

Voici les hybrides ! VerdeGo Aero propose trois produits hybrides-électriques.



Le 18 mars 2025 Par Kenneth I. Swartz

Les fondateurs de VerdeGo Aero ont longtemps cru que la propulsion hybride électrique allait être une technologie clé pour qu'une nouvelle génération d'avions électriques à décollage et atterrissage verticaux (eVTOL), à décollage et atterrissage conventionnels électriques (eCTOL) et à décollage et atterrissage courts électriques (eSTOL) connaissent un succès commercial.

Il y a dix-sept ans, le président exécutif Erik Lindbergh, le PDG Eric Bartsch et le directeur technique Dr Pat Anderson ont commencé à concevoir, construire, promouvoir et piloter des avions électriques à petite et grande échelle. Cependant, les fabricants de batteries ne parvenaient pas à garantir les augmentations de densité énergétique et de densité de puissance qu'ils promettaient régulièrement.

Cela a suscité un intérêt pour la propulsion hybride électrique, capable de fournir la charge utile, l'autonomie et les réserves de sécurité nécessaires aux nouveaux avions électriques.

Avance rapide jusqu'en 2025, et le portefeuille de trois systèmes de propulsion hybrides électriques de VerdeGo - le VH-3-185, le VH-4T et le VH-5, couvrant la gamme de puissance de 185 kW à 1,5 MW - suscite beaucoup d'intérêt commercial et militaire pour différentes applications de mission.

Appel au réveil

Lorsque Pat Anderson a commencé à concevoir son premier avion électrique en 2009 en tant que directeur du Eagle Flight Research Center (EFRC) de l'Embry-Riddle Aeronautical University (ERAU), il a déclaré qu'il était déjà tout à fait clair qu'en « faisant un peu d'algèbre simple... les batteries allaient être difficiles comme méthode de stockage de l'énergie », d'autant plus que les densités énergétiques des batteries n'augmentaient que d'environ 2 à 4 % par an.

« J'ai toujours pensé que les gens arriveraient à cette conclusion [sur les limites des batteries] beaucoup plus rapidement qu'ils ne l'ont fait. Mais je pense vraiment que 2024 sera l'année où l'industrie prendra un tournant vers les hybrides », a-t-il déclaré lors d'une interview accordée à VFS lors du congrès AirVenture de l'Experimental Aircraft Association (EAA) à Oshkosh, dans le Wisconsin, en juillet 2024.

Taxi aérien personnel 200 eVTOL

Lorsque Anderson, Bartsch et Lindbergh ont formé VerdeGo Aero, leur premier projet était de concevoir l'avion eVTOL Personal Air Taxi 200 (PAT200) à deux places avec propulsion hybride-électrique, qui a été annoncé à l'EAA AirVenture en juillet 2017 (voir www.evtol.news/verdego).

Souhaitant être à l'avant-garde de la révolution eVTOL, ils ont conçu un système hybride combinant un moteur à combustion interne et un générateur électrique pour alimenter huit moteurs électriques sur un nouvel avion à aile basculante en tandem. L'une des caractéristiques les plus distinctives du PAT200 était l'aile arrière équipée d'hélices propulsives inclinées vers le bas, et l'aile avant d'hélices tractives inclinées vers le haut pour le vol VTOL.

L'équipe a fortement privilégié une source d'énergie hybride-électrique, car elle permettrait au PAT200 d'effectuer plusieurs vols commerciaux entre les escales de ravitaillement et de disposer des réserves d'énergie requises, sans ajouter beaucoup de poids.

VerdeGo a ouvert un bureau dans le parc de recherche Embry-Riddle du complexe d'innovation aérospatiale MicaPlex à Daytona Beach, en Floride.

Cependant, un an plus tard, les travaux sur la cellule du PAT200 ont été interrompus. « Nous sommes devenus une entreprise de propulsion, car on ne nous prenait pas au sérieux, car nous n'atteignons pas le Saint Graal », explique Bartsch, en référence à la conception d'un avion électrique à batterie.

