

Eraole

LA solution multihybride ?

Toujours dans la prospective de nouvelles technologies et à la recherche des potentiels futurs de l'aviation légère, *Info-Pilote* continue ses rencontres et recherches. La solution multihybride du projet Eraole a particulièrement retenu notre attention. Immersion !



Raphaël Dinelli au retour d'un vol d'essais de 5 h.

Eraole, le mariage de Ra, le dieu du soleil, avec Eole, celui du vent. Un nom hybride, comme son concept. L'avion aurait eu sa place dans une illustration de *Vingtème siècle* sous le crayon d'Albert Robida. Si l'origine du projet porté par le navigateur et ingénieur Raphaël Dinelli date de 2009, il a véritablement pris son envol au cours de cette année. Et si l'objectif premier de l'aventurier est de voler dans le sillage de

mois. Biplan à ailes décalées, train classique à balancines, ailes recouvertes de panneaux solaires, l'engin est tout aussi curieux vu de l'extérieur que depuis le cockpit. «*Tout grand progrès scientifique est né d'une nouvelle audace de l'imagination*», écrivait John Dewey. Et de l'audace, il y en a sous le capot d'Eraole. Alors que la solution de l'électrique pure se heurte au mur de l'autonomie et de la longévité des batteries, Eraole a fait le choix d'une technologie plus

dermes (Nissan, Audi...). 140 km/h en croisière, 70 km/h en éco : «*Chi va piano va sano e va lontano...*», c'est bien l'objectif d'Eraole.

ARCHITECTURE

Bien qu'il n'ait qu'une hélice, Eraole n'a rien à envier au Jucker-52, car lui aussi est un trimoteur. Explications ! Le premier moteur, situé derrière le pilote, est thermique. C'est un moteur de Smart tricylindre, développant 40 kW, soit 54 hp. Ce moteur entraîne une génératrice électrique Emrax couplée en sortie. Le moteur fonctionne à régime constant autour de 3 000 rpm (comme une voiture sur l'autoroute) et une carte électronique d'injection optimise sa consommation. C'est donc de l'électricité qui sort de cette génératrice et fournit un courant alternatif 400 volts. «*Tous les motoristes qui ont essayé d'adapter le diesel à l'aéronautique, en mettant le moteur en prise directe via un réducteur, se sont cassé les dents car, au bout d'un certain nombre d'heures de fonctionnement, le coupleur et le réducteur causent des problèmes*», observe notre collaborateur d'Info-Pilote Michel Barry (rubrique sécurité), qui a beaucoup travaillé sur le projet Eraole. «*Sur une voiture, ça tient, mais c'est plus compliqué sur un avion. La raison ? Sur une voiture, le châssis est rigide et, en termes de masse, l'embrayage fait 35 kg, la boîte de vitesse, elle, entre 50 et 80 kg. On ne peut pas mettre de telles masses dans le nez d'un appareil. L'obligation d'aller vers une certaine légèreté engendre donc ces problèmes. Il faut de plus ajouter une hélice à pas variable sur une transmission mécanique pour asservir le régime, ce qui ajoute à la masse globale du dispositif, alors qu'avec l'électrique le moteur génère un couple constant qui, lui, permet de faire fonctionner l'hélice à son meilleur rendement. Grâce à la flexibi-*

Eraole est en fait un trimoteur. Avec cette solution multihybride, il a près de soixante-dix heures d'autonomie, c'est le pilote qui devient la limite.

