

# TOUPIE OR NOT TOUPIE...

*Comme dirait Hamlet !*

**a**u-delà de ce jeu de mots un peu tiré par les cheveux, le sujet de cette chronique porte sur les effets de couple liés au moteur sur un paramoteur. Ces effets sont principalement de deux natures :

- le couple de renversement provenant de la résistance opposée par l'hélice ;
- le couple gyroscopique qui, comme son nom l'indique, provient du fait que l'hélice en rotation, à cause de son inertie, se comporte comme une... toupie. D'où le titre.

## LE COUPLE DE RENVERSEMENT SA PROVENANCE ET SES EFFETS

Chaque pale d'une hélice en rotation se comporte comme une aile, soumise à un vent relatif. Ce vent relatif provient de 2 composantes (voir figure 1) : le vent créé par la vitesse de rotation de l'hélice et qui se situe donc dans le plan de celle-ci et le vent relatif subi par l'hélice lorsque le paramoteur avance. Ce vent relatif est donc (en règle générale) dans une direction perpendiculaire au plan de l'hélice. La composition de ces deux vitesses donne un vent relatif sur chaque pale, comme indiqué sur la figure.

Une aile dans un vent relatif développe d'une part une portance (dans le cas de la pale d'hélice c'est ce qui donne la poussée) et d'autre part une traînée. Cette dernière s'oppose à l'avancement de la pale donc à la rotation de l'hélice. Elle installe un couple de résistance que doit vaincre le moteur pour que l'hélice tourne à la vitesse de rotation  $V_{rot}$ . La puissance absorbée par l'hélice se calcule simplement à partir du couple de résistance et de la vitesse de rotation.

## QUE SE PASSE-T-IL SELON LE RÉGIME ?

En régime de croisière, à une puissance et une vitesse de rotation donnée, un couple constant est appliqué sur l'arbre d'hélice. Il se retransmet à l'ensemble châssis-pilote (figure 2). Ce couple est présent dès qu'une puissance est transmise à l'hélice. Il tend à donner au châssis-pilote un roulis dans le sens inverse de la rotation de l'hélice. D'où son nom : « couple de renversement ». C'est comme si l'hélice, par sa résistance, tendait à faire tourner le châssis dans l'autre sens. Si l'ensemble châssis-pilote est symétrique et par exemple si l'hélice tourne en sens antihoraire, ce « couple de renversement » sera à droite et tendra à plus charger le point d'attache droit que le côté gauche de l'aile. Le résultat sera similaire à un pilotage « sellette » en parapente non motorisé. La différence de charge tendra à faire tourner l'aile à droite par effet de chargement. D'une façon ou d'une autre, le

pilote doit contrer à gauche cette tendance pour voler droit (aux freins, avec un réglage des cannes du châssis, de l'axe de poussée moteur, etc).

En cas de changement de régime, le couple de renversement varie lui aussi. A l'accélération, toujours dans le cas

précédent « antihoraire », il va augmenter et le chargement « à droite » du pilote sur l'aile aussi. Lors d'une baisse de régime, il va diminuer. Dans les deux cas, le pilote devra compenser cette variation en augmentant ou diminuant l'action à contrer.

