



Christophe fait un des premiers vol d'essais avec le prototype Dragonfly 1 sous une Nemo XX en septembre 2021.



PROJET DRAGONFLY

Original et performant

Christophe développe depuis quelques années une propulsion électrique bi-moteur. Les avantages par rapport à une propulsion mono-rotor sont intéressants : absence totale de couple, efficacité propulsive améliorée et régulation électronique de la poussée. Présentation en exclusivité pour « PM+ » de ce projet qui pourrait devenir la norme du paramoteur électrique du futur...

« PM+ » **Quelle est ton expérience aéronautique ? Depuis quand voles-tu en paramoteur ?**

Christophe Martz : Je suis ingénieur en mécanique et énergétique. J'ai donc quelques prérequis et bases en aéronautique, et surtout une méthodologie et rigueur scientifiques pour la recherche et le développement. Mon expérience en conception aéronautique a réellement débuté avec ce projet fin 2016.

J'ai commencé ma formation de pilote durant l'été 2011 par un stage de parapente dans les Vosges. Je suis breveté paramoteur depuis le printemps 2012 et je vole environ 25 heures par an. Mon expérience cumulée parapente/paramoteur est de 250 heures. Je pratique en conditions thermiques, aussi bien en libre qu'au moteur.

« PM+ » **Pourquoi t'es-tu intéressé au paramoteur électrique ? Quel est ton projet ? Est-ce que ton environnement professionnel t'aide pour le réaliser ?**

En 2007 ou 2008, j'avais vu un paramoteur électrique en démonstration à la Coupe Icare. C'était aussi la première

fois que je m'y rendais, alors que je ne volais pas encore. À ce moment-là, je n'y croyais pas beaucoup, mais je saluais tout de même l'initiative et le courage des concepteurs de cette machine.

Heureusement, les choses ont bien évolué depuis et, de nos jours, la technologie permet d'envisager des propulsions électriques plus sérieusement.

Quelques années plus tard, en septembre 2016, également à la Coupe Icare, un stand présentait un paramoteur électrique avec 4 hélices dans une cage conventionnelle. Le projet s'appelait FlyRevolt. J'ai commencé à vraiment m'intéresser à la question de la propulsion électrique pour un paramoteur, d'autant plus que j'étais, à ce moment-là, pilote moi-même ! Les chiffres annoncés, notamment la poussée maximale, me laissaient dubitatif. Différents calculs de vérification m'ont laissé penser que c'était irréaliste. De plus, ce proto ne résolvait pas 2 principaux inconvénients de conception initiale du paramoteur : la traînée de la cage et le système propulsif sous le vent du pilote.

*Le concept FlyRevolt présenté
à la Coupe Icare 2016, qui a inspiré
le projet Dragonfly.*

Ces calculs m'ont néanmoins fait réfléchir. Est-il envisageable de trouver une configuration de propulsion électrique qui puisse être performante d'un point de vue aéronautique tout en restant assez légère ?

Mon projet est donc de concevoir un paramoteur électrique innovant, plus léger et plus performant que ceux du marché, mais aussi dont les performances et le confort d'utilisation lui permettront de pouvoir concurrencer les paramoteurs thermiques.

Dès 2017, j'ai opté pour la conception d'un paramoteur bi-rotor contrarotatifs à hélices déportées de part et d'autre du châssis. Ceci permet d'éliminer ou de réduire des désavantages de la machine traditionnelle : le couple moteur et la propulsion sous le vent du pilote.

Le nom du projet a été trouvé en 2019. Dragonfly, libellule en français, apporte les notions de précision du vol, de maniabilité et de légèreté.

Mais entre l'idée et la mise en pratique, c'est-à-dire les premiers vols d'un appareil d'un nouveau type, il y a un fossé énorme à franchir. La persévérance et la résilience sont indispensables pour mener un tel projet. Et même si, aujourd'hui, deux machines volent, il y a encore bien du travail.

La technologie a également évolué favorablement depuis 2017. Par exemple, les batteries actuelles des deux prototypes sont 20 à 30 % plus performantes que celles des premiers essais de 2017. Et un gain de 30 % en aéronautique c'est simplement énorme ! On peut attendre des avancées identiques dans les années à venir et cela rendra les machines encore plus performantes.

Mon environnement professionnel, en dehors du Dragonfly, n'est pas du domaine aéronautique. Évidemment, ma formation d'ingénieur m'a aidé dans l'approche théorique et méthodologique. Je suis en contact régulier avec deux amis, Michel Kieffer, concepteur d'ULM 3 axes et enseignant chercheur associé, chargé de la spécialisation Aéronautique, Transports et Énergétique à l'université Paris-Nanterre, et Pascal Malochet, ex-pilote en équipe de France de paramoteur. Nous échangeons assez souvent sur les différentes avancées. Le but est, à terme, de pouvoir vivre de ma passion et faire progresser le monde du paramoteur électrique, en proposant une machine plus performante, plus écologique et plus sécurisée que ce qui existe sur le marché.