« Nous avons observé autour de nous et constaté que toutes les entreprises vendaient de la fiction. Plus elles en vendaient, plus elles obtenaient de l'argent des investisseurs », a déclaré Anderson, avec un peu plus de conviction dans le profil de leadership VFS publié dans Vertiflite en 2021.

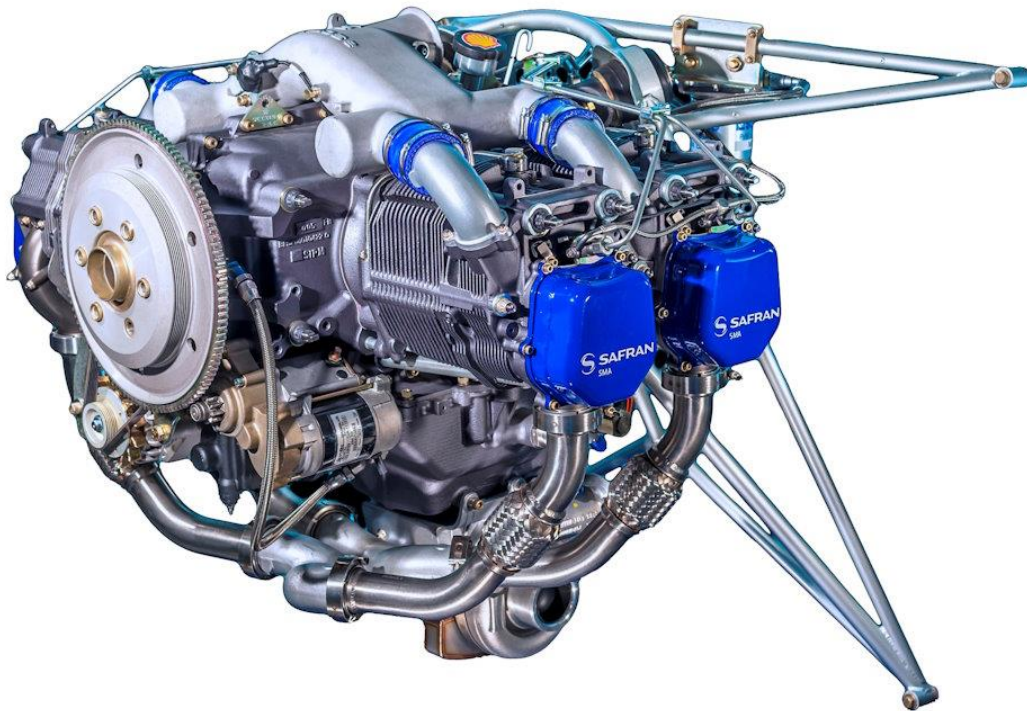
Au lieu de rivaliser directement avec des dizaines (et plus tard, des centaines) de développeurs d'avions eVTOL, VerdeGo a décidé de développer des systèmes hybrides que ses anciens concurrents pourraient utiliser.

Le défi des batteries

En octobre 2016, Uber, l'entreprise de mobilité multimilliardaire de la Silicon Valley (avec la contribution de la NASA, de la Vertical Flight Society et d'autres experts de premier plan du vol vertical), a publié son livre blanc révolutionnaire Elevate, « Avancer vers un avenir du transport aérien urbain à la demande » (voir www.evtol.news/uber). L'un des principes clés de cette vision était un transport urbain rapide et bon marché qui permettrait de retirer les voitures de la route et de réduire les émissions de carbone (et de plomb) de l'air.

L'idée que des millions de personnes pourraient un jour se rendre au travail à bord d'avions VTOL électriques à batterie et sans émissions qui survoleraient des autoroutes encombrées semblait être une idée de science-fiction, mais elle a dynamisé l'industrie et a développé un énorme succès.

Le livre blanc d'Elevate soulignait que « les batteries électriques constituent une source d'énergie évidente » pour les avions eVTOL sans émissions. L'une des principales hypothèses était toutefois que « notre analyse indique que cette autonomie de mission nominale pourrait être atteinte dans les cinq prochaines années [avec] une énergie spécifique par cellule de batterie de 400 Wh/kg ». Cette prévision optimiste a été réitérée lors du premier sommet Uber Elevate à Dallas, au Texas, en avril 2017, ainsi que lors de nombreux événements ultérieurs sur la mobilité aérienne avancée (AAM).



