

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/307863565>

Icare se met au vélo

Conference Paper · June 2016

CITATIONS
0

READS
3,889

1 author:



David Reungoat
University of Bordeaux

33 PUBLICATIONS 344 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



bypas butterfly [View project](#)



Mascaret - Tidal Bore [View project](#)



ICARE SE MET AU VELO.

S'ÉLEVER DANS LES AIRS PAR LA FORCE MUSCULAIRE

David REUNGOAT

Université de Bordeaux

FHPA

david.reungoat@u-bordeaux.fr ou hpa4sky@gmail.com

Equipe FHPA :

Benoit DELTHEIL, Loïc LAVIGNE, Denis MICHAUD, Gilles CAZAURANG

Université de Bordeaux¹

¹ A l'Institut de Maintenance Aéronautique de l'Université de Bordeaux, on réalise la construction du premier avion universitaire français qui volera à la seule force musculaire du pilote : le FHPA (French Human Powered Aircraft). Premier HPA universitaire de France cet avion ouvre la voie pour concourir à plusieurs compétitions et prix internationaux (Icarus Cup, Kremer Prize). Aventure pédagogique, scientifique et technique, le projet FHPA est une aventure humaine où l'on s'affronte aux défis : conception d'un aéronef hyper léger, utilisation de matériaux complexes, bio-ingénierie et ergonomie...

To those magnificent men ...

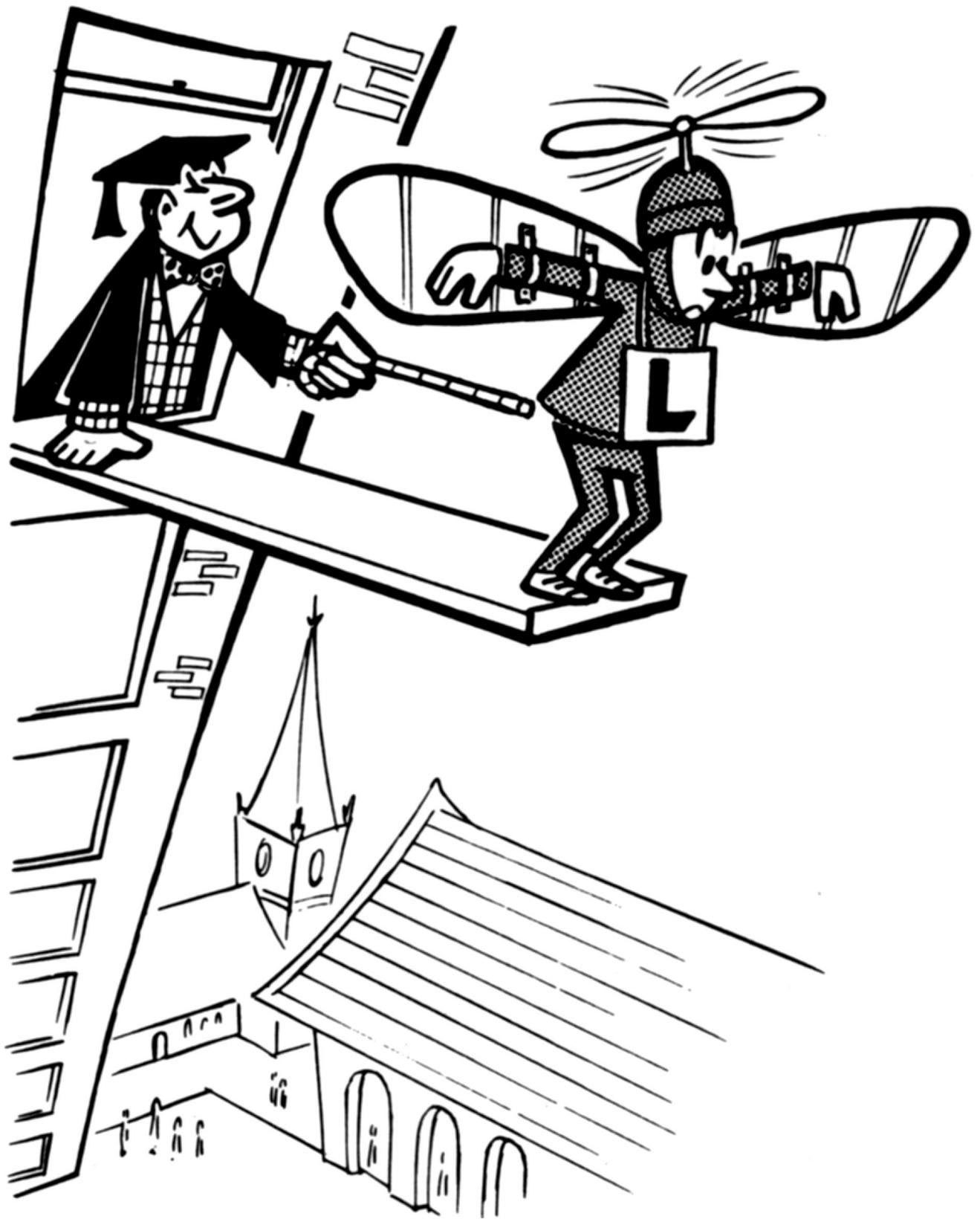


Figure 1 : Icare se met au velo !

ICARE SE MET AU VELO.

S'ÉLEVER DANS LES AIRS PAR LA FORCE MUSCULAIRE

1. Introduction

A l'époque où voyager dans les airs est courant, s'élever et se maintenir dans les airs par sa propre force musculaire reste du domaine de l'exploit. Pourtant dès le début de l'aéronautique les aéronefs ont été propulsés par l'homme avant d'être motorisés. Et tandis que les avions portaient les hommes dans le ciel et les étoiles quelques passionnés se sont accrochés au rêve du vol autonome. Petits groupes de passionnés ils conservent l'esprit pionnier de l'aéronautique et partagent de par le monde leurs expériences dans l'espoir qu'un jour ce rêve puisse être vécu par tous. C'est dans cet esprit que le projet universitaire FHPA (French Human Powered Aircraft) est né. Projet collaboratif son objectif est la création d'un avion qui vole à la seule force musculaire (26m d'envergure pour 50kg) avec une puissance équivalente à 300 W (beaucoup moins que la puissance d'une cafetière). N'ayant aucune expérience de ce type d'avion les équipes ont dû apprendre à concevoir et fabriquer un tel appareil. La première étape fût donc d'apprendre des expériences passées afin de ne pas commettre les erreurs rencontrées au cours de l'histoire des HPA.

2. Petit historique des avions à propulsion humaine ou musculaire (Human Powered Aircraft)

Les Aéronefs à propulsion musculaire

L'histoire des aéronefs à propulsion musculaire débute avec celle de l'aviation. Les premiers avions à propulsion musculaire furent par la force des choses ceux des pionniers de l'aviation comme les frères WRIGHT qui, avec leur planeur, effectuaient des vols planés de 150 à 200 mètres en s'élançant d'une colline...qu'ils étaient obligés de remonter ensuite à pieds ! C'était un moyen simple pour tester leurs idées et ressentir les actions aérodynamiques, une sorte de soufflerie grandeur nature.

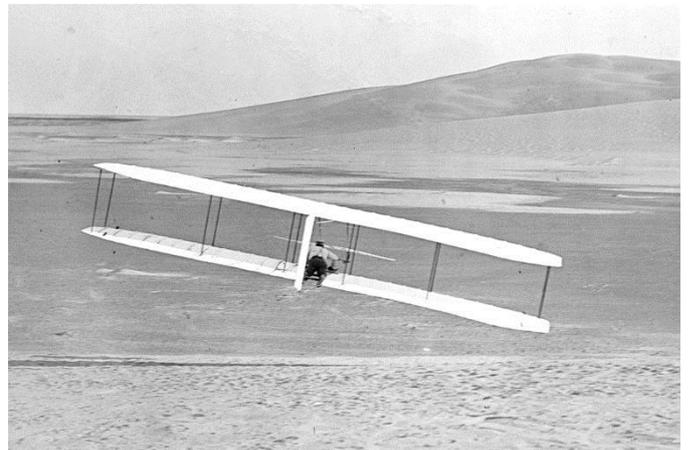


Figure 2 : Planeur des frères WRIGHT 1902

Puis ces pionniers de l'aéronautique cherchèrent à voler plus loin et motorisèrent leurs planeurs créant ainsi les aéronefs à moteurs. Les aéronefs à propulsion musculaire furent alors laissés à quelques passionnés qui poursuivaient l'idée d'un vol sans assistance. Ils se retrouvaient lors de rares compétitions, comme en France pendant les « semaines d'Aviette » de 1912 à 1922 pour faire voler ces machines qualifiées de « cocasses ». On y attribuait déjà un prix : le prix Peugeot de 10 000 francs puis 20 000 francs (environ 60 000€) pour récompenser le pilote qui volerait plus de 10m. Même si l'activité des avions à propulsion humaine (HPA) a connu parfois des ralentissements (de 1935 à 1960 aucun HPA

n'a volé), on compte environ 120 HPA dans le monde de 1902 à 2012 avec seulement un HPA français et plusieurs Aviettes. La liste de ces avions ne peut être énumérée ici², seuls quelques exemples marquants seront présentés pour illustrer leur évolution.

Après les débuts foisonnants des premiers avions de type Aviette, où l'impulsion (ou élan) initiale permettait de planer quelques mètres, le système de génération de propulsion a été introduit dans l'appareil afin qu'il devienne réellement à propulsion musculaire en vol autonome. C'est ainsi que le MUFLI de Helmut HÄSSLER et Franz VILLINGER, vit le jour en 1935, lancé par un câble de largage il poursuivit l'un de ses 120 vols assistés par une hélice pendant 712 m. Puis la guerre stoppa l'activité jusqu'à l'arrivée du SUMPAC.

