Les avions électriques, un songe qui se concrétise

Longtemps négligée et dénigrée, la motorisation électrique est malgré tout porteuse de sens. Certes, il y a quelques années, les caractéristiques des batteries en termes d'autonomie ainsi que leur poids étaient dissuasifs pour une utilisation sur un véhicule, loin d'une prise du secteur. Grâce à la recherche et aux progrès technologiques, la donne commence à changer. Expérimenté actuellement sur des avions léger, prototypes cobayes permettant à l'avenir le développement d'équipements adaptés aux gros porteurs, la propulsion électrique offre en effet de réels avantages par rapport à l'énergie fossile : moteurs silencieux, sans émission, énergie moins coûteuse…

Un peu de physique

La première problématique des véhicules électriques porte principalement sur le stockage de l'énergie. Stockée sous forme chimique (kérosène), l'énergie massique des avions traditionnels est de l'ordre de 16 MJ/kg. Actuellement, les ingénieurs sont capables de stocker l'énergie sous forme électrique (batteries) avec une énergie massique de l'ordre de 0.4 MJ/kg. Il existe donc un rapport voisin de 40 entre le mode de stockage chimique (kérosène) et électrique (batterie). En d'autres mots, il faudrait multiplier la masse de carburant par 40 afin de garder une autonomie similaire avec de l'énergie électrique.
Se pose aussi la question de la sécurité. On se souvient notamment que trois incidents de batterie du début 2013 après la mise en service du Boeing 787-700 ont eu pour conséquence l'immobilisation de la flotte pendant 4 mois. Trois départs de feu ont été enregistrés au sol et les rapports établis n'ont pu expliquer la cause exacte des incidents. Des mesures ont néanmoins été prises pour permettre la remise en vol du 787-800. Elles ont conduit à un assemblage plus rigoureux des cellules, à un espacement accru entre batteries, à des protections thermiques renforcées et à des enveloppes en acier inoxydable. Ces mesures ont significativement alourdi les batteries par un facteur proche de 2,5.
On doit également prendre en considération la large plage de températures et de pressions auxquelles sont soumis les avions. Il faut ainsi ajouter à la masse de la batterie, la masse des systèmes de refroidissement ou de réchauffage en fonction de l'environnement et du type de batterie utilisé. De même, le conditionnement de la batterie a une importance capitale pour déterminer l'énergie massique d'une batterie. La question est désormais de savoir si les progrès technologiques permettront un jour d'augmenter cette énergie significativement afin de rendre possible l'élaboration d'un avion de ligne tout électrique. Soyons clairs, il faudra du temps pour y parvenir mais cela n'empêche pas la mise au point de prototypes (Electra, Cricri, E-fan, Solar Impulse, Eraole, Solar stratos, Sun flyer.
À noter qu'il existe des subterfuges afin d'augmenter l'autonomie des batteries. Les plus utilisés sont les cellules photovoltaïques (panneaux solaires) qui ont généralement un rendement de l'ordre de 25%.

Les premiers prototypes à propulsion exclusivement électrique

Le motoplaneur Sunseeker

Le motoplaneur électrique Sunseeker, c'est l'histoire d'un pionnier, Éric Raymond, qui dès les années 90, parcourt les Etats-Unis à bord d'un « planeur solaire », le Sunseeker I. En 2009, il franchit les Alpes avec Sunseeker II. Il s'agit d'un planeur basé sur le modèle Stemme S-10, produit dans les années 80 et qui pesait 675 kg. Il a été nécessaire de réduire sa masse de manière à ce que l'appareil puisse être tracté par un moteur et des batteries de dimensions et de poids raisonnables. L'ambition d'Eric Raymond n'est pas des moindres : rendre la propulsion électrique accessible au plus grand nombre.

