile utilisée comme revêtement est composée de lin (Annexe II), une fibre traditionnellement employée dans la construction aéronautique des années 1920. Cette donnée confirme les éléments historiques examinés dans la section 2.B.2 de ce mémoire concernant l'usage du lin dans la fabrication des structures aéronautiques de l'époque.

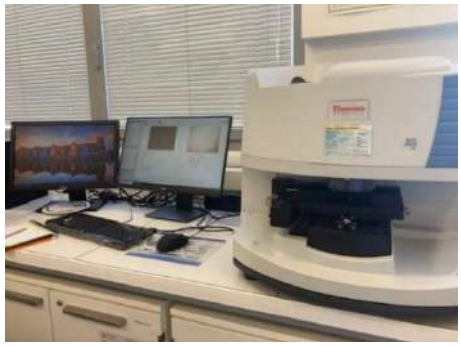


Figure 57, © CHOI, Yonghan, « Analyse infrarouge (FTIR) des composants de l'enduit et des couches picturales. Analyse réalisée au sein du laboratoire EECCAR » : [photographie], 2025.

Parallèlement, l'analyse de la couche picturale et des vernis a été conduite par spectroscopie infrarouge (IR). Ces recherches ont été menées au sein de l'Institut Méditerranéen de la Biodiversité et d'Écologie marine et continentale (IMBE), plus précisément par l'équipe EECAR (Écologie, Ecotoxicologie & Chimie Appliquées à l'Agroécologie et à la Restauration), relevant de l'Avignon Université – Institut Agro-sciences, Environnement et Santé. Les premiers résultats ont mis en évidence la présence de deux types de dérivés cellulosiques dans les couches picturales et les vernis : l'acétate de cellulose et la nitrocellulose. Plus précisément, l'acétate de cellulose a été détecté dans la peinture blanche ainsi que dans le vernis de finition, tandis que la nitrocellulose a été identifiée dans la peinture bleue. (Annexe III)

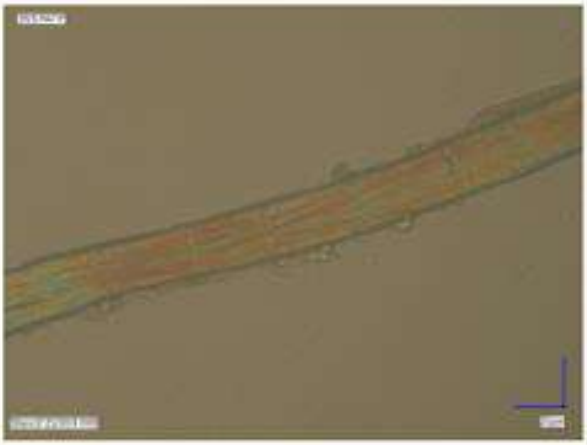
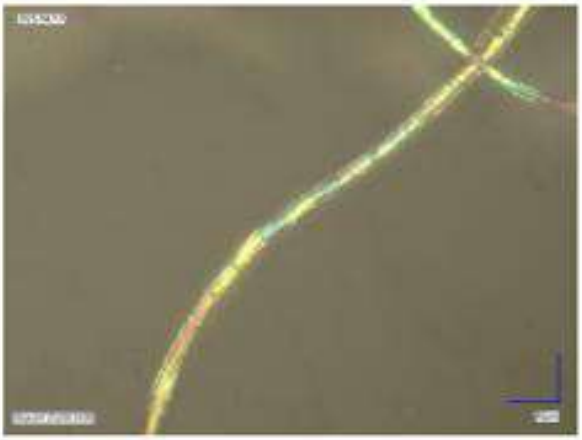
Cette différenciation matérielle révèle l'hétérogénéité chimique des surfaces traitées et oriente les choix de conservation et de restauration. Chaque dérivé cellulosique possède en effet ses propres propriétés physico-chimiques, ses mécanismes de vieillissement et ses vulnérabilités spécifiques. Ainsi, pour garantir la stabilité à long terme de l'œuvre, une approche différenciée et adaptée à chaque matériau s'avère indispensable. Il convient néanmoins de souligner que cette analyse est encore en cours, et que des résultats complémentaires viendront enrichir cette étude ultérieurement.

3.A. Support

3.A.1. Lin

Identification des fibres textiles du gouvernail de direction

Tableau d'analyse de fibre - Toile d'aile de gouverne de direction
Arno Bendriss, Lucie Lautré, Jeanne Murat

Nom et localisation du prélèvement	**Photographies au microscope**	**Armure et observation**
Vertical Envers, Bordure droite		LIN => observations d'un canal médullaire central, présent chez le lin => observation de stries dans la fibre, il s'agit des genoux typiques du lin => pas une fibre "pure" comme le coton, il y a des résidus (apprêt de la fibre ?)
Horizontal Envers, Bordure inférieure, côté droit		LIN => observation de stries dans la fibre, il s'agit des genoux typiques du lin
Couture Inférieure Envers, Bordure inférieure, côté droit		LIN => observation de stries dans la fibre, il s'agit des genoux typiques du lin => pas une fibre "pure" comme le coton, il y a des résidus (apprêt de la fibre ?)

3.A.1.1. Structure et composition chimique des fibres de lin

La fibre de lin présente une structure relativement homogène tout en conservant des ondulations microscopiques. Observée au microscope, sa section transversale est de forme polygonale avec un canal fin en son centre.

Chimiquement, elle est composée d'environ 72 à 82 % de cellulose, de 15 à 20 % de pectines et de 2 à 3 % de cires[89]. Cette composition confère aux fibres de lin une excellente capacité d'absorption et un séchage rapide, ainsi qu'une haute conductivité thermique, procurant ainsi une sensation de fraîcheur au contact[90].

3.A.1.2. Caractéristiques morphologiques, visuelles et propriétés mécaniques des fibres de lin

La longueur des fibres varie généralement entre 15 et 20 cm. Elles sont extrêmement fines et brillantes, offrant un aspect lisse comparable à celui de la soie. Le lin présente une flexibilité moyenne et une faible élasticité.

La couleur des fibres varie selon les variétés et les méthodes de traitement : un lin blanc est produit dans le nord de la France, un lin gris en Bretagne, et des lins aux teintes rougeâtres en Picardie et en Normandie. En Belgique, le lin est principalement de couleur grise[91].

3.A.1.3. Réactivité chimique et résistance environnementale

Du point de vue de la réactivité chimique, la fibre de lin partage des propriétés similaires à celles de la cellulose, affichant une stabilité générale face aux acides et aux bases[92].

Une solution alcaline bouillante peut blanchir la fibre sans l'endommager, et l'eau de Javel diluée peut être utilisée sans altérer sa structure[93].

L'exposition à des acides dilués n'a pas d'effet notable, tandis qu'une exposition à des acides concentrés peut entraîner une dégradation rapide de la fibre.

Par ailleurs, des substances telles que les huiles ou la glycérine peuvent s'infiltrer dans les fibres, les rendant translucides et modifiant leur aspect ainsi que leurs propriétés physiques.

---

[89] Brossard, Isabelle. *Technologie des textiles*, Dunod, 1997, p. 35
[90] *Ibidem*
[91] *Ibid.*, p. 36
[92] *Ibid.*, pp. 35-36
[93] *Ibid.*, p. 36

3.B. Couche picturale

3.B.1. Nitrate Cellulose

3.B.1.1. Contexte historique

La nitrocellulose a été synthétisée pour la première fois en 1846 par le chimiste allemand Christian Schönbein. Il s'agit d'un composé obtenu par le traitement de la cellulose à l'aide d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique. Généralement fabriquée à partir de fibres de coton ou de pâte de bois, elle se présente sous forme de films translucides ou de vernis, et a été largement utilisée dans divers secteurs industriels. Du milieu du XIX^{e} siècle jusqu'au milieu du XX^{e} siècle, elle a trouvé des applications dans les domaines artistiques, industriels, militaires, cinématographiques et textiles.

Au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget, il a été confirmé que l'enduit utilisé dans certains processus est à base de nitrocellulose. En particulier, l'association bénévole Memorial Flight, qui entretient un partenariat actif avec le musée, emploie également ce type d'enduit et de peinture dans la fabrication de répliques d'avions historiques, réalisée à partir d'archives techniques d'époque. Cela témoigne du rôle encore central que joue la nitrocellulose dans les travaux de reproduction fidèle d'aéronefs anciens.

Figure 58, © CHOI, Yonghan, Enduit à base de nitrocellulose utilisé au Musée de l'Air et de l'Espace et dans l'association Memorial Flight : [photographie], 2024.

3.B.1.2. Structure et caractéristiques

La cellulose possède trois groupes hydroxyles (–OH) qui peuvent être substitués par des groupes nitrates (NO_3), formant ainsi de la nitrocellulose. Ces groupes nitrés liés à la structure cellulosique permettent une combustion autonome sans apport d'oxygène extérieur, conférant à la nitrocellulose une forte inflammabilité. La teneur en azote varie

entre 10,5 et 12,2 % selon le degré de substitution[94] : plus cette teneur est élevée, plus l'inflammabilité augmente, mais la solubilité diminue.

3.B.1.3. Stabilité

Bien que la nitrocellulose soit parfois fabriquée selon des normes militaires, sa haute réactivité et son mécanisme de dégradation autocatalytique exigent une attention particulière aux conditions de stockage. Une augmentation de la température ambiante de seulement 5°C peut doubler la vitesse de dégradation. Il est donc essentiel de la conserver à basse température.

3.B.1.4. Viscosité

La viscosité dépend de la taille et de la longueur des chaînes moléculaires. Une viscosité élevée indique un poids moléculaire plus important, une résistance mécanique accrue, mais une flexibilité réduite, ce qui peut fragiliser les films. La viscosité augmente fortement lorsque la température diminue et varie selon le solvant utilisé[95].

3.B.1.5. Solubilité

La nitrocellulose est insoluble dans l'eau, mais se dissout dans des solvants organiques de polarité intermédiaire tels que les esters (acétate d'éthyle, acétate de butyle), les cétones (acétone, méthyléthylcétone), les éthers de glycol et les alcools (éthanol, isopropanol). Les diluants tels que le toluène et le xylène ne dissolvent pas directement la nitrocellulose[96], mais permettent d'ajuster la viscosité et la vitesse d'évaporation lorsqu'ils sont mélangés à des solvants actifs.

3.B.1.6. Acidification et dégradation

Les groupes nitrés (–ONO_2) réagissent avec l'eau, libérant de l'acide nitrique (HNO_3), ce qui diminue rapidement le pH et accélère la réactivité avec les matériaux environnants.

Réaction d'hydrolyse : Cell–ONO_2 + H_2O → Cell–OH + HNO_3

Des recherches récentes montrent que ces trois voies peuvent être redéfinies comme des mécanismes fondamentaux de décomposition primaire, offrant une meilleure compréhension des propriétés du polymère et de ses conditions d'utilisation optimales. Cette décomposition produit des sous-produits qui, s'ils ne sont pas éliminés, peuvent catalyser une dégradation secondaire plus rapide et plus étendue.[97].

---

[94] GRANDOU Pierre, PASTOUR Paul, *Peintures et vernis : Les constituants : liants, solvants, plastifiants, pigments, colorants, charges, adjuvants*, Hermann, 1988, p. 237.
[95] *Ibidem*, p. 241
[96] *Ibid.*, p. 249
[97] SELWITZ Charles, *Cellulose Nitrate in Conservation*, in Research in Conservation, The Getty Conservation Institute, 1988, p.12.

Sensibilité thermique : au-delà de 150°C, une décomposition thermique peut provoquer une combustion spontanée ou une explosion

Exposition aux UV : l'acide nitrique libéré se transforme en NOx, accélérant la dégradation liée à oxydation

Selon Selwitz (1988)[98], ces réactions entraînent une accumulation de composés azotés, collage, pulvérisation, jaunissement, ramollissement mécanique, mettant en péril la stabilité structurelle.

3.B.2. Acétate de cellulose

3.B.2.1. Contexte historique

L'acétate de cellulose a été synthétisé pour la première fois en 1846 par Paul Schützenberger. En France, il a été adopté dès les débuts dans les peintures militaires, notamment sur des avions tels que le Breguet 19. Il fut utilisé comme alternative à la nitrocellulose en raison de sa meilleure stabilité et de son inflammabilité plus modérée. La peinture Avialine, typique de cette application, fut largement utilisée dans l'industrie aéronautique française.

3.B.2.2. Caractéristiques structurelles

L'acétate de cellulose est une résine thermoplastique obtenue par acétylation de la cellulose. Il présente des propriétés de souplesse, transparence, et légèreté. Une acétylation plus élevée améliore la stabilité thermique et l'hydrorésistance, mais diminue la solubilité. Les produits ayant un taux d'acétylation entre 38–42 % sont les plus utilisés pour les vernis et peintures[99].

Propriétés de combustion : décomposition autour de 300°C avec émission de vapeur d'eau et CO_2[100].

Point de fusion : environ 230°C pour les applications en vernis

3.B.2.3. Stabilité

L'acétate de cellulose est relativement stable à la chaleur, à la lumière et à l'humidité, ce qui en fait un matériau avantageux par rapport à la nitrocellulose. Plus le taux d'acétylation est élevé, meilleure est sa résistance à l'humidité[101].

---

[98] SELWITZ Charles, *Op. cit.,* p.54
[99] GRANDOU Pierre, PASTOUR Paul, *Op. cit*, p.267
[100] *Ibidem*
[101] *Ibid.,* p.54

3.B.2.4. Viscosité

La viscosité dépend directement du poids moléculaire. Une viscosité élevée permet de former des films plus résistants, tandis que des produits à faible viscosité conviennent aux applications à la brosse ou au rouleau. Le choix de la viscosité est crucial selon la méthode d'application et les propriétés finales souhaitées.

3.B.2.5. Solubilité

Les groupes acétyles (–$COCH_3$) diminuent la polarité de la cellulose, améliorant ainsi sa solubilité dans des solvants organiques de polarité intermédiaire comme l'acétone, l'éthyllactate, le THF[102] ou le chlorure de méthylène. Les solvants purs sont rarement utilisés seuls : des mélanges avec des diluants permettent de moduler la vitesse d'évaporation et la viscosité[103]. Par exemple, l'acétone est très volatile et peut provoquer un séchage trop rapide, affectant la qualité du film. Dans ce cas, des solvants plus lents sont ajoutés pour améliorer l'équilibre du séchage.

3.B.2.6. Acidification et dégradation

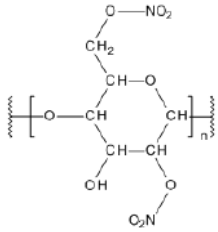
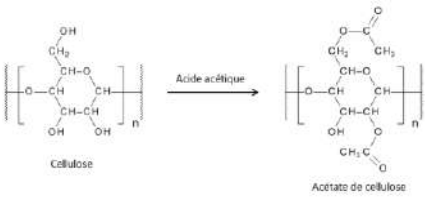
L'acétate de cellulose se dégrade progressivement sous l'effet de l'humidité, produisant de l'acide acétique (CH_3COOH).

Réaction d'hydrolyse : Cell–$OCOCH_3$ + H_2O → Cell–OH + CH_3COOH

L'acide généré s'accumule, abaissant le pH du film à 4–5. Cela interagit avec les plastifiants, provoquant collage, ramollissement, efflorescence et rétrécissement — des effets connus sous le nom de syndrome du vinaigre (*vinegar syndrome*). Ce matériau étant très hydrophile, il absorbe facilement l'humidité, ce qui entraîne des expansions et contractions répétées, générant un stress interne susceptible d'endommager la structure. Il absorbe également rapidement les solvants, ce qui requiert des précautions spécifiques lors des traitements.

[102] Tétrahydrofurane
[103] GRANDOU Pierre, PASTOUR Paul, *Op. cit*, p.267

3.B.3. Comparaison des propriétés physico-chimiques de la nitrocellulose et de l'acétate de cellulose

Propriété	Nitrocellulose	Acétate de cellulose
Structure		
Groupe fonctionnel principal	Groupe nitrate (–ONO_2)	Groupe acétyle (–$OCOCH_3$)
Réaction de synthèse	Cellulose + acide nitrique + acide sulfurique → réaction de nitration	Cellulose + anhydride acétique + catalyseur sulfurique → estérification
Degré moyen de substitution	2,2 à 2,6 (peut inclure des structures tri-nitrées)	2,0 à 2,5 (généralement sous forme de diacétate)
Thermoplasticité	Présente	Présente
Température de fusion	160-170 °C	230~300°c
Inflammabilité	Très élevée	faible
Indices de dégradation	Jaunissement, augmentation de l'adhésivité, pulvérisation, dégagement de gaz azotés	Baisse du pH, blanchiment, retrait, perte de plastifiant, augmentation de l'adhésivité
Conditions de début de dégradation	Oxydation accélérée en présence d'humidité et de catalyseurs métalliques	Hydrolyse après absorption d'humidité relativement importante
Sensibilité à la conservation	Sensible à l'oxygène, aux UV, aux ions métalliques et à la chaleur	Sensible aux solvants polaires, à la chaleur et à l'humidité élevée
Produits de dégradation principaux	Acide acétique (CH_3COOH) → syndrome du vinaigre	Acide nitrique (HNO_3), NOx → acidification et dégradation oxydative

Chapitre 4 : Identification de l'objet

• Fiche d'Identification de l'objet

4.A. Identification de l'objet

-Titre: Toile d'aile de gouverne de direction (la queue d'avion),
N°1685 Breguet XIX « *Nungesser et Coli* »
-Nom d'auteur : Atelier de Louis Breguet
-**Date de creation** : Juin1926[104]
-N°d'inventaire : SN4689, TV9
-**Musée /propriétaire** : Musée de l'air et de l'espace de Bourget
-**Lieu de réservation** : Atelier de restauration du MAE :
1 avenue de la 2e DB 93440 Dugny,
dans la réserve Jean-Paul Béchat
-**Condition de conservation** : Reserve climatisée
-**Technique /matériaux** : Toile enduite peinte (liant : acétate cellulose ?)
-**Structure** : Absente (La structure originale[105] est en duralumin.)
Elle est conservée dans l'atelier de restauration situé à Dugny.
-**Dimension générale (avant dépliage)** : H107cm x L45.5cm x E15cm
-**Dimension générale (après dépliage)** : H173cm x L162cm[106]

Figure 59, © MULE, Victor, Face, recto après dépliage. Image capturée avec l'application , Polycam par CHOI, Yonghan, modélisation 3D réalisée par © MULE, Victor » : [photographie], 2025

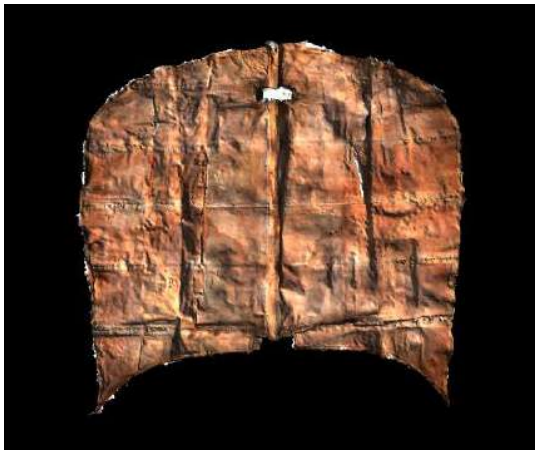


Figure 60, © MULE, Victor, Face, recto après dépliage. Image capturée avec l'application, Polycam par CHOI, Yonghan, modélisation 3D réalisée par © MULE, Victor » : [photographie], 2025.

[104] DEGRDIND Alain, *Op. cit.*, p.18
[105] Il se pourrait que la structure portant originellement cette toile soit exposée avec une toile copiée au Musée. Elle est conservée dans l'atelier de restauration situé à Dugny
[106] La toile a été retrouvée pliée dans une boite en polypropylène en 2015

Dimensions(* en cm) du gouvernail de direction – Breguet 19 n°1685

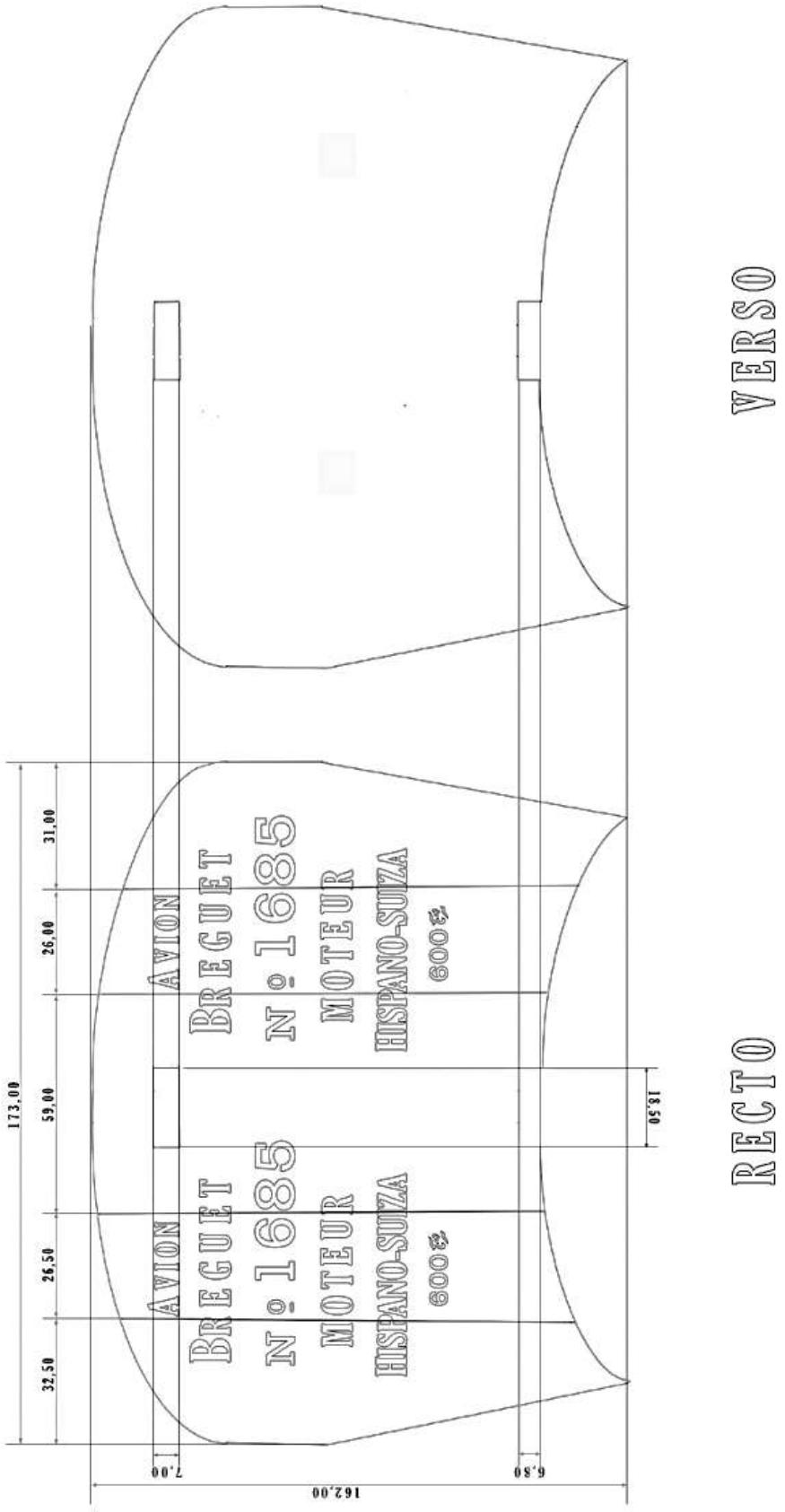


Figure 61 © CHOI, Yonghan, Dimensions du gouvernail de direction – Breguet 19 n°1685 : [illustration], 2025.

4.A.1. Description

Les toiles utilisées pour les avions, en particulier celles des gouvernes de queue, sont conçues pour être facilement remplaçables. En effet leur légèreté et l'exposition aux pressions aérodynamiques durant le vol les rendent fragiles. Selon le restaurateur du Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget, ces éléments étaient susceptibles d'être remplacés à plusieurs reprises au cours de leur utilisation.

L'analyse iconographique suggère que la toile actuellement en place aurait pu être remplacée au moment de la donation de l'avion au musée en 1932. Dans ce contexte de réutilisation et de réparations successives, la question de l'authenticité de la toile reste ouverte. L'évaluation de son état de conservation doit ainsi s'inscrire dans une lecture contextualisée, prenant en compte les conditions réelles d'utilisation en vol**.**

4.A.2. Iconographie

Le gouvernail de direction est décoré du motif tricolore français (bleu, blanc, rouge) et porte l'inscription des spécifications du Breguet 19 N°1685 :

"*BREGUET N°1685 – MOTEUR HISPANO-SUIZA 600 Chevaux*"

Cette inscription est réalisée en noir et indique le numéro de l'appareil, son moteur et le constructeur.

Il existe une différence notable entre les faces dextre et senestre du gouvernail de direction en ce qui concerne l'organisation des couleurs.

Sur la face dextre, l'ordre des couleurs du fond tricolore est inversé (rouge, blanc, bleu). Sur la face senestre, la disposition des couleurs suit l'ordre traditionnel du drapeau français (bleu, blanc, rouge).

