

Esquisse 1: Le pilote modifie l'angle d'incidence (Pitch Angle) des pales du rotor au moyen de la commande. L'angle d'attaque effectif est défini par la direction de l'écoulement d'air.

Technique: le flux vertical du rotor et ses phénomènes

Vitesse induite du rotor

Le Downwash d'un hélicoptère expose de manière impressionnante l'importance des masses d'air accélérées verticalement par le rotor. La moindre sollicitation de puissance en vol stationnaire en effet de sol, ou encore le fait de se rendre compte que le dernier atterrissage d'un vol devant le hangar domestique peut être l'un des plus difficiles, tout ceci est lié aux phénomènes des masses d'air circulant verticalement sous le disque du rotor.

La vitesse induite au niveau de la surface portante est responsable de divers phénomènes au niveau du rotor de l'hélicoptère. L'air est accéléré verticalement par les pales du rotor, lesquelles se déplacent horizontalement à travers ce gaz. Il en résulte une vitesse verticale moyenne dans le plan du rotor. La vitesse augmente continuellement sous le rotor et double jusqu'à formation complète du Downwash, car le flux d'air se comprime sous la pression ambiante. Cet effet est observable en extrayant du miel liquide d'un pot au moyen d'une cuillère. En laissant couler lentement le miel de la cuillère sur le pain, le filet formé par le miel

quittant la cuillère est plus épais, alors qu'il se rétrécit vers le bas. Étant donné que la quantité de miel qui coule est toujours la même, ce dernier doit couler plus rapidement dans la partie plus fine du filet.

Portance et résistance

Il est relativement facile de calculer la vitesse moyenne induite au rotor. Le plus important reste toutefois son interprétation quantitative permettant de comprendre certains comportements de l'hélicoptère. Avec la vitesse tangentielle de la pale du rotor (Tangential Speed), la vitesse induite (Induced Speed) forme un triangle dont le troisième côté indique la vitesse d'écoulement réelle (Inflow Speed) et la direction d'écoulement du profil rotor. Ceci est représenté par l'esquisse 1.

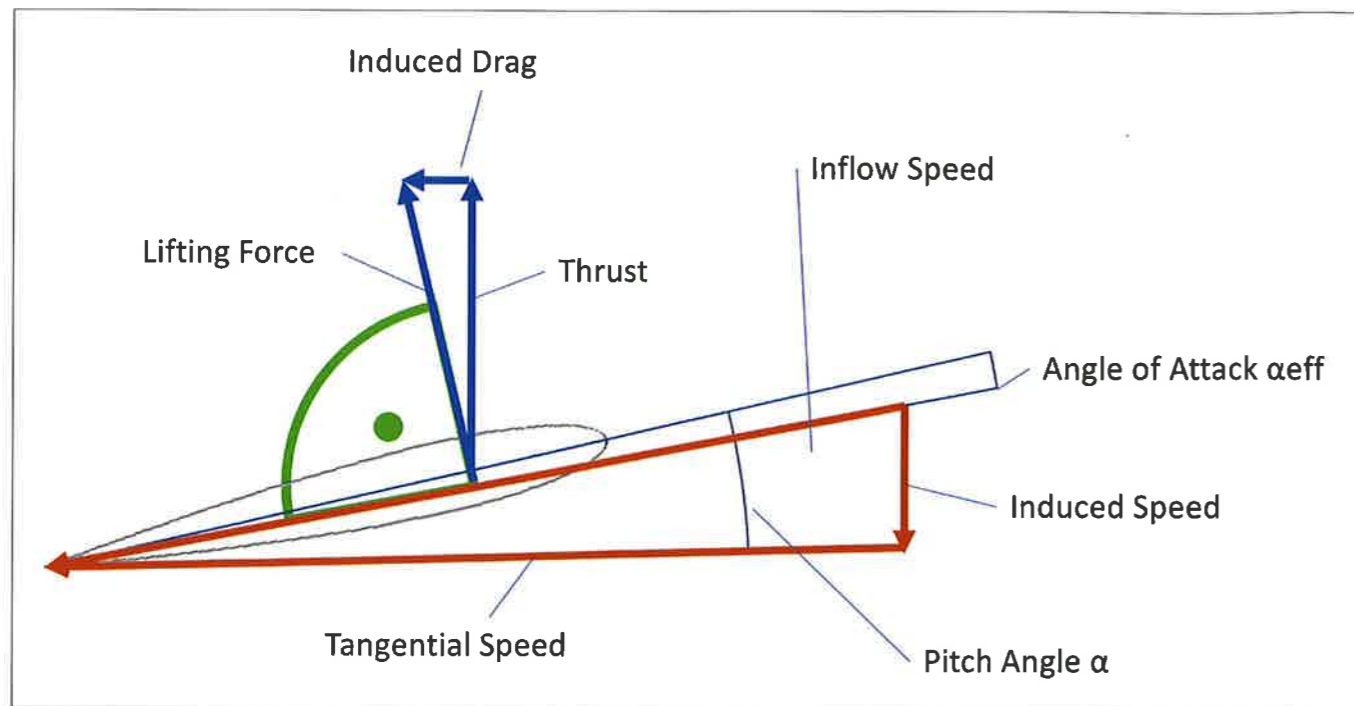
Tandis que le pilote actionne la commande de l'angle d'incidence (Pitch Angle) de la pale du rotor, le sens de l'écoulement définit l'angle d'attaque (Angle of Attack) effectif de la pale. L'angle d'attaque peut se lire entre la direction d'écoulement effective et la corde du profil (esquisse 1). De l'angle d'attaque résulte également la direction de la force de

