

La propulsion hybride pour des VTOL : une solution qui associe performance et faibles émissions

Par Jean-Christophe LAMBERT

Co-fondateur et CEO d'Ascendance

Pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050, avionneurs, grands industriels et *start-up* du secteur de l'aéronautique se mobilisent pour développer l'avion plus durable. Parmi les solutions retenues : le VTOL (*vertical take-off and landing*), un aéronef à décollage et atterrissage vertical qui se positionne en alternative à l'hélicoptère et sur des nouvelles mobilités aériennes régionales. Avec une motorisation hybride électrique, il permet de réduire les émissions de carbone et le bruit, et offre une portée de 400 km. Au-delà de l'usage de cet avion-hélicoptère, c'est un formidable catalyseur technologique pour la décarbonation du secteur.

En 2020, les émissions de CO₂ de l'aviation étaient de 2,5 % au niveau mondial¹, un taux qui peut être considéré comme peu élevé mais qui, rapporté au nombre d'utilisateurs, s'avère important. Des émissions qui devraient croître puisque, selon l'Association internationale des transports aériens, le trafic mondial devrait tripler d'ici à 2050. Aussi, pour enrayer le problème de pollution, le gouvernement français a, en 2020, accéléré son engagement en faveur de la décarbonation du secteur aérien. Une première enveloppe de 435 millions d'euros² a été mise sur la table, et en juin 2023, Emmanuel Macron a annoncé une enveloppe annuelle de 300 M€ d'argent public sur la période 2024-2030 soit un total de 2,1 Md€³. Objectif : produire d'ici à six ans un avion décarboné de petite taille, et ainsi être en mesure de le transposer dès 2035 aux vols moyen-courriers afin d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Un engagement soutenu et pris par les acteurs du secteur aérien lors du sommet de l'aviation à Toulouse en février 2022.

Au sein du CORAC (Conseil pour la recherche aéronautique civile), la filière a défini en concertation avec les pouvoirs publics un plan ambitieux et cohérent de décarbonation, reposant sur des carburants non carbonés (H₂ - hydrogène), et, à plus court terme, non fossiles (SAF - *sustainable aviation fuel*) et des

technologies plus économes en énergie (hybridation et électrification, aérodynamique, matériaux, systèmes propulsifs, systèmes de navigation, etc.). Cette nouvelle frugalité énergétique est une condition *sine qua non* au succès de la décarbonation. Les carburants alternatifs seront en effet trop coûteux et produits en trop faibles volumes pour être mis en œuvre – dans des conditions économiquement viables – sur des aéronefs qui auraient des performances énergétiques non améliorées.

Avionneurs, grands industriels, PME et *start-up*, sont désormais tous mobilisés pour développer le premier avion plus durable. Ce sujet fut d'ailleurs l'une des thématiques de la dernière édition du Forum économique mondial de Davos. Car aujourd'hui la question n'est plus de savoir s'il faut décarboner l'aviation, mais quand et comment. L'heure est désormais aux grands choix technologiques. Parmi eux, l'hybride électrique.

L'arrivée des VTOL hybrides électriques : une solution pérenne pour une approche long terme

Entre 2010 et 2020, l'industrie aéronautique a vu arriver de nouveaux aéronefs capables de décoller et d'atterrir verticalement comme un hélicoptère et de voler en croisière comme un avion. Si ce type d'aéronef a déjà été vu en condition de vol dès la fin des années 1980, notamment *via* le V-22 Osprey pour une application militaire et plus récemment *via* le AW-609, il a été démocratisé et rendu plus concret par l'arrivée des technologies électriques.

Ces nouvelles formes d'aéronefs sont positionnées comme des alternatives à l'hélicoptère, sur leurs missions de transport de personnes, de service médical et de logistique, ainsi que sur des nouvelles formes de mobilités aériennes point à point à une échelle

¹ Transports mondiaux : émissions de CO₂ en hausse, Planète Énergie, <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/transports-mondiaux-emissions-co2-en-hausse>

² Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, <https://www.ecologie.gouv.fr/france-2030-435-millions-deuros-en-faveur-decarbonation-laviation>

³ *La Tribune*, « Emmanuel Macron annonce 2,1 milliards d'euros d'investissements pour décarboner la filière aéronautique », <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/emmanuel-macron-annonce-750-millions-euros-d-investissements-pour-decarboner-la-filiere-aeronautique-966289.html>

régionale, inter-cités ou péri-urbaines appelées *advanced air mobility*.

Avec une autonomie de l'ordre de 400 km, une vitesse de croisière supérieure à 200 km/h, une diminution de consommation d'énergie et une réduction d'émissions de carbone, le VTOL hybride électrique permet aujourd'hui d'atteindre un haut niveau de performance, une variété importante d'usages et donc d'économies d'émissions au regard des usages existants.

