

Mousquetaire silencieux

Lancement d'un projet d'électrification pour D140.

Le Jodel D140 Mousquetaire est un excellent avion, quadriplace en CNRA capable d'emporter son propre poids, qui a fait ses preuves en montagne depuis 60 ans.

Sa motorisation basée sur un Lycoming O-360 quatre cylindres de 180 cv, certes performante et éprouvée, reste (encore) bruyante et s'essouffle en altitude faute de turbo compression.

Les technologies émergentes permettent d'envisager une motorisation silencieuse : électrique, hybride, voire à hydrogène...

Les 60 ans d'utilisation procurent un retour d'expérience sur ses (rares) défauts et le CNRA est un cadre réglementaire simple pour lancer une expérimentation.

L'association

L'association Loi 1901 « Les Ailes du Sud-Ouest » a été fondée en 2009 autour de deux groupes : le Guyenne comportant six membres basés à Arcachon (LFCH) et l'Alsace comportant 12 membres basés à Habsheim (LFGB).

L'association a déjà construit le Vans RV9 #92117 F-PLSO dans un chantier d'insertion et restauré le SNCAN N1203-VI Norecrin #109 F-BEQE.

Elle a signé une convention avec l'Education Nationale pour le Bac Pro aéro.

Son site est www.ailessudouest.org

Partenaires



Le projet est soutenu par l'Association Française des Pilotes de Montagne (AFPM) qui dispose d'une excellente connaissance du Mousquetaire et de son utilisation. De plus, quelques altitudes sont menacées et une approche silencieuse du vol en montagne permettrait de les sauvegarder. Leur site est www.afpm.fr.

Les Avions Mauboussin, concepteur de l'Alerion m1H, biplace tandem ESTOL (Extremely Short Tak-Off and Landing) à propulsion hybride hydrogène, à retrouver sur www.avionsmauboussin.fr.



Cahier des charges

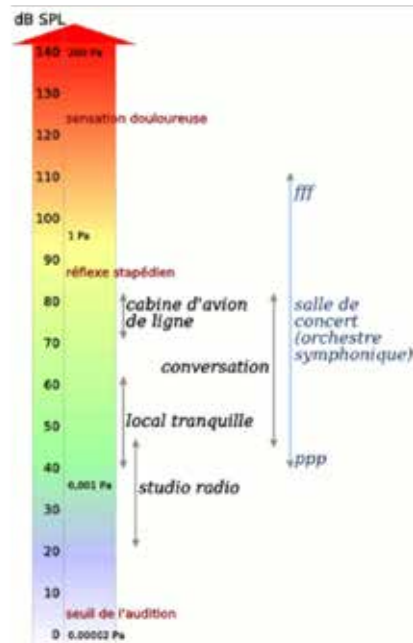
Le cahier des charges que nous avons défini comporte cinq points :

1) Silencieux : Il s'agit d'obtenir un certificat CALIPSO de classe A+ afin d'être autorisé à voler dans les réserves naturelles et les « plages de silence »

Pour mémoire, il s'agit de mesurer le bruit à une hauteur de 1000 ft, selon les catégories suivantes :

- A+ : < 59 dB classe à créer
- A : < 62 dB
- B : Entre 62 et 65 dB
- C : Entre 65 et 68 dB
- D : > 68 dB

Échelle de comparaison :



- 40 dB = salle d'attente.
- 55 dB = conversation normale, moyenne.

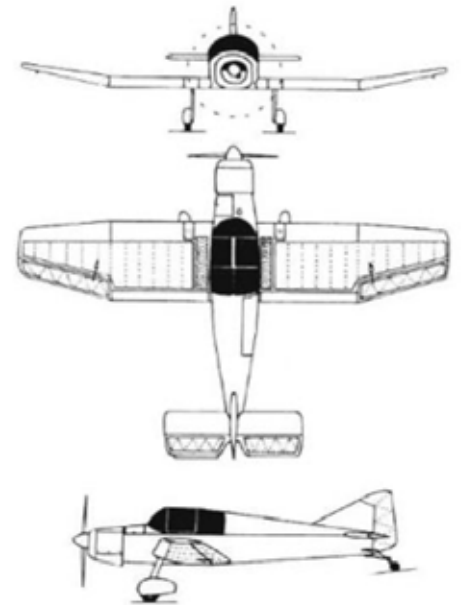
- 60 dB = ordinateur personnel de bureau à 0,6 m.
- 65 dB = voiture essence à 60 km/h à 20 m ou aspirateurs domestiques silencieux.
- 70 dB = niveau de bruit permettant la communication face à face.