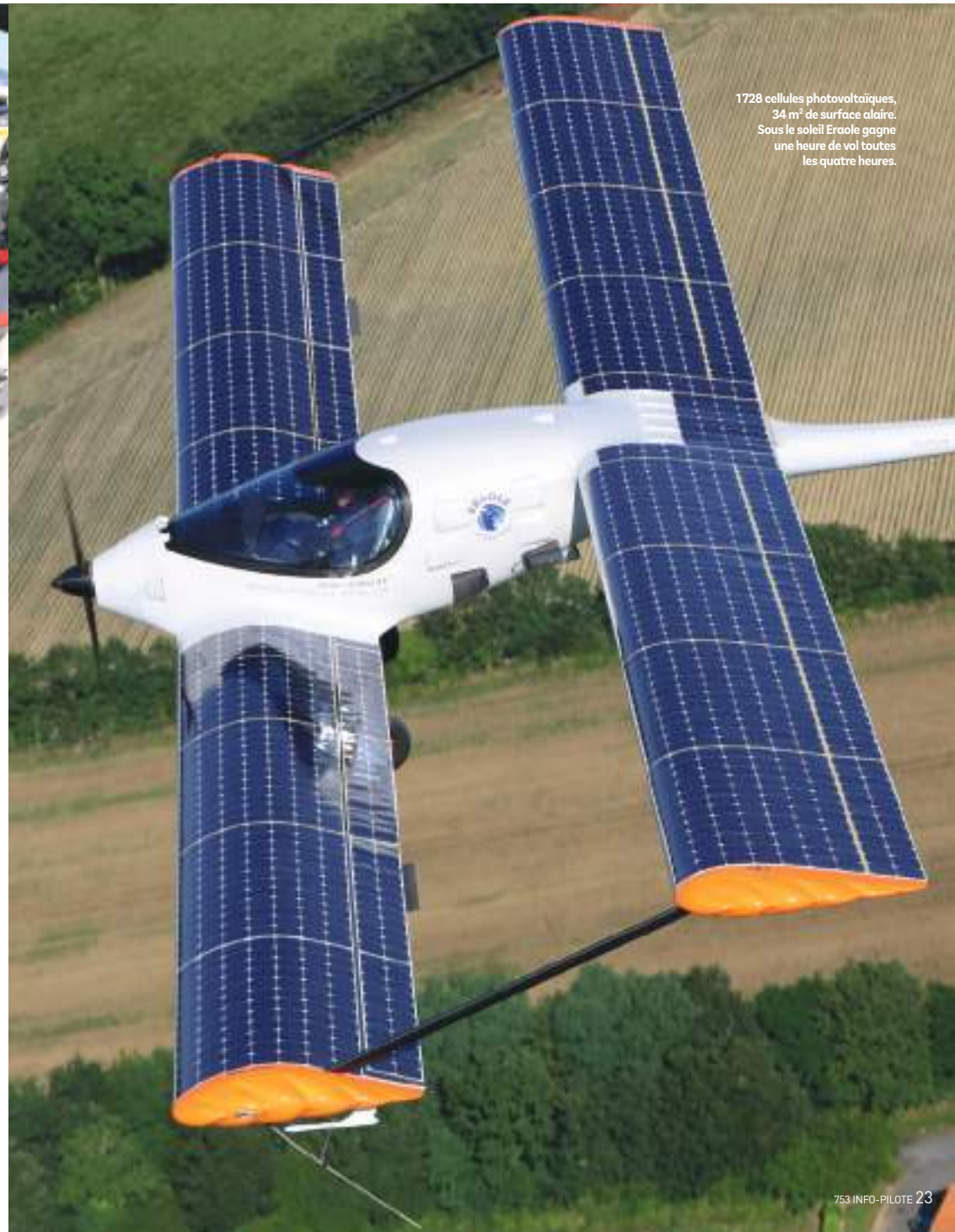
Charles Lindbergh entre New York et Paris, avec des sources d'énergie 100 % propres, l'architecture de sa solution hybride pourrait néanmoins s'appliquer à l'aviation légère.

CHI VA PIANO...

La Roche-sur-Yon (LFRJ). Une étrange machine glisse dans l'air vendéen depuis plusieurs

mois, mais plus durable, à la fois au sens «*écologique*» et «*d'autonomie*». Deux réservoirs d'une capacité totale de 390 litres de biocarburant, lui donnent près de 70 h de temps de vol potentiels. Sa consommation frugale de 5 l/h à 90 km/h pourrait encore baisser si l'on installait en lieu et place du petit moteur de Smart un des moteurs automobiles plus mo-

Le cockpit d'Eraole est complexe. La redondance des systèmes garantit la sécurité.



1728 cellules photovoltaïques, 34 m² de surface alaire. Sous le soleil Eraole gagne une heure de vol toutes les quatre heures.

Objectif New York-Paris
100 % propre.

lité du moteur électrique, on adapte le régime, ce qui permet de faire travailler la pale à incidence constante sans devoir changer le calage de l'hélice», complète Michel. Eraole s'affranchit donc de ce premier talon d'Achille du diesel tout en conservant les avantages : une consommation faible et l'utilisation de biocarburants. Des essais avec une solution d'huile issue de la distillation de micro-algues (bioalgal) est à l'essai. Mais on pourrait aussi imaginer du Jet A1, gasoil, méthanol, alcool de betterave, huile de friture... en cas de besoin.

