

L'autorotation comme moyen d'assurer la sécurité d'un drone livreur en ville

Le mouvement que décrit naturellement l'aile d'une samare permet la mise en évidence du phénomène d'autorotation, par lequel celle-ci tourne sur elle-même en étant impactée par les forces aérodynamiques de l'air. Parallèlement, l'idée d'utiliser un drone comme moyen de livraison dans les villes de demain gagne chaque jour en considération.

Tout en devenant une source d'espoir, le drone suscite de nombreux doutes, notamment en termes de sécurité. Lors d'une panne moteur, le drone pourra alors être amené à évoluer en autorotation afin de ralentir sa chute et éviter toute catastrophe en milieu urbain.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Autorotation</i>	<i>Autorotation</i>
<i>Livraison par drone</i>	<i>Drone delivery</i>
<i>Portance aérodynamique</i>	<i>Bearing capacity</i>
<i>Rotor</i>	<i>Rotor</i>
<i>Pale</i>	<i>Blade</i>

Bibliographie commentée

Depuis le début du siècle, le commerce de détail est en profonde mutation. La principale victime de cette croissance est alors la ville, souffrant d'une surexploitation de l'aménagement urbain. Dans l'espoir de répondre à des enjeux environnementaux et économiques tout en menant à un désengorgement du réseau citadin, le drone est aujourd'hui un candidat majeur pour le transport de demain. Toutefois, l'utilisation d'un tel appareil pour la livraison postale supposerait l'existence d'un protocole de sécurité irréprochable, dont la fiabilité reste encore aujourd'hui à prouver [1].

Bien qu'elle ne représente pas la solution parfaite, l'autorotation peut être prise en compte dans la conception d'un drone livreur afin de limiter les dégâts potentiels d'une panne moteur. Des travaux antérieurs appliqués à l'autogire ou bien un hélicoptère [2] ont permis de comprendre ce phénomène et de le modéliser. En particulier, l'autogire, propulsé par une hélice arrière entraînée par un moteur, utilise le phénomène d'autorotation en vol horizontal à l'aide d'une hélice principale libre, traversée par un flux d'air ascendant de telle sorte qu'elle se met à tourner afin d'assurer la sustentation du véhicule [3]. Sans utiliser de moteur, l'air qui monte à travers le rotor en mouvement permet ainsi de faire naturellement tourner ses pales. Créé et développé au début du XXème siècle, l'autogire apparaît bien comme l'ancêtre du drone livreur de demain puisqu'il était utilisé pour assurer le transport du courrier à Philadelphie aux Etats-Unis dans les années 1940.

Notamment, pour permettre une modélisation claire des forces aérodynamiques de l'air sur une pale, les travaux du mathématicien allemand M. Munk ont permis de développer la théorie des profils minces. Dans le cadre de son mouvement, tout véhicule volant subit une force – nommée portance - exercée par l'air perpendiculairement à la direction du mouvement. Plutôt que de s'intéresser au vent dit réel, le concept de vent relatif a alors été inventé dans l'objectif de tenir compte simultanément des effets du vent mais aussi du mouvement du véhicule dans le fluide. A la fin du XIXème siècle, la relation de Rankine-Froude [4] permet de relier la portance à cette vitesse induite dans le cadre d'un vol stationnaire. Par ailleurs, un hélicoptère par exemple est amené à former un angle d'incidence entre le vent relatif et son axe longitudinal propre. Afin de calculer la portance du profil d'un élément de pale d'une hélice à partir de son angle d'incidence, les profils NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) développés tout au long du XXème siècle permettent de dresser des liens de corrélation entre les effets de portance et les caractéristiques géométriques de la pale notamment.

D'un point de vue technique, les premiers drones font leur apparition pendant la Première Guerre Mondiale. Le cadre militaire a ensuite mené à la perspective de faire du drone un outil de transport fiable et durable. Cependant, jusqu'à 2019, l'utilisation de l'autorotation sur un drone n'a jamais été rendue possible car un tel véhicule utilisait des rotors à pas fixes. Dans ce cas, les pales d'une hélice ne peuvent pas changer d'inclinaison, de telle sorte que toute accélération ou décélération doit passer par une modification de la vitesse de rotation du moteur. En novembre 2019, la société espagnole *Alpha Unmanned Systems* a développé la première fonction d'autorotation entièrement automatique implémentée sur un drone [5]. A l'issue de vols d'essais tous concluants, il semble donc possible aujourd'hui de faire de l'autorotation un moyen secondaire de sécurité dans les airs.