Cette disposition indique que lors de la peinture du gouvernail, la transition des couleurs au centre de la toile a été prise en compte afin d'optimiser l'application des motifs décoratifs. Il est probable que cette approche ait été adoptée pour faciliter et rationaliser le processus de peinture sur les deux faces.

Concernant la typographie des inscriptions, elles sont écrites de droite à gauche selon la lecture, et les informations affichées sont identiques des deux côtés du gouvernail.

4.A.3. Observation des traces de fabrication sur le gouvernail de direction [107]

Cette technique a déjà été mentionnée dans au chapitre 2 : « *Étude technique et histoire matérielle* ». Toutefois, afin d'approfondir l'analyse de l'état de conservation de l'objet

[107] Les méthodes de fabrication décrites dans cette section correspondent à celles examinées au Chapitre 2 : « Étude technique et histoire matérielle » concernant la construction des ailes d'avion. Les éléments observables sur le gouvernail – tels que les coutures, les enduits et la structure textile – constituent des indices matériels attestant l'application effective de ces techniques sur cet objet.

étudié et de mieux comprendre la nature des matériaux qui le composent, j'ai jugé utile de réorganiser et détailler à nouveau ces informations.

La littérature technique nous permet de savoir comment étaient fabriqués ces ouvrages. Le constat d'état qui suit ce paragraphe nous permettra de vérifier si la constitution de cette toile est cohérente par rapport à la littérature.

La toile utilisée pour l'avion Breguet 19, n°1685, est un lin semble conforme aux normes aéronautiques françaises, de tissage armure toile (de rapport 1/1) avec une contexture de 31*31 fils/cm afin de lui conférer les propriétés d'imperméabilité et de résistance mécanique nécessaires au contexte d'utilisation, cette toile devrait avoir été traitée théoriquement avec un enduit à base d'acétate de cellulose.

La fixation de la toile sur la structure s'effectuait par une combinaison de collage et de coutures (lardage). Aux points de jonction avec les nervures ou les éléments de structure, une couture manuelle à l'aide d'un fil très résistant était réalisée. Ces traces de couture sont clairement visibles à l'arrière du gouvernail, et correspondent aux techniques décrites dans la Notice de réparation du Breguet 19.

Figure 62, © CHOI, Yonghan, Trace de lardage sur la toile du gouvernail de direction : [photographie], 2025.

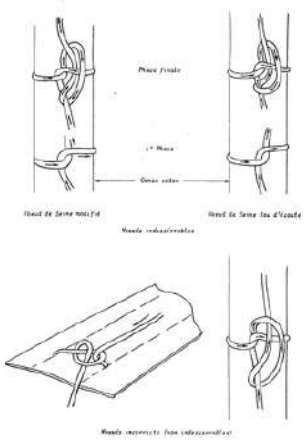


Figure 63, Bureau veritas Service Aéronautique, Nœuds de largade : [illustration], tiré d'ENTOILAGES AERONAUTIQUE – PLAN DU FASCICULE, 5e édition, 1961, tome II, p.14.

Le processus de peinture semble avoir suivi trois étapes successives : d'abord, l'application d'un enduit d'imprégnation incolore destiné à saturer les fibres du lin et à renforcer leur cohésion. Cette couche stabilise la toile sur un plan mécanique et l'isole climatiquement. Ensuite, une couche d'enduit teinté sert à décorer la surface et à marquer l'identification de l'appareil. Enfin, un enduit à lisser protège la surface et en améliore la planéité.

Figure 64, © CHOI, Yonghan, Exemple pédagogique de lardage, présenté au Musée de l'Air et de l'Espace : [photographie], 2025

Ce travail nécessitait un contrôle strict de la température et de l'humidité pour garantir une bonne adhérence entre les couches. La peinture était appliquée au pinceau plat

(*Figure 65*), selon un mouvement croisé horizontal et vertical, afin d'assurer une imprégnation homogène.

Chaque couleur était appliquée séparément, à l'aide d'un pinceau distinct dédié à chaque teinte, afin d'éviter tout mélange involontaire des pigments. Cette séparation des outils était respectée non seulement pour les couches picturales, mais aussi pour les couches d'enduit et de finition.

Figure 65, © CHOI, Yonghan, Pinceaux utilisés pour la mise en peinture des avions historiques par l'association Mémorial Flight : [photographie], 2025.

Ces méthodes de fabrication et de finition étaient essentielles pour assurer la stabilité structurelle et la durabilité opérationnelle de l'aéronef. Les nombreuses traces de coutures et de réparations visibles sur la face arrière du gouvernail de direction pourraient constituer des témoins physiques des dommages subis en service et des opérations de maintenance qui en ont découlé.

Ces techniques de fixation sont d'ailleurs directement observables sur l'objet étudié. À l'arrière du gouvernail de direction, on distingue nettement les nœuds de lardage, les contours caractéristiques des bandes crantées, ainsi que des fils de tension sectionnés de façon régulière, témoignant des étapes successives de fixation, de démontage et de renfort de la toile.

4.A.4. Environnement d'utilisation de l'avion

L'analyse détaillée de l'environnement opérationnel de cet avion constitue un élément essentiel pour l'établissement du constat d'état. En prenant comme référence le modèle Breguet 19 A2/B2, cet appareil pouvait atteindre une vitesse d'environ 207 km/h au sol[108] et voler jusqu'à une altitude de 7 500 m[109]. La vitesse en vol diffère selon l'altitude, la densité de l'air et la température. Compte tenu des performances de cet avion, la vitesse en vol à 7 500 m d'altitude est estimée entre 300 et 320 km/h[110].

En règle générale, la température atmosphérique diminue d'environ 5 à 6°C par élévation au kilomètre[111]. Il faut donc imaginer les chocs thermiques et hygroscopiques que subissent l'ensemble des matériaux constitutifs lors du décollage et de l'atterrissage d'un avion. Par exemple, pour un décollage en hiver avec une température de 5°C au sol, la température chuterait à -30° C à une altitude de 7500 m.

Lorsque l'on rajoute à cette donnée que l'avion atteint cette altitude en 1heure 45, on comprend mieux les chocs subis pendant les phases de décollage et d'atterrissage.

De plus, l'humidité, le vent et la présence de nuages pendant le vol ont un impact significatif sur la structure de l'appareil ainsi que sur sa couche de peinture. Dans le cadre d'un vol de longue distance, comme un tour du monde, l'avion devait traverser une grande diversité de climats, y compris les zones équatoriales et tropicales. Ces variations climatiques ont très probablement influencé l'altération chimique et physique de la peinture et de la toile, entraînant un processus de dégradation à différents niveaux :

les alternances de hautes et basses températures peuvent provoquer des fissures dans la peinture en raison de la dilatation thermique et de la contraction du matériau ;

les variations d'humidité peuvent causer un phénomène de condensation, entraînant le gonflement et la rétraction de la couche picturale. Ces facteurs environnementaux représentent des éléments clés dans l'analyse des altérations observées sur la surface de l'avion dans le cadre du constat d'état ;

l'effet des rayonnements ultraviolets n'est pas sans incidence sur le comportement de la couche peinte et de la résine imprégnant le support.

---

[108] Société Anonyme des Ateliers d'Aviation Louis Breguet, *L'avion Breguet XIX. Militaire A_2 - B_2 de Reconnaissance et de Bombardement*, 1941, p.17.

[109] *Ibidem*, p.13.

[110] Calcul effectué à partir de la formule du True Air Speed (TAS), en remplaçant les variables par les valeurs correspondantes. Le calcul a été réalisé à l'aide de ChatGPT (OpenAI) pour l'assistance au traitement mathématique.

[111] Diminution de la température avec l'altitude : La température diminue en moyenne de 0,65 °C par 100 mètres de différence d'altitude, Source : Météo Suisse, https://www.meteosuisse.admin.ch/

Chapitre 5 : Constat d'état

5.A. Constat d'état

Introduction

Dans le cadre de cette étude, l'objet d'analyse est une toile dérive d'avion, qui relève d'un patrimoine technique et fonctionnel, différent des œuvres d'art classiques. Contrairement à ces dernières, les toiles aéronautiques sont exposées à des conditions environnementales extrêmes et jouent un rôle structurel actif au sein de l'aéronef. Leur évaluation nécessite donc une approche approfondie prenant en compte à la fois leur fonction mécanique et leur finalité technologique.

À ce jour, les recherches sur la conservation et la restauration des toiles aéronautiques demeurent encore limitées. Il est donc primordial de poser les bases d'un protocole de restauration adapté. Ce constat propose d'appliquer une méthodologie inspirée de l'analyse des altérations observées sur les œuvres peintes, afin de catégoriser de manière systématique les dégradations affectant les couches picturales et les supports textiles des ailes d'avion.

L'objectif principal est d'identifier les causes des altérations, de les classer selon leur typologie, et d'établir un diagnostic clair. En complément, une analyse prospective est envisagée afin d'anticiper l'évolution des dégradations dans le temps en l'absence d'intervention conservation.

Grâce à cette approche, il sera possible de proposer des solutions de conservation adaptées à cet objet, tout en évaluant les risques liés à sa présentation et à sa conservation à long terme. Le constat sera structuré selon une logique basée sur les mécanismes d'altération.

De plus, ce constat d'état ne se limite pas à une lecture strictement matérielle des dégradations, mais adopte une double perspective, intégrant également une réflexion sur l'authenticité et le contexte de l'objet. En effet, l'origine exacte de la toile de la dérive de direction demeure incertaine : il n'est pas exclu qu'il s'agisse d'un élément de remplacement ou d'une pièce recréée à l'occasion d'une donation ou d'une mise en exposition. L'absence de documentation formelle à ce sujet et certaines différences

stylistiques, telles que la typographie des éléments peints, soulignent la nécessité d'une analyse croisée, à la fois technique et contextuelle. Le présent constat s'appuie ainsi sur cette approche élargie, combinant les données matérielles et les hypothèses historiographiques.

Figure 66, Couverture de Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air: [photographie], 1977, n°7

Outre les altérations physiques observées, l'absence de documentation relative à l'historique de conservation de cet objet constitue un élément important dans l'analyse. Une photographie datée du 2 juin 1971, prise au musée de l'Air et de l'Espace – Chalais-Meudon, montre que la dérive était déjà séparée du fuselage à cette époque. Toutefois, aucune source n'a permis de connaitre précisément la date ou les circonstances de cette séparation, et aucun document conservé au sein du musée ne semble en attester (*Figure 66*).

Figure 67, « Roland Nungesser en quête de l'épave de L'Oiseau Blanc » : [photographie], tiré de la collection Gamma-Rapho, © SIMON. Daniel via Getty Images, 1987.

Après le transfert du musée à son site actuel du Bourget, l'avion a été exposé avec une dérive en place. Sur la base d'éléments visuels, tels que l'apparence et le traitement pictural, il est raisonnable de supposer qu'une toile de copie aurait pu être réalisée afin de compléter la présentation de l'avion. Cette hypothèse s'appuie sur l'analyse de photographies d'archives (*Figure 67*) ainsi que sur plusieurs images disponibles en ligne datant d'avant 1986. Néanmoins, aucune trace écrite officielle ne permet actuellement de confirmer cette reconstitution ni d'en préciser les modalités.

Par ailleurs, la date et les conditions exactes du transfert de l'objet original vers les réserves du musée demeurent également inconnues à ce jour, ce qui souligne la nécessité d'un travail de recherche complémentaire.

Ainsi, en plus de l'état matériel dégradé, le manque d'informations vérifiables sur l'historique de cet objet constitue un facteur essentiel à prendre en compte pour évaluer son authenticité et envisager une stratégie de conservation ou de présentation future. Ce constat d'état a donc été rédigé en adoptant une approche prudente, fondée sur l'analyse des éléments visuels disponibles et des traces physiques encore présentes,

Par ailleurs, l'état plié dans lequel l'objet a été conservé pendant une période prolongée a représenté une contrainte majeure dans la réalisation du présent constat d'état. La configuration repliée a limité l'accès aux zones internes de la toile, rendant difficile une évaluation complète de sa structure et de ses altérations. De plus, la pression exercée

sur les zones de plis a accru la fragilité mécanique du support et la sensibilité de la couche picturale.

Afin de garantir la sécurité matérielle de l'objet ainsi que la lisibilité des altérations accumulées, un dépliage préalable a été jugé indispensable. Cette intervention, effectuée avec précaution, a permis non seulement de préserver l'intégrité de la couche picturale au cours de l'examen, mais également de révéler des déformations structurelles invisibles lorsque l'objet était encore plié. Le présent constat repose ainsi sur l'état observé après ce dépliage, réalisé dans un cadre strictement conservatoire.

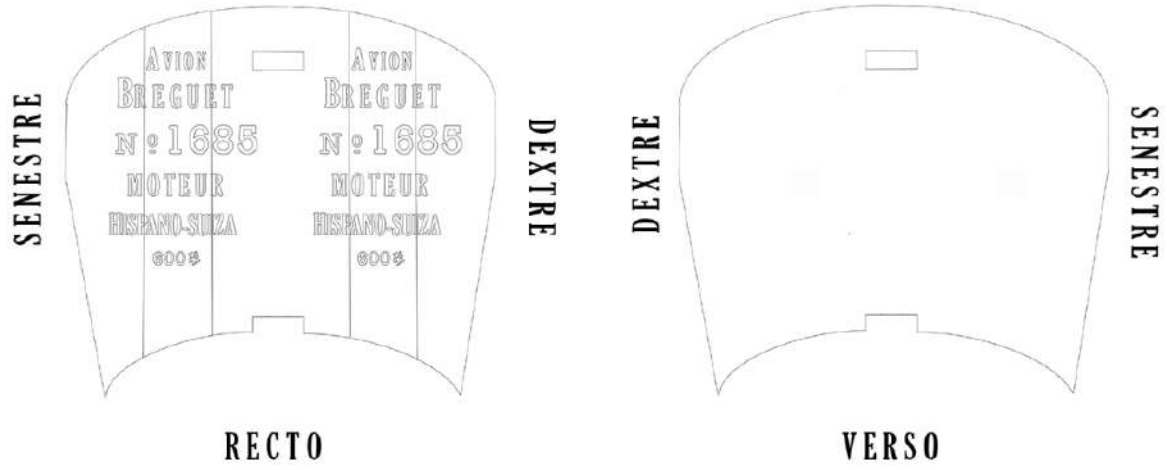


Figure 68, © CHOI, Yonghan, Note au lecteur : [illustration], 2024.

5.A.1. État général de la toile du gouvernail de direction

L'état actuel de la dérive, évalué sur la seule base de la stabilité physique du textile, peut être considéré comme relativement satisfaisant, même dans l'hypothèse d'une utilisation effective en vol. Le tissage présente une souplesse et une résistance mécanique suffisantes pour permettre un dépliage de la toile sans contrainte majeure, tout en conservant l'intégrité de sa forme sans rupture structurelle apparente.

Cependant, dès les premières observations effectuées après le dépliage, les altérations les plus marquées sont les déchirures visibles sur les faces dextre et senestre, ainsi que la présence localisée de cloques réparties sur la couche picturale. Ces cloques s'accompagnent, dans certains cas, de pertes de matière (lacunes) et de soulèvements partiels de la couche picturale, indiquant un début de décollement. Par ailleurs, l'absence de structure de soutien pendant la période de conservation semble

avoir empêché la toile de rester plane, ce qui a conduit à l'apparition d'ondulations nettes sur sa surface.

Figure 69, © CHOI, Yonghan, L'état plié recto : [photographie], 2024.

Figure 70, © CHOI, Yonghan, L'état plié verso : [photographie], 2024.

Figure 71, © CHOI, Yonghan, Photo de dépliage 1 : [photographie], 2024.

Figure 72, © CHOI, Yonghan, Photo de dépliage 2 : [photographie], 2024.

5.A.2. Altération du support textile

5.A.2.1. Altération mécanique : plis, ondulations, déchirures

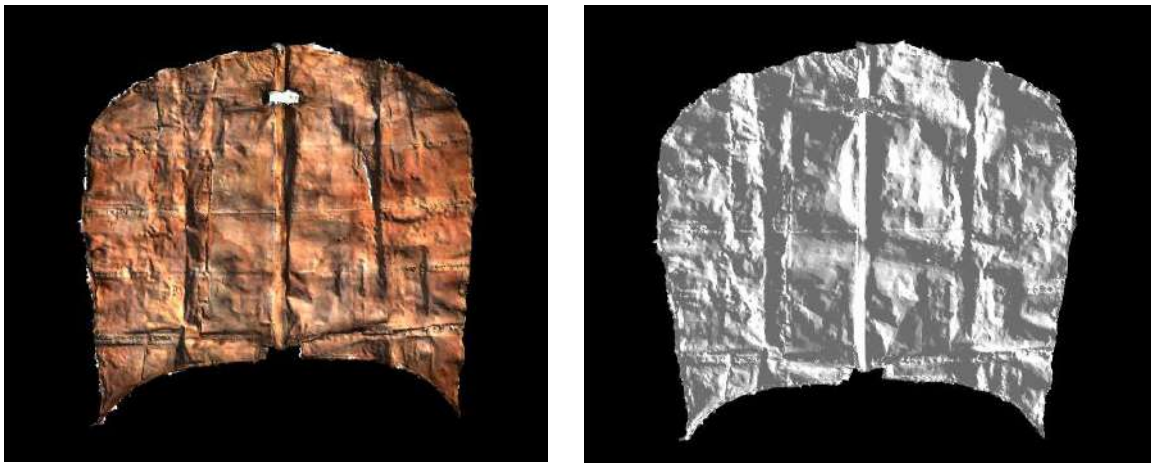


Figure 73, © MULE, Victor, « Altérations sous forme de plis apparues après l'opération de dépliage » : [photographie], avec l'application Polycam par CHOI, Yonghan, modélisation 3D réalisée par © MULE, Victor, 2025.

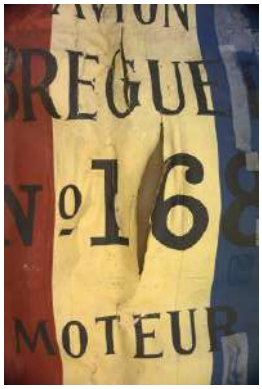


Figure 74, © CHOI, Yonghan, Exemple de déchirure 1 : [photographie], 2024.

La forme d'altération la plus visible du support est constituée par des plis et les déformations structurelles (ondulations) qui en résultent. La toile a été conservée pliée à l'intérieur d'une boîte pendant plusieurs décennies, ce qui a provoqué des altérations durables sur toute la surface. Les ondulations en forme de vagues sont réparties de manière irrégulière sur l'ensemble du tissu, et les lignes de pliure sont nettement visibles. Ces déformations constituent une cause majeure de soulèvement de la couche picturale et de concentration de contraintes, et elles pourraient poser des contraintes physiques importantes lors des opérations futures de dépliage ou de conservation.

Figure 75, © CHOI, Yonghan, Exemple de déchirure 2 : [photographie], 2024.

Le support présente également de nombreuses déchirures orientées verticalement. Celles-ci pourraient avoir été causées lors de manipulations destinées à la présentation, ou résultent d'une tension appliquée de manière inégale pendant un stockage prolongé, ou encore d'une fatigue des fibres due aux pliures répétées. Ces déchirures suivent généralement une orientation verticale, déchirant la couche picturale en même temps, ce qui entraîne une altération composite. Ce type d'altération dépasse le

simple problème visuel pour devenir un facteur menaçant la stabilité structurelle de l'ensemble.

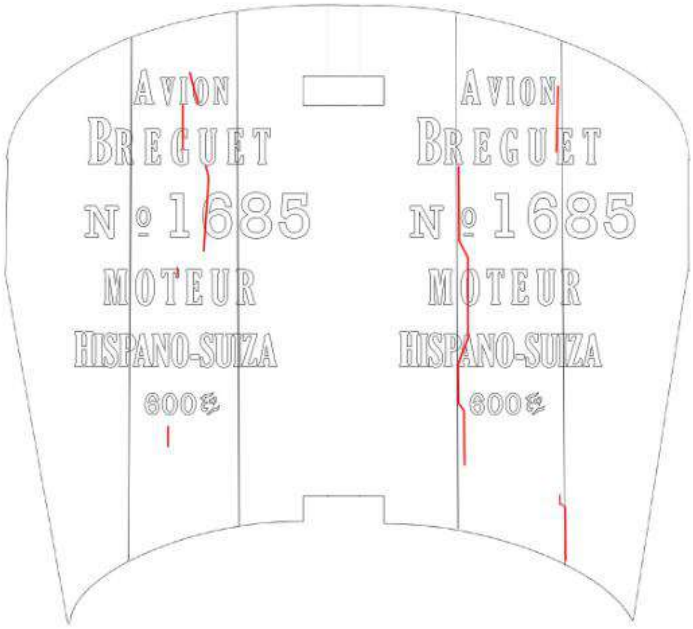


Figure 76, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Recto, déchirures : [photographie], 2024.

5.A.2.2. Traces de réparations structurelles et de consolidations

Plusieurs zones déchirées présentent des traces de réparation manuelle sous forme de coutures en zigzag (*Figure 77)*, accompagnées de pièces de tissu de renfort (doublage). Les coutures suivent généralement la direction verticale des déchirures, et l'arrière est renforcé par un tissu ajouté pour soutenir les fibres. Les bords de ces pièces sont irréguliers : certains présentent un motif cranté typique des ciseaux cranteurs (*Figure 78*), tandis que d'autres montrent des contours effilochés (*Figure 79*), indiquant que les méthodes et périodes de réparation ne sont pas uniformes.

Figure 77, © CHOI, Yonghan, Exemple, trace de réparation : [photographie], 2024.

Figure 78, © CHOI, Yonghan, Exemple, pièce typique découpée aux ciseaux crâneurs : [photographie], 2024.

Figure 79, © CHOI, Yonghan, Exemple, pièce typique présentant un effilochage : [photographie], 2024.

Ces consolidations semblent être des interventions d'urgence visant la stabilisation fonctionnelle et la manipulation, plutôt qu'une restauration fidèle à l'état d'origine. Des méthodes similaires de réparation sont d'ailleurs décrites dans la notice de réparation du Breguet 19. Cependant, aucune documentation ne permet de déterminer la date de ces réparations ni l'identité des intervenants. On ne peut donc pas conclure s'il s'agit de réparations techniques effectuées en vol ou d'interventions muséales à des fins d'exposition ou de conservation.

Par ailleurs, selon les normes habituelles de maintenance aéronautique, les dommages de cette ampleur — en particulier les ruptures structurelles — sont normalement traités par un remplacement complet du tissu, et non par des coutures ou des pièces de renfort. Cette information a été confirmée lors d'un entretien avec un restaurateur du Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget : bien qu'aucune documentation officielle ne subsiste, il s'agit d'un témoignage oral significatif fondé sur l'expérience concrète d'un professionnel.

En tenant compte de tous ces éléments, les réparations observées aujourd'hui ne peuvent être attribuées à un événement unique. Elles doivent être interprétées comme le reflet de multiples temporalités et de contextes variés d'usage et de conservation, ce qui nécessite une attention particulière lors de l'élaboration d'une stratégie de conservation adaptée.

RECTO

VERSO

Figure 80, © CHOI, Yonghan, Exemple, trace de réparation structurelle et de consolidation – vue de détail recto : [photographie], verso, 2024.

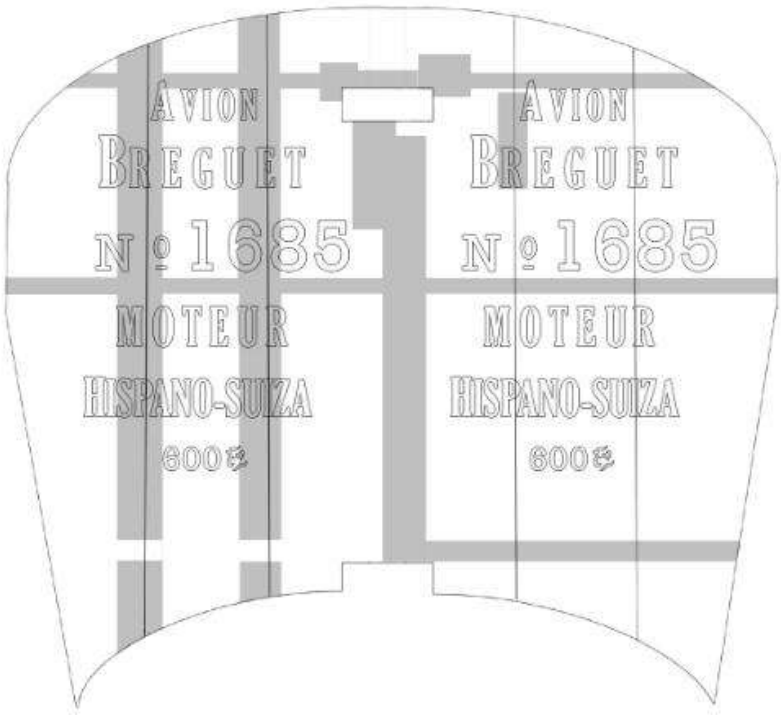


Figure 81, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Recto, traces de réparations structurelles et de consolidations : [photographie], 2024.

