

Patron, une pression !

■ Texte et croquis :
Olivier Caldara ■

n°25

GONFLÉE OU OUVERTE, PRESSION OU TENSION ?

Un parapente a ceci de particulier que l'ensemble de sa structure ne tient qu'en tension, des suspentes à la voile elle-même. Contrairement à tous les autres aéronefs ailés, aucun de ses éléments n'a de résistance en compression, comme le longeron d'un planeur ou le tube de bord d'attaque d'un delta. Cette particularité impose que les efforts dans les principaux éléments structuraux d'un parapente soient toujours dans le même sens : en tension.

Dès qu'une partie du parapente (voilerie ou suspentes) est le siège d'une tension nulle ou "négative", par exemple en cas de turbulence, elle "s'effondre", se chiffonne, se replie, jusqu'à retrouver (on l'espère dans la plupart des cas !) une tension positive.

Ainsi, le principal besoin d'une structure de parapente est **la tension locale dans le tissu et les suspentes**. Plus la tension est élevée pour un régime de vol donné, plus elle est stable vis-à-vis des conditions extérieures (turbulences, thermiques, variations d'incidence...), plus la voile sera structurellement "solide". Attention, cette stabilité structurelle est à prendre dans son ensemble dans des conditions dynamiques, pour chaque élément de la chaîne structurale (aile, suspentes). La "solidité" de

Pas de panique, il nous faut attendre encore quelques mois pour pouvoir de nouveau se détendre au soleil à la terrasse du Bar de l'Atterro, après une bonne séance de vol. Dans l'intervalle, je vous propose de nous pencher sur une autre question où la pression est au centre des débats : comment une aile tient-elle ouverte ? Comment tient-elle gonflée ? Est-ce que la pression interne joue un rôle important ? Que signifie l'expression courante "mettre en pression" une aile ?

la voile n'est finalement que celle du maillon le plus faible. Pour fixer les idées, une aile très "rigide" et tendue, une "poutre" selon l'expression courante, dont le profil est "pointu" et dont l'instabilité dynamique est importante, pourra entraîner des variations importantes d'attitude à cause de son comportement en turbulences. Une telle voile sera au final moins résistante à la fermeture qu'une aile moins "poutre" mais plus stable dynamiquement. Bien, mais d'où vient la tension qui tient nos ailes ? Quels sont les phénomènes prépondérants, et ceux qui sont secondaires. La figure 1a représente le schéma simplifié d'une portion de voile et les différentes forces qui sont appliquées. La majeure partie des efforts a pour origine la pression locale (extrados, intrados, ce qui semble logique pour une aile... et aussi pression interne, ce qui est particulier au parapente), qui se traduit par une tension dans les panneaux, les nervures, puis les suspentes, équilibrée par le poids pilote. La figure 1b représente par ailleurs l'équilibre général d'une aile voûtée, et permet de comprendre l'effet de la voûte sur la tension générale en envergure. Cette tension dans l'envergure provient de la décomposition locale de la portance au niveau des points de suspentage. La résultante de cette décomposition donne un effort de tension vers l'extérieur.