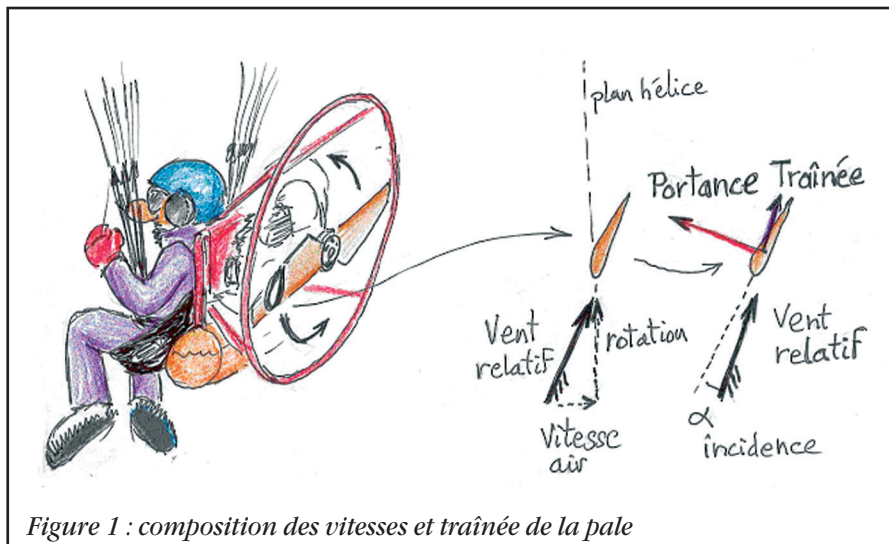


Figure 1 : composition des vitesses et traînée de la pale

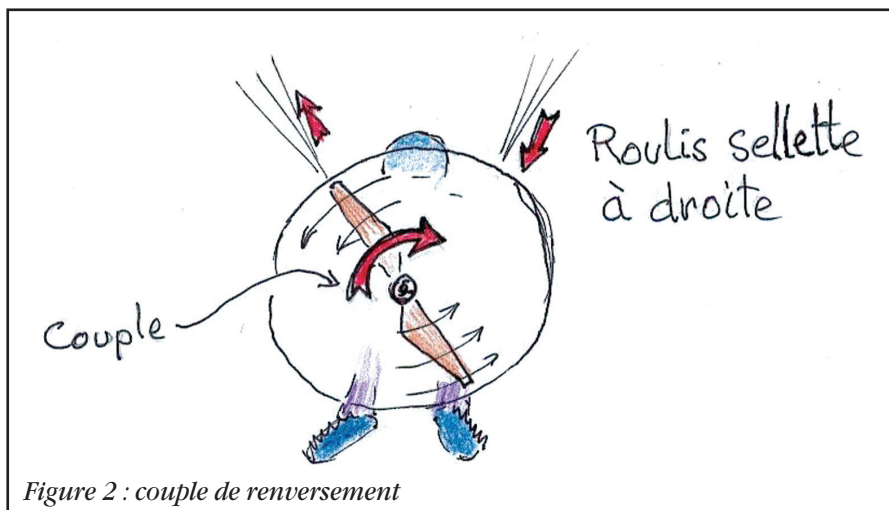


Figure 2 : couple de renversement

E n°48 U I Q U E T E C H N I Q U E F I C H E



## LE COUPLE GYROSCOPIQUE

Le couple gyroscopique provient du fait que l'hélice possède une certaine masse non négligeable. Lorsque les pales d'hélice sont en rotation, elles acquièrent une inertie qui dépend de leur masse, de la position de leur centre de gravité (distance du CG par rapport au centre de rotation) et de la vitesse de rotation (figure 3). Cette inertie est d'autant plus grande que la masse, la distance du CG et la vitesse de rotation sont élevées. L'inertie de rotation représente une énergie emmagasinée par l'hélice.

Si on compare de façon approximative l'hélice à un disque tournant, elle se comporte comme une toupie ou un gyroscope. La particularité d'un disque tournant est de tendre à conserver l'axe et le plan de rotation immobiles, d'autant plus fortement que l'énergie emmagasinée par le disque est importante (masse, diamètre vitesse). Une action de déstabilisation est contrée par l'énergie emmagasinée, un peu comme la trajectoire d'un camion de 30 tonnes lancé à 100 km/h sera peu perturbée par une voiturette ayant grillé un stop ! Si l'action de déstabilisation est suffisante, la voiturette est remplacée par un autre camion..., pour faire changer la direction de l'axe de rotation la différence d'un système gyroscopique avec un système à vitesse linéaire (comme le camion) est de réagir par un couple de rotation transverse à 90° de l'axe du changement de direction (figure 4).