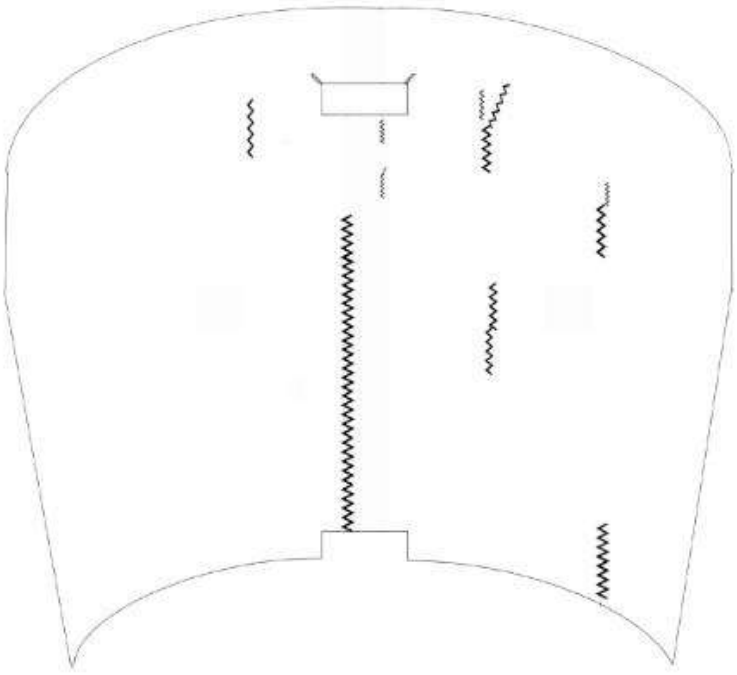


Figure 82, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Verso, traces de réparations structurelles et de consolidations : [photographie], 2024.

5.A.2.3. Contamination biologique et auréoles d'humidité

Au revers de l'objet, de nombreuses auréoles dues à l'infiltration d'humidité sont observées, certaines superposées à des taches ponctuées de couleur noire ou grise. Ces marques, d'après une observation visuelle, suggèrent la présence potentielle de micro-organismes (tels que des moisissures) infiltrés en surface, témoignant d'une exposition prolongée à un environnement humide ou propice à la condensation.

Figure 83, © CHOI, Yonghan, Exemple, auréoles d'humidité : [photographie], 2025.

À ce jour, aucun signe manifeste de propagation biologique n'a été constaté. Toutefois, de telles altérations microbiologiques pourraient être latentes au sein de la structure fibreuse, constituant ainsi un facteur de risque à long terme. Il est donc impératif d'assurer un contrôle strict de l'humidité relative et de la ventilation dans l'environnement de conservation.

Figure 84, © CHOI, Yonghan, Exemple, moisissure : [photographie], 2025

Par ailleurs, l'infiltration d'humidité semble avoir induit des cycles répétés de gonflement et de rétraction des fibres du support textile, ce qui a probablement contribué à l'apparition d'ondulations et de déformations structurelles. Ce phénomène pourrait avoir exacerbé les déséquilibres mécaniques du support, compromettant à terme sa stabilité physique.

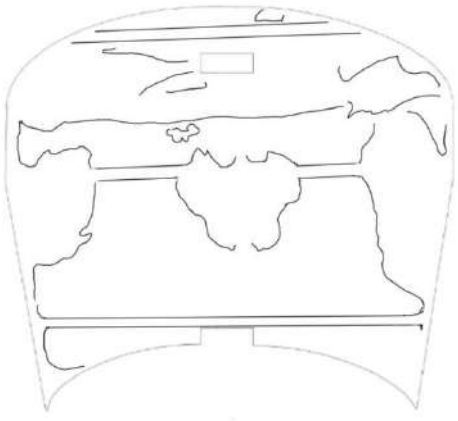


Figure 85, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Verso, L'auréoles d'humidité : [illustration], 2025.

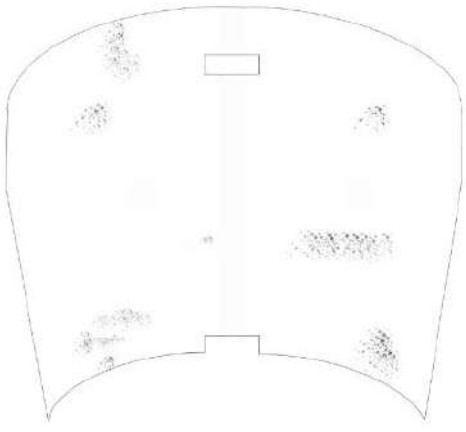


Figure 86, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Verso, Moisissure : [illustration], 2025.

4.A.2.4. Migration pigmentaire et réactions internes des matériaux

Au revers du support, de nombreuses traces de migration pigmentaire issues des couches colorées rouges et bleues sont observées. Ces migrations n'adoptent pas de direction privilégiée et se distribuent de manière irrégulière, pénétrant profondément dans la trame textile. Ce phénomène suggère une application de la peinture alors que celle-ci n'était pas complètement sèche au moment de l'exécution.

Figure 87, © CHOI, Yonghan, Exemple, Migration pigmentaire : [photographie], 2025.

Compte tenu de la structure hautement absorbante du lin tissé en armure toile et des effets de la capillarité, il est probable que les liants et pigments aient diffusé à travers les fibres du support, provoquant ainsi un phénomène de diffusion interne.

Cette migration ne relève pas simplement d'un débordement chromatique, mais constitue un indicateur matériel important des interactions physico-chimiques initiales entre la couche picturale et le support textile. L'analyse de la profondeur d'infiltration des pigments ainsi que des propriétés de diffusion des liants permet de tirer des informations précieuses sur les conditions techniques de fabrication (méthodes d'application, durée de séchage, viscosité des matériaux).

Plus précisément, la migration du pigment bleu semble être en corrélation avec les craquelures observées sur le recto, suggérant un lien entre les conditions d'application initiale et les mécanismes ultérieurs d'altération de la couche picturale. Quant au pigment rouge, il est principalement observé sur le pourtour de la face verso, côté senestre, ce qui pourrait indiquer une particularité dans les conditions locales d'application ou une variation dans la distribution du matériau au moment de la fabrication.

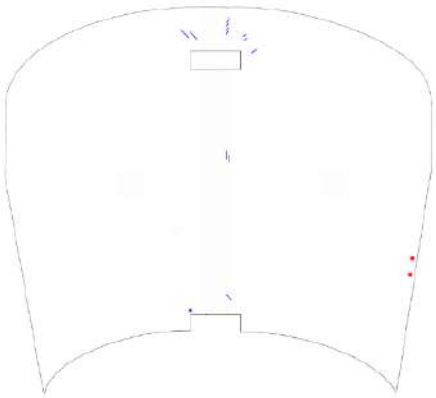


Figure 88, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Verso, Migration pigmentaire et réactions internes des matériaux : [illustration], 2025.

5.A.3. Altérations de la couche picturale

5.A.3.1. Repeint plus généralisé

L'observation visuelle de la décoration tricolore appliquée sur la face senestre révèle des indices clairs de repeint. En effet, certaines zones de la couche picturale présentant des lacunes exposent une couche de couleur supérieure distincte de celle située en dessous, suggérant ainsi l'ajout ultérieur d'une nouvelle couche picturale.

Figure 89, © CHOI, Yonghan, Exemple, trace de repeint 1 : [photographie], 2025.

De plus, une différence notable de saturation des couleurs du drapeau tricolore est perceptible entre la face senestre et la face dextre, renforçant l'hypothèse selon laquelle seule la face senestre aurait fait l'objet d'un repeint partiel. Cette hypothèse est confirmée par l'apparition de strates de couleurs distinctes dans les zones de lacune, ce qui témoigne d'une superposition hétérogène de pigments.

La face senestre affiche des couleurs plus saturées et plus vives, et la présence de couches picturales successives est visible à l'œil nu. En revanche, ces caractéristiques ne sont pas observées sur la face dextre, ce qui constitue un argument fort en faveur d'une intervention localisée.

Figure 90, © CHOI, Yonghan, Exemple, trace de repeint 2 : [photographie], 2025.

Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer ce repeint partiel. Premièrement, il pourrait s'agir d'une intervention esthétique liée à une mise en exposition, visant à harmoniser l'apparence visuelle de l'objet. Deuxièmement, il est possible que la face senestre ait subi des altérations physiques ou visuelles pendant l'utilisation de l'appareil, ce qui aurait motivé une restauration sélective.

Dans l'ensemble, cette intervention semble relever davantage d'un ajustement esthétique localisé que d'une restauration structurelle complète, suggérant une action motivée par les exigences muséographiques de présentation visuelle.

En complément, l'analyse par lumière ultraviolette (UV) n'a pas révélé de différences significatives de fluorescence entre les couches ou de traces de retouches localisées, ce qui laisse supposer que le repeint a été appliqué de manière relativement homogène dans les zones concernées.

5.A.3.2. Craquelures et soulèvements

Des craquelures sont observées non seulement le long des lignes principales de pliage de la toile, mais également dans les zones adjacentes. Cette répartition suggère que le stress mécanique induit par le pliage a eu un impact plus étendu sur la couche picturale.

Plus spécifiquement, un réseau de craquelures diagonales est visible dans la partie supérieure centrale de la couche picturale bleue. Ces altérations sont associées à des lacunes localisées, et leur configuration laisse penser à des fissurations résultant d'une déformation physique provoquée par le pliage de la toile. Il s'agirait donc non pas d'un vieillissement naturel de la surface, mais d'un phénomène mécanique complexe déclenché par des contraintes extérieures.

Les soulèvements de la couche picturale se concentrent principalement sur la face senestre, notamment autour des anciennes déchirures et des zones repeintes. Ils indiquent un affaiblissement de l'adhésion entre les couches.

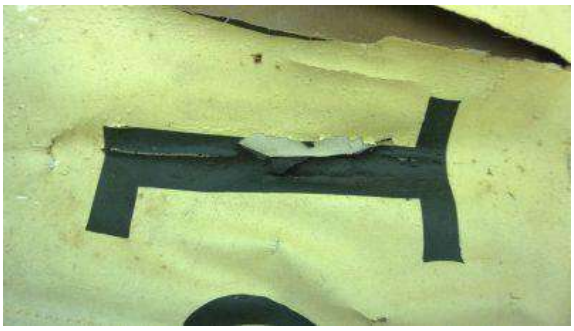


Figure 91, © CHOI, Yonghan, Exemple, Craquelures et soulèvements 1 : [photographie], 2025.

Figure 92, © CHOI, Yonghan, Exemple, Craquelures et soulèvements 2 : [photographie], 2025.

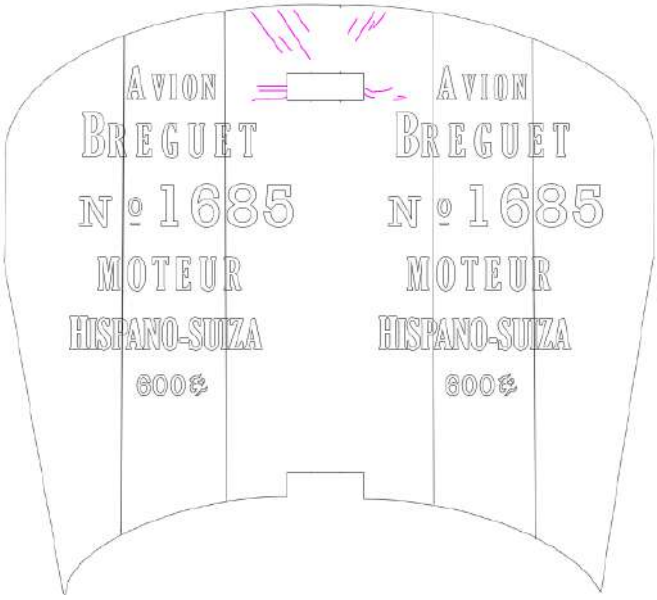


Figure 93, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Recto, Craquelures : [illustration], 2025.

5.A.3.3. Cloques

La surface de la couche picturale présente, dans certaines zones, des cloques de forme irrégulière. Ces gonflements sont principalement concentrés sur la face recto, en particulier sur la face senestre, et sont plus nettement visibles à proximité des zones où un renfort textile a été ajouté où des réparations antérieures ont été effectuées.

Figure 94, © CHOI, Yonghan, Exemple, Cloques 1 : [photographie], 2025

Ce phénomène suggère que, lors du processus de peinture, l'adhésif n'était pas complètement sec au moment de l'application de la couche picturale, ou bien qu'une mauvaise cohésion entre les différentes strates du matériau a contribué à l'apparition de ces cloques.

Figure 95, © CHOI, Yonghan, Exemple, Cloques 2 : [photographie], 2025.

Les cloques ne doivent pas être interprétées comme de simples défauts de surface : elles peuvent indiquer une accumulation de contraintes internes ou de résidus volatils enfermés localement dans la couche picturale. Ces déséquilibres internes ont pour effet de soulever la surface picturale, compromettant ainsi la stabilité structurelle de l'ensemble du film. Cela accroît significativement le risque de soulèvements et d'écaillage.

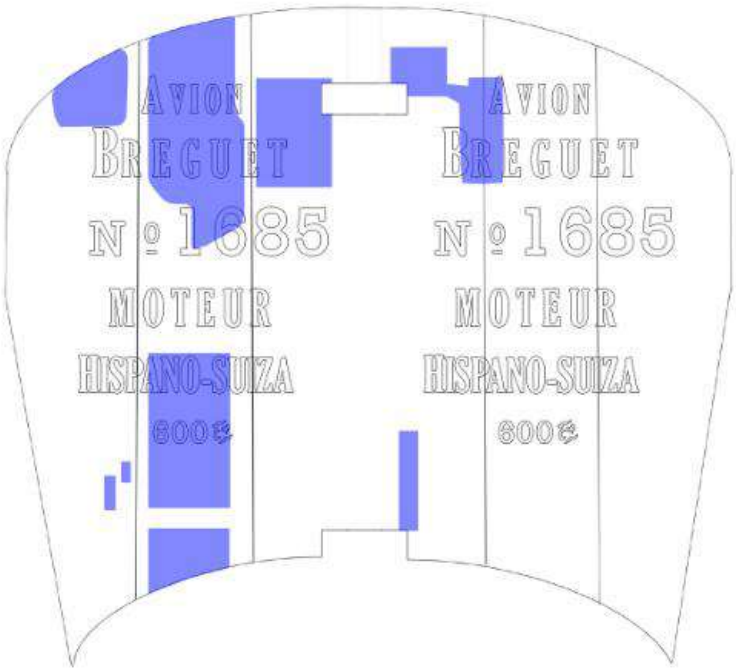


Figure 96, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Recto, Cloques : [illustration], 2025.

5.A.3.4. Lacunes et écaillage des couches picturales

Figure 97, © CHOI, Yonghan, Example, Lacunes et écaillage des couches picturales : [photographie], 2025.

De nombreuses zones de la couche picturale, notamment celles correspondant aux bandes tricolores rouge, bleue et blanche, présentent des phénomènes d'écaillage sous forme de squames. Cette altération est interprétée comme le résultat d'un repeint appliqué sur une couche picturale préexistante, entraînant un affaiblissement de l'adhésion entre les couches. Il en résulte un soulèvement des pellicules de peinture, susceptible de provoquer un décollement progressif des couches voisines. Ce type de dégradation se caractérise par des bordures relevées en forme d'écailles, témoignant d'une perte significative de cohésion physico-chimique au sein de la couche picturale.

Par ailleurs, les déformations mécaniques provoquées par les plis du support ont exercé une contrainte directe sur la couche picturale, aggravant ou déclenchant les phénomènes d'écaillage et de soulèvement, causant ainsi des altérations physiques importants.

Les lacunes apparaissent de manière particulièrement marquée dans les zones associées à l'écaillage ou aux cloques. Ces pertes sont attribuables à un ensemble de causes complexes, incluant un déséquilibre d'adhésion au sein des structures multicouches, des différences de taux de retrait entre les matériaux, ou encore une concentration de tensions mécaniques au cours du séchage naturel post-application.

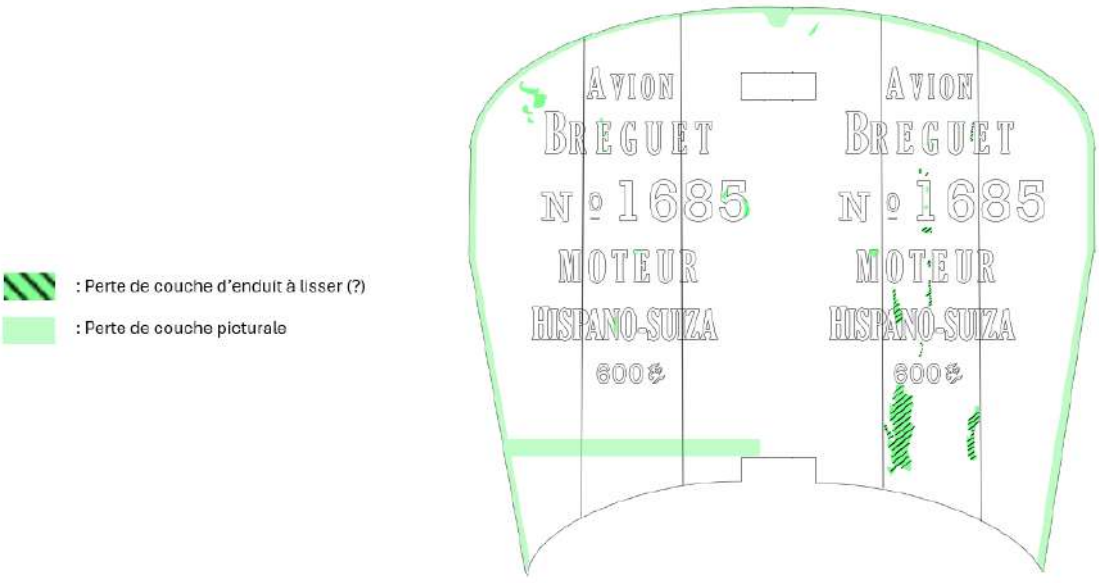


Figure 98, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Recto, Lacunes et écaillage des couches picturales: [illustration], 2025.

5.A.3.5. Contaminations et traces extérieures

La surface picturale de l'objet présente divers types de contaminations et de projections de matière, de nature et d'origine variées. Ces traces peuvent être interprétées non seulement comme le résultat de réactions physico-chimiques propres aux matériaux de peinture, mais aussi comme les conséquences de contacts répétés dans des contextes de stockage, de manipulation ou d'exposition. Chaque trace est susceptible d'influer non seulement sur l'aspect visuel, mais aussi sur la stabilité structurelle de l'objet.

Sur la surface recto de la face senestre, la couche de peinture bleue montre un phénomène de blanchiment, caractérisé par une perte de brillance et un aspect grisâtre. Ce phénomène ne semble pas être dû à un simple dépôt de poussière, mais plutôt à une légère séparation physico-chimique entre le liant et les pigments, possiblement induite par un effet de diffusion optique lié aux variations d'humidité relative.

Sur cette même surface bleue, on observe également des traces blanches opaques et mates. Lorsqu'elles sont frottées doucement au doigt, elles laissent apparaître des résidus, ce qui suggère qu'il s'agit de contaminations extérieures faiblement adhérentes.

En revanche, sur la face senestre, particulièrement dans les zones repeintes en rouge, des taches blanches ponctuelles sont réparties de manière irrégulière. Ces marques ne présentent pas de directionnalité spécifique et varient en taille et en densité. Elles pourraient être liées à une dégradation locale de la couche picturale, à des dépôts de particules extérieures ou encore à une contamination biologique (moisissures, etc.). Une analyse des matériaux serait nécessaire pour en identifier précisément l'origine.

On observe également une trace elliptique de projection de peinture kaki, probablement issue des travaux de mise en peinture de l'avion. Cette trace, dotée de contours nets et orientée obliquement, correspond à une projection typique survenue selon un angle incliné. Elle peut être interprétée comme une marque accidentelle reflétant le contexte technique de l'application.

D'autres traces d'origine externe sont également identifiées :

- Empreinte de semelle sur la peinture blanche, vraisemblablement causée par un contact direct lors de manipulations humaines ;
- Résidus d'excréments d'oiseaux, sous forme adhérente, témoignant d'une exposition passée en extérieur ou d'un stockage mal ventilé ;
- Traces d'adhésif de papier brun, ayant partiellement adhéré puis été détaché sous l'effet de variations d'humidité ;
- Tache brun-jaune ayant imbibé la peinture rouge sur la face recto dextre, indiquant une absorption réactive entre matériaux (immersion pigmentaire) plutôt qu'un simple dépôt en surface.

- Traces de crayon sur la face senestre : repères de marquage pour l'alignement typographique : Sur la face senestre du gouvernail de direction, le long des bords et sous les chiffres « 1 » et « 6 », on observe plusieurs traces horizontales réalisées au crayon.
  Ces marques sont probablement des lignes de repérage préalables tracées par l'opérateur, destinées à aligner la hauteur des lettres dans leur partie inférieure.

Figure 99, © CHOI, Yonghan, Example, contaminations et traces extérieures : [photographie], 2025.

Ces contaminations et traces ne relèvent pas uniquement d'une altération visuelle, mais sont susceptibles d'affecter la stabilité matérielle et la cohésion structurelle de la couche picturale. Chaque trace possède une origine, une nature, une adhérence et un impact physique différents ; par conséquent, une stratégie d'intervention sélective, accompagnée d'analyses des matériaux, est requise dans le cadre des futures opérations de conservation.

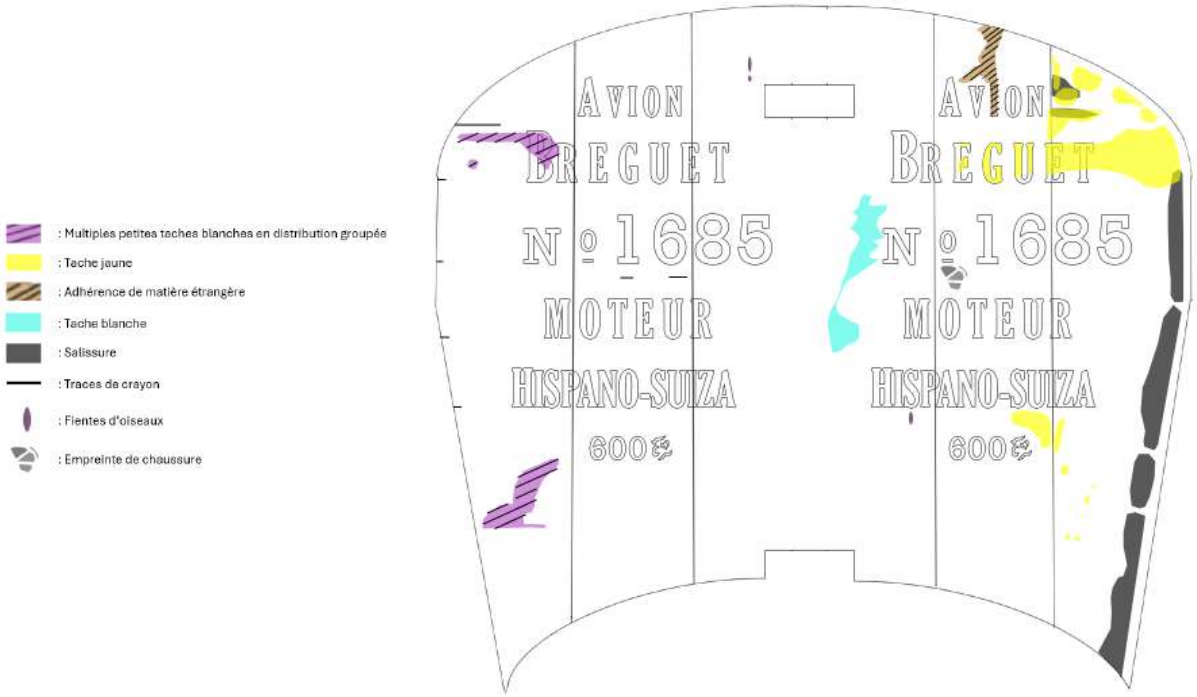


Figure 100, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Recto, Contaminations et traces extérieures : [illustration], 2025.

Chapitre 6: Proposition de traitement

6.A. Problématique

La décoration de la surface extérieure de la toile du gouvernail de direction ne constitue pas une simple ornementation visuelle. Les avions recouverts de toile, en particulier, utilisaient ce matériau pour ses propriétés de légèreté, d'imperméabilité, de protection contre les rayons ultraviolets, ainsi que pour sa capacité à capter les forces de portance. Son principal objectif était de protéger les matériaux internes de l'appareil. En outre, cette toile jouait un rôle technique essentiel dans le maintien de la structure sous tension.

Mais par ailleurs, cette peinture fonctionnelle est aussi un espace de composition visuelle et symbolique à part entière, transformant la surface de l'appareil en un support destiné à transmettre son identité, son appartenance, ainsi que le niveau de développement technologique qu'il représente.

Le tricolore français peint sur le gouvernail de direction du Breguet 19, ainsi que les spécifications techniques et le nom de l'appareil, témoignent du fait que cet avion ne se limitait pas à sa seule fonction de vol : il constituait également un vecteur visuel de l'image nationale et un symbole du savoir-faire technologique aéronautique français. Il ne s'agissait pas uniquement d'un marquage symbolique, mais d'une projection aérienne mouvante, représentant une identité nationale en déplacement dans le ciel.