Caractéristiques techniques
Structure

appareil biplace
270 kg à vide

train tricycle rétractable
23 mètres d'envergure, ailes repliables
hélice à pales repliables, dans le cône

Energie

1 500 cellules solaires
moteur électrique de 20 kW
72 batteries lithium-polymère
20 min d'autonomie moteur
12 heures en croisière par temps ensoleillé

Le BL1E Electra

Le 23 décembre 2007, l'Electra premier avion à moteur électrique succédant aux exploits sur motoplaneur prend son envol. Son autonomie était la plus importante jamais atteinte sur batteries jusque là : 48 minutes d'utilisation. Cet appareil innovant a permis de mettre au point le premier groupe motopropulseur électrique de 26 CH GMPE 102. L'avantage de l'électrique par rapport au thermique est la conservation de la puissance du moteur quels que soient les paramètres extérieurs (température, pression). Fin octobre 2008, l'Electra totalisait 17h01 de vol et plus de 50 atterrissages. La DGAC et le GSAC ont délivré son CNRA au premier avion à moteur électrique le 2 décembre 2008. Il ambitionne désormais un vol de 1000 km.

Caractéristiques techniques
Structure

appareil monoplace
115 kg à vide
9 m d'envergure
hélice E-PROPS
33 kg de voilure

Energie

moteur électrique GMPE 102, 26CH
batteries KOKAM lithium-polymère 47kg
50 min d'autonomie

Performances

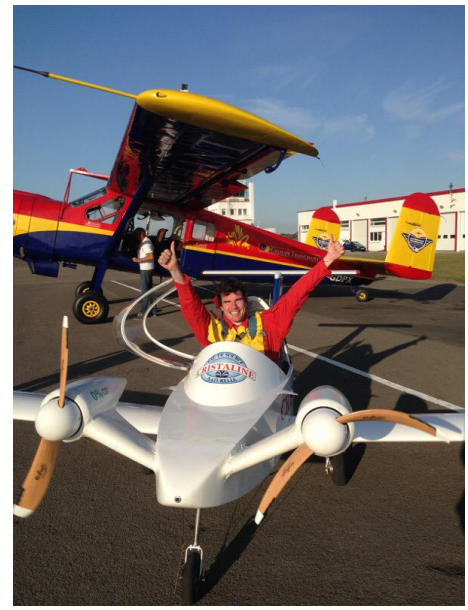
vitesse de croisière : 90 km/h
finesse : 13

Le Cricri

Le MC15-E, communément appelé Cricri, est un appareil révolutionnaire. Il affichait des ambitions démesurées par rapport à sa motorisation lors de sa conception. Avec seulement 70 CH, il envisageait de dépasser les 200 km/h. Cela a été rendu possible par une incroyable légèreté, grâce à une association de métal et de matériaux composites. Le pilote est plus lourd que l'appareil !
Il compose la fameuse « Navette bretonne » avec un Broussard. Ce dernier porte le Cricri électrique E-Cristaline sur son cockpit pour le décollage, puis le Cricri se sépare du Broussard en vol et évolue à ses côtés. Le 9 juillet 2015, le

pilote Hugues Duval aux commandes de son avion MC15-E a effectué la première traversée de la Manche avec un avion électrique en 17 minutes. Il précéda de peu la traversée médiatisée de l'E-fan. Le Cricri a établi le record du monde de vitesse pour avion électrique avec 283 km/h lors du Salon du Bourget en 2011. Le même avion équipé de moteurs thermiques développant exactement la même puissance n'atteignait en pointe que 220 km/h. Le Cri-cri électrique vole donc 63 km/h plus vite, soit 30% de plus !

Caractéristiques techniques
Structure



appareil monoplace
78 kg à vide
4,90 m d'envergure
hélices E-prop
masse maximale 185 kg

Energie

moteurs électriques GMPE 104, 2 X 35CH
batteries lithium-polymère
25 min d'autonomie

