

LE MAGAZINE PRATIQUE DE L'AÉRONAUTIQUE

Volez!

l'aéropatique

4,95€
seulement

Réglementation

**Le nouveau test
de compétence linguistique** p. 6

Prise en main

**Liberty XL2, un IFR
qui porte bien son nom** p. 39

Destination

**Les vallées
du Grand Canyon** p. 431^{ère} mondiale : 48 minutes de vol électrique**Historique!**

la genèse, le récit, la machine, les perspectives... p. 12

vers une révolution de l'aviation légère ?



Dossier ULM

Bien amarrer sa machine p. 23

Prise en main

K-10 Swift, à quelques détails près... p. 33

L 13158 - 122 - F: 4,95 €



Numéro 122 - février 2008 - 4,95 euros

Belgique - Luxembourg : 5,90 € - Canada : 8 \$ CAN - Suisse : 11,20 FS - Antilles, Guyane, Réunion : 6 € - Maroc : 60 MA - Port. Cont. : 6,70 €

AÉRONAUTIQUE - Volez! - 4.95 EUROS SEULEMENT - Volez!

LE MAGAZINE

L'ÉLECTRICITÉ C'EST É



ÉLECTRIQUE, EXTRA !



Cette sympathique trapanelle à l'atterrissage sur le terrain d'Aspres dans les Alpes du Sud ne paye pas de mine, et pourtant... En approche après 48 minutes d'un vol entièrement réalisé grâce à l'énergie électrique, Chritian Vandamme a sans aucun doute inauguré le 23 décembre dernier une petite révolution dans la pratique de nos loisirs aériens et dans la façon dont ils seront perçus à l'avenir par nos contemporains. Les retombées médiatiques internationales du vol de cette Souricette rebaptisée Electra témoignent qu'une aviation légère tout électrique pourrait s'intégrer avec bonheur dans le monde de demain et ce, dès... aujourd'hui, ou presque ! Et peut-être bien constituer, aussi, sa seule chance de survie.

L'électrique, c'est extra !

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sujet... **Volez !** vous donne des informations détaillées et pratiques.

ANNE LAVRAND

Chef du projet Electra, Anne est pilote avion et ULM, diplômée du Certificat d'aptitude à l'enseignement aéronautique et spatial. D'abord entrée chez Aviasud Engineering, elle s'est occupée par la suite de la gestion industrielle des équipements et générateurs solaires à l'Aérospatiale, avant de poursuivre dans la société Halter, leader mondial des hélices de



drones. Actuellement chez ACV Aero Service, son expérience l'a entre autres poussée à mener une activité bénévole de consultante pour présenter des solutions techniques réduisant le bruit des aéronefs légers. Elle est également responsable de la plate-forme « Aviation verte » au sein du pôle aéronautique et spatial « Pegase », et présidente de l'Association pour la promotion des aéronefs à motorisation électrique (voir encadré en page 17).

MARSEILLE, 23 déc 2007, 17:19:00 (AFP) - Une équipe d'ingénieurs français est parvenue pour la première fois à faire voler un avion électrique, a-t-on appris dimanche (...). L'appareil, l'"Electra" F-WMDJ, équipé d'un moteur électrique de 25 ch et de batteries lithium-polymère, a effectué un vol de 48 minutes à partir de l'aérodrome d'Aspres-sur-Buëch (...).

Le soir-même, journaux TV et radio reprenaient les éléments de cette dépêche de l'AFP, suivis des quotidiens le lendemain puis, dans la semaine, de la presse internationale. Reportages et flashes sur TF1, France 2, France Inter, France info, couverture du *Dauphiné Libéré*, demi-page dans le *Times* et *Flight International*.

Bigre ! Il y avait belle lurette qu'un événement concernant l'aviation de loisirs n'avait entraîné un tel intérêt de la part des médias... Car même s'il ne s'agit pas du premier vol réalisé grâce à l'énergie électrique (voir en page 19), sa durée constitue une avancée considérable. Mais quelle est donc cette équipe d'ingénieurs français ? Et de quel avion s'agit-il ? Aspres-sur-Buëch, n'est-ce pas ce fameux terrain récemment menacé de fermeture ? Les lecteurs de *Volez !* ont rapidement fait le

rapprochement, et se sont doutés que notre collaboratrice Anne Lavrand, qui anime la très appréciée rubrique « Aviation Verte », faisait partie de cette fameuse « équipe d'ingénieurs français ».

Anne nous a en effet tenu informés depuis juillet 2007 des dernières avancées dans le domaine de la motorisation électrique. Elle nous avait signalé la réussite, fin août, du vol électrique d'un ULM pendulaire, l'*Electron Libre*, qui avait duré 22 minutes en air calme. Un premier succès à son actif et à celui de son compère Christian Vandamme qui, avec une petite équipe de techniciens éclairés au sein de la société ACV Aero Service, s'affairaient discrètement dans leur coin ensoleillé des Hautes-Alpes depuis moins d'un an et demi. Anne analyse ainsi l'impact des travaux qui ont permis à une Souricette MB02, construite il y a quatre ans sous le régime CNRA, de voler le 23 décembre dernier avec une motorisation électrique durant 48 minutes :

« L'intérêt des récents essais de l'Electra réside

dans le fait que l'autonomie du vol électrique commence à être significative, et dans la possibilité de mettre au point une technologie abordable par tous dans un cadre réglementaire existant. C'est en cela que cette expérience se différencie largement des vols des autres aéronefs équipés d'un moteur électrique déjà mis au point.