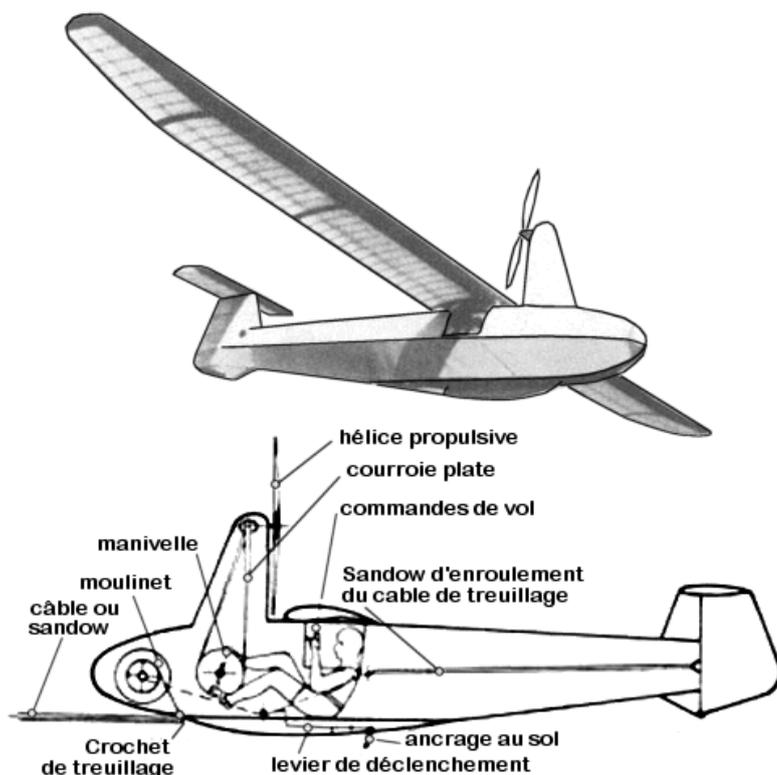


Figure 3 : Le MUFLI de Helmut HÄSSLER et Frantz VILLINGER (@Luft Archiv)

SUMPAC

On ne peut évoquer les HPA sans rendre hommage à Alan LASSIERE, Anne MARSDEN et David WILLIAMS. Ces concepteurs, qui étaient étudiants en 1960, fabriquèrent le SUMPAC (Southampton University Man Powered Aircraft). Ce fut le premier HPA qui décollait, volait et atterrissait de façon autonome. Ce HPA franchit la barre des 500 m (594 m). Cette étape fut marquante pour les HPA puisqu'elle constituait la démonstration d'une possibilité de vol plus long encore.

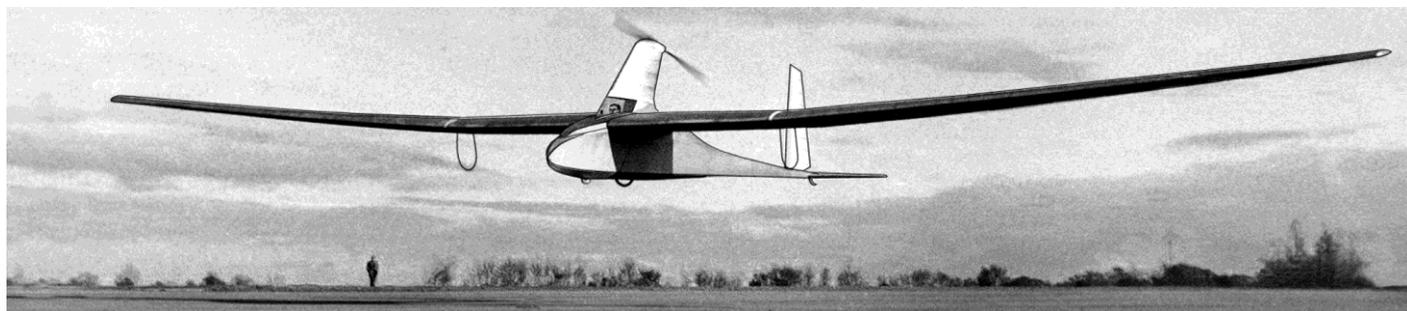


Figure 4 : SUMPAC en vol à Lasham 1961 (RAeS collection)

C'est ce qu'a dû entrevoir Paul Mc CREADY qui se lança dans l'aventure des vols humains pour gagner le prix KRAMER avec les "Gossamer".

² https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_human-powered_aircraft

Paul Mc Cready et ses grands oiseaux légers à grandes plumes.

Gossamer Condor

Le Gossamer Condor («Gossamer» pour légèreté) fut l'un des premiers avions à propulsion humaine à tenir un vol en palier et à remporter l'un des prix KREMER, le 23 août 1977. Le vol s'effectua à 3 m du sol sur 2.5 km à la vitesse de 17km/h pour 250W développés par le pilote.

D'une envergure de 29,25 m l'avion pesait à vide 31,75 kg pour une masse maximale au décollage de 94 kg. Comme on



Figure 5 : Gossamer Condor en plein vol © Don Monroe.

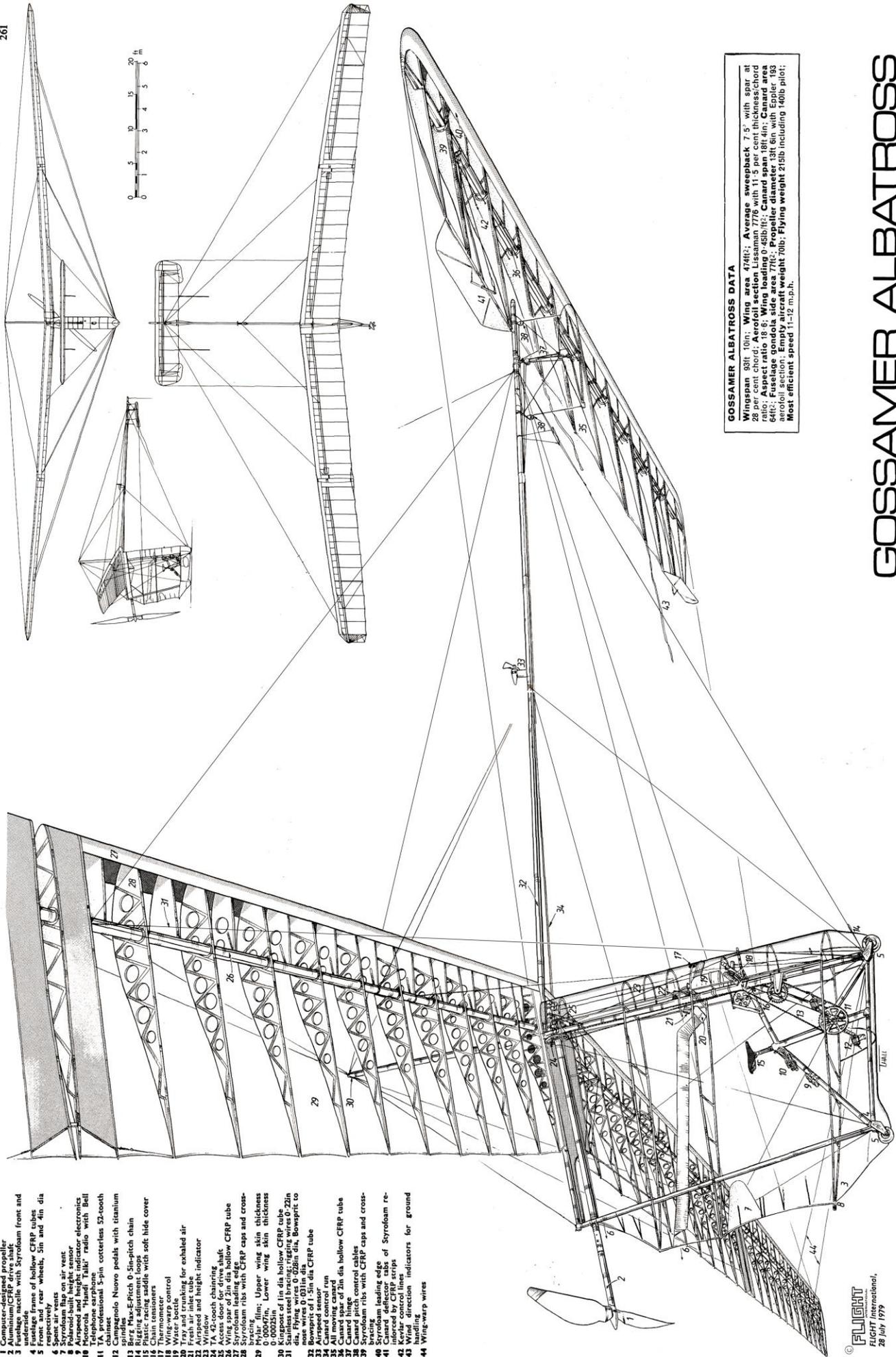
peut le constater l'avion possède un plan canard muni de deux ailerons. Ce choix, basé sur une meilleure portance, permet grâce au changement de profil de manœuvrer l'avion en montée/descente ainsi que de compenser le roulis.

Gossamer Albatross

Après ce succès Paul Mc CREADY, aidé de Peter LISSAMAN, a imaginé un avion pour battre le prix KREMER de la plus grande distance. Avec leur équipe ils ont conçu le Gossamer Albatross dont l'évolution majeure fut le choix des matériaux. En effet, pour les structures rigides, l'aluminium et l'acier ont été remplacés par du carbone, tandis que pour les nervures le polystyrène a remplacé le balsa (Figure 6 ; Figure 7 ; Figure 8). L'avion pèse alors entre 25 et 31 kg pour une envergure de 29,3 m. Sa longueur est de 10 m, sa hauteur de 5 m.



Figure 6 : Gossamer Albatross II pendant un vol test au Centre de recherche en vol NASA's Dryden, Edwards, California (@ NASA domaine public).



GOSSAMER ALBATROSS DATA
 Wingspan 38ft 10in; Wing area 474ft²; Average sweepback 7.5° with spar at 28 per cent chord; Aerofoil section Lissaman 7776 with 11.5 per cent thickness/chord ratio; Aspect ratio 18.6; Wing loading 6.45lb/ft²; Canard span 18ft 4in; Canard area 64ft²; Fuselage gondola side area 77ft²; Propeller diameter 13ft 6in with Eppler 193 blades; Empty weight 70lb; Flying weight 215lb including 140lb pilot; Most efficient speed 11-12 m.p.h.

- 1 Computer-designed propeller
- 2 Aluminium/CFRP drive shaft
- 3 Propeller nacelle with Styrofoam front and undercarriage
- 4 Fuselage frame of hollow CFRP tubes
- 5 Front and rear wheels, 5in and 4in dia
- 6 Spant air vents
- 7 Styrofoam flap on air vent
- 8 Nylon tie-down
- 9 Airspeed and height indicator-electronics
- 10 Microcassette 'Handi Talk' radio with Bell microphone
- 11 TA professional 5-pin cotterless 52-tooth chainset
- 12 Spindles
- 13 Nuovo pedals with titanium spindles
- 14 Berg Max-E-Pitch 0-5in-pitch chain
- 15 Plastic racing saddle with soft hide cover
- 16 Chain tensioners
- 17 Verniermaster
- 18 Water bottle
- 19 Tray and trunking for exhaled air
- 20 Airspeed and height indicator
- 21 Window
- 22 Access door for drive shaft
- 23 Access door for drive shaft
- 24 Wing spar of 2in dia hollow CFRP tube
- 25 Styrofoam ribs with CFRP caps and cross-bracing
- 26 Upper wing skin thickness 0.00047in; Lower wing skin thickness 0.00025in
- 27 Support of 1/2in dia hollow CFRP tube
- 28 Flying wires 0.028in dia, Bowspirit to nose wires 0.031in dia
- 29 Support of 1/2in dia CFRP tube
- 30 Canard sensor
- 31 Canard control run
- 32 Canard spar of 2in dia hollow CFRP tube
- 33 Canard hinge
- 34 Styrofoam ribs with CFRP caps and cross-bracing
- 35 Upper leading edges of Styrofoam reinforced by CFRP strips
- 36 Lower control lines
- 37 Wing-warp wires
- 38 Wing-warp wires
- 39 Wing-warp wires
- 40 Wing-warp wires
- 41 Wing-warp wires
- 42 Wing-warp wires
- 43 Wing-warp wires
- 44 Wing-warp wires