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, le Breguet 19 n°1685 « *Nungesser et Coli* », en particulier, fut engagé dans plusieurs vols de longue distance et un tour du monde, au cours desquels l'appareil a joué un rôle de représentant diplomatique lors des escales dans différents pays. Dans ce contexte, la peinture du fuselage apparaît à la fois comme une publicité soulignant les performances technologiques et esthétiques de la maison Breguet, et comme un support visuel de la diplomatie française.

En définitive, la peinture conservée sur ce gouvernail de direction ne constitue pas une simple trace décorative. Elle peut être interprétée comme le résultat composite d'une stratégie de propagande nationale, de promotion industrielle et de communication visuelle à caractère politique. Sa restauration et sa présentation muséale doivent ainsi prendre en compte ces différentes strates de signification.

Cette interprétation fait écho à un autre projet diplomatique français de la même époque : « *la Croisière Jaune* » organisée par Citroën. Entre 1931 et 1932, une expédition fut organisée pour traverser le Moyen-Orient et l'Asie. Même si les véhicules utilisés ne portaient pas de décorations particulièrement marquantes, ce projet fut conçu comme

une stratégie nationale visant à promouvoir les technologies industrielles françaises à l'étranger, en associant l'exploration, l'aventure et la performance technique[112].

Le Breguet 19 et la voiture de la « *Croisière Jaune* » peuvent ainsi être considérés comme des objets patrimoniaux techniques mobiles, incarnant à la fois mobilité, visibilité, savoir-faire technologique et projection de l'image nationale.

Dans cette perspective, la peinture de l'avion – et plus particulièrement celle de la surface du gouvernail de direction– peut être perçue comme bien plus qu'un simple revêtement extérieur. Elle constitue un dispositif où se croisent le commercial industriel, la construction de l'image nationale et la visualisation de la diplomatie technologique.

On peut également y lire, de manière plus nuancée, une dimension propagandiste sous-jacente, révélant une volonté implicite d'affirmer la puissance aérienne française. L'étude menée par Zhou et Seo (2019)[113] apporte un fondement empirique à l'interprétation proposée pour ce gouvernail de direction. En analysant les designs des empennages de plusieurs compagnies aériennes majeures à travers le monde, les auteurs ont démontré que l'intégration d'éléments visuels tels que les symboles nationaux ou les références culturelles régionales avait un impact significatif sur la reconnaissance des marques nationales.

Cette conclusion appuie sur l'idée selon laquelle la décoration de l'appareil historique Breguet 19 allait bien au-delà d'un simple dispositif technique : elle agissait comme un médium culturel et politique, capable de susciter une forme d'empathie émotionnelle et de persuasion visuelle auprès du public.

6.A.1.Quelle authenticité pour le patrimoine technique ?

Le patrimoine technique se distingue fondamentalement du patrimoine traditionnel par sa temporalité et sa matérialité propres. Les objets techniques issus de l'aéronautique, tels que les avions, ont été conçus principalement dans un but fonctionnel — pour le transport ou l'usage militaire — et ont été utilisés immédiatement après leur fabrication.

De ce fait, leur cycle de vie implique intrinsèquement des réparations, des modifications et des remplacements répétés[114], rendant ainsi la notion de forme ou d'état « original » floue, mais fondamentalement non pertinente la notion de forme ou d'état « original ».

---

[112] PAGES, Arnaud, « *1931 : André Citroën organise la Croisière Jaune* », *RetroNews,* [en ligne], 2018, Disponible sur : https://www.retronews.fr/sports-et-loisirs/echo-de-presse/2018/02/21/1931-andre-citroen-organise-la-croisiere-jaune (consulté le 06.04.2025),

[113] ZHOU, Dan; SEO, Han-Sok, « *Study on the Relationship between the Tail Graphics of Various Airlines and National Branding Correspondence* », The Journal of the Korea Contents Association, [en ligne], 2019, Vol.19(10), pp.21–31, Disponible sur : https://doi.org/10.5392/JKCA.2019.19.10.021 (consulté le 12.04.2025)

[114] « *Tout objet technique a connu une existence fondée sur la mise en fonctionnement et jalonnée par les différentes phases de son utilisation : sa mise en route, son entretien, les réparations, les ajustements, les modifications dont il a pu faire l'objet, puis son arrêt*. », MIRAMBET-PARIS, Agnès ; MIRAMBET, François, *« La conservation-restauration du patrimoine technique et industriel dans le cadre*

Le gouvernail de direction du Breguet 19, objet d'étude de cette recherche, constitue un exemple particulièrement révélateur de cette réalité. Les recherches menées dans le cadre de ce mémoire ont permis de démontrer que cet objet n'a jamais possédé une identité figée : au fil du temps et des pilotes, ses peintures et son revêtement ont été modifiés à plusieurs reprises.

La présence d'une notice de réparation atteste en outre de l'existence de procédures techniques normalisées visant à réparer et à réutiliser les composants. En particulier, les surfaces en toile — comme celle du gouvernail de direction— étaient facilement endommagées dans les conditions de vol, et leur remplacement ou réparation était techniquement simple. Il est donc fort probable que le revêtement ait été repeint et restauré plusieurs fois, en fonction des besoins.

Ces éléments rendent difficile l'application des critères classiques de conservation, centrés sur le maintien des matériaux originaux. Dès lors, aborder cet objet selon les principes traditionnels de l'authenticité reviendrait à ignorer sa nature intrinsèque et sa logique d'usage.

De plus, l'état actuel du gouvernail de direction conservé au musée ne correspond pas à la forme finale de son exploitation aérienne, mais semble être le résultat d'une recomposition effectuée lors de sa donation par Louis Breguet. Cette reconfiguration ne relève pas d'une réparation ordinaire, mais s'inscrit dans un contexte plus complexe, impliquant les intentions d'exposition de l'époque, les relations entre techniciens et institutions, ainsi que des enjeux liés à l'image de l'entreprise.

Dans ce sens, ce patrimoine technique ne devrait pas être perçu comme un objet à l'état fixe, mais comme un support narratif évolutif, stratifié au fil du temps. Cette approche est en cohérence avec les principes énoncés par la Déclaration de Nara sur l'authenticité (1994), qui stipule que l'authenticité ne peut être définie par un seul critère, mais doit être évaluée à travers une pluralité d'éléments : le contexte culturel, la fonction, la structure, les matériaux, la forme, l'usage, ainsi que les traditions.

Ainsi, bien que le gouvernail de direction n°1685 du Breguet 19 ne conserve pas nécessairement ses matériaux d'origine, il incarne néanmoins une authenticité d'ordre technique, esthétique et institutionnel — fruit de la recomposition et de la muséalisassions opérées lors de sa donation.

Afin d'éclairer la trajectoire qui l'a conduit à la décoration actuelle de ce gouvernail de direction, j'ai établi une chronologie visuelle sous forme de tableau (Annexe IV). L'avion auquel appartenait ce gouvernail de direction a accompli quatre grands voyages, dont un

---

de la loi sur les Musées de France, une mission impossible ? », *Culture et Musées*, [en ligne] 2003, n° 3, pp. 27-35, Disponible sur https://doi.org/10.4000/ocim.874, (consulté le 06.04.2025).

tour du monde considéré comme l'ultime étape de sa carrière. Les différentes phases de transformation des peintures sont schématisées et synthétisées

Au regard de ces éléments, la restauration proposée ne vise pas un retour à un état passé, elle se veut davantage une intervention narrative destinée à préserver la richesse historique et l'ensemble des récits et des interprétations possibles que cet objet porte aujourd'hui.

En ce sens, la restauration n'est pas seulement un défi lancé au concept classique d'originalité, elle devient également un outil de reconstruction de nouvelles strates historiques et symboliques. Ainsi, ce gouvernail de direction ne doit plus être considéré comme un simple élément fonctionnel d'un aéronef, mais comme un témoin matériel reconfiguré, porteur d'un récit visuel et institutionnel.

C'est pourquoi l'objectif de la conservation du patrimoine ne devrait pas être la préservation de la forme, mais bien celle de la signification. L'authenticité ne saurait être une notion figée : elle est toujours le produit d'une interprétation, comme le rappelle l'article 13 de la Déclaration de Nara sur l'authenticité (1994)[115]. La restauration de cet objet ne peut donc être menée que dans une lecture contextuelle, reposant non pas sur un critère unique, mais sur une approche fondée sur des valeurs multiples et croisées.

6.B. Proposition de traitement

Introduction

Cette interprétation rejoint étroitement la perspective proposée par Madeleine Akrich dans son article de 1993 intitulé « *Comment décrire un objet technique ?* »[116]. L'autrice y soutient que les objets techniques ne se limitent pas à leur fonction utilitaire : ils participent à la construction d'un ordre social spécifique en préfigurant des types d'usagers, des environnements d'usage et des modes d'interaction. Dès leur conception, ces objets intègrent des hypothèses sur les comportements attendus, les usages possibles et les configurations sociales. Ainsi, ils contribuent à structurer et à légitimer certaines formes de relations sociales. Dans cette optique, le gouvernail de direction du Breguet 19 peut être interprété non seulement comme une pièce fonctionnelle d'un avion, mais aussi comme un dispositif visuel porteur de messages politiques, un vecteur narratif chargé de signification sociale à travers sa forme, sa peinture et sa fonction.

Le gouvernail de direction du Breguet 19 n°1685, actuellement exposé au musée, peut apparaître comme un simple vestige figé, un composant aéronautique désaffecté. Pourtant, les marques visibles à sa surface — le drapeau tricolore français, les

[115] ICOMOS, Déclaration de Nara sur l'authenticité, article 13, 1994 : « *L'authenticité ne peut être définie par un seul critère, mais doit être jugée sur la base de divers facteurs, tels que le contexte culturel, la fonction, la structure, les matériaux, la forme, l'usage et les traditions.* »

[116] AKRICH, Madeleine, « *Retour sur « Comment décrire les objets techniques ? » », Techniques & Culture* [en ligne], 2010, 54-55, Disponible sur http:// journals.openedition.org/tc/5136, (consulté le 15 .09.2020.)

inscriptions techniques, le nom de l'appareil — témoignent d'un rôle qui allait bien au-delà de la fonction mécanique. À l'époque de son utilisation, cet avion représentait un vecteur itinérant de l'image nationale française, un outil diplomatique en mouvement et une vitrine de l'excellence technologique de la maison Breguet.

Avec le temps, cependant, cet objet s'est progressivement détaché de son contexte d'origine. Privé de sa fonction première, il est devenu un artefact patrimonial que l'on observe sous un prisme neutre. Cette évolution s'inscrit dans un processus que l'on peut qualifier de « dépolitisation » : un objet chargé à l'origine de signification stratégique et diplomatique finit par être perçu comme un élément purement technique ou décoratif, vidé de sa charge politique initiale.

Face à ce constat, cette étude cherche à réinscrire le gouvernail de direction dans son cadre interprétatif original, en soulignant les dimensions politiques, symboliques et visuelles qui en faisaient un véritable support de propagande. Restaurer et exposer un tel objet ne doit pas se limiter à une réplique formelle ou matérielle ; il s'agit plutôt d'un acte d'interprétation visant à révéler les strates historiques, sémiotiques et idéologiques que l'objet porte encore en lui. En ce sens, restaurer ce gouvernail de direction revient à engager une re-politisation de sa surface, à redonner voix à ce qu'elle exprimait autrefois.

6.B.1. Un objet à mettre en récit : réflexions sur les modes d'intervention

Dans une perspective de conservation-restauration, il convient de s'interroger sur la pertinence contemporaine des propriétés matérielles qui furent autrefois considérées comme fondamentales dans le domaine de l'aéronautique.

La durabilité, la flexibilité, l'imperméabilité ou encore la résistance aux rayons lumineux constituaient, au début de l'aviation militaire, des critères techniques déterminants dans la sélection des matériaux utilisés pour les revêtements textiles.

Mais aujourd'hui, la question se pose de savoir si ces qualités doivent être préservées ou reconstituées dans le cadre d'un traitement patrimonial, en particulier lorsqu'il s'agit d'un objet tel qu'un gouvernail de direction textile détaché de sa structure fonctionnelle. Cette interrogation appelle une réponse nuancée, qui dépend de l'approche adoptée par le restaurateur ou l'institution commanditaire. Plusieurs approches possibles se dessinent :

Une approche esthétique, centrée sur la lisibilité formelle et la cohérence visuelle, pourrait relativiser l'importance de certaines propriétés physiques, telles que l'imperméabilité, jugées non pertinentes en contexte muséal.

À l'inverse, une approche fonctionnelle ou technologique, qui tend à valoriser l'objet comme témoignage matériel d'un savoir-faire industriel ou d'une performance technique, pourrait considérer ces propriétés comme constitutives de l'authenticité de l'objet.

Ainsi, l'évaluation des caractéristiques à préserver ne saurait se limiter à une lecture normative. Elle nécessite au contraire une réflexion contextualisée, intégrant à la fois les

usages passés de l’objet, les intentions de présentation muséographique et la nature du message patrimonial à transmettre.

L'analyse diagnostique précédemment présentée (à travers l'état de conservation) et l'étude des matériaux ont démontré que le gouvernail de direction du Breguet 19 ne constitue pas un simple composant technique, mais représente un patrimoine culturel complexe, porteur d'une historicité et d'une signification symbolique. Par conséquent, l'approche de conservation et de restauration de cet objet ne peut se limiter à la seule stabilisation matérielle : elle nécessite une stratégie d'intervention multiple et organique, prenant en compte la temporalité, la mémoire et la narration véhiculées par l'objet.

Dans ce chapitre, cinq propositions d'intervention sont comparées, chacune fondée sur différentes philosophies de la conservation et de la restauration. Ces propositions sont évaluées selon trois axes principaux :

- Le principe de l'intervention minimale, en accord avec l'éthique de la conservation.
- L'objectif d'exposition centré sur la restauration de la valeur symbolique et esthétique.
- La stabilité physique et la durabilité structurelle de l’objet

Les cinq propositions présentées ci-dessous expriment différentes visions de la manière dont le gouvernail de direction doit être perçu : en tant qu'objet physique à conserver tel quel, ou en tant qu'objet interprétatif. Certaines approches privilégient la conservation des traces du temps, exposant les altérations visibles, tandis que d'autres s'appuient sur des processus de reconstitution ou de restitution visuelle afin de renforcer la lisibilité muséographique.

Cette comparaison vise à évaluer non seulement les valeurs narratives de chaque proposition, mais aussi leurs bénéfices ainsi que leurs limites éthiques et matérielles. Cette mise en contraste permettra d'établir un cadre de référence critique et interprétatif pour guider les choix futurs en matière de restauration et de présentation muséale. L'analyse détaillée qui suit examine chaque proposition selon son niveau d'intervention matérielle, son mode de mise en récit, et sa fonctionnalité post-restauration.

6.B.1.1. Proposition 1 – Une histoire non dépliée : mémoire et symbole d'un gouvernail de direction replié

Cette proposition de restauration vise à conserver et exposer le gouvernail de direction dans son état actuel, c'est-à-dire replié, tel qu'il était avant son déploiement pour l'analyse structurelle et les recherches. Ainsi, cette approche préconise un repli soigneux de l'objet après documentation complète des altérations visibles, afin de le préserver ou de l'exposer dans cette configuration.

En maintenant l'objet dans son état de conservation initial, cette méthode permet une présentation parallèle à l'avion, évoquant son positionnement d'origine. Toutefois, cette proposition limite la compréhension du contexte global de l'aéronef, en particulier la fonction du gouvernail de direction et l'échelle de l'appareil. De plus, le processus de repli peut potentiellement engendrer des altérations supplémentaires sur la toile de lin et la couche picturale.

Cette proposition s'inspire de l'illustration emblématique du mouton dans la boîte, tirée du « *Petit Prince* » de Saint-Exupéry (*Figure 101*). À l'instar de ce mouton invisible, suscitant l'imaginaire du spectateur, le gouvernail de direction soigneusement replié devient un objet à forte valeur symbolique et introspective. Il évoque également les gestes commémoratifs comme le pliage du drapeau, offrant au visiteur un espace d'interprétation personnelle.

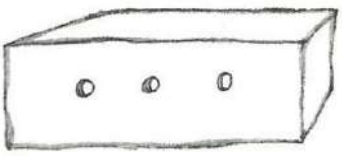


Figure 101, DE SAINT-EXUPERY, Antoine, Boîte de petit prince : [illustration], tiré de DE SAINT-EXUPERY, Antoine, « Le petit prince », ©Éditions Gallimard, p.18, 1999.

Figure 102, © The military gift store, Marine Corps Flag Medal Display Case, USMC Flag Case : [photographie], [en ligne], [s.d.]

Ce type de présentation, proche d'une exposition d'objets commémoratifs, dépasse la simple restauration technique et laisse place à une narration construite par le visiteur lui-même. Le gouvernail de direction, replié, agit comme un « vecteur de mémoire », porteur de temporalité et de symbolisme. Il propose une restauration narrative et évocatrice, capable de transmettre l'historicité et la dimension commémorative de l'objet tout en stimulant l'imaginaire du public.

Exposé dans cette posture solennelle, le gouvernail de direction cesse d'être un simple composant technique pour devenir un symbole de mémoire, d'héritage voire d'identité nationale. Cette modalité d'exposition, semblable à celle des objets cultuels ou patrimoniaux, incarne une stratégie muséographique incitant à la contemplation et à la réflexion sur l'histoire aéronautique française, tout en révélant le potentiel symbolique maximal de la restauration.

6.B.1.2. Proposition 2 – La reconstitution du temps du vol : un patrimoine exprimé par la fonction

Cette approche vise à mettre en lumière le gouvernail de direction en tant que patrimoine technique. À l'instar d'autres exemples d'ailes d'avions restaurées, cette proposition entend souligner l'importance structurelle et fonctionnelle de cette pièce, afin de mieux comprendre le rôle qu'elle a joué dans l'histoire de la construction aéronautique. Ce mode de présentation permettrait ainsi de clarifier la place et la fonction du gouvernail de direction dans l'évolution des technologies aériennes.

Cette proposition s'inscrit également dans l'une des missions principales du Musée de l'Air et de l'Espace : la préservation, la présentation et la transmission du patrimoine aéronautique. Le gouvernail de direction pourrait donc être exposé dans une position proche de sa configuration d'utilisation d'origine, ce qui permettrait de reconstituer son intégration à la structure de l'appareil.

Cependant, l'état actuel de conservation rend peu probable un retour complet à la tension originale de la toile. Cette contrainte physique rend difficile une restitution fidèle de sa forme initiale, nécessitant un compromis respectueux des matériaux existants tout en maintenant un certain degré de lisibilité fonctionnelle.

Au-delà de la simple restitution technique, cette proposition reconnaît la valeur du gouvernail de direction comme témoin matériel du temps du vol. La restauration devient ici un dispositif interprétatif qui, tout en reproduisant une fonction passée, relie le spectateur contemporain au contexte d'usage historique de l'objet. La structure physique et les altérations du gouvernail de direction sont elles-mêmes des résidus de l'expérience de vol, et leur exposition offre un support pour évoquer non seulement des données factuelles, mais aussi une sensation temporelle et une profondeur narrative.

Figure 103, © CHOI, Yonghan, Gouvernail de la direction dans la grande galerie du Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget : [photographie], image réalisée par CHOI, Yonghan, 2025.

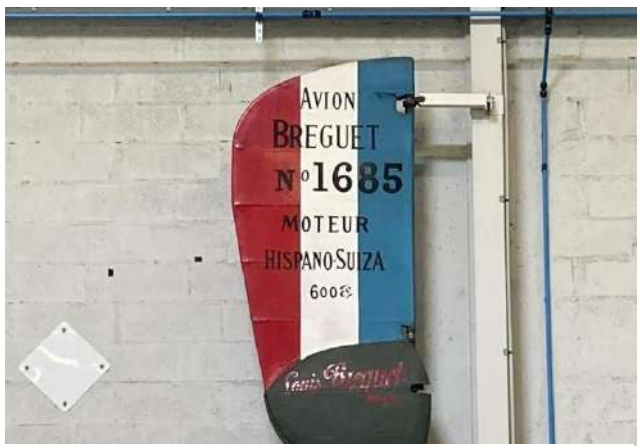


Figure 104, © CHOI, Yonghan, La copie du gouvernail de la direction BREGET 19 n°1685 dans l'atelier de Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget : [photographie], image réalisée par CHOI, Yonghan, 2025.

6.B.1.3. Proposition 3 – Une exposition sans fonction, restitution du sens : une approche archéologique

Cette modalité de conservation et de présentation est déjà utilisée dans la salle consacrée à la Seconde Guerre mondiale du musée de l'Air et de l'Espace du Bourget. Dans cet espace, des toiles d'avions ayant servi en situation réelle sont exposées à plat, illustrant de manière exemplaire la reconnaissance de l'état actuel de l'objet tout en mettant en valeur son authenticité matérielle et historique (*Figures 105 et 106*).

Figure 105, © CHOI, Yonghan, Photo d'insigne de l'escadrille SPA 103 "CIGOGNE DE FONCK" dans Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget : [photographie], 2025.

Figure 106, © CHOI, Yonghan, Photo de fragment de toile de fuselage orné de l'insigne de l'escadrille S4 : La mort qui fauche dans Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget : [photographie], 2025.

Ce type d'approche se concrétise par une disposition au sol du gouvernail, à plat, sans tentative de restitution fonctionnelle ou de reconstruction morphologique. Il en résulte une lecture directe des traces du temps et des transformations matérielles, permettant au public de percevoir le gouvernail direction comme un artefact archéologique, détaché de sa fonction initiale.

Ainsi séparé de son appareil d'origine, l'objet est perçu comme un fragment du passé plutôt que comme un composant actif. Dépourvu de sa fonctionnalité, le gouvernail de direction devient un témoin silencieux qui invite à l'imagination, à l'interprétation et à la reconstitution mentale du contexte historique.

L'exposition met l'accent sur les transformations matérielles – blanchiment, décollement, altération chromatique et déformations – non comme des altérations, mais comme des indices tangibles du passage du temps et des conditions environnementales subies. Ces marques deviennent les porteurs d'une mémoire diffuse, que le visiteur est invité à déchiffrer partiellement.

Ce dispositif évite une narration didactique ou complète, pour privilégier une approche évocatrice et ouverte, laissant place à la projection et à l'interprétation personnelle du visiteur. Il rejoint ainsi une perspective archéologique, où les objets posent des questions plutôt qu'ils n'apportent des réponses.

Ce type de présentation accepte pleinement l'objet dans son état actuel tout en révélant la temporalité et la dimension sensorielle qu'il contient. Elle transforme l'espace d'exposition en dispositif mémoriel, et constitue une stratégie muséographique cohérente avec d'autres exemples internes au musée. Elle croise mémoire, technique et interprétation dans une approche complexe mais fortement signifiante.

6.B.1.4. Proposition 4 – Le gouvernail de direction comme œuvre de mémoire, entre matière, image et symbole

Cette proposition vise à requalifier le gouvernail de direction au-delà de sa seule fonction technique, en le repositionnant comme un patrimoine culturel à part entière, en soulignant à la fois sa valeur commémorative et ses dimensions matérielles et visuelles. Tel un reliquaire religieux ou un drapeau militaire, le gouvernail de direction peut être présenté comme un objet symbolique doté d'une portée nationale, devenant ainsi un vecteur de mémoire collective et un médium narratif chargé de sens.

Figure 107, CAPELLI, Benedetta - Cité du Vatican, « Le Pape François devant le Linceul de Turin en 2015 » : [photographie], tiré de Vatican news, CAPELLI, Benedetta - Cité du Vatican, «Ton amour est pour toujours»: une liturgie devant le Linceul de Turin, [en ligne]

Inspirée de cas emblématiques tels que la tunique de Sainte Catherine (*Figure 107*), les drapeaux de guerre ou les bannières historiques, cette approche propose de reconsidérer le gouvernail non pas comme simple vestige de la technologie aéronautique, mais comme un artefact porteur d'un récit symbolique.

Figure 108, © CHOI, Yonghan, Peinture sur bâti, peinture origine : André Boisson, « Marie Madeleine se dépouillant de ses bijoux » : [pienture], Toile ornant le choeur de la basilique saint Maximin (Var), 2025.

Ce mode de présentation s'inscrit dans la lignée d'autres expositions de pièces d'avions restaurées, où les traces historiques sont conservées tout en mettant en lumière leur fonction commémorative. Ici, le gouvernail est monté sur un châssis, à l'instar d'un tableau (*Figure 108*), lui conférant un nouveau statut visuel d'objet autonome, détaché de son contexte technique. Cette installation révèle la texture, l'usure, la matérialité du support textile et garantit à la fois la stabilité structurelle et la compatibilité avec les exigences muséographiques de conservation.

Un atout majeur de cette proposition réside dans la possibilité d'exposer les deux faces de l'objet : le recto et le verso. Le verso dévoile les traces de réparations, les matériaux constitutifs, les méthodes de fabrication et les temporalités d'usage, fournissant ainsi des indices précieux sur l'histoire opérationnelle du gouvernail. Le recto, quant à lui, servait à des fins de communication — expliquant les spécifications de l'avion ou arborant des éléments visuels à fonction diplomatique ou nationale, tel que le drapeau français. Montrer simultanément ces deux faces permet de restituer la complexité historique, esthétique et technique de l'objet dans son intégralité.