Le vol de l'Electra constitue réellement une première mondiale :

- c'est le premier avion à moteur électrique (et non pas planeur motorisé, motoplaneur, ULM ou appareil d'expérimentation exotique) ;
- son autonomie est la plus importante jamais atteinte sur batteries (et non grâce à des systèmes photovoltaïques très onéreux) ;
- c'est la première fois qu'un avion de construction courante et accessible à tous (CNRA) est équipé d'un groupe motopropulseur électrique et de batteries. »

Les Américains, pourtant prompts à se déclarer pionniers dans tous les domaines, ne s'y sont pas trompés et ont largement salué cet « historic flight », ainsi que l'a qualifié Tony O'Neil, ancien chef de la mission Spacelab à la NASA, dans son courriel de félicitations. Mais revenons sur l'événement proprement dit, et ses préliminaires.

Premiers essais. Courant novembre et décembre 2007, de nombreux essais au sol sont réalisés avec la Souricette MB02 pour caractériser l'ensemble de l'installation électrique (voir encadré ci-contre) : calibrer les instruments, effectuer des décharges à différents niveaux d'ampérages pour en déduire les autonomies correspondantes, réaliser des mesures de température de fonctionnement des différents constituants, régler le pas et le diamètre hélice et, bien sûr, effectuer des mesures de traction statique.

« L'ensemble de ces essais nous a permis de prendre confiance dans le système, explique

CHRISTIAN VANDAMME

Pilote-ingénieur d'essais de l'Electra, Christian est issu de l'Ecole des Arts et métiers et a fait une spécialisation à l'Est (Ecole spéciale des travaux aéronautiques). Il a travaillé 20 ans à l'Aérospatiale puis a créé la société ACV Aero Service il y a quatre ans. Modéliste depuis l'âge de 10 ans, pilote privé avion et pilote ULM, détenteur du CAEA, il possède également la qualification théorique de pilote professionnel. Il conçoit, dessine, fabrique et teste des avions depuis plus de 25 ans. Il a conçu et fabriqué une réplique de Blériot XI biplace, qui n'attend qu'une place de hangar sur un aérodrome pour faire ses essais.



Volez !

Dossier

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sujet... **Volez !** vous donne des informations détaillées et pratiques.

De la « Souricette » MB02 au BL1E « Electra »



Dans le cadre du projet Electra, nous avons utilisé une *Souricette* MB02, machine monoplace conçue par Michel Barry, construite il y a quatre ans sous le régime du CNRA et immatriculée F-PMDJ. Cet appareil était équipé d'un moteur thermique JPX D320 de 18 ch (13 kW).

De nouvelles batteries lithium-polymère permettant d'envisager des capacités massives de l'ordre de 130 Wh/kg étaient disponibles sur le marché à des prix raisonnables. Quelques moteurs industriels d'environ 20 ch existaient, et le devis de masse était réaliste : il ne restait plus qu'à intégrer tout cela sur la cellule. Mais cela n'a pas été aussi simple, loin de là !

Auparavant, notre équipe avait réalisé la motorisation d'un pendulaire électrique, l'*Electron Libre*, qui avait commencé ses essais en vol en août 2007 (voir *Volez !* n°119). Cela nous avait permis d'acquérir une petite expérience sur les groupes motopropulseurs

électriques destinés aux aéronefs. Cependant, la problématique de la *Souricette* était un peu différente du fait d'une intégration plus intime du système électrique dans la cellule.

Côté motorisation, notre choix s'est porté sur un moteur industriel capable de fournir une puissance max de 25 ch (19 kW) et 20 ch (15 kW) en continu. Compte tenu de sa fixation radiale, un support moteur spécifique a été dimensionné et fabriqué. Une flasque d'hélice a été réalisée pour assurer l'interface entre l'arbre moteur et l'hélice. L'hélice utilisée pour



ces premiers essais est une Arplast Ecoprop prototype retaillée en diamètre.

Quant à l'électronique de puissance qui assure la régulation de tension appliquée au moteur (contrôleur), il a été nécessaire de la développer et de la paramétrer spécialement pour notre usage.

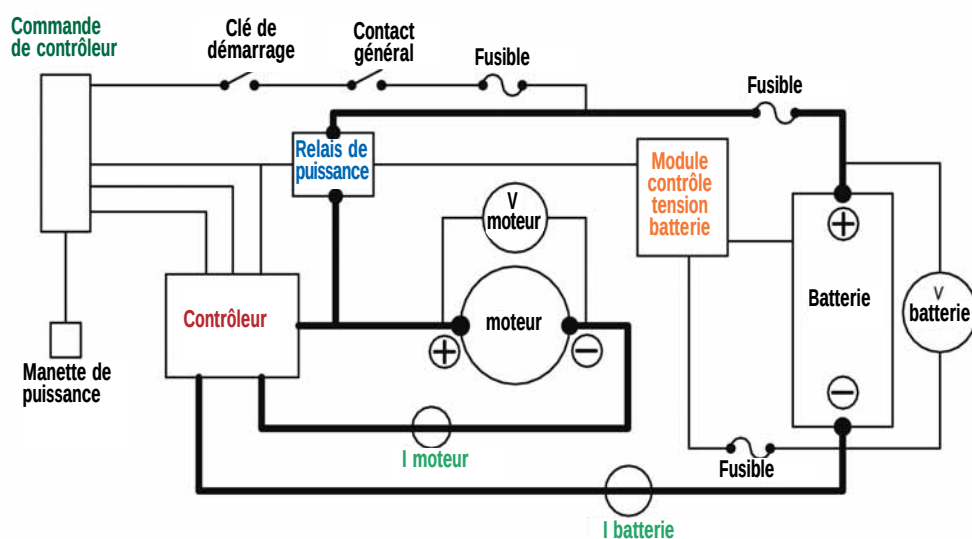
La masse de l'ensemble moteur / contrôleur / bâti moteur est équivalente à la masse du JPX

D320 équipé de son pot d'échappement et de sa batterie de démarrage, soit 19 kg (*photo ci-contre*).

