

L'aviation générale, laboratoire de la décarbonation du transport aérien

Par Didier KAYAT

Directeur général de Daher

Septième avionneur au monde en aviation générale et d'affaires, Daher, héritier de la légendaire société Morane-Saulnier créée en 1911, est le plus ancien avionneur au monde encore en activité. Fort de cet esprit pionnier, Daher s'inscrit aujourd'hui dans une démarche volontariste, pour décarboner ses propres avions et contribuer de manière significative aux objectifs de décarbonation de ses clients avionneurs et motoristes.

Le secteur aérien s'est fixé l'objectif d'atteindre la neutralité carbone en 2050¹. L'ensemble de la filière aéronautique active dès aujourd'hui tous les leviers possibles pour réduire les émissions de carbone des vols – à court, moyen et plus long termes.

En France, c'est au CORAC (Conseil pour la recherche aéronautique civile) que revient la mission « d'accélérer la recherche et la construction d'un avion neutre à l'horizon 2035 » (Bruno Le Maire²). Ses financements en soutien à la recherche aéronautique civile s'élèvent à 300 millions d'euros par an pour la période 2024-2027.

À la fois avionneur et équipementier aéronautique, Daher participe actuellement à 15 projets CORAC (dont 7 en tant que *leader*). L'approche systémique du CORAC – couvrant les méthodes de développement, de certification et les systèmes de production – a pour but de faire émerger, avant la fin de la prochaine décennie, des briques technologiques et ruptures d'usage qui feront l'aviation plus performante et éco-responsable de demain : propulsion hybride, composites avancés, *process* de production, aérodynamique, recyclage...

Daher a positionné sa plateforme TBM et ses compétences d'avionneur au cœur de cette stratégie d'innovation. La taille réduite du TBM – 6 places, moins de 5 700 kg – et la nouvelle agilité règlementaire de la catégorie de certification associée (CS 23) permettent de positionner cet avion en précurseur et en démonstrateur des technologies de demain. L'agilité d'un bureau d'études d'aviation générale, doté, notamment, d'un centre d'essais en vol, complète la profondeur d'expertise des autres acteurs de la filière.

¹ Les États adoptent l'objectif ambitieux mondial zéro émission nette pour les vols internationaux d'ici 2050 : <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/FR/States-adopts-net-zero-2050-aspirational-goal-for-international-flight-operations.aspx>

² Déclaration de M. Bruno Le Maire, ministre de l'Économie et des Finances, sur le plan de soutien à la filière aéronautique, Paris, 09/06/2020, <https://www.vie-publique.fr/discours/275387-bruno-le-maire-09062020-industrie-aeronautique>

Daher a par ailleurs défini une feuille de route ambitieuse – inscrite au cœur de son plan stratégique quinquennal "Take Off 2027" –, pour décarboner l'ensemble de ses activités et produits, à commencer par ses avions TBM et Kodiak. Pour atteindre son objectif de mise sur le marché d'un avion bas carbone à l'horizon 2027, Daher a adopté une démarche incrémentale, multiaxe, construite sur ses deux avions.

Une démarche incrémentale

Aujourd'hui : les carburants d'aviation durables

Dès octobre 2022, le site de Tarbes, où est fabriqué le TBM, s'est équipé d'une cuve de carburants d'aviation durables (CAD ou SAF, *sustainable aviation fuel*). Depuis cette date, Daher utilise ce type de carburant – mélangé à un carburéacteur classique dans une proportion maximale de 40 % – pour les opérations aériennes de son activité d'avionneur : vols d'essais de sortie de chaîne, liaison et formation de ses clients. S'y ajoutent les vols liés à ses activités de maintenance, réparation et modification d'avions et d'hélicoptères civils ou militaires, soit environ 500 h de vol par an au total, pour une consommation de 200 litres de carburant/heure. La réduction des émissions de CO₂ constatée grâce à l'utilisation de SAF est de l'ordre de 30 %.

Daher s'efforce de promouvoir l'utilisation de SAF auprès de ses clients, des propriétaires-pilotes, américains pour la grande majorité (90 %). Compte tenu de la faible disponibilité de ce type de carburant sur le territoire des États-Unis, Daher a obtenu avec l'aide de l'un de ses partenaires qu'une cuve de SAF soit installée en Californie où résident de nombreux propriétaires de TBM. Mais l'utilisation de SAF augmente significativement le coût d'exploitation d'un avion, ce qui constitue pour l'instant un frein supplémentaire à son adoption large.