2) Performant : Conserver une charge utile de 500 kg, soit 100 kg de moins que l'original, afin de recevoir la technologie hydrogène. Il s'agit également de préserver le plafond, la Vz et les qualités de vol.

3) Sûreté : Il doit être conçu selon les codes ASTM Light Sport Aircraft (LSA)

4) Accessible : Pour diffusion ultérieure de plans en CNRA ou kits.

5) Élégant : En évitant l'écueil courant de ce type de motorisation, à savoir un long nez pour respecter le centrage.



Les étapes du projet

- Analyser la conception du Mousquetaire.
- Formaliser le retour d'expérience
- Définir le cahier des charges d'une propulsion silencieuse.
- Étudier les technologies disponibles et émergentes.
- Concevoir une propulsion silencieuse accessible en CNRA.
- Maquetter cette propulsion au sol.
- Construire, terminer ou modifier une cellule en Fox-Papa.

par David Gallezot

- Avionner la propulsion - CALIPSO.
- Essayer en vol en montagne.
- Obtenir l'assouplissement des contraintes environnement/nuisances.

Planning :

- 2020 - Études
- 2021 - Maquettage
- 2022 - Avionnage
- 2023 - Essais

Comment nous aider ?

Comme pour de nombreux projets, nous sommes à la recherche de sponsors et partenaires, du support de la Filière H2 BFC, de futurs exploitants et potentielles subventions.

Si vous avez des compétences particulières et que ce projet vous passionne, écrivez-nous !

David Gallezot
Président du CR RSA Grand Est
rsagrandest@ailessudouest.org

AILES Sud Ouest
4, rue Camille Claudel
90000 Belfort
Téléphone : 09.81.83.12.86
Mobile : 06.07.88.30.11
Mail : contact@ailessudouest.org



Le magnifique Mousquetaire D140E construit par Frédéric Sire en 2007 (Photo PC)

Le Mousquetaire silencieux : son avancée

Les évolutions du projet Gypaète, l'avion de montagne silencieux et écoresponsable

Cet article fait suite à notre première présentation du projet du D140G Gypaète dans le n°306 des Cahiers du RSA le n°306.

Nous revenons dans ce nouveau numéro faire état des avancées majeures de notre architecture propulsive hybride thermique/électrique, ainsi que des visées concernant les aspects technique et financier.

Quelques rappels

Le projet D140G est porté par l'association AILES Sud Ouest. Fondée en 2009, elle compte une vingtaine de membres localisés sur deux sites, Arcachon (33) et Habsheim (68).



Les études du Gypaète, elles, sont menées, à Belfort, au sein des locaux de la société Avions Mauboussin, partenaire de l'association. Sous les directives et conseils du Président David Gallezot, plusieurs stagiaires issus d'écoles d'ingénieurs se succèdent pour élaborer les axes de conception permettant de

répondre à un cahier des charges ambitieux dont l'objectif principal est de moderniser la propulsion du Jodel D140E, baptisé le Mousquetaire.

Ce cahier des charges repose sur les cinq caractéristiques suivantes : silence, performance, fiabilité, accessibilité et élégance – toujours dans une logique écoresponsable.

Dans le cadre de cette démarche, nous étudions une propulsion hybride électrique à architecture parallèle. Nous allons donc vous présenter les choix techniques envisagés jusqu'à maintenant.

Architecture hybride en parallèle

L'architecture parallèle d'un système propulsif hybride thermique/électrique permet de disposer de différents types de fonctionnement : le tout électrique, le tout thermique et le combiné. Afin de respecter le critère de charge utile d'origine de 500kg minimum du Mousquetaire, il a fallu limiter l'utilisation du mode électrique pour réduire la masse des batteries, inerrantes à son alimentation. Une autonomie électrique d'une vingtaine de minutes est pour l'instant envisagée. Une recharge en vol sera possible grâce à un fonctionnement combiné du moteur thermique et du moteur électrique qui sera alors en mode « génératrice », mais qui implique cependant une surconsommation du point de vue thermique au profit de la recharge. Ce mode combiné est

réalisable du fait de l'architecture parallèle qui permet de relier, au choix, l'arbre du moteur thermique et/ou celui du moteur électrique à l'arbre de l'hélice par l'intermédiaire d'embrayages. Les deux moteurs nécessiteront un réducteur à poulie-courroie afin de réduire la vitesse de rotation de l'hélice à 1500tr/min. Il est en effet indispensable de ne pas augmenter davantage cette vitesse de rotation au risque d'engendrer des nuisances sonores trop importantes.