Les cellules de batterie lithium-polymère utilisées sont de marque Kokam. L'ensemble des quatre packs de batterie que nous avons utilisés lors du premier vol représente une masse de 47 kg et un volume équivalent à un réservoir de 35 litres environ. Pour des raisons de centrage, ces batteries ont été positionnées à l'ancien emplacement du réservoir de carburant, derrière le pilote (*photo ci-contre*). Ce type de batteries ne présente pas de risques particuliers si les charges et décharges sont réalisées correctement. Et pour ne pas réduire le nombre de cycles, estimé à ce jour à 1 500, il est préférable de ne pas consommer plus de 80 % de la capacité nominale de la batterie.

Nous avons également développé l'électronique associée aux différents instruments de bord qui permettent la surveillance des paramètres moteur et batterie : voltmètre moteur, voltmètre batterie, ampèremètre moteur et débitmètre. La mise en puissance est réalisée à partir d'une commande de gaz traditionnelle à friction actionnant un potentiomètre relié au contrôleur.

CHRISTIAN VANDAMME



• La **COMMANDE DE CONTRÔLEUR** est en fait un potentiomètre.

• Le **CONTRÔLEUR** : c'est la boîte blanche située sous le bâti-moteur (voir *photo ci-dessus*). Il permet de piloter le moteur en tension. C'est un appareillage du commerce paramétré spécialement par les techniciens de l'Apame.

• Le fonctionnement du **RELAIS DE PUISSANCE** est identique à celui de votre voiture ou de

votre avion : c'est un interrupteur de puissance avec une capacité de coupure de 200 A.

• Le **MODULE DE CONTRÔLE DE TENSION DE LA BATTERIE** permet de contrôler en permanence la tension aux bornes des éléments de batterie qui doit toujours être comprise entre 4,2 V et 2,7 V (le module coupe le relais si ce n'est pas le cas).

• **I MOTEUR ET I BATTERIE** sont des capteurs d'intensité.

L'électrique, c'est extra !

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sujet... **Volez !** vous donne des informations détaillées et pratiques.

Christian Vandamme. En outre, en tant que pilote, le maniement et le contrôle de la puissance me sont devenus chaque jour un peu plus familiers. »

Les résultats de ces essais ont permis d'établir un dossier technique très complet, destiné à Michel Barry, concepteur de la Souricette, à la DGAC et au GSAC. Du fait de sa motorisation nouvelle et inhabituelle, l'appareil est redevenu prototype, et a reçu une nouvelle dénomination : BL1E « Electra ».

L'Electra en vol.

« Le samedi 22 décembre 2007, reprend

Christian, nous étions prêts, à la fois techniquement et administrativement. La météo locale était clémente et nous a offert deux jours bien calmes, sans vent, avec même un grand soleil le 23 décembre. Le terrain d'Aspres, situé sur un plateau avec deux pistes en croix, permettait de garantir à tout moment une solution d'atterrissage d'urgence idéale pour la sécurité de nos essais.

Le premier jour, nous avons fait une campagne de roulage et de « sauts de puce ». Nous avons pu ainsi vérifier l'intensité moteur nécessaire pour maintenir le vol en palier à 70 km/h, et en déduire l'autonomie dont nous allions disposer.



O bsolète, la Souricette ?... Alors regardez l'Electra ! Août 1992, hangar Jonathan à La Ferté-Alais. Quatre irréductibles optimistes collent les premières baguettes de spruce du fuselage du prototype de la Souricette.

Willy Gruhier, Alain Erval, Léon Mouraud et moi-même intriguons les visiteurs des fonds de hangar de La Ferté.

Nous aurions pu vite nous démoraliser si des soutiens de provenances diverses (merci, Jean Salis, Gérard Feldzer, Francis Plessier, Hervé Kuhlmann...) n'avaient accordé un réel crédit à la carcasse en bois qui, à ce stade, ressemblait davantage à une caisse à savon qu'à un corps de requin...

Mon cahier des charges aurait pu être résumé ainsi :

- Refuser de passer cinq années de mon temps libre à l'atelier, mais voler six mois après le début de la construction (1^{er} vol le 14 février 1993).
- Ne pas être obsédé par la vitesse, mais réussir à voler économiquement à très faible puissance, donc avec un appareil léger. Convaincue du réalisme de mes choix, l'équipe est allée au bout du projet. Concevoir puis dessiner les éléments aile,

Au commencement était la Souricette...

fuselage, empennages autour du petit moteur JPX 425 de 20 ch devenait un exercice d'optimisation que déjà, en 1987, j'avais bien dégrossi.

En effet, avec un cahier des charges très voisin, j'avais voulu commémorer en 1988 le centenaire de la naissance de Roland Garros, et avais projeté une traversée Fréjus-Bizerte à bord d'un appareil monoplace minimum, maxi économique et totalement optimisé pour ce vol, d'où l'origine de la capacité d'emport élevée retenue parmi les points essentiels du cahier des charges (un accident de moto en juin 1988 ruina le projet).

Rien d'étonnant donc qu'une vingtaine d'années plus tard, les pionniers français du vol électrique, parfaitement familiarisés avec les caractéristiques spécifiques de la cellule ventrue de la Souricette – pour être léger, il faut être volumineux ! paradoxe lié aux moments d'inertie – pensent à lui greffer un moteur électrique de puissance voisine de celle du petit JPX et trouvent facilement la place pour 47 kg de batteries.