GOSSAMER ALBATROSS

Figure 7 : Le GOSSAMER ALBATROSS (@ FLIGHT)

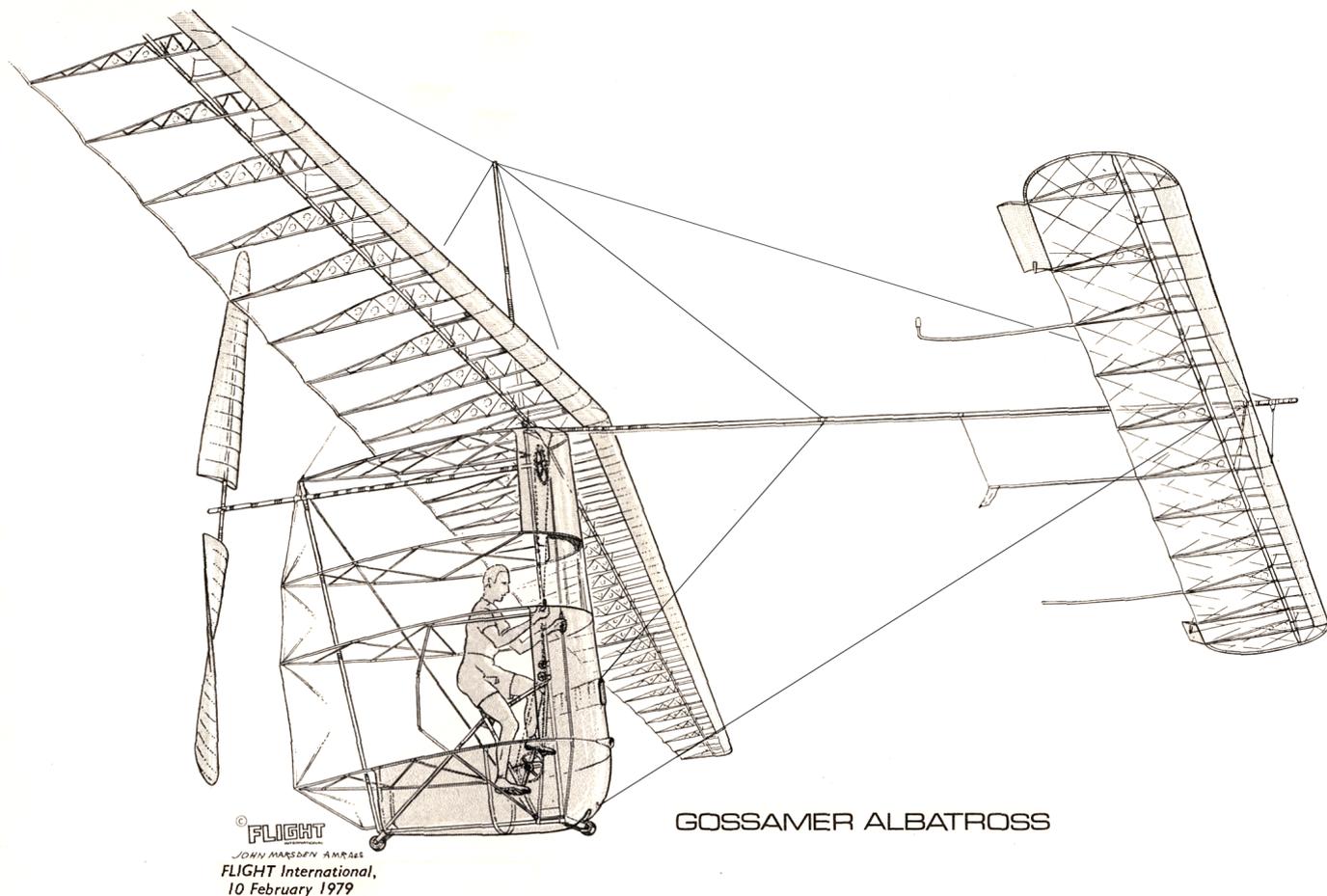


Figure 8 : Le GOSSAMER CONDOR de la traversée de la manche (@ FLIGHT)

Avec un HPA ainsi allégé Bryan ALLEN réalisa l'exploit le 12 juin 1979 de franchir les 36 km de la Manche en 2 h et 49 min à une vitesse de 13,7 km/h.

Phoenix

Pour alléger l'avion en 1982 Fed Too créait le Phoenix. Avion à structure gonflable formant une voilure d'aile et gouvernes comme l'illustre la photo (Figure 9).

Cet avion, a volé quelques bonds de plusieurs mètres à la vitesse de 8 km/h.



Figure 9 : Phoenix @Fred TOO @LDCC

Musculaire

Les Musculaire 1 et 2 conçus en 1985 et 1988 sont d'origine allemande (Holger ROCHELT, Gunter ROCHELT, Ernst SCHOBEL, Heinz Eder) d'une envergure de 22 m d'une masse de 28kg le Musculaire 1 pouvait transporter en plus du pilote une autre personne avec seulement 290 W à une vitesse de 39,5 km/h.



Figure 10 : Musculaire 1, Holger ROCHELT avec un passager (@RAeS)

Le Musculaire 2 devient plus aérodynamique avec le cockpit en « D », le pilote étant en position allongé. D'une envergure de 19,5 m d'une masse de 25 kg, le musculaire 2 établit le record de vitesse à 44,3 km/h et gagna 3 prix KREMER



Figure 11 : Musculaire 2 en vol (@Gregor Ruf)

A la fin des années 1980 Peer Franck imaginera et fabriquera les Vélairs qui voleront sur plus de 3,1 km.

Pendant que ces précédents HPA se construisaient, un projet prenait forme qui allait générer un record mondial retentissant et faire naître de nombreuses passions encore vivantes aujourd'hui : le projet Daedalus.

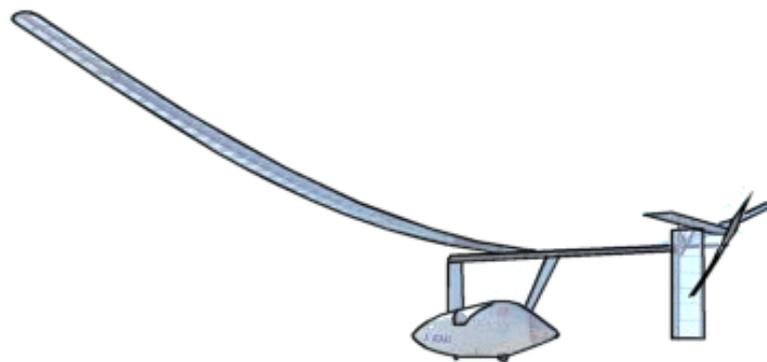


Figure 12 : Peer Franck VELAIR (@ Matthieu BARREAU d'après photo)

Daedalus

À la suite des travaux sur le HPA Monach en 1986, une équipe se constitua (Juan Cruz, Mark Drela, Steve Finberg, John Langford, Barbara Langford du MIT) pour développer le projet Daedalus. Soutenu par la NASA, cette équipe du MIT (Massachusetts Institute of Technology - USA) passa l'année 1985 à calculer la possibilité de créer un avion qui volerait plusieurs dizaines de kilomètre. En 1986 un programme de calcul aérodynamique adapté aux vols lents fut conçu par Mark DRELA HAD. Ce programme XFOIL est toujours utilisé par les concepteurs de modèles réduits. En 1987 quatre pilotes sur 120 furent sélectionnés et entraînés pendant

un an tandis que le biologiste Ethan NADEL mit au point une boisson énergisante. Finalement deux appareils furent fabriqués dont le Daedalus d'une envergure de 34 m et d'une masse de 32kg. Cet avion deviendra mythique le 23 avril 1988, lorsqu'il vola **3h55 min sur une distance de 119 kilomètres**, entre la base aérienne d'Héraklion dans l'île de Crète jusqu'à l'île de Santorin. C'est à ce jour le record inégalé de distance.

Le Daedalus évoluait à 25km/h avec une puissance de 600 W au décollage et de 200-250 W en croisière. Les nouveautés résidaient dans le profil d'aile, la forme trapézoïdale de l'aile et la conception de l'hélice.

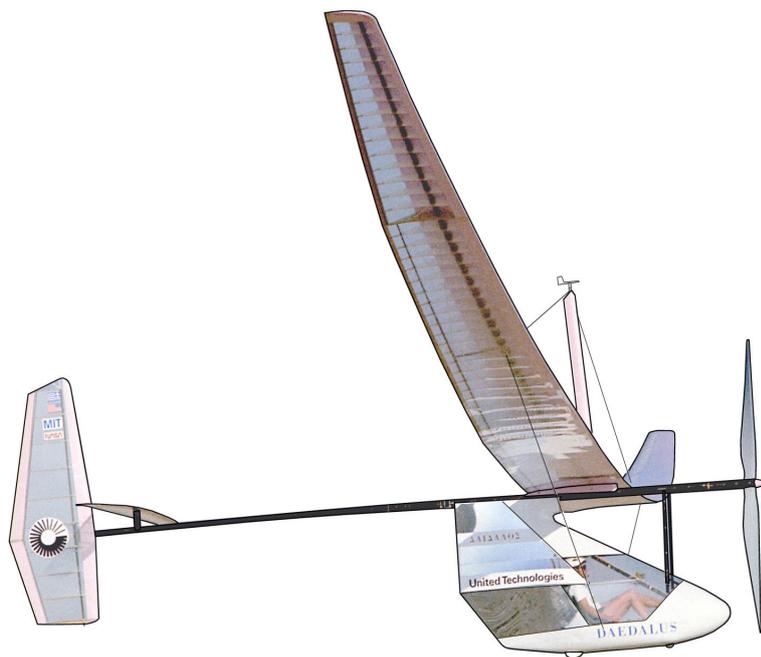


Figure 13 : Daedalus dernier vol test 07/03/88 (d'après photo domaine public @Beasley)