« PM+ » Quelles sont les recherches théoriques que tu as faites ? Quelles sont les principales conclusions ?

J'ai commencé par faire une étude théorique avec des dizaines de tableurs pour comparer les différentes configurations multi-rotor envisageables, je me suis arrêté à 8 hélices (quand même !). La conclusion de ces heures de recherche est que la bi-motorisation avec 2 hélices contrarotatives déportées de part et d'autre de la sellette est le meilleur compromis technique en termes de performances, simplicité (donc fiabilité), et encombrement. J'ai alors construit un banc d'essais pour valider la théorie et les différents matériels (moteurs, hélices, batteries, contrôleur...). J'ai passé des centaines d'heures à faire des essais entre 2017 et 2020. Une configuration bi-rotor déportée permet des avantages importants sur un paramoteur :

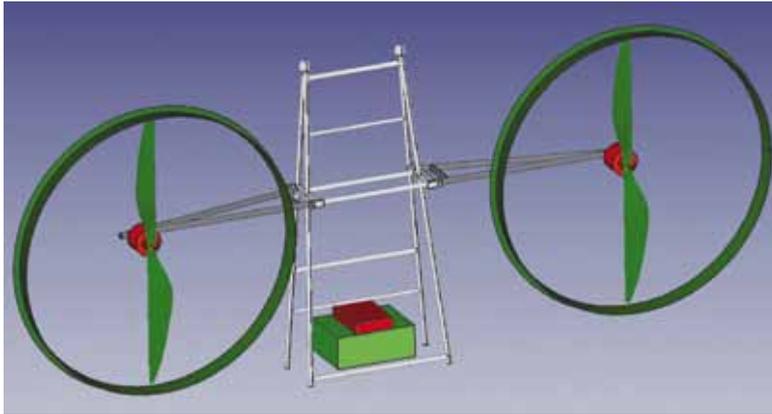


- **Absence totale de couple moteur :** un paramoteur mono-hélice dorsal génère dans toutes les phases de vol un contre-couple moteur. L'effet de ce dernier, appelé couple moteur, fait que le paramoteur va tourner plus facilement à gauche ou à droite, suivant le sens de rotation de l'hélice. En l'air, pour le pilote, il en résulte une maniabilité et une fatigue asymétrique à la commande. Il existe des solutions « anti-couple » mais aucune n'est parfaite et n'annule complètement le couple comme sur un Dragonfly. En effet, une configuration bi-rotor annule complètement ces inconvénients autant en vol qu'au décollage.

- **Le plan des hélices n'est pas sous le vent du pilote :** comme les hélices sont déportées de part et d'autre du pilote, ce dernier ne perturbe plus, ou beaucoup moins, l'écoulement de l'air qui les traverse. C'est un avantage aérodynamique et on gagne de l'efficacité propulsive et donc de l'autonomie.

- **Augmentation de la surface balayée par les hélices :** la bi-motorisation entraîne un autre avantage aéronautique intéressant. Plus la surface balayée par une hélice est importante, meilleur est son rendement propulsif. Je ne parle pas de puissance mais bien de rendement. Une configuration à double hélice permet d'augmenter la surface balayée tout en conservant une garde au sol acceptable. Mes essais sur banc ont montré qu'on pouvait gagner 20 à 40 % de rendement propulsif en passant de 1 à 2 hélices, toutes autres grandeurs constantes !

- **La finesse globale de la machine est améliorée :** la simplicité du châssis et les cages partielles permettent de gagner de précieux points de finesse donc, encore une fois,



Modélisation du premier châssis en acier et aluminium avec 2 bras sur pivot. La pliability d'un Dragonfly a été étudiée dès le début du projet.



Le concept Dragonfly dessiné en 2017 : une machine qui présenterait la meilleure finesse et de bonnes performances aéronautiques.

de l'autonomie. Par exemple, avec mon PAP1400 j'avais mesuré une finesse réelle de 4,5 sous mon ancienne (mais toujours vaillante) Advance Alpha 4 de 2006 alors que la finesse annoncée par le constructeur en parapente est de 8,3. La dégradation de la finesse par une cage paramoteur est loin d'être négligeable... elle est même catastrophique.