En effet, Anne Lavrand et Christian Vandamme avaient déjà construit le MB 02 Souricette de ce « vol historique » sous le régime CNRA, équipé d'un autre moteur encore plus petit que celui du prototype : le bicylindre JPX 320 de 18 ch. A son bord ils ont réalisé des vols qui ont montré que 20 à 25 ch électriques sont suffisants pour assurer le décollage, la montée et *a fortiori* la croisière.

Informé du projet électrique, j'en compris immédiatement tout le bien fondé et fus flatté que l'on redécouvrit et démontrât enfin l'ensemble des particularités

aérodynamiques du MB 02.

Elles ne sautent pas aux yeux des observateurs. Car si l'aptitude d'un appareil à aller vite se confond souvent avec la pureté de ses lignes, en revanche la capacité à emporter une charge marchande maximale, sans souci de la vitesse, donne des designs plus ingrats...

Aujourd'hui le MB02 Souricette, devenu BL1E *Electra*, poursuit sa campagne d'essais sous les meilleurs auspices. Conçu à l'origine dans le strict respect des exigences de la CS VLA, construit par Anne Lavrand dans le cadre du CNRA avec une qualité de fabrication et une finition très au-dessus de la moyenne, il se présente aux yeux de la DGAC (comme en témoignent les commentaires de Jean-Marie Klinka, *en page 18*) comme un appareil parfaitement conventionnel qui ne déroge à aucune clause essentielle et bénéficie de la bienveillance des autorités pour l'attribution ultérieure du CNRA.

Alors, bientôt d'autres *Electra* en vol ?

Même si l'enthousiasme déclenché par la première d'un long vol de 48 minutes excite à juste titre la trop petite communauté des écolo-constructeurs, l'équipe de l'Apame, perfectionniste et professionnelle, devra explorer le vol électrique afin d'en découvrir les spécificités et, éventuellement, les pièges. Ensuite leurs résultats pourront être transférés sur d'autres petits avions.

L'espoir très probable de voir arriver des sources d'ampères de masse plus faible va dans le sens de l'*Electra*.

MICHEL BARRY
concepteur du MB 02 Souricette

Dossier

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sujet... **Volez !** vous donne des informations détaillées et pratiques.

L'Apame : quelle énergie !

Fondée en novembre 2006 par Anne Lavrand et Daniel Dalby, l'Association pour la promotion des aéronefs à motorisation électrique (Apame) est constituée d'un petit groupe de passionnés convaincus que les solutions électriques ont un avenir dans l'aviation légère. C'est ainsi que l'Apame a apporté un soutien actif à la société

administratives, le pendulaire présentait de nombreux avantages. Ce fut chose faite fin août 2007 : l'*Electron Libre* effectua un premier vol d'une durée de 22 mn aux mains de son pilote d'essais, Michel Sérane, puis toute une série de vols de validation (*photo ci-dessous*).

Afrique du Sud et en Australie, au Brésil, au Chili et au Pérou, et jusqu'au Sri Lanka, la Corée et même la Chine ! L'Apame soutient de nombreux autres projets qui vont voir le jour en 2008 : ULM deux et trois axes, motoplaneurs, paramoteurs, tous équipés de groupes motopropulseurs électriques.

L'association est également en charge de la communication sur ces recherches, ainsi que des échanges avec les institutionnels et toutes organisations traitant des énergies renouvelables et du développement durable.

LAURENT STAVAUX
Directeur de l'Apame

Contact : Apame, Le Village
05140 St-Pierre d'Argençon.
Site : <www.apame.eu>
courriel : <stavaux@apame.eu>
Adhésion simple : 10 € par an.



ACV Aéro Service, dont le premier projet dans ce domaine a été de faire voler un ULM pendulaire équipé d'un moteur électrique. Facilité de mise au point, accessibilité de l'ensemble, simplicité des démarches

La même équipe s'est ensuite attaquée au projet suivant, objet de ce dossier. Le vol du 23 décembre 2007 a eu un retentissement international, en Europe et aux Etats-Unis bien sûr, mais aussi en

A la radio, l'équipe me signale en riant que, du sol, on entend davantage le bruit aérodynamique généré par la structure quand la bille se balade un peu, plutôt que le bruit de l'hélice !

Approchant de 80 % de décharge des batteries, je me mets en vent arrière. La puissance n'est coupée complètement qu'à l'arrondi, qui intervient vers 60 km/h. Ensuite, je remets les gaz, pardon, la puissance, pour rentrer au parking. Cet essai s'est parfaitement déroulé. Vérification du temps de vol : 48 minutes ! L'équipe exulte, une bouteille de champagne sort d'un panier, et c'est la fête ! »

Premières conclusions.

D'un point de vue aérodynamique et contrôle puissance, la machine se comporte comme un avion classique faiblement motorisé. Le pilotage du moteur est même plus facile que celui d'un moteur thermique. Le pilote doit simplement s'habituer au contrôle de nouveaux paramètres et à une gestion rigoureuse de l'autonomie. Il n'est pas possible de se prononcer à ce stade des essais sur l'endurance du moteur et des batteries, mais les faibles élévations de température en fonctionnement laissent imaginer des durées de vie importantes. La campagne de tests va à présent se poursuivre à travers une procédure CNRA traditionnelle. Un protocole d'essais est établi afin de valider toutes les caractéristiques de cette nouvelle motorisation.

Ce premier vol montre que la motorisation électrique peut être utilisée par un avion léger, et pas seulement comme moteur d'appoint pour planeurs à dispositif d'envol incorporé. Une expérience très encourageante qui augure bien du futur des développements de ces nouveaux groupes motopropulseurs.

L'électrique : quels avantages ?