portance (Lifting Force) de la pale du rotor, elle est perpendiculaire à la direction de l'écoulement. En décomposant cette force en sa composante verticale et sa composante horizontale, on obtient deux forces, la poussée réelle (Thrust) perpendiculaire au rotor ainsi que la composante horizontale, laquelle agit contre la force d'entraînement du rotor et représente donc une résistance. Étant formée par la vitesse induite, elle est appelée traînée induite (Induced Drag).

L'influence de l'effet de sol

Dans l'esquisse 2, la pale est représentée avec le même angle d'incidence, mais avec une vitesse induite plus élevée. L'angle d'attaque effectif de la pale du rotor est plus petit. Pour engendrer la même poussée, la résistance induite est supérieure – par conséquent, la puissance d'entraînement doit être supérieure.

On ne peut pas influencer la vitesse induite en vol normal. Les pales du rotor déplacent la masse d'air requise, ce qui crée un écoulement vertical dans le plan du rotor, et la turbine ajuste la puissance pour maintenir la vitesse du rotor. Mais alors à quel moment influençons-nous



Esquisse 2: La pale de rotor avec le même angle d'incidence, mais avec une vitesse induite plus élevée. La résistance induite augmente.

le flux vertical? De toute évidence durant le vol stationnaire en effet de sol. Le manuel de vol contient deux diagrammes permettant d'évaluer les performances de vol stationnaire de l'hélicoptère. L'un se réfère au vol stationnaire en effet de sol (IGE) et l'autre au vol stationnaire hors effet de sol (OGE).

La puissance IGE de l'hélicoptère est toujours supérieure. En effet, la colonne d'air déplacée par le rotor s'appuie d'autant plus au sol que l'hélicoptère est proche de celui-ci durant le vol stationnaire. L'air est ralenti, la vitesse induite à travers le plan du rotor est plus petite. Ainsi, la résistance induite diminue et l'hélicoptère peut voler avec moins de puissance. Pour exploiter l'effet de sol en tant que pilote, il est donc important de survoler une surface horizontale suffisamment grande et de voler près du sol. Sur une crête ou une plate-forme couvrant à peine les patins, l'effet de sol est plus petit, voire inexistant.

Les obstacles perturbateurs

En volant près d'un obstacle, par exemple devant un hangar, l'hélicoptère s'agitte soudainement. Ici encore, l'environnement affecte l'écoulement vertical du rotor. Dès que le courant montant le long de la porte du hangar est à nouveau aspiré vers le bas, le rotor n'absorbe plus d'air stable, cet air affiche en effet déjà une certaine vitesse. Le débit vertical augmente en conséquence – la pale plus proche du hangar présente un angle d'at-

taque effectif plus petit et commence à battre vers le bas. Comme lors d'une impulsion de commande du pilote, la pale atteint sa position la plus basse 90 degrés plus tard. Le plan du rotor s'incline dans cette direction, l'hélicoptère suit, respectivement le pilote corrige le mouvement, lequel l'entraîne en direction du hangar. Étant donné que tous les éléments de commande sont couplés et que des turbulences peuvent également survenir, le débattement cyclique ne suffit plus, il faut y ajouter un peu d'anticouple, un peu de collectif, encore un peu de débattement cyclique, etc. – pour le pilote, l'hélicoptère paraît agité. L'atterrissage le plus difficile est toujours celui de la fin du vol, devant le hangar.

