El Arte del Peanut Scale

Ulises Alvarez

2022

Ulises Alvarez : un héritage qui dépasse le Peanut Scale

Ulises Alvarez, modéliste uruguayen passionné et chercheur infatigable, a laissé une empreinte remarquable dans le monde de l'aéromodélisme de vol libre.

Connu particulièrement pour ses réalisations en catégorie Peanut, il était bien davantage qu'un constructeur de maquettes miniatures. Il était un expérimentateur, un technicien et un pédagogue, dont les recherches et les publications témoignent d'une approche profondément réfléchie de notre discipline.

À une époque où l'approvisionnement en matériaux pouvait constituer une difficulté importante, notamment en Uruguay, Ulises a entrepris de rechercher des solutions alternatives au balsa traditionnel. Ses travaux l'ont conduit à explorer les propriétés de matériaux naturels, à étudier leur résistance mécanique et à concevoir des structures conciliant légèreté, robustesse et réalisme.

Cette démarche résumait parfaitement sa philosophie : obtenir la meilleure efficacité possible sans sacrifier la solidité indispensable au vol. Dans ses modèles, chaque matériau avait une fonction, chaque gramme comptait et chaque détail devait justifier sa présence.

Ses réalisations illustraient admirablement cette recherche d'équilibre entre la fidélité à l'avion grandeur nature, la finesse de construction et les qualités de vol. Il ne suffisait pas de reproduire un avion en miniature : il fallait également lui donner la capacité de voler avec élégance et efficacité.

Mais son travail ne s'arrêtait pas à la construction. Ses recherches sur les fuselages en polystyrène, les hélices à pas réglable et les techniques de construction ultralégère témoignent d'une curiosité technique qui dépassait largement le cadre d'une seule catégorie.

Ulises avait également compris l'importance de la transmission du savoir. Cet ouvrage *El Arte del Peanut Scale* rassemble une somme de connaissances sur les matériaux, les structures, la propulsion, la stabilité et les réglages. Il y partage une expérience acquise par l'observation, l'expérimentation et la recherche permanente de solutions.

Son intérêt pour le vol libre dans son ensemble apparaît aussi dans ses réflexions sur l'organisation des compétitions et les difficultés liées aux finales successives. Il s'intéressait ainsi non seulement à la réussite individuelle du modéliste, mais aussi à l'équité sportive et à l'évolution de notre discipline.

L'héritage d'Ulises Alvarez repose donc sur plusieurs dimensions complémentaires : l'ingéniosité du constructeur, la curiosité de l'expérimentateur, la rigueur du technicien et la générosité du pédagogue.

Ses travaux rappellent que le progrès en vol libre ne dépend pas uniquement des performances chronométrées ou des titres remportés. Il naît également des idées nouvelles, des matériaux détournés de leur usage habituel, des solutions techniques partagées et de la volonté de transmettre aux générations suivantes ce que l'expérience nous a appris.

Aujourd'hui encore, ses publications constituent un témoignage précieux de cette culture du modélisme dans laquelle la connaissance, l'imagination et la maîtrise manuelle sont indissociables.

Rendre hommage à Ulises Alvarez, c'est reconnaître la contribution d'un homme qui a su transformer les contraintes en occasions d'innover et faire de la recherche de légèreté un véritable art.

Son œuvre mérite de continuer à être étudiée, partagée et transmise à tous ceux qui font vivre le vol libre.

Preface

DANS le monde de l'aéromodélisme, le terme Cacahuète ou Peanut Scale désigne une discipline consistant à faire voler des maquettes volantes propulsées par un écheveau de caoutchouc.

Il s'agit d'une catégorie qui a connu un essor remarquable dans certains pays au cours des dernières décennies. Aujourd'hui, les compétitions se déroulent exclusivement en salle (stades couverts, gymnases, etc.). Dans des pays comme les États-Unis, la France, la Grande-Bretagne, la Belgique, la Pologne, la Tchécoslovaquie et le Japon, cette discipline est devenue très populaire et l'organisation d'une compétition y représente un véritable défi, compte tenu du nombre de participants, qui atteint souvent 40 ou 50 concurrents.

Au-delà de ces nations, une activité existe également — bien qu'à un stade que l'on pourrait qualifier de préliminaire — dans des pays comme le Mexique, l'Allemagne et l'Argentine. Malgré un nombre restreint de passionnés, ces régions ont vu émerger des compétiteurs de calibre international, tels que Marcos Molo (Argentine) — vice-champion du monde en 1981 à West Baden, aux États-Unis — ainsi qu'Elorza (Mexique) et Benno Sabel (Allemagne de l'Ouest), dont les réalisations ont été mises en valeur dans des magazines et publications spécialisés.

Le développement mondial de ce sport a incité Butch Hadland — éminent représentant britannique de la discipline — à demander à la FAI (Fédération Aéronautique Internationale) d'intégrer cette catégorie à la hiérarchie officielle des compétitions internationales de la FAI. L'obstacle majeur à surmonter à ce stade sera sans doute l'élaboration d'un règlement adapté. La tâche est ardue, car le double système de notation — statique et en vol — propre à cette catégorie pousse les concurrents à privilégier l'un ou l'autre aspect. D'un côté, on trouve la maquette à la finition impeccable et riche en détails, quitte à sacrifier quelque peu les performances de vol ; de l'autre, le monstre volant » conçu pour dépasser les deux minutes de vol, même si cela implique de simplifier radicalement l'apparence de l'appareil.

C'est ainsi que deux formats de compétition distincts ont vu le jour en France : les concours de vol de maquettes et les concours de maquettes volantes. Bien que leurs règlements respectifs favorisent, par leurs nuances, l'une ou l'autre de ces ten-

dances, tous deux prévoient une première étape de sélection. Les compétitions de modèles réduits volants imposent un essai en vol initial démontrant une durée minimale de 25 secondes, tandis que les compétitions de vol de maquettes exigent l'obtention d'une note statique minimale spécifique.

Entre ces deux extrêmes subsiste l'idéal de l'« équilibre » : une maquette aux finitions soignées qui offre également des performances de vol exceptionnelles. C'est là tout le dilemme pour quiconque tente d'élaborer un règlement équitable, et à mon sens, Butch Hadland a fait preuve de génie en trouvant la formule de cet équilibre grâce à une règle simple : « La note de vol (un point par seconde) ne peut excéder la note statique. » Par conséquent, les « monstres volants » doivent répondre à des critères précis pour rivaliser lors du concours d'esthétique, tandis que les maquettes d'exposition impeccables doivent s'alléger pour décrocher, en vol, les points cruciaux nécessaires à un bon classement. La victoire reviendra au concurrent le plus équilibré, celui qui saura le mieux arbitrer le compromis entre une finition soignée et des performances de vol supérieures.

Ceux qui ne se sont jamais aventurés dans cette catégorie fascinante ne peuvent pleinement apprécier à quel point ce dernier concept incarne l'essence ou l'âme de cette discipline.

Prenons quelques exemples illustratifs : une « roue à rayons » — du type utilisé par les « pionniers » (avions datant des débuts de l'aviation jusqu'en 1914) — peut être réalisée à partir d'une grande variété de matériaux. Fabriquer une roue pesant un gramme ou plus n'est pas difficile si l'on en maîtrise la technique, mais en réaliser une qui ne pèse que 0,06 gramme constitue une véritable épreuve de savoir-faire.

Présenter une maquette à la finition irréprochable — en utilisant de l'enduit et des peintures cellulosiques éclatantes, même si cela alourdit la structure de plusieurs grammes — témoigne d'une grande minutie, mais rien de plus, du moins dans cette catégorie. En revanche, décorer une maquette avec des couleurs saisissantes sans ajouter la moindre fraction de gramme à la structure relève de l'ingéniosité artistique propre à ce genre.

Construire une aile résistante au vrillage, à la flexion et aux chocs éventuels n'est pas difficile si l'on ne s'impose aucune limite de poids. Toutefois, y parvenir en limitant la masse à 0,7 ou 0,8 gramme exige une expérience approfondie, impliquant des tests de résistance et une pesée minutieuse des matériaux. Reproduire les moteurs, les cylindres en étoile, les tuyaux d'échappement, l'armement, les figurines, les carénages de roues, les raccordements aile-fuselage, les capotages de moteurs en étoile, les radiateurs, les prises d'air, les verrières, les réservoirs de carburant ainsi que la multitude de détails propres à une maquette d'exposition peut s'avérer une tâche minutieuse — la marque de fabrique de tout maquettiste accompli. Toutefois, façonner tous ces éléments de manière à ce que leur poids total n'excède pas un demi-gramme constitue une véritable performance.

Tel est l'état actuel du développement de cette discipline fascinante du vol libre. Selon Schandel — une autorité en la matière —, elle est appelée à gagner en popularité dans un avenir proche et pourrait

bien devenir une activité grand public à part entière.À mon sens, cette perspective est étayée par plusieurs arguments, dont le plus marquant réside dans un véritable paradoxe :

d'un côté, son faible coût et sa facilité de promotion la rendent accessible à tous, y compris aux débutants, de l'autre, elle offre des horizons illimités au spécialiste passionné désireux d'en faire une véritable vocation. Chaque construction recèle des possibilités d'amélioration infinies, constituant un véritable défi en termes de précision, d'ingéniosité, de dextérité manuelle et de connaissances aérodynamiques. En somme, il s'agit d'une activité accessible au parfait néophyte, mais capable de mettre au défi, voire de rendre fou, le plus chevronné des vétérans.

Chapitre 1

Introduction

DANS le domaine de l'aéromodélisme, le « Peanut Scale » est, en un sens, une discipline aussi ancienne que le modélisme de reproduction lui-même. Toutefois, une exigence relativement récente — et, pour beaucoup, insolite — s'est greffée à ce loisir de longue date : les modèles doivent voler. Et il ne s'agit pas d'un simple bond de la main au sol, mais d'un véritable vol, dont la durée peut rivaliser avec celle des meilleurs modèles de vol libre d'extérieur tout en notant que cette catégorie ne repose pas sur l'utilisation de courants thermiques ascendants.

Ce n'est pas une mince affaire, pourtant, les véritables maîtres de cette catégorie atteignent aujourd'hui des temps de vol avoisinant les deux minutes — en salle, bien entendu.

De telles performances en salle ne sont possibles qu'avec des modèles ultra-légers, pesant environ 3 grammes pour une envergure de 33 cm.

Cependant, de même que les optimistes ne doivent pas nourrir d'espoirs démesurés, les autres ne doivent pas se décourager. Pour un débutant, un vol de 15 ou 20 secondes constitue un bon début, laissant présager qu'au troisième ou quatrième modèle, la barre des 50 secondes pourra être franchie — à condition, bien sûr, de tirer les leçons de chaque expérience.

Selon Bill Hannan — éminent pratiquant de cette discipline et auteur du livre passionnant Peanut Power — le concept initial de cette catégorie est attribué à Dave Stott, maquettiste professionnel de Bridgeport (Connecticut), et à Robert Sand Thompson, enseignant et aéromodéliste passionné de Roxbury (Connecticut).

Bien que ces aéromodélistes n'aient envisagé au départ qu'un simple passe-temps ou un divertissement sans grandes prétentions, la diffusion internationale rapide de la discipline ainsi que l'esprit de compétition et la volonté de perfectionnement des passionnés ont transformé ce qui n'était qu'un simple amusement en une activité bien plus sérieuse et sophistiquée : un véritable art, caractérisé par des techniques

très élaborées qui le distinguent nettement des autres branches traditionnelles de l'aéromodélisme.

Pour être précis, les modèles « Peanut Scale » — ou « Cacahuètes » en français — sont des reproductions à l'échelle d'avions réels dont l'envergure ne dépasse pas 33 cm ou la longueur 23 cm. Propulsés par des moteurs à élastique, ils volent généralement en intérieur à des vitesses de 1 à 2 mètres par seconde, s'élevant en spirale — en décrivant des cercles de 10 à 20 mètres de diamètre — jusqu'à des altitudes de 8 à 16 mètres (selon l'espace disponible), avant de redescendre en spirales similaires pour atterrir.

La petite taille de ces modèles amène souvent les observateurs occasionnels à les sous-estimer. Ne vous y trompez pas, toutefois : le fait qu'un enfant de dix ans puisse construire un modèle de ce type capable de voler n'empêche nullement les spécialistes de disposer d'une marge de manœuvre illimitée pour développer des techniques très sophistiquées et mettre en œuvre une compréhension approfondie des principes aérodynamiques.

Un facteur clé fait de cette catégorie l'un des terrains les plus propices à ce type de spéculation : les vols s'effectuent dans des espaces clos, dans un air parfaitement immobile — exempt de courants thermiques ou de vent — et à température et humidité constantes. Le vol devient ainsi une véritable expérience de laboratoire, où la performance dépend entièrement du réglage et de la mise au point du modèle.

Il en résulte que cette activité est accessible aux personnes de tous âges. Naturellement, les résultats refléteront l'expérience et l'habileté du constructeur.

C'est aussi une activité adaptée à tous les budgets. En fait, l'élément le plus coûteux est le temps investi — ce qui est vrai pour tout passe-temps, et plus particulièrement pour l'aéromodélisme. Après tout, si l'on considère qu'un modèle standard pèse à peine 8 à 10 grammes, le coût des matériaux est pratiquement négligeable.

Enfin, la petite taille de ces modèles présente également d'autres avantages : Point n'est besoin d'atelier ou de grand espace pour pratiquer ce loisir — du moins pas pour la construction de ces appareils spécifiques.

De nombreux modélistes ont renoncé à construire des modèles de catégories Wakefield, A/2 ou radiocommandés (RC), car l'exiguïté de leur logement les aurait contraints à transformer leur domicile en atelier, au grand dam de leur famille. À l'inverse, la construction ne nécessite rien de plus qu'une table de salle à manger bien rangée. Toutes les pièces et tous les outils tiennent dans une boîte à chaussures que l'on peut discrètement ranger dans un placard en fin de journée — pour la plus grande satisfaction de la maîtresse de maison.

Chapitre 2

Techniques de construction

L'un des premiers défis auxquels les pionniers de l'aviation ont dû faire face fut sans aucun doute la réalisation de structures à la fois légères et résistantes.

Une fois la phase artisanale initiale dépassée, l'industrie aéronautique a abordé ce défi sous un angle scientifique. L'ingéniosité a été mise à contribution, les mâts et haubans ont disparu des surfaces portantes, les ailes en porte-à-faux (cantilever) ont été adoptées et l'on a exploré les structures géodésiques, les structures à revêtement travaillant et les fuselages monocoques, tout en développant et en analysant en permanence des matériaux légers et très résistants.

Cette caractéristique propre à la construction aéronautique — qui la distingue nettement d'autres domaines — s'applique tout autant à l'aéromodélisme. C'est d'ailleurs une préoccupation constante pour les modélistes cherchant à optimiser les performances de leurs modèles.

Dans le domaine de l'aéromodélisme, c'est précisément dans les catégories indoor que cette quête atteint des proportions quasi obsessionnelles.

Par conséquent, les techniques de construction de ces modèles visent avant tout à relever ce défi spécifique.

Il convient donc de passer brièvement en revue les matériaux les plus adaptés à cet usage, ainsi que les meilleurs outils pour les travailler.

2.1 Outils indispensables

- Planche de travail : Une planche « Wadman » au quart de format (37 x 54 cm) suffit, accompagnée d'une boîte de punaises pour fixer les plans et d'une feuille de nylon pour protéger ces derniers de la colle.
- Scalpel et/ou un paquet de lames de rasoir
- lime à ongles et papier de verre de différents grains collé (à la colle contact) sur des cales en bois parfaitement planes

— forets de petit diamètre (0,3 à 1,5 mm) et porte-foret de précision (type mandrin à main)
— loupe d'horloger montée sur serre-tête ou sur lunettes (avis aux personnes ayant une vue basse)
— petit mandrin pour maintenir une aiguille à coudre et paquet d'aiguilles à coudre
— petites pinces à friser
— pince à épiler à bec fin
— scie à chantourner (ou scie de bijoutier)
— assortiment de pinces, notamment à bec rond et coupante
— ciseaux.

2.2 Matériaux

— Planche de balsa léger (1 mm) à amincir jusqu'à 0,5 mm ou 0,3 mm ; Planches de 2,5 mm, 2 mm et 1,5 mm pour la découpe de baguettes qui, une fois poncées, mesureront respectivement 2 mm, 1,5 mm et 1 mm ; pièces en planche de 3 mm pour les blocs de nez.
— Corde à piano (de 0,3 mm à 0,7 mm) pour les ressorts, les béquilles de queue, les axes d'hélice, les trains d'atterrissage, etc.
— Petites perles de rocaille pour les axes d'hélice.
— Papier japon (env. 11 g/m²) pour l'entoilage. Pour les modèles ultra-légers, utiliser du papier pour condensateurs (5 g/m² et 3 g/m²) ; ce dernier est disponible chez MICRO-X (États-Unis).
— Colles : colle PVA (blanche), colle cellulosique, Poxipol transparent à prise rapide (10 minutes), colle contact.
— Fil de nylon (pas de fil de pêche monofilament) ; à utiliser pour l'armature.
— Cellophane (la plus fine possible) pour les parties transparentes de la maquette. Quelques feuilles d'un matériau transparent légèrement plus rigide (acétate, plastique ou celluloïd) seront nécessaires lorsque la cellophane est insuffisante.
— Polystyrène extrudé. Une mousse à grains fins, d'une densité d'environ 30 g/dm³, est recommandée. Elle servira à fabriquer les roues, les répliques de moteurs, les carénages et même les fuselages. Nous reviendrons sur ce point ultérieurement.
— Feuille d'aluminium de 1 mm pour la fabrication des rondelles d'hélice, des moules pour la mise en forme des pales, etc. Feuille d'aluminium fine (0,1 mm) pour les moyeux de roues, etc.
— Quelques feuilles d'acétate, de plastique transparent ou de celluloïd d'une certaine épaisseur pour la fabrication des gabarits. - Quelques tiges d'herbe « espartillo », dont nous verrons l'usage plus tard.
— Placage de bois de qualité ébénisterie de 0,3 mm. J'en ai déjà obtenu de la variété *Manío*, provenant de Barraca Río de la Plata. Utilisations : nervures, couples, etc. Nous reviendrons sur ce sujet ultérieurement.

2.3 Choisir le matériau adapté à l'usage

La longue liste de matériaux ci-dessus pourrait décourager les débutants, mais ils ne sont pas tous indispensables. Nombre d'entre eux sont interchangeables. En réalité, la diversité des matériaux mentionnés vise à convaincre le modéliste que le choix des matériaux disponibles n'est limité que par son imagination et son ingéniosité.

Par exemple, le bois de balsa est souvent considéré comme le matériau universellement accepté – et le seul – adapté à l'aéromodélisme, notamment pour les modèles ultra-légers.

Cependant, une analyse plus approfondie révèle qu'il existe des substituts. De nombreux modélistes seront surpris de constater à quel point ces matériaux nous sont familiers. En réalité, notre loisir exige des matériaux à la fois résistants et légers, ce que j'appelle des matériaux à haute résistance spécifique.

Je définis la résistance spécifique (Re) d'un matériau comme le rapport entre sa résistance à différentes contraintes et son poids (Re = R/P). Ainsi, on dit qu'un matériau possède une haute résistance spécifique lorsque sa résistance à ces contraintes est élevée par rapport à son poids.

Prenons quelques exemples : la tige d'alfa (ou espartillo), une graminée qui pousse abondamment dans nos champs et qui cause bien des désagréments aux modélistes de vol libre lorsque ses fameuses « petites flèches » (lâchées en été) nous attaquent et criblent nos vêtements, est un excellent substitut aux longerons et entretoises en balsa de toutes sortes.

En effet, sa structure tubulaire, légèrement conique, avec des diamètres allant de 1,5 mm à 0,3 ou 0,2 mm, nous permet de construire des fuselages et des ailes, stabilisateurs, dérives, trains d'atterrissage, mâts de voilure pour biplans, etc., avec l'avantage — dans le cas du fuselage — de placer la section la plus large à l'avant, là où une résistance accrue est nécessaire pour absorber les charges d'impact potentielles, et la plus étroite à l'arrière, où la légèreté est requise.

Pour les ailes, par exemple, on place les plus grands diamètres à l'emplanture ; cela crée une structure très rationnelle qui absorbe les pics de contraintes de flexion survenant précisément dans cette zone, tout en s'affinant vers les saumons où ces charges sont négligeables.

Les structures de fuselage réalisées à l'origine en tubes d'acier soudés — dont les exemples abondent depuis l'époque de la Première Guerre mondiale — peuvent être reproduites fidèlement grâce à cette technique.

Un autre matériau offrant un rapport résistance/poids élevé est la tige de blé . Bien que son diamètre important limite son usage dans cette catégorie, elle peut être utilisée avec succès pour les longerons d'aile centraux et les détails de finition tels que les tuyaux d'échappement, les jambes de train d'atterrissage et les répliques de cylindres de moteurs en étoile.

Emmanuel Fillon — l'un des aéromodélistes les plus renommés, toutes disciplines et époques confondues — est un véritable maître de la construction en mousse de polystyrène. Il réalise des fuselages monocoques très résistants et réalistes, notamment lorsqu'il reproduit des conceptions d'avions plus modernes où le profilage aé-



Fig. 1

rodynamique est primordial. C'est donc un autre matériau très utile pour la construction de nos modèles.

Je me suis souvent fait la réflexion suivante : puisque des feuilles de balsa de 1 mm et 1,5 mm sont utilisées pour les couples et les nervures — et sachant que le balsa est trois à quatre fois plus léger que les bois courants — pourquoi ne pas utiliser ces bois ordinaires (bien moins chers et disponibles dans n'importe quel magasin de bricolage) avec des épaisseurs trois à quatre fois inférieures à celles mentionnées plus haut ? Par exemple, j'ai trouvé chez un négociant en bois local un type de plaquage fin — destiné au revêtement de portes et de placards — d'une épaisseur de 0,3 mm, qui remplit parfaitement son rôle pour la fabrication de couples et de nervures. De plus, un traitement très simple — consistant à coller du papier japon sur les deux faces avec de la colle PVA très diluée, en orientant les fibres du papier à 90° les unes par rapport aux autres — permet de découper des évidements dans une nervure ou d'alléger un couple au point qu'il pèse encore moins lourd que son équivalent en balsa. (Voir Fig. 1)

En somme, il ne s'agit là que de quelques exemples tirés d'une liste de matériaux que le modéliste imaginatif enrichira constamment, sans se laisser enfermer dans des conventions traditionnelles rigides.

2.4 Dimensions et qualité des matériaux

Dimensions

Le dimensionnement des longerons, traverses, nervures et du revêtement est déterminé par le résultat visé et par l'utilisateur. Un débutant aura besoin de sections plus importantes jusqu'à ce que sa main s'habitue à manipuler des structures plus légères et plus fragiles.

Comme j'étais en proie à de sérieux doutes concernant le dimensionnement des composants à mes débuts dans ce loisir, j'ai décidé de créer un tableau susceptible d'aider grandement aussi bien les débutants que les modélistes plus expérimentés.

Consulter ce tableau avant de construire un nouveau modèle permettra d'éviter les mauvaises surprises ainsi que de nombreuses heures de travail perdues. Les tableaux page suivante indique les dimensions des divers matériaux utilisés pour la construction du fuselage, des ailes, du stabilisateur, de la dérive et du train d'atterrissage, classés en quatre catégories selon

leur poids. Cela permet au constructeur de se fixer un objectif dès le départ et de disposer d'un guide indicatif pour y parvenir.

Poids 14g	
Longerons	Balsa 2x2 Alfa 0.8 à 1.3
Entretoises	Balsa 2x2 Alfa 0.8 à 1.3
Couples	Balsa 1.5 Manio 0.3
Coffrages	Balsa 1
Bord d'Attaque	Balsa 2x4 Alfa 1.2 à 1.5
Bord de fuite	Balsa 2x4 Alfa 1.2 à 1.5
Derive	Balsa 2x2 Alfa 1
Stabilisateur	Balsa 2x2 Alfa 1
Train d'atterrissage	CAP 0.8

Poids 11g	
Longerons	Balsa 2x2 Alfa 0.7 à 1.1
Entretoises	Balsa 2x2 Alfa 0.6 à 1.1
Couples	Balsa 1.2 Manio 0.3
Coffrages	Balsa 0.5
Bord d'Attaque	Balsa 2x2 Alfa 1.2 à 1.5
Bord de fuite	Balsa 1.5x4 Alfa 1 à 1.2
Derive	Balsa 2x1.5 Alfa 1
Stabilisateur	Balsa 2x1.5 Alfa 1
Train d'atterrissage	CAP 0.6

Poids 8g	
Longerons	Balsa 1.5x1.5 2x1 (Aile) Alfa 0.6 à 0.9 0.7 (Aile)
Entretoises	Balsa 1.5x1.5 Alfa 0.6 à 1.1
Couples	Balsa 1 Manio 0.3
Coffrages	Balsa 0.4
Bord d'Attaque	Balsa 2x1.2 Alfa 0.9 à 1.1
Bord de fuite	Balsa 3x1 Alfa 0.9
Derive	Balsa 1.5x1 Alfa 0.9
Stabilisateur	Balsa 2x1.2 Alfa 1
Train d'atterrissage	CAP 0.5

Poids 4.5g	
Longerons	Balsa 1x1 2x0.8 (Aile) Alfa 0.5 à 0.7
Entretoises	Balsa 1x1 Alfa 0.5 à 0.7
Couples	Balsa 0.7 Manio 0.3
Coffrages	Balsa 0.3 Styro 1.5
Bord d'Attaque	Balsa 2x1.5 Alfa 0.5 à 0.7
Bord de fuite	Balsa 2x1 Alfa 0.5 à 0.7
Derive	Balsa 1x1 Alfa 0.5 à 0.7
Stabilisateur	Balsa 1x1 Alfa 0.5 à 0.7
Train d'atterrissage	CAP 0.4

Je parle de guide indicatif car le résultat

final dépend non seulement des dimensions des matériaux, mais aussi de leurs qualités intrinsèques et de la manière dont le modéliste utilise les colles.

Qualités des matériaux

À ce sujet, quelques précisions s'imposent :

Qualités du balsa :

Le balsa peut être classé selon sa coupe, sa qualité (grade) et ses caractéristiques. La figure 2 illustre les principales méthodes de débitage d'une bille de bois. Chaque méthode produit un bois aux qualités différentes, le rendant adapté à des usages spécifiques, comme nous le verrons plus loin. Les coupes de base fréquemment mentionnées dans les listes de matériaux sont : la coupe tangentielle (donnant un fil droit), la coupe radiale (sur quartier) et la coupe oblique (coupe aléatoire). Outre le mode de découpe, la densité du bois varie d'une bille à l'autre, ce qui donne lieu à différentes catégories (ou grades). La combinaison de ces deux facteurs fait du balsa un matériau aux propriétés spécifiques assez complexes lorsqu'il s'agit d'optimiser son efficacité à l'usage.

MICRO-X, une entreprise possédant une grande expérience dans la sélection de matériaux pour les modèles réduits, utilise la classification suivante :

GRADE A : Facile à cintrer perpendiculairement au fil du bois. C'est actuellement le bois le plus souple par rapport à son poids. Utilisations : Principalement pour les pièces nécessitant un cintrage, comme les saumons d'ailes, les stabilisateurs et les gouvernes de direction. Ne convient pas au coffrage de fuselages cylindriques.

GRADE BA : Un peu plus résistant à la flexion que le grade A ; également rigide perpendiculairement au fil. Très similaire au grade A, si ce n'est que les lignes du fil sont plus marquées. Utilisations : Convient aux longerons et aux saumons d'ailes rigides. Ne peut pas être cintré avec un rayon de courbure aussi serré que le grade A. En feuilles fines, il permet de réaliser des contours robustes pour les stabilisateurs et les gouvernes. Ne convient pas au coffrage de fuselages cylindriques. Les grades A et BA sont tous deux d'excellents matériaux pour les longerons.

GRADE B : Aspect moucheté. Parfois peu esthétique, mais très résistant par rapport à son poids (rapport résistance/poids élevé). Un bois polyvalent de bonne qualité. Utilisations : Convient aux longerons droits. Très résistant. Excellent pour les longerons centraux d'ailes. Peut être utilisé pour les nervures. Pour les modèles d'intérieur, convient aux contours d'hélices. Comme les grades précédents, il ne convient pas au coffrage de fuselages cylindriques.

GRADE BC : Aspect très moucheté. Plus résistant perpendiculairement au fil que les grades A ou BA, et offrant également une certaine résistance dans le sens longitudinal. Très adapté au coffrage de formes cylindriques. Excellent pour les nervures. Déconseillé pour les longerons en raison d'une tendance à se voiler avec le temps.

GRADE C : Présente un aspect nacré perpendiculairement au fil du bois. Très résistant dans les deux sens du fil : transversal et longitudinal. Utilisations : Très

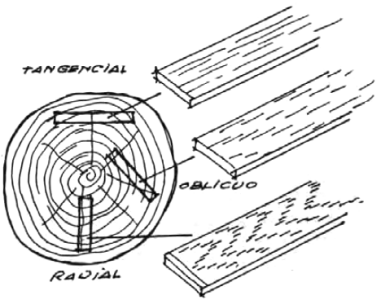


Fig. 2

adapté au formage de formes cylindriques. Excellent pour les nervures d'ailes et les hélices de modèles d'intérieur. Ne convient pas aux longerons.

REMARQUE : Le bois de grade BA s'utilise comme le grade A. Le grade BC s'utilise comme le grade C. Le grade B peut être utilisé comme le grade A ou C si nécessaire.Comme indiqué précédemment, le balsa n'est pas un matériau homogène. Sa densité dépend de la partie de la bille dont il est issu et varie d'une pièce à l'autre. Le tableau ci-dessous classe le balsa selon sa densité, en se fondant sur les données de R.H. Warring. J'ai inclus un bois dur courant dans le tableau à des fins de comparaison.

Qualité	g/dm3
ultraléger	96
léger	96 à 112
moyennement tendre	112 à 144
moyen	144 à 192
dur ou lourd	192 à 256
très dur	> 256
Autres bois	480

Alfa « Espartillo »

L'espartillo n'est pas non plus un matériau homogène. La tige est segmentée par plusieurs nœuds sur toute sa longueur. Les sections inférieures présentent un diamètre plus important ainsi qu'une résistance et un poids accrus. En coupant la tige à sa base et juste au-dessus du premier nœud, on obtient deux tronçons adaptés à des usages différents. La section inférieure est trop lourde et plus résistante que nécessaire ; toutefois, sa faible longueur la rend appropriée pour des éléments courts, tels que les trains d'atterrissage de modèles de taille moyenne pesant 14 grammes ou plus. La section supérieure — une fois retirée la gaine foliaire qui en enveloppe la partie basse — constitue la véritable partie exploitable de la tige. Son diamètre varie de 1,2 mm à 0,2 mm. Bien que cette section comporte plusieurs nœuds, ceux-ci n'entraînent pas de changement de direction de la tige, contrairement au premier , elle demeure parfaitement rectiligne.

La dureté et la densité de l'herbe espartillo varient également d'une plante à l'autre et selon la période de récolte. Bien qu'elle atteigne sa pleine maturité en été (janvier et février), il est conseillé d'effectuer certaines récoltes avant cette date ; on obtient ainsi une tige qui, bien que plus fragile car moins développée, est très légère et présente un diamètre plus faible à la base, ce qui la rend idéale pour les modèles ultralégers. Je recommande de retirer les 3 à 6 premiers centimètres au-dessus du premier nœud, car cette section est trop molle et a tendance à se fendre dans le sens de la longueur.

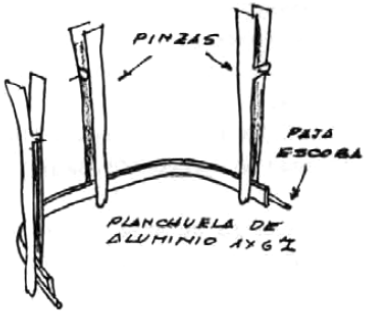


Fig. 3

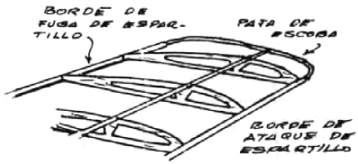


Fig. 4

Paille de balai

En raison de sa structure tubulaire qui ne permet pas une courbure à faible rayon, l'espartillo ne peut pas être utilisé pour les bords courbes des ailes et des empennages. La paille de balai convient parfaitement à cet usage. Pour réaliser un saumon d'aile courbe, procédez comme suit (Fig. 3) : découpez une bande de 6 mm de large et d'environ 10 à 15 cm de long dans une feuille d'aluminium de 1 mm d'épaisseur, et façonnez-la selon les indications du plan. Choisissez une tige de paille ayant une section appropriée. Si les bords d'attaque et de fuite sont en espartillo, les extrémités de la pièce courbe en cours de réalisation doivent être affinées suffisamment pour s'insérer dans les extrémités de ces longerons (Fig. 4). Dans tous les cas, si les longerons sont très fins, les extrémités de la pièce courbe peuvent être davantage affinées à l'aide d'une lime à ongles.

Pour façonner ces bandes, plongez-les quelques minutes dans de l'eau chaude, puis fixez-les sur le gabarit à l'aide de pinces en aluminium ou de pinces à linge. Une fois sèches, elles auront conservé la forme souhaitée et seront prêtes à être installées.

Bambou

Précisons d'emblée que, dans notre région, il sera plus facile de se procurer de la canne « tacuara ». Pour notre usage, elle remplit la même fonction.

Les saumons d'ailes, ainsi que les bords courbes des empennages, peuvent également être réalisés à l'aide de fines lamelles de cette canne courante. Coupez un tronçon de canne entre deux nœuds, fendez-le en deux à l'aide d'une lame bien affûtée, puis prélevez les sections requises — aux dimensions nécessaires — dans la paroi de l'une des moitiés. Ces lamelles peuvent être de section cylindrique ou carrée (pour les saumons d'ailes) ou rectangulaire (pour le train d'atterrissage). La méthode de cintrage est illustrée à la figure 5.

Humidifiez la lamelle, puis cintrez-la en utilisant la chaleur d'un fer à souder. Attention : il ne s'agit pas de soudure ! Par conséquent, pour éviter de brûler la pièce, maintenez-la humide pendant l'opération et utilisez une température modérée. Les

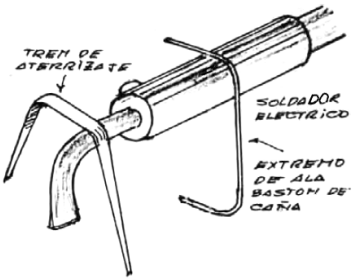


Fig. 5

débutants seront étonnés de la facilité avec laquelle on peut obtenir des courbes très serrées.

Mousse de polystyrène

Connue sous les noms d'Espuma-Plast en Uruguay, Telgopor en Argentine et Styrofoam en France — des matériaux similaires mais non identiques. Plus précisément : la mousse de polystyrène expansé. La mousse de polystyrène standard a une densité de 16 g/dm^3, mais sa structure est constituée de billes agglomérées (d'environ 6 mm de diamètre) qui se détachent facilement lors de la manipulation. Il vaut donc mieux récupérer le matériau des emballages de produits importés, les billes y sont beaucoup plus petites, ce qui rend le matériau plus facile à travailler. Mieux encore : le Styrofoam, un matériau parfaitement homogène (dépourvu de billes agglomérées). Nous décrirons cette technique plus en détail dans les chapitres suivants. Pour l'instant, disons simplement qu'elle est très efficace pour reproduire des formes cylindriques, des solides de révolution et des formes aérodynamiques complexes. On crée d'abord la forme extérieure, puis on évide l'intérieur. Outils nécessaires : scie sauteuse, papier de verre à grain moyen, petit outil rotatif électrique équipé d'une meule.

Bois durs en remplacement du balsa

Ils doivent être très fins. En Uruguay, on trouve du placage de « Manío » de 0,3 mm (3/10) destiné au revêtement de portes et de placards. En contrecollant ce matériau avec du papier japonais — en orientant les fibres du papier à 90 degrés par rapport au fil du bois et en utilisant de la colle PVA très diluée — on obtient un matériau très facile à travailler qui ne se fend pas lors de la découpe à la scie à chantourner. Cela permet de réaliser des lisses et des couples tels que ceux illustrés sur la figure 1, des formes qu'il serait impossible d'obtenir avec du balsa.

La préparation du placage s'effectue comme suit : découpez un morceau de placage de Manío (ou essence similaire) de 0,3 mm d'épaisseur et d'environ 15 x 15 cm. Découpez deux carrés de papier japonais aux dimensions correspondantes. Humidifiez les deux faces du placage et épongez l'excès d'humidité avec du papier absorbant. Appliquez de la colle PVA sur la surface et posez le papier japonais en orientant ses fibres à 90 degrés par rapport au fil du bois, tout en veillant à lisser les plis qui ont tendance à se former lorsque le papier s'humidifie. Ces plis peuvent être lissés à l'aide d'un pinceau plat, en effectuant des mouvements dans le sens du grain du papier. Une fois cette étape terminée, retournez la feuille et posez-la sur une grille —

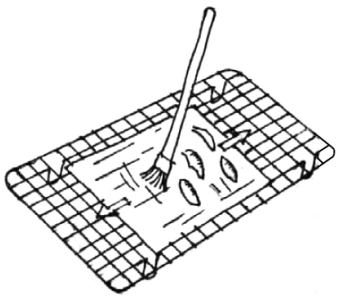


Fig. 6

comme un dessous-de-plat — pour éviter qu'elle n'adhère au plan de travail. Appliquez de la colle diluée sur la face désormais exposée, puis posez la seconde feuille de papier de soie en utilisant le pinceau pour chasser les plis ou les bulles d'air. Enfin, laissez l'ensemble sécher dans un endroit sec. Le résultat final sera une feuille capable de supporter des découpes complexes, quelle que soit la direction.

Tige de blé

Période de récolte : décembre dans l'hémisphère sud. Coupez la tige à la base, puis tronçonnez-la juste avant et après chaque nœud, car la tige change de direction à ces endroits. Retirez la gaine extérieure et coupez l'épi à l'extrémité. Pour nos modèles, c'est le dernier tronçon qui est le plus exploitable. Le diamètre des tiges varie de 3,5 mm à 1,5 ou 2 mm.

2.5 Adhésifs

Colle cellulosique

C'est l'adhésif le plus couramment utilisé pour le balsa en raison de sa légèreté et de sa capacité à pénétrer dans les pores du bois.

Colle vinylique

Également adaptée au balsa ; elle se dilue à l'eau. Lorsqu'elle est suffisamment fluidifiée, elle constitue un excellent adhésif pour l'entoilage des modèles, que ce soit avec du papier Japon ou du papier pour condensateurs.

Adhésifs anaérobies

Les temps de prise varient, allant de l'instantanéité quasi totale à quelques secondes. Ils sont idéaux pour le collage du balsa. Leur grande fluidité leur permet de pénétrer dans les pores du bois et de créer une véritable liaison entre les pièces. À l'exception de certaines variétés modernes, les types originaux et les plus courants ne comblent pas les interstices. Un contact direct entre les pièces à assembler est indispensable.

La technique de collage utilisée ici diffère des autres. On positionne les pièces, puis on dépose une petite goutte de colle sur le joint. Elle pénètre rapidement dans les pores des deux éléments et, en durcissant, crée une liaison solide qui renforce la zone. Parmi les marques célèbres, on peut citer Cyanoacrylate, Loctite et SuperBonder.

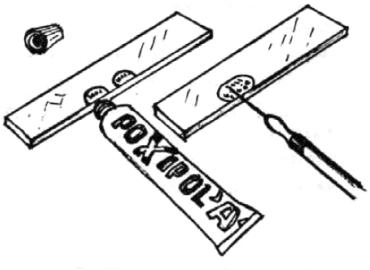


Fig. 7

Colle époxy

Je recommande la version transparente à prise 10 minutes. L'utilisation de ses deux composants étant bien connue, je ne m'étendrai pas sur les détails ici. Toutefois, il convient de noter les recommandations suivantes :

a) Veillez scrupuleusement à utiliser des volumes égaux de chaque composant.

b) Utilisez le mélange immédiatement après l'avoir soigneusement homogénéisé. Il est prêt lorsque de minuscules bulles de gaz commencent à y apparaître.

c) Cessez d'utiliser le mélange dès qu'il commence à filer ou à former des filaments.

Compte tenu de sa viscosité, l'application doit être effectuée avec grand soin. Une méthode efficace consiste à déposer une goutte de chaque composant sur le bord d'une petite plaque de verre (d'environ 3 mm d'épaisseur) et à les mélanger à l'aide de la pointe d'une aiguille montée sur un porte-mine de compas ou un mandrin de bijoutier. Utilisez ce même instrument pour appliquer la colle sur les pièces, en n'en mettant que la quantité strictement nécessaire.

C'est la seule colle adaptée à l'alfa et aux tiges de blé ; bien qu'elle puisse également être utilisée sur le balsa, elle s'avère moins pratique à cet usage que les colles mentionnées précédemment.

Colle de contact

C'est un auxiliaire très efficace lors de la phase d'essais en vol. Elle permet de fixer une cale — d'une épaisseur de quelques dixièmes de millimètre — entre le nez et le fuselage afin d'obtenir l'angle d'incidence correct pour l'axe de l'hélice. L'avantage de cet adhésif à ce stade est que la liaison peut être rompue aisément, facilitant ainsi le remplacement d'une cale par une autre.

2.6 Matériau d'entoilage

Le matériau le plus courant est le papier japon d'un grammage de 10 à 12 grammes par mètre carré. Le papier utilisé dans les cahiers dits « cahiers de copie » à des fins comptables convient également. Pour les modèles ultralégers, on utilise du papier condensateur pesant de 3 à 5 grammes par mètre carré. Ces papiers présentent des fibres orientées dans une direction spécifique. C'est dans ce sens qu'ils offrent la résistance maximale à la déchirure.

Comme l'humidité provoque le retrait de ces papiers, ce phénomène est plus marqué dans le sens des fibres. Par conséquent, le papier doit toujours être posé de manière à s'aligner avec la direction de résistance maximale de la structure (Fig. 8). Sur ces croquis, une flèche indique la direction de résistance maximale pour les différents éléments.