Plus fiables, plus propres, plus silencieux, très faciles à mettre en œuvre : les moteurs électriques présentent beaucoup d'avantages, à l'exception pour le moment de l'autonomie. Mais l'arrivée récente des batteries lithium-polymère, présentant des performances encore bien meilleures, permet l'émergence de nouveaux projets. D'autant qu'en raison de leurs faibles masses et encombrement, et de l'absence de vibration, les moteurs électriques présentent moins de contraintes d'installation et pourront favoriser le développement de configurations inhabituelles, plus efficaces sur le plan aérodynamique mais jusqu'alors difficiles à mettre en œuvre avec un moteur thermique.

Le pilotage du moteur est même plus facile que celui d'un moteur thermique : le pilote doit simplement s'habituer au contrôle de nouveaux paramètres et à une gestion rigoureuse de l'autonomie.

Le lendemain, compte tenu des bons résultats de la veille, il est décidé de faire un vol dans la configuration "autonomie maximale", c'est-à-dire avec quatre packs de batteries. La masse au décollage et à l'atterrissage est alors de 264 kg, pour une masse max autorisée de 265 kg.

A 11h45, la machine est poussée par l'équipe jusqu'à l'alignement en piste 18 afin d'économiser l'énergie. Actions vitales, mise en fonctionnement du moteur et... décollage immédiat ! Ensuite, je maintiens une trajectoire préétablie garantissant une solution d'atterrissage d'urgence sous un plan de finesse de 7 (on n'est jamais trop prudent). Je me mets en palier à 500 ft et je règle la puissance pour maintenir une vitesse de finesse max, entre 70 et 75 km/h. Après vérification de tous les paramètres et échanges avec l'équipe au sol, le vol est poursuivi en orbitant au-dessus de l'aérodrome. Les minutes passent, la confiance s'établit entre nous trois : la machine, sa motorisation et moi. Le bruit est très faible dans l'habitacle.

Volez !

L'électrique, c'est extra !

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sujet... **Volez !** vous donne des informations détaillées et pratiques.

La construction amateur continue à innover !

Une équipe d'ingénieurs français, très motivée par ce projet, vient de démontrer que le vol électrique d'un avion était possible. Il est encore trop tôt pour se prononcer sur la viabilité technique et économique d'un tel concept, mais on peut être optimiste, tant les progrès annoncés sur la réduction de la masse spécifique des batteries avancent à grand pas. Le coût de ces éléments et leur durée de vie seront alors déterminants pour que ce type de propulsion devienne une réalité.

Cette première mondiale, qui annonce peut-être une révolution, est intéressante à plusieurs titres :

- On constate – et l'histoire se répète à l'image des avions Jodel, Piel, Fournier et de bien d'autres – que les concepteurs de la motorisation sont aussi des constructeurs amateurs. Ils ont fait appel à la procédure de classification CNRA en s'appuyant, très

raisonnablement, sur un aéronef éprouvé, avec le soutien actif de son concepteur.

- La procédure CNRA, engagée en octobre 2000, certes un peu plus lourde que la réglementation ULM, laisse la même liberté au constructeur avec une surveillance technique extérieure souvent bénéfique.

- Elle impose *de facto* aux concepteurs l'application de règlements techniques considérés comme « règles de l'art » et aux constructeurs des principes de fabrication éprouvés.

- Elle permet de ne pas limiter les caractéristiques techniques et opérationnelles de l'aéronef à celles de la réglementation française relative aux ULM.

- Cette révolution intervient opportunément alors que pointe à l'horizon, de manière récurrente, une nouvelle crise énergétique et une prise de conscience écologique. Le rattachement de la

DGAC au ministère de l'Ecologie, du développement et de l'aménagement durables (MEDAD) est, sur ce point, significatif.

- Ce concept novateur présente une signature acoustique singulière. Néanmoins, le bénéfice en matière de nuisances sonores devrait être confirmé par des mesures adaptées.

L'utilisation de cette technologie sur des avions certifiés n'est sans doute pas envisageable à court terme. Mais sa mise en application, sous réserve des remarques en préambule, dans le cadre d'une aviation purement de loisir, mérite d'être soutenue. Le cadre réglementaire du CNRA et, sous réserve du respect des limitations de masse réglementaire, celui de l'ULM, paraissent parfaitement adaptés à une application dans un avenir proche sans les contraintes techniques et économiques liées à la certification.

JEAN-MARIE KLINKA

Expert technique DGAC

...Et à quel prix ?

Les systèmes de motorisation électrique sont-ils plus économiques ? Deux éléments sont à distinguer de ce point de vue : le moteur, et le système de génération d'énergie (essence ou batteries).

Pour un ensemble comprenant un moteur électrique de 25 ch, son électronique de puissance et son instrumentation spécifique, le coût ne devrait pas être beaucoup plus élevé que pour un moteur thermique de puissance équivalente, soit environ 2 500 euros. Comme les moteurs électriques sont dimensionnés dans l'industrie pour fonctionner des milliers d'heures sans intervention, l'entretien ne coûtera presque rien et il devrait être possible de conserver très longtemps le même moteur.

Les batteries, elles, sont à considérer comme du « carburant ». La seule différence, c'est qu'il faut l'acheter à l'avance ! Ensuite, le montant de la recharge sera négligeable (à peine un euro par recharge). Le propriétaire de l'aéronef électrique va donc acheter son carburant par anticipation : qu'il vole ou qu'il ne vole pas, il l'aura déjà payé. Il aura donc tout intérêt à voler beaucoup... ce qui est tout de même le but !