De plus, ce dispositif présente une haute compatibilité avec les conditions de conservation muséale. L'usage d'un châssis, semblable aux techniques de présentation des œuvres d'art, permet d'assurer à la fois la stabilité physique et la gestion à long terme de l'objet, tout en facilitant son intégration dans un environnement muséal professionnel adapté à la fois à l'exposition et à l'entreposage.

En résumé, cette approche intégrée propose une stratégie de restauration et de présentation alternative qui articule les dimensions de forme, de fonction et de mémoire. Elle offre au public une expérience immersive, riche en symboles et ouverte à l'interprétation, consolidant ainsi la fonction narrative et patrimoniale du gouvernail.

6.B.1.5. Proposition de traitement 5 – Conservation en réserve en l'absence de projet d'exposition

En l'absence de projet d'exposition à court ou moyen terme, la priorité est de garantir la préservation physique du gouvernail en réserve, en mettant en œuvre une stratégie de conservation préventive adaptée. Les mesures recommandées sont les suivantes :

- **Stabilisation de l'environnement climatique** : maintenir une température et une humidité relative constante afin de limiter les phénomènes de dégradation affectant les matériaux organiques (toile) et métalliques.
- **Conception d'un support de conservation adapté** : développer une structure de soutien spécifique permettant de répartir les contraintes mécaniques et d'éviter toute déformation ou tension excessive sur la toile et les couches picturales.
- **Mise en place d'un protocole de surveillance** : organiser des inspections régulières de l'état de conservation pour détecter précocement d'éventuels signes de dégradation et intervenir de manière appropriée.
- **Protection contre l'exposition lumineuse** : réduire au maximum l'exposition à la lumière et aux UV, afin de prévenir les phénomènes de photodégradation des fibres et des pigments.

Ces mesures visent à stabiliser l'état matériel du gouvernail tout en préservant sa valeur historique et son authenticité. Elles permettent également de maintenir l'objet disponible pour une future valorisation muséographique, en respectant les principes de conservation éthique et durable.

6.B.1.6. Choix de la proposition –la proposition 4 et sa signification

À l'issue de cette analyse comparative, une réunion de concertation a été organisée avec le Musée de l'Air et de l'Espace afin de déterminer l'orientation finale de l'intervention. Cette réunion a permis de confronter les différentes valeurs narratives, le degré d'intervention matérielle, les potentialités de conservation à long terme et la cohérence avec la stratégie d'exposition du musée. La décision a été prise en étroite collaboration avec les responsables de l'exposition et l'équipe de restauration du musée.

Ce processus a constitué une étape déterminante visant à équilibrer les exigences de la conservation/restauration et les intentions scénographiques de l'exposition. Il s'agit d'une décision fondée non seulement sur une analyse matérielle et scientifique, mais aussi sur une lecture herméneutique du contexte culturel et symbolique de l'objet.

Cette concertation avec le Musée de l'Air et de l'Espace, à l'adoption de la « proposition 4 – présentation picturale ». Ce choix d'activation de l'objet repose sur une volonté commune de redéfinir le gouvernail non plus comme un simple élément technique, mais comme un patrimoine porteur de symboles et de récits, tout en respectant l'éthique muséale et la légitimité interprétative.

Le musée considère que cette modalité de présentation peut jouer un rôle méthodologique et pédagogique en exposant les deux faces du gouvernail (de sa fabrication à son utilisation, puis à sa réparation et restauration), elle permet de révéler simultanément la temporalité, la matérialité, et les traces d'intervention. Raconté de la sorte, l'objet devient un vecteur narratif totalisant, capable de transmettre son importance historique et commémorative.

Ce type de mise en exposition évoque également les structures de signification propres aux reliques ou aux monuments religieux. À l'instar de la tunique de Sainte Catherine, précédemment évoquées, dont la valeur symbolique repose moins sur sa véracité que sur la mémoire collective qui l'investit, le gouvernail fonctionne comme un espace de projection pour l'imaginaire. Ce n'est pas la preuve matérielle qui crée le sens, mais bien l'interprétation et la mémoire partagée.

Du point de vue de la recherche en conservation-restauration, ce choix d'exposition s'inscrit parfaitement dans une approche théorique de la « restauration narrative » qui vise ici reconstituer l'histoire d'un patrimoine technique non seulement comme objet physique, mais comme surface de mémoire, vecteur de temporalité et de traces humaines. Le gouvernail de direction, exposé avec toutes les strates de fonctionnement, d'altération et de restauration, cesse d'être une simple pièce d'aéronef pour devenir un monument de mémoire.

Ce choix garantit à la fois la stabilité fonctionnelle et la fidélité interprétative, permettant au public de percevoir l'objet non pas comme un fragment technologique isolé, mais

comme une entité monumentale investie de poids ontologique et de survivance historique. Cette décision peut ainsi être comprise comme l'aboutissement d'un point de convergence entre pratiques muséales, éthique, conservatoire et stratégie discursive scientifique.

Chapitre 7 : Proposition d'intervention

Introduction

Afin de guider les interventions de restauration, quatre principes fondamentaux fondés sur l'éthique de la conservation seront strictement respectés afin de préserver à la fois la matérialité de l'œuvre et sa lisibilité.

Tout d'abord, le principe de l'intervention minimale : toute action de restauration doit être limitée aux interventions strictement nécessaires et justifiables, dans le but de respecter au maximum l'intégrité matérielle et conceptuelle de l'objet.

Deuxièmement, la réversibilité : les matériaux et techniques utilisés doivent pouvoir être retirés ou annulés sans altérer l'original, permettant un retour à l'état antérieur si nécessaire.

Troisièmement, la compatibilité physico-chimique : tous les produits employés doivent être compatibles avec les matériaux d'origine, sans provoquer de réactions indésirables, même dans des conditions de vieillissement ou d'environnement variables.

Enfin, quatrièmement, la durabilité des interventions : les matériaux choisis doivent garantir une stabilité à long terme, en maintenant leurs propriétés fonctionnelles au fil du temps.

Conformément à ces principes, les interventions seront structurées en trois volets : la conservation curative, la conservation préventive et la restauration.

7.A. Proposition d'intervention du gouvernail de direction du Breguet 19 « Nungesser et Coli » – Une approche fondée sur la réflexion

La présente proposition vise une intervention de restauration sur le gouvernail de l'avion Breguet 19 « Nungesser et Coli ». Plutôt que de chercher une reconstitution formelle de l'état d'origine, cette approche accorde la priorité à la stabilisation physique de l'objet en tant que patrimoine technologique, à la préservation de son potentiel de représentation visuelle mémorielle, ainsi qu'au respect des traces du temps à travers une mise en exposition muséographique pensée.

Toutes les mesures proposées ne sont pas encore mises en œuvre : il s'agit d'un document de planification établi en concertation avec le musée, en attente de validation et d'application. Cette proposition s'inscrit dans le respect des principes déontologiques de la restauration (ECCO, ICOM, etc.) et tient compte à la fois des caractéristiques matérielles de l'objet et des conditions spécifiques de son exposition.

7.A.1. Types principaux d'altérations identifiés lors du diagnostic de conservation

1) Altérations liées au support toile

- Altérations mécaniques : traces de pli dues à un stockage prolongé en position pliée, déchirures, déformations des fibres
- Instabilité structurelle : absence de planéité structurelle
- Altérations biologiques : moisissures en surface et taches biologiques localisées

2) Altérations liées à la couche picturale

- Altérations chimiques : acidification causée par l'acide acétique et l'acide nitrique, phénomènes de blanchiment (blanchiment optique)
- Altérations physiques : soulèvements, pertes, écailles, craquelures
- Altérations par contamination : salissures superficielles, fientes d'oiseaux, traces blanches opaques, empreintes de semelles

3) Interventions antérieures de réparation ou de restauration

- Coutures sur les zones déchirées et renforts appliqués sur la face peinte

Intervention conservatoire sur les altérations non historiques :

Dans le processus de conservation-restauration du patrimoine culturel, toutes les altérations ne possèdent pas nécessairement une valeur narrative ou commémorative. Certaines d'entre elles relèvent plutôt de dégradations fonctionnelles survenues secondairement en raison de changements environnementaux ou de manipulations successives, sans lien direct avec l'histoire significative de l'objet.

Figure 109, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, « la cérémonie de donation du Breguet 19 GR n°1685 par Louis Breguet au Musée de l'Air en 1932 », 1932, © CHOI, Yonghan.

Dans le cas du gouvernail du Breguet 19, les déchirures observées ne figuraient pas lors de la cérémonie de donation de 1932 (*Figure 109*), comme l'attestent les documents iconographiques de l'époque. Il s'agit donc de altérations postérieurs, dépourvus de valeur symbolique ou historique. Ces altérations doivent être traitées dans une logique de conservation fonctionnelle, visant à restaurer la continuité structurelle et à assurer la stabilité physique de l'objet sans chercher à restituer son apparence originelle. L'intervention sera limitée, réversible et basée sur une approche de conservation minimale.

7.A.2. Définition des objectifs de l'intervention de conservation-restauration

L'objectif de la présente intervention de conservation-restauration est de préparer le gouvernail de direction du Breguet 19 « Nungesser et Coli » à sa présentation muséale. Après traitement, l'objet sera exposé en position dépliée, de manière à transmettre pleinement sa dimension historique et symbolique au public.

Plus qu'un simple composant technique, ce gouvernail est envisagé comme une relique chargée d'une narration héroïque. L'intervention vise ainsi à restaurer sa valeur symbolique tout en le requalifiant comme espace narratif pictural.

La démarche poursuivie cherche à garantir la stabilité physique de l'objet tout en respectant les marques du temps, les strates de mémoire et les signes symboliques inscrits à sa surface. L'exposition proposée ambitionne ainsi d'agir comme un témoignage visuel, en créant une rencontre entre passé et présent.

Mode d'exposition : une mise en valeur symbolique et historique

Le gouvernail sera tendu sur un bâtit, avec une exposition simultanée de ses deux faces. Cette configuration permet non seulement de montrer l'objet, mais également de mettre en dialogue les traces des interventions anciennes (telles que les réparations par couture) avec les actions de conservation-restauration contemporaines.

En juxtaposant ces différentes strates d'interventions, l'exposition met en évidence les continuités et les ruptures dans l'histoire matérielle de l'objet. Elle souligne que la restauration n'est pas une simple reconstitution, mais le fruit de choix critiques et éthiques portés par le temps.

Objectifs spécifiques de l'intervention :

Conservation curative :

Il s'agit d'actions directement menées sur l'objet, ou un ensemble d'objets, dans le but de ralentir un processus de dégradation actif ou de renforcer sa stabilité structurelle.

- Dépliage du gouvernail afin d'en restaurer la lisibilité et la stabilité structurelle
- Élimination des moisissures afin de prévenir la biodégradation des matières organiques
- Consolidation des déchirures du support en toile pour garantir la cohésion structurelle
- Refixage et consolidation de la couche picturale pour assurer une stabilité physique
- Installation d'un châssis à tension variable adapté, prenant en compte la symbolique de l'œuvre et les exigences d'accessibilité muséographique

Conservation préventive :

Il s'agit de l'ensemble des mesures visant à éviter ou minimiser les altérations ou pertes futures.

- Élaboration de recommandations de conservation préventive pour une préservation à long terme

Restauration :

L'objectif est de rétablir un état de présentation satisfaisant pour l'exposition de l'œuvre.

  – Décrassage de la surface picturale

L'ensemble de ces interventions repose sur les principes éthiques de la conservation-restauration. Ce protocole s'inscrit également dans une démarche interprétative où le gouvernail, au-delà de son statut d'objet technologique, devient un « récit visible » où se conjuguent mémoire et symbolique. Ce gouvernail de direction agit comme une synecdoque, évoquant l'ensemble de l'avion à travers l'une de ses parties, ainsi que ses usages, sa mémoire et sa charge symbolique. Cette restauration peut dès lors être interprétée comme une intervention de nature rhétorique, relevant de la figure de style de type synecdoque.

Ainsi, cette intervention vise un double objectif : garantir la stabilité physique de l'objet en tant que patrimoine technique, tout en restaurant sa valeur narrative et symbolique pour le public.

7.B. Conservation curative

7.B.1. Support

7.B.1.1. Dépliage

La première étape de l'intervention de conservation a consisté en un relâchement contrôlé des tensions du support textile, réalisé dans une chambre climatique stabilisée à 70 % d'humidité relative et à 18 °C. Ces conditions sont classiquement appliquées dans le cas des peintures sur toile traditionnelles, où la colle de peau joue un rôle central dans la cohésion des strates. Toutefois, dans le cas présent, l'objet possède une stratigraphie atypique, composée d'une couche picturale à base de cellulose acétate et de nitrocellulose, matériaux dont les propriétés physico-chimiques diffèrent fondamentalement des systèmes traditionnels.

Dès lors, l'application directe de ces conditions d'humidification – bien qu'inspirée des méthodologies conventionnelles – s'avère théoriquement contestable. Cette limite méthodologique, issue d'un transfert de paradigme non critique, est explicitement assumée et analysée de manière réflexive dans cette proposition.

Dans les systèmes classiques, une humidité relative de 70 % représente un point d'équilibre optimal, où les différences de modules d'élasticité entre la toile, la couche picturale et la colle organique sont minimisées, réduisant ainsi les tensions mécaniques. Or, cette logique n'est pas transposable ici, en l'absence de colle de peau.

Néanmoins, les résultats expérimentaux obtenus lors de l'intervention ont montré des effets tangibles : une diminution notable de la tension du support ainsi que la disparition de sons de craquement initialement audibles lors du dépliage. Ces observations confirment une efficacité ponctuelle de la méthode dans un cadre limité, bien qu'elle ne puisse être considérée comme totalement idéale au regard de la nature spécifique des matériaux.

À l'avenir, toute intervention similaire sur des matériaux à base de cellulose acétate devra être précédée d'une étude approfondie sur leur réactivité à l'humidité. Une meilleure compréhension de ces paramètres permettra d'ajuster précisément les conditions de température et d'humidité, afin d'éviter l'application mécanique de protocoles standardisés non adaptés.

Ainsi, cette expérience met en lumière l'importance d'une approche fondée sur la spécificité matérielle, et d'une remise en question constante des modèles établis dans la pratique de la conservation-restauration.

7.B.1.2. Aplanissement

Dans le cadre de cette intervention, le choix d'un aplanissement intégral n'a pas été retenu. En effet, les plis et déformations observés sur le support sont interprétés non comme des altérations à effacer, mais comme des traces du temps et témoins matériels d'un récit historique. L'intervention vise donc à préserver ces marques comme éléments narratifs, s'inscrivant dans une lecture patrimoniale respectueuse de la mémoire de l'objet.

Toutefois, dans une perspective de présentation muséographique, certaines zones localisées pourraient nécessiter un aplanissement partiel, réalisé avec précaution comme technique non invasive. Trois paramètres physiques sont envisagés pour ce traitement : l'humidité, la chaleur et la pression, utilisés isolément ou de manière combinée après des tests préalables.

Plus précisément, l'application de chaleur modérée à l'aide d'un air chaud pulsé ou d'une spatule chauffante, suivie d'un refroidissement immédiat, permettra de lisser délicatement certaines irrégularités. Néanmoins, une vigilance particulière sera portée aux caractéristiques thermosensibles des matériaux constitutifs, notamment les liants à base de nitrate et d'acétate de cellulose, afin d'éviter toute déformation ou dégradation chimique. Ainsi, toute exposition à des températures élevées sera strictement évitée.

Par ailleurs, l'usage d'une table aspirante (table à dépression) est également envisagé pour faciliter l'aplanissement progressif dans des conditions de contrôle optimal. Cette technique permet une application douce et homogène de la pression tout en assurant une bonne ventilation, contribuant ainsi à la stabilité mécanique de l'objet.

Ce protocole d'aplanissement, partiel et ciblé, s'inscrit dans une logique de conservation curative mesurée, visant à maintenir un équilibre entre lisibilité visuelle, intégrité matérielle et valeur mémorielle. L'intervention s'affirme ainsi comme un acte critique et éthique, refusant la restauration mimétique au profit d'une lecture stratifiée et authentique de l'histoire matérielle de l'objet.

7.B.1.3. Consolidation des déchirures

Les déchirures observées sur le support ne font pas l'objet d'un doublage total, afin de préserver la lisibilité matérielle originale de l'objet. Une approche de renfort ponctuel a été privilégiée, consistant à intervenir uniquement sur les zones endommagées à l'aide de pièces de renfort localisées.

Le matériau principal envisagé pour ce traitement est une organza polyester teintée beige, sélectionnée pour sa finesse, sa semi-transparence, et son bon équilibre entre rigidité et souplesse. Ce choix chromatique permet d'assurer une bonne intégration visuelle avec le ton général du support en lin. Toutefois, dans les zones centrales très sensibles, une mousseline en polyester peut être préférée. Ce textile, extrêmement fin et à trame discrète, offre une solution quasi invisible une fois posé, bien que sa manipulation nécessite des précautions particulières.

Afin d'optimiser la découpe et la mise en place des fibres de renfort, les tissus sont pré-stabilisés avec une fine couche de Plextol B500 (Annexe V), appliquée avant la découpe. La fixation est ensuite réalisée par réactivation locale à l'acétone, ce qui permet une adhésion douce et précise, sans surcharge de matière.

Dans la mesure où le verso de l'objet est exposé au public, la transparence et la discrétion visuelle des interventions de renfort constituent un impératif de premier ordre. Ce protocole permet de réconcilier stabilité mécanique, réversibilité et exigences esthétiques, en s'inscrivant pleinement dans les principes de conservation-restauration contemporains.

7.B.1.4. Montage sur châssis à tension variable

Dans le cadre d'un accord avec le musée, un châssis à tension variable en aluminium a été choisi pour le montage du gouvernail. Ce choix répond à une double exigence : maintenir une cohérence matérielle avec le fuselage d'origine en duralumin, tout en assurant une stabilisation structurelle conforme aux besoins de conservation curative.

L'application d'une tension minimale et maîtrisée permet de maintenir la toile dans une position déployée, tout en freinant la progression des altérations mécaniques déjà présentes. Cette tension agit comme un élément de soutien structurel réversible, remplaçant les fonctions de maintien autrefois assurées par la structure interne de l'avion.

Les bandes de tension, élément essentiel de la présentation, ont été sélectionnées selon des critères à la fois esthétiques et techniques. Plus précisément, il s'agit d'une organza en polyester teintée dans une nuance beige, choisie pour se fondre visuellement avec la teinte du support en lin. Ce choix chromatique permet de réduire les contrastes visuels qui seraient autrement perceptibles, en particulier sur le verso de l'objet exposé, également visible par le public ; surtout, la toile donnera l'impression de flotter voire de voler grâce à la transparence relative de l'organza.

Ce textile est léger, semi-transparent et doté d'une rigidité modérée, ce qui permet une bonne tenue de la tension sans affaissement dans le temps. Il présente en outre une brillance satinée discrète, qui contribue à l'unité esthétique du dispositif sans interférer avec la lecture de l'objet.

Pour garantir une mise en tension régulière, les bandes sont fixées à l'aide de baguettes plastiques ou de clamps périphériques, assurant ainsi une répartition équilibrée des forces et une présentation stable et homogène.

Ce mode d'exposition ne vise donc pas à présenter le gouvernail comme un simple artefact technique, mais plutôt comme un patrimoine visuel à forte valeur symbolique, assimilable à une œuvre picturale ou à une relique porteuse de récit héroïque. Il s'agit de mettre en lumière la dimension historique et narrative de l'objet, en en faisant un témoin matériel et visuel de mémoire.

Figure 110, © CHOI, Yonghan, Exemples de gouvernail de direction après montage sur châssis à tension variable *: [illustration], 2025.*

7.B.2. Couche picturale

Selon les résultats d'analyse, la couche picturale de cet objet est constituée d'une structure composite mêlant acétate de cellulose et nitrate de cellulose. Des signes caractéristiques du syndrome du vinaigre, notamment une odeur acétique perceptible, ont été relevés, indiquant un processus d'acidification en cours au sein de la couche picturale. Cette situation soulève non seulement des problématiques de dégradation physique, mais aussi une instabilité chimique importante à prendre en compte dans la stratégie de conservation.

Dans ce contexte, la stratégie de conservation adoptée repose sur les principes éthiques et scientifiques suivants :

- Exclusion des solvants organiques polaires : l'éthanol, l'acétone, l'isopropanol, entre autres, peuvent provoquer des réactions indésirables sur les couches picturales à base d'acétate ou de nitrate de cellulose, et doivent donc être évités.
- Utilisation d'adhésifs aqueux à faible pouvoir de pénétration : même l'humidité peut entraîner un gonflement (gonflement) de la couche picturale. Il convient donc de privilégier des adhésifs hydrosolubles présentant une faible capacité de pénétration.

Lors d'un entretien avec la restauratrice expérimentée Dalila Druesnes, celle-ci a souligné les recommandations suivantes dans une note écrite transmise au chercheur :

« *Les couches picturales à base d'acétate et de nitrate de cellulose réagissent avec la plupart des solvants, et il convient, en raison de leur acidification liée au vieillissement, de privilégier des traitements aqueux utilisant une solution tamponnée au pH compris entre 5,5 et 6. Les solvants organiques polaires doivent impérativement être évités, et l'usage des produits chimiques réduit au strict minimum.* »

7.B.2.1. Refixage de couche picturale

Les soulèvements et les pertes observés dans la couche picturale ont été identifiés comme des altérations majeures compromettant à la fois la stabilité physique de l'objet et sa cohérence visuelle. En conséquence, une intervention de refixage ponctuel a été planifiée afin de stabiliser localement les zones affectées.

Conformément aux principes établis dans la section Couche picturale (5.A.3. Altérations de la couche picturale, p.77), trois adhésifs ont été sélectionnés pour une série d'expérimentations comparatives :

- Lascaux® 498 HV – médium acrylique en dispersion aqueuse, à haute viscosité,

Lascaux® 498 HV (Annexe VI)	
Définition chimique	Dispersion aqueuse de copolymère de butyl-méthacrylate (acrylique)
Solvants de dissolution	Insoluble dans l'eau après séchage. Soluble dans l'acétone, l'alcool, le toluène, le xylène
Température de transition vitreuse (Tg)	Environ 13 °C
Stabilité à l'humidité	Très élastique – allongement à la rupture ~400 %

- Aquazol® 50, 200 – adhésif à base de polyamide hydrosoluble

Aquazol®50, 200(Annexe VII)	
Définition chimique	Poly(2-éthyl-2-oxazoline) (polyamide aliphatique hydrosoluble)
Solvants de dissolution	Eau, éthanol, méthanol, acétone, MEK (très bonne solubilité dans les solvants polaires)
Température de transition vitreuse (Tg)	69–71 °C (env. 55 °C pour les films aqueux)
Stabilité à l'humidité	Aquazol®50 : Très bonne – conserve sa flexibilité à 8 % HR , Élongation à la rupture : ~380 %
	Aquazol®200 : Bonne – film stable et flexible à faible humidité

- Colle d'esturgeon – adhésif à base de protéines animales

Colle d'esturgeon(Annexe VIII)	
Définition chimique	Collagène naturel
Solvants de dissolution	Trempage dans l'eau froide, puis bain-marie à 60°C max avec eau distillée Réchauffable, filtrable si besoin
Température de transition vitreuse (Tg)	Non applicable – risque de dénaturation au-delà de 60 °C
Stabilité à l'humidité	Sensible à l'humidité – nécessite additifs conservateurs Miel de fleurs sauvages utilisé comme plastifiant (1:1)

Dans le rapport de restauration de l'aile de l'avion SPAD VII n°3050 (2019)[117], un refixage à froid a été réalisé en tenant compte des caractéristiques similaires de la couche picturale, à l'aide du médium Lascaux. Ce traitement a consisté en une application précise au pinceau, accompagnée d'une pression localisée, permettant d'obtenir un résultat stable sans générer de brillance. Le présent cas s'est appuyé sur ce rapport comme référence, en adoptant une approche rigoureuse quant au choix et aux modalités d'application de l'adhésif.

Par ailleurs, Dalila Druesne a partagé son expérience dans un projet de restauration de toile aéronautique, au cours duquel elle a utilisé de la colle d'esturgeon. Ce matériau a donc également été intégré comme candidat aux tests expérimentaux.

L'adhésif choisi sera appliqué avec précaution afin d'éviter toute génération de brillance et de rester le plus discret possible sur le plan visuel. Le choix final de l'adhésif sera fondé sur une évaluation expérimentale approfondie, en tenant compte à la fois de la stabilité physique et de l'harmonie esthétique. L'adhésif retenu ne sera utilisé qu'après une phase de tests rigoureux.

La nature même de la couche picturale, constituée d'acétate de cellulose et de nitrate de cellulose, oriente l'étude vers des résines compatibles avec ce type de substrat synthétique. Ainsi, Aquazol® et Lascaux® feront l'objet d'investigations approfondies en tant que solutions prioritaires.

7.B.2.2. Élimination des moisissures

Des traces suspectes d'activité fongique ont été observées sur certaines zones du support, pouvant être interprétées comme une manifestation active de dégradation biologique. Cela justifie une intervention relevant de la conservation curative, nécessitant une action directe et ciblée. Un protocole de diagnostic préalable est prévu, incluant un prélèvement par bande adhésive (méthode du scotch test) et une observation microscopique en lumière optique, afin d'identifier la nature des micro-organismes présents et d'évaluer leur extension.