• **Régulation électronique de la poussée :** la bi-motorisation permet également une régulation de la poussée indépendante pour chaque moteur. On va pouvoir stabiliser une trajectoire droite, par exemple au décollage ou en conditions thermiques. Inversement, lors de la prise de virage, la poussée peut être plus importante pour le moteur à l'extérieur du virage. De quoi améliorer, encore, la maniabilité de l'appareil. Cette phase du projet est encore en développement.

« PM+ » **Quelles ont été les grandes étapes du développement et où en es-tu ? Conception du châssis ? Origine des motorisations électriques, des batteries ? Combien de vols et combien d'heures ? Autonomie ?**

Il a comporté plusieurs étapes majeures : théorique, essais au sol, dimensionnement et validation au sol, puis essais en vol :

• **Étude théorique.** C'est le début du projet avec des études théoriques sur l'existant (état de l'Art) et sur ce qu'il est envisageable de concevoir, le but était de choisir le nombre d'hélices et comment les disposer. Une fois le dimensionnement théorique réalisé, j'ai fabriqué un banc d'essais. Dans mon cas, les estimations théoriques étaient plutôt assez proches de la réalité des chiffres.

• **Étude pratique sur banc d'essais.** J'ai passé alors un peu plus de 2 ans sur des essais de caractérisation des différents matériels sur un banc pour tester les poussées, les rendements et l'efficacité des moteurs, hélices et batteries... mais aussi la fiabilité avec des essais de longue durée (12 heures en continu par exemple). J'ai passé des centaines d'heures et testé des dizaines de couples d'hélices de tailles et profils divers et une petite dizaine de types de moteurs et de batteries. Tous n'ont pas survécu ! Il m'a fallu 3 années d'expérimentation pour trouver des matériels adaptés au vol moteur en termes de performances et fiabilité.

• **Étude de la batterie.** C'est le point essentiel d'une machine électrique performante, en trouver une bonne est délicat, d'autant plus en aéronautique. Je n'utilise pas de batteries pré-assemblées du marché : je les assemble moi-même, ce qui permet de contrôler précisément la fabrication et la qualité (avant et après l'assemblage). C'est un gage de performance et, en cas d'éventuelle défaillance, je sais comment intervenir pour remédier aux différents problèmes. Un logiciel de maintenance préventive est en cours d'élaboration.

• **Étude mécanique du châssis.** Une fois la bonne configuration propulsive trouvée, il fallait la monter sur un châssis. C'est la phase de conception mécanique et d'adaptation à un châssis. C'était une étape importante qui a aussi demandé beaucoup de tests et de temps. J'ai fait des essais sur 4 modèles différents : Backbone, PAP, Miniplane et Flymecc/Sky Engines. Les deux prototypes actuels sont sur les deux derniers. Mon projet se concentre sur l'adaptation du groupe propulseur Dragonfly sur un châssis existant. L'idée n'est pas d'en concevoir un nouveau, mais de pouvoir travailler avec les fabricants de châssis qui le souhaitent.





Présentation et tests au sol des 2 prototypes, base Miniplane et Sky Engines, avec Patrick Guidi, qui a notamment travaillé avec Paul Amiel, il y a une vingtaine d'années, sur les cages de pilotage de parapente.

- **Validation en vol.** Les premiers « grands vols » ont été réalisés en septembre 2021 et ont permis de valider les performances aérodynamiques et aéronautiques. On a pu collecter les premières données, par exemple le besoin de poussée en palier et la finesse réelle de la machine, finesse qui dépend évidemment fortement de l'aile utilisée. Ils ont également laissé entrevoir l'immense avantage de l'absence de couple moteur sur un paramoteur en vol et au décollage.

- **Propriété intellectuelle, brevet posé.** Comme les chiffres et performances de la machine étaient bons, et vu l'investissement important déjà réalisé dans ce projet, autant financier qu'humain, un premier brevet d'invention a été posé en mars 2022, d'autres suivront probablement.

- **Autonomie.** C'est LA grande question et elle nécessite de comprendre plusieurs points au préalable. Pour commencer, d'après une étude que j'ai faite, la moyenne des vols moteur est de 45 minutes et beaucoup ne durent que 30 min. En école, ils durent rarement plus de 15 à 20 min. L'autonomie dépend avant tout de la finesse globale du paramoteur d'après l'équation suivante valable en vol palier :

$$PTV = \text{Finesse} \times \text{Poussée}$$

J'ai fait des essais de mesure de finesse réelle grâce à mon Syride Evolution, bras hauts, dans les mêmes conditions aéronautiques sur 2 de mes ailes, moteur arrêté sur

mon PAP 1400 : une Advance Alpha 4 (A) de 2006 et une Gin Vantage 2 (B+) de 2019. J'obtiens 4,5 de finesse avec l'Alpha 4 et 6,5 avec la Vantage 2. Soit 40 % de plus pour la Gin, c'est une différence considérable. Ainsi à 120 kg de PTV, pour maintenir le palier, il faudra fournir :

120/4,5 = 26,6 kgF de poussée avec l'Advance Alpha 4 de 2006

120/6,5 = 18,5 kgF de poussée avec la Gin Vantage 2 de 2019

C'est une différence importante, et l'aile récente aura, au moins, 40 % d'autonomie de plus qu'une aile plus ancienne avec le même groupe moteur.