A titre indicatif, les cinquante kilos de batteries lithium-polymère haut de gamme permettant une autonomie de 45 mn coûtent aujourd'hui 7 000 euros (coût pour un ensemble prototype). Des systèmes moins chers arrivent aujourd'hui sur le marché, en provenance de Chine

notamment. De plus, leurs prix diminuent et leurs capacités augmentent chaque année. Calculer un coût horaire comparé électrique / thermique est complexe. Il ne suffit pas de mettre en balance le prix des batteries et le coût du carburant, mais il convient d'intégrer plusieurs éléments sur une période donnée : coûts d'achat des groupes motopropulseurs et de leurs « carburants » respectifs, entretien, remplacement des composants...

Ce qu'il convient de noter, c'est que les budgets des solutions thermiques et électriques sont désormais comparables. Equiper son appareil d'une motorisation électrique est tout à fait abordable – ce qui n'était pas le cas il y a seulement trois ans.

En prenant en compte des hypothèses raisonnables, un système électrique devient rentable au bout de quelques centaines d'heures. Et ce seuil de rentabilité baisse régulièrement...

Et le bruit de l'hélice ?

Qui dit moteur électrique, dit moteur silencieux. Reste le bruit de l'hélice, qui n'est pas négligeable si l'on vise une aviation légère d'une discrétion totale. Il est donc à souhaiter qu'une nouvelle gamme d'hélices, innovantes sur deux points, voie bientôt le jour : non seulement elles seront conçues pour faire moins de bruit, mais elles seront également dimensionnées pour la motorisation électrique qui ne génère pas de

Dossier

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sujet... **Volez !** vous donne des informations détaillées et pratiques.

vibrations, ni d'à-coups comme un moteur à pistons. En effet, ce sont principalement le bruit d'épaisseur (dû à l'épaisseur de la pale) et le bruit de charge (dû à la portance de l'hélice) qui engendrent la gêne sonore. De plus, lorsque les pales sont longues, l'extrémité va plus vite et s'approche de la vitesse du son.

Il faut donc à la fois réduire l'épaisseur et le diamètre des pales, sans diminuer pour autant les performances de l'hélice.

Depuis plus de quinze ans, l'Onera réalise des recherches sur cette problématique.

Le programme Anibal (atténuation du niveau de bruit des avions légers) travaille à réduire les nuisances induites par les hélices.

Les modélisations de l'Onera montrent une réduction envisageable d'au moins huit décibels, pour une perte de performance négligeable.

Deux hélices prototypes ont été réalisées et vont être testées en 2008.

Les fabricants d'hélices, eux aussi, planchent

tous depuis des années sur des solutions pour limiter le bruit. Le fait de pouvoir tester le résultat de leurs recherches sur des motorisations électriques et donc totalement silencieuses va leur permettre de mieux comparer les différentes sources de nuisances, et peut-être d'identifier de nouveaux axes de recherche.

Une révolution silencieuse... est en marche !

Le mouvement de l'aviation électrique est bien en marche. Même si la mise au point des moteurs et surtout d'une électronique de puissance fiable n'est pas évidente, l'évolution de cette nouvelle forme de propulsion dépendra essentiellement des capacités des batteries.

Le milieu aéronautique va bénéficier des technologies développées pour les véhicules terrestres, qui aujourd'hui ne sont plus considérés comme d'aimables expériences sans avenir.

De la même façon, il est fort à parier que les

Pour info

Activité scientifique

de l'Onera : site

www.onera.fr/dprs/anibal/

Un peu d'histoire... et de prospective

L'Electra n'est pas le premier aéronef à être équipé d'un moteur électrique.

- La motorisation électrique a commencé à être utilisée sur des machines volantes au début des années 1970, avec l'apparition des cellules solaires. A l'époque, les batteries étaient trop lourdes pour permettre des vols d'une durée supérieure à 5 minutes, ce qui ne présentait que fort peu d'intérêt.

Avec la technologie de panneaux solaires photovoltaïques, une soixantaine de projets ont vu le jour (voir **Volez ! n°117 d'août 2007**). Mais le rendement de ces panneaux, et surtout leur prix, ne permettaient en aucune façon une démocratisation de ce type de propulsion. C'étaient de magnifiques expérimentations, qui faisaient rêver, au même titre que le Solar Impulse aujourd'hui.

- Au milieu des années 1990, une nouvelle technologie de batteries est apparue (voir **Volez ! n°118 de septembre 2007**) : les batteries lithium-ion, beaucoup plus performantes et légères.

Certains ont alors imaginé de faire voler des aéronefs grâce à ces systèmes de génération d'énergie.

- En 1998, la société Lange Flugzeugbau GmbH a mis au point, certifié et proposé sur le marché l'**ANTARES**, superbe planeur à dispositif d'envol incorporé équipé d'un moteur électrique de 57 ch développé spécifiquement. Son autonomie de 12 minutes permet au pilote de décoller et d'atteindre une altitude suffisante pour passer en mode planeur. L'appareil n'est hélas pas à la portée de tous : son prix se situe aux environs de 250 000 euros.

- Au même moment, une autre société allemande, Air

Energy, s'intéressait à la motorisation électrique du motoplaneur **SILENT 2** avec un moteur de 13 kW. Son autonomie est également d'environ 10 minutes, et pour l'heure il n'existe qu'un démonstrateur.

- Depuis deux ans, un prototype de planeur **APIS** de chez AMS-Flight est en cours d'essais chez Enstroj, en Slovaquie. La durée du vol en



mode électrique est de l'ordre de 15 minutes.

- Et très récemment, le 21 décembre 2007, le motoplaneur **TAURUS** de Pipistrel (ci-contre) a réalisé son premier vol d'essai - d'une autonomie de 12 minutes également - en décollant à l'aide d'un

moteur électrique dans le cadre d'un programme de recherche d'un million d'euros, en partie financé par la Commission européenne.