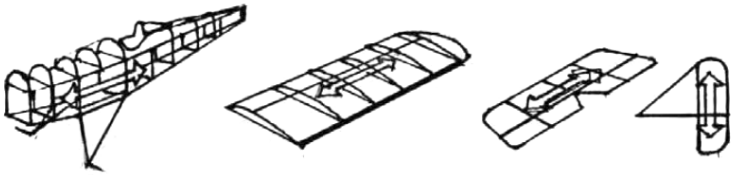


Fig. 8

2.7 Procédure de construction

Abordons maintenant (et il est grand temps de le faire) la procédure de construction. Nous commencerons par un modèle construit en balsa.

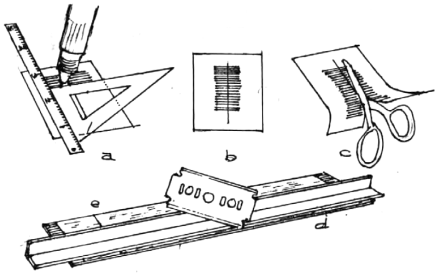


Fig. 9

Procédure de construction en balsa

Préparation des baguettes :

Tout d'abord, il faut se procurer les baguettes destinées aux longerons et aux traverses — coupées aux dimensions indiquées sur le plan. Il nous faut une règle métallique d'environ 30 cm de long. Il peut s'agir d'une bande plate en fer ou en aluminium, ou d'un profilé en L ou en T, offrant une bonne prise en main. Il nous faut également un paquet de lames de rasoir neuves.

Supposons que le plan prévoie des sections de 1,5 x 1,5 mm. Nous choisissons une planche de balsa de 2 mm d'épaisseur, de type A, AB ou D. Sur une feuille de papier blanc (Fig. 9), nous traçons plusieurs lignes parallèles — espacées de 2 mm — à l'aide d'une règle graduée, d'une équerre

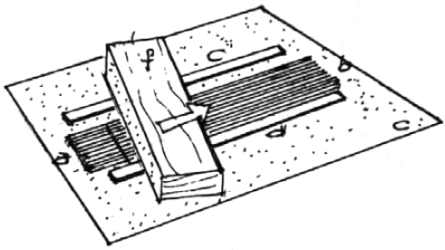


Fig. 10

et d'un stylo technique à pointe fine (Fig 9.a), croisées par une ligne perpendiculaire (Fig 9.b). Nous coupons le papier le long de la ligne perpendiculaire (Fig 9.c) et collons les deux guides obtenus aux extrémités de la planche de balsa choisie (Fig 9.d). Ensuite, nous traçons un trait en travers de la largeur de la planche à l'aide d'un feutre (Fig 9.e). Puis, nous découpons la planche en utilisant la règle métallique et une lame de rasoir neuve, en veillant à ce que la coupe soit parfaitement verticale et que la règle soit alignée avec les repères à chaque extrémité. On obtient ainsi une série de baguettes de 2 x 2 mm. Nous les ponçons ensuite pour obtenir des sections de 1,5 x 1,5 mm. Pour ce faire, nous procédons comme suit :

Nous nous procurons deux bandes de tôle, d'environ 30 cm de long, parfaitement planes et calibrées à une épaisseur de 1,5 mm. Du fil d'acier de même diamètre — ou même plusieurs feuilles d'acétate empilées pour atteindre une épaisseur similaire — peuvent être utilisés à la place. Elles serviront de calibres. Placez une feuille de papier de verre à grain moyen sur une table parfaitement plane (Fig. 10) — ou, mieux encore, sur une plaque de verre — et posez-y le paquet de baguettes (a-b) avec les repères au feutre orientés vers le haut. Positionnez les cales (c et d) de part et d'autre. Tout en maintenant l'extrémité (a) du paquet appuyée avec vos doigts, commencez le ponçage à l'aide de la cale à poncer (f) en effectuant des mouvements uniquement dans le sens de la flèche. Après plusieurs passages, faites pivoter chaque baguette d'un quart de tour en utilisant le repère au feutre comme point de référence ; ce repère restera visible car l'encre a pénétré dans les pores du bois. Poursuivez le ponçage des quatre faces de cette manière jusqu'à ce que la cale à poncer repose à plat sur les cales de guidage. Ce procédé permet d'obtenir un lot de baguettes de 1,5 x 1,5 mm parfaitement polies, à section carrée et aux dimensions précises.

Construction du fuselage

Après avoir étalé le plan sur la planche de montage et l'avoir protégé par une feuille de polyéthylène fixée à l'aide d'épingles à trois pointes, on commence par assembler un côté du fuselage. Il s'agit ici d'un fuselage de type boîte, la conception la plus simple (voir Fig. 11). On débute en plaçant les épingles extérieures (marquées (a)) le long d'un côté des deux longerons principaux. Compte tenu de la faible épaisseur des longerons (1,5 mm), il faut tenir compte de l'épaisseur des traits du plan ainsi que de celle des épingles elles-mêmes. Une loupe peut aider à bien observer la représentation graphique du longeron.

L'épaisseur des traits du dessin peut être incluse dans la largeur du longeron ou en être exclue — comme illustré dans le cas (B) de la Fig. 11 — ce qui implique de positionner les épingles en conséquence.

Une fois les épingles (a) en place et les longerons positionnés, ces derniers sont immobilisés par la pose des épingles intérieures (b). On découpe les traverses, on les fixe (en utilisant trois épingles pour chacune), puis on les colle avec l'adhésif choisi. Une fois la colle sèche, on retire délicatement les épingles et l'on commence la construction du second côté. Pour garantir une identité parfaite avec le premier, il suffit de replacer les épingles dans les trous

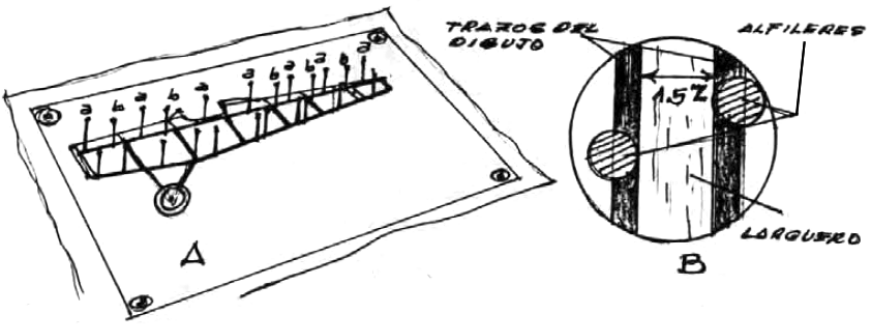

TRAZOS DEL DIBUJO
ALFILERES
1.5"
LARGUERO
A
B

Fig. 11

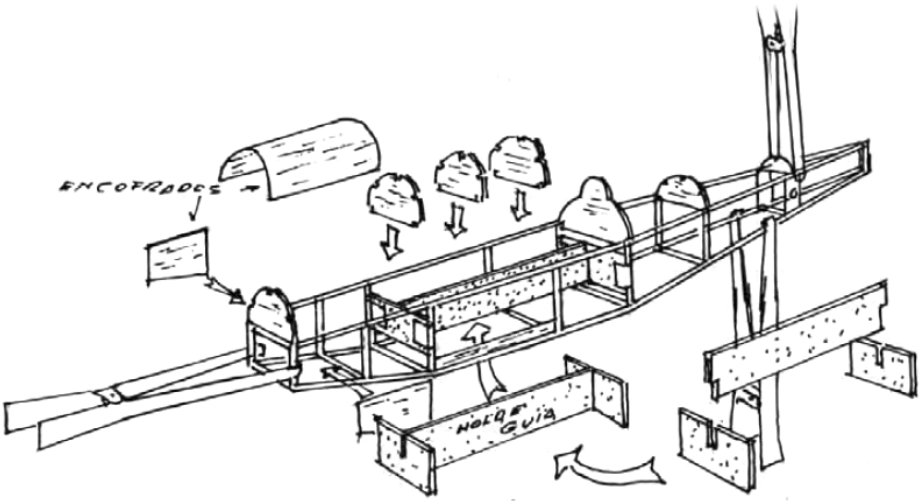

ENCOFRADOS
HOLGE GUIA

Fig. 12

existants. C'est pourquoi il est conseillé de ne pas retirer le plan de la planche avant d'avoir terminé cette étape.

Une fois les deux côtés construits, l'étape suivante consiste à les assembler à l'aide des traverses et/ou des couples appropriés, selon le cas.

Cette opération est facilitée par la création d'un gabarit de guidage en carton, tel que celui présenté sur la Fig. 12.

Ce gabarit est fixé temporairement aux deux côtés à l'aide de ruban adhésif, dans la position correcte, en veillant scrupuleusement à l'alignement et à l'équerrage. Le gabarit de guidage doit simplement permettre d'assembler les trois ou quatre sections centrales. Les sections restantes seront assemblées à l'aide de pinces en aluminium.

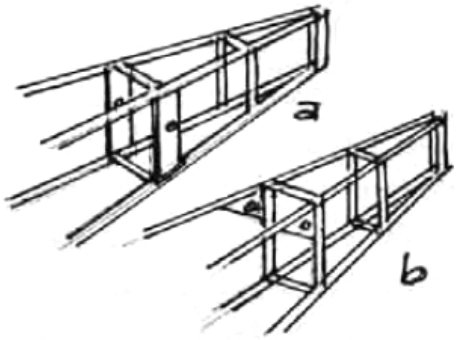


Fig. 13

À ce stade, on retire le gabarit de guidage en décollant soigneusement le ruban adhésif — à l'aide d'un outil pointu et d'une pince — et en découpant le carton aux ciseaux si nécessaire pour l'extraire par morceaux.

Ensuite, on installe les lisses secondaires ainsi que tout éventuel revêtement en feuille de bois. Si l'épaisseur du revêtement est inférieure à 1 mm, celui-ci doit être encastré selon une méthode similaire à celle utilisée pour les lisses. Le fuselage est alors complété par des éléments tels que les renforts pour le support de la broche moteur. Ce renfort peut prendre la forme d'une entretoise plus large ou d'un gousset plus léger (Fig. 13.b). S'il est difficile d'alléger à l'excès la partie arrière, il n'y a aucun inconvénient à recouvrir entièrement la partie avant (Fig. 12) d'une feuille de balsa aux épaisseurs bien choisies. Outre le renforcement du fuselage face aux chocs frontaux, cette technique permet d'obtenir le centrage adéquat, qui nécessitent généralement du lest à l'avant.

Toutefois, il ne faut pas oublier que pour cette catégorie — si l'on vise de bonnes performances de vol — il est nécessaire de réduire le poids au maximum afin d'obtenir la charge alaire la plus faible possible. Par conséquent, il est toujours préférable de rendre l'empennage aussi léger que possible plutôt que de devoir ajouter du lest à l'avant, aussi minime soit-il.

Les autres composants du fuselage — tels que la première cloison ou le support du bloc avant, le cockpit et les fixations d'aile — varient d'un modèle à l'autre et dépendent de l'ingéniosité du concepteur ; ils doivent néanmoins toujours viser le même objectif : une résistance maximale pour un poids minimal.

Construction de l'aile

La construction de l'aile implique la fabrication préalable de ses différents éléments : nervures, bord d'attaque, longerons intermédiaires, bords de fuite et saumons.

Fabrication des nervures Commençons par les nervures. À l'aide d'un gabarit de traçage et d'un cutter de modélisme bien affûté, nous traçons puis découpons deux gabarits de la nervure figurant sur le plan, en utilisant de l'acétate transparent épais ou du celluloïd aux propriétés similaires. Pour éviter tout déplacement durant l'opération, nous immobilisons le matériau avec deux épingles (Fig. 14). Une fois obtenus, les deux gabarits sont ajustés à la lime ou au papier de verre après avoir été alignés et assemblés par des épingles (Fig. 15). Les gabarits étant prêts, nous procédons à la découpe du nombre de nervures requis dans la planche de balsa choisie selon les spécifications du plan. Toutefois, avant chaque découpe, nous fixons le gabarit sur la planche de balsa à l'aide des deux épingles insérées dans les trous correspondants. Une fois la découpe terminée, toutes les nervures sont empilées (Fig. 16) — maintenues en place par des épingles passant par les trous d'alignement — avec les gabarits placés aux deux extrémités de la pile. Nous ponçons ensuite l'ensemble d'un seul bloc à l'aide de papier de verre à grain fin (Fig. 17). Remarque : poncez délicatement pour éviter d'user les gabarits d'extrémité ; cela est aisé car le balsa est beaucoup plus tendre que l'acétate. Les encoches destinées au bord d'attaque et aux longerons intermédiaires sont fignolées à l'aide d'une lime aiguille.

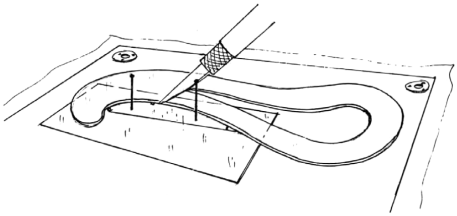


Fig. 14

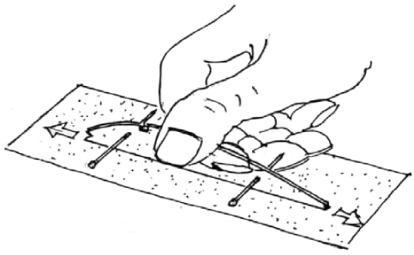


Fig. 15

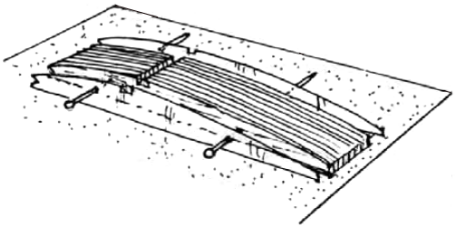


Fig. 16

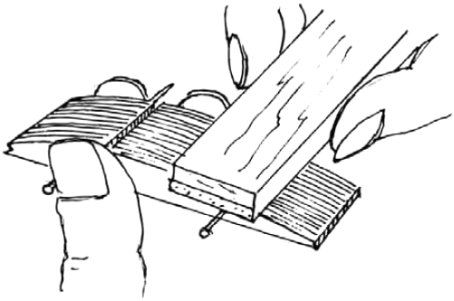


Fig. 17

Longerons de bord d'attaque et intermédiaires Ils sont réalisés comme les baguettes.

Bord de fuite Le bord de fuite nécessite toutefois une approche différente. Commençons par dessiner la section du bord de fuite sur une feuille de papier à une échelle bien plus grande (par exemple, 10 fois la taille réelle ; voir Fig. 18), en tenant compte de l'angle α (détail a) formé par l'intrados (i) et l'extrados (e) de la nervure au niveau du bord de fuite. Sur la figure, nous avons supposé un bord de fuite de 1 x 3 mm. En prolongeant les lignes représentant l'extrados et l'intrados, nous situons un point (O) à une distance — par exemple 2 cm — du point (A).

Sur une planche rigide à bord droit et net, nous traçons une ligne parallèle à ce bord à la distance calculée précédemment. Attention à l'échelle : dans ce cas, 2 cm correspondent à 2 mm (voir détail (b)). Sur une feuille de balsa choisie à cet effet (ici, de 1 mm d'épaisseur), nous marquons une ligne parallèle au bord, à une distance de 3 mm. Ensuite, positionnez la feuille de balsa sur la planche rigide en l'alignant à 2 mm du bord (en faisant coïncider la ligne préalablement marquée sur la planche et en la fixant avec des punaises). Commencez à amincir la pièce à l'aide d'une cale à poncer, en créant un biseau jusqu'à ce que la cale entre en contact avec le bord rigide de la planche support. Il suffit de tracer quelques repères au crayon en travers de la feuille de balsa. L'opération est terminée lorsque ces marques ont disparu sur toute la largeur de 3 mm correspondant au bord de fuite. Enfin, découpez la feuille de balsa le long de la ligne — ici, à 3 mm du bord.

On obtient ainsi une baguette de bord de fuite aux dimensions parfaites. Il ne reste plus qu'à réaliser les encoches de 1 mm de profondeur pour y loger les nervures ; utilisez une lame de rasoir pour cela, en veillant scrupuleusement à ne pas couper trop profondément !

Bouts d'aile La figure 19 illustre les conceptions de saumons d'aile les plus courantes ainsi que les solutions possibles en balsa.

L'extrémité rectangulaire représente le cas le plus simple ; elle est réalisée à l'aide d'une nervure renforcée légèrement plus épaisse et de goussets d'angle destinés à prévenir toute déformation due à la tension du papier (a).

Une extrémité rectangulaire mais plate se traite selon le schéma (c). Un saumon d'aile arrondi peut être réalisé selon la méthode traditionnelle, en découpant une ou deux pièces dans une feuille de balsa de 1 mm d'épaisseur, comme illustré sur le schéma (b).

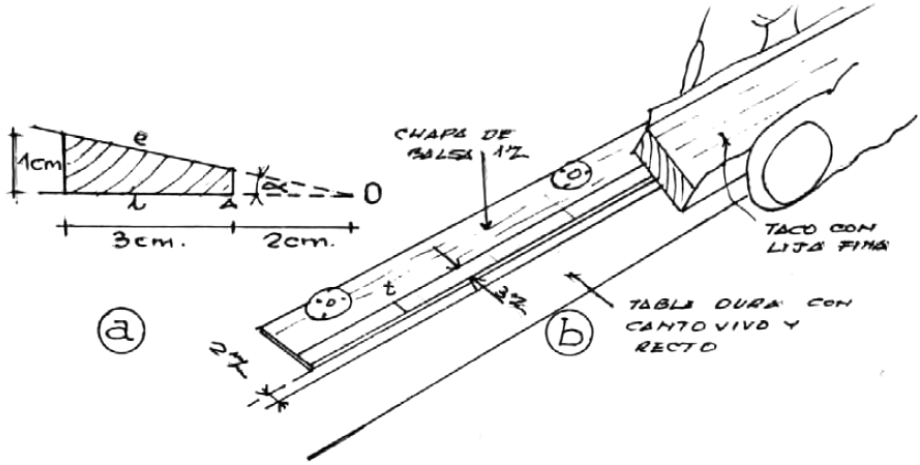

e
1cm
0
3cm.
2cm.
CHAPA DE
1/2
TACO CON
LIJA FINA
t
3/2
TABLA DURA CON
CANTO VIVO Y
RECTO
a
b
2/2
1

Fig. 18

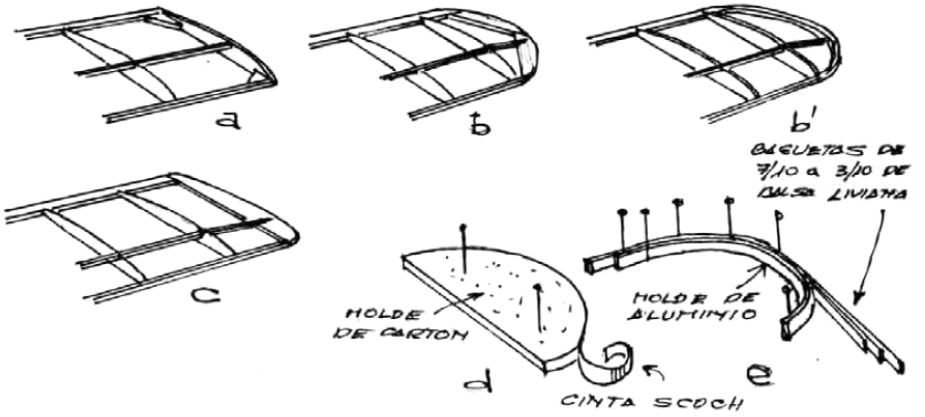

a
b
b'
c
AGUJETAS DE
7/10 a 3/10 DE
CHAPA LIVIANA
MOLDE
DE CARTON
MOLDE DE
ALUMINIO
d
e
CINTA SCOCH

Fig. 19

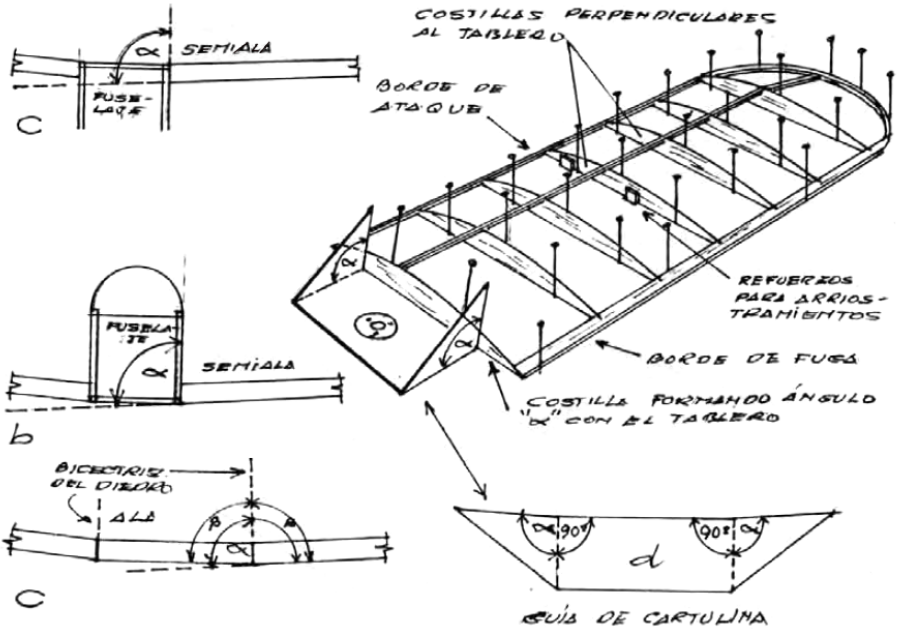


Fig. 20

Pour la construction de modèles légers ou ultralégers, il convient d'opter pour le système (b'), qui utilise une superposition de deux ou trois bandes très fines — de 0,7 mm, 0,5 mm, voire 0,3 mm d'épaisseur — mises en forme sur un gabarit en carton ou en aluminium, comme le montrent les schémas (d) ou (e). Le gabarit en carton est réalisé dans un matériau de 1,5 mm d'épaisseur, découpé aux dimensions voulues et poncé pour obtenir une surface lisse ; le bord ou la surface de contact est protégé par du ruban adhésif.

Le gabarit en aluminium est constitué d'une bande de 1 x 3 mm, découpée dans une feuille d'aluminium de 1 mm d'épaisseur. Les bandes sont trempées dans l'eau chaude puis appliquées sur le gabarit, où elles sont maintenues par des épingles. Afin d'éviter que les épingles n'endommagent les bandes fines, une feuille d'acétate est intercalée entre elles (voir détails (d) et (e)). Une fois sèches et mises en forme, les bandes sont collées entre elles à la colle cellulosique, en veillant à ce que l'excès de colle ne compromette pas l'objectif d'économie de poids (gain de fractions de gramme).

Assemblage de l'aile Une fois tous les éléments de l'aile préparés, on procède à l'assemblage. Après avoir protégé le plan avec une feuille de plastique, positionnez les éléments suivants sur le plan à l'aide d'épingles, dans l'ordre indiqué (voir Fig. 20 (e)) : le bord de fuite (attention : à cette étape, les épingles ne doivent en aucun cas percer les pièces elles-mêmes), les nervures (en utilisant trois épingles pour chacune) et le bord d'attaque. Prêtez une attention particulière aux nervures correspondant aux angles de dièdre ; celles-ci formeront un angle α avec le plan du panneau.

Pour obtenir l'angle exact, on réalise un gabarit en carton (d) et l'on mesure α selon les trois cas de figure : (a) aile haute ; (b) aile basse ; ou (b) l'aile supérieure d'un biplan ou d'un avion à aile parasol. En général, l'emplanture (au niveau de la jonction du dièdre) est renforcée (présentant une section plus importante que les autres nervures), et le collage aux longerons doit être effectué avec soin. Personnellement, je préfère coller ces nervures à l'époxy 10 minutes. Pour les ailes haubanées par des câbles ou des mâts, on utilise des renforts constitués de petites cales (f) de 1 mm d'épaisseur. Dans le cas d'un biplan ou d'un avion à aile parasol, on procède à l'assemblage des deux demi-ailes avec le tronçon central (voir Fig. 21).

Une fois les deux panneaux d'aile positionnés sur le plan, placez une cale (a) sous chacun d'eux de manière à surélever les saumons par rapport au plan de la distance (b) indiquée, puis épinglez-les en place. Après avoir découpé le bord d'attaque, le bord de fuite et le longeron principal ((c), (d) et (e)) avec la plus grande précision, collez-les soigneusement entre eux, idéalement à l'aide d'une colle époxy à prise en 10 minutes. Il convient de noter que c'est un modèle de vol libre ; il nécessite donc un dièdre d'aile légèrement plus prononcé que celui de l'avion grandeur nature (avec un angle encore plus important pour les modèles à aile basse) afin d'assurer la stabilité latérale indispensable au vol libre.

Construction du stabilisateur

Le stabilisateur peut être conçu avec un profil aérodynamique, tout comme l'aile ; dans ce cas, il comportera des nervures, des bords d'attaque et de fuite ainsi que — éventuellement — un longeron principal, et sera construit de manière très similaire à une aile (voir Fig. 22a).

Cependant, ils sont plus couramment réalisés à partir de baguettes de petite section rectangulaire (voir Fig. 22b : stabilisateur plat).

Il va sans dire que chaque élément de l'empennage doit être construit en veillant tout particulièrement à limiter le poids.

La raison en est la suivante : une maquette reproduit un avion réel dont la conception aérodynamique a été calculée en fonction d'un centre de gravité situé en un point précis. L'emplacement du moteur de l'avion — qui représente une part importante du poids total — joue indubitablement un rôle crucial dans la détermination de la position de ce centre de gravité (CG). Ce groupe motopropulseur est généralement situé dans le nez de l'appareil. Les surfaces portantes de l'avion original ont été dimensionnées de manière à ce que leur centre aérodynamique (ou le point d'application résultant des forces de

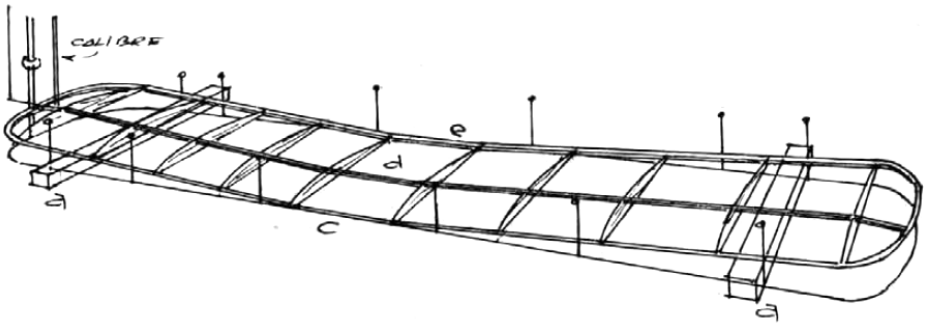


Fig. 21

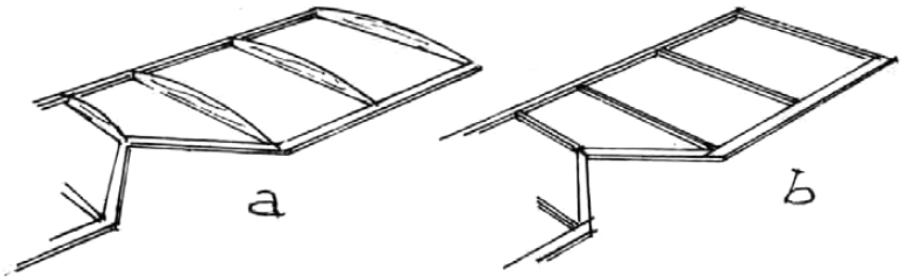


Fig. 22

portance) se situe légèrement en arrière de ce CG.

Toutefois, la maquette est propulsée par un moteur constitué d'un brin de caoutchouc s'étendant sur toute la longueur du fuselage. Ce moteur pèse autant, voire plus, que le moteur de l'avion réel ; cependant, sa disposition longitudinale le long du fuselage déplace le centre de gravité vers l'arrière, ce qui nécessite l'ajout de lest dans le nez pour ramener le CG à sa position initiale.

Comme notre objectif principal lors de la construction est d'obtenir un poids minimal, nous devons économiser autant de poids que possible au niveau de l'empennage afin de réduire la quantité de lest nécessaire à l'avant. En général, le stabilisateur est agrandi de 20 à 30 % ; cela déplace légèrement le centre aérodynamique (ou point d'application de la portance) vers l'arrière, l'alignant ainsi sur le centre de gravité de la maquette, lui aussi décalé vers l'arrière. Voir la figure 23.

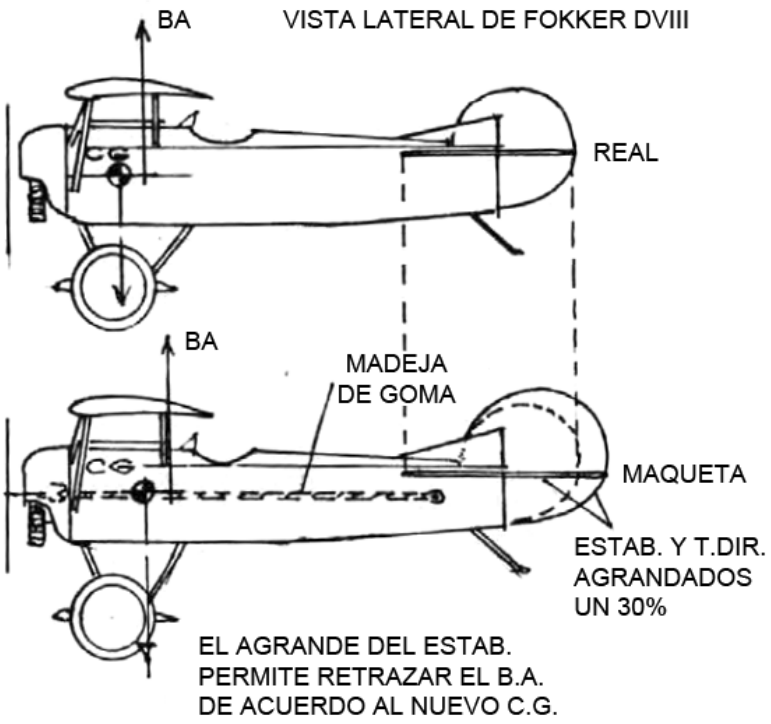

BA
VISTA LATERAL DE FOKKER DVIII
CG
REAL
BA
MADEJA
DE GOMA
CG
MAQUETA
ESTAB. Y T.DIR.
AGRANDADOS
UN 30%
EL AGRANDE DEL ESTAB.
PERMITE RETRAZAR EL B.A.
DE ACUERDO AL NUEVO C.G.

Fig. 23

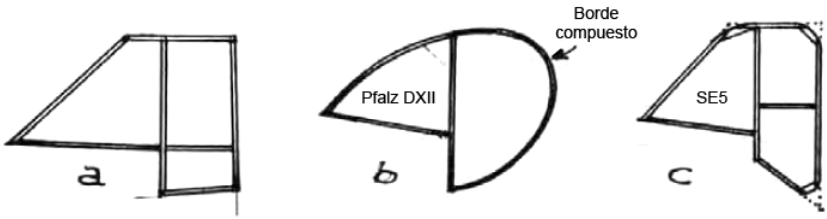

Borde
compuesto
Pfalz DXII
SE5
a
b
c

Fig. 24

Par conséquent, j'insiste — même si cela peut sembler répétitif — sur le fait qu'alléger l'arrière ne doit pas être un simple objectif ; c'est un véritable impératif, voire une obsession, pour les spécialistes de cette catégorie. Naturellement, lorsqu'il s'agit de stabilisateurs aux bords arrondis, il est conseillé — surtout si l'on vise la légèreté — d'adopter la méthode de construction illustrée aux points (b), (d) et (e) de la figure 19 (dans la partie consacré aux ailes).

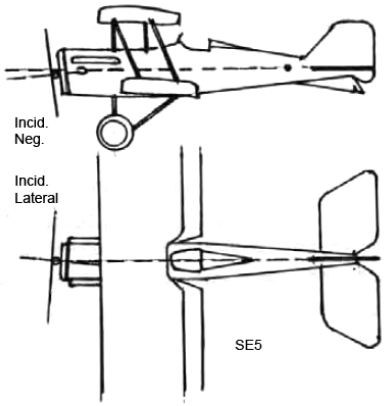


Fig. 25

Gouverne de direction

Les remarques formulées dans le chapitre consacré au stabilisateur s'appliquent également ici. En règle générale, la forme de la gouverne de direction (y compris la dérive fixe) peut correspondre aux modèles a, b ou c illustrés à la figure 24.

Les sections droites sont prolongées jusqu'à leur intersection ; des goussets en planche de 1 mm sont collés en place, puis les angles sont arrondis.

En d'autres termes, elle présentera des bords droits, des bords courbes ou une combinaison des deux. S'agissant d'un autre élément de l'empennage, je dois insister à nouveau : attention au poids !

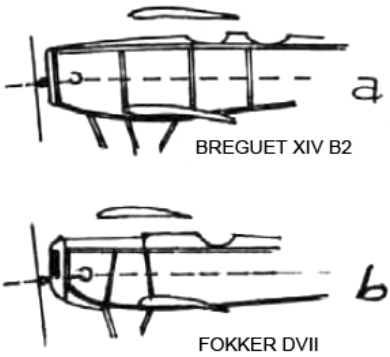


Fig. 26

Nez du fuselage

Bien que cette partie forme un tout avec l'hélice et son axe, elle mérite d'être examinée séparément.

La nécessité de contrer la tendance au cabrage en début de vol (à pleine puissance), combinée à la nécessité d'évoluer en cercle — puisqu'il s'agit de vol en salle —, impose de régler l'axe de l'hélice selon deux angles spécifiques par rapport à l'axe longitudinal du fuselage : un angle «

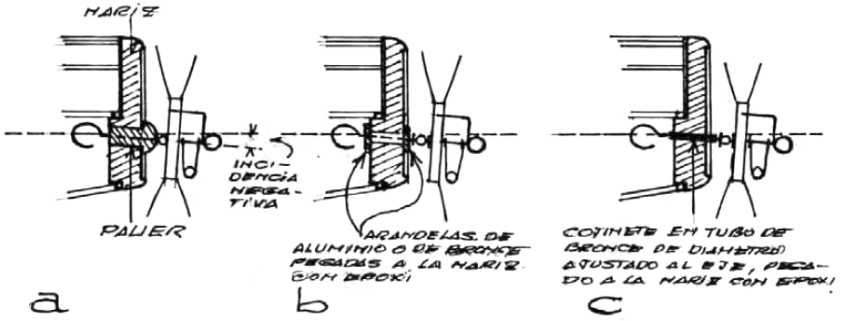


Fig. 27

négatif » (vers le bas) pour la première raison, et un angle « latéral » (généralement vers la droite) pour la seconde. Cela implique un angle précis entre l'axe de l'hélice et la ligne de traction du moteur en caoutchouc. La tension considérable exercée par le moteur en caoutchouc tend à annuler cet angle si des mesures appropriées ne sont pas prises, rendant impossible le réglage du modèle pour le vol. Tout d'abord, lors de la construction du fuselage, il faut veiller à ce que sa section transversale avant — qui sert de point de fixation pour le nez — soit orientée selon les angles négatif et latéral spécifiques indiqués par les caractéristiques de calage du modèle (Fig. 26a). Par ailleurs, lorsque les dimensions du nez le permettent, ces angles peuvent être intégrés directement dans le nez lui-même (fig. 26b). En outre, le nez doit comporter un orifice destiné à l'arbre d'hélice — ou à un palier — garantissant le respect des angles requis par le haubanage du modèle.

La figure 27 présente trois solutions à cet effet : la solution (a) consiste en un palier traditionnel en bois dur (ou en Téflon, pour les versions modernes), doté d'un orifice calibré pour l'arbre d'hélice. Ce palier est inséré à force dans un trou de plus grand diamètre percé dans le bloc du nez.

La solution (b) consiste à utiliser deux petites rondelles en aluminium (découpées dans une feuille de 1 mm d'épaisseur) percées au diamètre de l'axe ; elles sont collées à l'époxy (à prise en 10 minutes) respectivement sur les faces avant et arrière du bloc-nez. Des rondelles en bronze, découpées dans une feuille de 0,3 mm, conviennent également. La solution (c) est présentée à l'intention de ceux qui ont la chance de disposer d'un tube en bronze ou en aluminium correspondant au diamètre de l'axe ; ce tube est fixé au bloc-nez par collage à l'époxy.

Dans ces deux derniers cas, le positionnement précis des composants s'obtient en plaçant une tige en acier parfaitement droite à l'emplacement prévu pour l'axe ; cela permet d'aligner correctement les rondelles ou le tube avant que la colle époxy ne prenne.

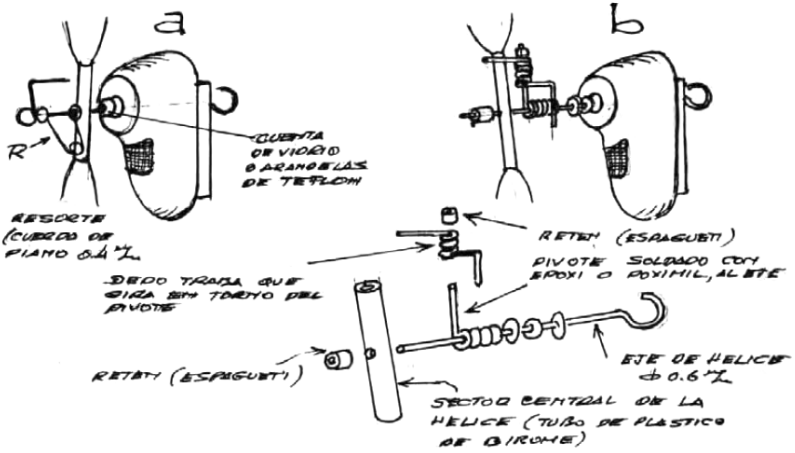


Fig. 28

Le bloc-nez — quel que soit son design spécifique — doit s'ajuster parfaitement dans le fuselage afin de ne pas se détacher une fois que le moteur à élastique s'est entièrement détendu et que la tension a disparu.

Une autre caractéristique souhaitable est que le bloc-nez, une fois retiré, offre un accès suffisant à l'intérieur du fuselage, facilitant ainsi l'installation du moteur à élastique.

Axe d'hélice

L'axe d'hélice intègre un mécanisme de roue libre ; cela garantit qu'une fois le moteur à élastique épuisé en vol, l'hélice puisse continuer à tourner librement, favorisant ainsi une phase de plané qui serait autrement freinée par la traînée de l'hélice.

De nombreux modélistes considèrent qu'il s'agit d'un raffinement inutile, car il est très peu probable que le modèle manque de puissance en plein vol et passe en phase de plané. Bien que cela soit vrai, le mécanisme de roue libre offre un autre avantage tout aussi important : il permet l'étape cruciale du réglage (ou équilibrage) du modèle — moteur à élastique installé — lors des essais de plané.

Examinons deux solutions classiques pour réaliser un mécanisme de roue libre (Fig. 28). La figure (a) montre un dispositif doté d'un œillet à l'extrémité de l'axe, permettant de remonter le moteur à élastique à l'aide d'un remontoir. Le ressort, qui s'active lorsque la tension de l'élastique se relâche, permet à l'hélice de tourner librement pendant le plané.

La figure (b) présente un dispositif per-

mettant la roue libre sans nécessiter de ressort. Il se compose d'un pivot (P) fixé à l'arbre d'hélice par collage (résine époxy) et d'un doigt de verrouillage qui pivote autour de celui-ci. Lorsqu'un couple est appliqué à l'arbre, le doigt bloque l'hélice ; lorsque l'arbre s'immobilise une fois l'énergie du moteur en caoutchouc épuisée, l'hélice a tendance à continuer de tourner sous l'effet du flux d'air relatif, ce qui fait pivoter le doigt de verrouillage (D) autour du pivot (P) et permet à l'hélice de tourner librement.

Avantages et inconvénients des deux systèmes :

Le système (a) présente l'avantage de permettre un remontage simple et direct du moteur en caoutchouc, en reliant le crochet du remonteur à l'œillet situé sur l'arbre d'hélice. Ce système est plus facile à réaliser, malgré la nécessité de fabriquer le ressort.

Parmi les inconvénients, citons l'impossibilité de changer d'hélice et la nécessité d'un réglage précis du ressort (R) pour éviter que les frottements ne gênent la rotation de l'hélice.

Ce premier inconvénient perd de son importance avec l'utilisation d'hélices à pas variable, comme nous le verrons plus loin.

Le système (b) a l'avantage de ne pas nécessiter de ressort ; il n'y a donc aucun risque de frottement entravant la rotation de l'hélice. Il permet également de changer d'hélice.

Le principal inconvénient réside dans la délicatesse et les risques liés au remontage : le moteur en caoutchouc est fixé directement au crochet du remonteur ; une fois remonté, il doit être détaché de l'outil pour être rattaché à l'arbre d'hélice. Cette manipulation comporte des risques de rupture ou de décrochage du moteur, ainsi que de transfert de lubrifiant sur les mains — mains qui doivent continuer à manipuler le modèle, avec le risque de salir son revêtement fragile.

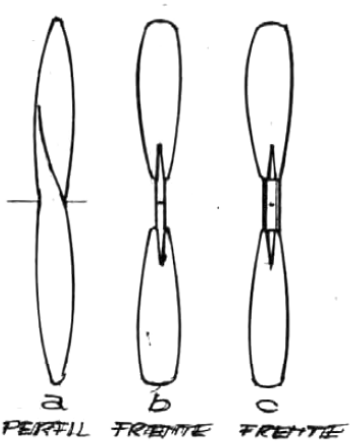


Fig. 29

Pour éviter ce problème, on peut façonner l'extrémité de l'arbre en forme de crochet ; cela résout la difficulté de mise en place du moteur, mais empêche de changer d'hélice, à moins d'opter pour un crochet fileté et démontable, une solution complexe et lourde.

