

FABRICATION DE NERVURES EFFILÉES

Restauration des ailes endommagées du seul Dalotel DM165.

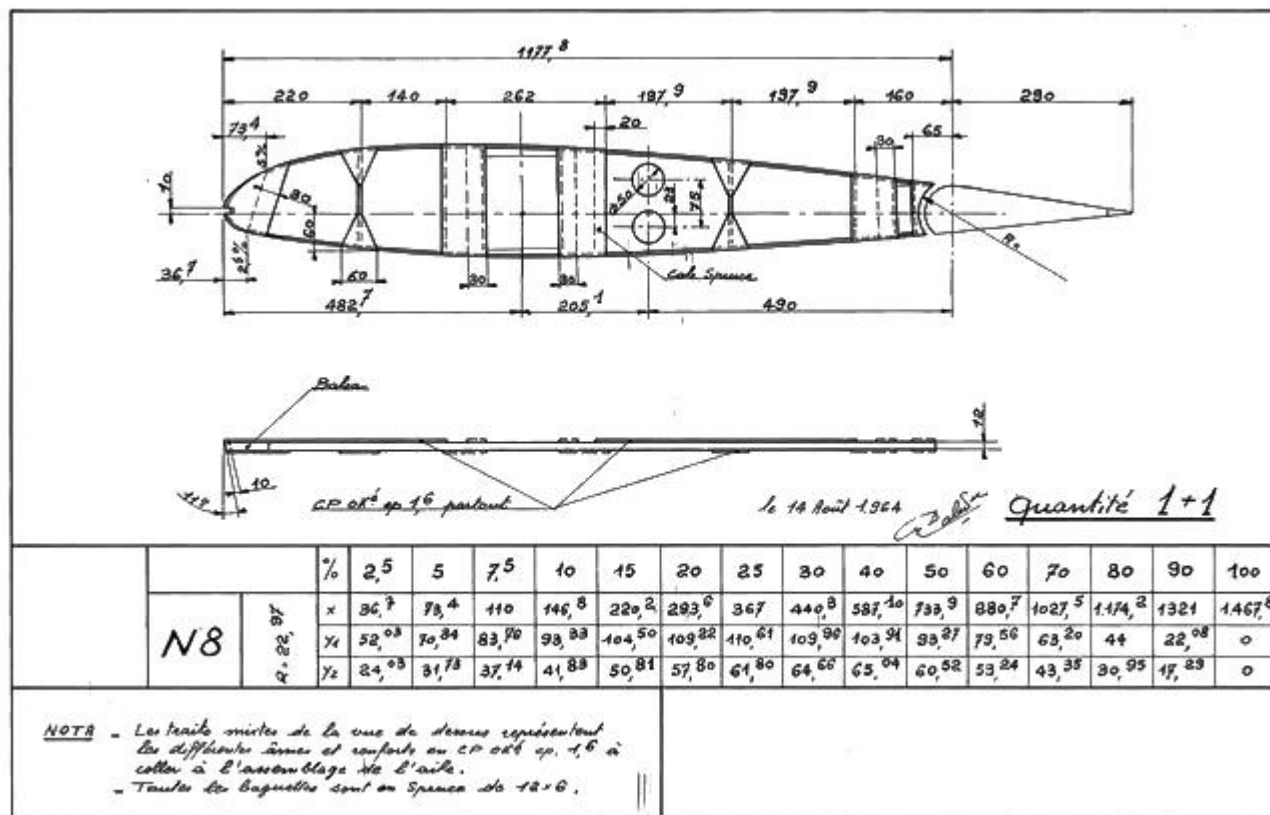


J'ai acquis l'ensemble complet des plans de l'avion de voltige *Dalotel DM165* du concepteur *Michel Dalotel* et j'ai réalisé des avancées majeures dans sa restauration, bien que j'aie encore un long chemin à parcourir. L'une des tâches les plus intimidantes auxquelles je devais faire face, une tâche qui concernerait tout constructeur ayant des ailes effilées similaires, était la fabrication de toutes les différentes nervures d'aile. Sur le *Dalotel*, chaque aile possède 14 nervures et elles sont différentes de chaque côté, il y a donc 28 nervures uniques. C'est l'une des raisons pour lesquelles les ailes dites en barre Hershey, avec une seule taille de nervure, sont si populaires. Vous fabriquez un gabarit et vous sortez toutes les nervures nécessaires.