En ce qui concerne la sélection des deux moteurs qui remplaceront le Lycoming O360 A3A de 120kg et 180ch, nous nous sommes pour l'instant arrêtés sur l'EMRAX 348 de 42kg pour le module électrique et sur l'EB2 DTS de Peugeot-Citroën de 85kg pour le module thermique.

Aujourd'hui, notre activité principale consiste à rechercher tous les éléments essentiels à la réalisation de cette propulsion et à les dimensionner afin de les intégrer correctement. Nous contactons donc de nombreux fournisseurs et constructeurs pour nous procurer les conseils et les produits dont nous avons besoin (embrayages, poulies-courroies, moteurs, hélice...). La prochaine étape dans les mois qui viennent sera de concevoir un modèle CAO sur SolidWorks dans le but de visualiser l'intégration et la disposition de toutes les pièces entre elles et au sein de l'avion pour valider nos choix.

L'intégration des packs batteries

Le principal frein à la propulsion hybride thermique/électrique est la masse à prendre en compte pour l'intégration des batteries au sein de la structure. C'est ce qui nous contraint actuellement à réduire considérablement le fonctionnement électrique de la propulsion. De plus, notre volonté étant de conserver l'armature d'origine du D140E, la dimension d'encombrement est primordiale.

Après s'être orientés vers une cellule de type Li-ion d'une masse de 49g et d'une capacité de 3,5Ah, nous avons pu réfléchir au dimensionnement des batteries puis à leur intégration dans la structure. Il a donc été calculé qu'une masse totale de 300kg ainsi qu'une surface de 4,107m² de batteries seraient nécessaires au vu de l'utilisation désirée. En ce qui concerne l'intégration, la voilure est l'emplacement privilégié pour les batteries. En effet, le longeron caisson du D140 reprend la majorité des efforts à cet endroit et le centre de gravité se situe vers le milieu du longeron. Avec une bonne répartition des batteries il est possible d'obtenir un centrage très proche de celui de l'avion d'origine. Dans la pratique, cette répartition est assez complexe à mettre en œuvre et nécessite des renforts structuraux.

Un autre défi : le bruit

Une étude a été initiée concernant le bruit émis par l'avion et particulièrement par l'hélice. Une nouvelle conception de cette dernière est envisagée dont les caractéristiques

seraient les suivantes : 5 pales à pas variable, diamètre de 190cm, vitesse de rotation à 1500tr/min, Mach périphérique de 0.44 (grandeur directement liée au niveau sonore généré), traction statique de 3775N, rendement de 83% environ. Nous cherchons maintenant à déduire de ces caractéristiques un niveau sonore en décibels dans l'intention de pouvoir le comparer aux classes sonores de la classification CALIPSO présentée dans notre première publication. Rappelons que nous souhaitons développer une architecture dont la nuisance sonore serait inférieure à 59dB.

Du côté du financement

Un aspect important du projet consiste en la recherche de fonds. Comme de nombreux projets, nous sommes à la recherche de sponsors et partenaires, du support de la Filière H2 BFC, de futurs exploitants et potentielles subventions.

A cette date, AILES Sud Ouest est toujours soutenue par l'Association Française des Pilotes de Montagne (AFPM) ainsi que par Avions Mauboussin, concepteur de l'Alérion M1h, biplace tandem ESTOL (Extremely Short Take-Off and Landing) à propulsion hybride thermique/électrique.