Avant toute intervention mécanique, une phase de stabilisation environnementale sera mise en œuvre conformément à la méthode proposée par Fabien Fohrer, chercheur au CICRP (Centre Interdisciplinaire de Conservation et Restauration du Patrimoine). L'objet sera placé pendant trois semaines dans un environnement contrôlé avec une humidité relative inférieure à 50 % et une température de 20 °C, dans le but d'inhiber l'activité métabolique des moisissures et de prévenir tout risque de propagation.

À l'issue de cette stabilisation, un nettoyage localisé par aspiration, à l'aide d'un équipement muni d'un filtre HEPA, sera effectué. Ce procédé non-invasif permet une

[117] BENTOUATI Shéhérazade ; DRUESNES Dalila ; HURTER Luc, [et al.], *Rapport d'intervention sur l'aile d'avion SPAD VII n°3050 (INV.2016.16.1)*, Musée de l'Air et de l'Espace, 2019.

élimination efficace des spores et résidus fongiques tout en limitant les risques de détérioration mécanique du support.

Cette intervention vise à restaurer la stabilité biologique du support à base de matière organique et constitue une étape fondamentale pour assurer la sécurité des traitements de conservation et de restauration ultérieurs.

7.C. Conservation préventive

La conservation préventive est définie comme une approche indirecte et non invasive visant à prévenir ou à ralentir la détérioration des biens culturels en agissant sur leurs conditions environnementales ou d'usage. Selon les définitions de l'ECCO et de l'ICOM, elle consiste à ajuster les paramètres ambiants afin de limiter les risques d'altération physique ou chimique des objets, sans intervention directe sur ceux-ci.

Dans le cadre de ce projet, les matériaux constitutifs de l'objet – notamment l'acétate de cellulose et le nitrate de cellulose – présentent une grande sensibilité à l'hydrolyse acide, à l'émission de composés volatils acides et au vieillissement photochimique. Cette instabilité justifie la mise en place de conditions de conservation spécifiques, capables d'en ralentir l'évolution chimique.

En particulier, le nitrate de cellulose est connu pour sa sensibilité aux rayonnements UV, qui accélèrent le processus de photodégradation par oxydation. Ainsi, les conditions d'exposition doivent impérativement inclure une protection contre la lumière directe, avec des sources lumineuses filtrées UV, une intensité lumineuse faible, et un contrôle rigoureux de l'humidité relative et de la température.

À ce jour, les conditions exactes des espaces de réserve et de la future salle d'exposition n'ont pas encore été entièrement documentées. Il sera donc nécessaire de procéder à une évaluation préalable de l'environnement réel afin d'établir un protocole de conservation adapté, basé sur les besoins spécifiques de ces matériaux polymères instables.

La mise en œuvre de telles mesures environnementales constitue une stratégie clé de conservation préventive, permettant de prolonger la durée de vie de l'objet tout en retardant le besoin d'interventions plus invasives.

7.D. Restauration

7.D.1. Décrassage localisé

Cette opération de nettoyage remplit à la fois une fonction de conservation curative et de restauration, visant à assurer la stabilité physique de l'objet ainsi que la récupération de sa lisibilité visuelle. Le traitement débute par un dépoussiérage à sec à l'aide d'un

aspirateur équipé d'un filtre HEPA et d'une brosse douce. Ensuite, un solvant tamponné gélifiée (gel tamponné) est appliqué de manière sélective sur les zones concernées.

Ce gel est préparé à partir d'eau distillée tamponnée à un pH compris entre 5,5 et 6 (Annexe IX), et a pour objectif principal de révéler la couleur d'origine masquée par les dépôts de poussière et de salissures accumulées. Le nettoyage vise à restaurer l'uniformité des teintes ainsi que la lisibilité visuelle de la surface picturale.

Par ailleurs, ce traitement contribue à freiner l'évolution de la dégradation chimique en éliminant les résidus acides présents à la surface de la couche picturale, notamment ceux provenant d'excréments d'oiseaux. Le choix du gel privilégie des matériaux tels que l'agar-agar ou la méthylcellulose, en raison de leur viscosité contrôlable et de leur faible niveau de résidus. Après application, le gel est immédiatement retiré à l'aide d'un papier buvard, afin de minimiser la rétention d'humidité et d'éviter tout risque de gonflement de la couche picturale.

Cette méthode devrait permettre de clarifier les informations chromatiques présentes, tout en améliorant l'état de présentation et de conservation de l'objet. Toutefois, son application effective reste conditionnée par des tests préalables de compatibilité physico-chimique avec les matériaux constitutifs de la couche picturale, de nature polymère synthétique.

Conclusion

L'étude et la proposition de conservation-restauration du gouvernail de direction du Breguet 19 n°1685 « *Nungesser et Coli* » ont constitué une expérience riche et signifiante, révélant un objet bien plus complexe qu'un simple composant d'aéronef. Ce gouvernail de direction, loin d'être un élément purement fonctionnel, incarne une narration mobile, à la croisée des savoir-faire techniques, des enjeux diplomatiques et d'une propagande visuelle inscrite dans la matière même de sa surface.

Tout au long de cette recherche, il a été démontré que la notion d'authenticité, dans le cas des objets technologiques, ne saurait se limiter à la conservation matérielle de l'état d'origine. Les multiples réparations, modifications et repeints successifs forment des strates historiques qui doivent être reconnues comme des témoins de leur usage réel. Dans ce contexte, intervenir sur un tel objet implique de le considérer, non comme un vestige figé, mais comme un porteur de temporalités croisées, d'usages et de récits.

Ce travail a également permis de mesurer l'importance d'une approche interdisciplinaire, associant analyse structurelle, étude des matériaux, compréhension du contexte d'exposition et lecture historico-technique. L'intervention conservatoire se révèle ici comme un acte d'interprétation, destiné non seulement à stabiliser physiquement l'objet, mais aussi à raviver ses dimensions symboliques et mémorielles.

La recherche documentaire a largement bénéficié des contributions d'associations et de passionnés d'histoire de l'aviation. Ce domaine est profondément marqué par l'engagement de techniciens amateurs dont les travaux, bien que parfois peu institutionnalisés, ont offert des repères essentiels. Cependant, cette réalité révèle également un manque de structuration dans la documentation officielle et souligne la nécessité de renforcer les efforts de conservation et de recherche sur le patrimoine aéronautique et spatial, dans un cadre scientifique et durable.

Le projet de restauration proposé dans ce mémoire sera mis en œuvre dès la fin de ce travail académique. Il vise à restituer la stabilité physique de l'objet tout en valorisant la diversité de ses potentialités narratives. Cette intervention ne cherche pas à reproduire un état passé, mais à mettre en lumière l'ensemble des récits techniques, politiques et esthétiques qui habitent encore cet objet.

Enfin, cette étude contribue à faire reconnaître la valeur de ce patrimoine technique, et permette au public d'en saisir pleinement les dimensions visibles comme invisibles. A l'issue de ce travail, ce gouvernail de direction ne doit plus être perçu comme une simple pièce détachée d'un avion, mais comme un témoignage en mouvement, porteur de mémoire, de messages, et d'une histoire traversant les airs.

Bibliographie

Étude historique

Livres

AKRICH Madeleine*, « Les réseaux socio-techniques » in Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique, CALLON, Michel ; LASCOUMES, Pierre ; BARTHE, Yannick* (dir.), Seuil, 2001.

ANDERSON, Benedict, *L'imaginaire national : Réflexions sur l'origine et l'essor du nationalisme*. La Découverte, 2002.

COMETTI, Jean-Pierre, *Conserver, Restaurer : l'œuvre d'art à l'époque de sa préservation technique*, Gallimard, 2016

COSTES, Dieudonné et LE BRIX, Jean-Marie, *Notre Tour de la Terre,* Hachette, 1928

COSTES, D. et LE BRIX, J.M. ; HALLO, Jean, *La Grande croisière de Costes et Le Brix*, Lapina & fils, 1928

LACAZE, Henri*, Les avions Louis Breguet Paris. 1, L'ère des biplans*, Éditions Lela presse, 2016

MORTANE, Jacques, *Les Vainqueurs de l'Atlantique Sud : Costes et Le Brix, récits recueillis par Jacques Mortane*, Bernardin-Béchet, 1928

MICHELET, Guy, *Breguet*, Éditions France-Empire, 1963

SAINT-EXUPÉRY, Antoine de, *Vol de nuit*. Gallimard, 2007

SAINT-EXUPÉRY, Antoine de, *Terre des hommes*. Gallimard, 1980

Revues, Articles

ASSOCIATION DES AMIS DU MUSÉE DE L'AIR. *Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air*, [en ligne], 1980, n°20 spécial Louis BREGUET, Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265107 (consulté le 10.04.2025)

BOUCHÉ, Henri, *« Le grand voyage de Costes et de Le Brix » , L'Aéronautique : revue mensuelle illustrée*, [en ligne], 1928, no. 108, pp. 145-152 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6568060t (consulté le 12.04.2025)

BOUCHÉ, Henri ; DOLLFUS, Charles, *« Vingt d'ans d'aviation » L'Aéronautique : revue mensuelle illustrée* [en ligne], 1923, n°55, pp. Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k65555692 (consulté le 12.04.2025)

BONNOT, Thierry, « La biographie d'objets : Une proposition de synthèse », *Culture & Musées* [En ligne], 2015, n°25, Disponible sur : http://journals.openedition.org/culturemusees/543 (consulté le 12.04.2025)

CHAUCHON, M. **«** *Le Tour du monde de Costes et Le Brix »* ; « *Les réceptions en l'honneur de Costes et Le Brix »*, *L'Aérophile*, [en ligne], 1928, n°9-10, pp. 131-135, Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6553846g (consulté le 12.04.2025)

NARBONNE, René de, **«** *Le glorieux cinquantenaire de Dieudonné Costes »*, *L'Air : revue mensuelle : organe de la Ligue nationale populaire de l'aviation*, [en ligne], 1943, n°535, pp. 13-14, Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9796468t (consulté le 12.04.2025)

MORTANE, Jacques, *« 58.410 kilomètres autour du monde en 44 étapes »*, *L'Air : revue mensuelle : organe de la Ligue nationale populaire de l'aviation*, [en ligne],1928, n°204, pp. 14-18 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9797774w (consulté le 12.04.2025)

MORTANE, Jacques, *« Le raid triomphal de Costes et Le Brix : leur apothéose à Washington et à New-York »*, *L'Air : revue mensuelle : organe de la Ligue nationale populaire de l'aviation*, [en ligne], 1928, n°200, pp. 13-14 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9797778j (consulté le 12.04.2025)

« La remise de l'avion Nungesser-Coli au musée de l'aéronautique », L'Aviation française : hebdomadaire de la vie aéronautique et des transports aériens, 1932, no. 200, pp. 1-2

« Le salon international de l'aéronautique », *L'Aviation française : hebdomadaire de la vie aéronautique et des transports aériens,* 1932, no. 200, pp. 1-2

REVEILHAC Jean-Baptiste, *« Le point d'interrogation : les artisans d'une victoire », Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air*, 1980, n°18, pp. 5-17 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5326425b (consulté le 12.04.2025)

LORAN, J.Y., « *Les avions en service dans l'armée de l'air française entre le 1er janvier 1919 et le 3 septembre 1939 »*, *Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air*, 1984, n°34, pp. 5-33 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5326426r (consulté le 12.04.2025)

DEVAUX Jean ; MARANI M., « *Après la Manche, éléments pour un catalogue des aéroplanes Blériot, 1909-1914 », Pégase : revue de l'association des amis du musée de*

l'Air, 1992, n°66, pp. 4-17 Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53264705 (consulté le 12.04.2025)

LISSARRAGUE, Pierre, *« Il y a cinquante ans…L'Atlantique Sud aussi », Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air*, 1977, n°7, pp. 4-9 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033 (consulté le 12.04.2025)

LISSARRAGUE, Pierre, *« Les travaux du Capitaine Ferdinand Ferber », Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air*, 1977, n°7, pp. 21-25 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033 (consulté le 12.04.2025)

DEGARDIN, Alain, *« La première traversée de l'Atlantique Sud sans escale par Costes et Le Brix et leur tour du Monde », Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air*, 1977, n°7, pp. 9-13 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033 (consulté le 12.04.2025)

REVEILHAC, J.-B., *« La Grande Famille des « Bréguet 19 », Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air,* 1977, n°7, pp. 14-19 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033 (consulté le 12.04.2025)

REVEILHAC. J.B, *« Dieudonné Costes », Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air,* 1977, n°7, p. 19 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033 (consulté le 12.04.2025)

REVEILHAC. J.B, *« Le Bréguet 19 « G.R. » « Nungesser-Colis » du Musée de l'Air », Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air,* 1977, n°7, p. 20 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033 (consulté le 12.04.2025)

BRANDT, Michel, *« Chronique Escadrille du souvenir », Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air,* 1977, n°7, p. 37 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033 (consulté le 12.04.2025)

LIGUE AÉRONAUTIQUE DE FRANCE. *« Raids, voyages français et étrangers », Revue aéronautique de France : organe officiel de la Ligue aéronautique de France*, Décembre 1927, n°9, pp. 6-10 Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k54150350 (consulté le 12.04.2025)

Étude technique

Livres

BROSSARD, Isabelle, *Technologie des textiles*, Dunod, 1997

HAMON, James ; DESMONS, Robert, *Manuel de l'aviateur : notions générales sur l'aviation, à l'usage des aviateurs et des candidats aux troupes de l'aéronautique militaire*, Librairie aéronautique, 1915

Ministère de la Guerre FRANCE, *Notice technique de l'avion Breguet 19 A2 B2*, ministère de la Guerre, 1926

Ministère de l'air, Forces aériennes, *Notice technique de l'avion Bréguet 19 A2 B2. Type 1926. Remplace NCC 14. Approuvée par D. M. N° 748 2B/F.A.T.*,1933.

Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET, *Notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2 B2 2ème édition*, 1926

Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET - *L'avion Breguet, L'avion Breguet XIX, Militaire A2 – B2 de Reconnaissance et de Bombardement, La société Louis Breguet*, 1941

RAMAT Georges, Bréviaire du Mécanicien d'Aérodrome, 3e éd., 1938, p.386.

RIVIÈRE, Charles ; CLÉMENT, L., *La Cellulose et les éthers cellulosiques, leurs applications industrielles*, C. Béranger, 1920

Revues

« L'avion Breguet biplace militaire Type 19-7 », Répertoire des avions Louis Breguet, no. II, 1930

Articles

Zhou, Dan; Seo, Han-Sok**, "***Study on the Relationship between the Tail Graphics of Various Airlines and National Branding Correspondence", The Journal of the Korea Contents Association*, 2019, Vol.19(10), pp.21–31 Disponible sur : https://doi.org/10.5392/JKCA.2019.19.10.021 (Consulté le 12.04.2025)

Documents

Archives de Châtellerault: Entrées par voie extraordinaire: Fonds Jean Cuny: Aéronefs et voitures électriques Breguet (1924-1974) / Modifié par Philippe PAUL-DANIEL - Archiviste Suivi et coordonné par Ali BOUHASSOUN - Chef de section Sous la direction de Sylvain LEBRETON - Chef du département des archives de l'armement, Service historique de la

Défense, 2018 Disponible sur : http://www.servicehistorique.sga.defense.gouv.fr/en/node/931798 (consulté le 14.04.2025)

Smith, W. H., *Airplane dopes and doping, National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) Report 38*, 1919 Disponible sur: https://ntrs.nasa.gov/citations/19930093711 (consulté le 15.04.2025)

Bureau Veritas Service Aéronautique, *ENTOILAGES AERONAUTIQUE – PLAN DU FASCICULE,* tome II, 5e édition, 1961,

Vidéo

Musée de l'Air et de l'Espace, Le Bourget, « *Web-Série sur l'entoilage au musée - Ep 1/5 La structure et la toile » : [Vidéo], YouTube,* [En ligne], 2017, Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=tizY2OAhmHI&ab_channel=Mus%C3%A9edel%27Airetdel%27Espace-LeBourget (consulté le 10.05.2025).

Musée de l'Air et de l'Espace, Le Bourget, « *Web-Série sur l'entoilage au musée - Ep 2/5 La couture » : [Vidéo], YouTube,* [En ligne], 2017, Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=efAB8H4uSq0&ab_channel=Mus%C3%A9edel%27Airetdel%27Espace-LeBourget (consulté le 10.05.2025).

Musée de l'Air et de l'Espace, Le Bourget, « *Web-Série sur l'entoilage au musée – Ep 3/5 Le lardage » : [Vidéo], YouTube,* [En ligne], 2017, Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=MLCzmz4mQhw&ab_channel=Mus%C3%A9edel%27Airetdel%27Espace-LeBourget (consulté le 10.05.2025).

Musée de l'Air et de l'Espace, Le Bourget, « *Web-Série sur l'entoilage au musée – Ep 4/5 Le protection des coutures » : [Vidéo], YouTube,* [En ligne], 2017, Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=tCM59iDI8sQ&t=2s&ab_channel=Mus%C3%A9edel%27Airetdel%27Espace-LeBourget (consulté le 10.05.2025).

Musée de l'Air et de l'Espace, Le Bourget, « *Web-Série sur l'entoilage au musée – Ep 5/5 Finitions et enduit aluminium » : [Vidéo], YouTube,* [En ligne], 2017, Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=tCM59iDI8sQ&t=2s&ab_channel=Mus%C3%A9edel%27Airetdel%27Espace-LeBourget (consulté le 10.05.2025).

Traitement de Conservation-Restauration

Livres

BERGEAUD, Claire ; HULOT, Jean-François ; ROCHE, Alain, *La dégradation des peintures sur toile : méthode d'examen des altérations*, École nationale de patrimoine, 1997

BRANDI, Cesare, *Théorie de la restauration*, Monum, Éditions du patrimoine, 2001

CHAMPETIER, Georges ; MONNERIE, Lucien, *Introduction à la chimie macromoléculaire*, Masson, 1969

CHAMPETIER, Georges ; RABATÉ, Jean-Louis, *Physique des peintures, vernis et pigments*. Tome 1 & 2, Dunod, 1962

DELCROIX, Gilbert ; HAVEL, Marc, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Erec, 1988

MIKESH, Robert. C., *Restoring Museum Aircraft*, Schiffer Military History, 2009

MORRIS, David; GREAT BRITAIN ROYAL NAVY FLEET AIR ARM MUSEUM, *Corsair KD431: the time-capsule fighter,* Sutton in association with Fleet Air Arm Museum, 2006

STEVENS, Nigel, *Restauration des Avions, tomes 1, 2 et 3,* Fédération RSA, 2016

OLDS, Robin; OLDS, Christina; RASIMUS, Ed, *Fighter pilot: the memoirs of legendary ace Robin Olds*, St. Martin's Griffin, 2010

ROCHE, Alain, *Comportement mécanique des peintures sur toile : dégradation et prévention*, CNRS éditions, 2003

Articles

BENTOUATI Shéhérazade ; DRUESNES Dalila ; HURTER Luc, [et al.], *Rapport d'intervention sur l'aile d'avion SPAD VII n°3050 (INV.2016.16.1)*, Musée de l'Air et de l'Espace, 2019.

ICOMOS, *Document de Nara sur l'authenticité*, Conférence de Nara (Japon), novembre 1994. [En ligne], https://www.icomos.org/fr/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/186-document-de-nara-sur-lauthenticite, (consulté le 11.11.2024).

MARS, Arnaud, *« Morane AI et Dewoitine D. 530 : deux logiques de restauration pour une même finalité »*, *In Situ* [En ligne], 2018, Disponible sur : https://doi.org/10.4000/insitu.16676 (consulté le 10.05. 2025)

MARS, Arnaud, « *Synthèse de l'intervention de dégagement de peinture et de conservation-restauration, 2011-2015 : Yak 3 n°2530* (Document n° 2015-035, Révision 1) ». Musée de l'Air et de l'Espace, Le Bourget, 2017

MIRAMBET-PARIS, Agnès ; MIRAMBET, François, *« La conservation-restauration du patrimoine technique et industriel dans le cadre de la loi sur les Musées de France, une mission impossible ?* », *Culture et Musées*, [en ligne] 2003, n° 3, pp. 27-35, Disponible sur https://doi.org/10.4000/ocim.874, (consulté le 06.04.2025).

Annexe

Liste des annexes

Annexe I, La composition et les solvants de la peinture pour l'avion ancien

Annexe II, Résultats de l'analyse scientifique du support en toile de lin

Annexe III, Résultats de l'analyse scientifique de la couche picturale

Annexe IV, Tableau chronologique et photographique du Breguet 19 n°1685

Annexe V, Fiche technique – Plextol B500

Annexe VI, Fiche technique – Lascaux® 498 HV

Annexe VII, Fiche technique – Aquazol®50, 200

Annexe VIII, Fiche technique – Colle d'esturgeon

Annexe IX, Comment préparer le solvant temporané

Annexe I, La composition des enduits des ailes d'avions anciens

Ces enduits se composent, pour un kilogramme :

	Grammes
Acétate de cellulose	80
Acétone	410
Alcool	230
Benzine	240
Alcool benzilique ou phénol	40
	1.000

Ou bien :

Acétate de cellulose	80
Acétate de méthyle	513
Alcool	127
Benzine	240
Alcool benzilique ou phénol	40
	1.000

On y ajoute, dans certains cas, des poudres colorantes. Deux teintes sont utilisées à l'heure actuelle :

1° Vert kaki, utilisée pour les avions de jour;
2° Tête de nègre, utilisée pour les avions de nuit

Le mode d'enduisage actuel est le suivant :

1° Une couche d'enduit à imprégner (incolore)

2° Deux couches d'enduit teinté;

3° Une couche d'enduit à lisser (incolore).

On observera, pendant l'enduisage des plans, les prescriptions suivantes :

1° Maintenir pendant tout le temps de l'opération la température ambiante au-dessus de 14° centigrades et le degré hygrométrique au-dessous de 80 pour 100;

2° Passer le pinceau dans les deux sens (chaîne et trame);

3° Laisser un intervalle de temps de douze heures au minimum entre l'application d'une couche d'enduit et l'application de la suivante. Cet intervalle de douze heures pourra, quand la température ambiante se maintiendra à 25°, être réduite à six heures;

4° Avoir grand soin d'éloigner les pièces enduites (plans, gouvernails, fuselage, etc.) à 3 mètres au moins de tout appareil de chauffage, afin d'éviter les contractions inégales de la toile.

III. — Entretien des toiles d'avion.

A) *Réenduisage.*

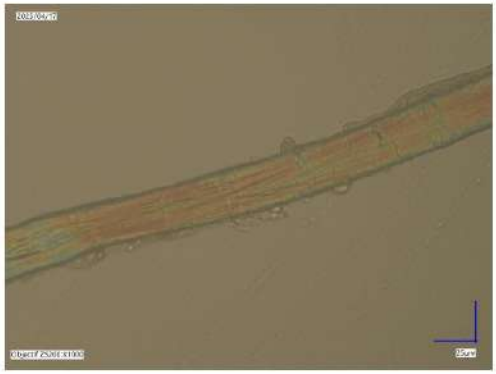
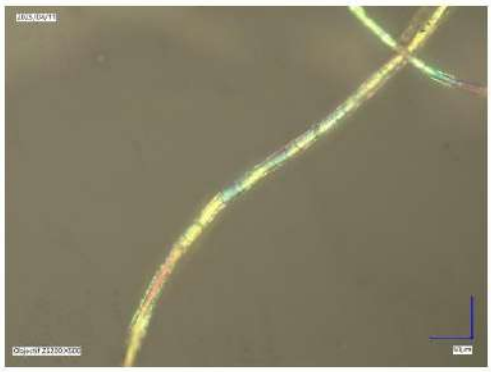
Vérification de l'état des enduits. — Pour s'assurer du bon état des enduits qui recouvrent une voilure, opérer comme suit :

Appuyer très fortement sur la voilure avec le pouce : la qualité de

RAMAT Georges, Bréviaire du Mécanicien d'Aérodrome, 3e éd., 1938, p.386.