Les planeurs motorisés sont les appareils les plus aptes à recevoir une motorisation électrique et des batteries, car l'autonomie est directement liée à la finesse de la machine. Par exemple,

pour maintenir en vol à plat un motoplaneur Silent 2 ayant une finesse de 35 et une masse de 280 kg, volant à sa vitesse de finesse max (90 km/h), seulement 2 kW suffisent. En revanche, pour faire voler en croisière un avion ayant une finesse de 10, il sera nécessaire d'avoir

plus de puissance, et donc d'embarquer plus de batteries si on souhaite une autonomie raisonnable. Un compromis s'impose alors. L'arrivée récente des batteries lithium-polymère, présentant des performances encore bien meilleures, permettent l'émergence de nouveaux projets.

- Le plus sérieux est celui de Sonex, présenté en 2007 à Oshkosh. Il est mené par l'Américain John Monnett dans le cadre d'une démarche appelée « E-Flight Initiative ». L'objectif est de mettre au point un avion biplace, le **WAIX**, en l'équipant d'un moteur de 50 kW pour voler pendant environ 45 mn. Un peu partout dans le monde, des prototypes de motoplaneurs, d'ULM pendulaires et de paramoteurs commencent à voler. La NASA et la CAFE Foundation (Comparative

Aircraft Flight Efficiency) lancent en 2008 le plus grand concours technologique jamais organisé pour l'aviation générale, le General Aviation Technology Challenge. Doté d'un montant total de 300 000 \$, ce concours a pour objectif de dynamiser l'aviation légère et de l'inscrire dans une démarche de développement durable et de maîtrise des coûts énergétiques.

CONTACTS :

- Antares 20 E : www.lange-flugzeugbau.com
- Silent 2 électrique AE-1 : www.alisport.com
- www.airenergy.de
- Apis-E : www.ams-flight.si
- www.glider-one.si
- Taurus : www.pipistrel.si/news/725
- Waix électrique : www.sonexaircraft.com
- www.AeroConversions.com/E-Flight
- CAFE Foundation : <http://cafefoundation.org>

L'électricité, c'est extra !

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sujet... **Volez !** vous donne des informations détaillées et pratiques.

mentalités vont évoluer dans l'aviation légère : qui aurait considéré, avant ce vol du 23 décembre, la solution électrique comme alternative possible aux moteurs thermiques pour nos petits avions ? Pourtant, réfléchissons un peu :

- la moyenne des vols particuliers ou en club ne dépasse pas les 40 minutes, et se limite souvent au local ;
- le prix des carburants classiques

atteint des valeurs inégalées ;

- le bruit est la source de nuisance que l'on reproche le plus à nos aéronefs.

Aujourd'hui, l'expérience prouve que l'on peut se construire, pour un prix abordable, un monoplace électrique permettant, par exemple, le petit vol du soir au sortir du bureau. Imaginez un peu : arrivé au hangar, vous débranchez l'alimentation de la charge des batteries et sortez la machine; après

Les « électrisables » selon Dalby, en l'état actuel de la technique



Daniel Dalby, concepteur des Pouchel (voir Volez ! n°94) et co-fondateur de l'Apame, nous dresse ici un panorama des appareils volants « électrisables » :

Aujourd'hui, aucun ULM n'a été conçu pour être équipé directement d'un moteur électrique. Toutefois, quelques machines industrielles ou de construction amateur pourraient être « électrisées ». En règle générale, ce sont des machines légères et volant déjà avec une faible puissance que l'on trouve dans quatre catégories, comme en témoignent les exemples suivants :

• MOTOPLANEURS ULM

- Exel Carbone de Claude Noin, www.alpaero.com



- Swift Light-Pas d'Aériane, www.aeriane.com



• EN CONSTRUCTION AMATEUR :
- l'aile volante Monarch de Marske Aircraft qui vole depuis 1976
www.continuo.com/marske/



• PENDULAIRES PULMA :
- Ellipse le chariot conçu par Michel Gaigant, www.ellipse-delta.com

• EN CONSTRUCTION AMATEUR :
- PULMA 2000 de l'APPULMA, www.appulma.asso.fr

• CHARIOTS PARAMOTEURS :

- Funflyer d'Adventure, www.adventure.fr
- Trike one d'Air Fer, www.airfer.com



• EN CONSTRUCTION AMATEUR :
- APPULMA, www.appulma.asso.fr

• MONOPLACES LEGERS :

La puissance nécessaire serait de 15 kw, ce qui limite l'autonomie.
- Dream Classic d' Airdrome Aeroplanes, www.airdromeaeroplanes.com

- Aerolite 103 d'Aero-Works, www.aerolite103.com



• EN CONSTRUCTION AMATEUR :
- Biplum de Maurice Guerpont, <http://fr.groups.yahoo.com/group/biplum>



- Luciole de Michel Colombar, <http://luciolemc30.blogspot.com>



- Souris-bulle de Michel Barry, <http://air.souris.set.free.fr>



- Pouchel Léger de Daniel Dalby, www.pouduciel.com



Pour que les ULM électriques deviennent une réalité, c'est-à-dire qu'ils aient une autonomie d'une heure, il faut concevoir des machines fines et légères nécessitant au maximum 10 kW (14 ch) au décollage et 5 kWh de batteries ; on peut espérer à court terme un prix de motorisation électrique avec batteries d'environ 5 000 euros, pour un coût de l'heure de vol de moins d'un euro. Ainsi, il serait pertinent de s'inspirer des « ancêtres » :

- en 1961, Emilien Croses fait voler son Poulplume avec 8 ch ;



- en 1976, Ron Wheeler en Australie fait voler son Scout (qui a un petit air de ressemblance avec la Demoiselle d'Alberto Santos Dumont) de 55 kg à vide avec un moteur de 14 ch (10 kW) ;
- la même année, Larry Haig fait voler son American Eaglet, un motoplaneur de 77 kg avec le MC101 (Mac Culloch) de 12 ch ;
- au début des années 80, apparaît le Skybaby de 70 kg motorisé par le même MC101, digne descendant du Wing Ding II, biplan de 55 kg, également équipé du MC101.