Le seul Dalotel DM165, en vol au-dessus de la France vers 1969. L'appareil était entièrement apte à la voltige aérienne.

Le Dalotel avait été impliqué dans un accident avant que je l'achète, et les deux ailes étaient gravement endommagées. Les ailes sont en bois, avec deux longerons en bois. L'aile est recouverte de contreplaqué, qui est ensuite recouvert de tissu. L'aile gauche était en meilleur état que la droite, et c'est là que j'ai commencé. D'abord, j'ai dû enlever tout le matériau de revêtement pour voir ce qui avait été détruit et ce qui était peut-être récupérable.

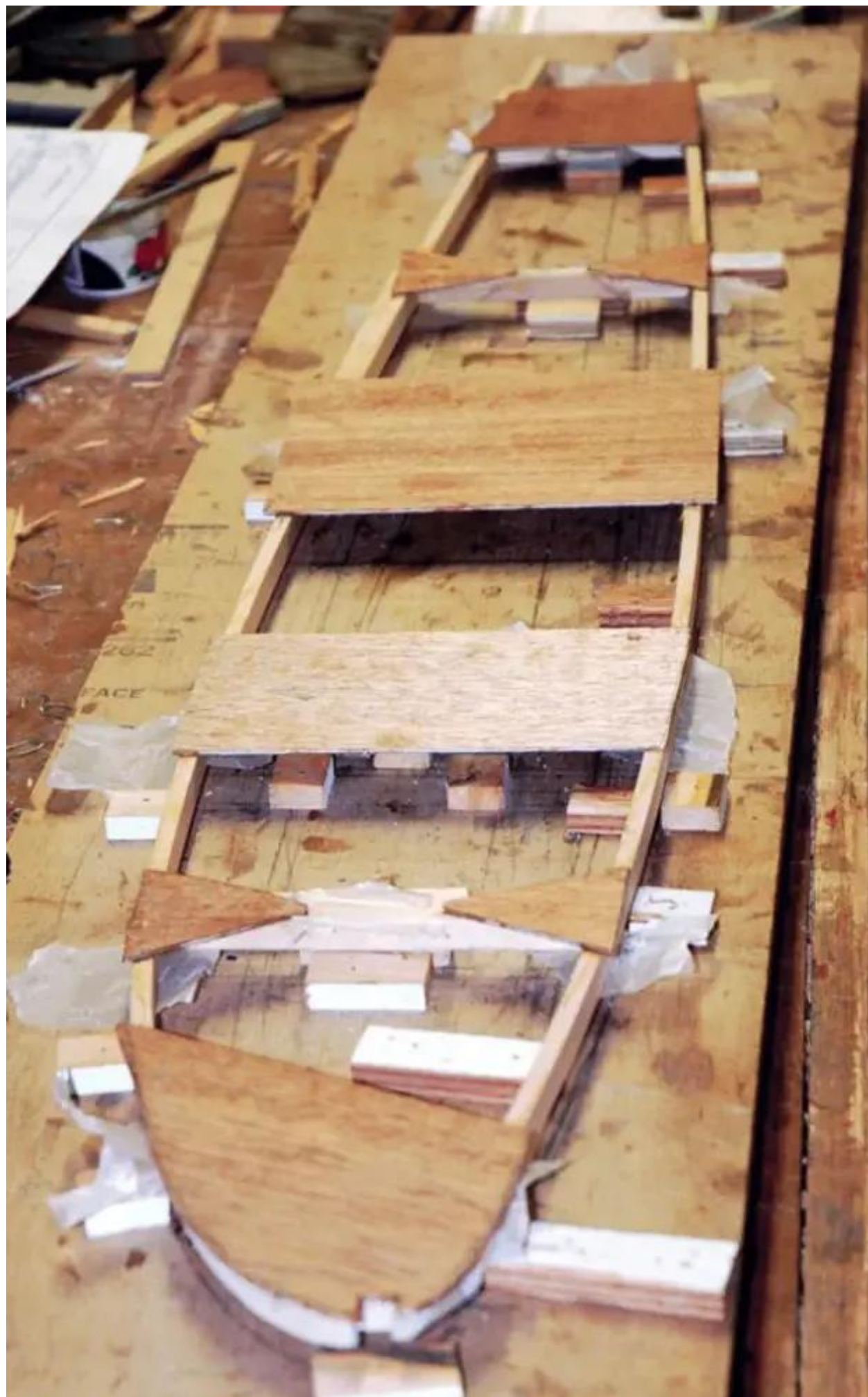


L'un des dessins qui a été utilisé pour construire l'avion d'origine. C'est la nervure numéro huit. Le tableau en bas donne les positions des points du profil extérieur. Toutes les dimensions sont métriques, et les notes sont en français.