Le moteur quatre cylindres SMA SR305, qui fonctionne au carburant Jet-A, est le cœur du système de propulsion hybride-électrique VH-3. (SMA)

Mais cela a ouvert la voie à « l'un des conflits qui se sont produits à de nombreuses reprises dans cette industrie », a déclaré Bartsch, à savoir « la collision entre ce que j'appellerai la « physique des avions » et la « physique de l'argent ».

Bartsch estime que les investisseurs ont décidé que les avions électriques à batterie et sans émissions étaient « un concept intéressant à financer... que la physique réelle derrière cela fonctionne comme les gens le souhaitent ou non ».

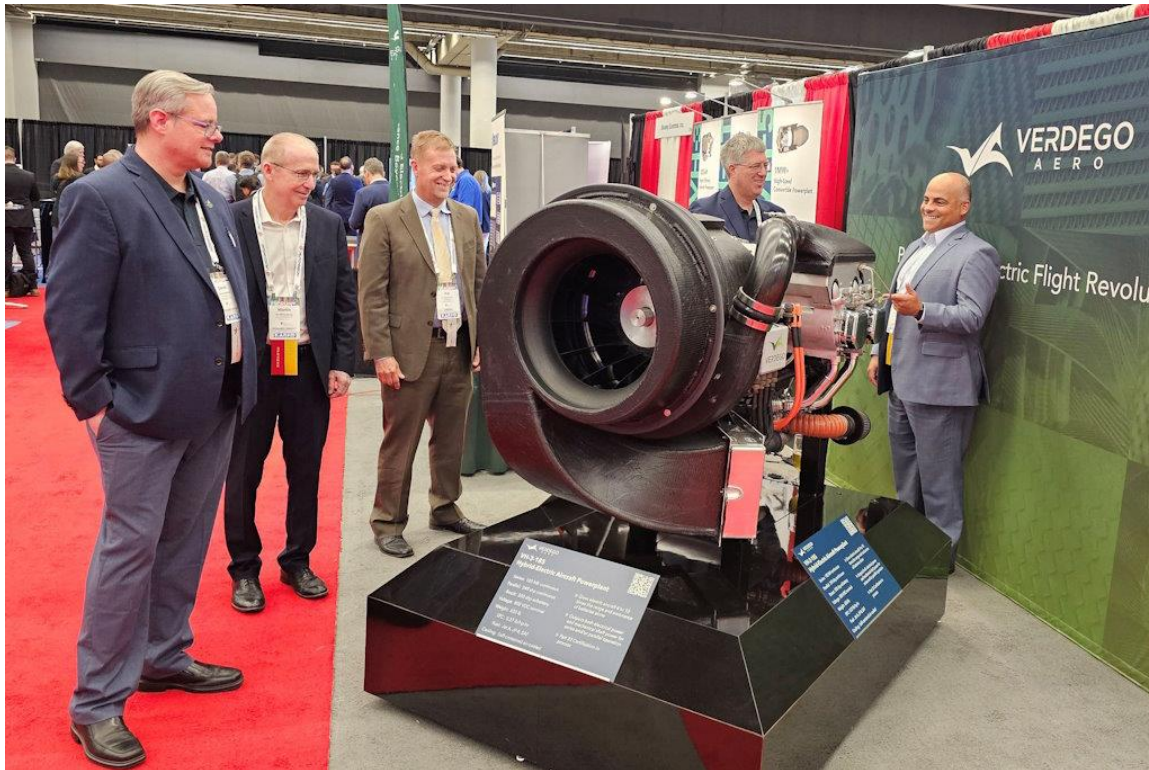
Il convient toutefois de noter qu'Uber recherchait des vols de mobilité aérienne urbaine (UAM) à plus courte portée, où le faible bruit et l'absence d'émissions étaient primordiaux. Plusieurs entreprises, comme Archer, Beta et Joby aux États-Unis, prévoient de lancer des vols UAM dans les deux prochaines années. Bien que les systèmes de propulsion hybrides électriques produisent moins d'émissions que les moteurs conventionnels et puissent fonctionner avec du carburant d'aviation durable (SAF) à faible teneur en carbone pour une réduction supplémentaire de la pollution, les hybrides produisent toujours des émissions de carbone et de bruit, qui sont importantes pour les opérations intensives en ville.