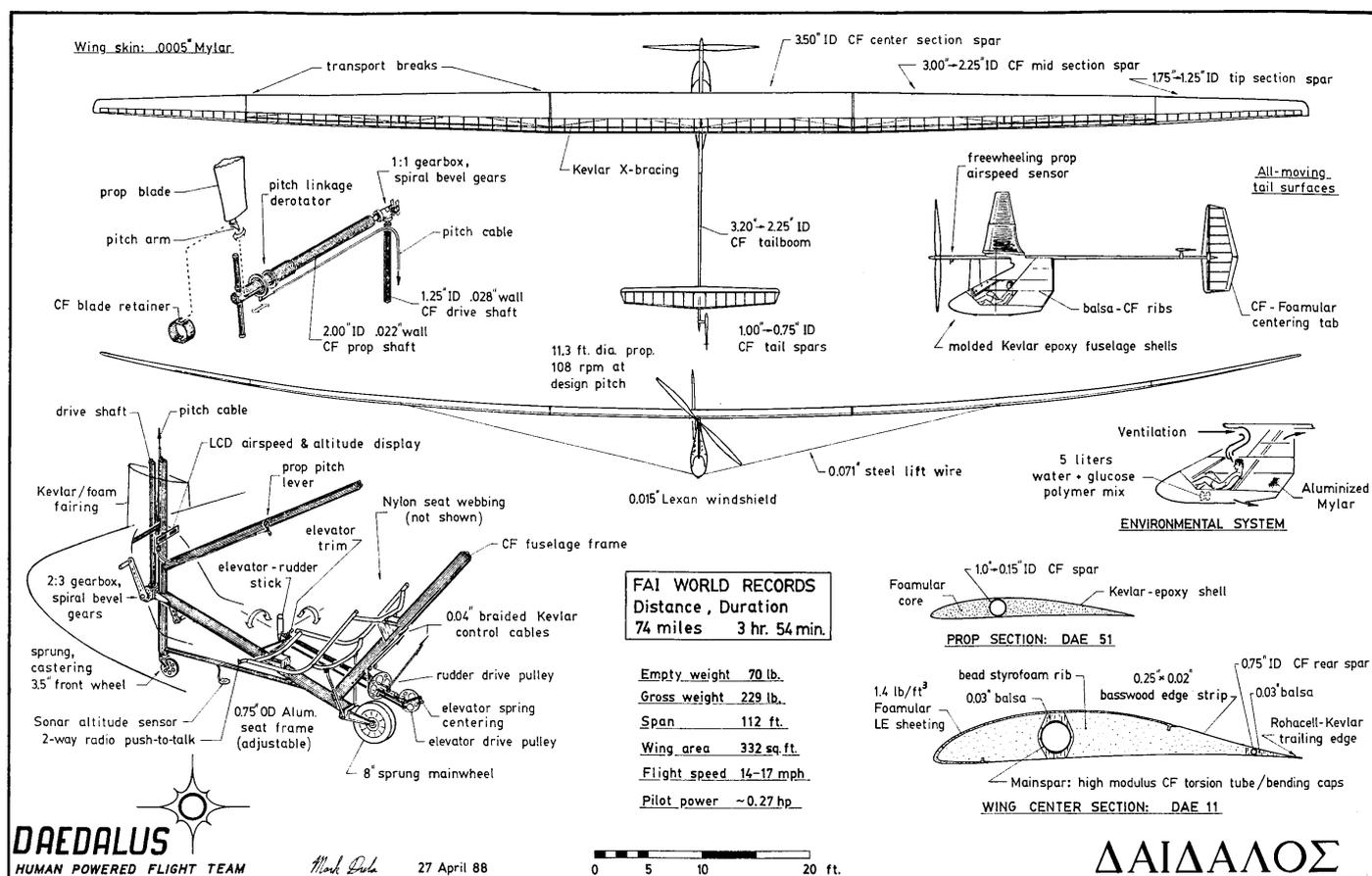


Figure 14 : DAEDALUS plan trois vues (@ Mark DRELA)

Airglow

Conçu par les frères John et Mark McINTYRE l'Airglow est un modèle de 25 m d'envergure pour 32 kg ; il vole à la vitesse de 29,5 km/h. Ses performances font de ce HPA le champion européen actuel devant le Butterfly de David BRADFORD ou les EA de John EDGLEY.



Figure 15 : L'Airglow en compétition à Lasham 2011 (@Reungoat)

2.1 LES HPA FRANÇAIS

L'Aviette

En France au début du siècle les HPA portent le nom d'Aviette. Une manifestation avec un Prix existe pour motiver les créateurs : le prix Peugeot. Ainsi, le 4 juillet 1912 à Viry-Châtillon, le champion cycliste Gabriel POULAIN devient le premier français à gagner un prix sur un HPA : il gagne le prix Peugeot de 1000 francs pour un « vol » en Aviette de plus de 1 mètre (Figure 16). Passionné il remportera le dernier prix Peugeot de 10 000 francs en 1921 au bois de Boulogne, sur son Aviette FARMAN de 17 kg pour un vol aller de 10,54 m et retour de 12,3 m à 1,5 m de hauteur.

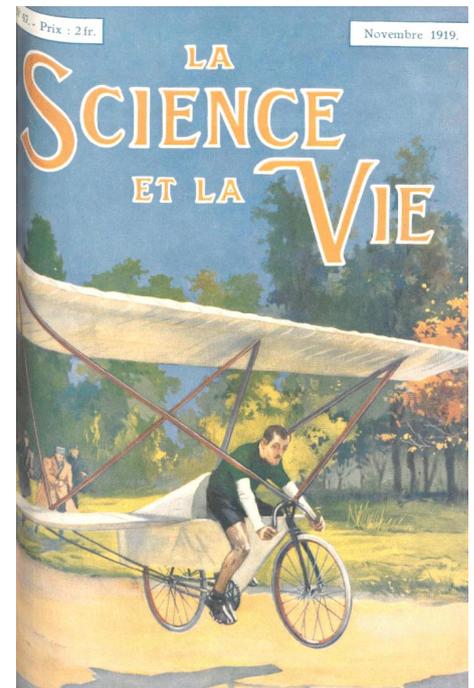


Figure 16 : Aviette Poulain (@ Gallica)

L'Aviette d'HUREL

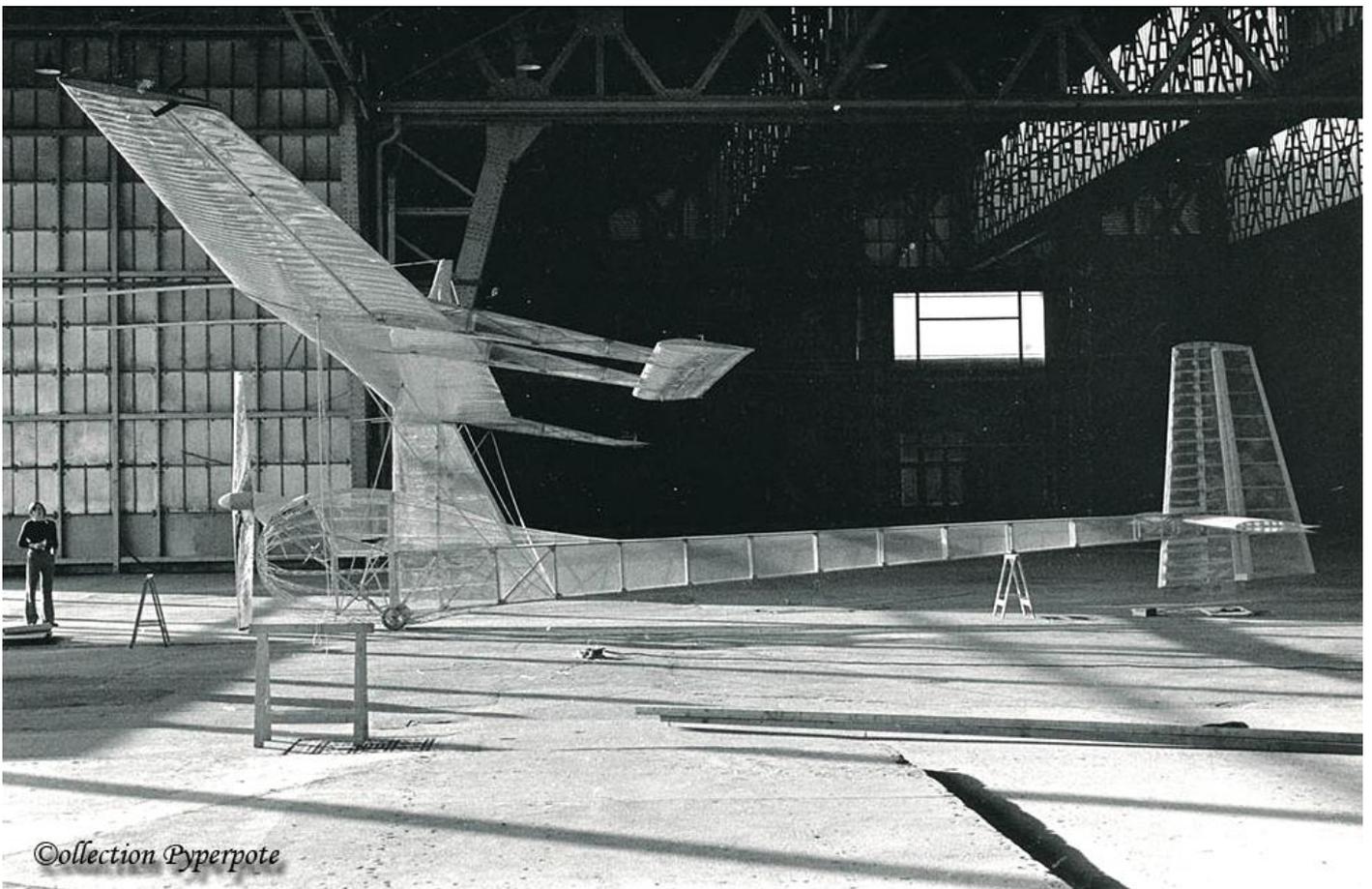
Les essais ayant révélés qu'un athlète bien entraîné pouvait développer en pédalant 0,25 cv pendant 10 min, M. HUREL imagine un avion capable de décoller à 18 km/h et de voler en palier à 20 km/h. A 75 ans il soutient et développe le projet de Jacques MARTINACHE créant l'Aviette d'HUREL en 1970 avec la collaboration de deux aéromodélistes expérimentés : Philippe MONIOT (ingénieur SIREN) assisté d'un étudiant de l'ESTA M. MOUREAU (Figure 17 ; Figure 18).

Ils construisent au sein de la maison des jeunes de Champigny, cet appareil afin de concourir au prix KREMER, de 50 000 livres sterling, offert à toute personne qui, avant le 31 décembre 1973 effectuera en vol musculaire, un 8 autour de 2 pylônes distants de 800 m à une altitude minimale de 3 m. L'appareil sera piloté par un militaire de 66 kg, JP THIERARD³.

³ Après plusieurs tentatives l'avion s'envola sur plusieurs dizaines de mètres lors d'entraînements. Malheureusement sans un vol officiel, le prix fut remporté avant HUREL par Paul Mc CREADY et l'Aviette d'HUREL resta au sol pendant un an puis fut détruite.



Figure 17 : l'Aviette d'HUREL (@ Chris Roper <http://pictures.propdesigner.co.uk/>)



Collection Pyperepote

Figure 18 : L'aviette HUREL diaphane sous le soleil (@ Chris Roper <http://pictures.propdesigner.co.uk/>)

Depuis aucun HPA ne fut construit en France. Certains étudiants ingénieurs essayèrent de se lancer dans l'aventure mais sans dépasser le stade de projet. Finalement la France qui a vu leur début et promu les avions à propulsion musculaires n'a fait qu'une seule tentative en 110 ans. Pourtant les records de vitesse et de durée ne font que grandir tout comme la technicité de ces appareils (Figure 19).