Performances

vitesse de croisière : 190 km/h
décollage en 120m

Les prototypes de l'ère industrielle

L'E-fan

Fleuron industriel hautement médiatisé, l'E-fan est un appareil issu de la coopération de la recherche, de PME et de grands groupes industriels, de grandes écoles d'ingénieur ont participé au projet, en se joignant au tissu de PME, sous la tutelle d'Airbus Group. Cet avion faisant intervenir nombre d'experts avec pour dessein notamment, en accord avec les aspirations du ministère de l'écologie, de remplacer la flotte vieillissante de TB20 de l'ENAC. Didier Esteyne d'Aéro Composites Saintonge (ACS) en possède la paternité, sa conception ayant débuté fin 2011.
Les performances de l'E-fan sont similaires à celles d'un avion école classique. Cette obligation fixée par la DGAC a été imposée pour éviter d'avoir à redéfinir l'ensemble des programmes de formation initiale et bouleverser un système établi fonctionnel. Le positionnement des moteurs et le carénage des fans sont pensés pour répondre aux contraintes de la motorisation électrique. Ce dernier accroît la sécurité au sol et réduit sensiblement les nuisances. Il comporte un parachute à déploiement pyrotechnique et un E-fadec pour assurer le suivi de la consommation et des réserves énergétiques. Les batteries installées sur l'appareil de série auront une autonomie d'1h et 15 min. Rechargées en une heure, elles sont remplaçables. Les deux roues du train d'atterrissage (principale et roulette de nez), ainsi que les roulettes sous les ailes sont rétractables.
Un moteur électrique de 6 kW entraîne la roue arrière pendant la phase de décollage jusqu'à ce que l'avion atteigne 60km/h. Cela permet une course au décollage silencieuse, puisque exempte de l'utilisation des moteurs, et évite de puiser dans les réserves énergétiques. C'est donc une technologie très intéressante, surtout sur un avion aux cycles courts et aux nombreux mouvements. Un système de télémesure permettra d'enregistrer les paramètres de vol et constituera un support pédagogique intéressant dans le cadre de la formation initiale. Deux versions sont en développement : l'une biplace pour l'aviation école, l'autre quadriplace à propulsion hybride électrique et thermique pour des vols de navigation.

Caractéristiques techniques
Structure

appareil biplace
masse maximale : 550 kg
9,5 m d'envergure

Energie

moteurs électriques 2 X 40 CH
batteries lithium-polymère
autonomie : 1h
120 cellules

Performances

vitesse de croisière : 160 km/h
finesse : 16

Le Solar Impulse : L'écriture d'un roman à l'encre solaire

Ce prototype non destiné à une production industrielle trouve son écho médiatique dans l'exploit qu'il aspire à réaliser : un tour du monde sans consommer une goutte de kérosène. Le solar Impulse possède théoriquement une autonomie infinie, le maillon faible de la chaîne énergétique étant naturellement l'être humain. Pour l'instant, 8 records du monde ont été enregistrés : premier vol de nuit en avion solaire, traversée des Etats-Unis et de l'Atlantique entre autre. Un vol de nuit de 26 heures a en outre été réalisé. 80 ingénieurs ont participé à son élaboration avec André Borschberg et Bertrand Piccard à la tête de projet.

Contraintes et solutions :

Vols de 5 jours et 5 nuits consécutifs pour traverser les océans, un voyage dans des conditions de température extrèmes : de -40°C à +40°C.
Inclinaison maximum tolérée de 5°.
Siège polyvalent servant à la fois de couchette et de toilette. En position allongée, il permet la réalisation d'exercice physique !

Stratégie :

Départ tôt dans la saison pour éviter la mousson.
Décollages et atterrissages de nuit pour éviter turbulences et rafales.
Montée à 9000 m en journée pour glaner le maximum du rayonnement solaire.

Eraole

L'Eraole est un avion biplan décalé, pour accroître la surface alaire et pouvoir augmenter le nombre de cellules photovoltaïques, à propulsion hybride solaire/bioalgale. Créé par Raphaël Dinelli, fondateur et directeur de la fondation Océan Vital, il ambitionne une traversée transatlantique sans émission carbone entre New York et Paris. Il intégre des cellules à la structure via un procédé d'encapsulation dans des matériaux composites, augmentant la résistance de l'aile en conservant flexibilité et légèreté.