Phénomène de l'effet transitoire sur la portance

En accélérant rapidement l'hélicoptère hors du vol stationnaire, un autre effet du flux vertical plus important se laisse ressentir uniquement sur une partie de la surface de la pale. Avec cette accélération rapide, le plan du rotor est incliné vers l'avant, l'hélicoptère suit, et la vitesse de l'air aspiré n'est désormais plus seule à agir sur les pales, il faut en effet y ajouter un élément engendré par la vitesse d'avancement. Jusqu'ici tout va bien. L'angle d'attaque effectif diminue quelque peu sur l'ensemble du plan rotor, on augmente un peu le levier du collectif jusqu'à ce que l'effet transitoire sur

la portance s'installe, ou alors on effectue la manœuvre avec une telle douceur que l'effet transitoire sur la portance se déploie avant de devoir tirer le collectif. Aucun problème.

L'effet transitoire sur la portance apparaît parce qu'à une certaine vitesse le rotor aspire de plus en plus d'air stable et réduit ainsi – en marge de nombreux autres effets – la vitesse induite, l'angle d'attaque effectif augmente, la résistance induite décroît ce qui engendre davantage de portance avec le même angle d'incidence du rotor. Mais pourquoi un effet asymétrique devrait-il apparaître lors d'une accélération rapide, sans tenir compte cette fois de l'écoulement asymétrique des pales avançantes et reculantes?

L'asymétrie au décollage

Un effet asymétrique n'est reconnaissable qu'en intégrant l'angle du cône formé par les pales du rotor dans les observations (esquisse 3). En observant latéralement le rotor avec l'angle de son cône, nous remarquons qu'en raison de l'inclinaison du rotor la pale arrière affiche une composante de vitesse horizontale plus grande que la pale avant. La pale arrière a un écoulement à effet vertical plus élevé et commence à battre vers le bas, la pale avant commence à battre vers le haut. Comme lors d'un mouvement de commande, l'effet se produit seulement 90 degrés plus tard. La pale arrière atteint son point le plus bas sur le côté lorsqu'elle

avance, la pale arrière atteint son point le plus haut sur le côté lorsqu'elle recule. L'hélicoptère commence à s'incliner sur le côté de la pale avançante, respectivement pour suivre une courbe. Le pilote doit corriger au moyen de la commande cyclique sur le côté de la pale reculante. L'effet dépend de l'angle du cône.

Les hélicoptères équipés de pales relativement légères et de faibles régimes de rotor seront plus affectés par cet effet, comme les hélicoptères soumis à une charge alaire importante. Les faibles régimes ou le poids réduit des pales avec donc des forces centrifuges plus faibles sur les pales et/ou des charges alaires du rotor plus élevées, augmentent l'angle de conicité du rotor.

Finesse plutôt que sport et sensation

En commençant à piloter un hélicoptère, il vous sera demandé d'exécuter la manœuvre de décollage avec précaution et finesse. La manœuvre sera ainsi réalisée avec peu de puissance, l'hélicoptère ne se retrouvera ainsi pas déjà quasi sur le dos en cas de panne moteur et l'on dispose de suffisamment de temps pour jeter un œil à l'extérieur afin de contrer l'effet de roulis latéral. Le fait de décoller dans le meilleur des cas avec la puissance de vol stationnaire engendre également un angle de