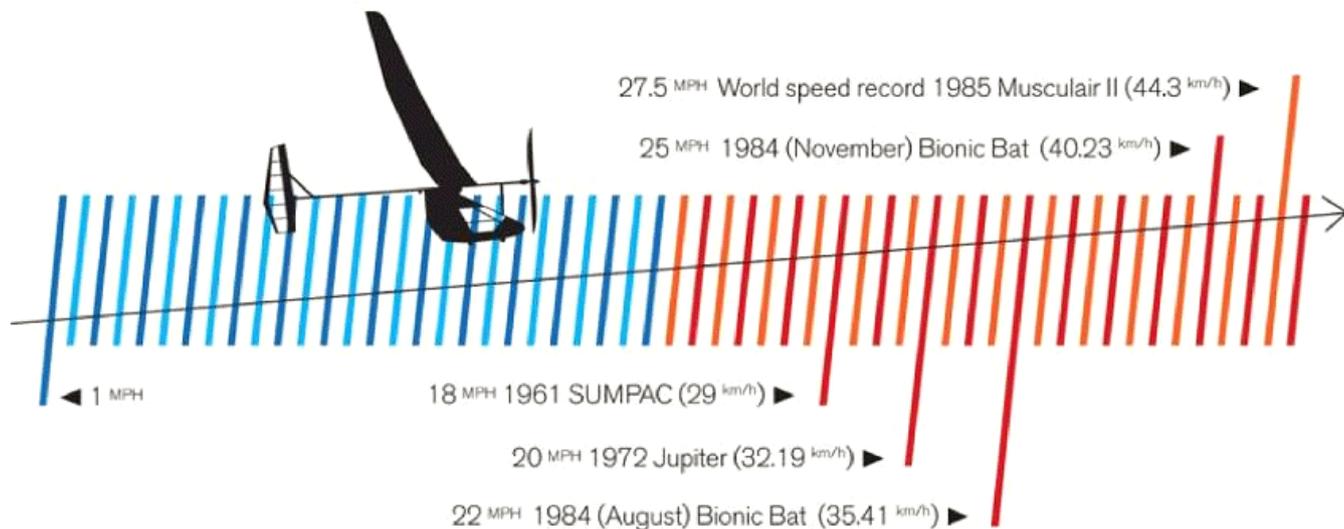
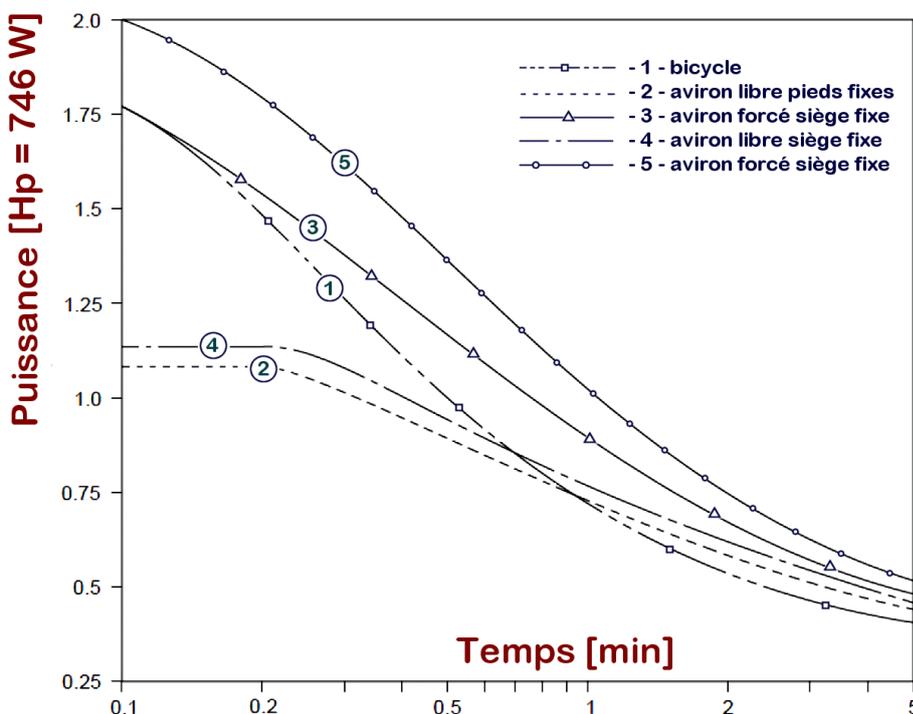


Figure 19 : Les records de vitesse des HPA (Speed How To Make Things Go Really Fast @Guy Martin)

3. La puissance musculaire

La génération de puissance dans un HPA résulte de l'effort musculaire que l'on transfère vers l'hélice. Cet effort musculaire peut provenir des membres supérieurs ou inférieurs du pilote. Mais comme celui-ci doit utiliser ses mains pour actionner les commandes de l'appareil, on choisit une méthode de transfert d'énergie par les membres inférieurs du pilote.



Il faut donc un système capable de transformer directement l'énergie musculaire des

Figure 20 : puissance musculaire développée par différentes actions (Harrison 1970)

jambes en énergie mécanique. Le mécanisme simple et léger qui permet cette transformation est le pédalier qui laisse la possibilité de deux positions de pilotage : droite ou allongée. Cette énergie est mécaniquement redirigée vers l'hélice par un système de chaîne et de roue dentée (Figure 20).

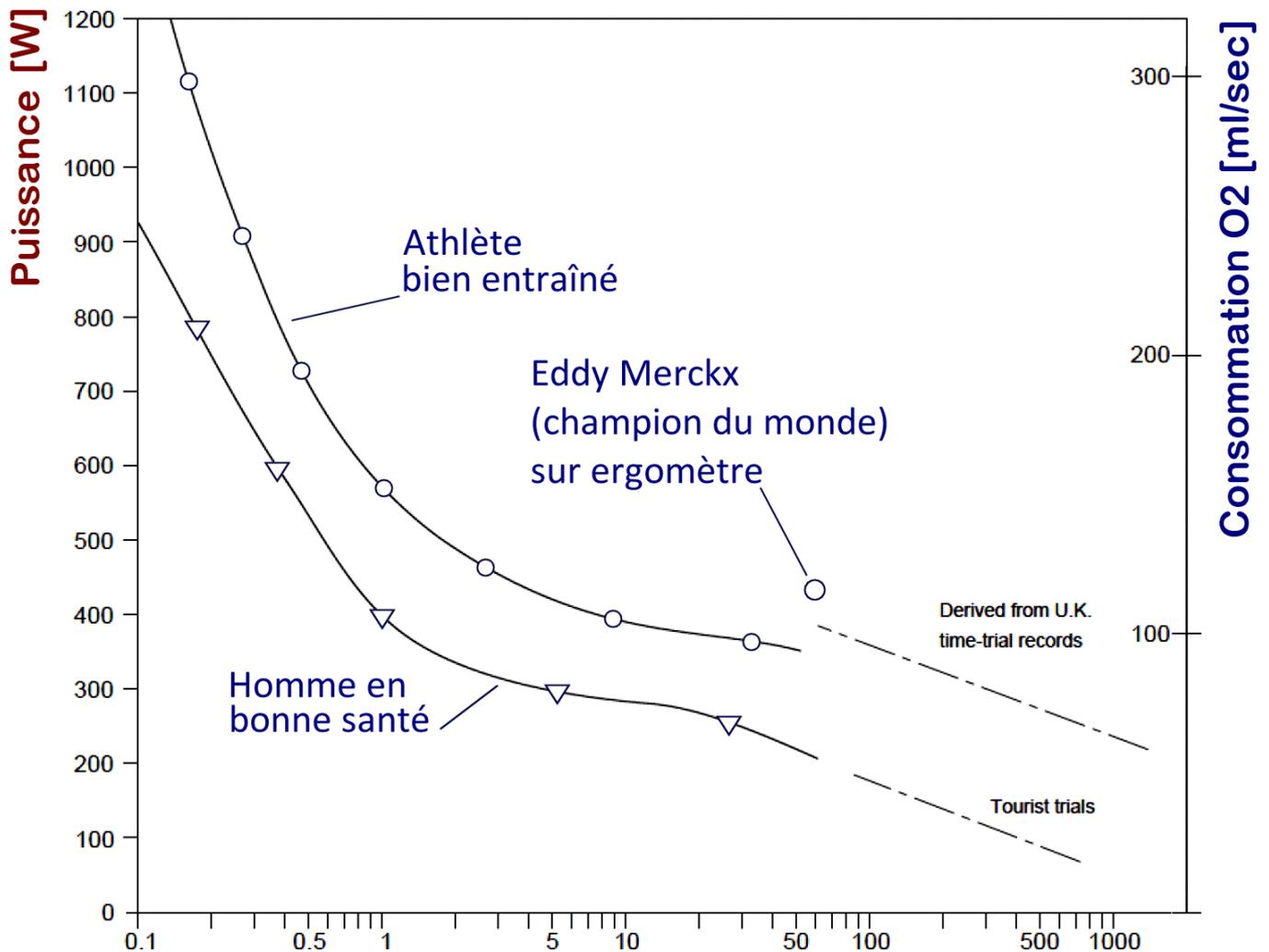


Figure 21 : Courbe montrant l'évolution de la puissance développée par un cycliste en position droite sur un vélo, en fonction du temps @Whit&Wilson 1982

La puissance utilisée pour faire fonctionner l'hélice vient en majorité de la respiration (puissance aérobie). Cette puissance peut être délivrée pendant un temps très long et varie en proportion de la fréquence cardiaque. Par exemple la puissance aérobie fournie par un athlète de haut niveau peut aller jusqu'à 400 W (soit environ 1/2 cv) tandis que la puissance moyenne fournie par un homme ne pratiquant pas d'entraînements est comprise entre 250 W (effort intense) et 100 W (activité tranquille).

Pour des trajets utilitaires on peut considérer une puissance moyenne de 130 W.

Pour notre HPA nous avons choisi la position couchée afin d'avoir une circulation plus rapide du sang dans le corps (les muscles étant à la même hauteur que le cœur) et une trainée réduite. Nous nous sommes basés sur une puissance au démarrage de 300 W et une puissance en vol stabilisée de 200 à 250 W.

En effet dans cette position les démarrages sont plus lents car l'inertie à vaincre est plus grande. De plus l'impossibilité d'utiliser le poids du cycliste lors des efforts importants fait perdre environ 30 % de la force transmise à chaque appui.