Le longeron principal gauche dans un état convenable. Le longeron arrière et la plupart des nervures avaient subi quelques dommages lors de l'atterrissage forcé. J'ai retiré tout le revêtement et soigneusement retiré toutes les nervures du longeron, en sauvegardant ce que je pouvais. Le longeron n'a nécessité que le retrait et le remplacement de l'une de ses plaques de revêtement, et ensuite il était prêt à repartir. Il restait donc à réparer quelques-unes des nervures et à fabriquer le reste, y compris un jeu complet pour l'autre aile, beaucoup plus endommagée.



La planche support qui a servi à fabriquer les 28 nervures. Le contour de la nervure a été tracé sur la planche support à partir des déports. Une semelle est fixée en place, en suivant la courbe sur la planche en la cintrant et en maintenant le cintrage avec quelques cales fixées à la planche au moyen de pointes de #18. C'est rapide et facile, et une fois la nervure fabriquée, les cales et la planche support peuvent être réutilisées. La technique nécessite un cloueur à pointes, un compresseur d'air, et des pointes de la longueur correcte afin d'éviter de clouer la planche support à l'établi. Une agrafeuse pneumatique sera également utile.

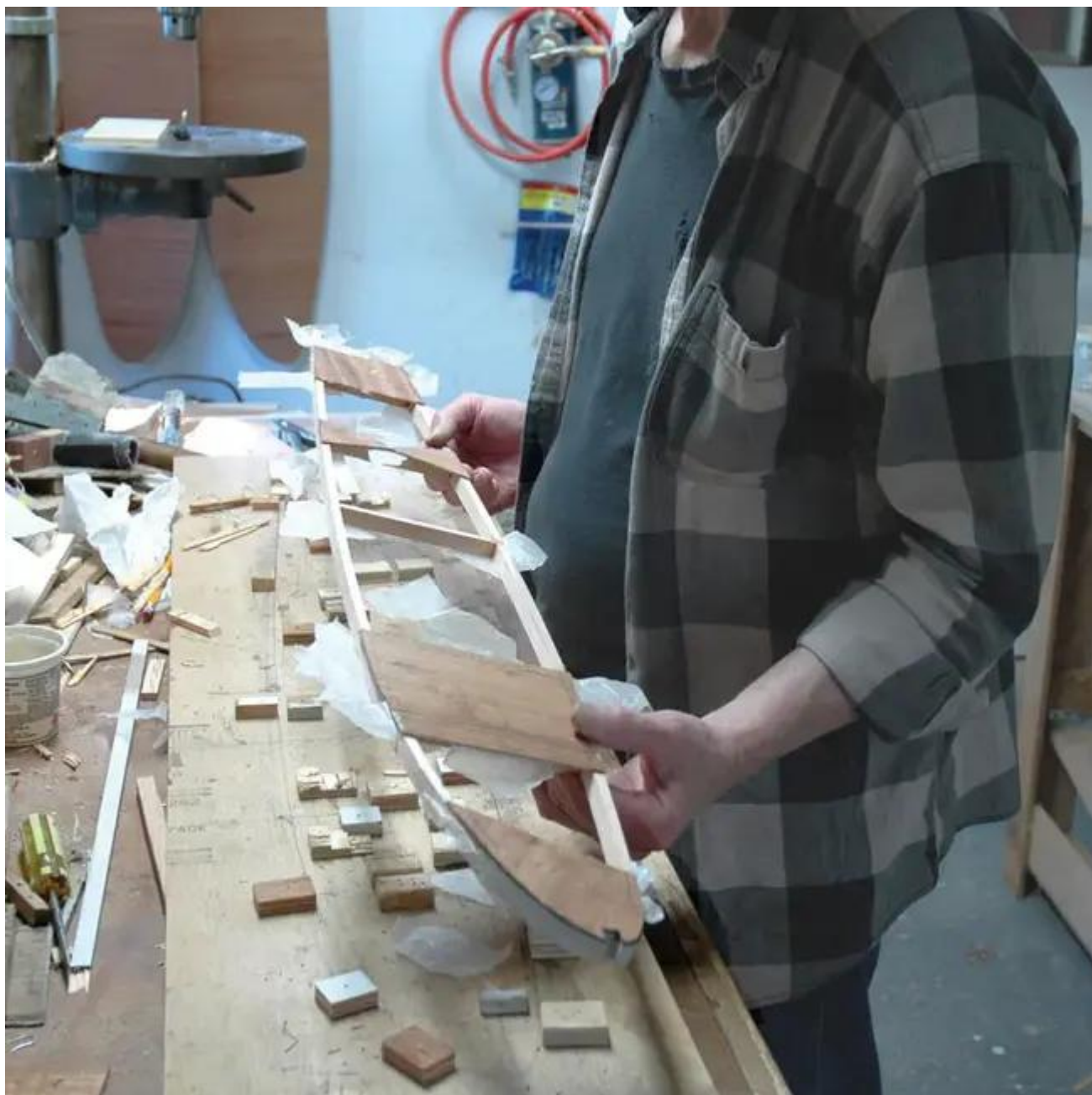


Cette nervure est prête à être sortie du gabarit. Tous les joints de colle ont durci, et les renforts en contreplaqué de 1/16" ont été ajoutés. Les renforts en contreplaqué ont été laissés débordant pour un arasement ultérieur.

ENFIN LES PLANS

Après avoir lutté avec l'avion pendant environ deux ans, j'ai reçu un cadeau de *Christophe Marchand*, le pilote d'essai français, sous la forme d'un CD contenant tous les dessins originaux de *Dalotel*, y compris tous les dessins des nervures. Chaque dessin de nervure, sans exception, comportait les détails de son contour sous la forme d'un tableau de coordonnées. Les dessins des nervures montraient également l'emplacement des feuilles de renfort, faites de contreplaqué de 1/16", qui ne recouvrent pas la totalité de la nervure. Pour obtenir la forme et la taille de chaque nervure, vous trouvez une surface plane et tracez une ligne