Hélice

Deux types fondamentaux d'hélices sont utilisés : Fig. 29 :

a) les hélices taillées (sculptées) et leurs

équivalents en plastique moulé, disponibles dans le commerce (plus lourds)

b) les hélices moulées. Une variante de ces dernières est l'hélice à pas variable ; je les considère comme très efficaces lors de la phase de réglage du vol, car elles permettent d'ajuster le pas. L'hélice sera légèrement plus grande que celle de l'avion réel et aura un pas plus élevé, tout en tournant à une vitesse de rotation (en tours par minute) plus faible. Cela s'explique par le fait que le moteur disponible — le moteur à élastique — fournit un couple considérable mais un nombre total de tours très limité lors de sa détente.

L'hélice étant un élément clé et fondamental des performances de vol de tout modèle en vol libre, il convient d'en examiner certains aspects théoriques ; comprendre leur fonctionnement nous permet de mieux les construire et d'obtenir les meilleurs résultats possibles.

Comportement aérodynamique de l'hélice L'hélice est un transformateur d'énergie. Elle transforme l'énergie potentielle emmagasinée dans l'écheveau d'élastique torsadé en énergie cinétique qui propulsera le modèle.

En vol, les pales de l'hélice interagissent avec l'air de manière à engendrer des effets aérodynamiques similaires à ceux produits par une aile en mouvement.

On peut considérer la pale comme étant composée d'une série d'éléments contigus ; chaque élément peut être assimilé à une petite aile dont l'envergure correspond à l'épaisseur radiale de l'élément et la corde à la largeur de la pale en ce point.

La vitesse réelle de chaque élément de pale peut être considérée comme la résultante de deux vitesses distinctes : la vitesse d'avancement du modèle, *V*, et la vitesse de rotation, *Vr*, de l'élément autour de l'axe et dans le plan de rotation.

La figure 30 montre deux sections de la même pale situées à des distances *r1* et *r2* de l'axe de l'hélice ; *r1* et *r2* représentent donc les rayons de rotation respectifs de ces sections.

Dans les deux cas, la vitesse de translation V du modèle est identique, mais les vitesses de rotation Vr1 et Vr2 varient proportionnellement au rayon de rotation, avec $Vr1 = 2\ \pi\ r1\ N$ et $Vr2 = 2\ \pi\ r2\ N$, où N représente le nombre de tours d'hélice par seconde.

La somme vectorielle de ces deux vitesses forme le vecteur Vt, qui représente la vitesse totale de chaque élément de pale en termes de grandeur, de direction et de sens.

Comme on peut le constater, la vitesse totale de chaque élément de pale augmente à mesure que l'on s'éloigne de l'axe de l'hélice et diminue à mesure que l'on s'en rapproche.

La figure 30 bis présente un élément de pale réglé selon un angle fixe β par rapport au plan de rotation. La vitesse relative de l'air sera égale et opposée à la vitesse totale de cet élément de pale ; comme indiqué précédemment, cette vitesse dépend des composantes $Vr = 2\ \pi\ r\ N$ (vitesse de rotation de l'élément de pale) et V (vitesse du modèle).

Si l'on désigne par θ l'angle formé entre le flux d'air relatif et le plan de rotation, alors l'angle d'attaque — ou angle d'incidence — de l'élément de pale par rapport au flux d'air sera $\alpha = \beta - \theta$.

L'effet aérodynamique du flux d'air re-



Fig. 30

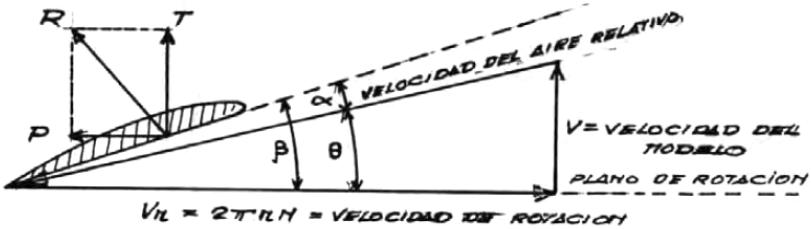


Fig. 30 bis

latif agissant sur l'élément de pale considéré produit une force résultante R. Tout comme pour une aile, cette force dépend de l'angle d'incidence α, du carré de la vitesse du vent relatif, de la surface de l'élément de pale, du profil de cet élément et de la masse volumique de l'air.

En décomposant cette résultante R en deux composantes à l'aide du parallélogramme des forces — une composante (P) parallèle au plan de rotation et une autre (T) parallèle à la direction du vol — on obtient respectivement le couple s'opposant à la rotation de l'hélice et la force de traction propulsant le modèle. Il est évident que plus la composante (T) (poussée) est importante par rapport à la composante (P) (couple résistant), plus l'hélice sera efficace. La grandeur de ces deux composantes dépend de β (angle fixe de la pale) et de θ (angle du flux d'air relatif), lequel dépend, comme mentionné précédemment, de deux composantes : la vitesse de rotation (Vr) et la vitesse du modèle (V). La somme des couples (P) de chaque élément de pale donne le couple total de l'hélice, ce qui détermine la puissance devant être fournie par le groupe motopropulseur. De même, la somme des forces de traction (T) de chaque élément de pale produit une traction totale qui détermine la puissance délivrée par l'hélice.

Le rendement de l'hélice se définit comme le rapport entre la puissance de traction fournie par l'hélice et la puissance qu'elle doit recevoir du moteur pour tourner.

Le nombre de paramètres entrant en

jeu dans la conception d'une hélice idéale rend cette tâche complexe, voire pratiquement insurmontable pour l'aéromodéliste moyen.

En vol libre — et plus particulièrement dans le cas de nos modèles — le problème est encore plus complexe. Pour un avion grandeur nature, le concepteur (lorsqu'il s'agit d'une hélice à pas fixe) conçoit l'hélice en fonction d'un objectif précis, comme la vitesse de croisière ou les performances à haute vitesse.

À l'inverse, la vitesse de vol de nos modèles varie constamment tout au long du vol ; par conséquent, l'hélice optimale n'atteindra son rendement maximal que durant une phase spécifique de ce vol.

Compte tenu de ces difficultés, il est recommandé d'utiliser des hélices à pas réglable. Cela permet au pilote, par essais successifs lors des tests, de choisir le pas de pale optimal pour une vitesse moyenne et un groupe motopropulseur donnés.

Trajectoire de l'hélice dans l'espace
Pour visualiser cela graphiquement, on peut dire que lorsque l'hélice fonctionne, elle se visse dans l'air tout comme une vis dans du bois, mais avec une différence : dans le cas de l'hélice, elle semble « glisser » tout en se vissant. Cette image est facile à concevoir, étant donné que l'air est un fluide alors que le bois est un solide. Le « pas absolu » de l'hélice se définit comme la distance linéaire dont elle progresse dans la direction du vol au cours d'une rotation complète.

La figure 31 illustre la trajectoire réelle (ou aérodynamique) de l'extrémité d'une pale d'hélice ainsi que son développement géométrique au cours d'une rotation complète.

Si l'hélice se vissait dans un milieu solide, sa trajectoire suivrait son développement géométrique ; toutefois, lorsqu'elle fonctionne dans un fluide, elle « patine » et progresse un peu moins. Ainsi, le « pas aérodynamique absolu » est inférieur au « pas géométrique absolu ». La figure 32 montre le développement plan de ces deux courbes spatiales. Le segment A-B représente la circonférence décrite par l'extrémité de la pale lors d'une rotation, égale à $D \times \pi$ (où D est le diamètre de l'hélice) ; (a) correspond à l'avance ou pas géométrique absolu pour une rotation complète, et $C - A = t$ représente la trajectoire géométrique.

De même, (a') est le pas absolu réel ou aérodynamique, et $E - A = t'$ est la trajectoire aérodynamique réelle de l'extrémité de la pale ; β est l'angle fixe de l'extrémité de la pale par rapport au plan de rotation ; θ est l'angle formé par la trajectoire réelle de l'extrémité de la pale et le plan de rotation ; et $\alpha = \beta$ - θ est l'angle d'incidence de l'extrémité de la pale par rapport au flux d'air relatif.

Quel angle d'incidence faut-il attribuer aux pales ? ... Doit-on adopter le même angle pour chaque section de la pale ? ... Faut-il augmenter l'incidence à mesure que l'on se rapproche du centre, ou fixer l'incidence maximale aux deux tiers de l'envergure ? C'est sur ce point que les spécialistes défendent fermement leurs théories, en invoquant des arguments très variés.

Théoriquement, il semblerait logique que cette incidence varie en raison inverse du carré de la vitesse du vent relatif et en raison inverse de la surface de chaque sec-

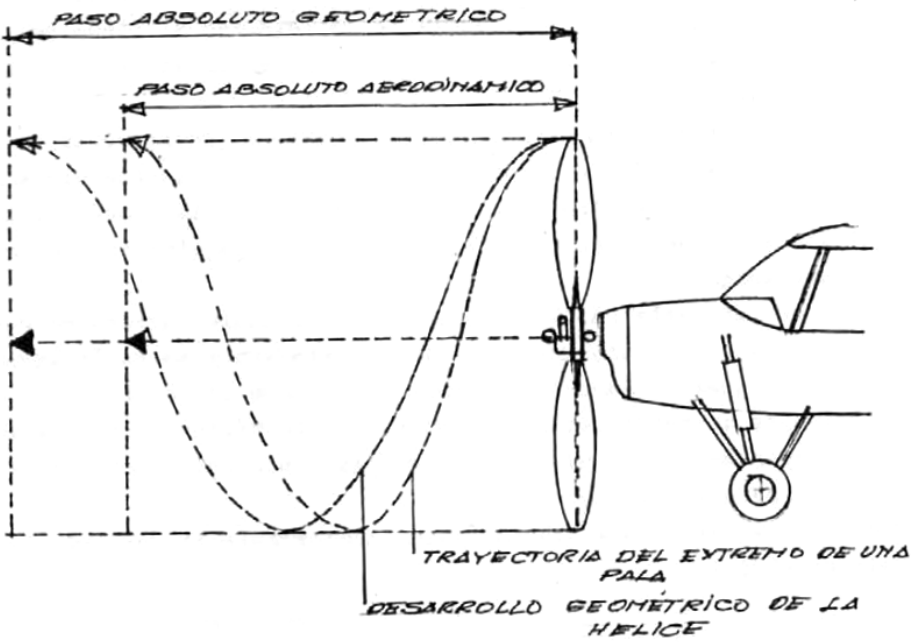


Fig. 31

tion élémentaire de la pale le long de sa longueur. Cette approche vise à obtenir un rendement d'hélice équivalent pour chaque élément de pale, en compensant la vitesse plus faible et la surface réduite de ces éléments par un angle d'incidence plus élevé.

Les hélices conçues de cette manière offrent des performances optimales, mais nécessitent des calculs complexes. Pour nos modèles, nous retiendrons un angle d'incidence α constant pour toutes les sections de la pale. Ainsi, si nous voulons construire une pale avec un pas effectif (ou aérodynamique absolu) de a' = 5 cm et un diamètre D = 4 cm (Fig. 32), nous concevrons une hélice avec un pas géométrique absolu légèrement supérieur — par exemple de 20 % —, soit a = a' × 1,2 = 6 cm. Si nous concevons une hélice avec ce pas géométrique et que nous ajustons ensuite le pas en bout de pale selon l'angle β indiqué sur le graphique, l'hélice résultante se comportera comme si elle avait un pas aérodynamique effectif de a' = 5 cm.

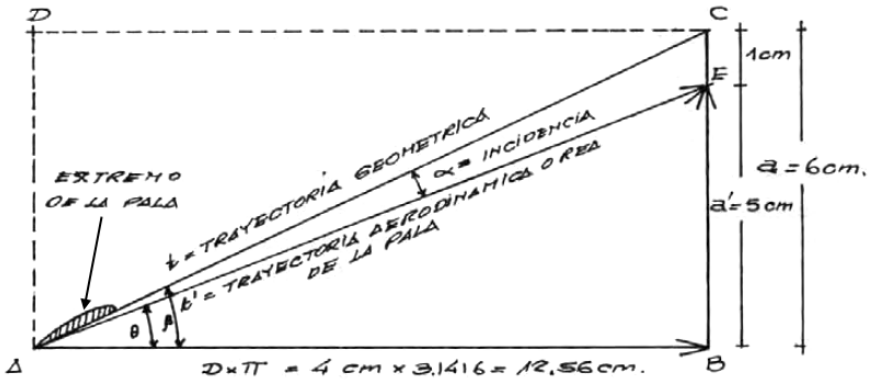


Fig. 32

Ainsi, chaque élément de pale sera effectivement vrillé du même angle par rapport à la trajectoire aérodynamique réelle.

Désormais, lorsque nous parlerons du pas absolu ou relatif de l'hélice, nous ferons référence à son pas géométrique, étant entendu que le pas aérodynamique réel sera quelque peu inférieur.

Par ailleurs, il est irréaliste de vouloir fixer un angle d'incidence α précis pour une hélice de modèle en vol libre. En effet, la puissance fournie par le moteur à élastique varie et diminue à mesure qu'il se détend, entraînant une modification correspondante de la vitesse de rotation de l'hélice. Par conséquent, à tout moment du vol, α dépendra de la combinaison de deux vitesses variables : la rotation de l'hélice et la progression du modèle.

Jusqu'ici, j'ai tenté de donner un aperçu simplifié du comportement aérodynamique complexe d'une hélice.

Nous allons maintenant aborder son aspect purement géométrique, en la considérant comme une surface hélicoïdale se vissant dans l'air sans glissement. Cette approche nous permettra de concevoir une hélice dont le pas géométrique est adapté à nos besoins spécifiques.

Toutefois, il convient d'abord d'éclaircir deux notions que nous avons évoquées à plusieurs reprises — le pas relatif et le pas absolu — car elles constituent les caractéristiques les plus importantes de notre organe de propulsion.

Pas absolu et pas relatif La définition de ces concepts deviendra plus claire grâce à un exemple concret.

La figure 33 présente deux hélices aux caractéristiques différentes mais de même diamètre (D = 0,14 m), effectuant un tour complet en vol.

L'extrémité d'une pale de chaque hélice décrit une trajectoire en spirale sur une surface cylindrique imaginaire ; ces cylindres ont un diamètre égal à celui des

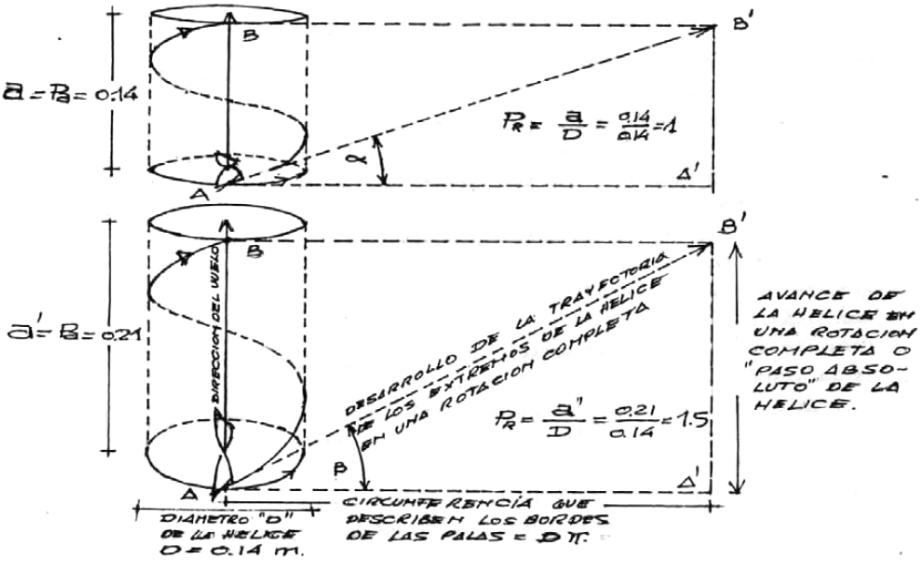


Fig. 33

hélices et une hauteur correspondant au déplacement linéaire de l'hélice le long de son axe de rotation. À droite de chaque cylindre imaginaire, nous représentons le développement plan de ces surfaces : des rectangles dont la base correspond à la circonférence du cylindre et la hauteur au déplacement de l'hélice parallèlement au plan de rotation. La diagonale A-B' dans chacun des rectangles représente la trajectoire développée des extrémités des hélices respectives.

Le pas relatif (ou rapport de pas) d'une hélice est défini par le quotient a/D — c'est-à-dire l'avancement de l'hélice en une rotation divisé par son diamètre.

Le pas absolu d'une hélice correspond à la distance linéaire dont elle progresse le long de son axe de rotation (perpendiculairement à son plan de rotation). Dans l'exemple illustré par la figure 33, on suppose que les hélices progressent respectivement de $a = 0,14m$ et $a' = 0,21m$ dans le sens du vol.

L'hélice ayant un pas absolu (avancement) de a présentera un pas relatif de $Pr = a/D = 0,14m/0,14m = 1$, tandis que celle ayant un avancement de a' aura un pas relatif de $Pr = a'/D = 0,21m/0,14m = 1,5$.

Ainsi, après une rotation complète, l'hélice au pas relatif le plus élevé aura parcouru une distance (avancement) plus importante.

Si l'on suppose que le modèle nécessite une vitesse de sustentation minimale de 4 m/s pour un vol en palier, l'hélice au pas relatif Pr = 1 devra tourner à une cadence de $N0 = V/a = 4/0,14 = 28,57$ tours par seconde, alors que l'hélice au pas Pr = 1,5 devra tourner à $N0 = 4/0,21 = 19,04$ tours par seconde. On dit de la première qu'elle a un pas « fin » et de la seconde qu'elle a un « grand pas ». Dans cet exemple, l'hélice à pas fin doit tourner à 28,57 tours par seconde et celle à pas grossier à 19,04 tours par seconde pour générer, toutes deux, la vitesse requise de 4 m/s.

Si le même moteur (ou le même brin de caoutchouc) est utilisé dans les deux cas et que le nombre de tours d'enroulement est identique, il est évident que le second cas offre un potentiel de vol d'une durée plus longue. Cependant, il ne faut pas s'emballer outre mesure, car le pas de l'hélice ne peut être augmenté arbitrairement ; il est lié au couple fourni par le moteur à élastique. Plus le couple est élevé, plus le pas peut être important.

Il ne s'agit pas non plus d'augmenter le couple de manière excessive ; cela nécessiterait d'accroître la section du moteur à élastique, ce qui limite le nombre de tours possibles au remontage et alourdit l'ensemble. Cela impose à son tour une vitesse de montée plus élevée, créant un cercle vicieux qui nous éloigne rapidement de l'objectif de bonnes performances.

Il convient de bien comprendre les concepts suivants à ce sujet :

a) Pour un moteur à élastique d'une qualité, d'une longueur et d'une section données, il existe un pas d'hélice idéal pour un diamètre d'hélice donné.

b) Inversement, pour une hélice d'un diamètre et d'un pas donnés, il faut un moteur à élastique présentant une qualité, une longueur et une section spécifiques.

Obtenir de bonnes performances implique donc de choisir un moteur spécifique pour une hélice donnée, ou de choisir l'hélice adaptée à un moteur donné.

Ces deux démarches sont ardues et fastidieuses. Il existe une troisième approche, plus simple : l'utilisation d'une hélice à pas variable. Il suffit d'ajuster l'angle des pales jusqu'à obtenir les meilleures performances pour un moteur donné.

Cela illustre l'avantage d'une hélice à pas variable.

Géométrie de l'hélice Examinons maintenant la forme que doit prendre la pale pour se visser efficacement dans l'air.

Sur le plan géométrique, cette surface est un hélicoïde. Les pales ne sont pas plates ; elles présentent une torsion que nous allons analyser et déterminer.

Dans la figure 34, nous considérons une hélice de diamètre D et de pas absolu a. Après une rotation complète, l'extrémité de l'une des pales décrit une trajectoire inscrite sur une surface cylindrique dont le diamètre est égal à celui de l'hélice. Si l'on développe cette surface, on obtient un rectangle de base $D \times \pi$ (circonférence d'un cercle de diamètre D) et de hauteur a (avancement de l'hélice en une rotation).

La trajectoire de l'extrémité de la pale développée est représentée par le segment t reliant les sommets E et G du rectangle.

Cette trajectoire forme un angle α avec le segment EF du rectangle. En d'autres termes, α est l'angle formé par l'extré-

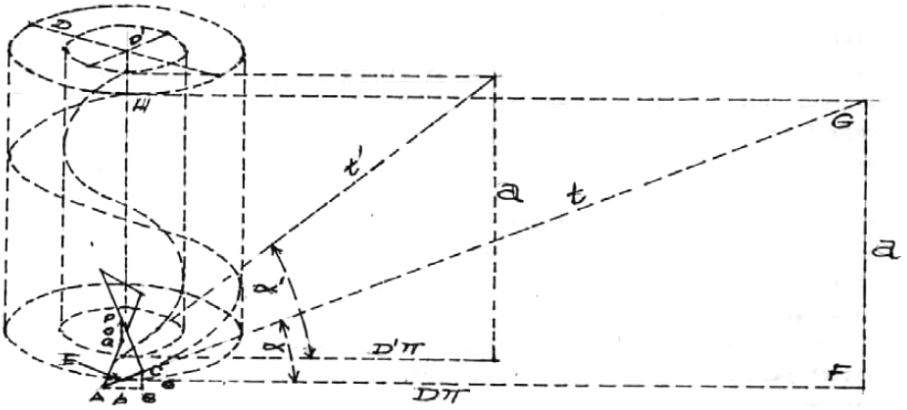


Fig. 34

mité de la pale avec le plan perpendiculaire à l'axe de rotation de l'hélice. On peut mesurer cet angle à l'aide de sa tangente trigonométrique — qui, dans un triangle rectangle, correspond au rapport du côté opposé sur le côté adjacent : $tan(\alpha) = a/D \times \pi$.

Si l'on considère le segment AC (représentant l'extrémité de la pale) comme l'hypoténuse d'un triangle rectangle — dont les côtés b et e sont parallèles, respectivement, au plan de rotation (en cas de rotation sans déplacement axial) et à l'axe de rotation —, alors les triangles ABC et EFG sont semblables du fait du parallélisme de leurs côtés. Par conséquent, l'angle au sommet A du premier triangle est égal à α, et sa tangente s'écrit :

$tan(\alpha) = a/D \times \pi = e/b$ (1)

Appliquons maintenant le même raisonnement à une section intermédiaire de la pale, située entre l'extrémité et le centre. Au cours d'une rotation de la pale, un point de cette section décrira une trajectoire inscrite dans un autre cylindre ; ce cylindre présente un diamètre de base D' et une hauteur a (le pas absolu de l'hélice).

Le développement de cette surface cylindrique forme un autre rectangle, de base $D'\pi$ et de hauteur a.

La trajectoire décrite par un point de la section de pale considérée est t', laquelle forme un angle α' avec le plan de rotation de l'hélice. De même, la tangente de α' s'exprime ainsi : $tan(\alpha') = a/(D' \times \pi) = e/b'$. On constate que l'angle α augmente à mesure que l'on se rapproche de l'axe de rotation. Lorsque la section coïncide avec l'axe de rotation, $D' = 0$; or, lorsque D' tend vers zéro, le rapport $a/(D' \times \pi)$ tend vers l'infini. Une tangente infinie correspond à un angle de 90°. C'est donc l'angle

que forme la pale par rapport au plan de rotation de l'hélice au niveau du centre.

Moule pour la fabrication de pales d'hélice Voyons comment réaliser un moule permettant le moulage rapide d'une pale d'hélice ayant un pas spécifique. La figure 35 présente une vue agrandie de la surface de la pale incluant les points $ACPQ$ de la figure 34. Considérons un prisme de longueur $D/2$ (égale au rayon de l'hélice) et de section $e \times b$. Ces dimensions sont définies comme suit : on fixe arbitrairement l'épaisseur e et l'on calcule b de telle sorte que $tan(\alpha) = e/b$.

Or, nous avons vu dans l'expression (1) que $e/b = a/(D \times \pi)$; par conséquent :

$b = e \times D \times \pi/a$ (2)

Si l'on souhaite exprimer cela en fonction du pas relatif, rappelons que $Pr = a/D$ (ce qui implique $D/a = 1/Pr$) ; en substituant cette valeur dans l'équation (2), on obtient l'expression suivante :

$b = e \times \pi/Prd$ (3)

où Prd représente le pas relatif pour un diamètre d'hélice D.

Nous disposons désormais d'un bloc dimensionné pour un pas absolu selon la formule (2) ou pour un pas relatif selon la formule (3).

Sur la face d'extrémité $I'C'B'A'$, on trace le segment QP parallèlement à e , en divisant cette face en deux parties égales. Cette droite représente l'axe de rotation de l'hélice ; la flèche indique le sens de déplacement de l'axe, tandis que la flèche située sur la ligne IC indique le sens de rotation de l'hélice. Nous effectuons une première coupe dans le bloc suivant le plan $PQIA$, puis nous ébauchons la forme du bloc résultant en utilisant les lignes PC et QA comme guides. La surface gauche obtenue correspond à celle d'une pale de diamètre D et de pas absolu a (ou de pas relatif Prd).

Ensuite, il faut choisir une forme de pale adaptée. La figure 35 présente un exemple de pale pour une hélice à pas variable de 150 mm de diamètre. Nous adoptons une forme de 65 mm de long sur 21 mm de large. En plaçant une feuille d'acétate ou de celluloïd transparent sur le dessin et en la découpant soigneusement au cutter, nous obtenons un gabarit permettant de découper autant de pales que souhaité dans une feuille de balsa de 1 mm. Nous façonnons le profil aérodynamique à l'aide de papier de verre fin. Il faut prêter attention au sens de rotation de la pale : vue de l'arrière, l'hélice tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. Ce paramètre, combiné au sens de déplacement de l'axe, détermine le bord d'attaque, le bord de fuite et l'extrados de la pale. Notez également ceci : les deux pales doivent être identiques et non symétriques (en miroir) l'une par rapport à l'autre ; c'est une erreur fréquente lors de la fabrication d'une première hélice.

Par ailleurs, à l'aide d'une scie sauteuse ou d'une cisaille, nous découpons dans une feuille d'aluminium de 1 mm un gabarit aux dimensions légèrement supérieures à celles de la pale réelle (Fig. 35). Nous appliquons ce gabarit sur la surface gauche du bloc et lui donnons la forme voulue en appuyant avec les doigts. L'opération est facilitée si l'on chauffe la feuille au-dessus d'une flamme et que l'on porte des gants de travail en cuir pour éviter les brûlures. Faites tremper les pales en balsa ; après les avoir égouttées et avoir retiré l'excès d'hu-

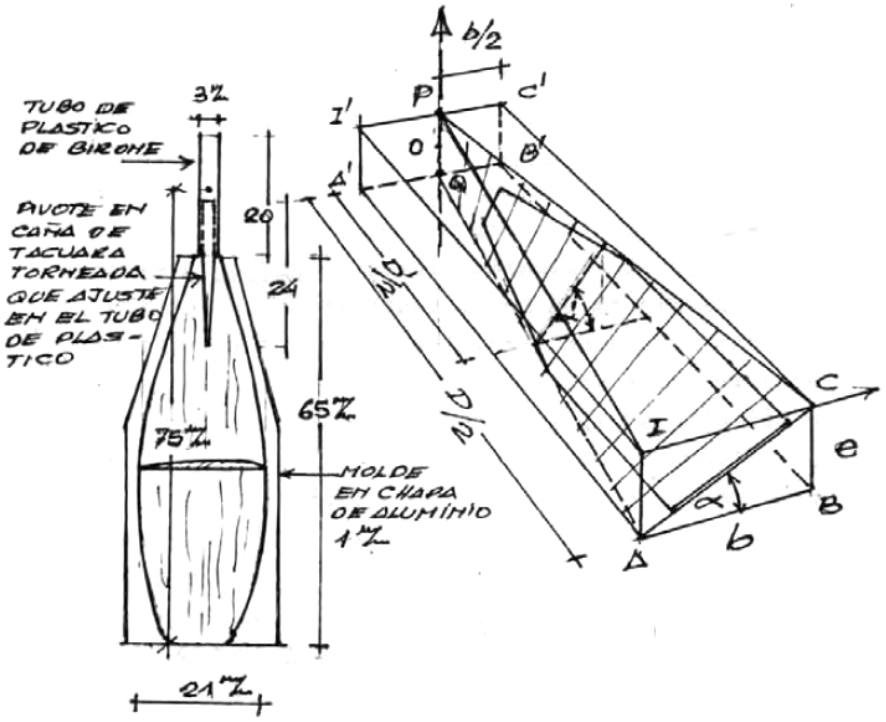

TUBO DE PLASTICO DE BIROME
3%
PIVOTE EN CAÑA DE TACUARA TORNEADA QUE AJUSTE EN EL TUBO DE PLASTICO
20
24
65%
75%
MOLDE EN CHAPA DE ALUMINIO 1%
21%
b/2
P
C'
I'
O
B'
A'
D/2
D/2
C
I
e
B
α
b
A

Fig. 35

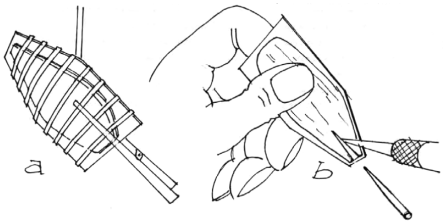


Fig. 36

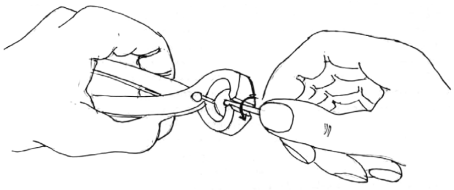


Fig. 37

midité avec du papier absorbant, placez-les sur le moule en aluminium, côté extrados vers le haut. Recouvrez le balsa d'un gabarit en carton découpé à la forme de la pale pour le protéger, puis maintenez l'ensemble avec un élastique récupéré sur un vieux moteur inutilisé (Fig. 36a). Laissez sécher au soleil ou près d'une source de chaleur. Une fois sèches, retirez les pales du moule et vérifiez qu'elles ont bien pris la forme souhaitée. Naturellement, ces étapes doivent être réalisées une pale à la fois. Il est déconseillé de placer les deux pales simultanément sur le moule si le profil aérodynamique a déjà été façonné avant le moulage ; Toutefois, cela est permis si le façonnage est effectué ultérieurement.

En maintenant la pale appuyée sur le moule pour éviter toute déformation, réalisez les découpes en V et fixez à l'aide de résine époxy le pied, préalablement façonné au tour à partir d'un morceau de canne « tacuara » ou de bambou.

Il est important que le pied s'insère parfaitement dans le tube de stylo à bille choisi pour constituer le moyeu central de l'hélice. L'ajustement doit permettre la rotation sans qu'il ne se détache de la pale, tout en garantissant que l'ensemble ne se désolidarise pas au moindre choc. Si il finit par présenter un léger jeu ou se désaligne avec le temps, il existe une solution (Fig. 37) : pressez délicatement le tube en plastique avec une pince tout en le faisant tourner pour y créer une ou plusieurs empreintes annulaires, réduisant ainsi la section du tube à ces endroits.

Enfin, appliquez 4 ou 5 couches d'enduit cellulosique dilué sur la pale, en ponçant au papier de verre fin entre chaque couche jusqu'à obtenir une surface parfaitement lisse.

Insérez les deux pales dans le tube central — qui aura été préalablement percé en son milieu pour recevoir l'axe — et, une fois l'axe installé comme décrit à la section Axe d'hélice, l'hélice à pas variable sera prête.

Pour l'instant, nous procéderons par tâtonnements pour le réglage, en veillant à ce que les angles des deux pales soient identiques. Plus tard, j'expliquerai la conception et la fabrication d'un outil très utile que j'appelle « jauge de pas », que je considère comme indispensable pour le réglage optimal d'un modèle de vol libre.

Avant de clore ce chapitre, notons un autre avantage des hélices moulées : une fois le moule réalisé, la seule matière pre-

mière nécessaire est une planche de balsa de 1 mm d'épaisseur, plutôt que les gros blocs de balsa — difficiles à trouver localement — requis pour les hélices taillées dans la masse.

Choix du pas géométrique pour une hélice à pas réglable Lors de la construction d'une hélice à pas réglable, il convient de choisir un pas géométrique précis pour les deux pales. Nous retiendrons un pas relatif (a/D) situé dans la fourchette moyenne couramment utilisée pour cette catégorie, laquelle, d'après l'expérience, se situe entre 1,3 et 1,7. Nous adoptons donc un pas relatif de 1,5.

La raison de ce choix est la suivante : le pas d'une hélice détermine le vrillage de ses pales ; plus précisément, le pas relatif de chaque section de pale augmente à mesure que l'on se rapproche du moyeu, selon une relation bien définie. Lorsque l'on fait pivoter les pales pour augmenter ou diminuer le pas de l'hélice, le vrillage reste évidemment inchangé ; par conséquent, il ne correspond plus parfaitement au nouveau pas adopté. Il en résulte une certaine perte de rendement de l'hélice, perte qui s'accentue à mesure que l'on s'éloigne du réglage de pas initial de la pale.

Malgré cette perte de rendement, nous sommes, en pratique, largement récompensés par d'autres avantages.

Réglage des pales Imaginons un modèle de 10 grammes équipé d'un moteur à caoutchouc composé de deux brins de 2,7 x 1 mm et d'une hélice réglée sur un pas relatif de 1,5. Le modèle risque de monter trop rapidement et de heurter le plafond (supposé situé à une hauteur de 8 mètres).

Si nous augmentons le pas relatif à 1,7 sans modifier le moteur, l'hélice tournera plus lentement car la résistance à la rotation s'accroît. Ce ralentissement empêche la vitesse d'augmenter sous l'effet du pas absolu plus élevé. En revanche, la pale rencontrera probablement le flux d'air relatif avec un angle d'incidence plus important, générant une poussée accrue qui compense partiellement la baisse de vitesse de rotation. Comme on le voit, les phénomènes induits par une modification du pas des pales sont très complexes et impossibles à calculer avec précision, surtout si l'on considère qu'un moteur à caoutchouc délivre un couple qui varie constamment et diminue tout au long du vol.

Toutefois, c'est le résultat qui nous intéresse : le modèle montera probablement de manière plus régulière et évitera de heurter le plafond ; Par ailleurs, comme l'hélice tourne moins vite (moins de tours par seconde), elle mettra plus de temps à consommer l'énergie emmagasinée dans le moteur, ce qui se traduira par un vol plus long.

Supposons maintenant que le même modèle soit équipé d'un moteur à deux brins (2,4 x 1 mm) et d'une hélice également réglée sur un pas relatif de 1,5. Le modèle manquera probablement de puissance et ne parviendra pas à monter ; il ne fera que descendre en vol. Il lui manque la vitesse requise pour ce réglage de pas, faute d'un couple ou d'une puissance suffisants fournis par le moteur à élastique. Dans ces conditions, les pales rencontrent le flux d'air relatif avec un angle d'incidence très élevé, et le même phénomène se produit que pour une aile : elle décroche.

Pour l'hélice, cela se traduit par une

perte d'efficacité de la poussée. Une grande partie de l'énergie emmagasinée dans le moteur à caoutchouc est consommée pour vaincre la résistance à la rotation de l'hélice et les turbulences de l'air engendrées par un angle d'incidence excessif des pales — ce que l'on appelle la traînée induite de l'hélice.

Si nous réduisons le pas géométrique des pales pour obtenir un rapport de 1,3, celles-ci rencontreront le flux d'air relatif avec un angle d'incidence plus faible ; rencontrant moins de résistance, leur vitesse de rotation augmentera. La résistance à la rotation et la traînée induite diminuent toutes deux, permettant d'utiliser une plus grande part de l'énergie du caoutchouc pour la poussée. Il en résulte une vitesse accrue, favorisant une trajectoire de montée et, par conséquent, une durée de vol plus longue.

Les mécanismes sous-jacents sont complexes, mais c'est le résultat qui compte : le modèle pourra désormais monter et voler plus longtemps.

Dans les deux cas, en ajustant le pas des pales, nous avons adapté l'hélice au moteur à caoutchouc disponible.

Conclusion finale L'ampleur de cette discussion peut sembler excessive pour nos modèles réduits. Tout dépend de nos objectifs de performance. Pour des vols de 15 à 20 secondes, des pales présentant une simple torsion — voire aucune torsion — suffiront.

Cependant, si nous visons la barre de la minute, nous devons exploiter toutes les ressources possibles ; l'hélice joue évidemment un rôle primordial dans l'obtention de hautes performances.

Il convient également de noter qu'avec le type d'hélice décrit, l'étape la plus laborieuse consiste probablement à façonner le bloc de bois de dureté moyenne (comme le cèdre, le peuplier ou le pin), suivie, dans une moindre mesure, par le formage de la feuille d'aluminium. Toutefois, une fois cette forme réalisée, nous pourrons aisément mouler autant de pales que nous le souhaitons par la suite. J'ajouterais que pour ceux qui envisagent de s'essayer à d'autres catégories de vol libre — qu'il s'agisse de vol en salle (catégories Indoor) ou en extérieur (comme la Coupe d'Hiver ou même la catégorie Wakefield) — cela constitue une excellente occasion d'acquérir une expérience pratique concernant l'hélice, un élément crucial dans toutes ces catégories. Je considère qu'il s'agit d'une excellente opportunité, car les vols en salle permettent d'obtenir des résultats plus précis et plus probants, étant donné qu'ils sont à l'abri des facteurs perturbateurs — tels que le vent et les ascendances thermiques — qui affectent les vols en extérieur.

Pour conclure, il convient de rappeler ce principe fondamental :

Les hautes performances en vol libre dépendent largement de la qualité de la conception de l'hélice.

Il va sans dire que les explications brièvement résumées ici sont loin d'être exhaustives ; elles doivent plutôt être considérées comme une introduction à la théorie régissant cet élément essentiel de l'aéromodélisme.

Moteur à élastique

Le type de caoutchouc utilisé — ainsi que sa section et sa longueur — consti-

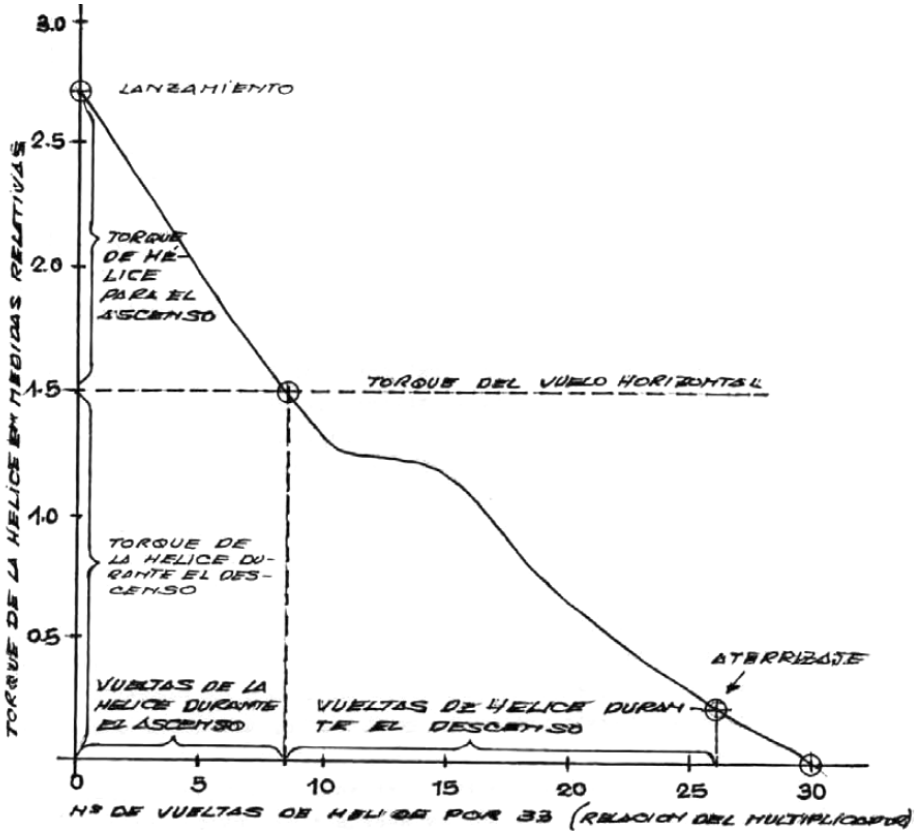

3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
LANZAMIENTO
TORQUE DE HÉLICE PARA EL ASCENSO
TORQUE DEL VUELO HORIZONTAL
TORQUE DE LA HELICE DURANTE EL DESCENSO
ATERRIZAJE
VUELTAS DE LA HELICE DURANTE EL ASCENSO
VUELTAS DE HELICE DURANTE EL DESCENSO
0
5
10
15
20
25
30
TORQUE DE LA HELICE EN MEDIDAS RELATIVAS
Nº DE VUELTAS DE HELICE POR 33 (RELACION DEL MULTIPLICADOR)

Fig. 38

tue un autre facteur déterminant pour les performances de l'appareil. Parmi les différents types de caoutchoucs destinés à l'aéromodélisme, on privilégie ceux qui offrent une grande élasticité. Les meilleures variétés, comme le New Pirelli, peuvent s'étirer jusqu'à 5 à 8 fois leur longueur initiale sans rompre ni se déformer. À l'inverse, d'autres ne peuvent être étirés au-delà de trois fois leur longueur ; on les qualifie de caoutchoucs durs.

Lorsque l'élastique est torsadé pour entraîner une hélice, il libère l'énergie potentielle emmagasinée en transmettant à l'hélice un couple qui diminue progressivement. La figure 38 présente un graphique de ce couple en fonction du nombre de tours d'hélice lors du déroulement du moteur. On constate que si un couple de 1,5 (en unités relatives) est nécessaire pour un vol en palier, le moteur doit fournir un couple nettement supérieur au début du vol pour permettre au modèle de monter. Dans cet exemple, le modèle entamera donc son ascension dès le lancement avec un couple de 2,70, et ce jusqu'à ce que la valeur retombe à 1,5 ; cela correspond aux 247,5 premiers tours d'hélice (soit $7,5 \times 33$).

