

L'hélicoptère et le péril des approches à forte pente

Lors d'approches à forte pente, l'apparition d'un dangereux état d'anneaux tourbillonnaires menace les voilures tournantes. L'Onera s'est penché sur le problème.

Pour les opérateurs d'hélicoptères, les approches à forte pente font l'objet d'une attention toute particulière. Dans le domaine civil, elles permettent d'envisager la réduction des nuisances sonores. Elles sont également prisées des militaires, désireux de conduire des manœuvres plus agressives. Mais la médaille a son revers : le redoutable Vortex Ring State (VRS) ou état d'anneaux tourbillonnaires. Le phénomène prend naissance quand le rotor descend dans son propre souffle et perd de la portance ; une chute brutale s'ensuit. Entre 1982 et 1997, 32 accidents d'hélicoptères seraient ainsi liés au VRS.

Le convertible V-22 lui aussi en a fait les frais : en avril 2000, 19 Marines avaient péri à la suite d'une approche trop pentue. Le drame a eu pour effet d'accentuer l'effort des scientifiques sur un état dont le mécanisme physique est encore mal appréhendé. Des essais en cours à Patuxent River montrent l'importance de la maîtrise du phénomène pour la survie du programme V-22. Les Européens ne sont pas en reste. Depuis trois ans, l'Onera mène des recherches autour du VRS. Des recherches dont l'origine est bien antérieure au V-22.

Optimiser les lois de commandes. Depuis une dizaine d'années, Onera et DLR coopèrent pour améliorer les modèles de mécanique du vol ainsi que les qualités de vol. De nouvelles technologies sont à l'étude : commandes de vol électriques, lois de pilotage... Très vite, il devient nécessaire d'évaluer l'impact des nouvelles lois de commande aux limites du domaine du vol. Et en particulier, pour les approches à forte pente, les frontières du régime de VRS.

"Notre premier objectif est de trouver les meilleures lois de pilotage permettant non seulement d'améliorer les qualités de vol, mais aussi de gérer les limites du domaine de vol, et par conséquent d'éviter ou de retarder l'entrée en VRS", précise Armin Taghizad, chercheur au centre Onera de Salon-de-Provence. Et pour les appareils qui ne disposeront pas de commandes de vol électriques, les chercheurs envisagent un sys-



Le Dauphin 6075 du Centre d'essais en vol d'Istres.

Pour les essais en régime de vortex, il a été équipé de perches anémométriques.

tème d'alerte pour prévenir les pilotes du risque de VRS.

Mais, pour cela, il faut d'abord procéder à des expérimentations, couplées à des travaux de modélisation.

Dauphin expérimental. Avec la coopération du Centre d'essais en vol (CEV) d'Istres, une campagne d'essais a été conduite l'an dernier sur le Dauphin 6075. Cet hélicoptère d'essais est déjà équipé de toute une panoplie de capteurs : centrale inertielle, radar Doppler pour les mesures de vitesse, gyromètres, accéléromètres, capteurs de pression... Plus spécifiquement pour les essais VRS, deux perches anémométriques ont été installées de part et d'autre du cockpit, à 2 m sous le rotor. Ces perches comportent 6 sondes mesurant la vitesse locale de l'écoulement.

Une première série de vols a permis d'explorer le régime de vortex, par deux points

d'entrée différents : d'une part en réduisant le pas collectif (à vitesse d'avancement donnée), d'autre part en réduisant la vitesse d'avancement (à taux de descente fixe).

Dans tous les cas, l'apparition du VRS se manifeste par de fortes vibrations ressenties par l'équipage : les pilotes évoquent l'instabilité de la réponse des commandes de vol comme un véritable "exercice de rodéo". En parallèle, la vitesse verticale chute brutalement. L'équipage vérifie alors que l'augmentation du pas collectif est sans effet dans ces conditions. C'est ce qu'on appelle "l'enfoncement avec puissance". Cependant, le vol du Dauphin contredit une idée généralement admise, selon laquelle l'augmentation du pas collectif amplifierait les effets du VRS. Il ressort de l'étude que, pour sortir de ce régime, il faudrait que cette action soit précédée par une augmentation de la

fait des essais sans empennage arrière : l'hélicoptère reste plus longtemps en VRS", explique Armin Taghizad. Pour le convertible V-22, la configuration spécifique de l'appareil permet d'envisager une autre solution : les pilotes peuvent en effet reprendre de la vitesse en basculant les nacelles d'environ 15° vers l'avant.