de référence qui est essentiellement la corde de l'aile. Ensuite, en commençant par l'avant, qui est « zéro » sur le tableau, vous mesurez la distance donnée dans le tableau le long de votre ligne de base et marquez ce point. Enfin, vous mesurez vers le haut et vers le bas à partir de ce point longitudinal, selon les dimensions « y » vers le haut et vers le bas données sur le diagramme de la nervure, et marquez ces points.

En continuant ce processus pour tous les nombres de coordonnées donnés dans le tableau, vous obtenez une série de points qui, si vous avez tout fait correctement, tomberont sur le contour de la nervure. Reliez les points avec une courbe lisse, et voilà le contour de la nervure tracé à taille réelle sur votre gabarit. Une fois que vous avez le contour de la nervure, l'étape suivante consiste à ajouter des cales à la planche de base pour maintenir les semelles cintrées à la forme voulue, et davantage de cales pour positionner les pièces verticales d'assemblage de la nervure en place, puis collez-les toutes ensemble.



Une nervure est née. Tout juste sortie du gabarit, la nervure a quelques éléments supplémentaires attachés. Les morceaux de papier ciré s'enlèvent facilement. Le contreplaqué de renfort en chevauchement sera arasé avec une défonceuse d'affleurage.



On pourrait s'attendre à devoir construire un gabarit ou un moule de nervure pour chaque nervure. Cela signifie

que j'aurais, dans le cas du Dalotel, 14 patrons de nervures sur 14 grandes pièces de contreplaqué, dont les gabarits ne seraient presque certainement jamais réutilisés. De plus, le contreplaqué supportant les 14 formes ou moules serait généralement inutilisable à cause de toutes les cales collées dessus pour donner leur forme aux semelles et positionner les éléments d'assemblage. Cela, cependant, n'était certainement pas mon cas. J'ai mis au point un système qui était tellement extrêmement facile pour construire mes nervures que j'ai pensé que ce serait une bonne idée de le partager avec la communauté des constructeurs amateurs, dans l'espoir que cela puisse encourager d'autres personnes à construire des ailes effilées.