À ce stade, le modèle passe en douceur au vol en palier ; alors que le couple chute de 1,5 à 0 et que le nombre de tours diminue de 247,5 à 957 (29×33), l'appareil évolue en spirales descendantes douces jusqu'à l'atterrissage, effectué à 858 tours (26×33), laissant 99 tours à dérouler au sol.

Chaque graphique de décharge présente un point d'inflexion situé environ à miparcours de la courbe. Il s'agit d'une caractéristique universelle de tous les moteurs, bien que son intensité varie selon plusieurs facteurs : qualité du caoutchouc, taux d'étirement lors du remontage, niveau de lubrification, nombre de tours effectués par rapport au maximum, etc. Cette inflexion traduit une modification de la vitesse à laquelle le couple est transmis à l'hélice ; elle est provoquée par le déplacement soudain de nœuds accumulés dans une section spécifique du caoutchouc, qui se dénouent alors brutalement, restituant un surcroît d'énergie cinétique à l'hélice.

En vol, ce phénomène se manifeste par un battement d'ailes ou un mouvement de roulis du modèle.

Dans certains cas, l'énergie restituée est considérable ; un modèle qui descendait en spirales douces peut soudainement entamer une montée de quelques secondes avant de reprendre sa descente.

Qualités de caoutchouc La figure 39 illustre le comportement de trois types de caoutchouc différents.

La courbe (A) correspond à un caoutchouc souple, tel que le nouveau Pirelli italien (de couleur ocre clair).

La courbe (B) correspond à un caoutchouc « dur », comme le Pirelli argentin.

La courbe (C) correspond à un caoutchouc excessivement souple.

Avec le premier moteur, le modèle monte en spirales douces, se stabilise en palier à une certaine altitude et redescend en spirales douces, pour atterrir après un nombre de rotations de l'hélice égal, par exemple, à $27 \times 33 = 891$.

Avec le second, le modèle monte brutalement sous l'effet d'un couple excessif jusqu'au seuil des $5 \times 33 = 165$ tours, puis entame une descente en spirales prononcée

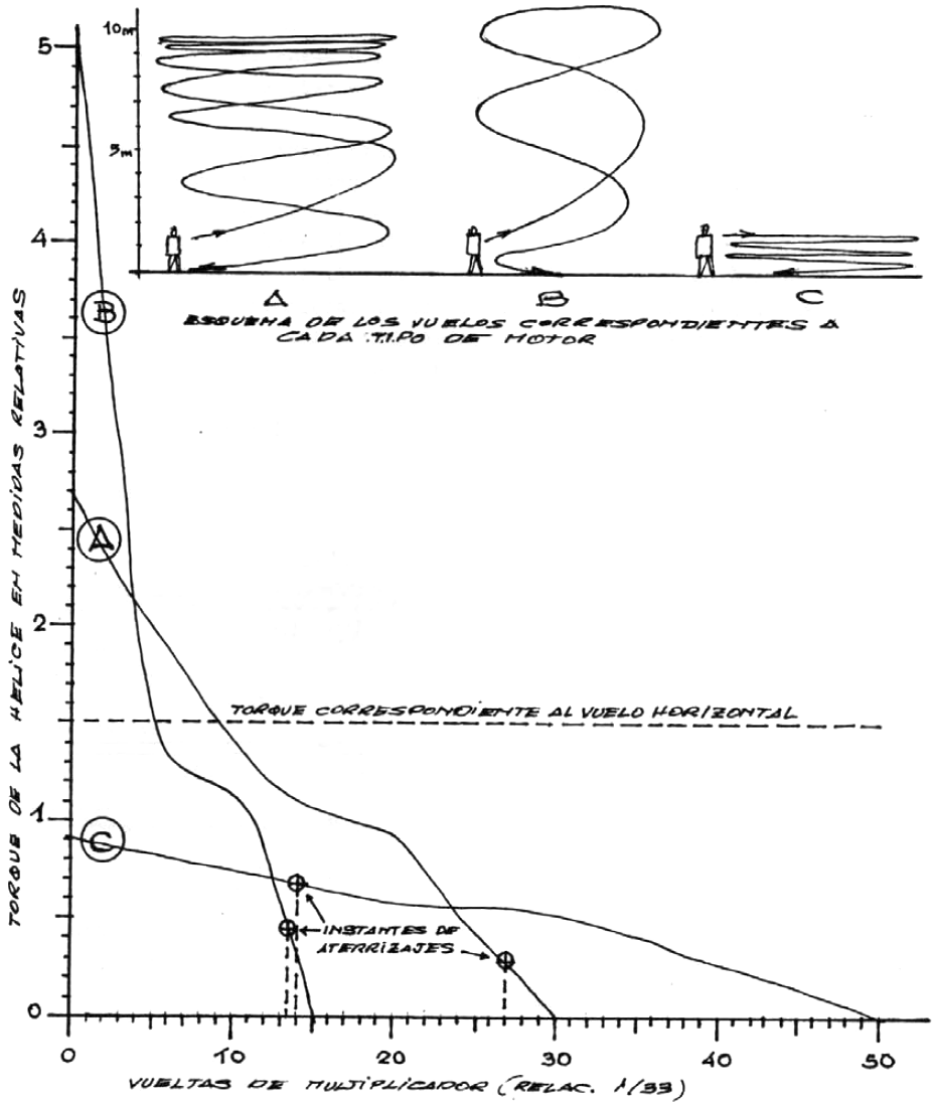

10m
5m
A
B
C
ESQUEMA DE LOS VUELOS CORRESPONDIENTES A CADA TIPO DE MOTOR
TORQUE DE LA HELICE EN MEDIDAS RELATIVAS
TORQUE CORRESPONDIENTE AL VUELO HORIZONTAL
INSTANTES DE ATERRIZAJES
VUELTAS DE MULTIPLICADOR (RELAC. 1/33)
0
1
2
3
4
5
10
20
30
40
50

Fig. 39

pour atterrir après $13,5 \times 33 = 445,5$ rotations.

Avec le troisième, le modèle — faute d'un couple initial suffisant — ne monte pas ; Il descendra simplement en douceur pour atterrir après $14 \times 33 = 462$ tours, laissant inutilisé un grand nombre de tours qui n'apportent rien au vol.

Le premier moteur en caoutchouc promet de bonnes performances, tandis que les deux autres donneront des résultats médiocres.

Le moteur en caoutchouc optimal est celui qui, tout en fournissant un couple initial adéquat, présente une courbe de décharge proche d'une droite descendante de gauche à droite ; autrement dit, il ne subit pas de chute brutale du couple initial, mais plutôt une diminution progressive et régulière.

Cela souligne l'importance de choisir le moteur en caoutchouc adapté à nos modèles.

En termes de durée de vol, le choix du moteur peut entraîner une différence de 50 à 100 %.

Section et longueur du moteur en caoutchouc L'utilisation d'un caoutchouc de haute qualité est une condition nécessaire pour obtenir de bonnes performances, mais elle ne suffit pas à elle seule.

La section et la longueur du moteur doivent être adaptées au modèle ainsi qu'aux dimensions du lieu d'évolution. La section et la longueur du moteur déterminent le poids de l'écheveau de caoutchouc. L'expérience montre que ce poids doit représenter entre 13 et 16 % de la masse du modèle (hors moteur).

Cette variation dépend des qualités aérodynamiques du modèle : les pourcentages les plus faibles correspondent aux modèles présentant les meilleures caractéristiques aérodynamiques, c'est-à-dire ceux qui offrent la traînée la plus faible.

Les graphiques correspondent à trois brins de caoutchouc pour moteur, de même longueur et de même section, mais de duretés différentes :

A) Caoutchouc souple Pirelli italien neuf (couleur beige)
B) Caoutchouc dur Pirelli argentin
C) Caoutchouc excessivement souple

Concernant la longueur du moteur (ou écheveau), une fois et demie la distance entre les crochets constitue une mesure prudente. Pour les modèles dotés d'une grande stabilité longitudinale — c'est-à-dire très bien équilibrés — et entre les mains de modélistes très expérimentés, cette longueur peut être portée à 1,8 fois cette distance. On est naturellement tenté d'utiliser des moteurs longs car, pour une section donnée, un moteur plus long permet d'accumuler davantage de tours, comme nous le verrons plus loin.

Cependant, un moteur excessivement long présente deux inconvénients :

Premièrement, il entraîne une augmentation significative du poids. Comme le centre de gravité du moteur ne coïncide pas avec celui du modèle — mais se situe généralement plus en arrière —, le modèle devient centré trop arrière. Cela nécessite l'ajout de lest à l'avant pour rétablir le centrage correct, une pratique généralement déconseillée car elle rend le modèle plus vulnérable aux dommages en cas de choc.

Deuxièmement, il existe un risque accru que, lors du déroulement du caoutchouc, des nœuds ne s'agglutinent à une extrémité ou à l'autre. Cela peut entraîner une

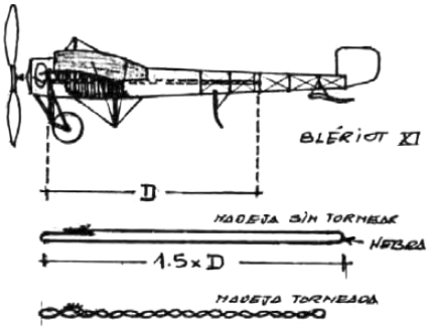


Fig. 40

perte d'équilibre et de trim du modèle lors de la phase finale du vol, provoquant une attitude en piqué (nez vers le bas) ou en décrochage (nez vers le haut). En règle générale, on utilise un moteur composé de deux brins de caoutchouc (voir Fig. 40).

Une fois la section du brin déterminée, coupez la longueur requise et nouez les extrémités ensemble. Il est conseillé de torsader le brin une vingtaine ou une trentaine de fois avant de faire le nœud, afin d'obtenir un moteur tressé. Cela raccourcit légèrement le moteur, réduisant ainsi le risque de déplacement du centre de gravité durant la phase finale du vol.

Le caoutchouc Pirelli est disponible dans des sections de 1x3, 1x4,5 et 1x6 mm ; le caoutchouc FAI Supply est proposé en épaisseur de 1 mm, et une grande variété de largeurs peut être obtenue auprès de détaillants spécialisés tels que MicroX ou Peck Polymers. Si l'on utilise du caoutchouc Pirelli dans l'une des dimensions susmentionnées, il peut être nécessaire de le retailler — une opération délicate que nous aborderons plus tard.

La section optimale pour chaque modèle sera déterminée lors des essais en vol ; Toutefois, pour commencer, nous pouvons dimensionner le brin de caoutchouc à l'aide de la formule suivante :

$a = P/D \times K$ (1) avec :

a = largeur du brin (pour une épaisseur de 1 mm)

P = poids du modèle sans le moteur en caoutchouc (en grammes)

D = distance entre les crochets (en centimètres)

K = coefficient variant (voir ci dessous).

Il suffit de choisir le coefficient K en fonction des caractéristiques aérodynamiques du modèle et de déterminer la largeur a à l'aide de la formule (1) :

On prendra une distance D de 1.5 × la longueur entre crochets.

Très aérodynamique, $P = 13\%$ du poids du modele et K=4,48

Moyennement aérodynamique, $P = 14.5\%$ du poids du modele et K=5

Peu aérodynamique, $P = 16\%$ du poids du modele et K=5.5

En adoptant une longueur d'écheveau égale à 1,5 fois D , le pourcentage de poids est automatiquement déterminé selon les valeurs du tableau.

Ligature de l'écheveau La ligature d'un écheveau nécessite certaines précautions, car le nœud a tendance à se défaire lorsque le caoutchouc lubrifié est mis sous tension.

Examinons les méthodes de ligature les plus courantes :

a) Une personne tient les deux extrémités et les superpose ; tout en étirant

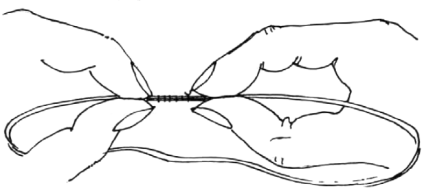


Fig. 41



Fig. 42

le caoutchouc, une seconde personne effectue la ligature à l'aide d'un fil à tricoter fin — en exerçant le moins de pression possible pour éviter de couper le caoutchouc — et enroule le fil autour de celui-ci à plusieurs reprises avant de nouer (Figure 41).

b) Une autre méthode consiste à réaliser un nœud de marin, comme illustré à la Figure 42.

Le nouage doit être effectué alors que le caoutchouc est exempt de lubrifiant ; sinon, le nœud se défera rapidement.

Choix du moteur approprié Au début de ce chapitre, j'ai mentionné que la section transversale et la longueur du moteur sont également liées aux dimensions du lieu de vol — et, fondamentalement, à la hauteur sous plafond. La Figure 43 présente les diagrammes de décharge de trois moteurs en caoutchouc Pirelli Nueva utilisés sur un biplan AVIATIC de 8,2 grammes (cellule seule). Le moteur (C), doté d'une section transversale relativement faible (2,2 x 1 mm) et d'un poids de 1,25 g, a été remonté à 1 056 tours (32 x 33), délivrant un couple initial de 48 unités. Ce chiffre était légèrement supérieur à celui du moteur (B) qui, bien qu'ayant une section plus importante, est plus court et a été remonté avec moins de tours (1023 soit 31 x 33). Cependant, grâce à sa section plus importante, le moteur (B) présente une baisse de couple moins marquée ; en fin de compte, les performances des deux moteurs sont similaires : avec l'un comme avec l'autre, l'atterrissage survient aux alentours du 990e tour.

	Larg	poids	Long	Tours
A	3.38	1.75	37.5	40 x 33
B	2.35	1.35	31	31 x 33
C	2.2	1.25	32	32 x 33

Le moteur de type (A) présente une section transversale et une longueur nettement supérieures. Son couple initial élevé permet au modèle d'atteindre une altitude importante ; ainsi, lorsque l'énergie du moteur à élastique est épuisée, le modèle est déjà en vol et entame une longue phase de plané qui prolonge la durée totale du vol de plusieurs secondes.

Cela met en évidence l'importance d'un mécanisme de roue libre sur l'hélice. Comme l'illustre le graphique, une fois l'énergie de l'élastique dissipée, l'hélice continue de tourner durant le plané en opposant une résistance minimale — correspondant à l'énergie absorbée par le mécanisme de roue libre (voir la ligne en pointillés). À l'inverse, si l'hélice est dépourvue de roue libre (voir la ligne en trait mixte), elle continue de tourner brièvement en entraînant le moteur à élastique, jusqu'à ce que la torsion interne de ce dernier stoppe

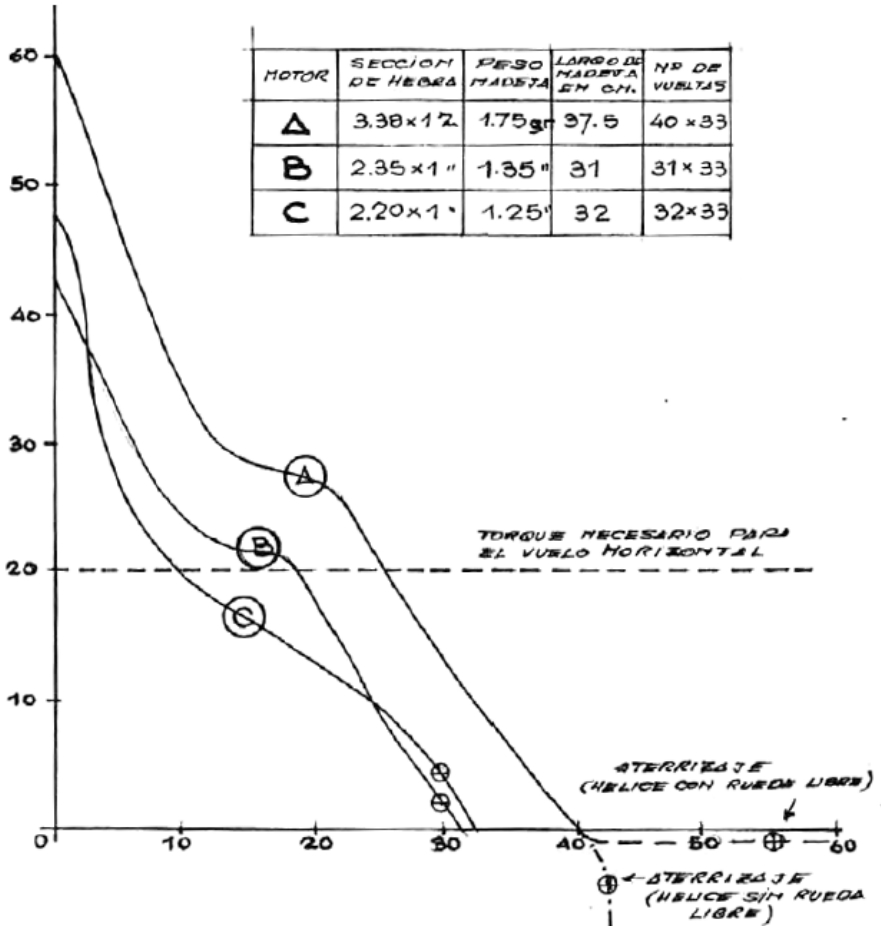

MOTOR
SECCION DE HEBRA
PESO MADEJA
LARGO DE MADEJA EN CM.
NR DE VUELTAS
A
3.38×1.2
1.75gr
37.5
40×33
B
2.35×1"
1.35"
31
31×33
C
2.20×1"
1.25"
32
32×33
60
50
40
30
20
10
0
10
20
30
40
50
60
A
B
C
TORQUE NECESARIO PARA EL VUELO HORIZONTAL
ATERRIZAJE (HELICE CON RUEDA LIBRE)
ATERRIZAJE (HELICE SIN RUEDA LIBRE)

Fig. 43

la rotation. À ce stade, l'hélice s'arrête et sa traînée aérodynamique rend le vol plané impossible.

Personnellement, j'ai réalisé des vols planés impressionnants et de longue durée avec le modèle Castaibert au Cilindro Municipal de Montevideo, atteignant une altitude de 15 mètres et une durée de vol d'une minute et trente secondes.

Il va sans dire que ces moteurs ne peuvent être utilisés dans des lieux à plafond bas, car le modèle risquerait de heurter la structure supérieure alors qu'il est en pleine phase de propulsion.

Il convient de rappeler un point abordé dans le chapitre consacré aux hélices : la puissance du moteur est étroitement liée au pas et au diamètre de l'hélice. Dans certaines limites, il est toujours plus aisé d'adapter l'hélice à une section de moteur donnée en utilisant un modèle à pas variable que de confectionner un nouveau moteur à élastique.

Entretien du moteur en caoutchouc
Un moteur en caoutchouc nécessite quelques soins pour garantir des performances optimales.

Tout d'abord, avant de l'utiliser à pleine puissance, il doit être correctement rodé. Pour ce faire, lubrifiez-le avec un produit adapté, fixez une extrémité du moteur à un crochet mural (ou un dispositif similaire) et procédez à des remontages successifs en augmentant le nombre de tours à chaque fois. Lors de chaque opération, étirez le moteur jusqu'à 3 à 5 fois sa longueur au repos tout en effectuant la moitié du nombre total de tours prévu pour la séance. Ensuite, réduisez progressivement la distance d'étirement jusqu'à ce que l'écartement entre les crochets de remontage corresponde à la distance entre les crochets du modèle au moment d'atteindre le dernier tour. Pour la première séance, ne remontez le moteur qu'à la moitié de la capacité maximale qu'il pourra supporter une fois rodé.

Quelle est cette capacité maximale ?... Lors d'une compétition, un vétéran a répondu à cette question posée par un débutant désemparé : « Un tour de moins que le point de rupture ! »... C'est effectivement une approche possible : sacrifier un moteur pour en avoir le cœur net. Cela vaut mieux que de le voir rompre à l'intérieur du fuselage.

Pour ceux qui ne souhaitent pas sacrifier leur temps ni le moteur lui-même, voici une formule assez fiable :

$Nt = KL\sqrt{L}/\sqrt{P}$ (1)

Nt = nombre de tours admissibles L = longueur du moteur en cm P = poids du moteur en grammes K = coefficient d'élasticité du caoutchouc

- Pirelli italien neuf, K = 8
- Pirelli italien usagé, K = 5.7
- Pirelli argentin, K = 3.4

Le moteur en caoutchouc doit toujours être soigneusement lubrifié avant le remontage.

Voici quelques conseils, issus de l'expérience, pour éviter que le lubrifiant ne salisse tout — en particulier le revêtement délicat en papier japon. J'introduis généralement quelques gouttes de lubrifiant dans un petit sachet en plastique, j'y glisse le caoutchouc à lubrifier et je le masse délicatement jusqu'à ce qu'il soit parfaitement imprégné. Ensuite, je le retire et l'installe dans le fuselage en veillant à garder les mains aussi propres que possible ; Il est très

utile d'avoir une lingette à portée de main.

Après chaque séance de vol, l'élastique doit être retiré du modèle, nettoyé à l'eau tiède pour enlever le lubrifiant, puis conservé dans un sac en plastique avec du talc ; ce sac doit être placé dans un récipient opaque et hermétique, à une température comprise entre 15 et 20 °C. Pour les réutiliser, les moteurs doivent être lavés à l'eau courante afin d'éliminer le talc, puis lubrifiés à nouveau.

Dans ces conditions, les moteurs résisteront à de nombreux combats !

Lubrifiant pour moteur Le lubrifiant destiné au moteur à élastique doit répondre aux conditions suivantes :

— lubrifier correctement l'élastique
— ne pas en altérer la composition
— être facile à éliminer au lavage

L'huile de ricin est un bon lubrifiant, mais elle est difficile à nettoyer. Le savon neutre à la glycérine, en revanche, remplit ces trois conditions. Ces deux ingrédients peuvent être achetés auprès de fournisseurs de produits chimiques industriels. On les mélange à parts égales (50/50) et on les chauffe au bain-marie jusqu'à obtenir un liquide épais. Il faut continuer à remuer jusqu'à ce que le mélange refroidisse. - L'huile rouge turque (huile de ricin sulfonée) additionnée de glycérine répond également à ces trois conditions. Le premier ingrédient peut aussi être acheté chez un fournisseur de produits chimiques industriels. Le mélange s'effectue à température ambiante, dans les proportions voulues selon la viscosité souhaitée.

Gaine de protection du fuselage Tout aéromodéliste expérimenté pratiquant le vol libre à moteur élastique connaît bien les inconvénients liés à ce type de propulsion. D'une part, lors de la détente du moteur, une fine pulvérisation de gouttelettes de lubrifiant est projetée sur la paroi interne du fuselage, salissant à la fois l'entoilage et la structure. L'entoilage se détend tandis que la structure s'amollit, la rendant plus vulnérable à la casse.

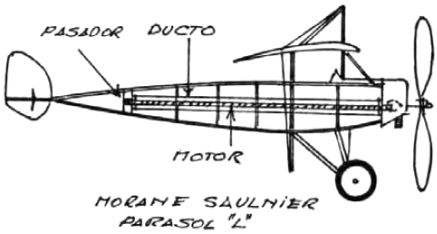


Fig. 44

Le modèle s'alourdit et ses performances de vol se dégradent de jour en jour.

De plus, la redoutable rupture du moteur plane comme une épée de Damoclès au-dessus de l'aéromodéliste chaque fois qu'il s'apprête à remonter le moteur au maximum.

Dans le meilleur des cas, une rupture implique de ré-entoiler entièrement le fuselage. Pour les modèles plus délicats, le désastre peut toucher la structure elle-même, ruinant définitivement de longues heures de travail patient. Ces problèmes sont devenus une véritable obsession pour moi ; j'ai donc décidé de trouver une solution. Elle s'est avérée très simple : un tube en nylon ou en cellophane — entourant sans le serrer le moteur en caoutchouc, correspondant approximativement à la distance entre les crochets et présentant un dia-

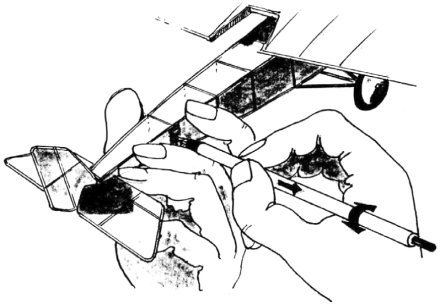


Fig. 45

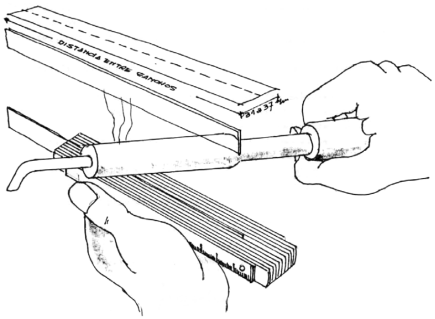


Fig. 46

mètre d'environ 10 à 12 mm — récupère les projections de lubrifiant et les renvoie vers l'écheveau grâce à un contact permanent (voir fig. 44). Il n'y aura plus de risque d'éclatement. Si cela devait se produire, le moteur en caoutchouc resterait confiné dans le tube de protection ; il suffirait de retirer délicatement la goupille arrière pour permettre au tube — contenant le caoutchouc torsadé — d'être facilement extrait par le nez de l'appareil.

Pour retirer la goupille arrière — qui sera fortement coincée en raison de la torsion du caoutchouc —, un porte-mine s'avère très utile ; son mécanisme de serrage permet de saisir une extrémité de la goupille, offrant ainsi la possibilité de la faire pivoter tout en tirant vers l'extérieur (Fig. 45).

Voyons maintenant comment fabriquer ce tube. Il nous faut un matériau en nylon ou en cellophane suffisamment léger, tout en permettant d'obtenir un tube doté d'une certaine tenue structurelle.

J'utilise un matériau pesant xx grammes par mètre carré. Je découpe une bande dont la longueur correspond à la distance entre les crochets (Fig. 44) et dont la largeur est comprise entre 31 et 37 mm pour obtenir un diamètre de 10 ou 12 mm (Fig. 46), puis je la plie en deux. Ensuite, je la place entre deux règles métalliques de manière à laisser dépasser un bord d'environ 2 mm sur toute la longueur. Pour ma part, j'utilise une règle métallique pliante, comme illustré sur la Fig. 46. Enfin, je passe la pointe d'un fer à souder électrique chaud le long du bord saillant pour souder les deux côtés entre eux, achevant ainsi la réalisation du tube de protection.

Quelque temps après avoir commencé à utiliser ce dispositif, une revue anglaise a présenté comme une innovation inédite le « tube de protection » utilisé par l'équipe tchèque lors d'une compétition internationale.

Depuis, le temps a passé, et je suis étonné de voir à quel point ce système a peu percé aux États-Unis et en Europe. Peut-être le surpoids semble-t-il être un prix trop élevé à payer. Personnellement, je reste convaincu qu'il s'agit d'un investissement très rentable.

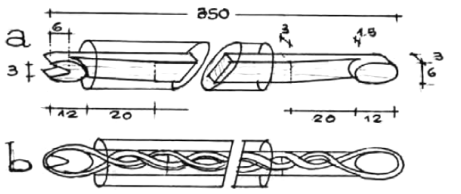


Fig. 47

Dispositif pour insérer les moteurs en caoutchouc dans le fuselage L'insertion d'un moteur en caoutchouc dans un fuselage est une tâche ingrate et risquée, d'autant plus que le modèle est fragile. Rappelons que plus un modèle est léger, mieux il résiste aux chocs imprévus en vol, mais plus il devient vulnérable aux manipulations. La tâche est facilitée par l'utilisation d'un outil en bois semblable à celui illustré sur la figure 47, que l'on taille dans une petite baguette de sapin de Douglas de 3 x 6 x 350 mm. Pour l'utiliser, on monte le moteur en caoutchouc sur l'outil comme indiqué sur la figure 47b, on le recouvre de la gaine de protection (en laissant dépasser l'extrémité correspondant à la cheville de queue), on insère l'ensemble par le nez tout en alignant l'encoche en V avec la fente de la cheville, on insère la cheville dans les trous correspondants — en faisant passer l'extrémité de la boucle en caoutchouc à travers — et enfin, on retire l'outil en bois tout en veillant à ce que le moteur en caoutchouc reste en place.

Décoration et entoilage

L'intitulé peut sembler étrange, mais dans cette catégorie, c'est bien la procédure et l'ordre d'exécution suivis.

Il est nécessaire de décorer le papier de soie ou le papier pour condensateurs avant d'entoiler le modèle.

Dans d'autres catégories d'aéromodélisme, l'entoilage est suivi de couches épaisses d'enduit et de peintures cellulosiques, sur lesquelles sont ensuite peints les insignes, les immatriculations et autres détails.

Un tel traitement est incompatible avec nos modèles, car le poids de la finition dépasserait celui de la structure elle-même.

Choix du papier Tout d'abord, il faut se procurer un papier adapté à l'entoilage. Il doit présenter les caractéristiques suivantes :

a) être léger.
b) être résistant.
c) se rétracter correctement lorsqu'il est humidifié.

Parmi les papiers possédant ces qualités, on trouve le papier japon blanc ou coloré, le papier utilisé pour les carnets de copie et le papier utilisé dans la fabrication de condensateurs électriques (papier pour condensateurs).

À l'exception du papier pour condensateurs, ces papiers présentent une structure fibreuse nettement orientée dans une direction donnée. Comme le retrait de ces papiers exerce une tension considérable sur nos structures délicates — principalement dans le sens des fibres —, nous devons veiller tout particulièrement à les orienter parallèlement aux longerons porteurs, qu'il s'agisse du fuselage, des ailes ou des empennages. Toute autre orientation provoquerait une déformation ou un voilement des longerons sous l'effet du retrait, don-

nant au modèle une allure disgracieuse et compromettant son intégrité structurelle.

En somme, une erreur d'orientation des fibres peut ruiner l'ensemble du projet.

Le grammage des papiers susmentionnés varie considérablement ; le choix doit donc être adapté à nos objectifs spécifiques. Le tableau suivant présente les caractéristiques de chaque type.

Qualité	g/m2
Japon blanc	11.3
Japon Couleur	13
Condensateur	3 à 5
Early bird (Micro X)	10

Un modèle monoplan nécessite environ 8 dm² de matériau d'entoilage, tandis qu'un biplan peut en requérir jusqu'à 12,5 dm². Supposons que la structure du biplan pèse 6 g. Si nous utilisons du papier de soie couleur , l'entoilage pèsera 1,62 g, soit 27 % du poids de la structure. En utilisant du papier pour condensateurs de 5 g/m², l'entoilage n'ajoute que 0,63 g, soit 10 % du poids de la structure.

Dans ce cas précis, l'utilisation de papier pour condensateurs de 5 g/m² est la solution recommandée.

À l'inverse, si la structure pesait 12 g, il serait plus logique d'utiliser des papiers plus résistants, comme du papier japon (blanc ou couleur). Dans le pire des cas, le poids de la structure augmenterait de 13%, donnant un modèle plus robuste face aux manipulations — une qualité appréciable pour un appareil légèrement plus lourd.

Le choix du papier doit donc être cohérent avec le poids final du modèle.

Découpe des différentes pièces Une fois le type de papier choisi, placez-le sur le plan en veillant à respecter le sens des fibres. Ensuite, en tirant parti de la transparence du papier, reportez les contours des différentes pièces constituant l'entoilage : les quatre faces du fuselage, les intrados et extrados des panneaux d'aile et de l'empennage horizontal, ainsi que les deux faces de la dérive. Lors du traçage, prévoyez une marge supplémentaire de 3 mm de papier tout autour du contour de chaque pièce. Découpez les pièces à l'aide d'une lame bien affûtée et d'une règle métallique, en travaillant sur un support en carton.

Décoration Nous sommes maintenant prêts à aborder cette étape délicate. À ce stade, après tant d'heures de travail, le maquettiste est souvent impatient de transformer une structure disparate et informe en un modèle fini ; il peut être tenté de passer directement à l'entoilage, négligeant ou sautant ainsi l'étape importante de la décoration.

L'amateur doit garder à l'esprit que l'apparence et l'attrait du modèle dépendent en grande partie de cette étape. Un modèle présentant des défauts de construction peut néanmoins paraître séduisant s'il est décoré avec soin. À l'inverse, un modèle bien construit peut sembler médiocre ou grotesque en raison d'une absence de décoration ou d'une finition bâclée.

Comme le papier doit être humidifié après la pose pour assurer une surface bien tendue, il est judicieux d'utiliser des encres indélébiles dans la mesure du possible. Toutefois, si l'entoilage est réalisé avec soin — en évitant les plis ou un relâchement excessif —, la vapeur d'une bouilloire suffit souvent à rétracter correctement les surfaces. Dans ce cas, il est possible d'utiliser

des feutres ordinaires (à encre non indélébile) ou de l'aquarelle.

Dans le cas contraire, il est conseillé d'utiliser de l'encre de Chine ou des feutres indélébiles spécifiques.

La décoration comprend :

a) Le tracé des contours des ailerons, des volets, des gouvernes d'empennage, des numéros et lettres d'immatriculation, des insignes, des inscriptions, etc. On utilisera des stylos à encre de Chine de type Rapidograph (pointes 0,2 et 0,3) pour ces tracés.

La feuille de papier sera positionnée avec précision sur le plan et fixée à l'aide de minuscules morceaux de ruban adhésif placés aux coins extérieurs. Il faut garder à l'esprit qu'il est délicat de retirer du ruban adhésif du papier de soie. Les contours susmentionnés seront tracés directement à l'encre sur le papier, en utilisant le plan situé en dessous comme guide.

b) Les inscriptions, numéros d'immatriculation, insignes, motifs de camouflage ou décorations — qu'ils soient monochromes ou multicolores — seront réalisés au feutre, à l'encre ou à l'aquarelle. En cas d'utilisation d'aquarelle sur de grandes surfaces, il est conseillé de fixer tout le pourtour du papier avec du ruban adhésif ; Dans ce cas, il est préférable d'utiliser une feuille de papier rectangulaire suffisamment grande pour recouvrir la pièce à décorer, et de ne la découper aux bonnes dimensions qu'une fois la décoration terminée.

L'entoilage Nous abordons maintenant l'étape clé : l'entoilage. Il ne faut pas s'attendre à une finition parfaite et irréprochable dès le premier essai ! La maîtrise s'acquiert avec l'expérience. Toutefois, quelques conseils suffiront pour éviter les erreurs fatales.

Évidemment, l'entoilage s'effectue avant l'assemblage des différents éléments du modèle, à savoir le fuselage, les panneaux d'aile (supérieurs ou inférieurs) et les empennages.

Commençons par choisir notre méthode : la technique et le type de colle utilisés sont étroitement liés.

Technique à la colle vinylique Dans un petit récipient muni d'un couvercle à vis bien étanche — comme un flacon de médicaments, par exemple — diluez quelques gouttes de colle vinylique avec une quantité équivalente d'eau jusqu'à obtenir un liquide d'aspect laiteux.

Revêtement du fuselage Positionnez le papier destiné à la partie inférieure du fuselage sur la section correspondante de la structure, en veillant à son alignement correct (Fig. 49). À l'aide de petits ciseaux bien affûtés, effectuez les découpes nécessaires sur les bords du papier pour laisser passer le train d'atterrissage ou tout autre élément similaire. Maintenez le papier en place à l'aide de pinces en aluminium. Le bord du papier doit dépasser de 2 ou 3 mm le contour de la section de structure à recouvrir. Soulevez le papier à une extrémité (Fig. 49) et appliquez de la colle diluée, à l'aide d'un petit pinceau d'aquarelle, sur une ou deux sections de la structure (pas plus). Ensuite, reposez délicatement le papier en veillant à ne pas le déplacer. Appuyez doucement avec vos doigts en les faisant glisser du centre vers l'extrémité du fuselage. Laissez sécher complètement. Une fois sec, reti-

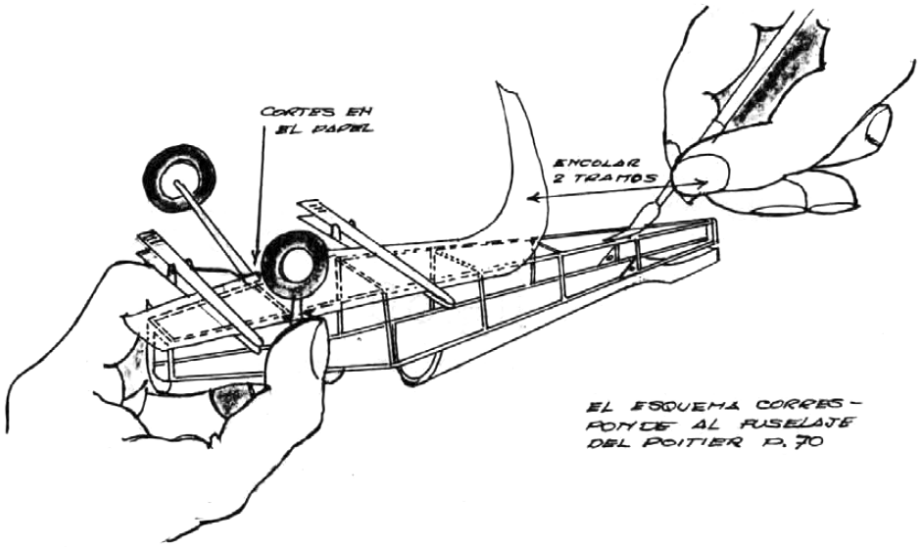


Fig. 49

rez les pinces, tendez le papier depuis l'extrémité opposée pour l'appliquer contre la structure et vérifiez qu'il n'a pas bougé. Soulevez le papier et appliquez de la colle sur les deux ou trois sections suivantes — jusqu'au train d'atterrissage, par exemple. Reposez le papier en appuyant doucement vers l'extérieur, en direction de l'autre extrémité du fuselage. Laissez sécher et poursuivez ainsi jusqu'à ce que toute la surface soit recouverte. Décomposer le processus en ces étapes plus courtes offre au débutant de meilleures chances d'obtenir une finition de qualité. Ce n'est qu'avec l'expérience que l'on pourra combiner certaines étapes sans compromettre la qualité du travail.

Abordons maintenant une opération que j'appelle la « consolidation des bords ». Cette étape peut être omise si l'on utilise des lisses de section 2x2, mais elle est recommandée pour les structures plus fragiles, comme celles réalisées avec des lisses de 1x1 ou de section inférieure. Dans le premier cas, l'excédent de papier au niveau du bord peut être éliminé en passant du papier de verre à grain fin le long de l'arête de la lisse. Dans le second cas, la fixation s'effectue comme suit : sur la marge de papier de 2 ou 3 mm dépassant du contour de la structure, pratiquez deux incisions alignées avec chaque traverse de la structure (Fig. 50). À l'aide d'un petit pinceau, appliquez de la colle diluée sur la structure

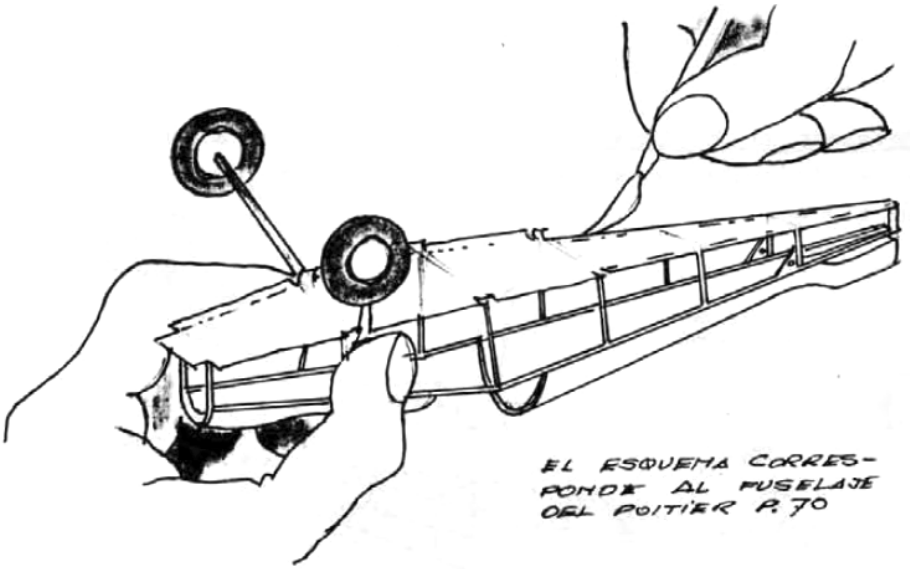


Fig. 50

adjacente au bord du papier ; Ensuite, à l'aide d'un second pinceau sec, pressez ce bord contre le longeron — section par section — de manière à ce que le longeron soit enveloppé par l'excédent de papier.

Entoilage d'un panneau d'aile Il convient de distinguer l'aile à intrados plat de celle à intrados concave.

Dans ce dernier cas, il est impératif de commencer par entoiler l'intrados. S'il s'agit d'une aile supérieure présentant un dièdre, on procède en entoilant l'intrados d'un panneau d'aile à la fois.

Pour un intrados concave, positionnez parfaitement le papier sur la structure de l'aile et fixez-le à l'aide de deux ou trois pinces en aluminium. Soulevez ensuite légèrement le papier pour appliquer de la colle diluée uniquement sur le bord de fuite, puis rabattez le papier et collez-le sur toute sa longueur. Laissez sécher. Une fois sec, appliquez de la colle sous les nervures et sur le bord d'attaque (Fig. 51-a), puis pressez le papier en veillant à éviter les plis ou les faux plis.

Veillez tout particulièrement à ce que le papier adhère parfaitement au-dessous des nervures ; en raison de la concavité de la surface, la tendance du papier à se rétracter pourrait le faire décoller.