Concrètement, les premiers essais ont permis de déterminer que sous une aile récente de classe A, un PTV de 112 kg sous une aile Nemo XX 25, l'autonomie du prototype base Miniplane de 23,5 kg était d'environ 30 minutes en vol palier avec une montée initiale à 150 m, et ceci sans apport d'altitude par les thermiques. Ce qui est plutôt bon pour une toute première machine ! Le 2^e appareil a une batterie de meilleure capacité mais les essais sont encore en cours. Sous une aile récente B+ comme une Gin Vantage 2, elle tâtera ou dépassera les 60 minutes d'autonomie de vol palier pour 26 kg en ordre de vol. De plus, l'autonomie pourra être assez facilement améliorée à condition d'accepter de décoller avec un appareil plus lourd, en augmentant la capacité de la batterie.



À gauche, toujours en 2017, une des premières séances de gonflage du tout premier ensemble, un ancien châssis inox base Backbone modifié.

Prototype Dragonfly 1 en 2020 avec une cage partielle entièrement imprimée en 3D. Malheureusement, après quelques gonflages, il a été constaté que la résistance des pièces imprimées en 3D, à la « maison », ne permettait pas de garantir une résistance des matériaux suffisante, Christophe a donc dû concevoir un nouveau système de cage.



Le projet Dragonfly est soutenu depuis 2020 par la région Grand Est. Deux prototypes volent régulièrement.



Aussi, l'électrification permet une régulation électronique énergétique qui améliore l'autonomie au moins de 2 manières :

- a) une régulation d'altitude permettant de profiter gratuitement des ascendances thermiques ;
- b) une poussée asymétrique automatique en virage qui diminue celle du moteur à l'intérieur du virage. Ceci améliore considérablement la maniabilité du paramoteur par la création d'un couple de lacet et, plus généralement, de tous les appareils 2 axes, comme un ULM pendulaire. On a besoin de moins dégrader la finesse de l'aile pour tourner et on économise de l'énergie.

- **Phase d'incubation.** Depuis 2019, le Dragonfly est soutenu par l'incubateur Rimbaud Tech à Charleville-Mézières et la Région Grand Est, qui a octroyé une première bourse de financement afin de finaliser les premières machines.

- **Début de la phase d'industrialisation.** Le projet est actuellement dans une phase de relevé de fonds en vue d'aboutir à la commercialisation. Il a besoin de partenaires profession-

nels voulant contribuer à son succès et au développement du paramoteur du futur et, plus généralement, d'un nouveau type de propulsion pour les aéronefs 2 axes, par exemple, un Dragonfly est adaptable sur un pendulaire ou un deltaplane à assistance électrique.

Aujourd'hui, il existe 2 prototypes en état de voler sur base d'un châssis Miniplane cannes fixes et un Sky Engines Flymecc carbone cannes mobiles. Un biplace sur base d'un châssis Air Conception Delta est en cours de réalisation.

Je m'adresse également aux particuliers intéressés par le projet. Plutôt que de faire un classique crowdfunding, j'ai préféré créer une boutique de soutien pour ceux qui le souhaitent. Vous y trouverez des T-shirts, sacs à dos, sacs banane, casquettes, gourdes... et bien d'autres produits, en série limitée, réservés à cette phase. Tout le monde peut donc contribuer au succès du paramoteur 2.0 du futur.

« PM+ » As-tu testé des choses que tu as abandonnées ? Si oui, lesquelles et pourquoi ?

Oui, je voulais tester le carénage d'hélices car il permet de réduire le bruit et d'augmenter l'efficacité propulsive. J'avais mis beaucoup d'espoir dans les hélices carénées et j'ai testé un profil de carénage de la NASA imprimé en 3D. Cela améliore effectivement le rendement propulsif de 15 à 20 % en poussée statique. C'est malheureusement insuffisant sur un paramoteur pour compenser l'augmentation de la traînée et de la masse d'un tel dispositif. Néanmoins, je conserve l'idée d'un cerclage intégral des hélices comme piste de développement futur.