4. L'aventure de millésime 1

Caractéristiques du MILLESIME 1

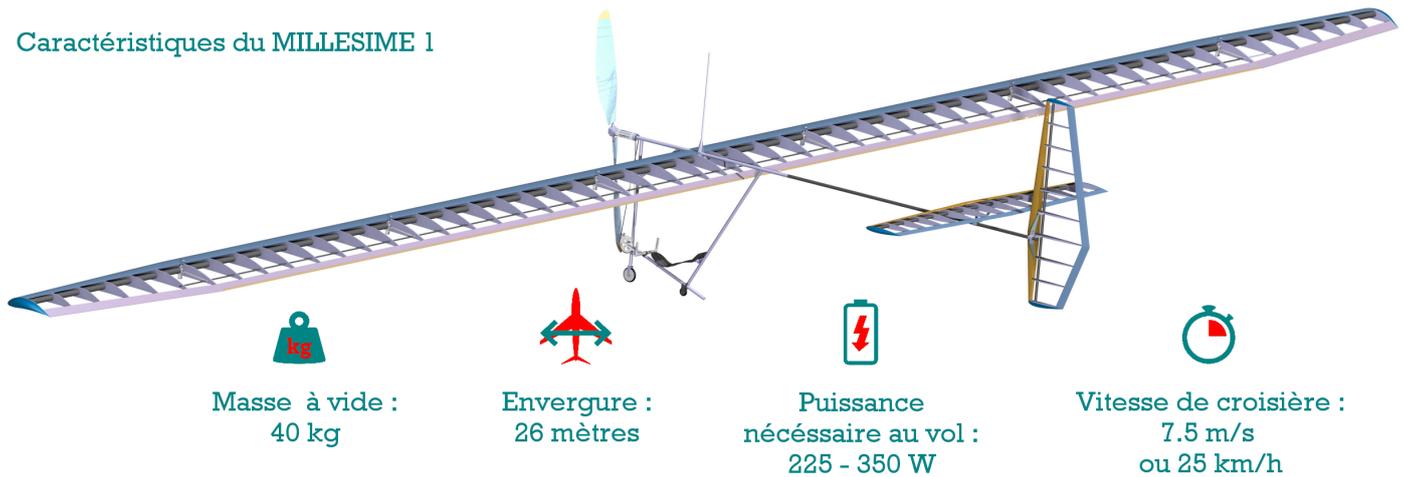


Figure 22 : Structure et performances du MILLESIME 1

4.1 CAHIER DES CHARGES DU PROJET

C'est en 2011, au CRIMA (Centre de Ressources de l'Institut de Maintenance Aéronautique actuellement CR en Ingénierie et Maintenance Aéronautique) de l'Université de Bordeaux 1, que née l'idée du premier avion à propulsion musculaire (ou humaine) français en compétition. L'objectif était de transporter et élever dans les airs un homme sur la plus grande distance possible en utilisant le minimum d'énergie et sans nuisance pour l'environnement. Ce projet devient alors un support pédagogique pour que les étudiants, apprentis et enseignants mettent en application leurs compétences dans le cadre d'une compétition internationale. Comme aucune expérience dans le domaine n'existait en France, la première étape fut d'imaginer un HPA en s'appuyant sur les observations des HPA existants, notamment du Daedalus.

Les premiers critères sont ainsi posés :

- la vitesse de croisière doit être de 25km/h (7m/s) ;
- L'appareil doit pouvoir être mis en œuvre par une seule personne,
- décoller et atterrir sur des terrains dégagés de préférence en bitume avec uniquement une source d'énergie musculaire.

Les caractéristiques furent alors définies (tableau1).

<i>Envergure</i>	<i>Longueur</i>	<i>Hauteur</i>	<i>Profil aile</i>	<i>Forme aile</i>	<i>Profil empennage</i>
26 m	7 m	3 m	FX76MP-140	rectangulaire	symétrique
<i>Masse à vide</i>	<i>Puissance décollage</i>	<i>Puissance vol</i>	<i>Rotation hélice</i>	<i>Masse Pilote</i>	<i>Taille pilote</i>
45-50 kg	350 W	200 à 250 W	120 t/min	70 kg	1,75 m
<i>Nacelle</i>	<i>Longeron</i>	<i>Entoilage</i>	<i>Re</i>		
Aluminium	Carbone	Mylar	517 241		

Tableau 1 : caractéristiques du Millésime1

L'élément crucial des HPA est l'aile et son profil. En s'appuyant sur les HPA précédents nous avons choisi d'utiliser le profil FX76MP-140, employé d'une manière plus générale dans la conception des HPA et plus spécialement pour le Velair. De forme simple il offre l'avantage d'une traînée horizontale faible (cf courbe Cx Figure 23).

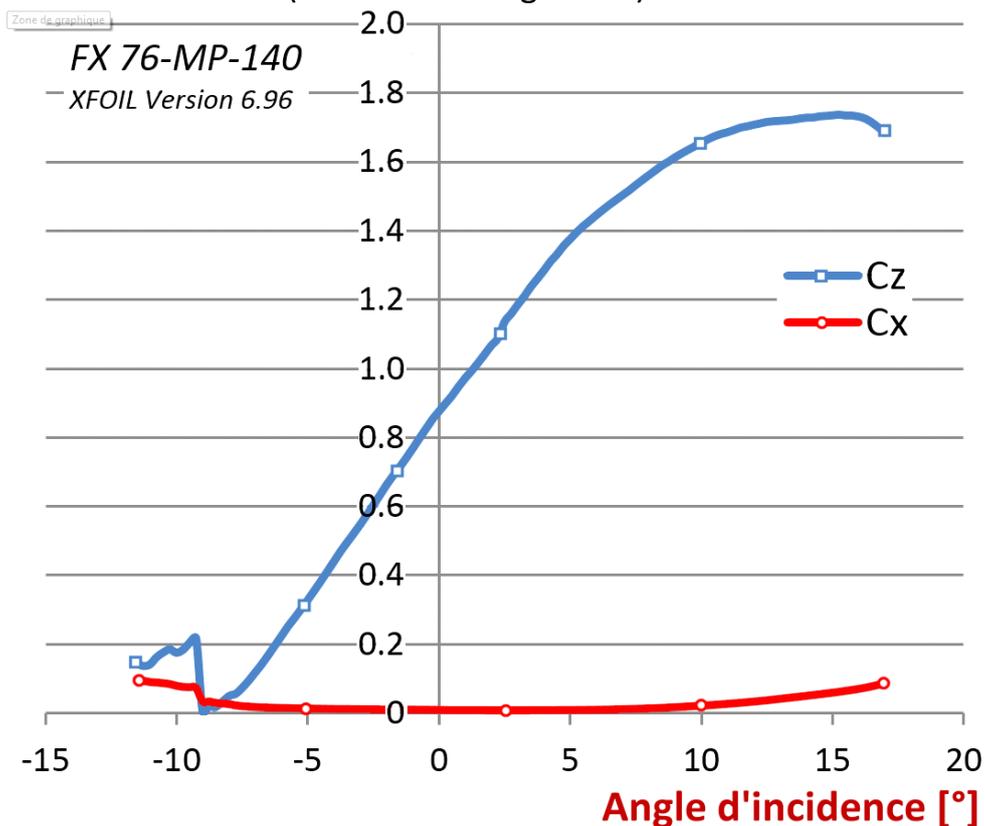


Figure 23 : Courbes de la traînée horizontale et verticale pour le profil FX 76-MP-140 (XFOIL Version 6.96) à Re = 500 000

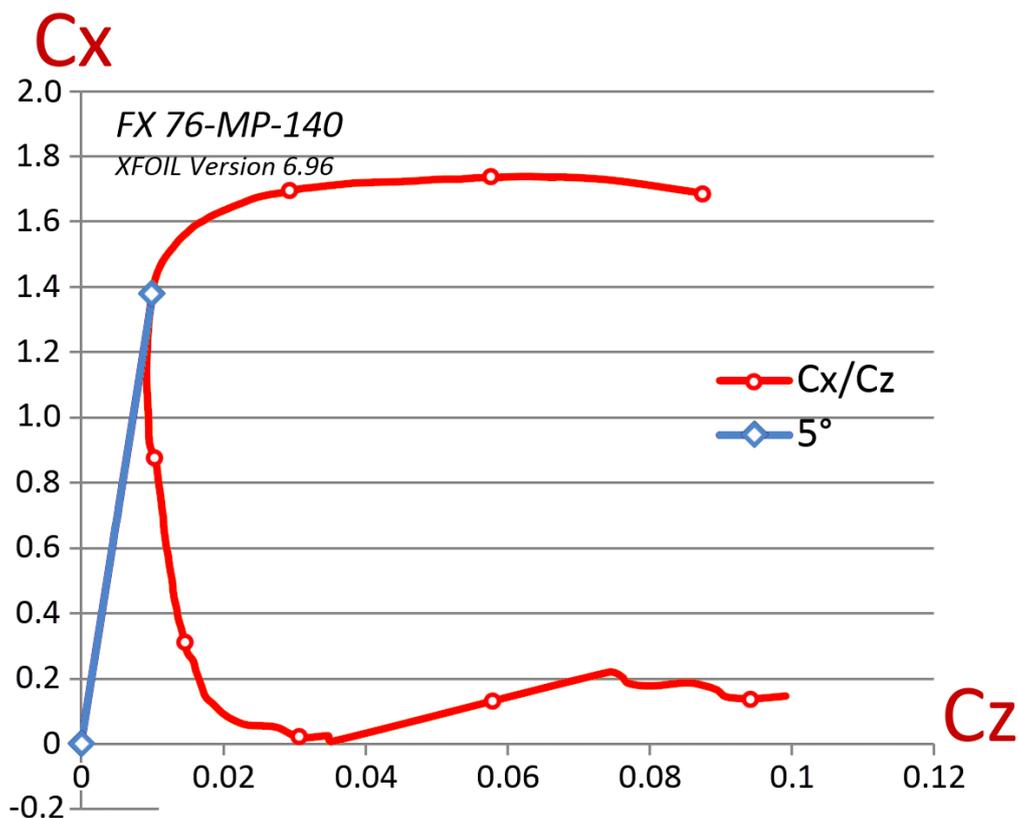


Figure 24 : Polaire Eiffel pour le profil FX 76-MP-140 (XFOIL Version 6.96) à Re = 500 000

D'après les courbes de trainées et la polaire on constate que la finesse maximum du profil atteint une valeur maximum de 138 pour un angle d'incidence de 5°. Nous choisirons donc cet angle de calage pour notre voilure. A cette incidence le coefficient de portance est égal à 1.4 et le coefficient de trainée à 0.001. On notera que la portance maximale est atteinte à une incidence d'environ 10°.

Profil FX76MP-140

- Coef portance C_z 1,4
- Coef de trainée C_x 0,01
- Coef de moment C_m -0,185

La comparaison des puissances consommées pour faire voler l'avion sont regroupées sur le graphique (Figure 26). On observe que la vitesse optimale pour cette configuration est de 25 à 26 km/h. Bien sûr les rendements sont encore approximatifs mais les valeurs de puissances à fournir sont très proches du maximum de 300 W que nous nous sommes fixés.