Annexe II, Résultats de l'analyse scientifique du support en toile de lin

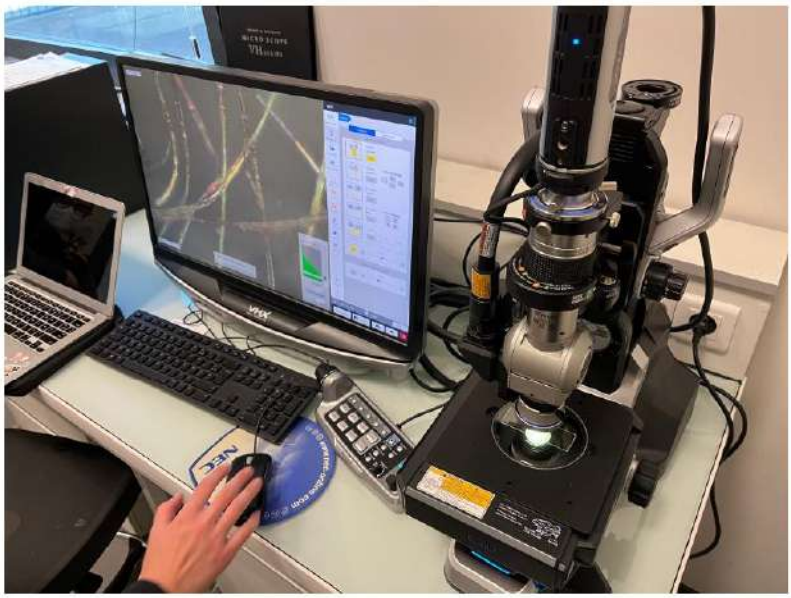
Tableau d'analyse de fibre - Toile d'aile de gouverne de direction
Arno Bendriss, Lucie Lautré, Jeanne Murat

Nom et localisation du prélèvement	**Photographies au microscope**	**Armure et observation**
Vertical Envers, Bordure droite		LIN => observations d'un canal médullaire central, présent chez le lin => observation de stries dans la fibre, il s'agit des genoux typiques du lin => pas une fibre "pure" comme le coton, il y a des résidus (apprêt de la fibre ?)
Horizontal Envers, Bordure inférieure, côté droit		LIN => observation de stries dans la fibre, il s'agit des genoux typiques du lin
Couture Inférieure Envers, Bordure inférieure, côté droit		LIN => observation de stries dans la fibre, il s'agit des genoux typiques du lin => pas une fibre "pure" comme le coton, il y a des résidus (apprêt de la fibre ?)

Référence du microscope numérique :
Keyence VH-ZST RZ Double objectif zoom (20 x à 2000 x)

- x20 / x200
- x200 / x2000

Modes d'éclairages : Mixte et Coaxial complet



Annexe III, Résultats de l'analyse scientifique de la couche picturale

Avignon, le 16 mai 2025

RAPPORT D'ANALYSE

Etude d'une toile de gouverne de direction, N°1685 Breguet XIX « Nungesser et Coli »

Réalisation : Céline Joliot – assistante ingénieure

Carole Mathe de Souza – Maîtresse de conférences

IMBE - UMR 7263 - CNRS
Ingénierie de la restauration des patrimoines naturel et culturel
Avignon Université – Institut Agrosciences, Environnement et Santé
301 rue Baruch de Spinoza -BP 21239, 84911 Avignon Cedex 9

I- Introduction

Contexte et objectif : Etude d'une toile d'aile de gouverne de direction (la queue d'avion), N° 1685 Breguet XIX « Nungesser et Coli », n° d'inventaire SN4689, Atelier de Breguet (1926), du musée de l'air et de l'espace de Bourget (réserve Jean-Paul Béchat), atelier de restauration du MAE, 1 avenue de la 2e DB, 93440 Dugny.
La demande d'analyse chimique a pour but d'identifier la nature des matériaux.

Cadre : Diplôme National d'Expression Plastique mention Conservation-restauration, de M. Yonghan CHOI, ESAA, Master 2.

Echantillons : Cinq prélèvements ont été étudiés (Tab. 1).

Tableau 1 - Caractéristiques des échantillons étudiés

Echantillon	Description
n°2	Blanc (repeint)
n°3	Bleu (repeint)
n°5	Bleu
n°6	Blanc
n°9	Couche enduite sur blanc / écaille tombée

La localisation de ces prélèvements sur l'objet est présentée sur son schéma (Fig. 1, © Y. Choi).

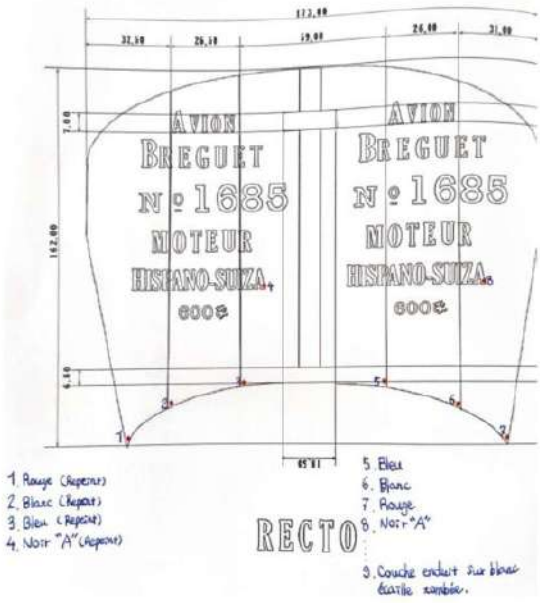


Figure 1 – Localisation des prélèvements sur le schéma de l'aile d'avion

Méthodologie analytique : L'étude a été réalisée par spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IR-TF) au laboratoire de chimie de l'équipe EECAR de l'IMBE d'Avignon université.

Tableau 9 – Synthèse des résultats obtenus

Echantillons	Résultat
n°2 - Blanc (repeint)	Composé de type nitrocellulose alkyde
n°3 - Bleu (repeint)	Composé à base de nitrocellulose
n°5 - Bleu	Composé à base de nitrocellulose
n°6 - Blanc	• Couche blanche : présence d'un mélange à base d'acétate de cellulose et de nitrocellulose • Enduit : Composé à base d'un polymère alkyde
n°9 - Couche enduite sur blanc	• Couche blanche : composé à base d'acétate de cellulose • Enduit : polymère de la famille des uréthanes

Annexe IV, Tableau chronologique et photographies du Breguet 19 n°1685

1er voyage	2ème voyage		3ème voyage	
Girier et Dordilly Vol de 4 716 km	Costes et de Vitrolles Vol de 4 100 km		Costes et Rignot Vol de 5 396 km	
Fuselage	Fuselage	Gouvernail de direction	Fuselage	Gouvernail de direction
Aout.1926	Septembre.1926	Septembre.1926	Octobre.1926	Octobre.1926
1	2		5 / 6	
2025	2025		2025	2025
3	4			

Tour du monde				Meeting 1928
Costes et Le Brix Vol de 67 147 km				Après le retrait de l'avion du service
Fuselage		Gouvernail de direction		Fuselage
1927		1927		1928
7	8	9	10	14
2025		2	2025	
11	12			
Détail du gouvernail de direction				
13				

Donation au Musee

1932 -Musée de l'Air / Ecole supérieure aéronautique

Fuselage

1932

15

16

2025

Gouvernail de direction

1932

2025

Détail du gouvernail de direction

17

Exposition (Chalais-Meudon)

1921-1976 : Le musée de l'Air était initialement situé à Chalais-Meudon.

Fuselage

1965, 1971

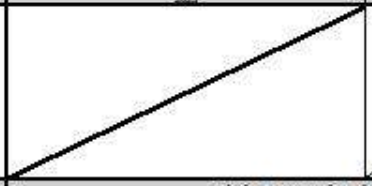
21

1965

22

1971

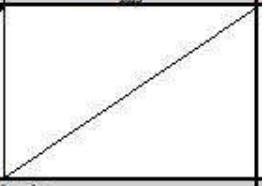
2025



Gouvernail de direction

1971

2025



Détail du gouvernail de direction

18

19

20

Exposition (Bourget)

Fuselage

1977, 1986, 1987

23

1977

24

25

2025

27

Gouvernail de direction

1987-?

26

??Copie??

2025

Détail du gouvernail de direction

Réservation

Réserve à Dugny JPB

Fuselage

1987-???

2025

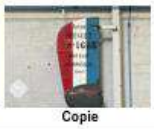
29

Gouvernail de direction

1980

28

2015



Copie

2025

Dans réserve à Dugny ou au Bourget (1987-2015 ???)

Détail du gouvernail de direction

Tableaux chronologique effectué à partir des photos

Sources des photos du tableau chronologique

1.Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *Le Bourget : retour du Capitaine Girier et Lieutenant Dordilly qui battent le record du monde de distance Paris-Omsk : [photographie de presse],* [en ligne], 1926, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b90258784.item# (consulté le 26.04.2025).

2. Agence Rol, *1926 Aviation World Distance Record Costes & Vitrolles Breguet Old Photo Rol : [photographie],* © CHOI, Yonghan

3. © CHOI, Yonghan, *Fuselage du Breguet 19 n°1685, conservé dans les réserves du Musée de l'Air et de l'Espace à Dugny : [photographie], 2024*.

4. © MULE, Victor, *Face, recto après dépliage. Image capturée avec l'application* , Polycam par CHOI, Yonghan, modélisation 3D réalisée par © MULE, Victor » : *[photographie]*, 2025.

5. Agence de presse Meurisse. Agence photographique*, Le départ des aviateurs Costes et Rignot pour le record mondial de la distance. De gauche à droite : Rignot et Costes, : [photographie de presse]*, 1927

6. Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *Le Bourget : le Bréguet (moteur Hispano), de Costes et Rignot qui doivent tenter de battre le record de distance : Costes et Rignot près de leur Bréguet : [photographie de presse]*, 1927.

7. *Passages de Grands Raids à Hanoï en 1927-28*, *le Bréguet 19 Grand Raid de Dieudonné Costes et Joseph Le Brix, début Avril 1928 : [photographie de presse]*, tiré d'Aviation-*ancienne,* [en ligne], 2019, Disponible sur : https://aviation-ancienne.forumactif.com/t8513-passages-de-grands-raids-a-hanoi-en-1927-28 (Consulté le 12.04.2025).

8. *Dieudonné Costes version "bon kitsch, bon genre"* : *[photographie],* tiré de *Comptoir-aviation,* [en ligne], [s.d.], Disponible sur : https://www.comptoir-aviation.com/le_comptoir_de_laviation/2014/04/dieudonne-costes-joseph-le-brix-maurice-bellonte.html (Consulté le 12.04.2025).

9. Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *le Breguet XIX GR n°1685 « Nungesser – Coli » prêt au départ pour un tour du monde depuis le Bourget : [photographie de presse]*, 1927, Collection privée ©René Brioux / Régis Jacquemin.

10. *Costes et Le Brix photographiés après la traversée de l'Atlantique Sud : [photographie de presse],* tiré de *Wikimedia Commons*, Disponible sur: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Costes_et_Le_Brix.jpg (consulté le 12.04.2025).

11. *Passages de Grands Raids à Hanoï en 1927-28*, *le Bréguet 19 Grand Raid de Dieudonné Costes et Joseph Le Brix, début Avril 1928 : [photographie de presse]*, tiré d'Aviation-*ancienne,* [en ligne], 2019, Disponible sur : https://aviation-ancienne.forumactif.com/t8513-passages-de-grands-raids-a-hanoi-en-1927-28 (Consulté le 12.04.2025).

12. © Pyperpote, *l'appareil subi une opération délicate de réparation de fissures de l'entoilage, : [photographie]*, tiré de *Pyperpote, Linst'IN MAE,* [en ligne], 2011, Disponible sur : http://www.pyperpote.tonsite.biz/listinmae/index.php/les-appareils-en-reserve/les-reserves-du-musee-de-l-air/422-breguet-xix-grand-raid-nungesser-et-coli-n-1685 (Consulté le 12.04.2025).

13. HIRSCHAUER, L., *Le Bréguet est remonté dans un hangar de Tokio-Tachikawa : [photographie de presse]*, tiré de *L'Aéronautique,* [en ligne], 1928, n°108, p. 152, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6568060t/f15.item (consulté le 26.04.2025).

14. Studio G.-L. Manuel Frères, *Bron-Aviation – Souvenir du Meeting du 24 Juin 1928. Costes et Le Brix et le "Nungesser-Coli" Bréguet XIX, muni d'un moteur Hispano-Suiza 600 CV, [photographie de carte postale],* Éditeur Augros, Bron.

15. Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *la cérémonie de donation du Breguet 19 GR n°1685 par Louis Breguet au Musée de l'Air en 1932*, 1932, © Yonghan Choi.

16. Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *Musée de l'aviation, remise de l'avion de Costes et Le brix : [photographie de presse],* [en ligne], 1932, Disponible sur *https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b53241661j.r=costes%20et%20le%20brix?rk=236052;4* (consulté le 26.04.2025).

17. Agence Mondial, *L'avion le Nungesser-Coli, exposé à l'école Nationale Supérieure de l'aéronautique : [photographie de presse],* [en ligne], 1932, Disponible sur *https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b90494151.r=Nungesser%20et%20colis?rk=128756;0#* (consulté le 26.04.2025).

18. *Inscriptions commémoratives peintes sur le fuselage du Breguet XIX GR "Nungesser-Coli" après le grand voyage, réalisées par les unités aéronautiques ayant accueilli l'équipage vers 1928, ateliers de Villacoublay : [photographie de presse],* tiré de *L'Aéronautique,* [en ligne], 1928, n°108, p. 152, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6568060t/f15.item (consulté le 26.04.2025).

19. © CHOI, Yonghan. *Fuselage du Breguet 19 n°1685, vue du flanc droit avec marquages visibles, conservé dans les réserves du Musée de l'Air et de l'Espace à Dugny* : [photographie], 2024.

20. Agence Mondial, *L'avion le Nungesser-Coli, exposé à l'école Nationale Supérieure de l'aéronautique : [photographie de presse],* [en ligne], 1932, Disponible sur

https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b90494151.r=Nungesser%20et%20colis?rk=128756;0# (consulté le 26.04.2025).

21. © Pyperpote, *L'exposition du temps où le Musée était à Chalais Meudon. Photo prise le 1er aout 1965 : [photographie]*, tiré de *Pyperpote, Linst'IN MAE,* [en ligne], 2011, Disponible sur : http://www.pyperpote.tonsite.biz/listinmae/index.php/les-appareils-en-reserve/les-reserves-du-musee-de-l-air/422-breguet-xix-grand-raid-nungesser-et-coli-n-1685 (Consulté le 12.04.2025).

22. © ENGLAND, Chris, *Bréguet 19 GR n°1685 « Nungesser et Coli » sur le site de Chalais-Meudon* : *[photographie]*, [en ligne], 1971, Disponible sur https://www.airhistory.net/photo/485652/1685 (consulté le 26.04.2025).

23. Couverture de *Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air*: *[photographie]*, [en ligne] 1977, n°7, Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033 (consulté le 12.04.2025).

24. Brian Bickers, *Breguet XIX GR n°1685, Musée de l'Air et de l'Espace, Paris – Le Bourget (LFPB), France : [photographie],* 1986, [en ligne], soumise le 26 mars 2013, Disponible sur : https://abpic.co.uk/pictures/view/1398175 (consulté le 12.04.2025).

25. « *Roland Nungesser en quête de l'épave de L'Oiseau Blanc* » : [photographie], tiré de la collection Gamma-Rapho, © SIMON. Daniel via Getty Images, 1987.

26. © CHOI, Yonghan, *Copie de la toile du gouvernail de direction, exposée dans l'atelier de restauration de Dugny : [photographie]*, 2024.

27. © CHOI, Yonghan. *Fuselage du Breguet 19 n°1685, vue arrière latérale, conservé dans les réserves du Musée de l'Air et de l'Espace à Dugny, avec la gouverne de direction démontée au premier plan* : [photographie], 2024.

28. © CHOI, Yonghan, *L'état plié recto : [photographie]*, 2024.

29. © CHOI, Yonghan. *Fuselage du Breguet 19 n°1685, conservé dans les réserves du Musée de l'Air et de l'Espace à Dugny, avec la gouverne de direction démontée au premier plan : [photographie],* 2024.

Annexe V, Fiche technique – Plextol B500

FICHE TECHNIQUE

ARTECH PRO
Fournitures pour l'Art
www.artechpro.fr
contact@artechpro.fr
04 90 80 07 83

PLEXTOL B500	Date de mise à jour :14/12/2021

Description : Dispersion aqueuse de résine acrylique pure thermoplastique, à viscosité moyenne.

Composition : Caractéristiques chimiques : dispersion aqueuse d'un polymère acrylique à base d'acrylate d'éthyle et de méthacrylate de méthyle
Etat : liquide
Couleur : blanchâtre
Odeur : ammoniaque
Viscosité dynamique à 20°C : 1100-4500 mPa
Solubilité : eau
Contenu matière sèche : 50%

Caractéristiques : Liant non saponifiable utilisé pour la fabrication de peintures à l'eau pour enduits, résistant aux intempéries, à la lumière et aux huiles.
Utilisé également comme adhésif à froid pour des opérations de rentoilage des peintures, ou comme adhésif pour la restauration d'oeuvres sur supports papiers par exemple.

Le plextol peut être épaissit par ajout de Rhoagit ou de carboxylmethylcellulose (CMC) à 1%.
Il est compatible avec des charges et des pigments.

Applications : Pure ou en dilution.
Pour l'utilisation comme adhésif, pour le renforcement des peintures sur toile, il convient d'ajouter de la CMC à 1% (comme épaississant).

Annexe VI, Fiche technique – Lascaux® 498 HV

Lascaux
the spirit of colours

Lascaux Adhésifs et Cires adhésives

Adhésifs acryliques diluables à l'eau 303 HV, 498 HV, 498 20-X

Base
Les deux types 303 HV et 498 HV sont épaissis avec de l'ester d'acide acrylique, le type 498 20-X avec 20% de xylène. Tous les types sont stabilisés à un pH de 8-9 et contiennent des agents de conservation.

Propriétés du film

	303 HV	498 HV 498 20-X
Température minimale de formation du film (TMF):	env. 0°C	env. 5°C
Température de transition vitreuse (Tg):	env. - 35°C	env. 13°C
Allongement à la rupture:	>1000%	env. 400%
Film sec:	collant, transparent	non collant, transparent, dur-élastique
Température minimale de scellage:	env. 50°C	68-76°C

Solubilité
Diluables à l'eau, insolubles dans l'eau après séchage. 303 HV: facilement soluble dans l'acétone, le toluène, le xylène. Gonflable dans l'éthanol ou le white spirit. 498 HV et 498 20-X: facilement solubles dans l'acétone, l'éthanol, le toluène, le xylène. Insolubles dans le white spirit.

Domaines d'application
Pour les collages résistants à la lumière et au vieillissement, non-réticulants, comme pour les rentoilages, marouflages, lamifiés, collages etc. Pour l'application humide ou l'application sèche avec réactivation, sur supports absorbants et non-absorbants, comme le papier ou le carton, les textiles, les panneaux en bois, fibreux ou en polyester, le plâtre et le béton, le verre et le verre acrylique, l'aluminium, etc.

L'Adhésif Acrylique 303 HV est extrêmement élastique; le film sec reste collant en permanence. Pour le scellage à chaud des rentoilages; peut être utilisé comme adhésif de contact.

L'Adhésif Acrylique 498 HV donne un film solide et élastique et est extrêmement résistant à la traction; indiqué pour applications humides et sèches (réactiver à l'aide de solvants). Type standard pour les rentoilages et les marouflages.

L'Adhésif Acrylique 498 20-X est particulièrement indiqué pour le renforcement des bords de tableaux (strip-lining), ainsi que pour le collage de textiles et les travaux de montage.

Sécurité
Consulter notre fiche technique contenant les consignes de sécurité.

Stockage
Stocker les récipients hermétiquement fermés à une température la plus constante possible, comprise entre 5 et 25°C.

Conditionnement
Adhésif Acrylique 303 HV: boîtes de 1 l
Adhésif Acrylique 498 HV: flacons de 85ml, boîtes de 1 l, seaux de 5 l
Adhésif Acrylique 498 20-X: boîtes de 1 l, seaux de 5 l

Lascaux Adhésif pour scellage à chaud 375

Base
À base d'un mélange de résines copolymères et de paraffine. En solution de 40% dans le toluène/la benzine fractionnée 100/140

Propriétés
- Température de scellage: 62-65°C
- Indice d'acide: inférieur à 1
- Couleur: blanc laiteux à l'état froid, transparent après scellage
- Solide et élastique, excellente adhérence et résistance au vieillissement

Solubilité
Soluble dans les solvants aromatiques comme le toluène, le xylène, etc. Non soluble dans l'alcool.

Diluabilité
Diluable à l'aide de solvants aliphatiques comme la benzine fractionnée 100/140, le white spirit. L'acétone fait gonfler l'Adhésif pour scellage à chaud 375 et en réduit l'adhérence.

Domaines d'application
Pour les rentoilages, avec ou sans couches intermédiaires, les doublages de papiers et de textiles, le renforcement de bords de tableaux (strip lining). Pour le «facing» et pour la consolidation de la couche picturale ainsi que pour les collages provisoires et permanents.

Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG, Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen
Telefon +41 44 807 41 41, Fax +41 44 807 41 40, info@lascaux.ch, www.lascaux.ch

Annexe VII, Fiche technique – Aquazol®50, 200

KREMER PIGMENTE

63901 Aquazol® 50

General Characteristics:
Poly(2-ethyl-2-oxazoline) AQUAZOL®
CAS Number: 25805-17-8

Property	Specification	Analysis
Appearance (visual) (25°C)	Light yellow solid	Light yellow solid
Color (APHA, 10% aq. solution)	< 150	70
% Volatiles (Heat lamp, 135°C, 30 min)	< 1	< 1
pH (10% aq. solution)	6.5 – 7.8	7.0
Kinematic viscosity, cSt. (Cannon-Fenske)	5 – 7	6

Kremer Pigmente GmbH & Co. KG • Hauptstrasse 41–47 • 88317 Aichstetten, Germany • Tel. 0049 7565 914480 • Fax 0049 7565 1606
• www.kremer-pigmente.de • info@kremer-pigmente.de

FICHE TECHNIQUE

ARTECH PRO
Fournitures pour l'Art
www.artechpro.fr
contact@artechpro.fr
04 90 80 07 83

AQUAZOL AQUAZOL 200 / AQUAZOL 500 PEOX	Date de mise à jour : 14/12/2021

Description : L'aquazol est un polymère aliphatique soluble dans l'eau. Il est utilisé comme adhésif et consolidant notamment des peintures mates.

Composition : Température de transition vitreuse (Tg) : 69-71°C
pH d'une solution aqueuse : neutre (6-7)
Poids moléculaire : 20.000 ou 50.000

Caractéristiques : Aquazol se caractérise par sa famille de polymères thermoplastiques constitués de poly (2-ethyl-2-oxazoline)=PEOX, qui présentent une bonne résistance au vieillissement et une haute réversibilité et qui peuvent être utilisés soit comme adhésifs soit comme consolidants des couches picturales. Une des caractéristiques les plus intéressantes est sa totale solubilité dans l'eau ainsi que dans une vaste gamme de solvants polaires. Il peut ainsi remplacer les adhésifs à l'eau comme la gélatine animale ou les émulsions d'acryliques ou des acétates de polyvinyle.

Différence entre Aquazol 200 et Aquazol 500 :
La différence résiste dans le poids moléculaire.
L'Aquazol 200, de plus faible poids moléculaire aura une meilleure pénétrabilité dans les supports poreux et une force d'adhérence moindre.
L'aquazol 500, de plus haut poids moléculaire aura une moins grande pénétrabilité (reste d'avantage en surface) et une force d'adhérence plus élevée.

Ces différences sont à considérer pour le traitement au cas par cas de chaque objets /zone / altérations à traiter.

Applications : L'aquazol s'utilise comme consolidant en concentration entre 10 et 25% dans l'eau ou dans l'éthanol.

On l'utilise également en remplacement des colles de gélatine animale, pour éviter les risques de dégradation organique ou pour des soucis de lisibilité d'intervention par l'identification de la nature chimique des matériaux de restauration.

Annexe VIII, Fiche technique – Colle d'esturgeon

FICHE TECHNIQUE

ARTECH PRO
Fournitures pour l'Art
www.artechpro.fr
contact@artechpro.fr
04 90 80 07 83

COLLE ESTURGEON En granulés	Date de mise à jour : 14/12/2021

Description : Granules de collagène de vessie natatoire d'esturgeon (acipencer beari). Permettent par gonflement et dissolution dans l'eau de former la colle de vessie natatoire d'esturgeon est la meilleure des colles animales.

Composition : Cette colle en granulé, ne contient aucun additif et a été filtrée. Elle est élaborée à partir d'esturgeons (acipencer beari) nés et élevés en pisciculture. C'est un produit pur, d'un emploi plus facile que les vessies brutes et permettant des mélanges pour les diverses utilisations.

Caractéristiques : La colle d'esturgeon est particulièrement fine, souple et possède une bonne force d'accroche. Elle est particulièrement recommandée pour : la marqueterie Boulle, l'encollage des tissus en fibres naturelles et le papier, liant en peinture, la restauration, l'ébénisterie, la lutherie, l'enluminure, le collage de la corne, l'ivoire, la nacre, l'écaille, le collage des arcs composites faits de corne, de bois et de tendon.

Applications : Pour l'utiliser il faut la réhydrater à l'eau froide et chauffer ensuite au bain marie à une température de 40 à 45 degrés C° Proportion conseillée : de 10 à 35 % de colle sèche dans l'eau selon viscosité désirée. En conservation-restauration des concentrations plus faibles (2 à 5%) permettent d'obtenir un adhésif de consolidation très intéressant pour les surfaces pulvérulentes et certains soulèvements .

Annexe IX, Comment préparer le solvant temporané ph 5,5~6,5

II. LES NETTOYANTS AQUEUX

A/ LES SOLUTIONS TAMPONNÉES

PH 5,5 - MES

100 mL de solution tamponnée au MES (acide 2-(N-morpholino)éthanosulfonique), pH 5,5 :

- 5,33 g de MES
- 1.31 mL de base forte
- Eau déminéralisée jusqu'à atteindre 100mL

Peser 5,33 g de MES dans 88,4 mL d'eau déminéralisée. Ajuster lentement le pH en ajoutant environ 1,31 mL de NaOH (10 %) tout en agitant et en surveillant le pH. Porter le volume final à 100 mL.