Figure 1 : Ravitaillement en carburants d'aviation durables du démonstrateur EcoPulse sur le site de Daher à Tarbes (France)
(© Daher/World Fuel).

L'hydrogène en ligne de mire

Parmi les autres carburants éco-responsables envisagés : l'hydrogène, qui a le potentiel de s'imposer comme une solution majeure à l'horizon 2050, avec de premières avancées concrètes sans doute dès l'horizon 2035.

Avec l'objectif d'avancer sur deux axes clés – faire évoluer ses propres avions pour en diminuer l'empreinte carbone, et, à travers la R&D, accompagner et accélérer la montée en maturité technologique de ses partenaires de l'aviation commerciale –, Daher s'est engagé en juin 2022 dans le projet BeautHyfuel aux côtés de Safran, Air Liquide, Turbotech et Elixir Aviation. L'objectif du projet – auquel Daher apporte son expérience en matière de développement, certification, production et maintenance d'aéronefs – est de définir puis de tester au sol une chaîne de propulsion hydrogène dans une gamme de puissance adaptée à l'aviation légère, et d'élaborer une méthodologie pour la certification de l'intégration de cette chaîne propulsive. Le projet BeautHyFuel bénéficie du soutien de l'État français, mis en œuvre par la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) dans le cadre du Plan de Relance.

L'évolution vers une aviation propre exploitant l'hydrogène comme carburant impose également à l'industrie d'aborder ce qui est aujourd'hui une problématique majeure : le stockage de l'hydrogène dans les réservoirs d'avions. C'est dans cet esprit que Daher a choisi de participer au projet Nomade, lancé en avril 2022 par l'IRT Jules Verne pour une durée de 36 mois. L'enjeu est de mettre au point des réservoirs capables de fonctionner à des températures cryogéniques (20°K, soit - 250°C). Cela nécessite de travailler notamment sur les matériaux et les technologies d'assemblage et de résoudre la problématique de la perméabilité des réservoirs à une molécule aussi petite que l'hydrogène. Point de départ d'un programme d'ampleur à l'échelle nationale centré sur les enjeux liés au stockage de l'hydrogène liquide embarqué, Nomade réunit un ensemble de partenaires issus des différentes filières industrielles de l'aéronautique, terrestre et navale, parmi lesquels Airbus, Faurecia, Naval Group, Rafaut Group, le CEA et l'École Centrale Nantes.

L'hydrogène est un tout nouveau champ scientifique, avec des problématiques transverses aux différentes branches du transport. Une nouvelle filière se construit, et Daher a l'ambition d'y jouer un rôle moteur.

Amélioration continue de la performance énergétique des avions

Daher travaille par ailleurs de façon continue à l'amélioration de la performance énergétique de ses avions. Chaque nouveau modèle intègre des innovations technologiques qui permettent de réduire sensiblement les émissions de CO₂, tout en améliorant l'efficacité de l'avion.

Dernier né de la gamme TBM, le TBM 960, lancé en avril 2022, bénéficie de la puissance du numérique, qui permet de contrôler électroniquement son turbo-propulseur par le système EPECS™ (*engine and propeller electronic control system*) et de conserver ainsi des performances élevées pour une consommation de carburant modérée. Au réglage de croisière recommandé par Daher (308 kn, soit 570 km/h), la consommation de carburant est de 57 gallons américains par heure (216 l/h), ce qui représente une économie de 10 % par rapport au réglage de croisière maximal, favorisant ainsi une démarche responsable.

Les nouvelles productions d'avions Kodiak 100 série III sont disponibles depuis juillet 2023 avec une hélice composite à cinq pales en option. Par rapport à la version métallique à quatre pales, cette technologie permet de réduire le bruit de 6,6 dB, le poids de 6,5 kg et le roulement au décollage de 6 %. Cette hélice est en outre durable du fait de sa conception, avec un TBO (délai entre révisions) de 4 000 heures/6 ans.