Sur un paramoteur, les inconvénients du couple gyroscopique arrivent lorsque l'ensemble pilote-châssis est soumis à une variation de tangage. Une variation de tangage est équivalente à une rotation du plan de l'hélice autour d'un axe équivalent à l'axe 1 de la toupie, donc horizontal (figure 5). En reprenant l'analogie avec la toupie, cette rotation entraîne une réaction du « disque » d'hélice à tourner sur un axe de rotation à 90° équivalent à l'axe 2, donc vertical dans ce cas, c'est-à-dire l'axe de lacet. Dans le cas d'une rotation antihoraire de l'hélice un mouvement à cabrer entraîne un lacet à gauche de l'ensemble pilote-châssis et un mouvement à piquer entraîne un lacet à droite. Ce mouvement de lacet est d'autant plus important que la variation de tangage est rapide. Le cas le plus classique est celui obtenu par une augmentation de régime importante, remise des gaz et mouvement pendulaire rapide à cabrer. Un lacet à gauche important survient qui oriente la poussée vers le côté gauche de l'aile. Par réaction celle-ci est entraînée en roulis vers la droite alors que le pilote est orienté vers la gauche. Si le pilote est obligé de contrer fortement à gauche, compte tenu de l'assiette de l'aile, il peut arriver que celle-ci parte en décrochage asymétrique (vrille). D'autres effets proviennent de dissymétries d'écoulement lorsque le pilote et l'hélice sont « décalés » par rapport à la direction du vent relatif ce qui entraîne que les vitesses sur les pales peuvent être différentes selon la position de la pale. Cela peut parfaitement arriver à cause des phénomènes précédents... En conséquence la poussée de l'hélice devient dissymétrique. Une description plus précise sera apportée la prochaine fois.

## EN RÉSUMÉ

Il faut remarquer que les inconvénients du couple de renversement et du couple gyroscopique interviennent d'autant plus que les variations de gaz et d'attitude pilote (changement de position) sont rapides. La règle de base pour les réduire est de « rester calme et progressif », aussi bien sur la manette des gaz que lors des manœuvres. Evidemment, les constructeurs de paramoteurs ont mis au point des solutions pour atténuer notablement ces inconvénients. Elles seront détaillées lors d'une prochaine chronique.