En sortie de génératrice, l'électricité part vers deux packs de batteries indépendants fer/phosphate qui apportent davantage de sécurité que lithium-ion. Ceci s'explique par le fait que leur chimie est plus stable et elles n'ont pas de

offret 10 minutes de vol plein pot, de quoi négocier un retour terrain ou un déroutement.

En sortie des packs batterie : deux contrôleurs-redresseurs. Les moteurs électriques ont besoin de courant alternatif, or les batteries produisent du courant continu. Ces contrôleurs-redresseurs conditionnent donc le courant alternatif en courant continu. Ils alimentent ensuite deux moteurs électriques installés dans le nez de l'avion en tandem. Chaque moteur électrique peut fonctionner indépendamment en cas de panne car ils ont chacun leur contrôleur. Eraole est donc un véritable bimoteur. Chaque moteur Emrax peut offrir 25/30 kW, ce qui permet à minima de maintenir l'avion en palier. Les deux moteurs électriques sont accouplés mécaniquement,

veté à été vendu au groupe Total pour l'industrialisation sur le marché du bâtiment. Raphaël garde la licence pour l'aéronautique. Ces panneaux fournissent au soleil 5 kW/h, soit une heure de vol gagnée toutes les 4 h puisque pour voler l'avion a besoin de 20 kW/h. Ils alimentent directement les packs batterie.

REDONDANCE

Le fonctionnement général du GMP d'Eraole n'est pas entièrement nouveau, la SNCF avait motorisé ses locomotives selon un principe similaire diesel-électrique dès 1952. Le turbotrain expérimental TGS utilisant une turbine à gaz issue de l'hélicoptère Super Frelon en 1967 a donné ensuite naissance aux différentes générations de turbotrains à partir de 1971. Cependant, en aviation, l'architecture d'Eraole est innovante et apporte plusieurs avantages : l'utilisation d'un moteur d'origine automobile propre (biocarburant) éprouvé, sans modification de son architecture (contrairement à Thielert par exemple). Une transmission électrique qui ne fatigue pas la structure de l'appareil car le moteur thermique fonctionne sur ses silentblocs, accouplé à sa génératrice, et la puissance est transmise au(x) moteur(s) de l'hélice par des fils électriques. Les moteurs électriques tournent sans vibrer. Sur un GMP thermique associé à un réducteur puis à une hélice, le moteur doit être fixé sur

En aéronautique, le diesel bute fatalement sur des problèmes de transmission mécanique. Le génie de la solution d'Eraole est de proposer une transmission électrique.

risque d'emballer ni de feu. Dès qu'elles sont chargées, ces batteries tampons servent à démarrer le moteur thermique et servent aussi à l'alimentation des instruments de bord, comme une batterie auto. L'énergie qui passe dans les batteries est utilisée pour la propulsion. En cas de panne moteur, ces batteries

mais en cas de non-fonctionnement de l'un des deux il n'y a pas de frottement. Une hélice Duc à pas réglable au sol termine le GMP.

Dernier élément : les panneaux solaires. 34 m² de surface alaire sont couverts par 1728 cellules photovoltaïques développées et fabriquées par Raphaël Dinelli. Ce process bre-



On remarque les éscopes latérales pour le refroidissement du moteur thermique.



L'architecture du multihybride est adaptable et pourrait équiper à l'avenir des avions légers.



Un mat carbone relie les deux ailes. Les saumons ont été spécialement étudiés pour réduire le tourbillon marginal.





Eraole

Monoplace expérimental multi-hybride

Premier vol :	20 octobre 2016
Construction :	Laboratoire Océan Vital
Train :	classique
Moteurs :	2 moteurs EMRAX puissance totale continue 50 kW
Hélice :	Bipale DUC

Dimensions

Envergure :	14 m
Longueur :	7,50 m
Hauteur :	1,95 m
Masses et capacités	
Masse à vide :	612 kg
Masse max :	820 kg – 1 000 kg version record
Réservoirs :	322 l

Charge offerte :

Consommation :	5 l/h
Carburant :	huile végétale
Autonomie :	65 h

Vitesses :

Vitesse de décollage :	65 km/h
Montée :	80 km/h
Croisière :	90 – 100 km/h
Finale :	80 km/h
Distances	
Distance de décollage :	317 m
Distance d'atterrissage :	360 m
Distance franchissable :	5 850 km