Caractéristiques techniques
Structure

appareil biplace
masse maximale : 750 kg

14 m d’envergure

Energie

moteur électrique EMRAX, 190CH
batteries lithium-ion TYVA et algocarburant
autonomie visée : 50h

Performances

vitesse de croisière : 100 km/h
finesse : 24

Le Mission SolarStratos

Managée par Raphaël Dinelli, une équipe internationale est réunie pour vivre une aventure ambitieuse : se rapprocher des astres et de l’espace à l’aide de la seule énergie solaire. A terme, le projet serait de développer une aviation électrique et solaire, commerciale et spatiale, dans le but de réaliser des voyages uniques avec des passagers privés ou des scientifiques.
« Imaginez-vous à bord d’un avion solaire volant dans un silence absolu, à plus de 75’000 pieds. A cette altitude, vous pouvez contempler la courbure de la Terre et observer les étoiles en plein jour. »
Pour des raisons de poids, l’appareil ne sera pas pressurisé, obligeant le pilote à porter une combinaison pressurisée d’astronaute, fonctionnant uniquement à l’énergie solaire, ce qui constitue une première mondiale également.
La mission durera environ cinq heures : 2 heures de montée pour s’approcher de l’espace, 15 minutes immergé dans les étoiles, 3 heures pour redescendre sur terre. L’avion et le pilote seront soumis à des températures extrêmes, de l’ordre de -70 degrés.
Solar Stratos sera le premier avion solaire avec pilote à pénétrer la stratosphère. Calin Gologan de PC-Aero GmbH en est le designer. Ce modèle d’avion commercial sera amélioré et l’aéronef sera poussé à la limite de ses possibilités pour réussir le pari. SolarStratos ne pourra pas voler perpétuellement, la Mission SolarStratos sera donc un vol d’altitude.

Caractéristiques techniques
Structure

appareil biplace en tandem
masse maximale : 400 kg
24.4 m d’envergure
hélice 3 pâles

Energie

moteur électrique 40 CH
batteries lithium-ion 120 kg
autonomie visée : >24h

Le Sun Flyer

Établie en 2014, Aero Electric Aircraft Corporation (AEAC) a pour mission de produire le biplace Sun Flyer, le premier avion biplace école électrique. En concurrence directe avec l’E-fan, il promet 3h d’autonomie dans une journée ensoleillée. Pourtant seul un prototype monoplace a volé pour le moment, le biplace reste à construire et est prévu pour voler une première fois l’année prochaine.

L'électrique dans l'aviation commerciale

Au niveau des liners, l'heure n’est pas encore à imaginer un avion autosuffisant dans sa production énergétique électrique pour assurer sa propulsion. Cependant, de nombreux équipementiers œuvrent pour trouver des solutions électriques en substitution à d’autres énergies pour alimenter certains systèmes.
Citons par exemple le cas des freins électriques pour remplacer l’hydraulique, impliquant certaines complications dans l’exécution des travaux de maintenance. Ils permettent un assemblage facilité, une diminution du nombre de composants et écartent les risques de fuite et de feu. La panne d’un actionneur ne rend pas le système de freinage dysfonctionnel, contrairement à une fuite localisée. Le remplacement d’un disque durerait 1 à 2h contre 6 à 7h pour un frein hydraulique.
Le green taxi est également une belle démonstration des efforts déployés dans ce sens, réduisant simultanément la dépendance des avions de ligne au kérosène et l’empreinte carbone du transport aérien. Un train électrique permet d’économiser en moyenne 4% de la consommation totale en kérosène d’un vol commercial, pourcentage dépendant du roulage et de la durée du vol, en réduisant de 75% les émissions de CO et CO et de 50% celles de NO. Le pushback est également autonome, ce qui permettra de décharger l’aire de trafic.

Ces innovations prometteuses résultent d’une émulation stimulante, accompagnées et subventionnées par l’industrie aéronautique et approuvées par les leaders politiques, qui semblent présager un bouleversement énergétique faisant écho et découlant du dérèglement climatique et de la prévision d’une pénurie d’énergie fossile…

Aurélien Bidot, pilote professionnel d'avion

Source
Paul Kuentzmann et Gérard Théron : "Quelques remarques relatives à l’utilisation de batteries pour la propulsion des avions" - article publié par 3AF - avril 2015
IFP Energies Nouvelles - http://www.ifpenergiesnouvelles.fr

Merci à **Georges Descombes**, professeur des universités au Conservatoire national des arts et métiers, membre du Laboratoire de Chimie Moléculaire, Génie des Procédés Chimiques et Energétiques, et animateur du mooc Défis énergétiques et risques sanitaires dans les transports.