Conjointement, un enjeu essentiel actuel est de faire de l'outil informatique un moyen de comprendre et de résoudre les phénomènes non linéaires qui agissent en réalité sur la stabilité des pales d'un rotor. La résolution d'un tel comportement non linéaire permettrait alors de mettre fin aux discussions des dernières années quant à la sécurité d'un vol. A partir de résultats mathématiques de convergence, une approche numérique-expérimentale [6] est actuellement mise au point pour tenter de comprendre l'instabilité d'une pale d'autogire.

Problématique retenue

Nous tenterons de comprendre en quoi le phénomène d'autorotation peut être un moyen de sécuriser le fonctionnement d'un drone au-dessus des villes au moyen d'un contrôle de la vitesse de chute d'une hélice dans le cas d'une panne moteur.

Objectifs du TIPE

- (1) Caractériser le phénomène d'autorotation appliqué à un drone :
 - Réaliser un modèle théorique pour décrire un tel vol vertical sans moteur.
- (2) Evaluer expérimentalement l'influence de paramètres de la pale sur sa vitesse de chute :
 - Construire différents profils de pale se distinguant par leurs paramètres géométriques (masse et longueur)

- Comparer les résultats au modèle théorique en évaluant la pertinence des hypothèses réalisées.
- (3) Valider l'existence d'un régime de vol stationnaire :
- Résoudre la phase transitoire du mouvement numériquement et évaluer le temps caractéristique de celle-ci.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] T. NGUI MIN FUI : "Crashed ! Why Drone Delivery Is Another Tech Idea not Ready to Take Off" | International Business Research | 2020 : <https://doi.org/10.5539/ibr.v13n7p251>
- [2] A. NIKOLSKY & E. SECKEL : An analytical study of the steady vertical descent in autorotation of single-rotor helicopters | NACA Technical Note No. 1906 | 1948 : <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc55232/>
- [3] H. GLAUERT : A General Theory of the Autogyro | Reports and Memoranda No. 1111 | 1926
- [4] F. MAHMUDDIN : rotor Blade Performance Analysis with Blade Element Momentum Theory | Energy Procedia No. 105 | 2017 : <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.477>
- [5] ALPHA UNMANNED SYSTEMS : "Fully Automatic Autorotation Introduced for Alpha 800 UAV" | 2019
- [6] D. REZGUI & M. H. LOWENBERG : On the nonlinear dynamics of a rotor in autorotation : a combined experimental and numerical approach | Phil. Trans. R. Soc. A.3732014041120140411 | 2015 : <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0411>

DOT

- [1] *[Janvier 2022] Lecture d'articles – dont la référence [1] - recensant plusieurs cas extrêmes d'accidents de drones livreurs en ville. Réflexions sur une solution physique potentielle pour éviter de tels évènements.*
- [2] *[Avril 2022] Modélisation du phénomène d'autorotation appliqué à un drone, dont il faut évaluer les paramètres les plus influents. Choix d'étudier en détail l'influence de la masse et de la longueur de la pôle après la lecture de la référence [3].*
- [3] *[Octobre 2022] Définition du cadre d'étude retenu et développement d'un modèle théorique. Linéarisation du modèle en vue d'une résolution de celui-ci.*
- [4] *[Janvier 2023] Réalisation de plusieurs expériences en faisant varier successivement la longueur et la masse de la pôle. A ce stade, aucune cohérence n'est trouvée entre le modèle retenu et les résultats expérimentaux. Réflexions sur l'obtention d'une chute en régime stationnaire.*
- [5] *[Mars 2023] Modification des conditions expérimentales qui permet de réaliser de nouvelles mesures, cette fois cohérentes.*
- [6] *[Avril 2023] Découverte du système réel décrit dans la référence [5] qui permet d'accéder à des données chiffrées afin d'avoir une meilleure idée de la représentativité du modèle théorique retenu.*
- [7] *[Mai 2023] Choix des courbes pertinentes à tracer, interprétation de celles-ci et estimation des incertitudes de mesures réalisées.*