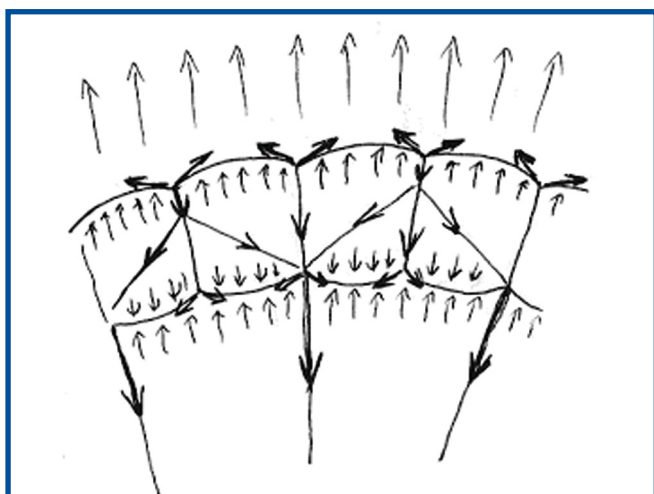


Figure 1a : équilibre tensions

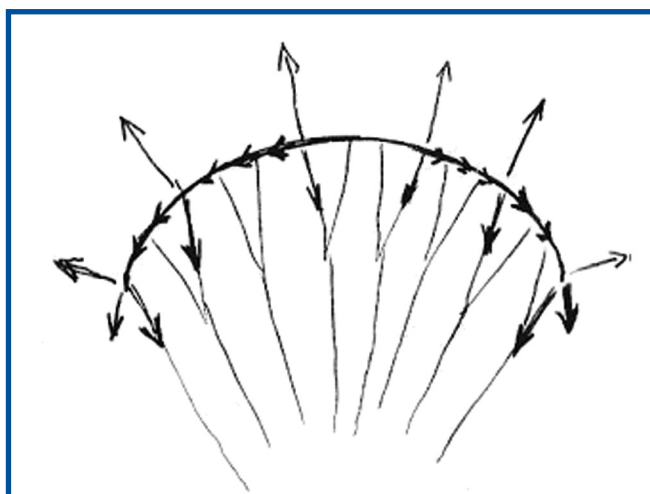


Figure 1b : tension de voûte

F I C H E T E C H N I Q U E



La figure 1a montre que la tension de l'extrados provient de l'addition de la dépression aérodynamique et de la pression interne. La tension de l'intrados provient de la différence entre la surpression aérodynamique et la pression interne. Elle montre aussi que c'est principalement la portance, donc la tension de l'extrados, transmise par les nervures vers les suspentes, qui "tient" l'aile. En effet, pour un profil courant en parapente, la répartition de pression en intrados et extrados pour une incidence normale de vol est donnée par la figure 2. Cette répartition est présentée sous la forme d'un coefficient de pression Cp par rapport à la pression dynamique due à la vitesse :

$$p_{dyn} = 1/2 \cdot \rho \cdot V^2$$

Un coefficient Cp de 1 signifie que la pression locale sur le profil est égale à la pression dynamique. C'est le cas au point d'arrêt (cercle vert). Un Cp négatif de -2 signifie que la pression locale est une dépression 2 fois supérieure à la pression dynamique. La moyenne de la différence entre les 2 courbes intrados et extrados donne le coefficient de portance Cz pour cette incidence. La figure 3 présente la répartition des efforts sur le profil gonflé par l'entrée d'air en vol stabilisé, en supposant que l'entrée d'air est bien placée au point d'arrêt où la pression interne est égale à la pression dynamique.

Les figures 2 et 3 montrent que la pression interne n'est pas prépondérante pour la tension du tissu extrados, et a une importance relative plus grande pour la tension intrados. Elle n'a aucune influence sur la différence extrados/intrados, donc sur le coefficient de portance Cz de l'aile. Un petit exemple numérique sur une zone par exemple au bord d'attaque du profil :

- vitesse de vol : $V = 36 \text{ km/h}$ (10 m/s)
 - pression dynamique :
- $$p_{dyn} = 1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \text{ soit } 60 \text{ Pascals ou } 6 \text{ kg/m}^2$$
- Cp extrados = -2 : dépression = $-2 \times 60 = -120 \text{ Pascals}$ ou -12 kg/m^2

- Cp intrados = 0.2 : pression = $0.2 \times 60 = 12 \text{ Pascals}$ ou 1.2 kg/m^2
- Pression interne = pression dynamique = 60 Pascals ou 6 kg/m^2

A partir de ces valeurs, on peut évaluer le delta de pression au niveau de l'extrados et de l'intrados :

- Delta de pression extrados = $120 + 60 = 180 \text{ Pascals}$ ou 18 kg/m^2
- Delta de pression intrados = $60 - 12 = 48 \text{ Pascals}$ ou 4.8 kg/m^2

Dans la zone du bord d'attaque, la tension du tissu extrados est environ 4 fois supérieure à la tension intrados. Par ailleurs, la tension extrados est due aux 2/3 à la dépression externe et pour 1/3 à la pression interne. En reprenant en figure 4 le schéma de la figure 1, on peut dire qu'une voile tient « ouverte » principalement grâce à la dépression d'extrados, et que la pression interne sert principalement à tenir la forme à l'intrados (cas 1). A la limite, une voile « sans intrados », monosurface comme un kite ou une Sailwing, avec ou sans nervures, tient parfaitement « ouverte » sans pression « interne », uniquement par la portance (cas 2).