UNE MEILLEURE FAÇON DE FABRIQUER DES NERVURES

J'ai commencé avec la plus grande nervure, la numéro un. Elle fait presque 6' de long et environ 10" de haut. J'avais besoin d'une pièce de contreplaqué un peu plus longue et plus haute que ces dimensions afin de laisser de la place pour toutes les cales que j'allais fixer à la planche pour maintenir les pièces en place pendant que la colle, dans mon cas l'époxy *West System*, durcissait. J'ai utilisé une pièce de contreplaqué d'un 1/2" d'épaisseur pour ma planche de base. Dans mon atelier, je pouvais facilement soutenir cette planche de base en contreplaqué relativement mince de façon à ce qu'elle reste entièrement plane pendant que je construisais les nervures. Si nécessaire, on pourrait rigidifier la planche de base avec des renforts ou des treillis perpendiculaires au dos, ou utiliser du contreplaqué plus épais.



La défonceuse en action. Il y a un roulement à billes à l'extrémité de la fraise qui roule contre la semelle. Le résultat est des bords parfaitement arasés en quelques secondes.



Une nouvelle nervure est montrée à côté de l'originale, dont le nez a été écrasé lors d'un atterrissage

brutal. L'auteur est sur le point de poser les plaques de renfort sur la face supérieure de la nouvelle nervure, en suivant le modèle de l'originale, et en examinant attentivement le dessin de la nervure dans les plans. Il y avait quelques divergences entre les dessins et les nervures réelles. Dans de tels cas, l'auteur s'est conformé à la nervure existante, et non au plan. Noter les trous dans l'originale qui ne seront pas présents sur la nouvelle nervure. Ils étaient destinés aux câbles de commande d'un système d'aérofreins qui ne fonctionnait pas et qui avait été neutralisé par le constructeur d'origine. L'avion restauré n'aura pas d'aérofreins.



Voici une autre nervure qui est sur le point de recevoir « l'autre côté », à côté de l'originale grise. Le bloc de nez sur beaucoup des nervures est en balsa pris en sandwich entre des raidisseurs en contreplaqué d'acajou de 1/16". Les plaques de renfort étaient sur des côtés opposés de la nervure sur les ailes droite et gauche.

Ensuite, j'ai tracé une corde ou une ligne de référence le long du bois. Celle-ci a servi de ligne de base pour toutes les dimensions de chaque nervure à construire, et oui, je n'ai utilisé que cette seule pièce de contreplaqué de support pour les 28 nervures. La différence entre les nervures droite et gauche réside dans la taille et l'emplacement de tous les renforts, goussets et panneaux en contreplaqué de 1/16" collés sur le côté de chaque nervure.

Certains étaient grands, certains petits, et la seule différence de l'aile gauche à l'aile droite était que les grandes et petites pièces étaient sur des côtés opposés. Lorsque j'ai construit chaque nervure, j'ai placé les renforts appropriés sur le côté supérieur pendant que la nervure était dans le gabarit ; lorsque la nervure était sèche, je l'ai retirée du gabarit et j'ai placé les renforts appropriés sur l'autre côté de la nervure. Je n'avais pas besoin d'un gabarit pour le deuxième côté parce que la forme de la nervure était définie et entièrement renforcée avant sa sortie du gabarit.

Avec une référence ou une ligne de base au milieu de mon gabarit de contreplaqué de base, je suis allé au dessin de la nervure numéro un et j'ai reporté les coordonnées, en mesurant vers le haut et vers le bas depuis la ligne de base, et j'ai dessiné un petit cercle autour de chaque point. Tous les dessins de nervures ressemblaient au dessin de la nervure numéro huit (voir photo). La distance le long de la corde est donnée à la fois comme un pourcentage de la corde et en dimensions « x », en commençant par x=0 au bord d'attaque. Les dimensions « y » sont vers le haut et vers le bas depuis cette distance linéaire le long de la ligne de base. Toutes les dimensions sur tous les dessins de cet avion sont en unités métriques.