Propulsion électrique distribuée intégrée

En 2018, VerdeGo a annoncé son système de propulsion électrique distribuée intégrée (IDEP) dont les éléments clés comprennent un moteur, un générateur, un système de distribution d'énergie, des

batteries, un système de gestion de batterie (BMS), des contrôleurs d'attitude et des moteurs électriques alimentant des rotors ou des hélices.

Ce changement de cap a permis à l'entreprise de passer du statut de constructeur d'avions avec le PAT200 à celui de spécialiste de la propulsion, fournissant à la fois du matériel pour les groupes motopropulseurs hybrides (son activité principale) et un support technique pour l'intégration complexe de systèmes hybrides dans de nouveaux types d'avions. Ce travail consistait notamment à aider les clients à déterminer efficacement comment exploiter au mieux les capacités de transformation des groupes motopropulseurs hybrides de VerdeGo.



Maquette du VH-3 exposée au Forum 80 de VFS à Montréal. (VFS)

À l'époque, Anderson avait déclaré : « Tout le monde a sa boule de cristal pour anticiper le développement des nouvelles technologies de batteries. Nous collaborons depuis plus de dix ans avec des experts mondiaux des batteries qui prévoient qu'il faudra 15 à 20 ans avant que des aéronefs VTOL fonctionnant uniquement sur batterie atteignent des niveaux de performance commerciaux. »

Le système hybride électrique que VerdeGo avait prévu pour le PAT200 est devenu la base de son activité de propulsion.

En 2018-2020, plusieurs développeurs d'avions se sont associés à VerdeGo pour explorer la technologie hybride-électrique, notamment Transcend Air pour les futures versions de son avion Vy 400, XTI Aircraft pour son TriFan 200, Jaunt Air Mobility pour une version cargo du giravion composé à rotor lent Journey et Airflow pour son avion eSTOL (notez que tous ces modèles ont été remplacés aujourd'hui).

En août 2020, l'entreprise a commencé à exploiter son prototype de générateur hybride à carburant Jet-A, l'Iron Bird, dans son usine de Daytona Beach. Le matériel de développement au sol, basé sur le moteur diesel à allumage par compression Continental CD-265, a été utilisé pour des tests visant à affiner le poids, la puissance et les systèmes de refroidissement, ainsi que leur intégration et leur fiabilité.

L'oiseau de fer a été utilisé pour valider l'économie d'exploitation de son système de production d'énergie hybride diesel et effectuer des simulations matérielles en boucle à l'aide des profils de mission de ses clients.

Premières ventes de VH-1 et VH-2

Lors des tests de l'oiseau de fer, VerdeGo a reçu une commande inattendue pour livrer des systèmes de propulsion hybrides électriques à un client américain non divulgué, qui s'est révélé plus tard être Moog, Inc., d'East Aurora, New York, qui est un concepteur, fabricant et intégrateur mondial de composants et de systèmes de contrôle de précision.

En décembre 2019, Moog a racheté les actifs associés à l'avion eVTOL SureFly à sa société mère, Workhorse Group, Inc., et s'est ensuite lancé dans le développement d'un avion eVTOL à usage militaire. Workhorse prévoyait de développer un système de propulsion hybride-électrique, utilisant un moteur de moto Honda comme générateur, mais tous ses vols utilisaient des batteries.

La vente de l'oiseau de fer VH-1 a fourni aux ingénieurs de Moog un outil qu'ils pouvaient utiliser pour évaluer divers systèmes de propulsion hybrides-électriques en interne pour leurs systèmes d'aéronefs sans pilote (UAS) HE350 Recluse proposés pour le réapprovisionnement autonome (voir « Moog : grandir avec de nouvelles forces », Vertiflite , juillet/août 2023), bien que cela ait été annulé par la suite.