De même, une voile « classique » à double surface mais sans entrée d'air et sans pression dynamique interne, uniquement remplie d'air à la pression atmosphérique par quelques trous ou fentes placées n'importe où (au bord de fuite par exemple), tiendrait parfaitement « ouverte » et « gonflée ». Le tissu d'intra-

dos tiendrait tendu entre les nervures mais subirait bien sûr un effort vers l'intérieur du à la légère surpression externe. Et alors ? Il serait bombé « en dedans » au lieu d'être bombé « en dehors », sans autre conséquence dramatique pour la forme du profil (cas 3).

CONCLUSION

Une voile tient « ouverte » en forme grâce au fait que la portance de l'aile est positive (dirigée vers le haut), elle tient « gonflée » (principalement à l'intrados) grâce à la pression interne due à la pression dynamique.

En corollaire, ce n'est donc pas la « chute de pression interne » ou le « dégonflage » d'une aile qui est responsable d'une fermeture, mais plus simplement la perte de tension à l'extrados qui survient lorsque la dépression diminue ou passe par zéro, lorsque la portance devient nulle ou négative. Dans ce cas, l'ensemble des tensions disparaît, les suspentes se détendent et la voile descend. La fermeture est un « affaissement » de l'aile, et son « dégonflage » n'est en général qu'une conséquence de cet affaissement.

La prochaine rubrique traitera des variations possibles de la pression interne, des perceptions ressenties par le pilote sur « l'état » de la voile, en relation ou non avec cette pression interne et des actions possibles pour contrôler cet état. ■■■

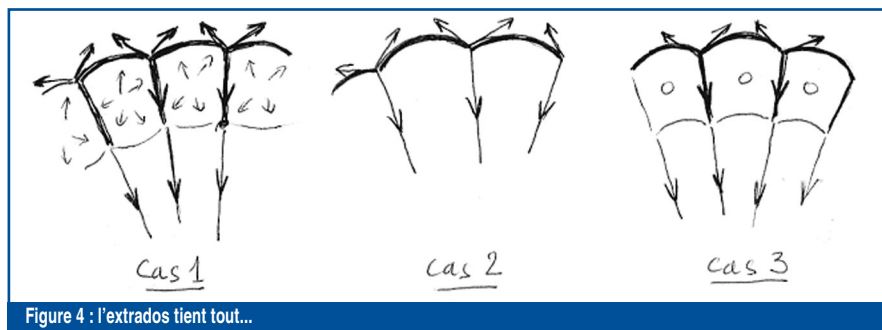


Figure 4 : l'extrados tient tout...

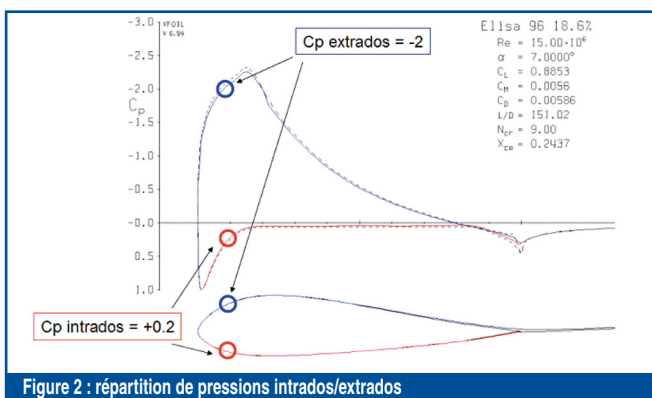


Figure 2 : répartition de pressions intrados/extrados

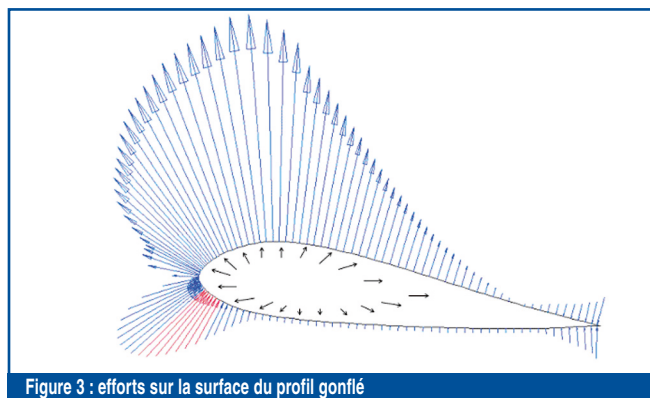


Figure 3 : efforts sur la surface du profil gonflé