Une approche multiaxe

Illustration de la démarche incrémentale de décarbonation mise en œuvre par Daher pour ses deux gammes d'avions, ces exemples attestent également de l'approche multiaxe adoptée, centrée autour de :

- la propulsion : moteurs thermiques plus performants et plus sobres ; recherche et développement de nouveaux modes de propulsion (hybridation / électrification des avions, hydrogène) ;
- l'allègement : remplacement de pièces métalliques par des pièces en matériaux composites avancés et / ou biosourcés, plus légers et avec une empreinte carbone largement inférieure à celle du métal, notamment le titane ;
- l'aérodynamique : diminution de la traînée des avions pour réduire la consommation de carburant.

Sur l'ensemble de ces sujets, la filière aéronautique est mobilisée pour mettre au point, dans le cadre de projets de R&D d'ampleur, les technologies disruptives qui permettront des avancées significatives en matière de décarbonation.



Figure 2 : Premier vol hybride-électrique du démonstrateur EcoPulse fin novembre 2023 (© Daher).

Développer et tester de nouveaux modes de propulsion : vers un avion hybride-électrique dès 2027

L'un des plus emblématiques est certainement "Ottawan", dont l'objectif est de développer le démonstrateur EcoPulse. Dévoilé au Salon du Bourget 2019, le projet réunit Daher, Airbus et Safran. C'est l'un des projets collaboratifs majeurs en Europe dans le domaine de la décarbonation de l'aviation, soutenu par le CORAC et cofinancé par la DGAC à travers France Relance et NextGeneration EU.

En novembre 2023, un jalon majeur a été franchi avec le premier vol hybride-électrique d'EcoPulse. Ce démonstrateur vise à évaluer les avantages opérationnels de l'intégration d'une propulsion hybride-électrique distribuée, avec un accent particulier sur les émissions de CO₂ et la réduction du niveau sonore. Cette architecture de propulsion disruptive permet à une seule source électrique indépendante d'alimenter plusieurs moteurs répartis dans l'avion.

Basé sur une plateforme d'avion Daher TBM, EcoPulse est équipé de six propulseurs électriques intégrés ou *e-propellers* (fournis par Safran), répartis le long des ailes. Son système de propulsion intègre deux sources d'énergie : un turbogénérateur, c'est-à-dire un générateur électrique entraîné par une turbine à gaz (fourni par Safran), et un pack batterie à haute densité énergétique (fourni par Airbus). Au cœur de cette architecture se trouvent une unité de distribution et de redressement d'énergie (PDRU), chargée de protéger le réseau haute tension et de distribuer l'énergie électrique disponible, ainsi que des harnais d'alimentation haute tension (tous deux fournis par Safran). La batterie conçue par Airbus est dimensionnée pour 800 V CC et peut fournir jusqu'à 350 kilowatts de puissance.

Une fois les essais en vol terminés, les trois partenaires auront démontré la capacité à faire voler un appareil utilisant de l'électricité de très haut voltage, et seront en mesure d'établir le cahier des charges de futurs appareils hybrides qui pourraient être équipés d'une turbine double source, capable d'accepter du kérosène ou des carburants d'aviation durables ainsi que de l'électricité.

Le premier de ces futurs appareils hybrides très bas carbone sera développé à partir d'une plateforme d'avion TBM ou Kodiak et mis en service en 2027. La campagne de vols qui a démarré avec le premier vol hybride-électrique fournira à Daher des données inestimables sur l'efficacité des systèmes embarqués, notamment la propulsion distribuée, les batteries haute tension et la propulsion hybride-électrique. Après avoir beaucoup appris et testé avec l'EcoPulse, l'objectif de Daher est d'être le pionnier d'un avion hybride certifié, robuste et fiable, embarquant à son bord des technologies qui seront utilisées par l'aviation régionale, d'affaires et commerciale.

Allègement : nouveaux matériaux, nouveaux procédés

Outre l'étude de la propulsion hybride-électrique à bord d'un aéronef, EcoPulse permet également de tester des applications de composites avancés sur les avions. EcoPulse utilise ainsi des composites pour les ailerons de l'avion, les mâts moteurs, les carénages Karman et batterie, ainsi que l'entrée d'air, qui ont été réalisés principalement avec un micro-sandwich carbone / liège. L'un des objectifs d'EcoPulse est de permettre de faire évoluer les performances et la faisabilité de l'intégration de ces technologies sur les pièces et composants secondaires des avions



Figure 3 : Les derniers-nés des gammes TBM et Kodiak – Kodiak 900 et TBM 960 – en vol (© Daher).

construits par Daher, tout en développant les compétences de prototypage rapide utilisées dans le milieu de l'aviation.