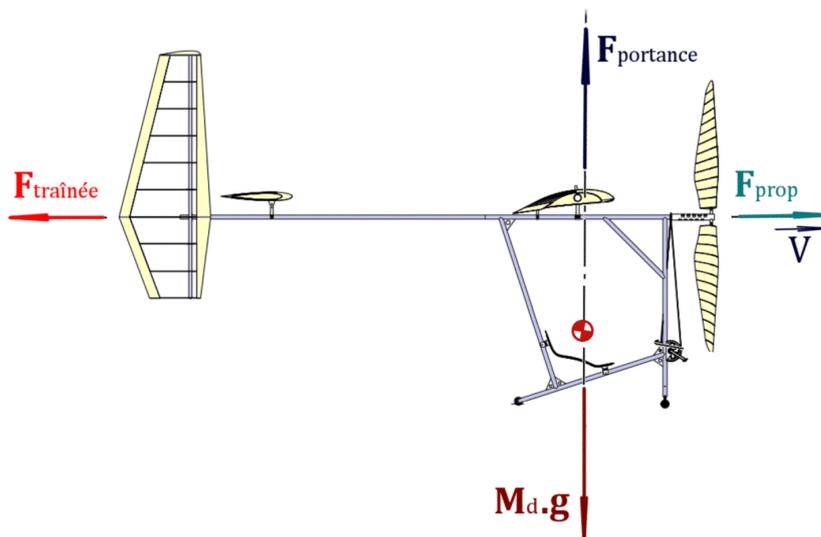


Figure 25 : Les forces en présence

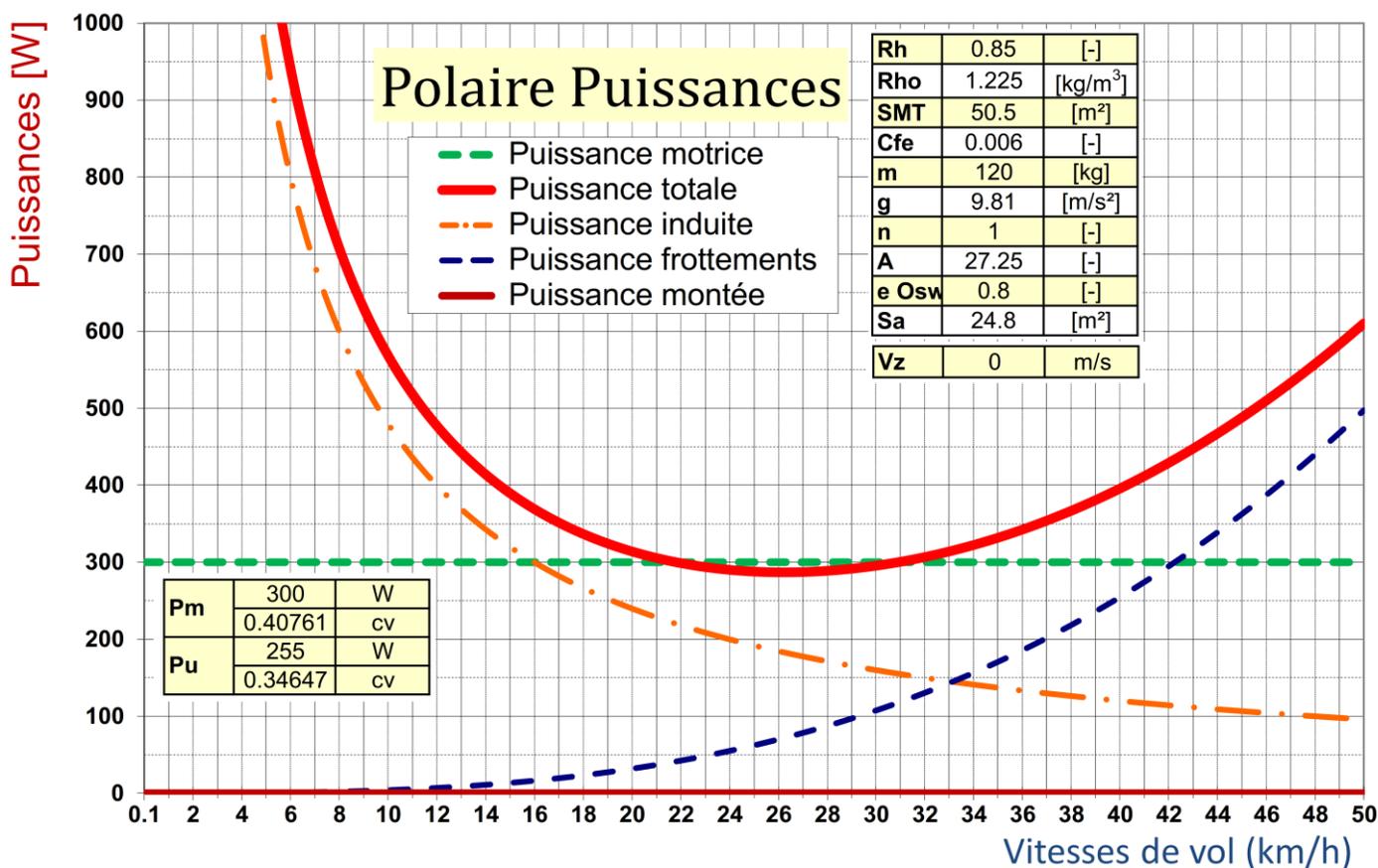


Figure 26 : Courbes des puissances consommées pour HPA équipé d'un profil FX70MP-140 à 5° d'incidence et 120 kg de masse totale

4.2 STRUCTURE DE L'AVION

Élément structurel important, l'aile supporte presque la totalité des forces aérodynamiques. L'aile du Millésime 1 est composée de sept tronçons constitués chacun de deux longerons en carbone, de nervures en Depron et d'un caisson de bord d'attaque. Un jeu de haubans supérieur soutient l'aile au repos tandis qu'un jeu de haubans inférieurs reprend une partie des efforts de portance le long de l'aile. Pour assurer l'écoulement de l'aile autour du profil de l'aile celle-ci est recouverte de Mylar (Figure 27).



Figure 27 : Pause du Mylar sur un tronçon d'aile (@équipe HPA 2014)

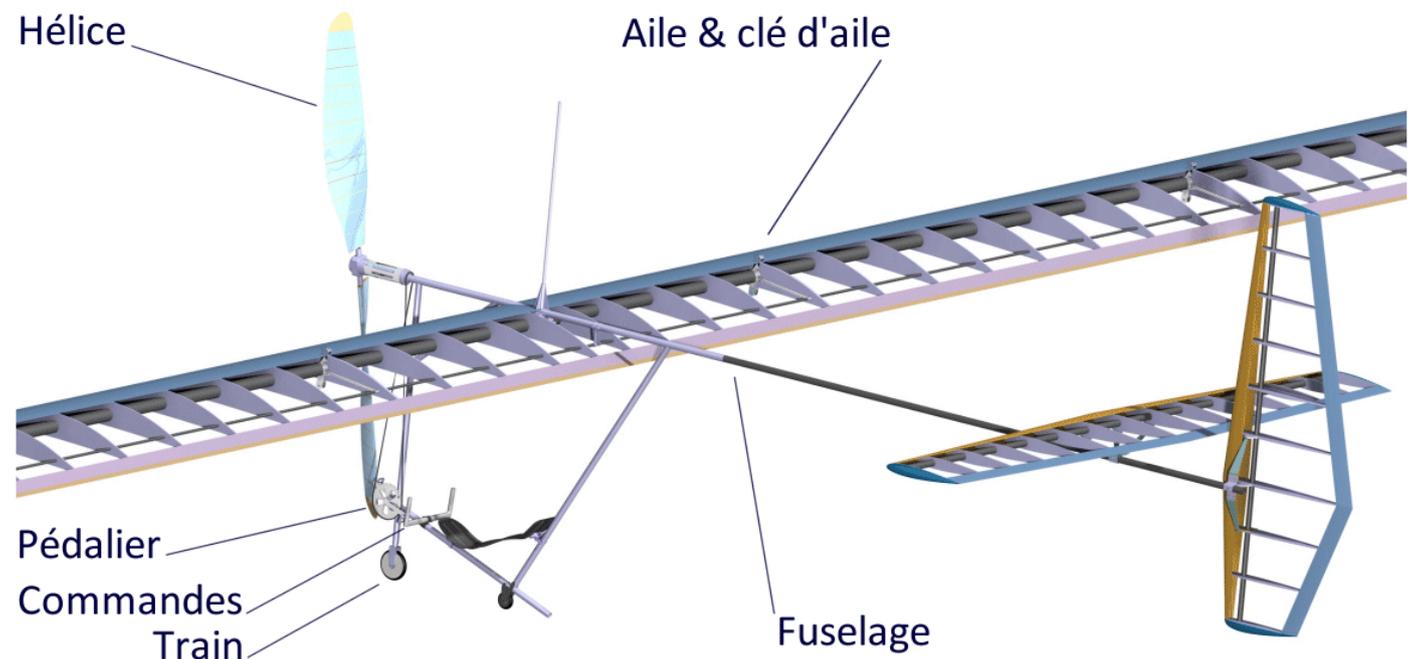
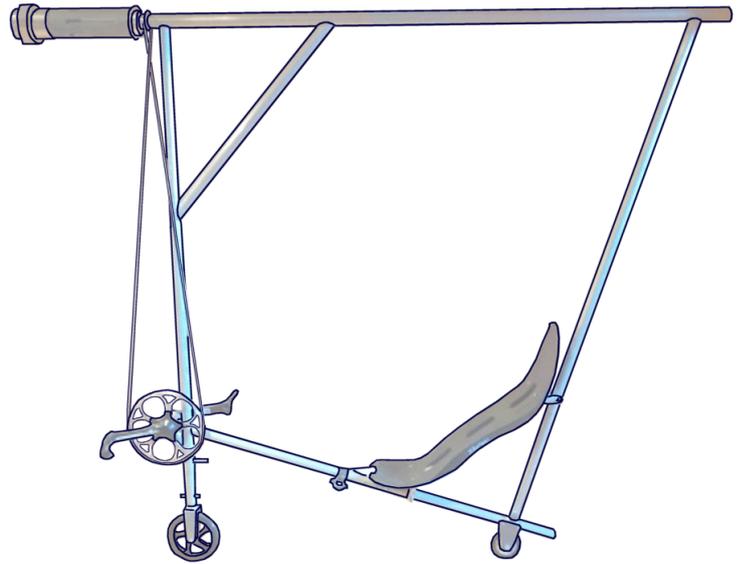


Figure 28 : Structure de l'aile et de la nacelle

Après l'aile, le second élément le plus important d'un HPA est la nacelle ou cockpit (Figure 28 et Figure 29). En effet c'est dans la nacelle que repose le pilote et sur la nacelle que sont assemblés tous les éléments structurels du HPA : pédalier, hélice, aile et clé d'aile, train, fuselage, commandes ...

Pour des raisons de sécurité et de fabrication nous avons choisi de faire une nacelle en aluminium (Figure 29).

Installé en position semi-couché, le pilote délivre sa puissance en continue par le biais d'un pédalier circulaire. Cette géométrie permet de délivrer l'énergie de façon régulière. Afin de maximiser la puissance produite par le pédaleur, la position assise est privilégiée parce qu'elle nécessite moins d'espace vertical que la position debout, qu'elle fixe le centre de gravité du pédaleur ce qui rend l'appareil plus stable (en position debout le pédaleur ayant tendance à se balancer sur sa selle).