Nous avons plus récemment développé un partenariat avec la Junior Entreprise de l'ESTA (Ecole Supérieure des Techniques et des Affaires) de Belfort. Son équipe a offert de développer les réseaux sociaux et moderniser le site internet de l'association afin d'améliorer et de renforcer la communication sur le projet avant de lancer

notre campagne de Crowdfunding. Cette campagne, prévue pour la rentrée 2021, a pour objectif de récolter 50 000 euros minimum qui seront investis dans l'achat du banc d'essais propulsion. Cette somme nous permettrait d'atteindre l'étape « Conception de la propulsion au sol ». Cependant, afin que le projet aboutisse, il sera indispensable de bénéficier d'investissements plus importants. C'est pour cela que notre recherche active de sponsors et d'investisseurs se poursuit sans relâche.

Etapas du projet

Après avoir analysé la conception du Mousquetaire, formalisé le retour d'expérience, défini le cahier des charges de la propulsion et étudié les technologies émergentes, il reste aux membres du projet Gypaète à concevoir la propulsion au sol, construire ou modifier une cellule en Fox-Papa, avionner la propulsion, essayer en vol montage dans le respect des contraintes environnementales et sonores. Une fois ces étapes réalisées, l'avion pourra alors se voir délivrer le Certificat de Navigabilité Restreint d'Aéronef (CNRA).

Contactez-nous !

Si vous avez des compétences particulières et que ce projet vous passionne, écrivez-nous !

AILES Sud Ouest
4, rue Camille Claudel
90000 Belfort
Téléphone : 09.81.83.12.86
Mobile : 06.07.88.30.11
Mail : contact@ailessudouest.org
Ecrit par Fanny LARROCHE

Un banc d'essai à l'échelle réduite pour le projet Gypaète d'AILES Sud Ouest

Le projet Gypaète

Le projet Gypaète a pour objectif de remotoriser le Jodel D140 Mousquetaire en hybride, thermique-électrique avec batterie. Le poids des batteries sera contenu afin de garder une capacité d'emport de 3 personnes. Les deux principaux objectifs de ce projet sont de réduire la nuisance sonore de l'appareil, en obtenant notamment une certification CALIPSO A+ (<59 dB à 1000 ft) et de réduire les émissions de gaz à effet de serre (CO2) et de polluants (NOx, particules, plomb). Après avoir analysé la conception de l'avion, établi le cahier des charges à partir du retour d'expériences recueilli auprès des pilotes, et avoir étudié les différentes solutions technologiques possibles, l'heure est à la réalisation d'un banc d'essai et d'une maquette à l'échelle réduite afin de valider ces choix technologiques et recueillir un maximum de données pour la suite.



Conception du banc d'essai

Le Groupe MotoPropulseur Hybride (GMPH) se compose d'un moteur thermique DLE20 de 2,5 cv couplé, via une courroie, à un moteur électrique « GA 1500R » de 1,5kW. Afin de respecter les différents modes de fonctionnement (thermique, électrique, combiné et régénératif), le moteur thermique doit pouvoir être désaccouplé de l'arbre principal lié au moteur électrique et à l'hélice. Pour cela, il a été choisi de jouer sur la tension de la courroie afin d'embrayer ou de débrayer le moteur thermique. Cette fonction est assurée par un système galet-tendeur. Ce dernier vient pincer la courroie par l'extérieur pour assurer la tension de cette dernière comme montré sur la figure ci-contre. Lors du débrayage, le vérin électrique qui entraîne le mécanisme s'écarte, et la tension de la courroie diminue jusqu'à ce qu'elle soit presque libre. L'écartement des galets tendeurs est réglé



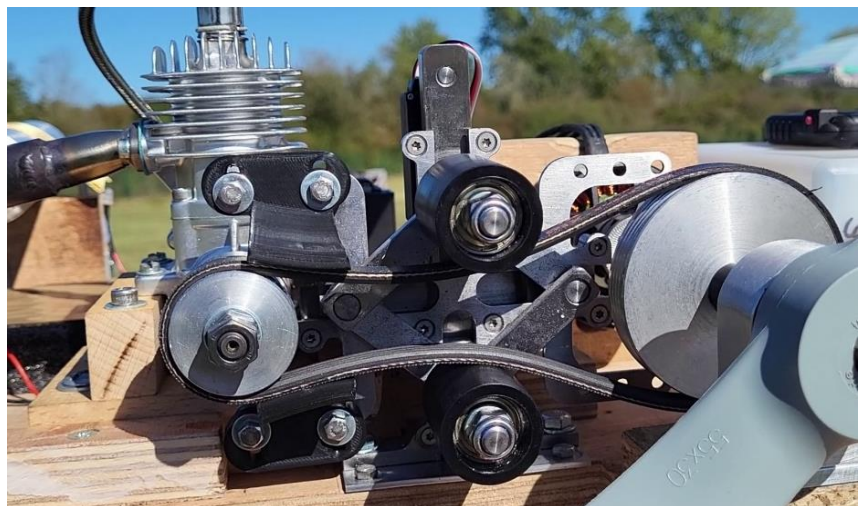
Vidéo « Banc d'essai Gypaète » sur YouTube