Pourtant, le tout-électrique fut l'une des options technologiques mises en avant par les institutions et pour laquelle de nombreuses entreprises se sont lancées. Mais après plusieurs essais, cette technologie ne s'est avérée viable que pour des usages de très courte distance, jusqu'à 100 kilomètres maximum. Cela est principalement dû à la différence de densité d'énergie entre une cellule de batterie et celle d'un carburant type fuel et SAF (de l'ordre de 30 à 50 fois supérieure). Malgré le meilleur rendement des systèmes électriques (supérieur à 90 %) et l'évolution des batteries (de l'ordre de 5 % par an), il est difficile, voire impossible, d'envisager à ce jour des avions de grande échelle tout électriques.

Un aéronef hybride à deux niveaux : mix énergétique et avion-hélico pour une meilleure performance et efficacité énergétique

En utilisant une batterie lors de la phase de décollage et des énergies moins polluantes comme les *sustainable aviation fuels* (carburants d'aviation durables issus de la biomasse, d'algues, de déchets agricoles et / ou alimentaires, ou d'hydrogène) pour la croisière, le VTOL hybride électrique permet de gagner jusqu'à 80 % d'émissions de CO₂ comparé à un hélicoptère classique. Ce gain provient pour moitié de l'efficacité de son système hybride et de ses sources d'énergies, tout ou en partie décarbonées, et pour l'autre moitié du gain aérodynamique permis par de nouvelles architectures avion.

En effet, si l'innovation d'une propulsion hybride électrique est une innovation majeure dans l'aviation, elle en amène beaucoup d'autres. Comme la capacité à distribuer électriquement la propulsion à de nombreux moteurs électriques et hélices, ouvrant ainsi de nouvelles architectures et configurations aérodynamiques apportant plus de performance et plus de frugalité énergétique. Cette nouvelle propulsion distribuée permet aussi une ultra-redondance des moteurs et hélices, offrant une sûreté plus accrue. Cette ultra-redondance sera notamment clé dans l'opération de ces nouveaux aéronefs pour des missions de service médical, de surveillance ou de mobilité.

L'enjeu du bruit est majeur, et est sujet à de nombreuses recherches. L'objectif de ces nouveaux VTOL est de diviser par quatre les émissions sonores (passage d'une moyenne de 96 dB à 80 dB(A) au décollage et de 80 dB à 62 dB(A) en croisière). Pour cela, les constructeurs misent sur l'usage de la motorisation

électrique lors des phases de décollage et d'atterrissage vertical couplé aux effets de masquage acoustique et des bénéfices apportés par la voilure en croisière.

Un formidable catalyseur technologique et opérationnel dans la course à l'avion plus durable

L'engouement autour des VTOL n'est pas seulement dû au potentiel marché de ces appareils. Il est aussi le fruit d'une course au développement des technologies, des réglementations et des règles d'opérations nécessaires à l'émergence d'une aviation décarbonée. Ces nouveaux appareils sont en effet un concentrateur de technologies, et leur taille leur permet d'intégrer dès à présent des technologies existantes. C'est ainsi que les acteurs ont développé des portefeuilles brevets très importants (plusieurs milliers) allant de nouvelles architectures avion aux composants simples, en passant par la couche système.

L'émergence de ce secteur a aussi permis une structuration réglementaire au niveau européen (EASA) par la SC-VTOL (niveau aéronef) et la SC-E19 (propulsion électrique et hybride-électrique), ainsi qu'au niveau américain via l'application de conditions spéciales personnalisées. Si une harmonisation de ces standards n'a pas encore eu lieu entre les deux autorités certificatrices, nul doute qu'elle interviendra et pose dès à présent un précédent important dans l'usage de ces nouvelles formes de propulsion et de leur intégration dans l'espace aérien.

Enfin, les modes opératoires et les infrastructures se voient bouleversés par ces nouvelles technologies. Que ce soit au niveau des capacités de recharge et d'approvisionnement des nouvelles énergies, des réserves de vol, des nouvelles lois de pilotage ou encore des interfaces homme-machine, les standards et développements menés actuellement seront certainement une base stratégique de réutilisation pour de futurs avions décarbonés.

La décarbonation de l'aviation est souvent présentée comme la nouvelle révolution de l'aéronautique. Conscients de l'importance de prendre le *leadership* sur ce marché promis à un bel avenir économique, les États (principalement européens, américains et chinois), leurs industries, ainsi que leurs écosystèmes respectifs, mettent les bouchées doubles pour atteindre le Graal de l'aviation plus durable.