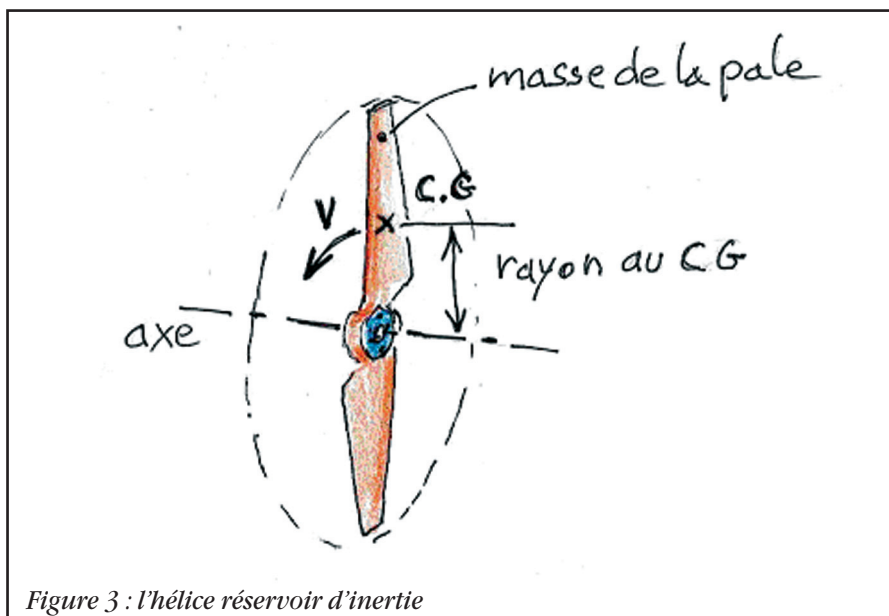


Figure 3 : l'hélice réservoir d'inertie

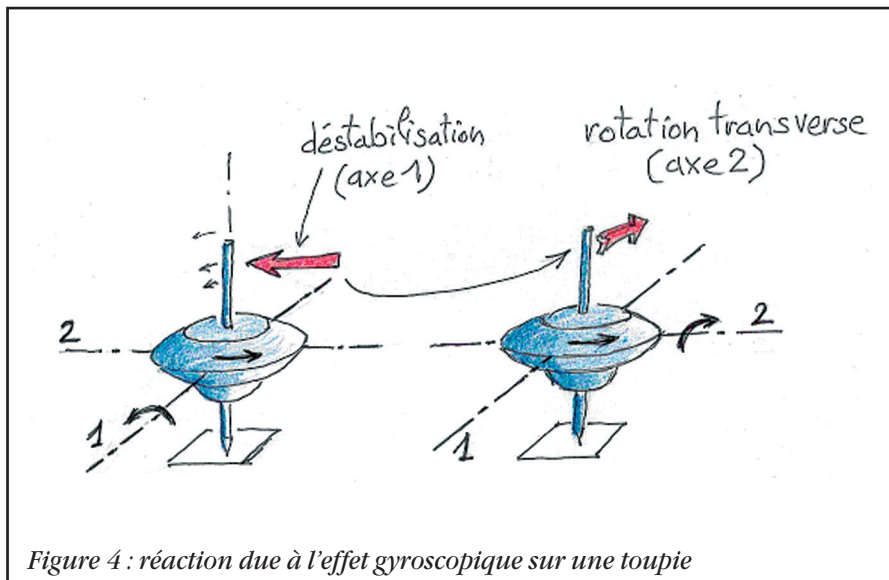


Figure 4 : réaction due à l'effet gyroscopique sur une toupie

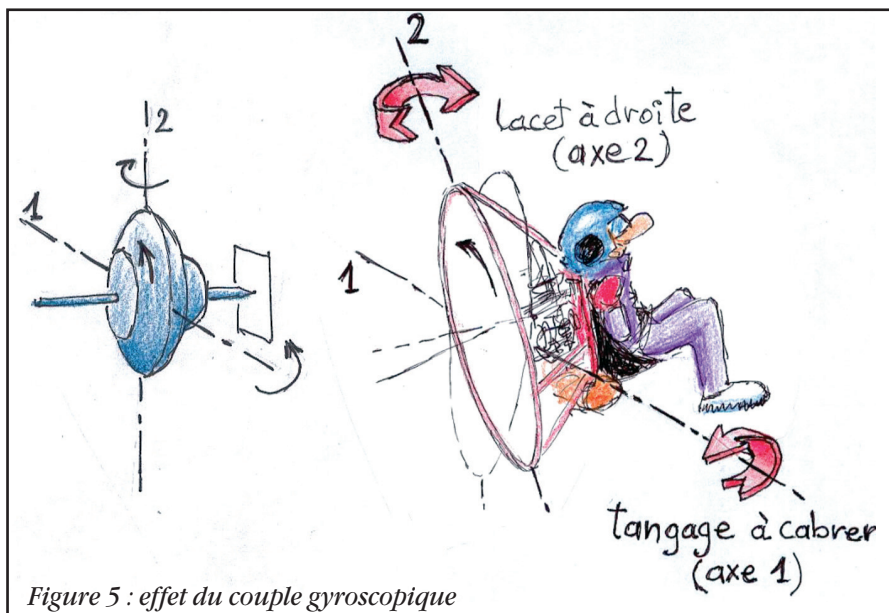


Figure 5 : effet du couple gyroscopique