Les résultats expérimentaux viennent confirmer les modèles d'estimation du domaine de vortex. En premier lieu, le VRS n'apparaît qu'en deçà d'une certaine vitesse d'avancement. Cette valeur limite augmente avec le poids de l'hélicoptère, mais

et la densité de l'air. Par exemple pour le Dauphin 6075, le régime VRS n'apparaissait qu'en dessous de 30 km/h environ. Pour des vitesses d'avancement inférieures à 20 km/h, l'entrée dans cet état intervenait pour une vitesse de descente supérieure à 14 km/h.

Une seconde série de vols était destinée aux mesures du sillage rotor. Un modèle simplifié du phénomène, utilisable dans les codes de mécanique de vol, rend maintenant possible la simulation de l'entrée en vortex. L'Onera dispose aujourd'hui d'une base de données conséquente, dont l'analyse est en cours. Et l'effort de recherche dans ce domaine va encore être accentué.

Appel européen. L'Onera est en effet à l'ini-

tiative d'un projet européen, qui sera soumis l'an prochain dans le cadre du 2^e appel du 6^e PCRD. "L'Onera a sollicité plusieurs organismes, qui ont presque tous répondu présents : en France Eurocopter, en Allemagne le DLR et Eurocopter Deutschland, en Italie Agusta, en Grande-Bretagne les universités de Liverpool, de Southampton ainsi que le NLR aux Pays-Bas", confie Armin Taghizad. Modélisation et essais en vol devraient être secondés par des essais en soufflerie. Jean-Jacques Philippe,

directeur des recherches hélicoptères et convertibles à l'Onera, pointe un défi supplémentaire : "On ne sait pas

encore simuler le VRS en soufflerie, car l'on manque d'installations qui feraient varier la vitesse et l'incidence en descente. Un système de mise en mouvement de la maquette serait nécessaire."

Les essais permettront d'étudier l'influence de paramètres comme le vrillage des pales. Un récent modèle anglais montre en effet que ce vrillage modifie les conditions d'entrée en VRS ainsi que le comportement du rotor dans ce régime.

Vers un contrôle actif ? De là à proposer de nouveaux dispositifs technologiques pour retarder l'apparition du phénomène... Jean-Jacques Philippe a son idée sur la question : "Je crois beaucoup aux solutions de vrillage actif. Il est quasiment impossible d'optimiser toutes les configurations de vol avec des dispositifs passifs."

L'emploi de matériaux intelligents est une piste prometteuse, déjà explorée par les Etats-Unis. Des pales composites peuvent ainsi être tapissées à cette fin de piézo-fibres sur toute leur longueur. Un projet européen baptisé "Friendcopter" vient d'être déposé dans le cadre du 6^e PCRD, et inclut ce type d'étude de pales actives pouvant se déformer en torsion. Et une équipe Onera/DLR travaille sur le sujet depuis 2002, avec en ligne de mire la réduction du bruit du rotor. Une application au VRS est envisageable. Mais de l'avis des chercheurs il faudra encore attendre 5 à 10 ans, au bas mot, avant que ce type de solutions ne soit mis en place. ANNE MUSQUÈRE

Un véritable "exercice de rodéo"

Explication du phénomène

L'entrée en VRS intervient aux forts taux de descente – vitesses verticales de l'ordre de la moitié du souffle rotor – et aux faibles vitesses d'avancement.

Tentons une brève explication du phénomène. Au cours du vol, des tourbillons se créent sur les extrémités des pales. Dans des conditions normales, ces tourbillons sont chassés vers le bas et n'affectent la portance que de façon mineure. Mais pour de forts taux de descente, la vitesse est insuffisante pour chasser les tourbillons vers le bas : ils s'accumulent alors sous le rotor et s'amassent "par paquets". Le flux

devient très irrégulier, et peut recirculer à travers le rotor. Résultat : le rotor s'enfonçant dans son propre souffle perd de la portance et la chute s'accélère brusquement. En parallèle, l'hélicoptère devient très instable et difficile à contrôler. Un pilote peu familier du VRS aura naturellement tendance à augmenter le pas collectif pour reprendre de l'altitude. Une mauvaise surprise l'attend : dans ces conditions, la commande est sans effet. Pour des convertibles comme le V-22, la situation se complique encore : l'un des deux rotors peut entrer en VRS avant l'autre, ce qui induit un fort roulis.

Entre 1982 et 1997, 32 accidents d'hélicoptères sont liés au VRS