Les éventuelles imperfections de collage

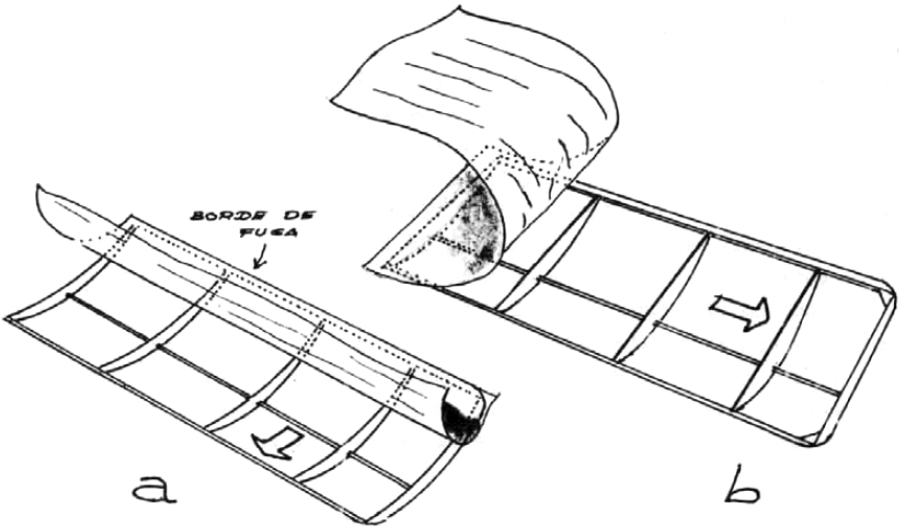


Fig. 51

sous les nervures peuvent être corrigées en travaillant au pinceau depuis l'extrados (la face supérieure), qui n'a pas encore été entoilé. C'est la raison pour laquelle nous avons commencé par l'intrados. Pour une aile à intrados plat, une fois le papier positionné contre l'intrados, commencez par le coller sous la nervure la plus éloignée de l'extrémité du panneau d'aile, ou sous la nervure correspondante de la section centrale (dans le cas d'une aile supérieure).

Une fois sec (Fig. 51-b), procédez au collage des sections successives.

L'intrados plat permet de progresser dans le sens du fil du papier, ce qui rend possible la traction sur l'extrémité du papier sans risque de déchirure.

Ici aussi, consolidez les bords de la même manière que pour le fuselage.

Pour entoiler l'extrados d'un panneau d'aile, positionnez le papier et fixez d'abord le bord de fuite ; progressez ensuite vers le longeron central avant de continuer vers le bord d'attaque (Fig. 52). La zone située entre la dernière nervure et l'extrémité de l'aile — là où le bord est incurvé (Fig. 52) — est recouverte séparément à l'aide d'un morceau de papier en forme de demi-cercle, soigneusement ajusté ; positionnez-le avec précision et fixez-le au bord incurvé à l'aide de deux pinces. Appliquez de la colle sur le longeron central de cette section, fixez le papier et laissez sécher. Ensuite, encollez la partie

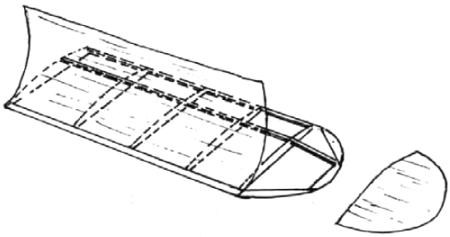


Fig. 52

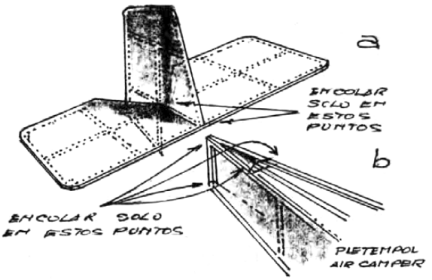


Fig. 53

arrière (segment de nervure arrière et bord incurvé), puis la partie avant.

Entoilage des empennages Après avoir établi la méthode pour l'entoilage des ailes, nous utiliserons un système similaire pour l'empennage horizontal et la dérive (ou l'aileron vertical) ; ce processus est grandement facilité par le fait qu'il s'agit de surfaces planes.

Assemblage des éléments

Cette étape consiste à assembler les différents composants du modèle, à savoir le FUSELAGE, les AILES (ou demi-ailes), le TRAIN D'ATTERRISSAGE, l'EMPENNAGE HORIZONTAL et la DÉRIVE (les éléments principaux).

Il est primordial que chaque pièce soit placée à son emplacement exact : bien d'équerre, alignée et réglée selon l'angle précis. Pour garantir cela, avant le collage, nous effectuerons plusieurs essais de mise en place en positionnant le fuselage sur le plan et en plaçant les empennages et les ailes à leur emplacement respectif.

Si, par exemple, des imperfections du fuselage empêchent le stabilisateur d'être parfaitement horizontal, il convient d'utiliser de petites cales en balsa.

Collage des empennages Le collage de l'empennage horizontal et de la dérive doit être effectué avec parcimonie. Il est préférable que ces pièces se détachent plutôt que de casser en cas de choc ou d'accrochage.

En général, ces éléments ne doivent être collés qu'en deux ou trois points. Habituellement, on colle d'abord la dérive sur l'empennage horizontal — en veillant à ce qu'elle soit bien d'équerre (voir Fig. 53a) — puis on colle l'ensemble ainsi formé sur le fuselage (voir Fig. 53b).

La figure indique les points où il est conseillé d'appliquer de petites gouttes de colle. En procédant avec précaution lors de cette étape, il sera facile de démonter l'assemblage si nécessaire.

Collage de l'aile Le cas le plus simple est celui d'une configuration à aile haute reposant sur le fuselage. En général, le collage s'effectue en quatre points, en choisis-

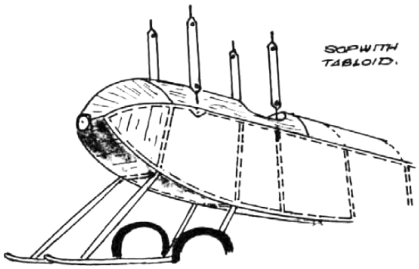


Fig. 54

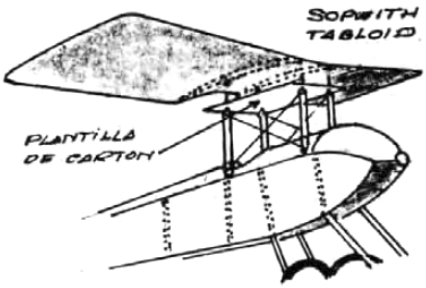


Fig. 55

sant les zones de contact entre les longerons du fuselage et les nervures ou longerons de l'aile.

La situation se complexifie avec les ailes en position parasol ou avec l'aile supérieure d'un biplan.

Dans ces cas, il est préférable d'utiliser un système d'assemblage enfichable. Les mâts ou supports d'aile seront munis de petites broches constituées de segments de fil de cuivre ou d'acier — d'un diamètre ne dépassant pas 0,2 ou 0,3 mm (Fig. 54). Ces broches seront insérées dans les trous

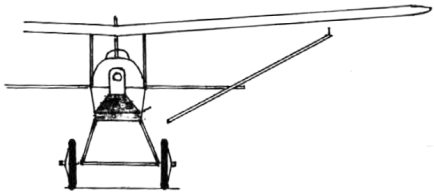


Fig. 56

correspondants des longerons ou dans de petits renforts en balsa prévus à cet effet sur le fuselage.

Toutefois, avant de procéder au collage, agissez comme suit :

Découpez un gabarit rectangulaire en carton aux bords parfaitement d'équerre et percez-y quatre trous s'alignant exactement avec les points de fixation sur l'aile. Ensuite, emboîtez les quatre supports d'aile dans le fuselage, en ayant préalablement enfilé le gabarit en carton sur leurs broches supérieures.

Vérifiez l'alignement de l'ensemble de face, de profil et de dessus ; ce n'est qu'alors que vous collerez les quatre mâts au fuselage, en appliquant une petite goutte d'adhésif — colle cyanoacrylate, colle cellulosique ou époxy — pour chacun d'eux. Une fois la colle sèche, retirez le gabarit et fixez l'aile. Si les étapes précédentes ont été réalisées avec précision, l'aile se positionnera correctement. Les mâts ou haubans reliant les demi-ailes au fuselage seront également assemblés au moyen de fixations enfichables (Fig. 56).

Toutefois, il est conseillé de ne pas coller immédiatement les deux extrémités des mâts ; il vaut mieux en laisser une libre afin de pouvoir, lors de l'ajustage, la raccourcir

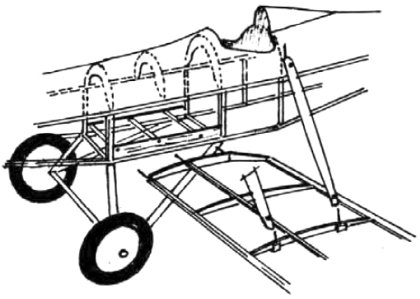


Fig. 57

si nécessaire.

Il est également préférable de fixer les panneaux d'aile (inférieurs, médians ou supérieurs) aux flancs du fuselage à l'aide d'un système d'enfichage.

Ces connecteurs doivent être placés aux extrémités des longerons d'aile dans la mesure du possible, en alignant leurs bouts avec des trous pré-percés dans le fuselage ; ces trous doivent correspondre aux traverses (Fig. 57) reliant les deux flancs du fuselage. Cette disposition relie les longerons des deux panneaux d'aile, conférant ainsi à l'ensemble la rigidité nécessaire.

Si le système d'enfichage présente des avantages dans les cas décrits ci-dessus, il s'avère pratiquement indispensable pour assurer le positionnement correct des mâts reliant les ailes supérieure et inférieure d'un biplan.

Dans ce cas également, les mâts doivent comporter au moins une extrémité libre afin de pouvoir être raccourcis lors de l'ajustage (Fig. 57). Avant le collage définitif, il convient de vérifier que les panneaux d'aile présentent les angles de calage indiqués sur le plan et qu'ils ne sont pas voilés.

Collage du train d'atterrissage Cet élément peut revêtir des formes et des structures variées selon le modèle, mais on distingue généralement deux cas de figure :

a) Lorsque le train d'atterrissage se compose d'une seule jambe par roue (Fig. 58). Dans ce cas, les deux jambes sont réalisées en corde à piano (fil d'acier) ; elles sont collées et « cousues » aux traverses du fuselage. Avant le collage, il convient de procéder à un montage à blanc de l'ensemble du train et de l'examiner attentivement de face, de profil et de dessus pour s'assurer de son bon positionnement.

Haubans C'est un sujet plus important qu'on ne le reconnaît généralement.

On voit souvent des modèles réduits avec des haubans détendus, ce qui indique clairement que, sur la maquette du moins, ils ne jouent aucun rôle structurel. Il s'agit sans doute de modèles dont le poids est bien supérieur au nécessaire.

En réalité, les haubans d'un avion servent à alléger la structure ; autrement dit, ils confèrent la rigidité requise à un assemblage de longerons, de nervures et de mâts qui sont légers et présentent des sections transversales relativement réduites.

Pour obtenir une rigidité équivalente sans haubanage, il faudrait des longerons continus dotés de sections suffisamment robustes pour supporter, à eux seuls, les efforts de flexion générés dans les ailes en vol et à l'atterrissage. Par conséquent, lors de la construction, il convient de dimensionner les longerons de manière suffisamment légère pour que le haubanage lui-même assure la rigidité de la structure.

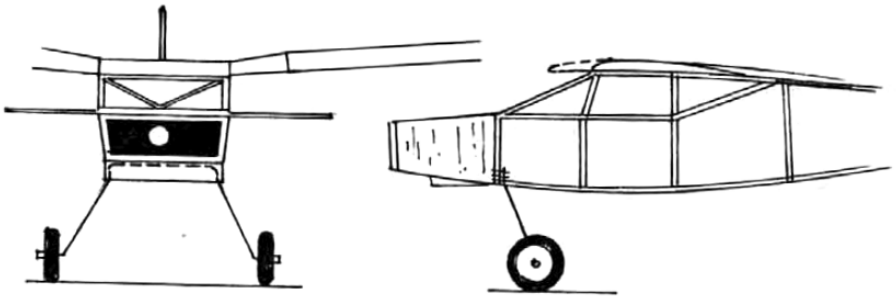


Fig. 58

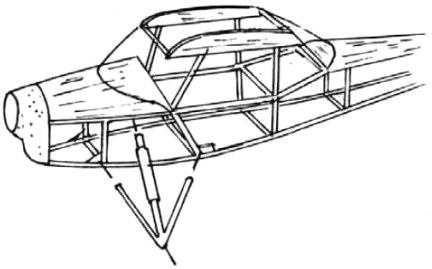


Fig. 59

Cette approche s'inscrit dans le principe consistant à éviter tout surdimensionnement inutile des pièces, en privilégiant les systèmes structurels à la fois les plus légers et les plus résistants. Voyons maintenant comment le haubanage peut être utilisé pour rigidifier l'ensemble (Fig. 60).

Tout d'abord, procurez-vous un fil de nylon non pelucheux (ou un matériau similaire) reproduisant fidèlement les câbles de l'avion réel en termes d'épaisseur et de composition.

Ensuite, étudiez attentivement la disposition des câbles sur l'avion réel et concevez un cheminement continu pour le fil — en utilisant de petits trous percés dans les mâts, les ailes ou le fuselage — afin de reproduire le système de haubanage d'origine, en tout ou en partie. Peu importe si, pour maintenir la continuité du système, il faut recourir à des sections absentes du modèle original, comme les sections 5-6 et 5'-6' de la Fig. 60.

Il faut prévoir les trous nécessaires au circuit envisagé. Naturellement, ces trous doivent être réalisés à l'étape appropriée ; par exemple, les trous correspondants dans les mâts d'aile doivent être percés avant que ceux-ci ne soient collés en place (Fig. 61). Pour éviter que le trou ne se déchire lors du passage du fil (les mâts étant en balsa), il convient de renforcer la zone environnante avec une minuscule goutte de colle cyanoacrylate, en veillant à ne pas obstruer l'ouverture. Les orifices dans le fuselage seront percés dans des pièces de balsa spécifiquement intégrées à la struc-

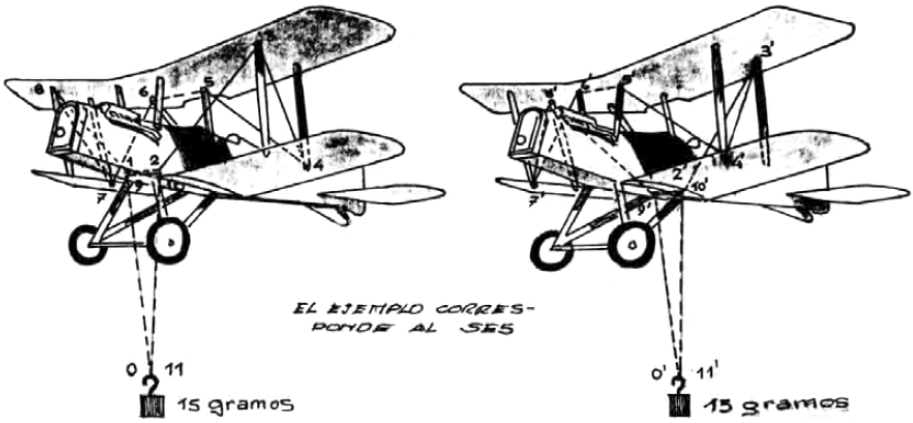


Fig. 60



Fig. 61

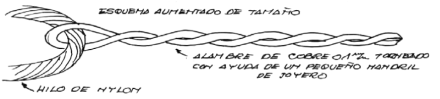


Fig. 62

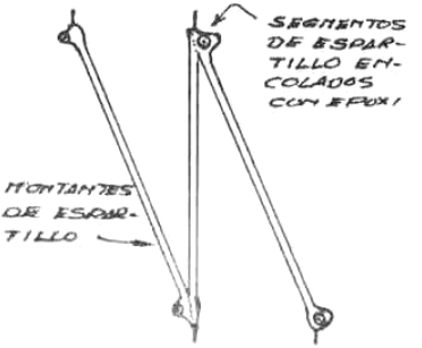


Fig. 63

ture à cet effet.

Il nous faudra une aiguille suffisamment fine pour passer à travers les trous sans les déchirer. À défaut, on peut en fabriquer une avec du fil de cuivre de 0,1 mm, plié en deux et torsadé à l'aide d'un petit mandrin à main de bijoutier. Cette méthode offre l'avantage d'un chas réglable pour l'enfilage et permet d'obtenir un outil flexible.

Si les mâts sont trop fins pour être percés sans risquer de fragiliser la structure, on peut les réaliser à partir de tiges d'herbe

espartillo ; dans tous les cas, les trous peuvent être formés en collant de courts segments de tige d' espartillo à l'aide d'une colle époxy à prise en 10 minutes (Fig. 63). Une fois ces préparatifs terminés, on procède à l'enfilage du fil de nylon dans les trous constituant le circuit continu choisi.

Une pince de bijoutier ou une petite pince d'électronicien sera très utile pour cette étape.

Elles permettent de guider l'aiguille dans chaque trou successif. Naturellement, l'opération devient d'autant plus délicate que le modèle est léger et fragile ; une extrême précaution est donc requise pour éviter tout accrochage ou déchirure durant cette longue manipulation.

La figure 60 illustre le haubanage d'un SE5 (biplan). Par souci de clarté, deux circuits continus sont représentés séparément ; ils permettent de reproduire la majeure partie du haubanage de l'appareil. (Il reste à réaliser les câbles diagonaux des mâts centraux ; ceux-ci sont effectués à l'aide d'un troisième circuit aux caractéristiques similaires).

Une fois tous les circuits enfilés, on réunit les extrémités des fils respectifs et on y suspend des poids de 10 à 15 grammes, selon la robustesse du modèle.

Ces charges mettront chaque circuit sous tension. Pour garantir une tension uniforme sur toutes les sections, on tend les fils à l'aide d'une petite baguette ou d'une pince de bijoutier, en progressant le long du circuit dans le même ordre que celui utilisé pour l'enfilage.

Une fois tous les fils tendus, on examine le modèle une dernière fois — de face, de profil et de dessus — pour s'assurer qu'aucune déformation ou aucun décalage des ailes ne s'est produit au cours du processus.

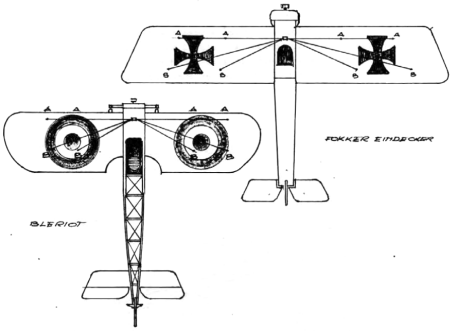


Fig. 64

On prépare de la colle époxy à prise en 10 minutes et, à l'aide de la pointe d'une aiguille, on fixe le fil dans chaque trou. Remarque : une infime quantité d'époxy suffit ; en utiliser davantage ajouterait un poids inutile.

Une fois cette étape terminée, nous procédons au retrait des fils excédentaires — plus précisément, comme le montre la figure 60, ceux étiquetés 0-1, 5-6, 10-11, 0'-1', 5'-6' et 10'-11'.

Nous constaterons alors avec étonnement que le modèle a gagné une rigidité remarquable sans aucune augmentation de poids.

Gauchissement des ailes Sur les premiers avions, le contrôle du roulis autour de l'axe longitudinal ne s'effectuait pas au moyen d'ailerons, mais par le gauchissement des panneaux d'aile — un effet obtenu grâce à la souplesse du système de haubanage.

Ce mécanisme, inventé par les frères Wright pour leur premier biplan, fut universellement utilisé sur tous les monoplans aux débuts de l'aviation, tels que le Blériot XI, le Morane-Saulnier L Parasol, le Morane-Saulnier N, le Castaibert, le Fokker Eindecker, entre autres.

Ces avions étaient équipés de deux types de câbles de haubanage : des câbles fixes attachés à l'aile près du bord d'attaque, et des câbles mobiles près du bord de fuite, actionnés par un mât de commande central.

La figure 64 présente deux exemples de tels avions : le Blériot XI et le Fokker Eindecker. Pour nos modèles réduits, il est à la fois facile et avantageux de reproduire cette capacité de gauchissement des ailes.

Il suffit de fixer à l'époxy les câbles de haubanage situés près du bord d'attaque (point (A)), tout en se contentant de caler les autres points d'attache avec une minuscule tige de 0,1 mm en herbe rigide (ou matériau similaire) ; cela nous permet de gauchir les ailes selon les besoins.

Cette caractéristique s'avère particulièrement utile lors du réglage du modèle pour un vol en cercle, comme nous le verrons plus loin.

Procédure de construction utilisant l'espartillo

Dans ce système de construction, les tiges d'espartillo une variété d'herbe qui pousse en abondance dans nos champs — remplacent les éléments longitudinaux et transversaux en balsa du système traditionnel.

En substance, la procédure est identique à celle décrite pour le balsa, avec quelques variantes découlant du fait que ce matériau se présente sous la forme d'une tige creuse, de profil cylindro-conique. Tout d'abord, pour les fuselages, les longerons sont positionnés avec le plus grand diamètre orienté vers l'avant ; pour les ailes ou les empennages, ce diamètre est dirigé vers l'emplanture.

La figure 65 présente la structure du biplan Aviatic, un appareil austro-hongrois de la Première Guerre mondiale.

Le croquis montre des coupes transversales du matériau. Les éléments nécessitant une méthode de construction différente de l'approche traditionnelle — et que nous aborderons plus loin — sont entourés.

Mais examinons d'abord quelques faits concernant ce matériau. L'Espartillo pousse en abondance dans la région du Río de la Plata, sous de nombreuses variétés. Pour notre usage, la variété connue sous le nom de *Stipa charruana* — qui est aussi la plus répandue — convient parfaitement. Cette graminée pousse également en Afrique et en Europe. Les anciens Romains s'aventurèrent dans la péninsule Ibérique à la recherche de ce matériau pour la fabrication de nattes et de cordages, baptisant la région *Campus Spartarius*.

En France, c'est une graminée assez courante connue sous le nom d'alfa.

L'Espartillo pousse en touffes de 0,70 à 1,00 mètre de haut (Fig. 66), conférant au paysage une teinte argentée caractéristique en été. Il est récolté durant la saison estivale, une fois que les tiges sont parvenues à maturité.

Les tiges sont coupées — à l'aide d'un sécateur, par exemple — près de la base, en sélectionnant les plus droites.

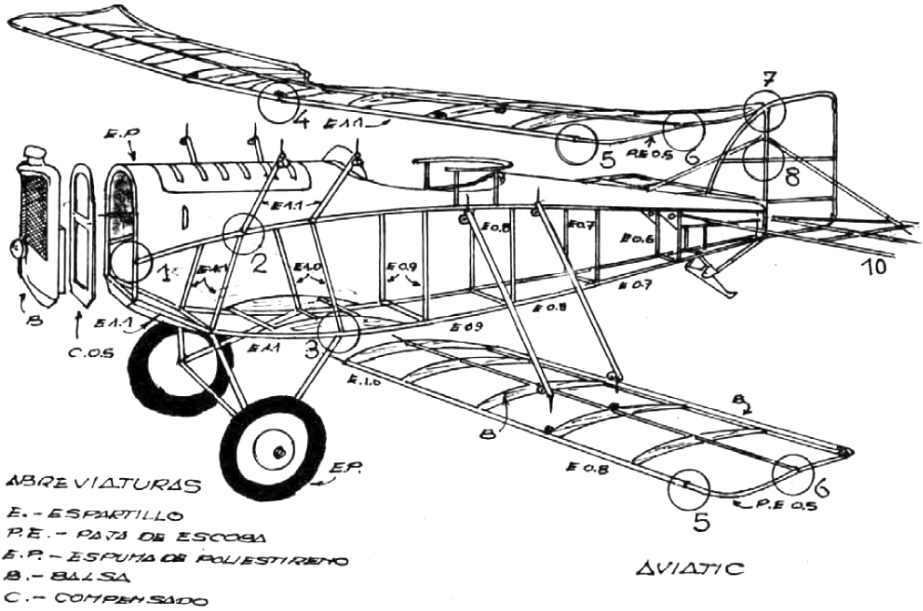


Fig. 65

On observe que les tiges présentent plusieurs nœuds sur toute leur longueur, avec des changements de direction dans les sections inférieures.

Nous effectuons des coupes de part et d'autre de ces nœuds inférieurs et tirons la feuille enveloppante vers le bas pour la retirer, obtenant ainsi deux parties distinctes : la section inférieure — courte (10 à 15 cm), robuste, épaisse et lourde — et la section supérieure — longue (40 à 60 cm), dont le diamètre s'affine, passant de 1,2 mm à la base à 0,3 mm ou moins à l'extrémité.

La première partie peut être utilisée pour des modèles ou des composants devant supporter de fortes contraintes, tels que les trains d'atterrissage, les haubans d'ailes, etc.

Toutefois, la partie la plus utile est la section supérieure, qu'il convient de trier selon la longueur et la rectitude.

On note également que le poids et la résistance des tiges varient selon leur stade de croissance.

Abordons maintenant leur utilisation dans la construction.

Il est conseillé d'avoir à portée de main, sur l'établi, plusieurs bottes d'herbe Es-

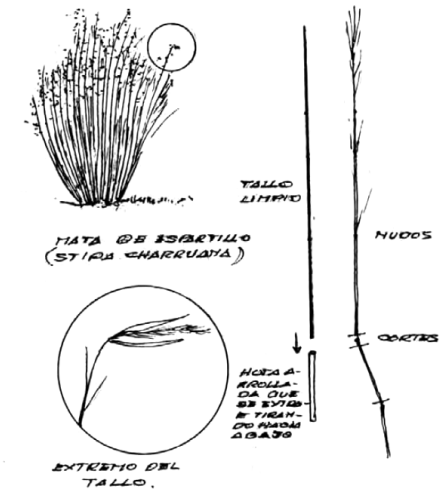


Fig. 66

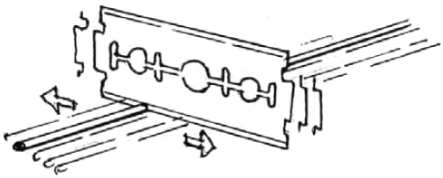


Fig. 67

partillo — maintenues par des élastiques et triées par diamètre et longueur approximatifs. Certaines seront plus résistantes et plus lourdes, d'autres plus fragiles et plus légères, selon leur degré de maturité.

Il faut également disposer d'un pied à coulisse pour choisir la pièce idéale, ainsi que d'une balance suffisamment précise pour en mesurer le poids.

Pour couper l'Espartillo, il est préférable d'utiliser des lames de rasoir neuves, car ce matériau est nettement plus dur que le bois de balsa.

La tige étant creuse, il faut veiller à ne pas l'écraser lors de la coupe. Pour obtenir des coupes nettes, on fait rouler la tige sur une surface plane tout en exerçant une pression avec la lame (Fig. 67).

Les tiges destinées à être utilisées doivent être légèrement poncées avec du papier abrasif à grain fin afin d'atténuer le brillant caractéristique de la surface et d'améliorer ainsi l'adhérence lors du collage. L'expérience a montré que les colles recommandées sont le Poxipol (prise en 10 minutes) et la cyanoacrylate (Loctite, Superbon, etc.). Examinons maintenant la manière dont certains détails de cette méthode de construction sont traités, en prenant pour exemple le biplan Aviatic illustré à la figure 65.

- La jonction entre la première traverse du fuselage et les longerons principaux (Fig. 68-1) peut être renforcée à l'aide de segments en nylon ou de fil d'aluminium ou de cuivre de 0,2 mm de diamètre. Le choix du matériau et du diamètre dépendra du degré de légèreté souhaité. On peut, par exemple, utiliser un poil de brosse en nylon plié à angle droit ou un morceau de fil électrique de 0,2 mm. Ces éléments sont insérés, à la manière de tourillons, dans des trous percés dans les pièces concernées, dont les extrémités sont coupées en biseau. Outre le renforcement d'un point critique du fuselage, cette méthode garantit un ajustement parfait entre les pièces.

- La goupille de fixation du mât central de l'aile supérieure (Fig. 68-2) peut être réalisée à partir d'un segment de fil d'aluminium ou de cuivre de 0,2 mm enroulé

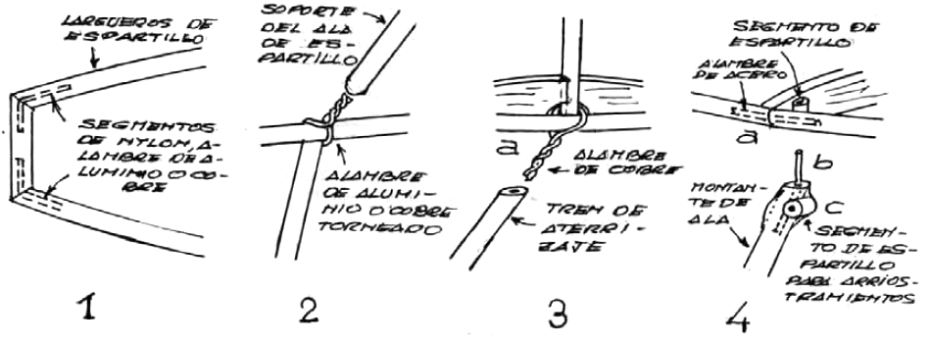


Fig. 68

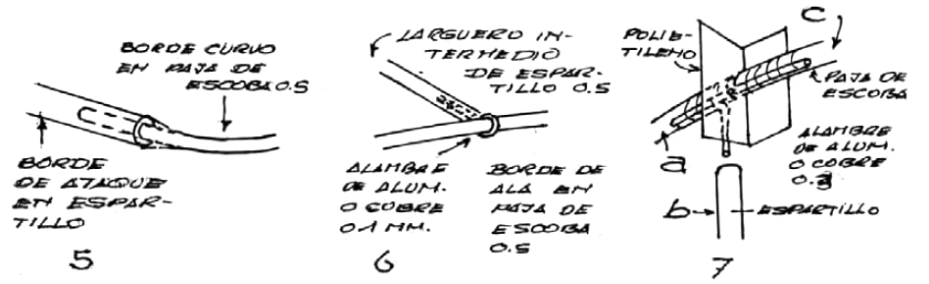


Fig. 69

autour du longeron, les deux extrémités étant spiralées à l'aide d'un mandrin de bijoutier.

- La goupille de fixation d'une jambe de train d'atterrissage (Fig. 68-3) est traitée de manière similaire. Dans les deux cas, le fil est fixé par une petite goutte de Poxipol ou de colle cyanoacrylate.

- La figure 68-4 montre, au point (a), la jonction centrale du bord d'attaque de l'aile, réalisée à l'aide d'un segment en nylon (tel qu'un poil de brosse) ou d'un fil d'acier de 0,2 mm. Dans ce cas, le fil d'acier — plié selon un angle précis — assure le maintien du dièdre correct de l'aile. Le système de fixation des mâts d'aile est également représenté ; il fait appel à des goupilles en nylon qui s'insèrent dans un petit bloc de bois collé sur la nervure.

Un tronçon d'espartillo est collé sur le mât d'aile, en vue du haubanage ultérieur des ailes.

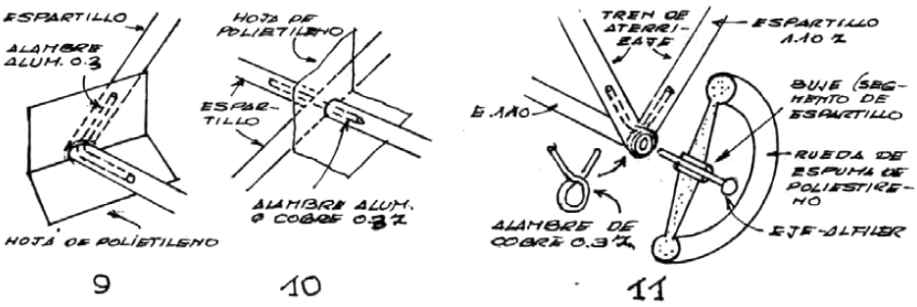


Fig. 70

- La figure 65-5 montre la jonction entre le bord d'attaque et la section courbe du saumon d'aile. Ce dernier est réalisé à l'aide de brin de balai mis en forme.

- La figure 69-6 illustre une méthode fiable pour assembler le longeron central de l'aile au saumon courbe (en brin de balai) à l'aide de fil d'aluminium ou de cuivre de 0,1 mm.

- La figure 69-7 montre comment articuler le bord de la dérive ou du stabilisateur avec le bord de la gouverne correspondante. Dans ce cas, (a) (brin de balai courbe) et (b) (mât de dérive) sont des éléments fixes ; leur jonction peut être renforcée par un tronçon de fil d'aluminium de 0,2 mm. À l'inverse, (e) représente le bord de la gouverne mobile, également réalisé en brin de balai. Les deux bords — le fixe (a) et le mobile (c) — sont assemblés à l'aide de fil d'aluminium ou de cuivre de 0,3 mm, collé et ligaturé avec du fil de nylon. Pour garantir que les deux pièces restent reliées *exclusivement* par le fil lors du collage (permettant ainsi à la gouverne de bouger), on insère une petite feuille de polyéthylène pliée à angle droit ; celle-ci est retirée ultérieurement en l'arrachant à l'aide d'une lame de rasoir.

- La figure 68-9 présente une solution d'articulation angulaire pour une dérive, et la figure 70-10 montre une articulation intermédiaire pour une gouverne de stabilisateur ou de dérive.

- La figure 70-11 illustre la fixation de deux jambes de train d'atterrissage à la traverse horizontale au moyen de fil de cuivre ou d'aluminium, ainsi que la roue en mousse de polystyrène dotée d'un moyeu en fibre de verre et d'un axe en épingle.

Construction en mousse de polystyrène

L'intérêt de ce matériau réside principalement dans sa légèreté.

Comme indiqué précédemment, le balsa ultraléger pèse 96 g/dm^3. La mousse de polystyrène standard pèse 16 g/dm^3, tandis que le type utilisé pour les emballages de protection d'appareils électriques importés (très facile à se procurer car généralement

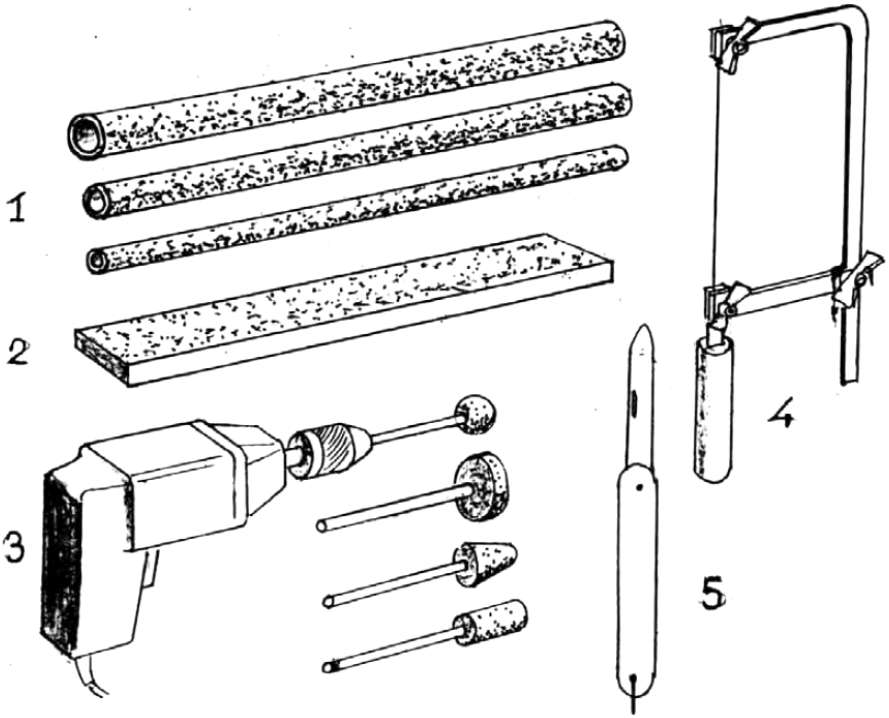


Fig. 71

jeté) pèse entre 20 et 30 g/dm³. Ce dernier, présentant une surface plus dense et un grain plus fin, est plus facile à travailler et moins sujet aux déchirures. Il s'agit d'un matériau trois fois plus léger que le balsa ultraléger.

Le façonnage de ce matériau nécessite toutefois une approche différente de celle utilisée pour le balsa — et peut-être davantage de soin — mais l'effort en vaut largement la peine lorsqu'il s'agit de gagner du poids.

La mousse de polystyrène peut être utilisée pour tout, de la réalisation de détails (tels que des répliques de moteurs, carénages, mitrailleuses, roues et figurines de pilotes) jusqu'à la construction du fuselage complet ou de certaines de ses sections.

Ce matériau offre des possibilités supérieures pour reproduire des formes aérodynamiques par rapport à la construction traditionnelle à couples et lisses, et l'état

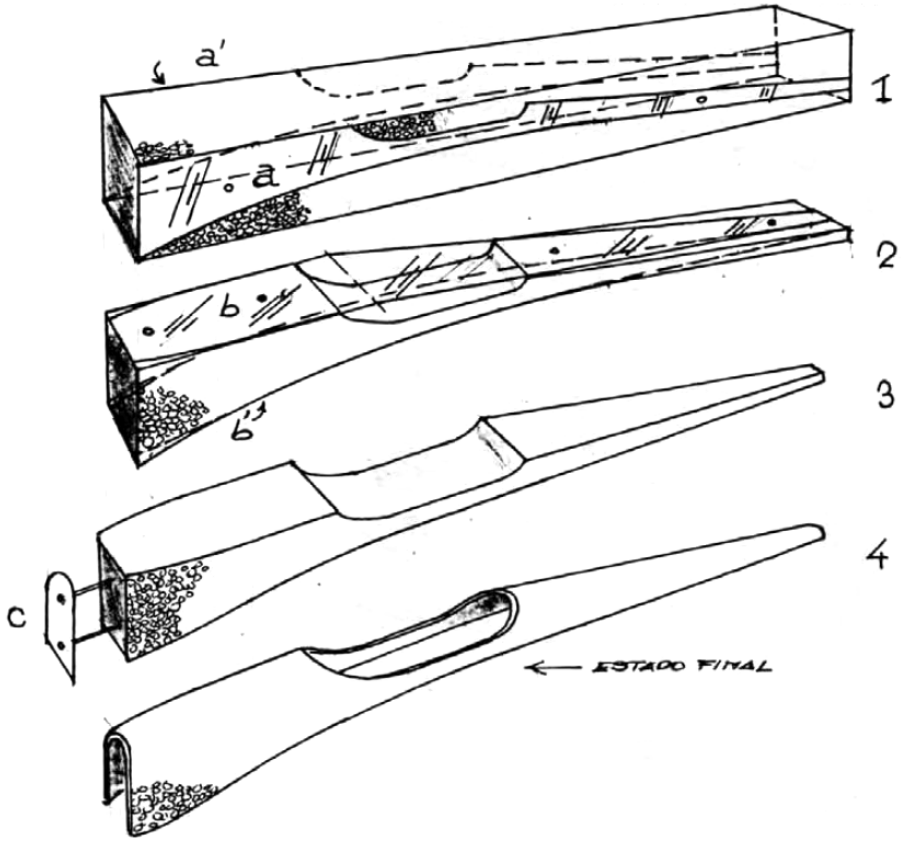


Fig. 72

de surface obtenu est plus net et plus lisse.

Nous expliquerons le processus de façonnage à l'aide d'un exemple précis : la demi-coquille supérieure du fuselage de l'Aviatic illustré à la figure 65. Sur l'appareil réel, cette section du fuselage était en contreplaqué et formait une surface arrondie ; sa construction selon la méthode traditionnelle aurait nécessité de nombreux couples et lisses secondaires. Une fois entoilée au papier Japon, cette méthode donne un aspect « nervuré » qui diffère considérablement de l'apparence de l'appareil réel.

Dans ce cas précis, cependant, l'utilisation de ce matériau simplifie la tâche, donne un résultat plus réaliste et — à condition d'affiner correctement les parois de la coquille — permet un gain de poids.

Outils

Examinons d'abord les outils utilisés pour sculpter la mousse de polystyrène (Fig. 71).

La figure 71-1 présente des tronçons de tubes en plastique — du type utilisé pour les gaines électriques — de différents diamètres ; ils sont entourés de papier de verre à grain moyen, fixé à l'aide de colle de contact. Ils servent à évider la matière.

La figure 71-2 montre une cale à poncer en bois dont une face est recouverte de papier de verre ; elle est utilisée pour la finition des surfaces extérieures.

La figure 71-3 montre un moteur électrique équipé de fraises de formes variées pour évider la mousse.

Les figures 71-4 et 71-5 présentent une scie sauteuse et un couteau de poche utilisés pour le dégrossissage initial du bloc de mousse.

Façonnage

L'exemple que nous allons développer est celui de l'Aviatic illustré à la figure 65. La procédure est la suivante :

- Dans ce cas, nous découpons 5 gabarits correspondant aux 3 projections : deux gabarits (a) (Fig. 72-1) correspondant au profil latéral (projection verticale) de la pièce ; deux gabarits correspondant à la vue de dessus (projection horizontale) ; et un gabarit correspondant à la vue de face. Il est pratique de réaliser ces gabarits dans un matériau transparent, tel que le celluloïd, l'acétate ou un matériau similaire. Leur transparence permet de tracer et de découper leurs contours directement (en plaçant la feuille sur le plan) à l'aide d'un cutter de modélisme et d'un gabarit de dessin. - Nous taillons un bloc de mousse de polystyrène (Fig. 72-1) à l'aide d'une scie à chantourner et d'une lame bien affûtée, puis nous affinons la forme au papier de verre. - Nous positionnons correctement les gabarits latéraux de part et d'autre du bloc et les fixons à l'aide d'épingles fines. - À l'aide de la scie à chantourner et/ou d'une lame bien affûtée, nous taillons le bloc en utilisant les gabarits latéraux comme guide. Nous affinons la forme au papier de verre. - Nous retirons les gabarits latéraux et positionnons correctement les gabarits (b) (Fig. 72-2). Nous poursuivons le façonnage du bloc (guidé cette fois par les gabarits (b)) à l'aide d'une scie à chantourner ou d'un couteau de poche bien affûté, en effectuant les finitions au papier de verre. - Nous retirons les gabarits (b) (Fig. 72-3) et positionnons le gabarit (c). Nous ébauchons ensuite la forme extérieure du bloc (au couteau de poche et au papier de verre) avant

de le creuser par une découpe grossière à la scie à chantourner, suivie d'une finition à l'aide d'outils de ponçage tubulaires de différents diamètres, jusqu'à ce que les parois atteignent une épaisseur comprise entre 1 et 1,5 mm.