J'ai également testé la possibilité d'une propulsion contra-rotative coaxiale. Là aussi, les résultats ont été décevants par rapport à 2 hélices « libres » déportées qui présentent le meilleur rendement propulsif pour les vitesses air d'un paramoteur ou d'un ULM pendulaire. De plus, les hélices contrarotatives iden-

Un habillage aérodynamique est en cours d'élaboration. Il aura un triple rôle : épurer le design des machines, améliorer la finesse et protéger l'électronique embarquée.



MECAFLY.com

boutique paramoteur

+ de 5.300 références !



accastillage, bougie, casque, headset, réservoir, hélice, huile, alti-vario, GPS, compte-tours, librairie, outil, parachute de secours, poignée de gaz, sellette, carburateur, visserie...

Le spécialiste des pièces détachées et accessoires pour le paramoteur.

Atom 80 - Black Bee - Black Bull - Cosmos 300 - M19, M21, M25 - Eole 135

Eos 100 & 150 - F 200 - Fly 100 - H&E R80, R90, R120, R125 - Master 185

Nitro 200 - PA 125 - RM 80 - Ros 100 & 125 - Snap 100 - Solo 210 -

Thor 80, 100, 130, 190, 200, 202, 250 & 330 - Top 80 - Tornado 280 - Ultra 130



tiques (c'est-à-dire sans pas variable) sur moteurs électriques ne tournent pas à la même vitesse. Il existe encore un couple moteur et, surtout, c'est extrêmement bruyant comme configuration.

J'ai également assez rapidement abandonné les châssis à base d'acier ou d'aluminium pour l'assemblage de la partie propulsive afin de me concentrer sur les fibres de carbone, qui présentent des avantages de masse et de résistance très intéressants en aéronautique. Les deux groupes moteurs actuels sont à base de carbone et certaines petites pièces d'assemblage sont en aluminium.

« PM+ » Quelles sont les prochaines étapes ?

Il y a encore beaucoup de travail et d'obstacles à franchir avant la mise sur le marché, le projet est ambitieux et on ne révolutionne pas une machine volante du jour au lendemain, mais j'ai confiance car, aérodynamiquement, le concept de l'appareil est performant. Toutes les aides et les bonnes volontés sont les bienvenues pour contribuer à ce projet.

Une étape très importante, les premiers grands vols, a été franchie, et ceci avec des moyens plutôt limités, compte tenu du domaine. Pour ceux qui connaissent l'échelle d'innovation TRL (niveau de maturité technologique de 1 à 10, 1 c'est l'idée, 10 c'est la mise sur le marché), le projet est actuellement entre TRL6 et TRL7, c'est-à-dire le fonctionnement d'un prototype proche du démonstrateur en environnement réel. Pour envisager la commercialisation, il faudra une phase de certification, de standardisation des machines, de production... Certains m'ont prévenu, sans vraiment connaître le sujet, qu'il est impossible d'avoir un paramoteur à deux hé-

lices. Or, j'ai suivi l'instruction ULM de février 2012 et nulle part il n'est précisé que la bi-motorisation était interdite en ultraléger motorisé. Il existe des contraintes de masse et de puissance maximales évidemment, mais on ne peut lire nulle part que deux rotors sont interdits.

Un Dragonfly n'a qu'une manette des gaz et un contrôleur de vol donne les consignes de puissance aux deux moteurs. Jamais le pilote n'aura à gérer la puissance indépendamment sur chacun des moteurs.

Il est néanmoins possible qu'il y ait des blocages réglementaires sur le concept Dragonfly tant il change d'un paramoteur classique. Chaque pays a sa propre réglementation. Par exemple, en Belgique, une cage intégrale de protection de l'hélice est obligatoire. Je pense que les règles doivent s'adapter aux évolutions technologiques et non l'inverse, sinon l'innovation est bloquée. Il y a 15 ans il n'y avait pas de réglementation aérienne pour les drones et il y a 5 ans il n'y avait pas la RGPD de protection des données personnelles.

Si la machine est sécurisée, et elle l'est, la réglementation l'acceptera même si cela prendra un peu plus de temps. Si tout va bien, j'espère pouvoir présenter le projet « physiquement » à la 50^e Coupe Icare en 2023 mais pour ceci, des partenariats seront nécessaires. Avis aux intéressés ! ☺

Pour suivre le projet ou tout contact professionnel :

Christophe Martz : + 33 (0)7 71 77 73 73, info@dragonfly-paramotor.fr
www.dragonfly-paramotor.fr
Boutique en ligne : <https://dragonfly-paramotor.myspreadshop.fr>