Trois systèmes de propulsion hybrides électriques VH-2-150 de deuxième génération (produisant 150 kW de puissance) ont été livrés à un client non divulgué en janvier 2022, apparemment avec deux groupes motopropulseurs hybrides installés dans un seul avion.

Dans le but de fournir du matériel volant, les ingénieurs de VerdeGo ont pu réduire considérablement le poids et la taille du VH-2 par rapport à son oiseau de fer de première génération.

Dimensionnement du groupe motopropulseur

Le dimensionnement d'un groupe motopropulseur hybride pour un avion électrique nécessite une approche différente de celle d'un groupe motopropulseur pour un hélicoptère ou un avion d'aviation générale, explique David Eichstedt, vice-président de la gestion des produits chez VerdeGo. « Nous souhaitons dimensionner le système hybride en fonction de la puissance de croisière requise. Il faut déterminer la puissance de croisière en régime permanent, puis prévoir des pics au décollage et à l'atterrissage. C'est ce qu'on appelle un profil de mission à pics et creux, où la batterie est utilisée en parallèle avec le groupe motopropulseur hybride pour fournir une puissance importante pendant une courte période, en réponse à ces pics. »

« Ensuite, vous dimensionnez le groupe motopropulseur hybride pour avoir plus de puissance que nécessaire pour la croisière afin de pouvoir recharger les batteries en vol », a-t-il ajouté.

Systeme de propulsion VH-3

En mars 2021, VerdeGo a annoncé son premier produit hybride de production, le VH-3-185 de troisième génération (produisant 185 kW de puissance), conçu pour fournir suffisamment d'énergie à bord pour les missions utiles des avions hybrides eVTOL, eCTOL et plus légers que l'air (LTA), avec une portée, une charge utile et des réserves d'énergie étendues.

Le VH-3-185 a été conçu pour propulser des avions de 2 à 6 places pour une efficacité maximale en croisière et des UAS avec des charges utiles de 500 à 1 500 lb (225 à 680 kg).

Le VH-3 combine un moteur à allumage par compression Jet-A avec un générateur hybride de 185 kW. Les batteries peuvent fournir des surtensions supplémentaires au décollage et à l'atterrissage, la puissance disponible dépendant de la configuration de la batterie. Dès le départ, VerdeGo a conçu le VH-3 pour un fonctionnement hybride parallèle et hybride série.

SERIES

Pure electric power output



PARALLEL

Pure shaft power or blended shaft and electric power output



QUIET

Engine off, battery power drives output shaft



BOOST

Use battery power to boost shaft output



Modes de fonctionnement du VH-3-185. (VerdeGo)

En configuration hybride parallèle, le groupe motopropulseur peut fournir simultanément la puissance mécanique pour entraîner les hélices, les rotors, les ventilateurs ou les réducteurs, et la puissance électrique pour alimenter les moteurs électriques ou charger les batteries. Le VH-3-185 est également capable de fournir une puissance maximale à l'arbre de sortie, où l'énergie de la batterie est utilisée pour transformer le générateur en moteur et fournir jusqu'à 500 ch (370 kW) de puissance combinée sur l'arbre de sortie.

En configuration hybride série, le VH-3 fournit uniquement l'énergie électrique au bus haute tension, qui alimente ensuite toute combinaison de moteurs électriques et de batteries. Le groupe motopropulseur peut également fonctionner en mode silencieux, moteur éteint, la batterie entraînant l'arbre de sortie.

La flexibilité intrinsèque du système hybride offre également aux concepteurs d'avions plusieurs options d'installation. Par exemple, le VH-3 pourrait être installé seul, par paires pour propulser un aéronef eVTOL équipé d'hélices tractives et propulsives, et/ou empilé avec des packs de batteries pour fournir une puissance de pointe.