Hors du cadre d'EcoPulse, Daher consacre une part importante de son budget de R&D au thermoplastique. Ce matériau est particulièrement prometteur dans le monde des aérostructures pour de futures applications sur les avions de série. Il se prête plus facilement à l'automatisation de la production (enjeu de cadences) et il est recyclable, réparable et soudable. Ses propriétés mécaniques permettent d'utiliser moins de matière et, globalement, d'alléger les structures, autant de qualités essentielles pour réduire les émissions de carbone. L'objectif est d'accélérer le développement d'applications réelles à l'avenir au profit de ses clients – aviateurs et motoristes en particulier.

Dans le cadre du CORAC, Daher pilote ainsi le plus grand projet de recherche français actuel sur les thermoplastiques, appelé TRAMPOLINE 2 (TheRmoplAstic coMPosites for hOrizontaL tall plaNE), qui utilise également le soudage par induction au lieu du rivetage, avec un gain de poids de 15 %.

Cet investissement dans la R&D a déjà porté ses fruits dans des composants qui se retrouveront dans les gammes actuelles de produits TBM de l'entreprise.

Après plus de trois ans de travaux de R&D, Daher a réussi à fabriquer des pédales de palonnier en composite thermoplastique haute performance recyclé à partir de chutes de production, pour équiper le TBM. Ces pédales ont été certifiées pour voler sur les TBM

de série. En plus d'être légers, les thermoplastiques ont une faible conduction thermique, ainsi que des propriétés physico-chimiques et mécaniques égales, voire meilleures. Et au-delà des bénéfices environnementaux, le coût de ces pièces est réduit de manière significative par rapport à l'usinage métal.

Grâce au TBM, Daher démontre une nouvelle fois la faisabilité et l'intérêt d'un procédé très innovant, et confirme son rôle moteur au sein de la filière "green" aéronautique. L'accélération des travaux s'est traduite par le lancement en janvier 2022 du projet CORAC « Terra Preta » portant sur le recyclage du composite, qui mobilise les grands acteurs du domaine (Airbus, Safran, Hutchinson, CETIM, AviaComp...) jusqu'en 2025. L'objectif ? Identifier et faire la démonstration sur des pièces de structure de l'avion de plusieurs procédés de revalorisation du composite, et développer un procédé de revalorisation / recyclage sur des matériaux thermoplastiques de dernière génération incluant les méthodes de certification.

Les résultats technico-économiques attendus portent sur la production future de certaines pièces des avions Daher – TBM et Kodiak –, mais aussi de celles de nos clients (Airbus, Safran...). En outre, l'environnement réglementaire mature des avions Daher (CS23) va permettre d'être en position de pointe dans les méthodes de certification.

Par ailleurs, Daher a obtenu les premiers résultats d'un projet de R&D baptisé CARAC TP, réalisé en collaboration avec un ensemble de laboratoires académiques compétents dans les matériaux composites. L'objectif est d'identifier et de caractériser les composites thermoplastiques les mieux adaptés aux applications aéronautiques et de les comparer aux matériaux thermodurcissables. Le projet permet d'étudier les matériaux en profondeur à travers de multiples tests qui dépassent le cadre des programmes de qualification menés dans l'industrie : résistance à l'impact, tenue au feu, vieillissement environnemental (ozone, UV, fluides), impact des procédés de fabrication sur les propriétés physico-chimiques, performances des matériaux, etc.³

Conclusion

À travers les avancées concrètes et rapides en matière de décarbonation de ses propres avions, Daher joue un rôle moteur au sein de la catégorie « aviation générale » qui s'affirme comme un véritable laboratoire de la décarbonation du secteur.

³ "Daher CARAC TP project advances thermoplastic composites certification approach", Ginger Gardiner, Composites World, 26/07/2023, <https://www.compositesworld.com/articles/daher-carac-tp-project-advances-thermoplastic-composites-certification-approach->