- Découpez soigneusement l'ouverture du cockpit à l'aide d'un scalpel. - Enfin, recouvrez les deux surfaces (intérieure et extérieure) de papier japon ou de papier pour condensateurs, en utilisant uniquement de la colle PVA (colle blanche) très diluée.

Collez soigneusement la coque sur la structure du fuselage à l'aide de colle époxy. Remarque : il suffit d'appliquer la colle en des points précis, alignés avec les traverses. Tout excès de colle annulerait le gain de poids obtenu grâce à cette méthode.

Roues en mousse de polystyrène

C'est un domaine où l'on peut réaliser d'importantes économies de poids. Il convient de noter que, dans cette catégorie, les roues tournées dans du bois mi-dur sont exclues en raison de leur poids.

Elles sont généralement fabriquées en balsa (par superposition de plusieurs disques dont le fil du bois est orienté à 90 degrés les uns par rapport aux autres) ou en plastique (modèles du commerce), constituées de deux demi-coquilles moulées collées entre elles.

Les roues en mousse de polystyrène sont nettement plus légères ; il est donc intéressant d'examiner leur méthode de fabrication.

Pour ce faire, utilisez une perceuse électrique équipée d'une tige filetée à son extrémité, montée dans le mandrin ; fixez deux plateaux filetés sur cette tige pour maintenir le disque de mousse de polystyrène (Fig. 73). Ce type de tige peut être obtenu auprès de fournisseurs d'outillage et de pièces d'horlogerie.

Une autre solution consiste à en fabriquer une à l'aide d'un rayon de bicyclette, de quelques écrous et de rondelles (Fig. 74). La lame de coupe peut être façonnée à partir d'une tôle de 0,5 mm d'épaisseur.

Personnellement, compte tenu de la tendreté du matériau à usiner, j'ai réalisé ces lames en aluminium de 1 mm, mises en forme à la lime. Une petite bande de 1 mm d'épaisseur, mesurant 10 mm sur 30 à 40 mm, suffit ; limez les extrémités pour obtenir un tranchant vif, comme illustré sur la Fig. 73. Une lime et du papier de verre à grain fin s'avéreront également utiles.

Naturellement, l'opération de tournage exige beaucoup de soin et d'application. Une autre méthode, celle utilisée par Emmanuel Fillon, donne d'excellents résultats. Pour ce faire, vous aurez besoin d'une petite perceuse électrique montée sur un support semblable à celui illustré à la figure 75. La lame de coupe utilisée ici doit ressembler à celle de la figure 76. Pour cette opération, utilisez une plaque de polystyrène expansé dont l'épaisseur correspond à la largeur de la roue que vous comptez découper en deux étapes successives. Placez une surface dure — comme du métal ou du verre — sur le socle de la perceuse. Cela garantit que la lame ne descendra que jusqu'à ce que sa tige de guidage entre en contact avec cette surface.

Cette opération permet de découper un côté de la roue.

Retournez la plaque de polystyrène, alignez le trou central (le moyeu de la roue) avec la tige de guidage de la lame, puis

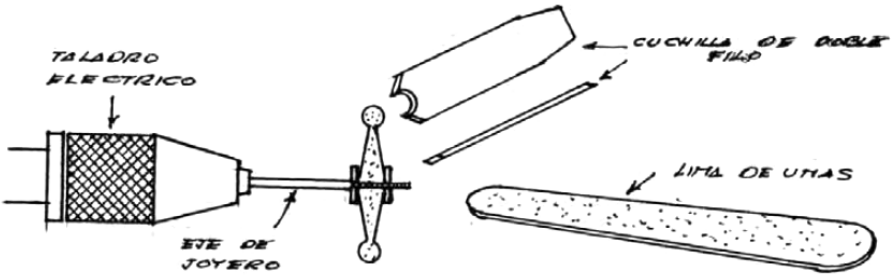


Fig. 73

procédez à la découpe de l'autre côté de la roue.

Comme vous pouvez le constater, bien que la fabrication de la lame de coupe prenne un certain temps, une fois l'outil prêt, la réalisation d'une roue selon cette méthode est relativement rapide et simple, et permet d'obtenir des roues identiques.

Terminez le travail en renforçant le trou central à l'aide d'un tube en aluminium ou de segments de tige végétale rigide (comme de l'espartillo), en les collant avec de la colle blanche ou de la résine époxy à prise en 10 minutes, puis en peignant le pneu avec de l'encre de Chine noire.

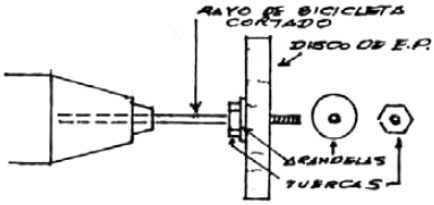


Fig. 74

Roues à rayons

Ces roues, prisées pour leur légèreté, étaient caractéristiques des premiers avions, ceux que l'on appelle aujourd'hui les « Pionniers ». Quiconque souhaite s'aventurer dans ce domaine devra nécessairement résoudre la question de la fabrication de roues à rayons.

Il ne fait aucun doute que des roues de ce type, bien réalisées, rehaussent considérablement l'esthétique du modèle, ce qui aura un impact très favorable sur la note de statique obtenue lors d'une compétition.

J'ai personnellement constaté un vif intérêt de la part des passionnés de cette catégorie pour la fabrication de ce type de roue. Est-ce de la simple curiosité ? De l'étonnement ? De l'admiration ?... Quoi qu'il en soit, ces modèles Pionniers étant souvent d'excellents planeurs, il vaut la peine de dévoiler le mystère de leur méthode de construction.

Comme nous le verrons, la faible quantité de matériau nécessaire et l'ingéniosité

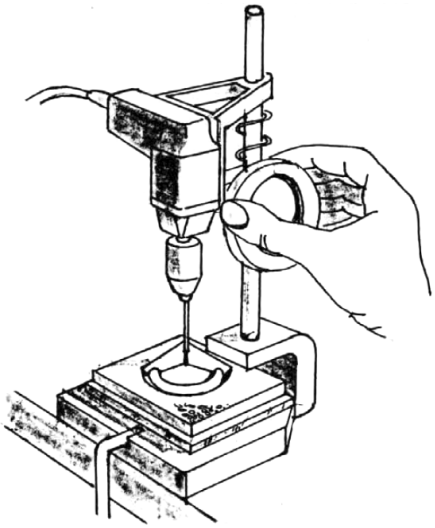


Fig. 75

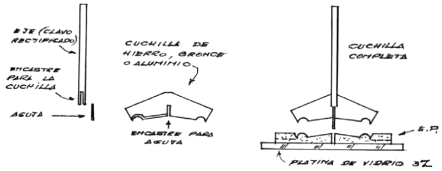


Fig. 76

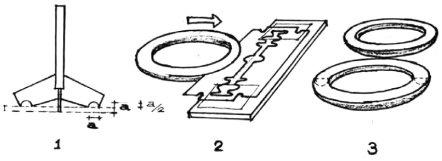


Fig. 77

de la méthode permettent de créer la roue la plus légère et la plus esthétique possible.

Tout d'abord, il faut usiner l'ensemble jante et pneu dans de la mousse de polystyrène ; on obtient ainsi un petit anneau très léger. Nous utilisons la méthode décrite à la section 4.7.3.3, en employant une lame de coupe comme illustré sur la figure 77-1.

Ensuite, on coupe l'anneau exactement en deux. Pour ce faire, on utilise une lame de rasoir neuve fixée par du ruban adhésif sur une cale d'espacement en bois aux dimensions précises (Fig. 77-2). L'opération de coupe est précise et relativement simple lorsqu'elle est effectuée sur une surface plane et lisse, comme une plaque de verre. On obtient ainsi deux demi-anneaux à partir de chaque anneau.

Ceux qui n'ont pas besoin de roues ultralégères peuvent sauter ces étapes et partir plutôt d'anneaux de rideaux en plastique, en les ponçant sur une surface plane jusqu'à obtenir deux demi-anneaux. Il convient de noter, avant de poursuivre, que cette méthode produit une roue nettement plus lourde — bien que plus facile à travailler — alors que la première méthode aboutit à un produit d'une légèreté étonnante.

Naturellement, le type de roue dépendra du poids du modèle. Il serait absurde d'utiliser des roues ultra-légères sur des modèles de 14 grammes ! Ensuite, nous traçons un schéma simple sur une feuille de papier, comme indiqué sur la figure 78. Ce schéma se compose d'une projection de la roue en taille réelle et d'un certain nombre de lignes diagonales disposées symétriquement. Nous prolongeons ces lignes jusqu'à ce qu'elles coupent un cercle légèrement

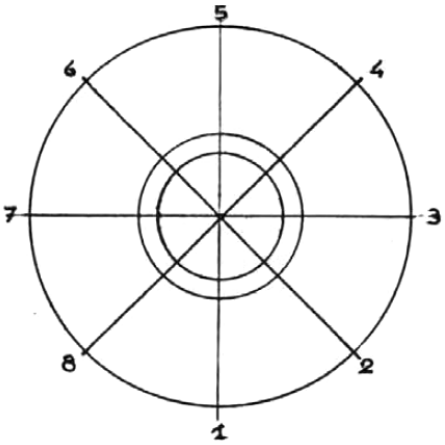


Fig. 78

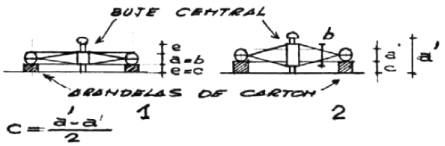


Fig. 79

plus grand, en y marquant les points 1 à 8 dans un ordre précis. Le nombre de lignes diagonales dépend du nombre de rayons que comportera la roue. Par souci de simplicité, notre exemple utilise 8 points, ce qui donnera une roue à 16 rayons.

Personnellement, j'ai fabriqué des roues à 36 rayons qui sont très impressionnantes.

Nous préparons ensuite le moyeu central de la roue, constitué de deux tubes de diamètres et de longueurs différents (figure 79).

Le tube le plus long doit s'insérer parfaitement dans le plus court et permettre le passage d'une tige en son centre avec un ajustement serré.

Ceux qui ne disposent pas de tubes en aluminium aux dimensions spécifiques n'ont pas à s'inquiéter : des tiges d'alfa ou de blé feront l'affaire. À défaut, on peut fabriquer des tubes en enroulant du papier de soie japonais — fixé avec de l'adhésif — autour de segments de fil métallique parfaitement droits. Les tubes sont coupés avec précision et collés symétriquement à l'aide de colle époxy ou cyanoacrylate, formant ainsi un moyeu doté de deux collerettes annulaires (figure 79).

Les dimensions de ce moyeu central varient selon le type de roue reproduit. Sur la figure 79, (a) représente la largeur du pneu et (b) la longueur du tube court (ou l'espacement entre les deux collerettes annulaires) ; (a') est la longueur totale du moyeu (tube long) ; (e) correspond au dépassement du tube central de part et d'autre du tube épais ; (c) est l'épaisseur d'une rondelle en carton supplémentaire utilisée pour la construction de la roue. Comme le montre la figure 79 : $c = (a' - a)/2$.

La figure 79-1 présente une coupe transversale d'une roue où l'espacement des rayons au centre — ou la longueur du tube épais — est égal à la largeur du pneu. Dans ce cas, $a = b$ et $e = c$.

La figure 79-2 illustre le cas général où (b) (espacement des rayons au centre) est supérieur à (a) (largeur du pneu). Dans ce cas : $c = (a' - a)/2$.

Ensuite, nous fixons le tracé définitif (Fig. 78) au bord d'une planche à dessin (Fig. 80) et positionnons le moyeu central

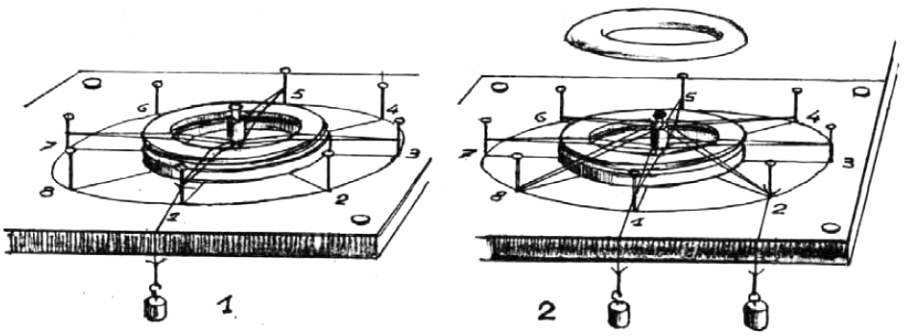


Fig. 80

au centre à l'aide d'une épingle (Fig. 80).

Nous plantons une épingle à chaque repère (de 1 à 8).

Nous collons la rondelle en carton en l'alignant sur la projection du pneu indiquée sur le tracé.

Nous posons le demi-anneau en polystyrène ou en plastique sur cette rondelle, face plate vers le haut.

Nous prenons ensuite du fil de nylon fin, du type utilisé pour la couture de vêtements en cuir. Nous en attachons une extrémité à l'épingle du repère (1) (Fig. 80-1). En tirant le fil vers le centre, nous l'enroulons autour du moyeu — en passant sous le rebord inférieur — puis nous rejoignons le repère (3). Nous passons le fil autour de l'épingle du repère (3), revenons vers le centre, l'enroulons à nouveau autour du moyeu (sous le rebord inférieur) et nous dirigeons vers le repère (5).

Nous poursuivons ainsi en reliant tous les repères impairs au rebord inférieur du moyeu, pour finalement revenir au repère

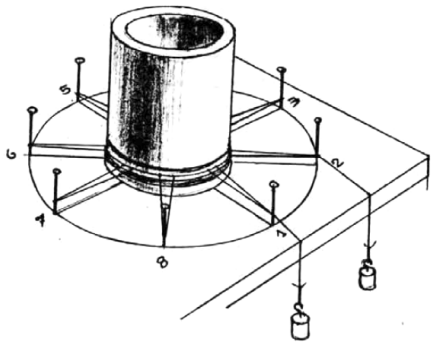


Fig. 81

(1). Nous laissons pendre le fil au-delà du bord de la planche à dessin, lesté par une masse de 15 à 20 grammes.

Nous fixons ensuite le fil au point de contact avec le rebord inférieur du moyeu à l'aide d'une colle époxy à prise en 10 minutes.

Ensuite, nous attachons l'extrémité d'un second fil (Fig. 80-2) à l'épingle du repère (2). En le tirant vers le centre, nous l'enroulons autour du moyeu — cette fois en passant au-dessus du rebord supérieur — et nous nous dirigeons vers le repère (4). Nous passons le fil autour de l'épingle du repère (4), revenons vers le centre et continuons à relier tous les repères pairs au rebord supérieur du moyeu, pour finalement revenir au repère (2). Nous laissons pendre le fil au-delà du bord de la planche, lesté par une masse de 15 à 20 grammes.

Nous collons le fil au point de contact avec le rebord supérieur du moyeu central. Ensuite, nous appliquons de la colle sur la surface plane de contact de la demi-roue, en veillant tout particulièrement à ce que les fils y adhèrent solidement. Avant que l'époxy ne commence à prendre, nous assemblons les deux demi-roues — face contre face — en veillant à un alignement parfait. Nous appliquons une pression pendant le durcissement de l'adhésif à l'aide d'un poids approprié (comme un tube en fer), ce qui nous permet de surveiller le joint et de garantir une fermeture parfaite (Fig. 81). Une fois le collage terminé, nous coupons les fils reliant la roue à chaque support. Remarque : utilisez une lame neuve pour cette étape ; si la coupe n'est pas effectuée parfaitement dans le prolongement de la roue, il sera très difficile d'éliminer l'excédent de fil.

Nous achevons le travail en ponçant le joint de la roue avec du papier de verre fin et en peignant le pneu à l'encre de Chine noire.

Le résultat final dépend de l'habileté, du soin et de l'expérience du modéliste ; il est donc conseillé de réaliser plusieurs roues et de sélectionner les meilleures du lot.

Chapitre 3

Le vol

Nous avons indiqué au début que la catégorie Peanut désigne des maquettes d'avions réels conçues pour voler. Ces deux caractéristiques — être une maquette d'une part et un modèle volant d'autre part — sont des qualités qui s'opposent.

Une maquette parfaite, riche en détails, sera presque inévitablement lourde et peu adaptée au vol. À l'inverse, un modèle aux détails simplifiés sera plus léger et mieux adapté. Cela implique un compromis entre les deux qualités essentielles de cette catégorie ; logiquement, trois tendances distinctes ont émergé dans le milieu de la compétition :

a) Les concours de « présentation de maquettes volantes », privilégiant l'aspect présentation.
b) Les concours de « vol de maquettes volantes », privilégiant l'aspect vol.
c) Les concours de « maquettes volantes », équilibrant les deux aspects.

Le problème se pose — en particulier pour les compétitions — au niveau de la réglementation. Le règlement doit définir les critères de notation statique (évaluation du modèle lui-même), tandis que la notation dynamique découle directement de la durée du vol.

Cependant, il faut prendre en compte un autre aspect : le vol réaliste (ou vol à l'échelle).

Souvent, un modèle qui nous séduit par sa fidélité à l'original nous déçoit par ses caractéristiques de vol qui, rapportées à l'échelle, semblent trois ou quatre fois plus rapides que celles de l'avion réel. Il existe donc un autre paramètre à considérer : le vol réaliste.

Pour des raisons que nous expliquerons dans un autre chapitre, la catégorie cacahuète offre le plus grand potentiel pour obtenir un vol réaliste parmi toutes les disciplines de maquettes volantes. Il convient donc d'approfondir ce sujet.

Sans vouloir faire ici un cours complet d'aérodynamisme, il est néanmoins utile d'éclaircir quelques concepts fondamentaux, car cela permettra de mieux comprendre comment obtenir des perfor-

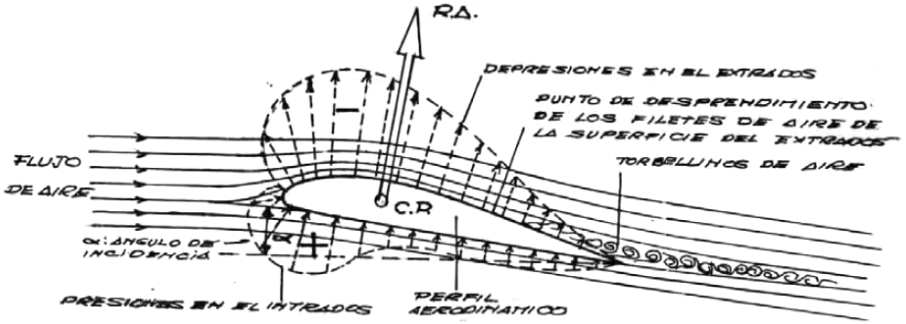


Fig. 82

mances de vol satisfaisantes.

3.1 La portance

Lorsque la surface portante ou l'aile d'un avion ou d'une maquette — dotée d'un profil aérodynamique — est soumise à un flux d'air (Fig. 82), le bord d'attaque divise les lignes de courant du fluide suivant deux trajectoires d'écoulement : l'une longe la surface supérieure, ou extrados, à une certaine vitesse, tandis que l'autre longe la surface inférieure, ou intrados, à une vitesse moindre en raison de la distance plus courte qu'elle parcourt. La vitesse, la pression et la masse volumique de l'air sont liées par un théorème simple — le principe de Bernoulli — selon lequel plus la vitesse du fluide est élevée en un point donné de l'écoulement, plus la pression y est faible.

Appliqué à un profil aérodynamique, ce principe engendre un phénomène vérifiable en soufflerie : en raison de ces différences de vitesse, l'équilibre des pressions de l'air de part et d'autre de l'aile est rompu ; la pression diminue sur l'extrados (en raison de la vitesse relative plus élevée) et augmente sur l'intrados (en raison de la vitesse relative plus faible).

La figure 82 illustre les pressions élémentaires s'exerçant en chaque point du profil d'aile. Au niveau du bord d'attaque, la pression est générée par l'impact de la masse d'air frappant cette partie du profil ; parallèlement, sur l'intrados et l'extrados, les pressions élémentaires varient en intensité, en direction et en signe selon les vitesses relatives de l'air. L'ensemble de ces forces produit une résultante aérodynamique (R.A.) s'exerçant en un point précis appelé centre de poussée (C.P.) (Fig. 82).

Si un flux d'air horizontal frappe le profil avec un faible angle d'incidence (Fig. 83 a), la Résultante Aérodynamique est faible et orientée vers le haut et vers l'arrière, son point d'application se situant près du bord de fuite. À mesure que l'angle d'incidence augmente, la R.A. croît (Fig. 83 b), son inclinaison par rapport à la verticale diminue et son point d'application se déplace vers

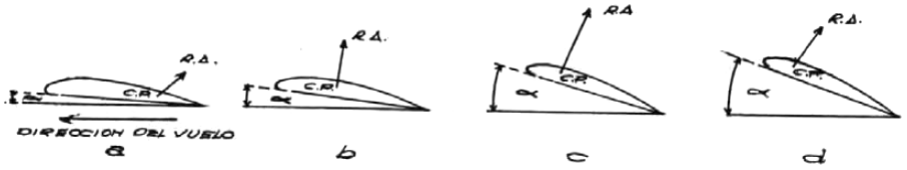


Fig. 83



Fig. 84

le bord d'attaque. Aux angles élevés (Fig. 83 c) — à l'approche du point où les filets d'air s'écoulant sur l'extrados décrochent de la surface de l'aile, créant des turbulences — la R.A. atteint sa valeur maximale, sa direction s'incline légèrement vers l'arrière et le C.P. (son point d'application) se rapproche au maximum du bord d'attaque. Si l'angle augmente davantage, au-delà du point de décollement (Fig. 83 d), l'intensité de la résultante aérodynamique (R.A.) diminue, l'angle qu'elle forme avec la verticale s'accroît, et le centre de poussée (C.P.) reste à la même position ou se déplace légèrement vers l'arrière.

La figure 84 représente un profil d'aile se déplaçant à une vitesse V par rapport à la masse d'air. La corde du profil forme un angle α avec la direction du mouvement.

Comme indiqué précédemment, la résultante aérodynamique (R.A.), qui s'exerce au niveau du centre de poussée (C.P.), s'incline légèrement vers l'arrière. Si l'on décompose cette résultante en deux composantes à l'aide du parallélogramme des forces — l'une verticale et l'autre horizontale — on obtient respectivement la force de portance (L) de l'aile et la force de traînée (D) que l'air exerce à l'encontre de son mouvement.

Cette composante de portance (L) dépend du profil de l'aile, de l'angle d'incidence, de la masse volumique de l'air, de la surface alaire et du carré de la vitesse de l'air. Mathématiquement, cela se traduit par l'équation suivante :

$L = Cl(\rho/2)SV$š (1) avec :

L = portance

Cl = coefficient de portance

ρ = masse volumique de l'air

S = surface alaire

V = vitesse de l'air (vitesse par rapport à l'air)

Le coefficient de portance (Cl) — tout comme le coefficient de traînée, généralement désigné par Cd — est déterminé pour un profil d'aile spécifique en soufflerie ; ces coefficients définissent les caractéristiques de portance et de traînée du profil pour différents angles d'incidence. Les résultats

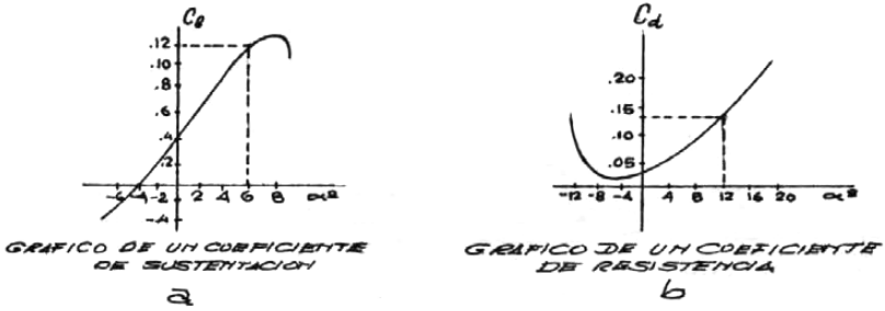


Fig. 84-bis

permettent d'établir des graphiques (Fig. 84 bis-a-b) représentant l'évolution des coefficients Cl et Cd du profil en fonction de l'angle d'incidence.

Pour que l'aile de notre modèle puisse le soutenir en vol horizontal, la portance doit être égale au poids (W = L) ; autrement dit, selon l'équation (1) :

$W = Cl(\rho/2)SV^2$ (2)

Dans l'équation (2), on constate que pour un modèle donné, plus le poids (W) est élevé, plus la vitesse de sustentation est grande. À l'inverse, pour des modèles différents de même poids, plus la surface alaire est importante, plus la vitesse de sustentation est faible.

Sachant que les conséquences d'un choc dépendent de l'énergie cinétique de l'objet — selon l'équation :

$Ec = mV^2/2$ (3) avec :

Ec = énergie cinétique

m = masse

V = vitesse

Et en rappelant que masse = (poids / accélération de la pesanteur), une leçon fondamentale s'impose : la résistance de nos modèles aux chocs dépend essentiellement de leur légèreté. En effet, une réduction du poids diminue la vitesse nécessaire à la sustentation (d'après l'équation 2), réduisant ainsi les deux facteurs qui déterminent l'énergie cinétique (3).

Une seconde leçon est que, l'envergure étant limitée à 33 cm par la réglementation, la réalisation de vols lents et prolongés nécessite de choisir des modèles dotés d'ailes avec une corde généreuse (ailes larges) afin d'assurer une surface portante suffisante.

Nous avons précédemment examiné comment la résultante des forces aérodynamiques s'exerçant sur un profil d'aile varie en fonction de l'angle d'incidence. Considérons maintenant ce même phénomène appliqué à une plaque plane — les empennages étant souvent plats : la figure 85 montre une surface plane de poids W, dont le centre de gravité (C.G.) est situé au centre géométrique, soumise à un flux d'air de vitesse V.

À mesure que l'angle d'incidence passe de zéro à quatre-vingt-dix degrés, le centre

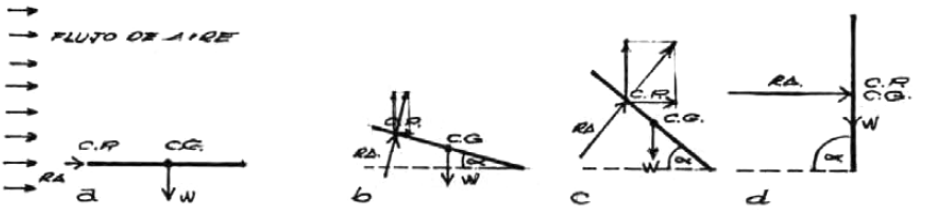


Fig. 85

de poussée de la résultante aérodynamique se déplace du bord d'attaque vers le centre géométrique de la surface — point qui, dans ce cas, coïncide avec le centre de gravité de la surface. En comparant ce phénomène au précédent, nous tirons une première conclusion : une aile dotée d'un profil aérodynamique est instable sur le plan aérodynamique car, lorsque l'angle d'incidence par rapport au flux d'air augmente, la résultante aérodynamique se déplace vers l'avant, générant un moment de tangage à cabrer, qui accentuent encore cet angle d'incidence.

Une plaque plane, en revanche, est intrinsèquement stable ; À mesure que l'angle d'incidence augmente, la force aérodynamique résultante se déplace vers l'arrière, générant des moments stabilisateurs qui s'opposent à l'augmentation de l'incidence.

L'instabilité des profils d'aile rend indispensable la présence d'un stabilisateur dans la configuration générale d'un avion — une surface généralement située à l'arrière.

3.2 Équilibre et stabilité

Un corps est en équilibre lorsque la somme de toutes les forces qui s'exercent sur lui et la somme des moments de toutes ces forces par rapport à un point quelconque s'annulent mutuellement.

La figure 86 illustre trois types d'équilibre : (a) montre un pendule suspendu au point (P) ; (b) montre le même pendule reposant désormais sur le point (P) ; et (c) montre une sphère sur un plan horizontal. Dans tous les cas, un poids (W) agit au centre de gravité et une force de réaction (R) s'applique au point de support (P) du corps. Les conditions d'équilibre susmentionnées sont indiquées à droite de la figure.

Cependant, on observe que ces trois types d'équilibre diffèrent. Le cas (a) est stable car, si le pendule est légèrement écarté de sa position verticale, il y revient après quelques oscillations. Le cas (b) est instable car, dès qu'il est écarté de la verticale, des moments non équilibrés apparaissent et accentuent l'écart par rapport à la verticale. Le cas (c) est indifférent (ou neutre) ; si la sphère est déplacée vers un point P' sur le même plan horizontal, elle y reste en équilibre. On dit donc qu'un corps

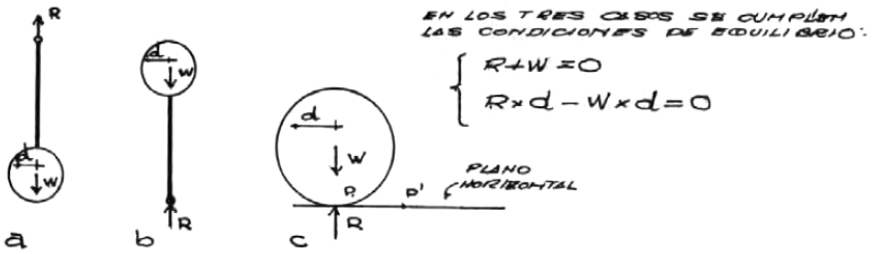


Fig. 86

— et plus particulièrement un avion ou une maquette volante — est stable lorsque, après avoir été écarté de son équilibre de vol, des forces et des moments de rappel apparaissent et tendent à le ramener à cet état d'équilibre. Il est instable lorsque, après avoir été écarté de cet état d'équilibre, des forces et des moments agissent sur lui en tendant à perturber davantage son équilibre. Il est enfin en équilibre indifférent lorsqu'il reste dans sa nouvelle position après avoir été déplacé de sa position d'équilibre initiale.

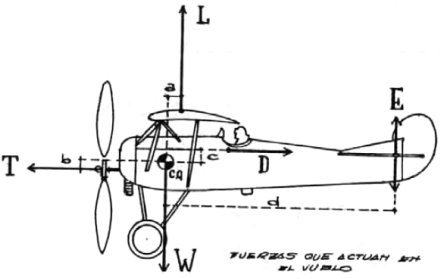


Fig. 87

Équilibre et stabilité longitudinaux

La figure 87 montre les forces agissant sur un avion ou une maquette volante en vol : W = poids de l'appareil appliqué au centre de gravité ; L = force de portance avec un bras de levier (a) par rapport au centre de gravité ; T = force de poussée de l'hélice avec un bras de levier (b) par rapport au centre de gravité (C.G.) ; D = résultante des forces de résistance à l'avancement avec un bras de levier (c) par rapport au C.G. ; F = force de portance ou force déportante exercée par le stabilisateur avec un bras de levier (d) par rapport au C.G. Considérons les forces agissant vers le haut comme positives et celles agissant vers le bas comme négatives. Définissons un moment positif comme celui qui tend à cabrer l'appareil (tendance au tangage à cabrer) et un moment négatif comme celui qui tend à le faire piquer (tendance au tangage à piquer).

Pour maintenir un vol en palier, les conditions d'équilibre des forces et des moments doivent être satisfaites. En calculant

les moments par rapport au centre de gravité (CdG), nous obtenons :

$+L - W \pm E = 0$

$+T - D = 0$

$-L.a + T.b + D.c \pm E.d = 0$

Un avion grandeur nature, avec son stabilisateur réglé dans une position donnée, peut atteindre l'équilibre à une vitesse et une incidence spécifiques. S'il rencontre un courant ascendant dans ces conditions, son incidence augmentera ; si les commandes ne sont pas actionnées, il réagira de l'une des cinq manières suivantes :

a) Il peut revenir à son état d'équilibre initial sans oscillation significative, démontrant ainsi une stabilité longitudinale complète.

b) Il peut rester dans sa nouvelle position, démontrant une stabilité neutre.

c) Il peut osciller avec une amplitude décroissante jusqu'à retrouver l'équilibre initial, démontrant à la fois une stabilité statique et dynamique (cette dernière étant caractérisée par la présence de forces amortissant ces oscillations).

d) Il peut osciller sans amortissement de ces oscillations, démontrant une stabilité statique mais pas de stabilité dynamique.

e) Il peut voir son incidence augmenter, démontrant une instabilité totale. Dans les cas (b), (d) et (e), le pilote doit rapidement agir sur les commandes pour rétablir l'équilibre.

Il en découle une leçon primordiale — importante, élémentaire et fondamentale pour le vol de nos modèles réduits : comme ils sont dépourvus de pilote ou de système de pilotage à distance ou automatique, ils doivent posséder à la fois une stabilité longitudinale statique et dynamique. C'est une caractéristique propre à tous les modèles réduits en vol libre, qui les distingue nettement des avions grandeur nature ou des modèles radiocommandés.

Le facteur principal influençant la stabilité longitudinale d'un modèle réduit est la position longitudinale de son centre de gravité par rapport à la corde de l'aile. D'autres facteurs importants incluent la taille du stabilisateur et son bras de levier (c'est-à-dire la distance longitudinale entre le stabilisateur et le centre de gravité), la position verticale du centre de gravité ainsi que la ligne de poussée. Tout modèle en vol libre dont le centre de gravité est trop avancé aura tendance à piquer (le nez s'abaisse) ; ce défaut peut être corrigé en relevant le bord de fuite du stabilisateur (en lui donnant une incidence négative).

En revanche, si le centre de gravité est trop reculé, appliquer une incidence positive au stabilisateur sera inutile. On reconnaît cette position du centre de gravité à la tendance marquée du modèle à cabrer — que ce soit en vol plané ou en vol propulsé — et au fait que, si l'on tente de corriger le problème en augmentant l'incidence positive, soit le défaut persiste, soit le modèle bascule soudainement en piqué, sans juste milieu.

Une telle position du centre de gravité révèle une absence totale de stabilité longitudinale. Dans ces conditions, le modèle est impossible à faire voler ; la seule solution — sans la moindre hésitation — consiste à ajouter du lest à l'avant pour avancer le centre de gravité, même si l'on peut être réticent à le faire après s'être efforcé de construire un modèle léger.

Un autre cas d'instabilité survient lorsque le modèle, peu après avoir épuisé son élan initial et entamé une montée en spirale vers la droite, perd de la vitesse : au lieu d'abaisser le nez pour reprendre de la vitesse, il conserve une assiette cabrée (nez haut) et, légèrement incliné vers la gauche, redescend en flottant comme une feuille morte.

Ces caractéristiques révèlent deux problèmes. D'une part, la perte de vitesse et l'inclinaison vers la gauche (malgré un virage à droite) indiquent un pas d'hélice inadapté — plus précisément, un rapport pas/diamètre trop élevé. Il en résulte un mauvais rendement de l'hélice, car l'énergie fournie par le moteur est davantage consommée par la composante de torsion que par la composante de traction.

En vertu du principe d'action et de réaction, la composante de torsion génère un couple antagoniste qui se traduit par une inclinaison vers la gauche, tandis que la faiblesse de la composante de traction provoque la perte de vitesse.

D'autre part, la descente verticale, semblable à celle d'un hélicoptère, indique que l'angle d'incidence a rapidement atteint 90° sans qu'aucune force stabilisatrice tendant à abaisser le nez n'entre en jeu ; cela caractérise une stabilité neutre.

La solution à ces deux problèmes consiste à utiliser une hélice ayant un rapport pas/diamètre plus faible et à déplacer le centre de gravité (CdG) vers l'avant en ajoutant du lest dans le nez.

Obtenir la stabilité longitudinale d'un modèle réduit est aussi simple que d'ajouter du lest à l'avant. Toutefois, expliquer le phénomène sous-jacent est assez complexe. Je vais néanmoins tenter de l'expliquer, du moins de manière intuitive.

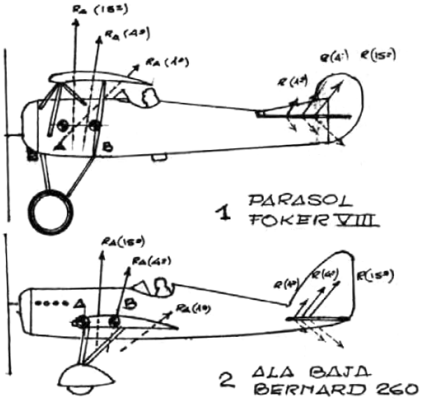


Fig. 88

La figure 88 présente deux exemples de modèles : le Fokker VIII à aile parasol et le Bernard 260 à aile basse. Pour chacun d'eux, on a tracé les forces aérodynamiques résultantes s'exerçant sur l'aile pour des angles de 1°, 4° et 15°. Comme nous l'avons vu au chapitre 5-1, cette force résultante varie en intensité, en direction et en point d'application à mesure que l'angle d'incidence de l'aile augmente.

Dans les deux cas, nous indiquons deux emplacements possibles pour le centre de gravité (C.G), désignés par (A) et (B). Dans les deux exemples, la position (A) correspond à un réglage avant ou normal du C.G, tandis que la position (B) correspond à un réglage arrière.

Analyse du C.G : lorsqu'il est situé en (A) pour les deux exemples — et pour de faibles angles d'incidence —, la résultante aérodynamique exerce un moment piqueur

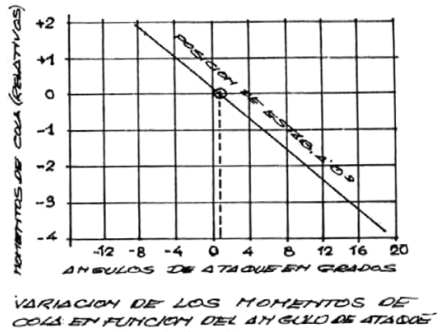


Fig. 89

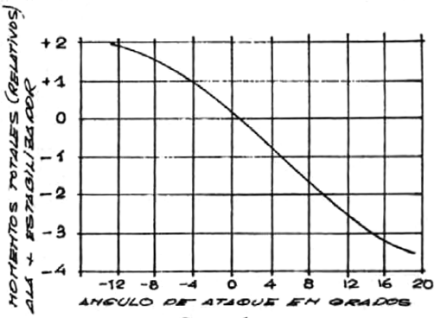


Fig. 90

(tendant à abaisser le nez). À mesure que l'angle d'incidence augmente, la résultante aérodynamique voit son intensité croître, sa direction changer et son bras de levier par rapport au point (A) (le centre de gravité) varier ; toutefois, le sens de rotation autour de ce point reste orienté vers le bas (tendance à piquer), s'opposant ainsi à l'augmentation de l'incidence. Il y a donc stabilité.

À l'inverse, lorsque le centre de gravité est situé au point (B) (cas n° 1), la résultante aérodynamique augmente, change de direction et voit son bras de levier varier, mais elle génère systématiquement une rotation à cabrer (tendance à lever le nez) autour de (B), ce qui a pour effet d'accentuer l'assiette à cabrer.

Dans le cas n° 2 (configuration à aile basse), la situation est encore plus défavorable : la résultante aérodynamique passe d'un moment piqueur (aux faibles incidences) à un moment cabreur (aux fortes incidences), en traversant un état de moment nul pour des incidences intermédiaires. Dans les deux cas, il en résulte une instabilité.

Examinons maintenant l'empennage, car c'est là que prend naissance l'effet stabilisateur principal. La figure 89 présente un graphique illustrant l'évolution des moments d'empennage par rapport au centre de gravité — pour un calage d'empennage donné par rapport à l'axe de poussée (ici, 0°) — en fonction de l'incidence par rapport au flux d'air. Dans cet exemple, pour une incidence de +1°, l'effet de l'empennage par rapport au centre de gravité s'annule. Lorsque l'incidence augmente (situation à cabrer), des moments d'équilibrage négatifs (tendance à piquer) apparaissent. À l'inverse, lorsque l'incidence diminue, des moments positifs (également d'équilibrage) se manifestent. L'effet de l'empennage est donc toujours stabilisateur ; toutefois, l'effet total sur le centre de gravité dépend de la somme des moments d'empennage et du moment généré par la résultante aérodynamique de l'aile, en tenant compte de leurs signes respectifs.

Le moment stabilisateur de l'empennage

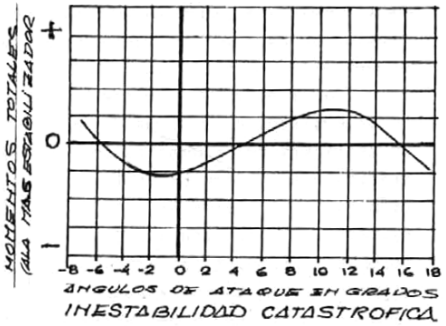


Fig. 91

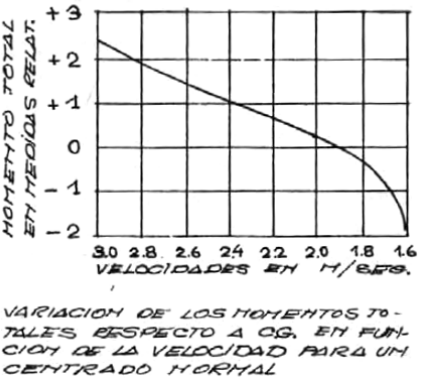


Fig. 92

reste efficace tant qu'il n'est pas annulé — voire surpassé — par un moment déstabilisateur provenant de la résultante aérodynamique de l'aile. La figure 90 montre la courbe du moment total pour un modèle stable, c'est-à-dire l'effet combiné des moments de l'empennage et de l'aile par rapport au centre de gravité. Notez que le modèle sera stable tant que la courbe présentera une pente descendante de gauche à droite, alors qu'il sera instable si elle présente une pente ascendante vers la droite.

Les premiers concepteurs d'avions commettaient souvent l'erreur conceptuelle de croire que la position idéale du centre de gravité se situait exactement sous le centre de poussée correspondant à l'angle d'incidence d'équilibre de l'appareil. Il en résultait un centre de gravité trop reculé, atteignant souvent 40 % de la corde de l'aile.