/!\ CETTE RECETTE DOIT ÊTRE DILUÉE À RAISON 1 PART POUR 5 PART D'EAU DÉMINÉRALISÉE AVANT D'ÊTRE UTILISÉE !

PH 6,5 - BIS TRIS

100 mL de solution tamponnée au BIS TRIS (Bis(2-hydroxyethyl)amino-tris(hydroxymethyl)methane), pH 6,5 :

- 5.23 g Bis-Tris
- 10.3 mL d'acide fort
- Eau déminéralisée jusqu'à atteindre 100mL

Diluer 5,23 g de Bis-Tris dans 79,5 mL d'eau déminéralisée. Ajuster lentement le pH en ajoutant environ 10,3 mL de solution de HCl (10%) tout en agitant et en surveillant le pH. Porter le volume final à 100 mL.

/!\ CETTE RECETTE DOIT ÊTRE DILUÉE À RAISON 1 PART POUR 5 PART D'EAU DÉMINÉRALISÉE AVANT D'ÊTRE UTILISÉE !

Liste des figures

Figure 1, CHANG, Martin/SIPA, « *Touristes devant la Flamme olympique au Jardin des Tuileries » : [photographie de presse]*, tiré de *Les Echos,* [en ligne], 2024, Disponible sur : https://www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/jo-2024-une-affluence-touristique-extremement-encourageante-selon-la-region-ile-de-france-2111995 (Consulté le 12.04.2025).

Figure 2, « *Costes et Le Brix ont traversé l'océan Atlantique Sud à bord de ce Breguet XIX GR n°1685, baptisé Nungesser-Coli, du 14 au 15 octobre 1927 » : [photographie]*, tiré de This day in aviation, [en ligne], [s.d.], Disponible sur https://www.thisdayinaviation.com/ (consulté le 10.05.2025).

Figure 3, © CHOI, Yonghan, *Copie de la toile du gouvernail de direction, exposée dans l'atelier de restauration de Dugny : [photographie]*, 2024.

Figure 4, © CHOI, Yonghan, *Détail d'une aile du SPAD S.VII conservé au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget: [photographie]*, 2024.

Figure 5, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *Mr. Breguet, aviateur* : *[photographie de presse],* [en ligne], 1909, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b90191385?rk=21459;2 (consulté le 10.05.2025).

Figure 6, © Musée des arts et métiers, FAVAREILLE, Michèle, *Modèle au 1/10 du Gyroplane Breguet-Richet n°1, conçu par Louis Breguet en 1907 : [photographie]*, [s.d.].

Figure 7, Archives de l'Aéro-Club de France, *Le Breguet-Richet n°2bis en 1908 : [photographie]*, tiré de G. Hartmann, « *Les premiers appareils Breguet »*, 2019, p. 5.

Figure 8, Archives de l'Aéro-Club de France, *Le Breguet type I avant un vol en 1909 : [photographie]*, tiré de G. Hartmann, « *Les premiers appareils Breguet »*, 2019, p. 6.

Figure 9, BREGUET, Emmanuel, *Le Breguet XIV « Limousine » assurant la liaison Paris–Londres en 1919 : [photographie de presse],* tiré d'*Actu Toulouse*, [en ligne], 25 décembre 2016, Disponible sur https://actu.fr/occitanie/toulouse_31555/le-breguet-xiv-lepopee-toulousaine-dun-avion-legendaire_3794717.html (consulté le 10.05.2025).

Figure10, © MANTEUFEL, Ralf, *Le Breguet 763 « Provence » d'Air France à l'aéroport de Berlin-Tempelhof, le 13 octobre 1965 : [photographie]*, [en ligne], Disponible sur https://www.airliners.net/photo/Air-France/Breguet-763-Provence/1658488 (consulté le 10.05.2025).

Figure11, BOYER, Pierre, *Couverture de l'ouvrage René Dorand – 50 ans de giraviation*, de BOYER. Pierre, Éd. Trait d'Union, rééd. 2015.

Figure 12, *Appareil de reconnaissance métallique de Breguet* (le prototype du Breguet 19), *en bas : [photographie de presse]*, tiré de *L'Aérophile*, [en ligne], 1921, n°1-2, p. 357,

Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6554814t/f368.item (consulté le 10.05.2025).

Figure13, *Atterrissage du « Zeppelin » à Lunéville, le 3 avril 1913, 1913 : [photographie]*, [en ligne], Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b10571214h.r=Atterrissage%20du%22%20Zeppelin%20%22?rk=21459;2# (consulté le 10.05.2025).

Figure 14, « *Japanese Pioneers Depart from Croydon Aerodrome » : [photographie de presse]*, tiré de *Sporting and Dramatic News*, [en ligne],1925, Disponible sur: https://www.kenleyrevival.org/content/history/raf-kenley/interwar-years-1918-1939/japanese-pioneers-depart-from-croydon-aerodrome-1925 (consulté le 10.05.2025).

Figure 15, LÉMONON, E.H., *LE SESQUIPLAN BRÉGUET 19 A 2* : [photographie de presse], tiré de *Les Ailes*, [en ligne], le 26 janv. N°1 ,1922, p.2, Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9607145c/f3.item# (consulté le 10.05.2025).

Figure16, ©Memorial-flight, *Breguet 19 « Super Bidon » TR : [photographie]*, [en ligne], Disponible sur: https://www.memorial-flight.com/point-d-interro (consulté le 10.05.2025).

Figure 17, Catalogue constructeur, *Moteur Farman 12 Wers de 520 ch (1926), à grande cylindrée et couple élevé, mais à forte consommation : [photographie]*, tiré de « *Vers les sommets. Breguet 1919–1939 »,* [en ligne], 2008, p. 12, Disponible sur http ://www.hydroretro.net/etudegh/index.php (consulté le 26.04.2025).

Figure 18, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *Le Bourget : retour du Capitaine Girier et Lieutenant Dordilly qui battent le record du monde de distance Paris-Omsk : [photographie de presse]*, [en ligne], 1926, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b90258784.item# (consulté le 26.04.2025).

Figure 19, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *Le Bourget, 1927 : Dieudonné Costes et Georges Alexandre Rignot près de leur Breguet 19, avant leur tentative de record de distance*, *Omsk : [photographie de presse]*, [en ligne], 1927, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b90567192?rk=42918;4 (consulté le 26.04.2025).

Figure 20, MEYNIEL, Stéphanie, *Le capitaine Girier et le lieutenant Dordilly en quête d'un record de distance au 14 juillet 1926 : [photographie de presse]*, tiré d'*Air-journal,* [en ligne], 2021, Disponible sur https://www.air-journal.fr/2021-07-14-le-14-juillet-1926-dans-le-ciel-girier-et-dordilly-en-quete-dun-record-5229138.html (consulté le 26.04.2025).

Figure 21, MEYNIEL, Stéphanie, *Paul et Ludovic Arrachart réalisent un vol record au 27 juin 1926 : [photographie de presse]*, tiré d'*Air-journal,* [en ligne], 2023, Disponible sur

https://www.air-journal.fr/2023-06-27-le-27-juin-1926-dans-le-ciel-paul-arrachart-et-ludovic-arrachart-signent-un-raid-record-5249653.html (consulté le 26.04.2025).

Figure 22, HIRSCHAUER, L., *Le BREGUET, photographié après le grand voyage, dans les ateliers de Villacoublay : [photographie de presse]*, tiré de *L'Aéronautique,* [en ligne], 1928, n°108, p. 152, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6568060t/f15.item (consulté le 26.04.2025).

Figure 23, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *la cérémonie de donation du Breguet 19 GR n°1685 par Louis Breguet au Musée de l'Air en 1932*, 1932, © Yonghan Choi.

Figure 24, Agence Rol, *Charles Lindbergh devant le Spirit of St. Louis, probablement lors de son arrivée dans le Pacifique : [photographie de presse]*, [en ligne],1927, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b531136522.r=Charles%20Lindbergh?rk=21459;2 (consulté le 26.04.2025).

Figure 25, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *Costes et Le Brix en 1927 : [photographie de presse]*, [en ligne],1927, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b53237641g.r=Costes%20et%20Le%20Brix%20en%201927?rk=21459;2# (consulté le 26.04.2025).

Figure 26, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, *le Breguet XIX GR n°1685 « Nungesser – Coli » prêt au départ pour un tour du monde depuis le Bourget : [photographie de presse]*, 1927, Collection privée ©René Brioux / Régis Jacquemin.

Figure 27, FIELD, Mitchel, « *Long Island,* le *11 février 1928 : Le Brix descend du « Nungesser-Coli », tandis que Costes range ses effets personnels » : [photographie de presse]*, 1928, © Associated Press New York / graphisme : Éditions Latérales.

Figure 28, © Bettmann Archive, *« Portrait of Charles Lindbergh with French Aviators. De gauche à droite : Dieudonné Costes, Charles Lindbergh et Joseph Le Brix, réunis à France Field (Zone du Canal, Panama). Les vainqueurs respectifs de l'Atlantique Sud et de l'Atlantique Nord » : [photographie de presse],* [s.d.].

Figure 29, HIRSCHAUER, L., *« le tour du monde de Costes et Le Brix » : [illustration]*, tiré de *L'Aérophile,* [en ligne], 1928, n°152, p. 134, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6568060t/f15.item (consulté le 26.04.2025).

Figure 30, © Ministère des Armées, « *Photo d'archive de Charles Nungesser et François Coli » : [photographie]*, tiré de LECAPLAIN, Philippe*, « Aéronautique : dernières informations sur l'Oiseau Blanc », RFI,* [en ligne], 2015, Disponible sur https://www.rfi.fr/fr/emission/20150502-aeronautique-oiseau-blanc-nungesser-coli-enquete-disparition (consulté le 26.04.2025).

Figure 31, « Nungesser et Coli : à gauche, Charles Nungesser ; à droite, François Coli, aviateurs français », [s.d.], © Collection Archives Larousse.

Figure 32, FIELD, Mitchel, « *Long Island,* le *11 février 1928 : Le Brix descend du « Nungesser-Coli », tandis que Costes range ses effets personnels » : [photographie de presse]*, 1928, © Associated Press New York / graphisme : Éditions Latérales.

Figure 33, © Steelpillow, *différentes configurations d'aile pour les monoplans (vue de face) : aile basse, aile médiane, aile haute et aile parasol*, *[illustration]*, tiré de Wikipédia, « Configuration d'aile », [en ligne], 2009, Disponible sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Configuration_d%27aile, (consulté le 26.04.2025).

Figure 34, © Steelpillow, configurations des aéronefs à ailes multiples : biplan, sesquiplan et sesquiplan inversé (vue de face), *[illustration]*, tiré de Wikipédia, « Configuration d'aile », [en ligne], 2009, Disponible sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Configuration_d%27aile, (consulté le 26.04.2025).

Figure 35, © maxppp, « *Orville Wright à bord de l'avion des frères Wright »,* tiré de CHESNEL. Sandrine*, « 17 décembre 1903, premier vol motorisé de l'histoire de l'aviation » : [photographie de presse]*, *franceinfo,* [en ligne], 2014, Disponible sur https://www.franceinfo.fr/replay-radio/l-ephemeride/17-decembre-1903-premier-vol-motorise-de-l-histoire-de-l-aviation_1771077.html, (consulté le 26.04.2025).

Figure 36, © L'avionnaire, *« Cellule des aéronefs, Les différents empennages d'un aérone: But de l'empennage »: [illustration]*, tiré de *L'avionnaire* [en ligne], [s.d.], Disponible sur https://www.lavionnaire.fr/CelluleEmpPrim.php (consulté le 26.04.2025).

Figure 37, © L'avionnaire*, « Cellule des aéronefs les gouvernes de vol : L'axe de lacet »: [illustration]*, tiré de *L'avionnaire* [en ligne], [s.d.], Disponible sur https://www.lavionnaire.fr/CelluleGouvernes.php (consulté le 26.04.2025).

Figure 38, © L'avionnaire*, « Cellule des aéronefs les gouvernes de vol : Introduction»,: [illustration]*, tiré de *L'avionnaire* [en ligne], [s.d.], Disponible sur https://www.lavionnaire.fr/CelluleGouvernes.php (consulté le 26.04.2025).

Figure 39, Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET, « *Gouvernail de direction de l'avion Breguet 19 A2-B2 » : [illustration]*, tiré de Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET, *« Notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2 B2 », 2ème édition,* 1926, p. 58.

Figure 40, © Smithsonian National Air and Space Museum, PRESTON, Jim, « *Wright Flyer (1903), biplan canard motorisé* » : *[photographie],* [en ligne], 2022, Disponible sur https://airandspace.si.edu/collection-media/NASM-NASM2022-00100A-000001 (consulté le 26.04.2025).

Figure 41, © CHOI, Yonghan, *Vue rapprochée du tissage de la toile de lin du gouvernail de direction du Breguet 19 n°1685 : [photographie]*, 2025.

Figure 42, *« Usines du Rhône à Saint-Fons » : [photographie],* tiré de LAFERRERE, Michel ; RACINE, Roland, « *La Chimie de Guerre* » [en ligne], 2021, Disponible sur https://museemilitairelyon.com/2021/09/16/lindustrie-chimique-de-guerre/ (consulté le 26.04.2025).

Figure 43, © Benjah-bmm27, *Modélisation en 3D de la molécule de nitrocellulose : [illustration]*, tiré de Wikimedia Commons, [en ligne], 2007, Disponible sur https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Nitrocellulose-3D-balls.png (consulté le 26.04.2025).

Figure 44, © CHOI, Yonghan, *Nitrocellulose à l'état liquide, utilisée comme enduit pour toiles aéronautiques : [photographie]*, 2024.

Figure 45, *Acétate de cellulose, pur : [illustration]*, tiré de laboratoriumdiscounter, [en ligne], [s.d.], Disponible sur https://www.laboratoriumdiscounter.nl/fr/acetate-de-cellulose-pur.html (consulté le 26.04.2025).

Figure 46, © CHOI, Yonghan, *Airco DH.9, version de nuit, présenté au Meeting Air Festival, avec une livrée marron foncé : [photographie],* 2024.

Figure 47, © ENGLAND, Chris, *Bréguet 19 GR n°1685 « Nungesser et Coli » sur le site de Chalais-Meudon* : *[photographie]*, [en ligne], 1971, Disponible sur https://www.airhistory.net/photo/485652/1685 (consulté le 26.04.2025).

Figure 48, © CHOI, Yonghan, *Structure stratifiée de la toile d'avion : [illustration]*, 2025.

Figure 49, © CHOI, Yonghan, *Échantillon de toile enduite à la nitrocellulose observée au microscope, dans le cadre d'une analyse expérimentale : [photographie]*, 2025.

Figure 50, *« Ripolin, peinture laquée, reproduction d'une affiche publicitaire » : [arts graphiques]*, 10.5 *14.8 cm, [en ligne], [s.d.], Disponible sur https://www.parismuseescollections.paris.fr/fr/musee-carnavalet/oeuvres/ripolin-peinture-laquee-reproduction-d-une-affiche-publicitaire#infos-principales (consulté le 26.04.2025), © Musée Carnavalet, Histoire de Paris.

Figure 51, © CHOI, Yonghan, *Peinture alkyde utilisée dans les travaux de reconstruction d'avions anciens menés par l'association Memorial Flight : [photographie]*, 2024.

Figure 52, Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET, « *La notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2, 2e édition, octobre 1926* », : *[illustration],* tiré de Société anonyme des ateliers d'aviation Louis BREGUET, « *la notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2, 2e édition* », 1926.

Figure 53, « *Technique de couture utilisée pour la réparation* » : *[photographie]*, tiré de « *la notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2, 2e édition* », 1926, p. 61.

Figure 54, « *Pièce effilochée* » : *[photographie]*, tiré de « *la notice technique de réparations de l'avion Breguet 19 A2-B2, 2e édition* », 1926, p. 60.

Figure 55, « *Publicité pour les produits cellulosiques de la société Clément & Rivière, notamment les enduits pour toiles "Avialine"* » *: [illustration]*, tiré de « *Annuaire du commerce Didot-Bottin* », [en ligne], 1928, p. 4205, Disponible sur https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5324459h/f1996.item (consulté le 26.04.2025).

Figure 56, © DAL-PRA, Patricia, « *Observation de fibres textiles réalisée à l'INP au microscope numérique haute résolution Keyence VH-ZST RZ (zoom double objectif 20x–2000x), avec éclairages mixte et coaxial complet* » : *[photographie]*, 2025.

Figure 57, © CHOI, Yonghan, « *Analyse infrarouge (FTIR) des composants de l'enduit et des couches picturales. Analyse réalisée au sein du laboratoire EECCAR* » : *[photographie]*, 2025.

Figure 58, © CHOI, Yonghan, *Enduit à base de nitrocellulose utilisé au Musée de l'Air et de l'Espace et dans l'association Memorial Flight : [photographie]*, 2024.

Figure 59, © MULE, Victor, *Face, recto après dépliage. Image capturée avec l'application* , Polycam par CHOI, Yonghan, modélisation 3D réalisée par © MULE, Victor » : *[photographie]*, 2025.

Figure 60, © MULE, Victor, *Face, recto après dépliage. Image capturée avec l'application*, Polycam par CHOI, Yonghan, modélisation 3D réalisée par © MULE, Victor » : *[photographie]*, 2025.

Figure 61, © CHOI, Yonghan, *Dimensions du gouvernail de direction – Breguet 19 n°1685 : [illustration],* 2025.

Figure 62, © CHOI, Yonghan, *Trace de lardage sur la toile du gouvernail de direction* : *[photographie]*, 2025.

Figure 63, Bureau veritas Service Aéronautique, *Nœuds de largade : [illustration],* tiré d'*ENTOILAGES AERONAUTIQUE – PLAN DU FASCICULE, 5e édition*, 1961, tome II, p.14.

Figure 64, © CHOI, Yonghan, *Exemple pédagogique de lardage, présenté au Musée de l'Air et de l'Espace : [photographie]*, 2025.

Figure 65, © CHOI, Yonghan, *Pinceaux utilisés pour la mise en peinture des avions historiques par l'association Mémorial Flight : [photographie]*, 2025.

Figure 66, Couverture de *Pégase : revue de l'association des amis du musée de l'Air*: *[photographie]*, [en ligne] 1977, n°7, Disponible sur : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k53265033 (consulté le 12.04.2025).

Figure 67, « *Roland Nungesser en quête de l'épave de L'Oiseau Blanc* » : [photographie], tiré de la collection Gamma-Rapho, © SIMON. Daniel via Getty Images, 1987.

Figure 68, © CHOI, Yonghan, *Note au lecteur : [illustration]*, 2024.

Figure 69, © CHOI, Yonghan, *L'état plié recto : [photographie]*, 2024.

Figure 70, © CHOI, Yonghan, *L'état plié verso : [photographie]*, 2024.

Figure 71, © CHOI, Yonghan, *Photo de dépliage 1 : [photographie],* 2024.

Figure 72, © CHOI, Yonghan, *Photo de dépliage 2 : [photographie],* 2024.

Figure 73, © MULE, Victor, « *Altérations sous forme de plis apparues après l'opération de dépliage* » : *[photographie]*, avec l'application Polycam par CHOI, Yonghan, modélisation 3D réalisée par © MULE, Victor, 2025.

Figure 74, © CHOI, Yonghan, *Exemple de déchirure 1 : [photographie]*, 2024.

Figure 75, © CHOI, Yonghan, *Exemple de déchirure 2 : [photographie]*, 2024.

Figure 76, © CHOI, Yonghan, *Cartographie, Recto, déchirures : [photographie]*, 2024.

Figure 77, © CHOI, Yonghan, *Exemple, trace de réparation : [photographie]*, 2024.

Figure 78, © CHOI, Yonghan, *Exemple, pièce typique découpée aux ciseaux crâneurs* : *[photographie]*, 2024.

Figure 79, © CHOI, Yonghan, *Exemple, pièce typique présentant un effilochage : [photographie]*, 2024.

Figure 80, © CHOI, Yonghan, *Exemple, trace de réparation structurelle et de consolidation – vue de détail recto : [photographie], verso*, 2024.

Figure 81, © CHOI, Yonghan, *Cartographie, Recto, traces de réparations structurelles et de consolidations : [photographie],* 2024.

Figure 82, © CHOI, Yonghan, *Cartographie, Verso, traces de réparations structurelles et de consolidations* : *[photographie]*, 2024.

Figure 83, © CHOI, Yonghan, *Exemple, auréoles d'humidité : [photographie]*, 2025.

Figure 84, © CHOI, Yonghan, *Exemple, moisissure : [photographie]*, 2025.

Figure 85, © CHOI, Yonghan, *Cartographie, Verso, L'auréoles d'humidité : [illustration]*, 2025.

Figure 86, © CHOI, Yonghan, *Cartographie, Verso, Moisissure : [illustration]*, 2025.

Figure 87, © CHOI, Yonghan, *Exemple, Migration pigmentaire : [photographie]*, 2025.

Figure 88, © CHOI, Yonghan, *Cartographie, Verso, Migration pigmentaire et réactions internes des matériaux : [illustration]*, 2025.

Figure 89, © CHOI, Yonghan, *Exemple, trace de repeint 1 : [photographie]*, 2025.

Figure 90, © CHOI, Yonghan, *Exemple, trace de repeint 2 : [photographie]*, 2025.

Figure 91, © CHOI, Yonghan, *Exemple, Craquelures et soulèvements 1 : [photographie]*, 2025.

Figure 92, © CHOI, Yonghan, *Exemple, Craquelures et soulèvements 2 : [photographie]*, 2025.

Figure 93, © CHOI, Yonghan, *Cartographie, Recto, Craquelures : [illustration]*, 2025.

Figure 94, © CHOI, Yonghan, *Exemple, Cloques 1 : [photographie]*, 2025.

Figure 95, © CHOI, Yonghan, *Exemple, Cloques 2 : [photographie]*, 2025.

Figure 96, © CHOI, Yonghan, Cartographie, Recto, Cloques *: [illustration]*, 2025.

Figure 97, © CHOI, Yonghan, *Example, Lacunes et écaillage des couches picturales : [photographie]*, 2025.

Figure 98, © CHOI, Yonghan*, Cartographie, Recto, Lacunes et écaillage des couches picturales: [illustration]*, 2025.

Figure 99, © CHOI, Yonghan*, Example, contaminations et traces extérieures : [photographie]*, 2025.

Figure 100, © CHOI, Yonghan, *Cartographie, Recto, Contaminations et traces extérieures : [illustration]*, 2025.

Figure 101, DE SAINT-EXUPERY, Antoine, *Boîte de petit prince : [illustration]*, tiré de DE SAINT-EXUPERY, Antoine, « *Le petit prince* », ©Éditions Gallimard, p.18, I999.

Figure 102, © The military gift store*, Marine Corps Flag Medal Display Case, USMC Flag Case : [photographie]*, [en ligne], [s.d.], Disponible sur https://www.themilitarygiftstore.com/products/marine-corps-flag-medal-display-case-usmc-flag-case-1?srsltid=AfmBOoqCEFVyLfMAEhSHUZSmzudRN7I3lm46xJK5R_5x0G_GfxjZzxdr (consulté le 26.04.2025).

Figure 103, © CHOI, Yonghan, *Gouvernail de la direction dans la grande galerie du Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget : [photographie]*, image réalisée par CHOI, Yonghan, 2025.

Figure 104, © CHOI, Yonghan, *La copie du gouvernail de la direction BREGET 19 n°1685 dans l'atelier de Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget* : *[photographie]*, image réalisée par CHOI, Yonghan, 2025.

Figure 105, © CHOI, Yonghan*, Photo d'insigne de l'escadrille SPA 103 "CIGOGNE DE FONCK" dans Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget : [photographie]*, image réalisée par CHOI, Yonghan, 2025.

Figure 106, © CHOI, Yonghan, *Photo de fragment de toile de fuselage orné de l'insigne de l'escadrille S4 : La mort qui fauche dans Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget : [photographie],* image réalisée par CHOI, Yonghan, *2025*.

Figure 107, CAPELLI, Benedetta - Cité du Vatican, « *Le Pape François devant le Linceul de Turin en 2015 » : [photographie]*, tiré de *Vatican news,* CAPELLI, Benedetta - Cité du Vatican, *«Ton amour est pour toujours»: une liturgie devant le Linceul de Turin,* [en ligne], 2021, Disponible sur https://www.vaticannews.va/fr/eglise/news/2021-04/samedi-saint-ostension-linceul-turin-interview-mgr-nosiglia.html (consulté le 26.04.2025).

Figure 108, © CHOI, Yonghan, *Peinture sur bâti*, peinture origine : André Boisson, « *Marie Madeleine se dépouillant de ses bijoux » : [pienture]*, Toile ornant le choeur de la basilique saint Maximin (Var), image réalisée par CHOI, Yonghan dans l'atelier AMOROSO WALDEIS, 2025.

Figure 109, Agence de presse Meurisse. Agence photographique, « *la cérémonie de donation du Breguet 19 GR n°1685 par Louis Breguet au Musée de l'Air en 1932* », 1932, © CHOI, Yonghan.

Figure 110, © CHOI, Yonghan, *Exemples de gouvernail de direction après montage sur châssis à tension variable : [illustration]*, 2025.