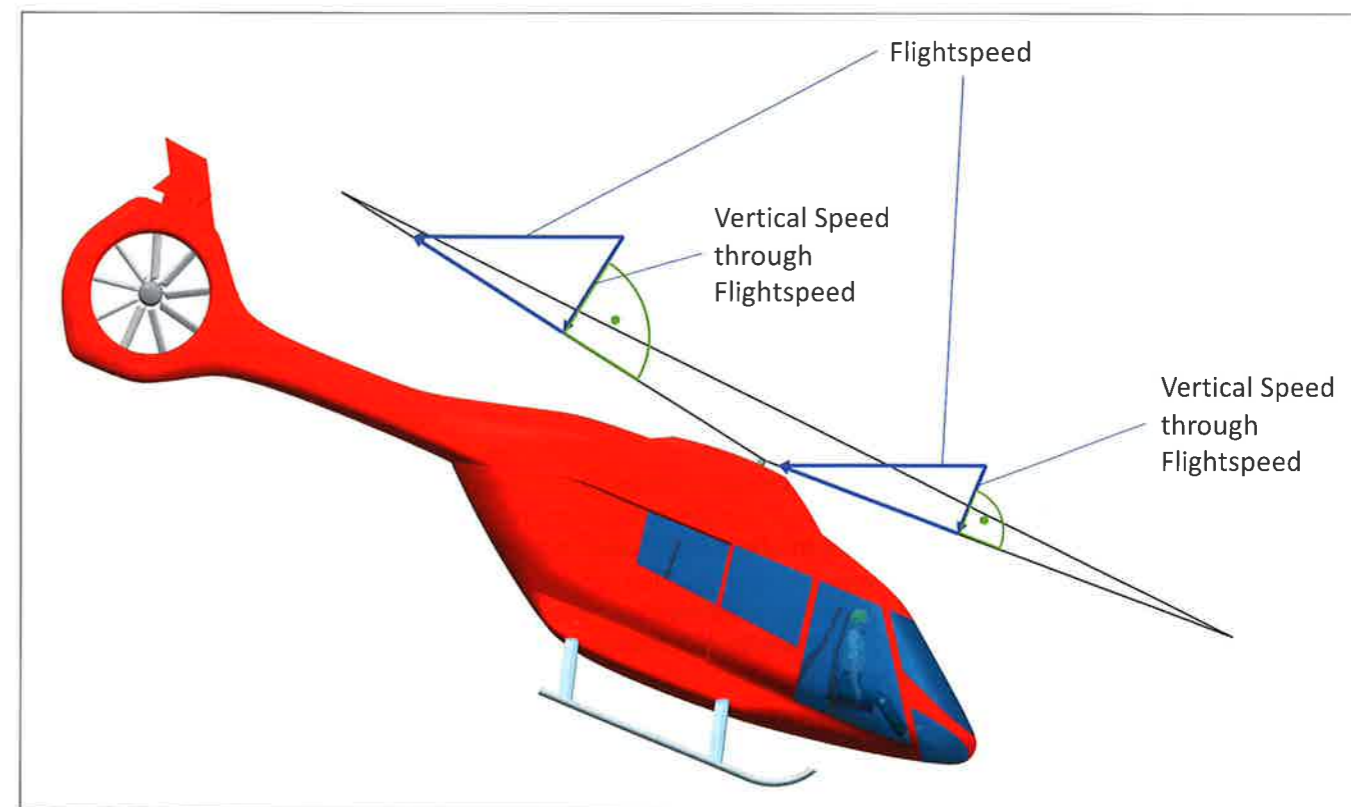


Le Downwash d'un hélicoptère montre de manière impressionnante l'ampleur des masses d'air accélérées verticalement par le rotor, ce qui s'exprime particulièrement bien en hiver.

cône plus petit qu'en retournant l'hélicoptère sur la tête de manière sportive et spectaculaire, exigeant ainsi du rotor une poussée beaucoup plus importante et donc un angle de cône plus grand. Après quelques heures de pratique de vol, c'est comme avec les si nombreux embrayages et autres carences au niveau du comportement de l'hélicoptère: les corrections passent par la chair et leur compensation se fait auto-

matiquement en tant que pilote. Les hélicoptères équipés du système SAS (Stability Augmentation System) compensent vraisemblablement le comportement de manière complète, ou en bonne partie. Les gyroscopes modernes reconnaissent instantanément chaque changement de position et le SAS commence à contrer au moyen de la commande cyclique, sans que le pilote s'en aperçoive.

Texte Martin Stucki



Esquisse 3: En raison de l'inclinaison du rotor, la pale de rotor arrière affiche une composante de vitesse horizontale plus grande que celle de l'avant.