pour que la courroie reste bien en place tout en limitant au maximum les frottements sur la poulie de l'arbre principal. Aussi, des patins de guidage sont placés au niveau de la poulie de l'arbre secondaire (poulie immobile lors du débrayage) afin d'améliorer le guidage de la courroie, et de lui donner une forme qui limite au maximum les contacts avec la poulie de l'arbre principal. Après avoir essayé différents types de courroie, c'est une courroie striée (Poly-V) qui a été choisie pour son faible encombrement et son très bon rendement. Pour les poulies, le rapport de réduction a été choisi afin d'adapter le moteur thermique dont le régime de puissance maximale est de 10 000 tr/min, à l'hélice, qui sera montée sur la maquette dont la vitesse ne doit pas dépasser 6000

composé d'un solide bâti en bois, sur lequel viennent se monter les différents composants. Le banc a été pensé pour pouvoir fonctionner en mode hybride bien évidemment, mais aussi en mode thermique seul ou uniquement électrique, afin de pouvoir mettre au point chaque type de propulsion indépendamment. En effet, avant d'étudier la propulsion hybride il était important de tester et d'acquérir des données sur chacune des propulsions.

Les essais

Les essais se sont déroulés sur le terrain d'aéromodélisme de Courcelles-lès-Montbéliard. C'est par la caractérisation des performances du moteur électrique et de l'hélice que les tests ont commencé. L'objectif de ces essais était alors de déterminer le rendement du moteur sur toute sa

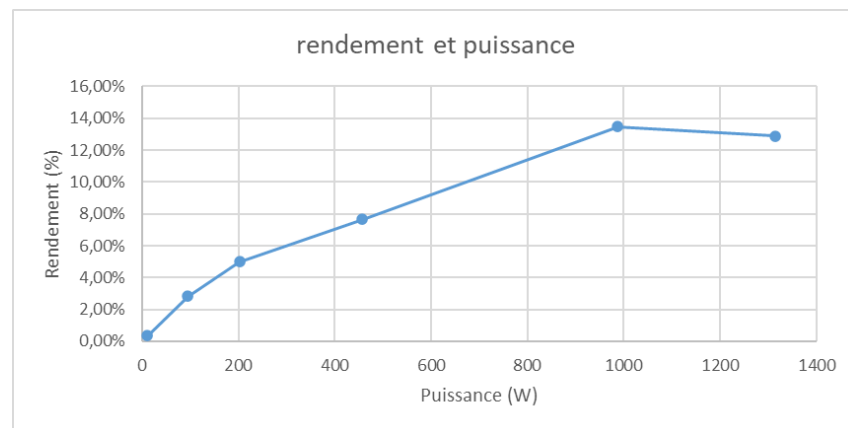
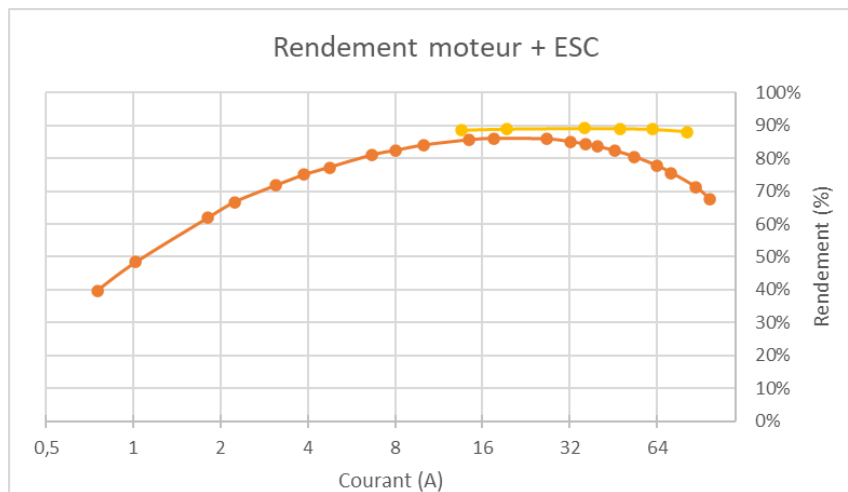