Ce positionnement a provoqué des accidents attribués à ce que l'on a appelé une instabilité catastrophique.

La figure 91 présente la courbe du moment total pour un avion sujet à cette instabilité catastrophique. Comme on peut le constater, la pente change de signe le long de la courbe. Dans ce cas précis, l'avion (ou la maquette) est instable pour des angles d'incidence compris entre -1° et +11°. J'examine une magnifique photographie de profil de la Demoiselle en vol, avec son créateur aux commandes ; on peut y mesurer avec précision le calage du stabilisateur, réglé à +10° par rapport à l'axe de poussée. C'est un témoignage éloquent des efforts considérables que Santos-Dumont a dû déployer pour maintenir un vol équilibré aux commandes d'une machine considérée, à juste titre, comme très instable.

Les amateurs de maquettes représentant l'ère des pionniers (1903-1913) doivent noter que ces caractéristiques sont exacerbées sur nos modèles, car l'écheveau de caoutchouc déplace le centre de gravité encore plus vers l'arrière. Solution : agrandir le stabilisateur et ajouter du lest à l'avant.

Comme indiqué précédemment, la figure 89 illustre la variation du moment de l'em-

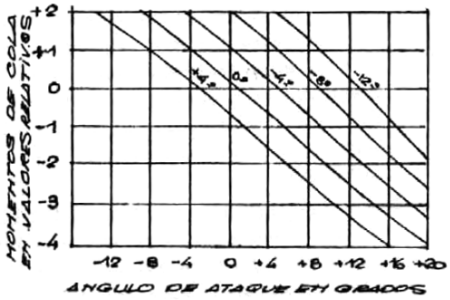


Fig. 93

pennage en fonction de l'angle d'incidence, à vitesse constante.

Toutefois, nous savons que nos modèles comme tout modèle propulsé par un moteur à élastique, volent à une vitesse variable à mesure que le moteur se détend. Cette vitesse est proportionnelle au couple transmis à l'hélice ; le couple est maximal au début du vol et diminue progressivement.

La figure 92 montre la variation des moments totaux autour du centre de gravité en fonction de la vitesse pour un modèle stable donné. Le graphique indique que le modèle maintient un vol horizontal équilibré à une vitesse de 1,9 m/s (moment nul). À des vitesses supérieures, des moments de cabrage apparaissent et font monter le modèle, tandis qu'à des vitesses inférieures, des moments de piquage surviennent et le font descendre. Comme indiqué précédemment, le centre de gravité (CG) du modèle doit être positionné, dans le sens longitudinal, en avant d'un point critique. À mesure que le CG se déplace vers le nez, le modèle a tendance à piquer du nez durant le vol plané. Pour contrer cette tendance, on règle le stabilisateur selon un angle négatif. Il en résulte un vol en palier avec le nez maintenu haut, c'est-à-dire à une incidence plus élevée.

La figure 93 illustre la famille de courbes du moment d'empennage en fonction de l'incidence, pour un stabilisateur réglé selon différents angles par rapport à l'axe de poussée. On constate que plus le réglage du stabilisateur est négatif, plus l'incidence requise pour obtenir un vol en palier équilibré (c'est-à-dire où le moment d'empennage est nul) est élevée. Par conséquent, cette tendance du stabilisateur à réglage négatif à fonctionner à des incidences élevées amène le modèle à adopter une pente de montée prononcée durant la phase initiale du vol (à pleine puissance).

C'est un facteur déterminant pour le réglage d'une maquette volante. Si l'on vole dans un lieu à haut plafond, déplacer le centre de gravité (CG) vers l'avant et régler le stabilisateur avec un angle d'incidence négatif permettra au modèle d'atteindre des altitudes considérables, favorisant ainsi des descentes prolongées.

À l'inverse, si le plafond est bas, il convient de reculer le CG — pour le rapprocher du point critique — et de réduire l'incidence négative du stabilisateur afin que la trajectoire de vol reste sous le plafond.

Enfin, il convient de mentionner une erreur de réglage fréquente qui piège de nombreux passionnés : lorsque le CG est très reculé (près du point critique), beaucoup de modélistes tentent de corriger une tendance au cabré en appliquant une incidence positive au stabilisateur. Cette méthode fonctionne bien durant la majeure

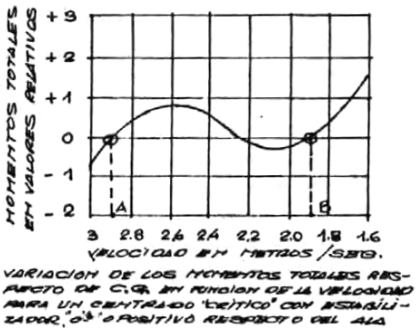


Fig. 94

partie du vol, mais à mesure que la vitesse chute en fin de parcours, le modèle commence à cabrer — un effet qui s'accentue progressivement. Le modèle finit par tomber plutôt que d'atterrir. L'explication est la suivante :

Alors qu'un réglage standard implique une incidence négative du stabilisateur de 3° à 5° par rapport à l'aile, ce type de configuration minimise, voire annule, la différence d'incidence entre les deux surfaces. L'objectif est ici de créer un stabilisateur porteur. Par conséquent, la variation des moments totaux autour du CG suit le graphique de la Fig. 94 plutôt que celui de la Fig. 92. Le modèle se comportera correctement en dessous d'une certaine vitesse minimale.

Dans le scénario illustré par la Fig. 94, si le moteur est fortement remonté et que le vol débute à une vitesse supérieure à 2,9 m/s (point A), le modèle manifestera initialement une tendance au piqué, qui s'estompera progressivement. Toutefois, si cette tendance persiste au-delà d'un bref instant, le modèle s'écrasera au sol avec des conséquences désastreuses. Si la puissance initiale est plus faible et la vitesse inférieure à 2,9 m/s, le modèle entamera une montée (moment total positif), se stabilisera à une certaine altitude (moment = 0) puis descendra ; cependant, à une certaine vitesse critique (point B), le stabilisateur — qui générait de la portance quelques instants auparavant — cessera de le faire. Cela génère un moment positif (tendance à cabrer) qui, faute de vitesse air, entraîne un décrochage (suivi d'une chute finale).

Les exemples qui viennent d'être évoqués renforcent la conviction qu'un équilibrage correct est toujours la condition essentielle pour réussir son vol. On peut comprendre la réticence du modéliste à ajouter du poids à un modèle dont l'achèvement a nécessité tant de sacrifices pour respecter une limite de 5 grammes... et pourtant, c'est un fait indéniable : les grammes économisés lors de l'équilibrage se révèlent contre-productifs !

Équilibrage pratique et réglage longitudinal

Les considérations théoriques précédentes visent à éviter que le modéliste ne considère l'équilibrage et le réglage longitudinal comme de simples tâches mécaniques ; il doit au contraire comprendre les raisons de chaque correction, qu'elle concerne l'équilibre ou le réglage.

Il convient tout d'abord de définir clairement les concepts d'équilibrage et de réglage. Une fois que nous aurons appris à les distinguer, nous serons prêts à réussir nos vols.

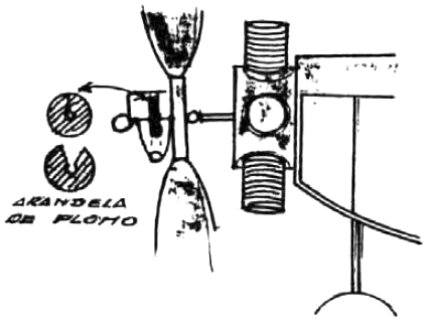


Fig. 95

L'équilibrage dépend essentiellement de la position longitudinale du centre de gravité par rapport à un point critique précis.

Le réglage dépend exclusivement des angles d'incidence du stabilisateur et de l'axe de l'hélice.

L'équilibrage est une condition sine qua non pour un vol correct. Une maquette mal équilibrée ne peut être corrigée par le seul réglage. À l'inverse, un modèle mal réglé — bien qu'il puisse être amélioré par un meilleur réglage — peut également être optimisé en ajustant l'équilibrage, sans modifier les réglages d'incidence.

Ceci étant posé, entrons dans le vif du sujet. Nous nous trouvons dans un gymnase ou un hangar de taille similaire, idéalement doté d'un plafond exempt de pièges tels que des fermes de charpente, des câbles de tension, des luminaires ou des fils suspendus en apparence inoffensifs. Une grande table sera très utile, et disposer d'une chaise le sera encore davantage.

Nous tentons d'abord de trouver le point d'équilibre : le modèle étant posé sur la table, nous essayons de le soulever en plaçant deux doigts sous les extrémités des ailes, à 25 % de la corde (mesurée depuis le bord d'attaque). Si le fuselage reste à l'horizontale lors du soulèvement, c'est bon signe. Si, au contraire, l'empennage s'affaisse — ce qui arrivera presque certainement — il faudra ajouter du lest (plomb) à l'avant. La méthode la plus efficace pour lester le nez consiste à placer une rondelle en plomb à l'extrémité de l'axe d'hélice, comme illustré à la figure 95 ; à cet endroit, la masse exerce un effet de levier maximal par rapport au centre de gravité, ce qui permet de minimiser la quantité de lest ajoutée.

Ensuite, nous effectuerons un essai de vol plané. Tout d'abord, vérifiez que le stabilisateur est réglé selon un angle négatif de 3 à 5 degrés par rapport à l'aile et que sa gouverne mobile est en position neutre — c'est-à-dire qu'elle ne forme aucun angle avec la partie fixe du stabilisateur. Naturellement, le moteur en caoutchouc approprié doit être installé en veillant à ce qu'il soit réparti uniformément le long du fuselage. Il sera nécessaire de le remonter quelques tours afin que les nœuds formés soient régulièrement espacés sur toute la longueur du moteur.

Nous procédons ensuite au lancement en douceur du modèle (à vitesse de plané) vers l'avant, avec une inclinaison d'environ 5 degrés vers le bas par rapport à l'horizon. En règle générale, le résultat sera l'un des suivants :

a) Un vol plané stable, rectiligne et à faible pente, se terminant par un atterrissage en douceur.

b) Un vol court se soldant par un piqué (le nez plonge vers le sol).

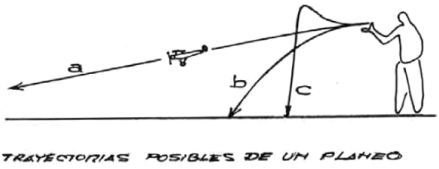


Fig. 96

c) Un cabré initial, accompagné d'un roulis et d'une chute brutale, quasi verticale.

La trajectoire (a) indique un équilibrage correct et un réglage (trim) approprié. La trajectoire (b) indique un poids excessif à l'avant ou un centre de gravité (CG) trop avancé. Remarque : le problème ici ne réside pas dans un manque d'équilibre en soi, mais plutôt dans un CG trop avancé et un manque de coordination entre cet équilibre et le réglage du stabilisateur. Deux solutions sont possibles dans ce cas : soit ajuster l'équilibre pour qu'il corresponde au réglage du stabilisateur en reculant le CG, soit ajuster le réglage du stabilisateur pour qu'il corresponde à l'équilibre en augmentant l'angle négatif du stabilisateur.

La trajectoire (c) indique un lestage insuffisant à l'avant ou un centre de gravité trop reculé. Dans ce cas, il s'agit bien d'un problème d'équilibrage ; la seule solution consiste à ajouter du lest à l'avant. Ne réglez jamais la gouverne mobile du stabilisateur sur un angle positif !

Une fois qu'un vol plané de type (a) est obtenu grâce aux corrections décrites, nous tenterons un vol motorisé. Remontez le moteur entre 60 % et 80 % du nombre maximal de tours autorisé pour un moteur rodé et lancez le modèle horizontalement vers l'avant à vitesse de vol. Mettons de côté la question du virage pour le moment, car le modèle sera réglé pour voler en cercles. En supposant que le pas de l'hélice soit correct (nous partirons d'un rapport pas/diamètre de 1,5) et que la section longitudinale moteur soit appropriée, le vol suivra généralement l'un de ces schémas : une montée très faible malgré une vitesse suffisante, une montée modérée ou une montée violente.

Quel est le profil de vol idéal ? Tout dépend de la hauteur sous plafond du lieu d'évolution. Si le plafond est haut — 10, 12 ou 14 mètres — le dernier mode est avantageux, car l'énergie initiale élevée peut être utilisée pour gagner de l'altitude avant d'entamer une longue spirale descendante. Si le plafond est bas — pas plus de 5 ou 6 mètres — ce mode est risqué, car le modèle heurtera le plafond, avec les conséquences prévisibles que cela implique. Dans ce cas, il est essentiel d'adopter un mode intermédiaire.

Pour modifier l'angle de montée, deux méthodes peuvent être utilisées : 1) La première consiste à changer l'orientation de l'axe de l'hélice (ou ligne de poussée) en insérant une petite cale entre le bloc-nez et le fuselage. Pour nos modèles réduits, cette cale aura une épaisseur de quelques dixièmes de millimètre seulement et sera placée soit en haut, soit en bas, selon que l'on souhaite respectivement une montée plus faible ou plus prononcée. 2) La seconde méthode consiste à déplacer le centre de gravité (CG) vers l'avant ou vers l'arrière, selon que l'on souhaite une montée plus raide ou plus douce — bien que cela puisse sembler contre-intuitif.

Explications. Nous avons précédemment

établi qu'un équilibrage correct (position du CG) est une condition indispensable pour réussir le vol. Pour obtenir un équilibre adéquat, la position du CG le long du fuselage doit se situer en avant d'un certain point critique — sans pour autant être fixée à un endroit précis. Si le CG se retrouve en arrière de ce point critique, le modèle de vol libre devient impossible à faire voler. Le positionnement du CG en avant de ce point — à des distances variables — donne lieu à ce que l'on appelle respectivement des positions de CG avant ou arrière.

Chaque position du CG nécessite un réglage d'incidence du stabilisateur différent. Pour un CG avant : un réglage du stabilisateur plus négatif ; pour un CG arrière : un réglage du stabilisateur moins négatif. C'est précisément cette combinaison entre la position du centre de gravité et le calage qui détermine l'angle de montée d'un modèle, et la seconde méthode que nous abordons repose sur ce principe. Un centre de gravité avancé favorise des montées prononcées, tandis qu'un centre de gravité reculé entraîne des angles de montée plus faibles. Chaque fois que la position du centre de gravité du modèle est modifiée, il convient d'effectuer un essai de vol plané en ajustant le calage de l'empennage jusqu'à obtenir le type de plané (a) illustré à la figure 96. On procède ensuite aux essais en vol motorisé.

Stabilité latérale

Nous avons précédemment analysé la stabilité longitudinale, c'est-à-dire la résistance du modèle au tangage, ou mouvement autour de l'axe transversal (T-T) passant par le centre de gravité (fig. 98).

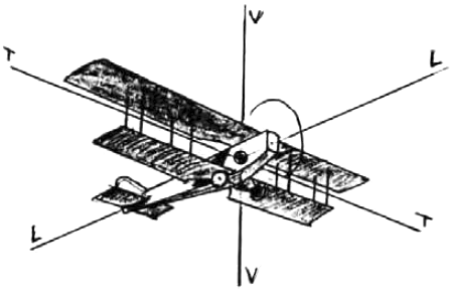


Fig. 98

Au sens large, la stabilité latérale implique trois types de mouvements étroitement liés :

a) le lacet ou le dérapage (mouvement autour de l'axe vertical).

b) le glissement latéral (ou dérapage latéral).

c) le roulis, le balancement ou la rotation autour de l'axe longitudinal.

Par souci de clarté, et dans la mesure du possible, il est préférable de les analyser séparément.

Stabilité en roulis ou stabilité latérale

La stabilité en roulis est la tendance d'un modèle à résister à la rotation autour de son axe longitudinal — c'est-à-dire à maintenir les extrémités des ailes à l'horizontale. Lorsqu'un mouvement de roulis survient pour diverses raisons, l'une des trois situations suivantes peut se présenter :

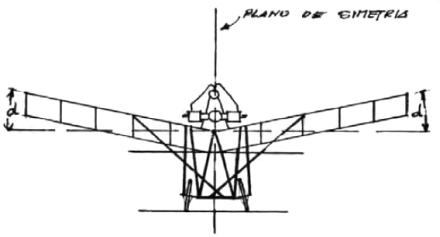


Fig. 99

1) Le modèle continue de tourner ; on dit qu'il manque de stabilité en roulis ou qu'il est instable à cet égard.

2) Le modèle reste incliné et glisse latéralement vers l'aile basse ; on dit qu'il présente une stabilité neutre (ou indifférente).

3) Le modèle revient à sa position d'équilibre plus ou moins rapidement ; on dit qu'il possède une stabilité statique en roulis.

Toutefois, ce rétablissement s'opère après quelques oscillations d'amplitude décroissante. L'amortissement de ces oscillations est ce que l'on appelle la stabilité dynamique, que nous analyserons plus loin.

Le moment stabilisateur tout comme le moment d'amortissement dépendent des quatre facteurs suivants :

a) Le dièdre de l'aile

b) L'effet de quille

c) La flèche de l'aile

d) La répartition des masses par rapport à l'axe longitudinal.

Les trois premiers facteurs agissent indirectement, car ils opèrent par le biais d'un effet secondaire produit par le roulis : le glissement latéral.

Dièdre de l'aile Le dièdre (Fig. 99) se définit comme l'angle formé entre le plan de la corde d'une demi-envergure (panneau d'aile) et le plan perpendiculaire au plan de symétrie contenant la corde de la section centrale. Son effet stabilisateur indirect provient du glissement latéral qui se produit sur un modèle lorsqu'il pivote autour de son axe longitudinal. En effet, lorsque cela se produit — que ce soit sous l'effet d'un courant d'air ou, très fréquemment sur nos modèles, en raison du repositionnement soudain des nœuds du moteur en caoutchouc, le modèle perd momentanément de la portance ; tout en descendant légèrement, il glisse également latéralement. Ce double mouvement engendre un flux d'air relatif — se déplaçant dans le sens opposé au mouvement du modèle — qui frappe les ailes, comme l'illustre la figure 100.

Nous représentons ce flux d'air incident par les vecteurs Vld et Vli, qui indiquent la vitesse latérale en termes de grandeur, de direction et de sens. Chacun de ces vecteurs peut être décomposé en une composante normale à l'intrados de l'aile (Vnd pour l'aile droite et Vni pour l'aile gauche) et une composante tangentielle (Vtd pour la droite et Vti pour la gauche). On constate que la composante normale Vnd agissant sur l'aile qui s'abaisse est supérieure à la composante Vni agissant sur l'aile qui remonte. La même figure montre deux profils d'aile — droit et gauche, symétriques par rapport au plan de symétrie — ainsi que les vecteurs de flux d'air relatif (V) pour un vol équilibré ; ces vecteurs indiquent la grandeur, la direction et le sens de la vitesse, formant un angle d'incidence (i) avec la corde des deux profils.

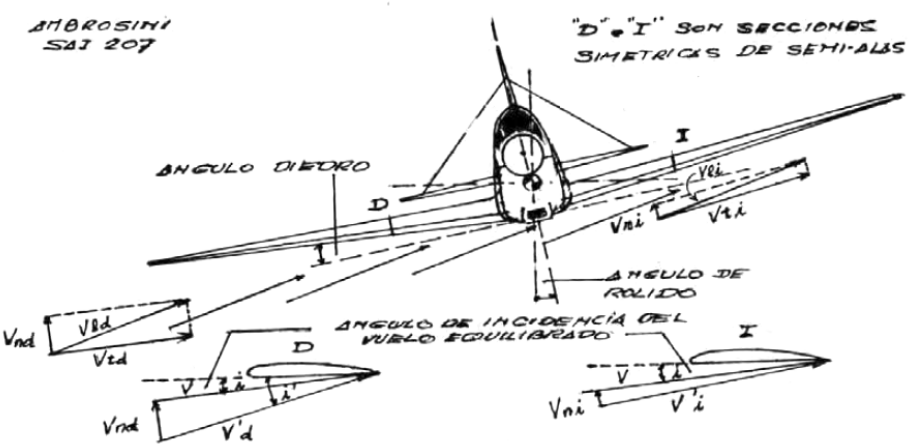


Fig. 100

Si l'on additionne vectoriellement les vitesses normales respectives (Vnd et Vni) résultant du dérapage aux vecteurs de vitesse initiaux (droit et gauche), on obtient les vecteurs V'd (profil droit) et V'i (profil gauche) ; ceux-ci représentent la vitesse et l'incidence résultantes pour chaque demi-aile. Comme on peut le constater, le vecteur correspondant à l'aile descendante est légèrement plus grand, et son angle d'incidence est également légèrement supérieur à celui de l'autre aile. Cela génère une portance excédentaire sur l'aile basse, tendant à la relever et à la remettre au même niveau que l'aile opposée.

L'effet stabilisateur de l'angle de dièdre est donc directement proportionnel à la valeur de cet angle et au coefficient de portance du profil d'aile.

En règle générale, les avions grandeur nature dont s'inspirent nos modèles présentent un dièdre. Toutefois, il est courant de donner aux modèles de vol libre un angle de dièdre légèrement plus prononcé (quitte à perdre quelques points de statique), car, en l'absence de toute commande en vol, la stabilité autour de l'axe longitudinal sera assurée presque exclusivement par ce facteur.

Effet de quille Lorsqu'un dérapage survient à la suite d'un mouvement de roulis — comme cela a été évoqué précédemment —, la composante tangentielle (Vt) de l'écoulement d'air relatif (Fig. 100) agit sur les surfaces latérales du modèle. Cette surface correspond essentiellement au profil latéral apparent du modèle ; elle présente un point, appelé centre de poussée latérale (C.P.L.), où s'exerce la résultante

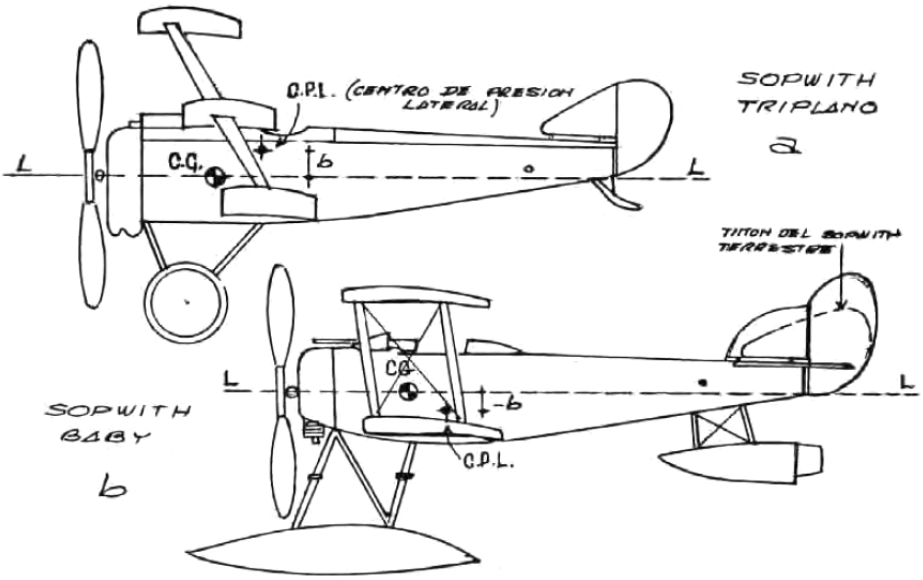


Fig. 101

de cette force latérale.

Comme on peut le comprendre, la position de ce point par rapport à l'axe longitudinal passant par le centre de gravité (C.G.) dépend de la surface latérale projetée de tous les éléments de l'avion : fuselage, ailes, empennage, roues, mâts, flotteurs, haubans, etc. Ce point peut se situer au-dessus de cet axe (Fig. 101-a), sur l'axe lui-même ou en dessous (Fig. 101-b).

Dans le premier cas, la force latérale appliquée au centre de poussée latérale (C.P.L.) avec un bras de levier (b) générera un moment stabilisateur s'opposant au roulis. Dans le second cas, on observera une neutralité (indifférence). Dans le troisième cas, la force latérale engendrera un moment déstabilisateur qui accentuera le roulis.

On remarquera que, sur le Sopwith Baby, la dérive de l'appareil réel apparaît agrandie par rapport à celle de la version terrestre (représentée en pointillés) afin de compenser partiellement l'effet de quille déstabilisateur provoqué par les flotteurs.

En règle générale, le C.P.L. d'un avion se situe au-dessus de l'axe de roulis, assurant ainsi un effet de quille stabilisateur. Toutefois, dans le cas des hydravions à flotteurs, ce point peut se trouver sous l'axe, créant un effet de quille déstabilisateur ; c'est un facteur à prendre en compte avant d'en-

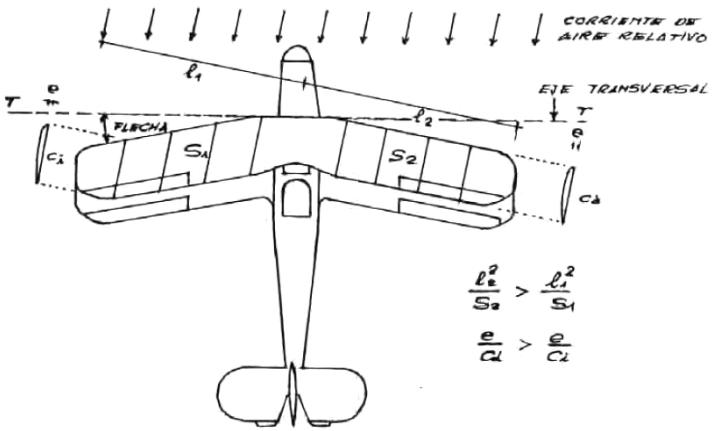


Fig. 102

treprendre la construction d'une maquette représentant ce genre d'appareil.

Dans de telles situations, il est conseillé d'estimer la position de ce point, une opération qui ne présente guère de difficulté. Pour ce faire, on découpe le profil latéral de l'avion dans du carton. Le C.P.L. coïncidera approximativement avec le centre de gravité de la silhouette ainsi obtenue. Pour déterminer ce centre de gravité, on suspend la silhouette par deux points choisis arbitrairement et l'on trace sur le carton une ligne verticale passant par chaque point de suspension lorsque la maquette est suspendue librement. L'intersection de ces deux lignes indique le centre de gravité de la silhouette qui, comme mentionné précédemment, coïncidera à peu près avec le C.P.L. recherché.

Effet de flèche Le terme flèche désigne l'angle aigu formé entre l'axe transversal et la projection du bord d'attaque d'une demi-aile sur le plan défini par les axes transversal et longitudinal (Fig. 102). Lorsqu'un modèle à ailes en flèche s'incline (mouvement de roulis), un dérapage se produit également ; par conséquent, le flux d'air relatif frappe l'aile basse selon un angle plus proche de la perpendiculaire au bord d'attaque, tandis qu'il frappe le bord d'attaque de l'aile haute de manière plus oblique.

Il en résulte que l'allongement apparent de l'aile descendante (l_2^2/S_2) est supérieur à celui de l'aile haute (l_1^2/S_1) ; de même, le rapport entre l'épaisseur (e/c_1) et la corde est plus élevé pour l'aile descendante que pour l'aile haute.

Ces deux facteurs confèrent une portance accrue à l'aile descendante, engen-

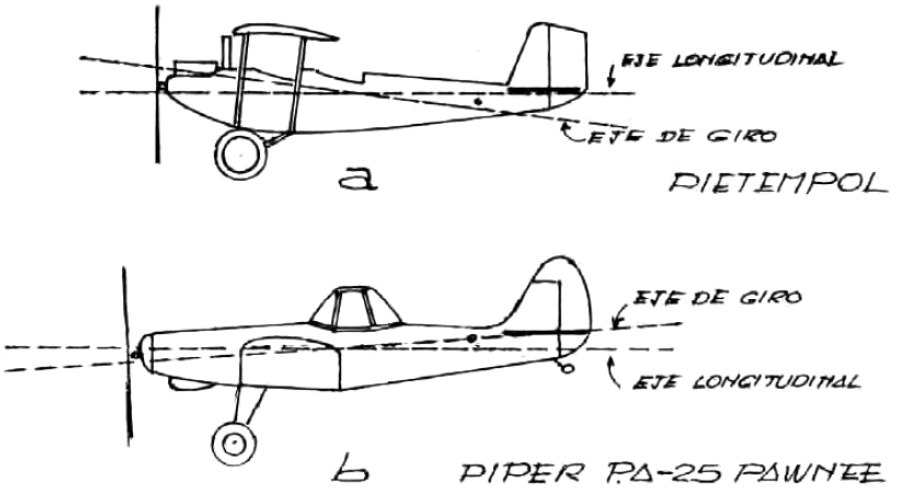


Fig. 103

drant ainsi un effet stabilisateur.

L'effet stabilisateur de la flèche est moins marqué que celui du dièdre.

Répartition des masses Nous avons précédemment supposé que le mouvement de roulis s'effectuait autour de l'axe longitudinal. En réalité, toutefois, ce mouvement se produit autour de l'axe d'inertie minimale — ou, plus simplement, autour d'un axe déterminé par la répartition des masses du modèle. Cet axe s'écarte parfois considérablement de l'axe longitudinal. Dans les configurations à aile parasol (Fig. 103-a), la position surélevée de l'aile par rapport au fuselage peut provoquer une inclinaison de l'axe de rotation vers le haut et vers l'avant. À l'inverse, dans une configuration à aile basse — en particulier lorsque le fuseau moteur (qui représente une part importante de la masse, soit 16 % du poids du modèle sans le caoutchouc) est aligné avec l'axe de l'hélice (généralement réglé avec un angle d'incidence négatif) — l'axe de rotation a tendance à s'incliner vers le bas et vers l'avant (Fig. 103-b). Lorsque l'axe de roulis ne coïncide pas avec l'axe longitudinal du modèle, la rotation autour de cet axe entraîne également des rotations secondaires autour des deux autres axes : l'axe vertical, affectant la direction ou le cap du vol, et l'axe transversal, affectant la trajectoire horizontale par le biais du tangage. Dans le cas d'un axe de roulis incliné vers le haut (Fig. 103a), lorsqu'un tel mouvement de roulis se produit, l'aile gagne en incidence — ce qui tend à provoquer un mouvement de tan-

gage à piquer (cabré) — tandis que l'empennage vertical exerce un effet stabilisateur s'opposant au roulis. Dans le cas d'un axe de roulis incliné vers le bas (Fig. 103b), lorsque le roulis survient, l'aile perd de l'incidence — provoquant un mouvement de tangage à piquer — tandis que l'empennage vertical exerce un effet déstabilisateur favorisant le roulis.

Stabilité latérale dynamique

Lorsqu'un avion oscille autour de son axe longitudinal (Fig. 104), outre les effets de dérapage évoqués précédemment, un autre phénomène se produit, indépendant de l'effet de dièdre et persistant donc même en l'absence de celui-ci. Ce phénomène est l'amortissement de ces oscillations jusqu'à leur arrêt, ce qui constitue précisément la stabilité dynamique. Le mécanisme est le suivant : lorsqu'un mouvement de roulis autour de l'axe longitudinal entraîne la descente d'une extrémité d'aile et la montée de l'autre (Fig. 104), un flux d'air relatif est généré perpendiculairement à l'intrados de chaque demi-aile (avec une intensité croissante vers les extrémités). Ce flux se déplace en sens inverse du mouvement de l'aile ; pour des sections situées symétriquement près des extrémités, les vitesses résultantes sont Vnd et Vni (vitesses normales à droite et à gauche, respectivement).

Ces vitesses d'air se combinent à la vitesse du flux d'air relatif en vol normal à l'incidence I (Fig. 104a, b) pour produire des vitesses résultantes Vrd et Vri (vitesses résultantes à droite et à gauche). Appliquées aux profils d'aile concernés, elles engendrent des angles d'incidence effectifs de +Id et -Ii. L'angle d'incidence effectif du flux d'air sur l'aile descendante sera toujours supérieur à celui du flux sur l'aile montante, générant ainsi une portance accrue sur la première et une portance réduite sur la seconde. Par conséquent, le centre de poussée global de l'aile se déplace, lors de chaque oscillation, du plan de symétrie vers l'extrémité de l'aile descendante, créant ainsi une stabilité dynamique.

Stabilité directionnelle ou de trajectoire

On dit qu'un avion possède une stabilité directionnelle ou de trajectoire lorsque, après avoir été momentanément écarté de sa trajectoire de vol vers un côté ou l'autre, un moment apparaît pour le ramener sur cette trajectoire. Un avion peut présenter une stabilité positive, neutre ou négative. La stabilité neutre facilite les manœuvres rapides, raison pour laquelle elle est privilégiée sur les avions de chasse.

La stabilité directionnelle ou de trajectoire est obtenue principalement de deux manières : par la flèche de l'aile et par l'effet de quille. Comment cette caractéristique affecte-t-elle nos modèles ? Il est évident qu'une stabilité directionnelle excessive rendra plus difficile l'amorçage d'un virage en utilisant uniquement la gouverne de direction, surtout lorsque le débattement de celle-ci est relativement faible.

Effet des ailes en flèche sur la stabilité directionnelle Lorsqu'un modèle à ailes en flèche entre en lacet — c'est-à-dire qu'il pivote autour de son axe vertical (Fig. 105) — la vitesse et l'envergure effective de l'une des ailes augmentent à mesure que

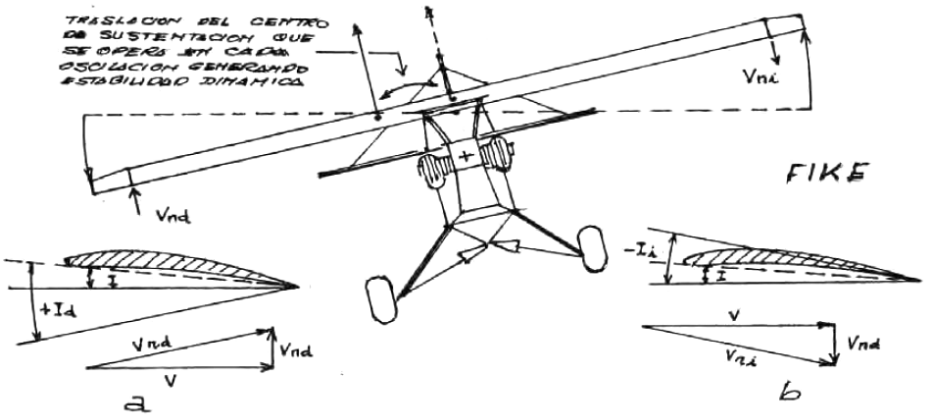


Fig. 104

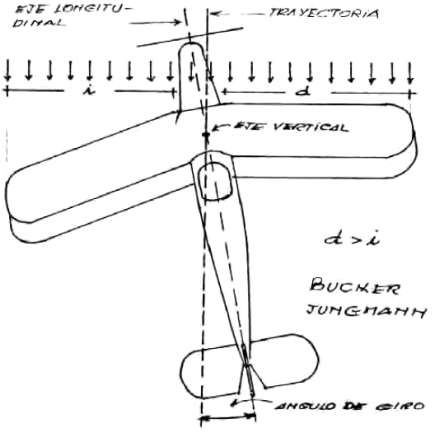


Fig. 105

son bord d'attaque se rapproche d'une position perpendiculaire au flux d'air relatif ; simultanément, la vitesse et l'envergure effective de l'autre aile diminuent, et son bord d'attaque devient encore plus oblique par rapport au flux d'air relatif. Il en résulte une traînée plus importante sur la première aile que sur la seconde, ce qui génère un moment tendant à rétablir la trajectoire de vol initiale. Il convient de noter que, nos modèles étant réglés pour voler en cercle, les ailes en flèche réduisent quelque peu l'efficacité de la gouverne de direction.

À l'inverse, les virages obtenus en décalant l'axe de traction de l'hélice sont favorisés par ce type de voilure. En effet, si l'on imagine l'axe de l'hélice (représenté sur la Fig. 105) orienté selon la ligne marquée trajectoire, le modèle aura tendance à voler dans cette direction, créant un flux d'air relatif oblique par rapport à l'axe transver-

sal du modèle. Conformément aux principes exposés précédemment, un moment apparaîtra, provoquant la rotation du modèle autour de son axe vertical vers le côté correspondant au décalage de l'axe de l'hélice.

Stabilité directionnelle due à l'effet de girouette Lorsqu'un avion en vol pivote autour de son axe vertical et s'écarte de sa trajectoire, le flux d'air relatif exerce une pression sur les surfaces latérales ; la force résultante s'applique à une certaine distance de cet axe vertical. En général, ce point — appelé centre de poussée latérale (CLP) — se situe en arrière de l'axe (Fig. 106), créant un effet de girouette ; l'intensité de cet effet augmente avec la distance (d).

Il est évident que la taille de l'empennage vertical (la dérive) joue un rôle déterminant dans la position du CLP. Lors de la conception, on a tendance à agrandir la dérive — tout comme on agrandit le stabilisateur horizontal — afin de préserver l'équilibre des proportions.

Toutefois, si l'agrandissement du stabilisateur horizontal est nécessaire pour améliorer la stabilité longitudinale (comme nous l'avons vu précédemment), l'augmentation de la taille de la dérive n'est généralement pas requise pour la stabilité directionnelle. En effet, un effet de girouette excessif peut conduire à ce que l'on appelle une instabilité spirale.

Comme nos modèles sont réglés pour voler en spirale, si le virage se resserre trop, le modèle s'incline brusquement ; lors du dérapage latéral qui en résulte, l'effet de girouette accentue encore le virage, le transformant en vrille avec les conséquences que l'on imagine. Une dérive de taille modérée permet donc de limiter ce risque pour nos modèles évoluant en spirale.

Un effet de girouette exagéré réduit l'efficacité de la gouverne de direction, surtout si celle-ci est de petite taille.

À l'inverse, le virage induit par un décalage de l'axe de l'hélice est en réalité favorisé par l'effet de girouette. Comme indiqué précédemment, ce décalage crée un flux d'air relatif qui frappe les surfaces latérales du modèle sous un certain angle, générant un effet de girouette qui facilite le virage du côté vers lequel l'hélice est orientée.

Conclusions

Dans les chapitres précédents, nous avons analysé la portance ainsi que les stabilités longitudinale, latérale et directionnelle. On peut se demander quelle utilité présente cette somme de connaissances aérodynamiques pour nous — constructeurs de maquettes volantes — si notre activité ne consiste pas à concevoir de toutes pièces des modèles volants, mais plutôt à construire des maquettes volantes reproduisant fidèlement des avions réels. Lorsqu'on évoque la conception — l'objectif ultime pour tout spécialiste de la discipline — au-delà de la simple création d'une structure adaptée aux techniques et matériaux disponibles, ou de l'arbitrage entre solidité et légèreté (des tâches qui, en soi, confèrent une dimension créative importante à ce qui ne serait autrement qu'une simple copie), un autre ingrédient s'avère crucial : le choix de l'appareil spécifique que l'on souhaite reproduire ou adapter en modèle Peanut.

Au vu de ces observations, il apparaît clairement que la conception d'un modèle n'est ni une tâche passive ni un processus mécanique ; c'est, au contraire, une entreprise profondément créative. Elle implique de sélectionner le modèle à développer et d'y apporter les légères modifications nécessaires pour garantir un vol réussi. Ces ajustements exigent de trouver le juste équilibre parmi les options autorisées par le règlement de la compétition — un règlement que le constructeur doit parfaitement maîtriser.

C'est précisément lors de cette phase de sélection que notre bagage de connaissances théoriques et pratiques entre en jeu. Il nous permet d'éviter de choisir un modèle qui, en raison de caractéristiques inadaptées, serait voué à de piètres performances en vol, quels que soient les efforts considérables investis dans sa conception.

Un concepteur averti et expérimenté écartera immédiatement un modèle au potentiel limité tout en portant un vif intérêt à celui qui offre des perspectives plus prometteuses. Un examen attentif des classements des compétitions réunissant de véritables spécialistes révèle la récurrence constante de certains modèles devenus des classiques de la catégorie, tels que le Lacey M10, le Fike E, le Leningradec, le Farman Moustique, le Nesmith Cougar, le Santos-Dumont 14-bis, le Waterman Mercury, le Piper Vagabond, entre autres. La présence durable de ces monstres sacrés témoigne de la perspicacité et de l'intuition dont ont fait preuve leurs concepteurs en les choisissant parmi les archives historiques inépuisables de l'aviation.

Dièdre prononcé, faible charge alaire, bras de levier efficaces, hélices de grand diamètre, train d'atterrissage haut, empennages généreux, fuselages longs et simples, corde d'aile adéquate et poids minimal : tels sont les dénominateurs communs de ces machines volantes qui, de nos jours, dépassent aisément la minute de temps de vol.

3.3 Réglage du vol en spirale

En règle générale, les modèles réduits en vol libre sont réglés pour voler en cercle. Les modèles d'extérieur sont ainsi réglés pour réduire la distance de marche nécessaire à leur récupération, tandis que les modèles d'intérieur le sont pour voler en cercle — cela va de soi — en raison de l'espace limité disponible.

Le réglage pour un vol circulaire n'est pas une mince affaire, surtout avec des modèles propulsés par moteur à élastique. La plus grande difficulté vient peut-être de la variation du couple fourni par le moteur à élastique à mesure qu'il se détend.

Je peux vous assurer qu'à ce stade, même l'aéromodéliste le plus chevronné — parfaitement au fait des principes fondamentaux du vol — se sentira novice, aspirant à des connaissances plus approfondies pour expliquer certains phénomènes apparemment inexplicables. S'il est une certitude lors de cette phase de réglage, c'est que chaque aspect du comportement en vol, aussi erratique qu'il puisse paraître, a une explication logique ; la découvrir dépend de nos connaissances théoriques et pratiques.