Au cœur du moteur du VH-3 se trouve un moteur Jet-A SMA SR305 quatre cylindres à quatre temps, développé à l'origine par SMA Motors en France (mais intégré au groupe allemand Röder depuis 2020). Le SR305 a été développé à la fin des années 1990 pour le marché de l'aviation générale et est certifié par l'Agence européenne de la sécurité aérienne (EASA) et la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis. L'avion de chasse de VerdeGo utilisait le Continental CD-265, mais lorsque le motoriste américain, détenu par des intérêts chinois, a suspendu le développement du CD-265, VerdeGo a facilement remplacé le moteur SMA, sur lequel le CD-265 était basé.

Les spécifications du VH-3-185 prévoient un poids du moteur de 295 kg (650 lb), moteur, générateur, onduleur et systèmes thermiques compris. La largeur globale de 35 pouces (89 cm) et la hauteur de 33 pouces (84 cm) du système de propulsion hybride sont similaires à celles d'un moteur SR305 d'origine ; le système de propulsion complet mesure 61 pouces (15 cm) de long, une fois le générateur/moteur électrique, l'arbre et le système de refroidissement intégré ajoutés.

Le VH-3 affiche une consommation de carburant de pointe d'environ 10 gallons par heure à plein régime, et le moteur SMA peut fonctionner avec du carburant d'aviation durable (SAF), ce qui réduit son empreinte carbone.

En septembre 2022, le développement du VH-3-185 a bénéficié d'un financement SBIR (Small Business Innovation Research) de 1,2 million de dollars, octroyé par l'unité d'innovation AFWERX de l'US Air Force, pour soutenir le développement du groupe motopropulseur. Ce financement a été suivi en 2024 d'une augmentation du financement tactique (TACFI) de 1,9 million de dollars pour le développement d'un système prototype conforme.

Puis, en juin 2024, VerdeGo a reçu un deuxième contrat soutenant le développement du VH-3-185 dans le cadre du programme SBIR Ignite de la NASA pour des études de conception conceptuelle d'applications potentielles.

Turbine VH-4T

En juillet 2024, VerdeGo a dévoilé son groupe motopropulseur hybride électrique à turbine VH-4T-415 de 400 kW sur le stand AFWERX à AirVenture.

Eichstedt a déclaré : « 400 kW semblent être le point idéal pour les taxis aériens [eVTOL] de 5 à 7 passagers, ou les avions eSTOL qui transportent jusqu'à neuf passagers, et les drones cargo qui doivent transporter plus de 1 000 lb [550 kW] de charge utile. »



La maquette du VH-4T exposée au salon EAA AirVenture 2024 à Oshkosh. (VerdeGo)

Mi-2022, RTX Ventures, filiale de RTX (qui détient les marques aérospatiales Raytheon, Pratt & Whitney, Collins et d'autres), a investi dans VerdeGo, ouvrant la voie à l'utilisation du turbomoteur PW206/207 de Pratt & Whitney Canada dans un système hybride intégré. À ce jour, tous les moteurs de la série PW200 ont été utilisés par paires pour des applications d'hélicoptères bimoteurs ; le choix d'une seule turbine à gaz PW206/207 pour propulser le VT-4T constitue donc une étape importante pour ce produit.