tr/min. Le banc d'essai en lui-même est

plage de fonctionnement. N'ayant pas de

dispositif de mesure sous la main, c'est à l'aide de la loi hélice que la puissance utile du moteur a été déterminée et comparée à la puissance absorbée (mesurée) pour obtenir le rendement. La loi hélice est le lien entre la vitesse de rotation et la puissance absorbée par l'hélice. Pour nos tests, nous ne connaissons pas cette loi, mais en faisant l'hypothèse que celle-ci suivait bien une loi cubique comme le veut la théorie, il nous a été possible de la déterminer et donc de trouver le rendement du moteur. Les résultats obtenus sont présentés ci-contre. En orange, on trouve les résultats des essais, tandis que les données de rendement du moteur fournies par le constructeur, sont présentées en jaune. On remarque que bien que nos valeurs concordent au sommet, lorsque l'on regarde à plus forte intensité, le rendement mesuré s'écarte significativement de celui donné par le constructeur. Cela s'explique du fait que ces derniers ne fournissent que le rendement du moteur seul et non pas du couple moteur-contrôleur que nous mesurons ici. Pour ce qui est du moteur thermique, ce dernier a été rodé pendant plusieurs heures puis son rendement a également été mesuré en comparant la puissance absorbée par l'hélice (avec la loi hélice) et le carburant consommé. Comme attendu, à faible charge le rendement du moteur est médiocre et il atteint son maximum, de 14% environ, à forte charge.

Ces premiers essais ont donc permis de tester chacune des propulsions séparément et de mesurer leur rendement. Ces mesures nous rappellent l'intérêt de l'hybridation. En effet, lors d'un vol, le moteur thermique est rarement utilisé à pleine puissance et fonctionne donc la plupart du temps à faible rendement, lors de ces phases de fonctionnement à charge partielle, on peut alors utiliser le moteur électrique à la place, qui lui, a un très bon rendement même à faible charge. Une fois que les batteries sont vides, le moteur thermique peut-être rallumé mais à forte charge (donc avec un bon rendement), le surplus étant utilisé afin de recharger les batteries. Dans le cadre opérationnel d'un avion, on peut alors imaginer un décollage en mode thermique (voire combiné thermique + électrique si besoin de toute la puissance) suivi de phases de vol électrique, en croisière ou lors de la phase de descente. Les essais sur chacune des propulsions sont terminés et une partie des essais hybrides ont déjà été réalisés. Les premiers essais du banc hybride sont présentés dans une vidéo sur la chaîne YouTube de l'association AILES Sud Ouest (lien). La caractérisation du rendement global de la propulsion dans les différents modes ainsi que la mesure du rendement



de régénération du moteur électrique sont en cours par des étudiants de l'Université de Franche-Comté.

La maquette volante

Une fois le GMPH pleinement mis au point au sol, la prochaine étape est de l'intégrer dans un aéromodèle (dont la cellule est déjà réalisée, photo ci-dessous) pour le tester en condition de vol. Une modélisation CAO du capot-moteur de la maquette volante ainsi que de l'intégration de la propulsion hybride dans ce dernier a été réalisée. Il ne reste plus qu'à passer à la fabrication !

Rejoignez-nous !

Gypaète est un projet associatif et bénévole dont les résultats (plans du GMPH) seront mis à disposition des constructeurs amateurs en *open source*. Toutes aides et assistance sont les bienvenues...

AILES Sud Ouest

4, rue Camille Claudel
90000 Belfort
Téléphone : 09.81.83.12.86
Mobile : 06.07.88.30.11
Mail : contact@ailessudouest.org
Web : <https://www.ailessudouest.org/gypaete/>
YouTube : <https://www.youtube.com/@ailessudouest>



CAO du GMPH et cellule de l'aéromodèle