Maintenant que j'avais une série de points indiquant une courbe, j'ai utilisé une semelle comme règle flexible et je l'ai cintrée le long des points, puis j'ai tracé une ligne de liaison pour montrer le contour de la nervure sur la planche de base. Bien qu'il ne soit pas nécessaire de relier les points, voir le contour de la nervure facilitait les ajustements lorsque je cintrais les semelles supérieure et inférieure et les bloquais en place. J'ai également tracé les emplacements des montants d'assemblage sur la plaque de bois de support, je les ai découpés pour qu'ils s'ajustent précisément entre les semelles supérieure et inférieure, et je les ai bloqués en place avec davantage de cales. J'ai utilisé un crayon pour tous les marquages, afin de pouvoir effacer au besoin au fur et à

mesure.



L'outil au centre est le cloueur à pointes de #18 qui a maintenu toutes les cales en place. Les deux autres sont desagrafeuses destinées à fixer les plaques de revêtement sur les semelles des nervures. Pourquoi deux ? Vous ne voulez pas être en train de chercher les agrafes appropriées et de vous débattre avec la procédure de rechargement lorsqu'une agrafeuse est à court d'agrafes et que l'époxy est en train de prendre rapidement.

AJOUT DES BLOCS DE BOIS

J'avais préparé à l'avance un ensemble de blocs de bois. Ils faisaient environ 1" x 11/8" et 3/8" d'épaisseur. Je voulais que les blocs soient sous le niveau des semelles, qui sur mes nervures font 1/2" de large sur 1/4" d'épaisseur. La nervure numéro un était plus épaisse, mais vous voyez l'idée. J'ai placé ces blocs sur la plaque de support à l'intérieur et à l'extérieur de la semelle d'une manière qui forçait la semelle flexible à se conformer au contour correct de la nervure. Une fois que la semelle correspondait au contour de la nervure, j'ai mis une pointe de #18 avec un pistolet à clouer pneumatique à travers les blocs qui la maintenaient en place. Certains blocs ont nécessité deux pointes. Les éléments verticaux d'assemblage de la nervure ont également été positionnés avec des blocs fixés de la même manière.

Une fois que les semelles supérieure et inférieure et les éléments d'assemblage étaient en place, ainsi que le bloc de bois avant, qui fait la liaison entre les deux semelles, supérieure et inférieure, positionné de façon similaire, j'ai soulevé chaque joint bois contre bois et placé un petit morceau de papier ciré dessous afin que l'ensemble ne colle pas à la planche de base lorsque l'époxy durcirait. Ensuite, avec l'époxy correctement et soigneusement mesuré, floqué et mélangé, j'ai collé chaque pièce en place. Il n'y avait aucune pointe à travers aucune des semelles à ce stade, seulement beaucoup de petits blocs maintenant le tout en place. À l'exception du temps de durcissement, que j'ai réglé à 24 heures, cette procédure n'a pris que quelques minutes, et non des jours, pour fabriquer un gabarit permanent pour chaque nervure.



Ce pistolet pneumatique tire des agrafes à travers des morceaux de bois de rebut, puis à travers les renforts de revêtement et dans la semelle. C'est une excellente façon de réaliser des joints d'époxy serrés.



Les agrafes sont petites pour éviter de fendre les semelles en épicéa. Voici une pile de celles-ci à côté du crayon.



Voici comment les agrafes ont maintenu en place une grande feuille de contreplaqué recouvrant le stabilisateur de l'avion. C'est une technique standard de construction d'avions en bois.

Le jour suivant, avec la nervure toujours dans le gabarit, j'ai ajouté les renforts en contreplaqué de 1/16". Les blocs de positionnement étaient sous le niveau de la nervure, de sorte qu'ils n'interféraient pas avec les plaques de renfort de 1/16". En tenant compte du sens du fil du bois, je les ai découpés à la bonne largeur, mais je les ai laissés dépasser au-dessus et au-dessous des semelles, pour être arasés plus tard. De cette façon, il n'y avait aucun façonnage fastidieux et aucune difficulté pour les mettre exactement au bon endroit.



Voici pourquoi vous utilisez du bois de rebut au-dessus du bon bois pour les agraffer ensemble. Retirer les agrafes avec un tournevis affûté et de grosses pinces entraîne généralement la destruction des bandes, mais le bois important en dessous n'est pas endommagé le moins du monde.