Le Millésime 1, du fait de sa faible vitesse et de la flexibilité de l'aile, ne possède pas d'ailerons. Le contrôle de la trajectoire est réalisé par le plan horizontal et le plan vertical de l'empennage. C'est que l'on nomme un appareil « 2 axes ». Ce type d'appareil utilise le dièdre de l'aile (formé par les flèches de chaque demi-aile) pour virer grâce au roulis induit engendré lors d'une mise en dérapage. De conception simple, le premier empennage imaginé possède un plan horizontal légèrement trapézoïdal et un plan vertical minimisant les effets induits par la traînée des saumons. Finalement le Millésime 1 prend la forme du plan ci-dessous.

Figure 29 : Nacelle en aluminium (@équipe HPA 2015)

Après les phases de conception de test et de fabrication qui ont durées trois années le premier HPA universitaire français est construit. Il participa en juillet 2015 à la seule compétition internationale. Classé cinquième sur sept lors de cette compétition sur un aérodrome anglais, notre Millésime 1 ouvre la voie à plusieurs séries de projets. En effet ce premier avion avait pour mission de nous apprendre à concevoir un HPA. Il nous faut maintenant démontrer qu'il nous est possible de concevoir un HPA qui puisse voler plusieurs centaines de mètre voire des kilomètres.



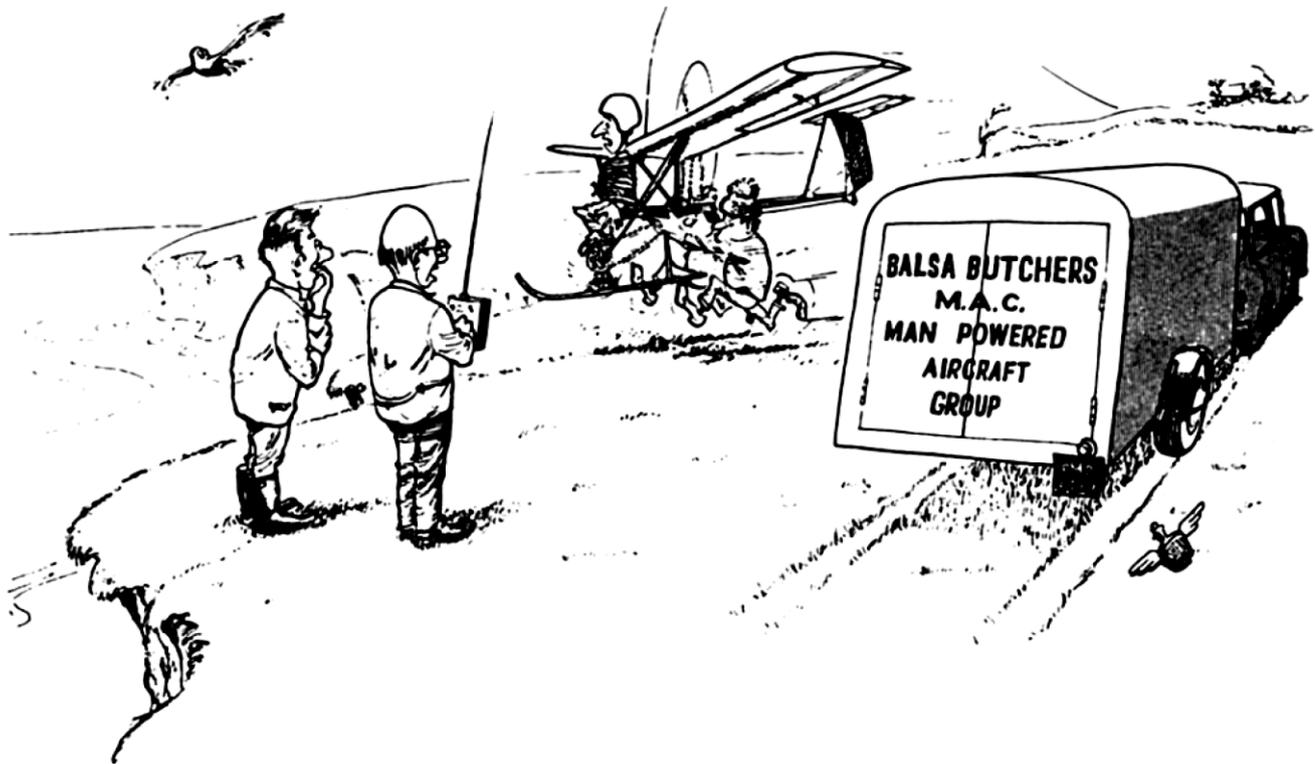
**Figure 30 : « Vol » du Millésime 1 lors de la compétition BHPFC juillet 2015 à LASHAM
Pilotes Jean-Charles GOUSSELIN David REUNGOAT(@FHPA)**

5. Conclusion

Aussi loin qu'il s'en souvienne l'homme n'a cessé de rêver le vol autonome. Même si les vols en HPA sont de courte durée (plusieurs minutes pour le sportif à 4h pour l'athlète surentrainé), la technologie aidant ce rêve est de plus en plus réaliste. Les aéronefs (HPA) qui permettent au pilote de s'élever dans les airs mettent en application toute l'ingénierie aéronautique dans un domaine peu exploré encore aujourd'hui : le vol lent.

Activité encore confidentielle elle est portée par une communauté de pionniers passionnés, qui travaillent pour que le vol musculaire soit à la portée d'un plus grand nombre.

En France c'est une activité très rare. Seul appareil Français, le Millésime 1, a été le vecteur des espoirs et des rêves de plusieurs étudiants et apprentis de l'université de Bordeaux et de l'ENSAM pour participer à la compétition internationale BHPFC (British Human Powered Flying Club Rally à Lasham Airfield -Alton GU34 5SP, Royaume-Uni). Ce premier bond est un encouragement pour poursuivre l'aventure avec la création d'un nouvel appareil aux performances améliorées.



“It’s a pity, we could have dispensed with the radio if there had been just one volunteer.”

American Aircraft Modeler

Remerciements

L’Université Bordeaux 1 et l’Université de Bordeaux pour leurs soutiens financiers et logistiques.

La Région Aquitaine, pour son soutien financier (dans le cadre des manifestations d’intérêt pour l’enseignement supérieur – Partie 2) qui nous a permis d’aboutir aussi vite.

l’ANORAA, France HPV (Jean-Charles GOSSELIN, Dominique PERRUCHON), FHPA, DomoFrance, CMSO, Bordeaux Technowest, l’IDEX et la Fondation de l’Université de Bordeaux

Remerciements particuliers

Les 100 stagiaires des formations qui ont participé activement au projet jusqu’en 2015 : Master GSAT (IMA), licence3 mention IMSAT (Maintenance Aéronautique), Licence3 mention SPI (mécanique), 2eme année de l’ENSAM de Bordeaux, IUT Sciences et Génie des Matériaux de Bordeaux, 2eme année de l’ENSCBP ;

Ainsi que leurs animateurs de groupe :

Adrien DUHAMEL, Alexandre LE ROUX, Quentin MAUGENDRE, Jessica MORIN, Benoît PIGEYRE, Thomas VAILLANT, Francisco Javier VILLORIA, Tony DUPE, A.GRANDIN, R.SAVORNIN, W. SEGONZAC

Les personnes qui nous ont aidés dans cette aventure :

Jean-Michel DESTIBARDE, Hamid El AMRI, Alexandre LASSERRE, Nicolas PERRY, Israël ROBLES, François VIDAUPORTE

EVALUATION DE LA PUISSANCE MINIMALE NECESSAIRE A LA SUSTENTATION

Dans un article paru dans les années soixante-dix⁴, Michel Colomban s'attachait à évaluer les différentes puissances nécessaires à la sustentation, à la translation, à la montée. Lorsque la puissance disponible est très faible (300 W), il faut chercher à minimiser les puissances consommées. L'équation de l'énergétique d'un avion⁵ permet justement d'évaluer l'ordre hiérarchique des points à traiter en fonction de l'importance de la puissance qu'ils consomment.

$$P \cdot R_h = \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot SMT \cdot C_{fe} \cdot V^3}_{\text{Puissance nécessaire à l'avancement}} + \underbrace{\frac{2}{\pi \cdot e \cdot \rho} \cdot \left(\frac{M \cdot g}{b}\right)^2 \cdot \frac{1}{V}}_{\text{Puissance nécessaire à la sustentation}} + \underbrace{m \cdot g \cdot V_z}_{\text{Puissance nécessaire à la montée}}$$

Avec :

Puissance motrice	P	[W]
Vitesse de vol	V	[m/s]
Masse volumique de l'air	ρ	[kg/m ³]
Surface mouillée totale	SMT	[m ²]
coefficient de frottement équivalent plaque plane	Cfe	[-]
Coefficient d'Oswald	e	[-]
Masse totale	M	[kg]
Accélération de la pesanteur $g = 9.81 \text{ m/s}^2$	g	[m/s ²]
Envergure	b	[m]
Vitesse verticale de montée	V_z	[m/s]

On s'aperçoit alors que la puissance consommée par la trainée induite va être dominante devant la puissance consommée par les frottements aérodynamiques.

On a donc tout intérêt à limiter la masse totale et la charge au kg par mètre d'envergure des appareils à propulsion humaine.

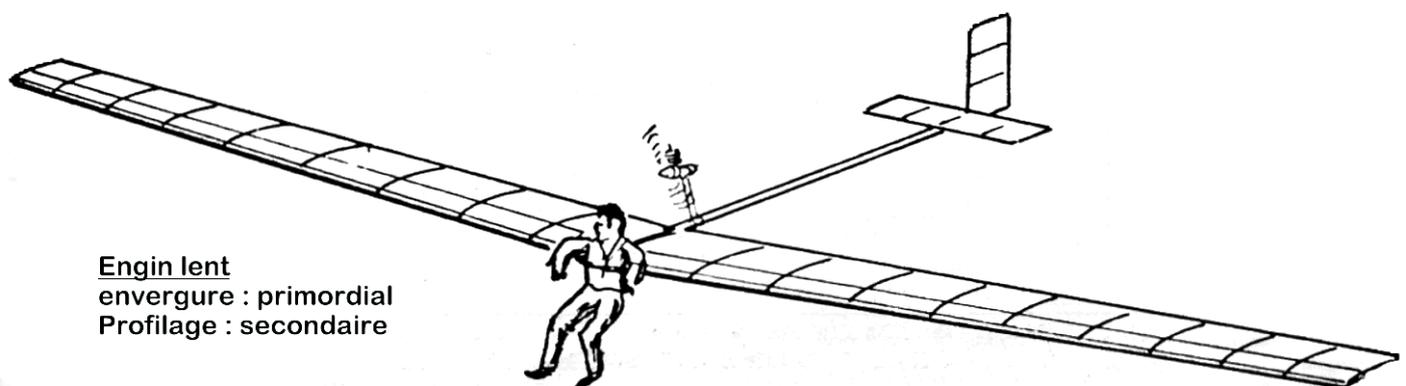


Figure 31 : Dessin Michel Colomban

⁴ Notes sur le vol à petite puissance. Cahiers du RSA, n°86 janvier-février 1976 page 2401

⁵ Remise au goût du jour avec les unités du système international, ce qui n'était pas le cas dans l'article de Michel Colomban.