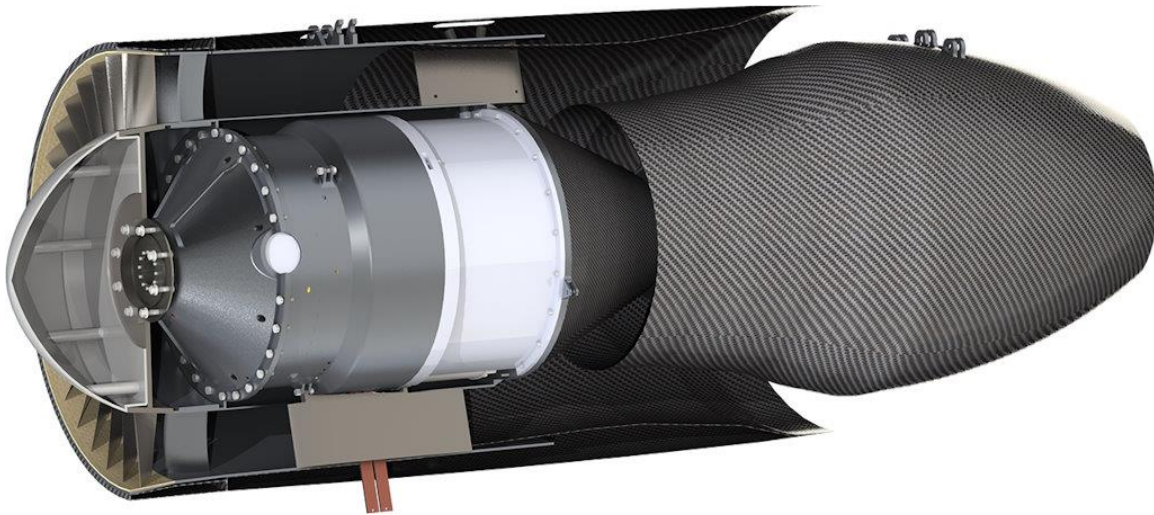
Les essais grandeur nature du VH-4T sur Iron Bird ont débuté fin 2023 et le développement d'un prototype apte au vol a fait l'objet d'une deuxième subvention AFWERX SBIR Phase II. Plus récemment, VerdeGo a réalisé 150 heures d'essais de durabilité sur le prototype VH-4T dans le cadre d'une subvention AFWERX Phase II.

Lors du développement du VH-4T, les ingénieurs de VerdeGo se sont largement appuyés sur les leçons apprises lors du développement du VH-3, notamment en matière de refroidissement et de gestion de l'énergie.

VH-5 révélé

Lors du Forum VFS 80 à Montréal en mai 2024, VerdeGo a révélé qu'il développait également le système de propulsion VH-5 pour répondre à une exigence de défense émergente pour un avion à décollage et atterrissage verticaux (VTOL) capable de voler à des vitesses très élevées.

L'idée d'un turboréacteur convertible capable d'alimenter un avion VTOL existe depuis plus d'un demi-siècle et a fait l'objet de nombreux articles techniques de VFS au fil des ans. Cependant, un turboréacteur capable de produire de l'énergie électrique lorsqu'il ne produit pas de poussée est une innovation. L'entreprise estime pouvoir exploiter l'hybridation d'un turboréacteur et de moteurs électriques pour répondre aux exigences de la DARPA en matière de VTOL à grande vitesse (HSVTOL) pour les futurs besoins militaires.



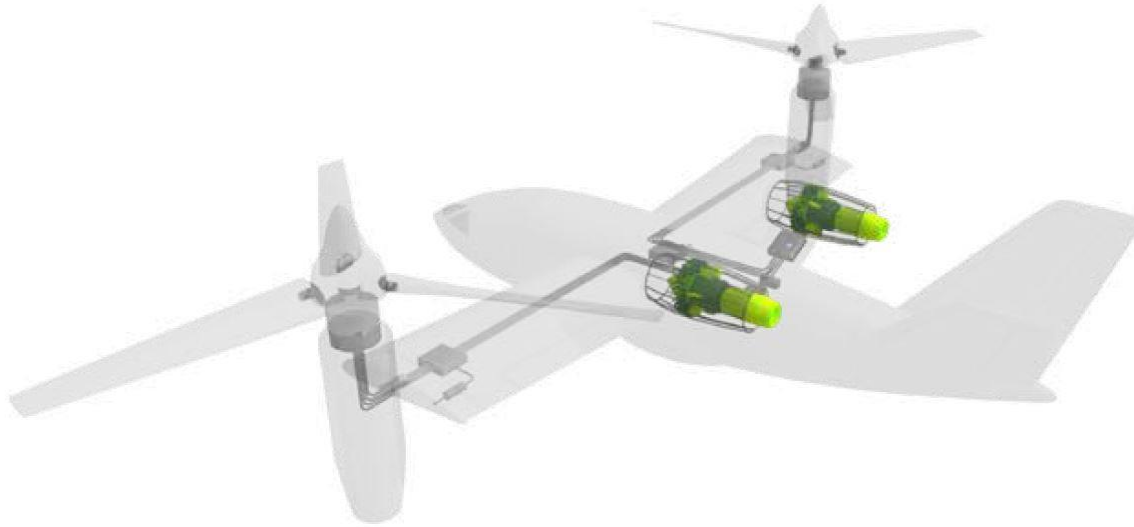
Le concept de moteur convertible VerdeGo VH-5 pourrait évoluer de 15 kW à 9 MW. (VerdeGo)