Le bon bois non endommagé est montré à côté des pièces de protection essentiellement détruites. Avec la plaque de renfort en contreplaqué correctement collée aux semelles. Encore quelques secondes avec la défonceuse pour rendre cette nervure prête pour les renforts de l'autre côté.



Il faut quelques minutes pour retirer les anciennes cales et se préparer à tracer la prochaine nervure sur l'unique planche de base utilisée pour les 28 nervures. La plupart des cales peuvent être réutilisées en tirant simplement les pointes à travers celles-ci.

Il existe plusieurs façons de maintenir ces éléments pendant que l'époxy durcit. L'une consiste à ajouter du poids, mais le renfort peut se déplacer si vous faites cela. Une meilleure façon, plus contrôlable, consiste à utiliser des agrafes placées avec précision, tirées par une agrafeuse pneumatique à travers la plaque de renfort

en contreplaqué dans le bois d'épicéa sous-jacent. Je n'agrafe jamais directement sur la pièce collée pour plusieurs raisons. J'ai utilisé une bande de contreplaqué ou d'épicéa de rebut le long de la ligne d'agrafage de la plaque de revêtement. Les agrafes étaient tirées à travers le rebut, puis à travers le bon contreplaqué, puis dans la semelle située dessous. Cela facilitait le retrait des agrafes après le durcissement de l'époxy sans entailler le bon bois de la mince plaque de renforcement, et les agrafes ne se retrouvaient pas collées au bon bois. Les agrafes étaient d'un calibre léger pour éviter de fendre l'épicéa. Lorsque ces éléments ont durci, j'ai fait sortir les agrafes avec un tournevis affûté et des pinces, puis j'ai retiré la nervure du gabarit.



C'est la première nervure construite sur la planche de base, la numéro un. Elle est plus épaisse et plus grande dans toutes ses dimensions, et a nécessité une technique légèrement différente de toutes les autres, mais elle a prouvé le concept d'utiliser une seule planche, un cloueur et une agrafeuse pneumatiques, ainsi que de l'ingéniosité pour rendre la fabrication de nervures effilées facile.

ARASEMENT

J'ai alors pu araser les plaques de renfort qui dépassaient avec une petite défonceuse, en utilisant une fraise d'affleurage à roulement à billes. Le roulement à billes roule contre la semelle, tandis que la fraise enlève tout le contreplaqué qui dépasse. C'était rapide, très précis, et cela a fonctionné à merveille. Ensuite, je pouvais ajouter les bandes de revêtement nécessaires sur l'autre côté de la nervure, utiliser mon gabarit pour fabriquer une deuxième nervure pour l'autre aile, puis passer à la paire suivante.

Pour préparer la plaque de base pour le prochain ensemble de nervures, il a suffi de quelques minutes pour simplement retirer toutes les cales de ma plaque de base avec un marteau. Je pouvais réutiliser les cales une ou deux fois en tirant les pointes à travers la cale. Chaque paire de nervures était plus petite que la paire précédente, donc les marques étaient plus faciles à voir et le bois de support était essentiellement neuf et inutilisé. Comme indiqué, j'avais tracé les positions au crayon et je pouvais facilement effacer mes marques si elles gênaient la prochaine mise en place.

C'était une façon extrêmement efficace et simple de fabriquer des nervures effilées. Maintenant, j'ai toutes les nervures nécessaires pour cet immense projet de restauration. Un ensemble est déjà en place sur les longerons réparés de l'aile gauche. Je dois encore fabriquer les longerons pour celle de droite, mais cela ne semble pas être une tâche énorme parce que j'ai entièrement compris comment elle est construite. J'ai fendu l'ancien longeron principal complètement en deux par son milieu pour voir ce qu'il y avait à l'intérieur, et maintenant que j'ai les plans, je peux voir précisément comment je vais le fabriquer. En ce moment, je suis en train de mettre au point le nouveau montage du train d'atterrissage rétractable et de fabriquer des pièces pour le mécanisme du train. Le train d'atterrissage m'avait bloqué pendant plus de trois ans parce que les roues et les pneus d'origine n'étaient plus disponibles. Maintenant, grâce aux produits de *Beringer Aero* et à une légère modification de conception, je peux voir la lumière au bout de ce tunnel.



C'est la pile de 14 nervures pour l'aile droite, qui nécessite encore une paire de longerons, quelques interventions délicates, un revêtement, et une ou deux autres petites choses.