Contact utile : Raphaël Dinelli
 raphael@laboratoire-ocean-vital.com

son bâti avec rigidité car c'est lui qui supporte finalement l'hélice. Rigidité, souplesse : un compromis qui est le talon d'Achille des GMP diesel. La campagne d'essais phase III a montré d'emblée la fiabilité de la propulsion (nombreux vols sur la campagne de plus 5 heures, dont un vol de 8 heures à 7 000 ft, intégration sans difficulté dans les TMA, voyages en atmosphère agitée avec facteur de charge restant compris entre 0,5 et 1,6. Contrairement aux avions tout électriques, le GMP utilise des batteries fer/phosphate infiniment moins vulnérables face au risque d'incendie que les batteries lithium/polymère, indispensables quand elles sont la seule source d'énergie propulsive. La redondance est assurée à plusieurs niveaux : doubles packs batterie indépendants associés à deux contrôleurs, eux aussi indépendants, mais qui peuvent prendre le relais l'un de l'autre en cas de panne d'un des contrôleurs, deux moteurs électriques en série, mais indépendants en cas de perte d'un des deux moteurs, une alimentation d'appoint offerte par les panneaux solaires. Pas de variation de pas nécessaire sur l'hélice d'un moteur électrique bien adapté au domaine de vol, d'où une simplification mécanique et la certitude d'un rendement de propulsion maximum à tous les régimes de vol : décollage, montée, croisière. Et en cas de panne carburant, les batteries fer/phosphate permettent une alimentation des moteurs électriques pendant 10 minutes, avantage en cas de panne d'arrêt du moteur thermique qui a été démontré au cours de la phase III des essais en vol d'Eraole. Raphaël Dinelli a développé un dispositif de gestion et de distribution de l'énergie qui fonctionne simplement. Le pilote reste maître de ses ressources dont le niveau lui est indiqué en continu.

DÉVELOPPEMENTS

Tout l'été, Eraole a multiplié de longs voyages démontrant les aptitudes de son GMP à fonctionner longtemps, sans surchauffe et sans escale. Les 5 800 km de la traversée de l'Atlantique sont en ligne de mire. Avec 70 h d'autonomie, la limite n'est plus la machine, mais le pilote. Eraole vole avec rien : avec presque 1 000 kg de MTOW (masse à vide de 680 kg), son rapport poids/puissance

est de 0,034 hp par kilo (à titre de comparaison un DR-400 160 hp a un rapport de 0,145 hp/kg).

Les développements sont transposables à l'aviation légère analyse Michel Barry : « Avec 14 m² (contre 30 m² pour Eraole) pour capter 2 à 3 kW d'énergie photovoltaïque, un avion-école biplace utiliserait la surface de son aile grâce à des capteurs souples, longuement testés lors de courses à la voile au large. L'économie en biocarburant serait de l'ordre de 1 à 1,5 l/h. L'installation du GMP actuel peut se faire sur un appareil biplace côte à côte dessiné autour de l'ensemble moteur thermique/générateur/moteur électrique. Aucun composant coûteux ne serait à développer car ils sont disponibles industriellement. Pour un développement en CDN (CS-VLA), l'obtention d'une certification CS-E du GMP serait globale, tous les composants atterrés et connectés (moteur thermique, génératrice, moteur(s) électrique(s), accumulateurs, contrôleurs, monitoring). La possibilité d'une certification globale CS-E (et non par éléments) représente un gain de temps et de budget au niveau des tests de certification au banc constructeur, puis au banc officiel du CEPr. On pourrait ainsi imaginer un appareil biplace CS-VLA, avec une finesse de 15, sans volets, d'une très grande simplicité qui pourrait voler sans empreinte carbone et avec une consommation inférieure à 10 litres de biocarburant à l'heure. Son pilotage de base, ultra-classique, permettrait une formation en club jusqu'au lâcher et au brevet de base y compris la voltige élémentaire. Noter que les appareils-école au pilotage dit "classique" permettent ensuite de migrer plus facilement vers des appareils plus évolués. Un Stampe SV4, contrairement au MS 880, permettait à l'époque de s'adapter plus rapidement au pilotage de Caravelle et pourtant il n'avait ni volets, ni train tricycle », analyse Michel. « On pourrait transposer notre système sur un avion civil équipé d'un moteur de 250 kW (340 hp) », esquisse Raphaël Dinelli. Cette chaîne de traction est une innovation mondiale et permet de voler avec une énergie totalement propre, contrairement à des batteries dont l'électricité a pu être fournie par une centrale à charbon ou nucléaire. Une innovation *made in France* qu'il ne faudrait pas laisser s'envoler... ou plutôt si ! ●

Texte et photos : Jean-Marie Urlacher et Michel Barry
 Remerciements : Maxime Pagnoux