Dossier

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sujet... **Volez !** vous donne des informations détaillées et pratiques.

Aujourd'hui,
l'expérience
prouve que
l'on peut se
construire,
pour un prix
abordable,
un monoplace
électrique
permettant,
par exemple,
le petit vol
du soir au sortir
du bureau.

la prévol et les actions vitales d'usage vous appuyez sur le bouton « on » : quelques secondes après, vous êtes en l'air, quasiment sans bruit, en épargnant les nerfs des riverains. Après une bonne demi-heure de vol serein et discret, vous revenez au terrain, rangez votre aéronef à sa place et, sans passer par la case « pompe à essence » – ou celle, plus pénible encore, du « jerrican trop lourd qui casse les reins » –, toujours douloureuse pour le porte-monnaie, fastidieuse et nauséabonde, vous remettez en charge les batteries pour le vol suivant...

Vous l'avez sans doute remarqué : à la rédaction de **Volez !** nous sommes plus qu'enthousiastes : c'est que le récent vol de l'Electra préfigure une remarquable avancée technologique dans le milieu de l'aviation légère, et il en va peut-être de sa survie.

Il reste néanmoins beaucoup de travail à accomplir avant de pouvoir utiliser quotidiennement ce type de motorisation sur nos avions légers.

Ainsi, pour une utilisation pratique conforme à la réglementation en vol local, il faudra que l'autonomie des batteries permette d'atterrir avec 15 minutes de réserve (ce qui diminue d'autant la durée utile du vol), tout en sachant que ces exigences réglementaires – et de bon sens ! – sont évidemment encore accrues en cas de navigation VFR (ça viendra...) : autonomie pour le trajet prévu + 10 % et 20 minutes de réserve. Il va être nécessaire également de bénéficier de moyens fiables pour mesurer la capacité restante de la batterie, avant et pendant le vol, en tenant compte du vieillissement de celle-ci. Mais au rythme actuel, de telles évolutions techniques sont affaire de quelques années, voire de quelques mois...

Le salon « Green Paris Air Show » organisé par

Les projets d'Electravia



Des professionnels commencent à envisager sérieusement les solutions électriques dans leurs conceptions.

Ainsi, le projet ALSE « Aéronefs Légers Silencieux et Ecologiques » a pour objectif le développement de deux appareils : un monoplace (vue d'artiste ci-

dessus) et un biplace, construits avec des matériaux naturels selon une démarche d'éco-conception, tous deux équipés de moteurs électriques et d'hélices silencieuses. Ce projet est labellisé par les pôles de compétitivité Pegase et Capenergies, soutenu par l'Onera, ainsi

que par OSEO-Anvar et l'« incubateur d'entreprises » Impulse PACA. Il a été lauréat du Concours National 2007 d'aide à la création d'entreprises innovantes. Ces travaux sont à l'origine de la création de la société Electravia, dédiée aux avions électriques.
Courriel : infos@electravia.fr

le Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget les 19, 20 et 21 juin prochain (voir en page 4) permettra de mesurer les progrès accomplis en la matière.

En 1912, Roland Garros déclarait : « L'aviation est ce que les moteurs lui permettent d'être ». Avec des moteurs électriques, notre aviation, n'en doutons plus, pourra être propre, fiable, économique, silencieuse, en un mot : écologique ! 

Le rêve de l'aviateur écologiquement correct...

Projetons-nous dans quelques années sur une plate-forme estampillée « Aviation Verte » : Les avions d'entraînement qui effectuent surtout des tours de piste sont équipés de moteurs électriques alimentés par des batteries ainsi que d'hélices silencieuses. Certes leur autonomie ne dépasse guère une heure, mais comme la moyenne des vols en école en France est de 42

mn, ils ont une autonomie suffisante pour ce type de vol. Un pack de batteries est rechargé pendant que l'autre est embarqué : en mode rapide, ces batteries se rechargent en 45 mn. Les hangars de stockage des avions, bien sûr, sont équipés de panneaux solaires photovoltaïques et de petites éoliennes pour générer l'électricité nécessaire à la

recharge des batteries et à l'activité du club (bureaux, club-house, atelier). Les planeurs sont mis en vol grâce à un système de treuil électrique très silencieux. Le club exploite aussi des planeurs à dispositif d'envol incorporé, électriques eux aussi. Un troupeau de moutons est chargé d'entretenir la plate-forme, et les véhicules de

piste sont électriques. La motorisation des avions de voyage est également électrique, avec un système de génération d'énergie propre et performant utilisant une pile à combustible. Pas de perte de puissance du GMP avec l'altitude, finis les abaques complexes ! Quant à la pratique de la voltige, qui ne nécessite pas une grande autonomie, elle

est profondément modifiée par l'utilisation de moteurs électriques, qui présentent un couple bien supérieur aux moteurs thermiques, qui ne génèrent aucune vibration et pas de variation de masse ni de centre de gravité durant le vol. Elle peut s'effectuer à la verticale de l'aérodrome, car les nuisances sonores sont très réduites. Le « pilote-citoyen » peut

ainsi pratiquer ses loisirs et vivre sa passion dans une démarche globale de développement durable et de préservation de la nature. Celui qui aime à découvrir la Terre vue d'en haut ne peut que s'en réjouir. Reste une pollution impossible à supprimer : la fumée du barbecue du samedi soir au club-house...

A.L.