Mais entrons dans le vif du sujet. Puisqu'il est question de vol circulaire, notons d'abord qu'il existe plusieurs façons d'induire un virage :

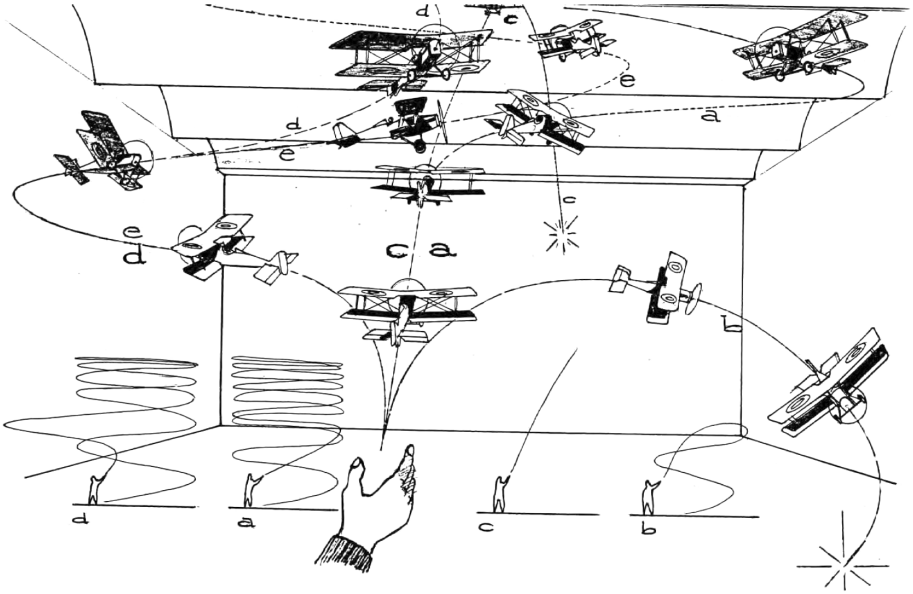


Fig. 106

a) le réglage de la gouverne de direction
b) le réglage de l'angle d'inclinaison latérale de l'axe d'hélice (anticouple ou *side thrust*)
c) le vrillage des ailes
d) une combinaison de ces méthodes.

Virage à droite

Une première question : virage à gauche ou à droite ? Les deux sont possibles, bien que le virage à droite soit généralement privilégié. En voici la raison : lorsque l'appareil entame son vol à pleine puissance, l'hélice — tournant dans le sens des aiguilles d'une montre (vue depuis le siège du pilote) — exerce un contre-couple important sur le modèle (selon le principe action-réaction), tendant à incliner l'appareil vers la gauche. Si le modèle est réglé pour virer à gauche, ces deux effets se cumulent, entraînant un virage initial excessivement serré qui risque de dégénérer en spirale descendante. À l'inverse, un virage à droite combiné à un décalage latéral de l'axe d'hélice de 2° ou 3° contrebalance cette forte tendance initiale ; cela se traduit généralement par une montée initiale rectiligne suivie d'une entrée progressive dans le virage à droite (Fig. 106-a). Cependant,

si le virage à droite est trop serré, le modèle accentuera progressivement sa courbe à mesure que l'effet de couple inverse diminue, ce qui lui fera perdre rapidement de l'altitude (Fig. 106-b).

Dans ce cas, on peut atténuer le virage en agissant sur la gouverne de direction ou sur l'axe de poussée de l'hélice. Pour modifier cet axe, il suffit d'insérer une cale — de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur seulement — entre le bloc-nez et le fuselage.

Des essais supplémentaires permettent d'affiner ces réglages pour obtenir le comportement en virage souhaité (Fig. 106-a). Toutefois, il est possible que ces ajustements ne suffisent pas ; par exemple, réduire le virage à droite pourrait amener le modèle à passer d'un virage serré à droite à une trajectoire rectiligne très marquée, risquant ainsi de percuter le mur opposé (Fig. 106-c). Autre possibilité : sous l'effet du couple inverse, le modèle pourrait d'abord virer à gauche, se redresser, puis poursuivre son vol en virant à droite (Fig. 106-d), à condition que l'espace disponible le permette.

Ces deux derniers scénarios posent un réel problème — surtout dans des espaces restreints — car le vol risque de se terminer par une collision avec un mur.

Cela place les débutants face à un dilemme bien réel et apparemment insoluble. Mais rassurez-vous : il existe une solution.

Nous visons un virage à droite à plat plutôt qu'un virage incliné, car l'inclinaison provoque un resserrement excessif de la spirale, surtout lorsque la surface de la dérive (stabilisateur vertical) est importante.

Pour y parvenir, nous utilisons le gauchissement de l'aile. En abaissant le bord de fuite de l'aile droite et/ou en relevant celui de l'aile gauche, nous augmentons la portance de la demi-aile droite, ce qui l'empêche de s'affaisser pendant le virage.

Quelle quantité de vrillage d'aile est nécessaire ? L'expérience le dira. Toutefois, cela dépendra étroitement de l'intensité du virage et de la vitesse de sustentation.

Avec les modèles lourds nécessitant des vitesses élevées, ce réglage devient plus délicat, car la tendance initiale à virer à gauche peut persister même à pleine puissance.

Pour appliquer le vrillage, humidifiez les surfaces supérieure et inférieure de la zone de l'aile concernée à l'aide d'un coton-tige, à condition que l'entoilage ne soit pas enduit. Si c'est le cas, utilisez un solvant (comme du diluant ou de l'acétone) plutôt que de l'eau ou de l'alcool. Une fois que la tension de l'entoilage se relâche, imprimez la déformation souhaitée à l'aide de cales ou simplement en maintenant l'aile en position jusqu'à ce qu'elle sèche.

Pour éviter les complications, il est très utile d'équiper les ailes d'ailerons mobiles ; outre le fait qu'ils permettent d'ajuster facilement le virage, ils constituent un excellent moyen d'améliorer la note statique.

Virage à droite par vrillage d'aile

Un autre réglage intéressant pour un virage à droite (Fig. 106-e) consiste à obtenir le virage principalement par vrillage d'aile — plus précisément, un vrillage positif sur l'aile gauche et un vrillage négatif sur l'aile droite.

Dans ce cas, il faut être très attentif à l'axe de poussée de l'hélice et aux réglages de la gouverne de direction. Ces

deux éléments peuvent être réglés en position neutre ; si le virage souhaité n'est pas obtenu, de légers ajustements vers la droite peuvent être effectués sur l'un ou l'autre (ou sur les deux).

Le principe de ce réglage est le suivant : lorsque le modèle entame son vol à puissance maximale, le contre-couple (tendance au roulis vers la gauche) est important ; cependant, le roulis vers la droite induit par le vrillage de l'aile est également important en raison de la vitesse élevée, de sorte que les deux effets s'annulent.

Par conséquent, il suffit de rompre cet équilibre — soit en augmentant légèrement le vrillage de l'aile, soit en effectuant de petits ajustements sur la gouverne de direction et/ou l'axe de poussée de l'hélice — pour obtenir le virage à droite souhaité. Évidemment, tous ces réglages exigent beaucoup de patience et de nombreux essais ; les corrections apportées au vrillage et à l'incidence des ailes doivent être effectuées avec mesure et prudence et, logiquement, il est déconseillé de les réaliser le jour du championnat.

Virage à gauche

Cette configuration est similaire à celle utilisée pour le vol en salle (indoor). Le principe est le suivant : le virage s'effectue en utilisant la gouverne de direction à gauche avec un axe d'hélice neutre, tandis que le couple antagoniste — important en début de vol lorsque le moteur est remonté au maximum — est compensé par le gauchissement de l'aile (plus précisément, en faisant générer plus de portance à l'aile gauche qu'à l'aile droite). Ainsi, au début du vol, la tendance au roulis à gauche due au couple antagoniste maximal est contrée par l'effet important du gauchissement à vitesse élevée. Ces deux effets s'annulant, le virage est obtenu grâce à la gouverne de direction à gauche (Fig. 106-e).

Chapitre 4

Astuces de spécialistes

Ceux d'entre nous qui sont passionnés par ce loisir depuis des années cherchent constamment des améliorations pour surpasser les performances d'hier ; une quête incessante de l'excellence qui étonne les débutants lorsqu'ils découvrent le poids et la durée de vol de certains modèles.

En effet, la simplicité et la souplesse réglementaire de cette catégorie — qui n'impose que des limites facultatives concernant l'envergure (33 cm) ou la longueur du fuselage (23 cm), tout en laissant une liberté totale quant au poids, aux dimensions du moteur et à la durée de vol — constituent un véritable moteur d'innovation technique dans la recherche de meilleures performances. Et qui dit meilleures performances, dit modèles à l'aspect plus authentique et vols plus longs et plus réalistes.

Sous la rubrique Astuces de spécialistes, nous présenterons divers dispositifs, instruments, méthodes ou accessoires dignes d'intérêt en raison de leur ingéniosité et de leur utilité pour enrichir la pratique de ce loisir.

4.1 Jauge de pas d'hélice

Dans le chapitre consacré aux hélices, nous avons évoqué les avantages des hélices à pas variable, car elles permettent de choisir le pas le mieux adapté à un moteur donné.

Cela nous amène naturellement à rechercher un instrument permettant de mesurer le pas d'une hélice en cours d'essai. Rappelons les concepts de base :

- Le PAS ABSOLU correspond à la progression longitudinale de l'hélice lors d'une rotation complète.

- Le PAS RELATIF correspond à cette même progression divisée par le diamètre de l'hélice.

En d'autres termes : PAS RELATIF = PAS ABSOLU / DIAMÈTRE DE L'HÉLICE. Une jauge de pas absolu est conçue pour un diamètre d'hélice spécifique. Une jauge de pas relatif,en revanche peut être

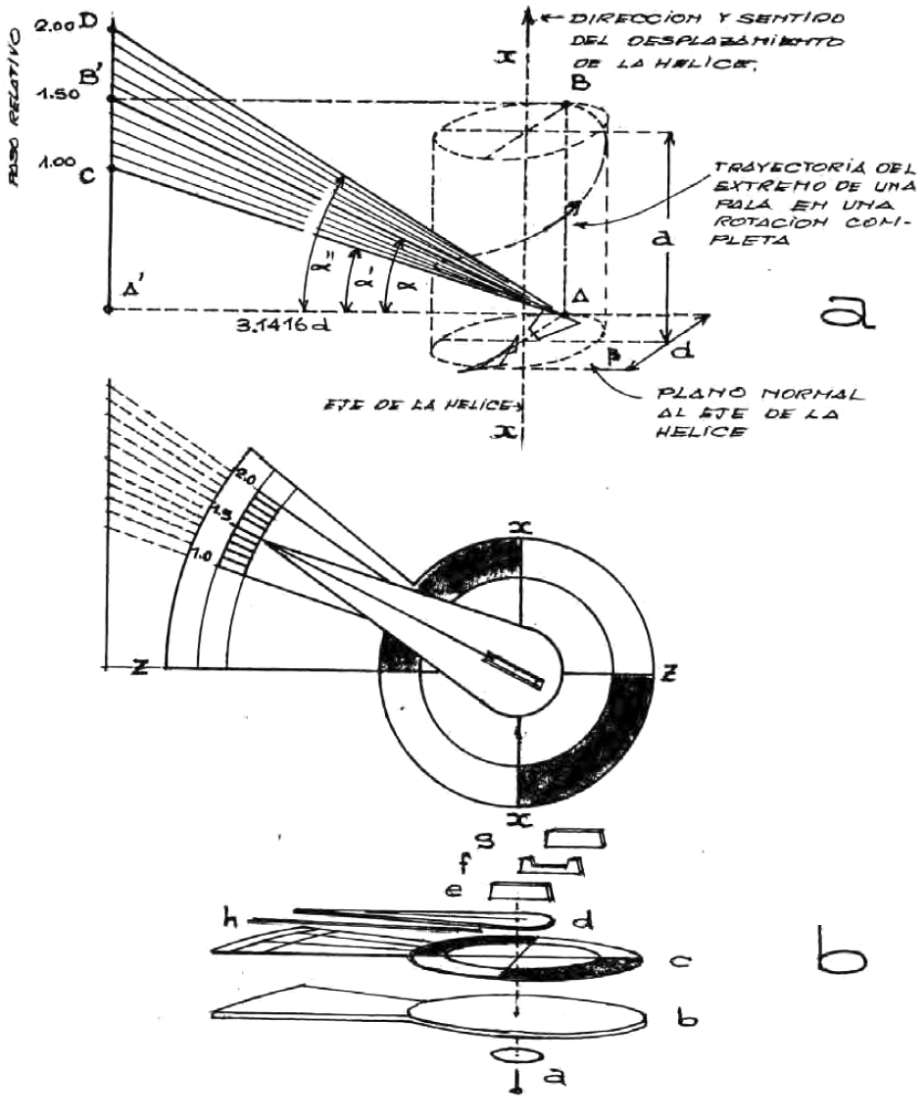

PASO RELATIVO
2.00 D
1.50 B'
1.00 C
A'
3.1416 d
α''
α'
α
DIRECCIÓN Y SENTIDO DEL DESPLAZAMIENTO DE LA HÉLICE
x
B
Δ
a
d
β
TRAYECTORIA DEL EXTREMO DE UNA PALA EN UNA ROTACIÓN COMPLETA
PLANO NORMAL AL EJE DE LA HÉLICE
EJE DE LA HÉLICE
a
2.0
1.5
1.0
z
z
x
x
g
f
e
h
d
c
b
a
b

Fig. 107

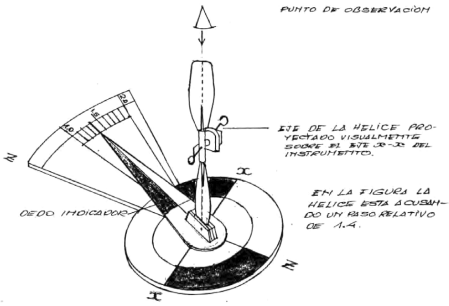


Fig. 108

utilisée pour n'importe quel diamètre d'hélice.

Rappelons également que l'on définit le PAS GÉOMÉTRIQUE comme la progression géométrique de l'hélicoïde au cours d'une rotation, et le PAS AÉRODYNAMIQUE comme l'avancement réel de cet hélicoïde lorsqu'il glisse dans l'air durant une rotation. Enfin, souvenons-nous que ce dernier est légèrement inférieur au premier.

L'instrument que nous allons décrire servira à mesurer le PAS GÉOMÉTRIQUE RELATIF d'une hélice — plus précisément d'une hélice à pas absolu constant le long de la pale.

Examinons d'abord le fondement théorique de sa conception avant d'aborder la construction de l'instrument lui-même.

Considérons, sur la figure 107-a, une hélice de diamètre (d) (dans ce dessin, nous avons utilisé d = 3 cm).

Au cours d'une rotation complète, l'hélice effectue une avance (a). La longueur développée de la circonférence décrite par l'extrémité de la pale — en supposant que le plan de rotation ne se déplace pas — correspond au segment $A'A$, que nous exprimons en fonction du diamètre de l'hélice. Par conséquent, $A'A = 3,1416 \times d$.

Si l'on suppose maintenant que l'hélice tourne tout en avançant le long de son axe, le segment $A'B'$ représente l'avance — également exprimée en diamètres (d) — telle que sa mesure correspond au pas relatif de l'hélice à l'extrémité de la pale. Le segment AB' représente la trajectoire développée de l'extrémité de la pale au cours d'une rotation complète.

Avec le segment $B'A' = 1,5d$ (pas de 1,5), le segment $B'A$ forme un angle α avec $A'A$ (qui se trouve dans le plan β, perpendiculaire à l'axe de l'hélice) ; cet angle correspond à un pas relatif de 1,5.

Le segment $CA' = 1d$ (pas de 1) correspond à l'angle α', tout comme le segment $A'D$ (pas de 2) correspond à l'angle α ". En divisant le segment CD en 10 parties égales et en reliant les points obtenus au point A, on obtient une série de droites dont les angles par rapport au plan β correspondent à des pas d'hélice allant de 1,00 à 2,00. Nous sommes maintenant prêts à concevoir et à fabriquer l'instrument de mesure illustré à la figure 107-b.

Une fois le schéma tracé sur du carton fort ou du papier à dessin, nous ajoutons l'axe ZZ (correspondant à un pas de 0) et l'axe XX — perpendiculaire au précédent — qui servira de référence pour orienter l'axe de l'hélice, comme nous le verrons plus loin.

Ensuite, nous découpons un doigt indicateur (d) et y collons à l'époxy un fil d'acier de 0,3 mm de diamètre, de manière à ce que l'extrémité du fil surplombe l'échelle graduée.

Nous pratiquons ensuite une encoche (e-f-g) dans le doigt indicateur, dimensionnée pour accueillir l'extrémité de la pale d'hélice (réalisée en carton suédois, balsa, aluminium ou tout autre matériau approprié assurant un ajustement serré sans endommager la pale). L'ensemble pivote autour d'un axe (a) (un tronçon d'épingle) collé à l'époxy au centre de l'encoche, au point (f).

Utilisation de l'instrument

Suivant la figure 108, placez l'instrument sur une table ou un support horizontal plat. Insérez une pale d'hélice dans l'encoche de façon à ce qu'elle soit perpendiculaire au plan de l'instrument. Placez votre ligne de visée directement au-dessus de l'hélice. Faites pivoter le doigt indicateur jusqu'à ce que l'axe de l'hélice apparaisse visuellement aligné avec l'axe XX. À ce stade, l'extrémité du doigt indicateur indiquera le pas de la pale sur l'échelle graduée.

Naturellement, nous répétons cette opération pour l'autre pale, en veillant à ce que les réglages de pas soient identiques pour les deux.

Cette méthode nous permet d'ajuster l'angle des pales de l'hélice tout en connaissant le pas qui en résulte.

4.2 La maîtrise du poids

La maîtrise du poids dans l'industrie aéronautique a été — et continuera d'être — une question d'une importance capitale.

Il en va naturellement de même pour l'aéromodélisme. Les débutants dans cette discipline ont tendance à négliger cet aspect essentiel de la catégorie, ce qui conduit inévitablement à l'échec.

Cet oubli est en grande partie dû à une absence d'habitude en matière de micropesage et au manque de balance appropriée.

Il existe également une tendance psychologique à croire que des composants aussi légers n'affecteront pas le poids total ; or, tout est une question de proportions : un infime ajout de poids aura un impact significatif sur une masse totale très faible. On pense souvent qu'un modèle se résume au fuselage, aux ailes, à l'empennage et à l'hélice, en oubliant une multitude d'éléments annexes tels que le train d'atterrissage, les haubans, les patins de queue et les nombreux détails décoratifs qui caractérisent une maquette. On suppose que le poids du papier d'entoilage ne dépassera pas de manière significative celui de la structure, ou que le poids de la colle n'a pas d'importance... Vous serez surpris de constater combien de grammes l'entoilage ajoute au poids de la structure.

Pour mieux analyser le poids des matériaux constituant les différentes parties d'un modèle, il est utile de les regrouper en cinq catégories :

- Éléments structurels
- Éléments d'entoilage
- Système de propulsion
- Éléments décoratifs
- Moteur à élastique

Éléments structurels

Nous désignons ici tous les éléments remplissant une fonction principalement structurelle — assurant résistance et rigidité — tels que les lisses de fuselage, le

train d'atterrissage, les haubans rigides, les mâts, etc.

Il est crucial que ces éléments ne soient ni surdimensionnés ni sous-dimensionnés ; en d'autres termes, ils ne doivent contenir ni plus ni moins de matériau que ce qui est strictement nécessaire pour remplir leur fonction structurelle.

Les tableaux de dimensionnement, comme celui présenté dans la section "Dimension et qualités des matériaux", constituent un guide utile ; toutefois, il ne faut pas oublier que les matériaux que nous utilisons ne présentent pas une masse ou une résistance uniformes.

La section "Qualité du balsa", par exemple, présente un tableau des masses pour différentes qualités de balsa et analyse l'aptitude structurelle du matériau en fonction de la coupe ou du fil apparent. Par conséquent, le respect de dimensions précises pour les longerons et les épaisseurs de revêtement présente un intérêt limité si la masse volumique du matériau utilisé n'est pas également maîtrisée.

Naturellement, l'expérience joue un rôle majeur dans ce processus de sélection ; elle peut fournir des données précieuses si l'on consigne méthodiquement la masse de chaque composant lors de la construction de chaque modèle.

Cette démarche ne demande que peu de temps supplémentaire, mais elle permet d'établir un tableau — tel que ci-contre — qui servira de référence comparative très utile pour le modèle suivant.

Un principe judicieux à garder à l'esprit lors de la construction d'un élément structurel consiste à le rapporter à la masse finale du modèle. Ainsi, la structure entière présentera des proportions harmonieuses — en évitant tout excès ou insuffisance de matériau — et les différents éléments du modèle auront des masses mutuellement cohérentes et équilibrées.

Le tableau de la page suivante représente un tableau de référence des masses établi à partir de modèles aux caractéristiques variées. Ces données représentent des moyennes fondées sur un modèle théorique ; elles peuvent toutefois servir de guide pour orienter la construction vers une masse finale spécifique tout en préservant l'équilibre adéquat entre les masses des différents composants. L'utilisation de ce tableau vise à éviter les erreurs courantes, telles que la réalisation d'un train d'atterrissage trop robuste pour un modèle relativement léger (ou inversement), ou l'emploi de longerons inadaptés — soit trop lourds et résistants, soit, à l'inverse, entraînant la rupture de l'aile au moindre choc contre un mur.

En ce qui concerne les longerons du fuselage, il convient de prendre en compte l'espacement des traverses ainsi que les dimensions des panneaux à entoiler qui en résultent.

MODÈLE CASTAIBERT	g
Fuselage (structure et coffrage)	0.68
Fuselage (entoilé)	0,76
Nez	0,25
Ailes (structure)	0,65
Ailes (entoilées)	0,90
Stabilisateur (structure)	0,20
Stabilisateur (entoilé une face)	0,25
Dérive (structure)	0,08
Dérive (entoilé une face)	0,10
2 mâts	0,04
Train d'atterrissage	0,10
2 roues à rayons	0,12
Fuselage avec train et mâts (entoilé)	0,95
Hélice avec axe	0,70
2 demi-essieux de roues	0,06
Béquille arrière articulée et élastique	0,03
Moteur rotatif	0,03
Broche moteur élastique	0,015
Écheveau élastique	0,70
Tube de protection du moteur	0,20

Poids total (g)	3	4	5	6	7	8	9	10
Fuselage coffré	0,56	0,746	0,95	1,14	1,33	1,52	1,71	1,85
Fuselage coffré + entoilage	0,70	0,933	1,18	1,41	1,64	1,88	2,11	3,30
Aile (structure)	0,42	0,56	0,71	0,85	0,99	1,13	1,25	1,36
Aile (structure)	0,42	0,56	0,71	0,85	0,99	1,13	1,25	1,36
Aile + entoilage	0,68	0,90	1,13	1,35	1,58	1,80	1,89	2,01
Stabilisateur (structure)	0,11	0,15	0,18	0,22	0,25	0,29	0,32	0,36
Stabilisateur entoilé	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Train d'atterrissage	0,10	0,14	0,15	0,18	0,20	0,23	0,30	0,35
Montants, haubans ou mâts d'aile	0,12	0,16	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,38
Hélice + nez	0,55	0,73	0,91	1,10	1,28	1,47	1,65	1,83
2 roues avec moyeux et axes courts	0,12	0,16	0,20	0,23	0,27	0,31	0,35	0,39
Broche de fixation moteur	0,015	0,02	0,024	0,029	0,03	0,03	0,03	0,03
Moteur à élastique	0,51	0,68	0,86	1,03	1,20	1,37	1,54	1,71

En effet, lorsque ces panneaux sont vastes (avec des entretoises très espacées), les contraintes exercées par le papier d'entoilage sont considérables ; cela provoque une flexion des longerons — les affaiblissant ainsi — et nuit à l'esthétique du modèle.

Le dimensionnement des longerons d'aile nécessite une approche spécifique. Les longerons destinés aux ailes haubanées — qu'elles utilisent des mâts rigides ou des câbles tendus — présenteront des sections transversales nettement plus réduites que ceux d'une aile en porte-à-faux (cantilever).

C'est donc l'occasion de réduire considérablement la masse des ailes d'un biplan ou d'un monoplan de l'ère pionnière (Fig. 64).

La reduction de la masse des structures alaires constituait précisement la raison d'être de ce haubanage,

une caractéristique quasi omniprésente sur les avions jusqu'à la fin de la Première Guerre mondiale (à quelques exceptions près, comme le Fokker D.VII et le Junkers D.I) et qui a perduré tout au long des années 1920 et au-delà.

La reduction de la masse des structures alaires constituait précisement la raison d'être de ce haubanage

Examinons un exemple comparatif de ces deux types d'ailes. La figure 111 illustre schématiquement les charges alaires q1 et q2 pour un biplan B.E.2 (ailes haubanées) et q3 pour le monoplan Pottier P.70 (aile en porte-à-faux), correspondant à des modèles de masse similaire. Il est évident que la charge alaire du monoplan sera quelque peu supérieure à celle de chacune des ailes du biplan prises individuellement. La partie (a) de la même figure montre les moments de flexion le long des ailes respectives résultant des charges qu'elles subissent. Il est à noter que, pour le biplan, les moments de flexion maximaux se situent au niveau du hauban extérieur et sont nettement inférieurs au moment M3 du monoplan à aile en porte-à-faux (cantilever), lequel survient à l'emplanture de l'aile, là où elle rejoint le fuselage. La partie (b) illustre les moments de flexion engendrés par une charge concentrée accidentelle (Q) appliquée à l'extrémité de l'aile, comme cela pourrait arriver lors d'un choc contre un plafond ou une poutre.

Dans ce cas également, le moment de flexion M3 correspondant sera bien plus élevé pour l'aile en porte-à-faux que pour l'aile haubanée du biplan.

Compte tenu de ces éléments, il n'est pas surprenant que la masse structurelle des deux ailes d'un biplan (haubanées) puisse égaler celle de l'aile d'un monoplan (en porte-à-faux), à condition que les longerons et les nervures soient dimensionnés de manière rationnelle, en tenant compte de ces facteurs de réduction des charges.

Un biplan conçu de cette façon offrira des avantages de vol significatifs grâce à sa charge alaire réduite. À l'inverse, un biplan dont les ailes seraient dimensionnées sans tenir compte de ces facteurs serait lourd, très vulnérable aux dommages par impact et présenterait de piètres performances en vol.

Matériaux de revêtement

Comme indiqué dans les chapitres précédents, les revêtements seront constitués de papier japon, de papier pour condensateurs, de feuilles de balsa, de papier à des-

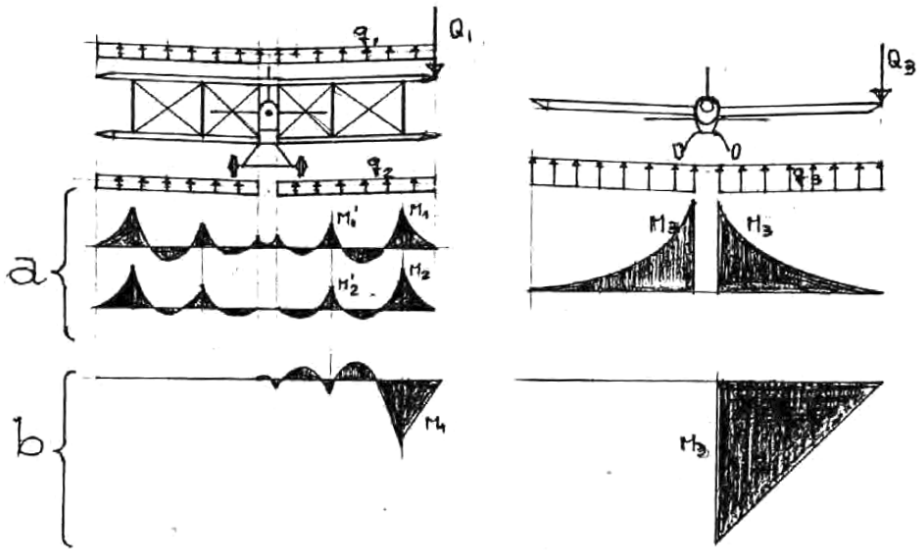


Fig. 111

sin ou à écrire et de mousse de polystyrène sculptée. Ces trois derniers matériaux ne seront utilisés que s'ils apportent un avantage structurel, c'est-à-dire si leur emploi permet de réduire le nombre de couples ou de longerons.

Le revêtement en feuille est principalement utilisé sur des surfaces cylindriques ou coniques, notamment pour renforcer le fuselage près du nez, là où les forces d'impact sont les plus élevées et où un surcroît de poids est en réalité souhaitable pour équilibrer l'appareil.

Concernant le revêtement en papier, les débutants abordent souvent cette étape de la construction sans se soucier du poids ajouté à la structure ni anticiper son impact. Ils ont tendance à supposer que le poids du revêtement est négligeable par rapport à l'ensemble de la construction. Or, ce n'est pas le cas.

Il convient de noter ici que, contrairement à la réalisation de la structure — où le dimensionnement des pièces et le choix de la densité des matériaux offrent des possibilités infinies — le revêtement repose sur une gamme de matériaux très restreinte.

Les options les plus courantes sont le papier japon (d'un grammage de 10 à 14 g/m²) et le papier pour condensateurs (3 à 5 g/m²). Comme on peut le constater, il y a peu de marge de manœuvre pour adap-

ter précisément le choix du papier à une structure donnée. Si l'on utilise du papier pour condensateurs ultraléger pour recouvrir une structure de 6 grammes, il n'existe aucune alternative plus légère pour une structure de 3 grammes.

Néanmoins, ce choix limité doit être guidé par le bon sens. On n'utiliserait pas de papier pour condensateurs pour recouvrir une structure de 14 grammes, car il serait trop fragile à manipuler ; inversement, on n'utiliserait pas de papier coloré de 14 g/m² sur une structure de 3 grammes, car on gaspillerait ainsi le gain de poids obtenu au prix d'efforts minutieux.

En règle générale, il est préférable de recouvrir un modèle pesant moins de 7 grammes (hors lest) avec du papier pour condensateurs, tandis que le papier japon doit être réservé aux modèles plus lourds.

Si le débutant sous-estime le poids du papier de revêtement, il commet une erreur encore plus importante lors de l'application de l'adhésif. Même le modéliste le plus expérimenté sera surpris de découvrir ces faits : le papier pour condensateurs de 5 g/m² nécessaire pour recouvrir les deux demi-ailes (double revêtement) — sur le Castaibert, par exemple — pèse 0,205 g. Si la structure des deux demi-ailes pèse 0,5 g, le papier représente à lui seul 41 % de ce poids. Cependant, la colle vinylique nécessaire à l'entoilage — aussi diluée soit-elle — ajoutera 0,064 gramme, ce qui représente 31 % du poids du papier lui-même. Par conséquent, le poids combiné du papier et de la colle atteint 54 % du poids de la structure de l'aile !

Ce pourcentage varie considérablement selon le nombre et l'épaisseur des nervures ainsi que le pouvoir absorbant du bois de balsa utilisé, mais il se situe généralement entre 40 et 60 % du poids de la structure de l'aile.

Pour un stabilisateur — en supposant un entoilage double face — ce chiffre varie de 40 à 50 %, pour descendre jusqu'à 20 % dans le cas d'un entoilage simple face.

Pour une dérive, il oscille entre 50 et 80 %, pour tomber à 30 ou 40 % avec un entoilage simple face. Dans le cas d'un fuselage, le pourcentage lié à l'entoilage (papier condensateur plus colle) avoisine les 25 %.

Ces chiffres démontrent clairement pourquoi il faut apporter un soin particulier à l'application de la colle ou de l'adhésif lors de l'entoilage. Dans tous les cas, la colle doit être aussi diluée que possible.

Système de propulsion

Nous utilisons ce terme pour désigner l'ensemble composé de l'hélice, de l'axe et du bloc-nez.

En principe, le poids de ces éléments peut être réduit proportionnellement au poids total du modèle. Les pales de l'hélice servent souvent de lest avant ; cela permet de les réaliser aussi fines et fragiles que le poids total du modèle le permet.

Un modèle léger de 4 grammes utilisera un moteur en caoutchouc n'exerçant pas de contraintes excessives, ce qui permet de gagner du poids en utilisant un axe de 0,5 ou 0,6 mm au lieu d'un axe de 0,7 ou 0,8 mm.

Toutefois, de telles réductions de poids ne sont pertinentes que lorsque le bras de levier avant est important. Les modèles nécessitent souvent un lest à l'avant ; par conséquent, les économies de poids susmentionnées ne sont pas justifiées dans

ces cas-là — sauf pour éviter les problèmes d'inertie causés par des hélices trop lourdes, un phénomène connu sous le nom de précession.

Éléments décoratifs

Voilà un véritable défi pour l'imagination et l'ingéniosité du passionné.

Ces éléments englobent tout ce qui contribue à enrichir la maquette pour en faire une reproduction fidèle de l'original : moteurs simulés, tuyaux d'échappement, armement, réservoirs de carburant, carénages, radiateurs, prises d'air, verrières, trains d'atterrissage fonctionnels, béquilles de queue articulées et amorties, tableaux de bord, peintures, insignes, immatriculations, figurines et mille et un autres détails trop nombreux pour être énumérés.

Il ne s'agit pas seulement de la dextérité manuelle propre à tout aéromodéliste ; c'est plutôt l'ingéniosité nécessaire pour reproduire ces détails tout en maintenant le poids au minimum qui entre en jeu. Le polystyrène expansé (Styrofoam) offre un grand potentiel. Des tiges de blé peuvent servir de tuyaux d'échappement, du cellophane pour les verrières, de l'acétate très fin pour les pare-brise, du fil de nylon pour les câbles, et ainsi de suite.

La mise en couleur mérite une mention particulière.

La décoration d'une maquette — qu'il s'agisse de grandes surfaces unies, d'insignes, de motifs de camouflage, d'inscriptions ou d'immatriculations — contribue grandement à son attrait esthétique. Toutefois, une mise en garde s'impose : le papier japon coloré est lourd, pesant entre 13 et 16 g/m^2, alors que les papiers japon blancs sont généralement plus légers. Le défi consiste à trouver un agent colorant léger. Pour les modèles légers et ultralégers, il convient d'éviter les peintures lourdes telles que celles à base de cellulose ou les émaux Humbrol ; il vaut mieux privilégier les teintures, les colorants à l'aniline, les aquarelles et les feutres — des produits aujourd'hui disponibles dans une grande variété de qualités.

Moteur à élastique

Ce poids est lié au poids final du modèle. Bien que certaines variations soient possibles, il existe un poids idéal pour des performances de vol optimales. Il s'agit ici de spécifications techniques plutôt que de simple ingéniosité ; pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur au chapitre consacré aux moteurs à élastique.

Balance de précision pour modèles réduits

La maîtrise du poids étant fondamentale lors de la construction, comment le surveiller en cours de fabrication ? C'est la question que nous allons aborder maintenant.

Notre objectif est de disposer d'une balance capable de mesurer des masses allant jusqu'à 3 ou 4 grammes, avec une précision de 0,05 ou 0,01 gramme ; l'instrument doit être rapide, pratique à utiliser et d'un coût abordable.

Les instruments disponibles dans le commerce ne conviennent pas. Les petites balances à courrier pèsent jusqu'à 50 grammes, mais n'offrent qu'une précision d'un demi-gramme.

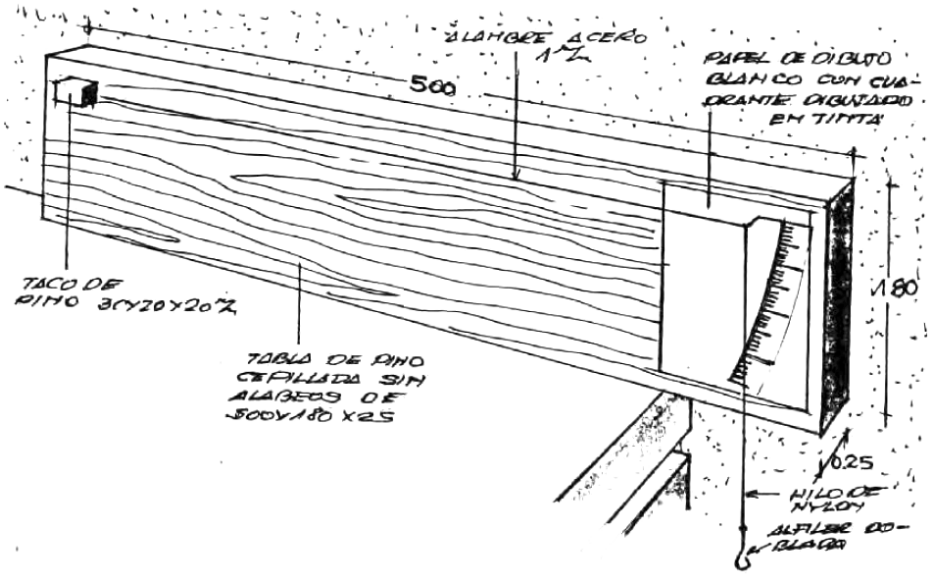


Fig. 121

Les balances de précision à plateaux et poids sont coûteuses, fragiles et peu pratiques à l'usage.

Les balances électroniques sont excellentes, mais leur prix les rend inaccessibles pour notre usage.

Une fois de plus, l'ingéniosité du modéliste doit pallier les lacunes du marché en concevant un instrument adapté à ses besoins. Les solutions les plus pratiques sont les balances de type dynamomètre ou à ressort, dont il existe de nombreuses variantes.

Le modèle que je décris ci-dessous est si simple qu'il est fort probable que d'autres y aient déjà pensé. La figure 112 l'illustre, rendant toute explication supplémentaire inutile.

Il se compose d'une planchette de pin soigneusement finie et d'un petit bloc — collé à la colle vinylique (PVA) dans un coin — dans lequel est inséré un fil d'acier de 1 mm de diamètre (fixé à l'époxy). Le fil est plié de manière à ce que son extrémité se dirige vers la surface de la planchette ; un fil de nylon y est suspendu, se terminant par une épingle recourbée en forme de crochet. Une feuille de papier à dessin est collée sur la planchette, portant un quadrant tracé à l'encre de Chine.

Pour tracer ce quadrant, nous suivons une méthode simple décrite par « El Santo

» dans un article du magazine M.R.A.

Nous nous procurons une feuille de papier à écrire ou à dessin de bonne qualité — présentant une certaine épaisseur, une régularité constante et des bords parfaitement d'équerre (Fig. 113). Nous déterminons ensuite son poids exact à l'aide d'une balance de précision ; un ami bijoutier ou le pharmacien du quartier peut nous aider dans cette démarche. À l'aide d'une calculatrice et de simples rapports d'aires, nous déterminons un rectangle équivalent à 3 grammes et le divisons géométriquement en trois rectangles identiques, pesant chacun un gramme. En divisant géométriquement l'un d'eux en dix parties égales et en combinant les rectangles obtenus, nous créons des équivalents de 0,1, 0,2, 0,3 et 0,4 gramme. L'instrument étant placé au bord d'une surface horizontale (comme une table), nous suspendons successivement ces poids artisanaux à la pointe ; à l'aide d'un crayon à mine fine, nous marquons ensuite sur le papier à dessin préparé les traits correspondant à 1 g, 0,5 g, 0,1 g et — si possible — 0,05 g. Pour une meilleure lisibilité, nous finalisons le tracé au stylo technique et à l'encre de Chine.

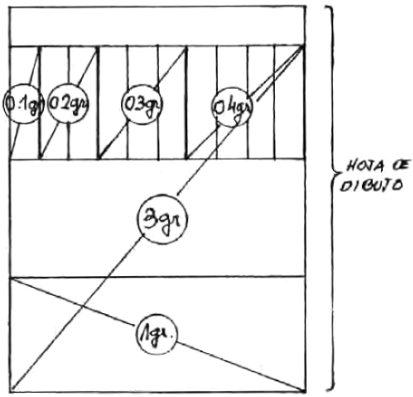


Fig. 113

À chaque utilisation de l'instrument, nous devons vérifier que la surface est bien plane et que l'extrémité du fil s'aligne avec le repère zéro.

Voici donc un instrument aussi simple à fabriquer et à utiliser qu'il est indispensable pour réaliser une cacahuète avec un certain raffinement.

Table des matières

1 Introduction **9**

2 Techniques de construction **11**
2.1 Outils indispensables 11
2.2 Matériaux 12
2.3 Choisir le matériau adapté à l'usage 13
2.4 Dimensions et qualité des matériaux 14
Dimensions 14
Qualités des matériaux 16
Qualités du balsa : 16
Alfa « Espartillo » 17
Paille de balai 18
Bambou 18
Mousse de polystyrène 19
Bois durs en remplacement du balsa 19
Tige de blé 20
2.5 Adhésifs 20
Colle cellulosique 20
Colle vinylique 20
Adhésifs anaérobies 20
Colle époxy 21
Colle de contact 21
2.6 Matériau d'entoilage 21
2.7 Procédure de construction 22
Procédure de construction en balsa 22
Préparation des baguettes : 22
Construction du fuselage 23
Construction de l'aile 26

Construction du stabilisateur 30
Gouverne de direction 33
Nez du fuselage 33
Axe d'hélice 35
Hélice 36
Moteur à élastique 49
Décoration et entoilage 60
Assemblage des éléments 66
Procédure de construction utilisant l'espartillo 72
Construction en mousse de polystyrène 76
Outils 79
Façonnage 79
Roues en mousse de polystyrène 80
Roues à rayons 81

3 Le vol **87**
3.1 La portance 88
3.2 Équilibre et stabilité 91
Équilibre et stabilité longitudinaux 92
Équilibrage pratique et réglage longitudinal 98
Stabilité latérale 101
Stabilité en roulis ou stabilité latérale 101
Stabilité latérale dynamique 107
Stabilité directionnelle ou de trajectoire 107
Conclusions 109
3.3 Réglage du vol en spirale 110
Virage à droite 111
Virage à droite par vrillage d'aile 112
Virage à gauche 113

4 Astuces de spécialistes **115**
4.1 Jauge de pas d'hélice 115
Utilisation de l'instrument 118
4.2 La maîtrise du poids 118
Éléments structurels 118
Matériaux de revêtement 122
Système de propulsion 124
Éléments décoratifs 125
Moteur à élastique 125
Balance de précision pour modèles réduits 125

Table des matières **128**