« Le VH-5 est conçu pour permettre à un seul groupe motopropulseur d'assurer les modes de vol vertical et avant d'un avion HSVTOL », a déclaré Eichstedt avant le lancement officiel du VH-5. « Et il existe de nombreuses autres applications, au-delà du HSVTOL, comme les drones plus petits. »

L'objectif de l'entreprise est d'arriver au point « où nous pouvons prototyper et prouver l'architecture du système dans une plage de puissance pertinente et utile ».

L'entreprise voit une opportunité pour une gamme de groupes motopropulseurs de répondre à une exigence HSVTOL, avec 1,5 MW comme bon point de départ pour soutenir le développement de prototypes d'avions et le dimensionnement final déterminé par les exigences des clients.

Eichstedt a déclaré que les composants électroniques nécessaires pour supporter des puissances plus importantes seront bientôt disponibles, « mais il y aura une frontière où il sera plus difficile de progresser aussi facilement ». VerdeGo a récemment terminé une étude dans le cadre de la phase I du projet AFWERX, qui explorait l'évolutivité de l'architecture du turboréacteur mixte VH-5. Eichstedt a déclaré : « Nous avons été agréablement surpris par cette étude de constater que le concept du turboréacteur mixte s'adapte parfaitement à toute une gamme de puissances potentielles. Nous disposons désormais de modèles conceptuels allant de 15 kW à 9 MW. »



Un tiltrotor HSVTOL fictif avec turboréacteur mixte VH-5, capable de produire des combinaisons de poussée et de puissance électrique. (VerdeGo)

VerdeGo travaille actuellement avec un certain nombre de grands noms de l'aérospatiale, recueillant des informations sur les exigences en vue de sélectionner le système de taille appropriée à construire comme première mise en œuvre du concept de turboréacteur mixte.

L'une des caractéristiques des hybrides est que les moteurs électriques peuvent également être des générateurs, a déclaré Eichstedt, ajoutant que c'est quelque peu analogue aux antennes, qui peuvent être utilisées à la fois pour la transmission et la réception.

Il peut arriver qu'un concepteur optimise le matériel pour en faire un générateur, et parfois un moteur avec les niveaux de régime et de couple souhaités, mais ces deux utilisations peuvent être interchangeables. VerdeGo qualifie parfois cette partie du matériel hybride de « machine électrique », car elle est à double usage et peut jouer les deux rôles dans une conception parallèle. Dans une mission militaire, par exemple, cette double fonction peut contribuer à produire l'énergie nécessaire à l'alimentation d'un grand ensemble de capteurs, utilisé uniquement pendant la phase de croisière d'une mission HSVTOL.

Point de basculement

Cela fait près de 15 ans que Pat Anderson a construit et piloté le premier avion hybride-électrique piloté à essence/batterie pour le NASA Green Flight Challenge. À mesure que de plus en plus de développeurs d'avions et de clients potentiels prennent conscience de la trajectoire actuelle du développement des batteries, la fréquence des annonces d'intérêt et d'investissement dans les systèmes de propulsion hybrides et hydrogène-électriques s'est accrue, tout comme le soutien d'agences comme la NASA et AFWERX, devenue un fervent défenseur de la propulsion hybride-électrique pour les missions militaires.

VerdeGo a recruté des clients pour ses systèmes de propulsion hybride, mais ne peut pas encore révéler qui. L'industrie de l'AAM est entrée dans une nouvelle phase d'activité « discrète », où certains

développeurs d'avions gardent leurs cartes secrètes quant à leur transition vers des sources d'énergie alternatives.