

Nicola MUNK

Le PROJET « JET SKY »

*ou l'histoire du taxi volant « made in France »
qui a inspiré les EHang chinois*



PROLOGUE

Le projet Jet Sky (initialement nommé Scoot'Air) est né en 2013 de l'observation des travaux de la société allemande E-volo, qui était parvenue à sustenter un prototype multirotors composé de 16 hélices d'aéromodélisme avec un pilote humain de 80 Kg pendant 1 minute et 30 secondes en octobre 2011. À l'issue de cette démonstration, les trois membres de cette société ont levé plusieurs millions d'euros pour financer la phase 2 de leur projet. L'avancée en termes de motorisation et alimentation électriques – notamment avec les vols d'avions électriques effectués par la société française Electravia ou à la vue des puissances actuelles des moteurs de modèles réduits – semblaient permettre d'obtenir des poussées intéressantes à poids, encombrements et prix réduits.

La motorisation d'un aéronef monoplace à décollage verticale (ou oblique) semblait donc pouvoir se faire en utilisant les plus gros moteurs disponibles pour les modèles réduits (le projet E-volo, lui-même étant basé uniquement sur des moteurs, hélices, contrôleurs et batteries issus du modélisme).

Vous trouverez dans ce livre :

- le cahier des charges initial, l'engin tel qu'il était conçu, prévu pour une utilisation privée
- l'historique du projet
- les détails des plans de l'engin et de sa motorisation
- les détails des premiers tests de poussée et de temps de vol



Fig. 1 – Prototype VC1 de l'engin allemand E-Volo

PARTIE I

Élaboration du Cahier des Charges

L'appareil dans sa version finale devrait être une plateforme VTOL (Vertical Take-Off and Landing) – pouvant prendre l'aspect d'un scooter, jet-ski, moto ou kart « volant » – et qui embarquerait un seul pilote équipé à son bord. La puissance unitaire des moteurs étant cependant faible, un système multiroteurs (tels que les tricoptères, quadricoptères, hexacoptères et autres drones) s'impose comme étant une solution réaliste. En outre, l'appareil final devra être ludique et sans danger, facile à piloter, facile à transporter.



Fig. 2 - Il y a toujours une part de rêve nécessaire dans ce genre de projet...

Voici donc le cahier des charges du premier taxi volant créé en France :

Quel prototype envisagé ?

Le prototype dans sa V1 avait pour but de démontrer qu'il est possible de sustenter un pilote humain en vol stationnaire stabilisé avec une motorisation électrique et un encombrement minimal à moindres coûts.

La poussée nécessaire

La masse totale du prototype en charge (moteurs, hélices, batteries, châssis, voilure fixe, patins et pilote compris) ne devait pas à priori excéder 150 Kg (en estimant qu'un pilote équipé pèse 90 Kg).

Quel comportement en vol et quelle évolution ?

Le prototype devait simplement permettre un décollage maîtrisé et une sustentation stable à une faible distance du sol.

Sécurité et homologation

- Les hélices devaient être carénées et protégées par des grilles de tranquillisation

Coût de fabrication du prototype

Les pièces détachées étant disponibles sur le marché du modélisme, le coût de construction totale du prototype (une plateforme volante télécommandée) ne devrait pas excéder 20 K€.

Historique du projet et configuration choisie

Une rapide présentation s'impose...Ingénieur de formation, en école, je n'ai pas fait une spécialisation en aéronautique mais en robotique. Comme bien d'autres ingénieurs des années 2000 j'ai bifurqué vers l'informatique de gestion puis vers la création de sites web. Cependant l'envie de réaliser un « hélico personnel », pratique, léger et facile à piloter m'a inspiré depuis mon enfance (influencé notamment par les BDs ou les films de SF. On peut évoquer les motos volantes dans la forêt dans Star Wars ou l'hoverboard dans Retour vers le futur).

Avec les récentes technologies issues du monde du modélisme (notamment les petits appareils que l'on appelle des drones), il devenait selon moi possible en 2014 de construire un tel engin à taille humaine, dans sa version la plus simple (une plateforme volante prenant la forme d'une moto ou d'un jetski ultraléger, agrémenté d'un cockpit de sécurisation). Le constat de base, à priori naïf et délirant pour certains, était de penser qu'il suffisait de partir d'un modèle de drone en modèle réduit (ou RC pour *Remote Control*, c'est-à-dire télécommandé) et de multiplier les grandeurs par 10 afin d'obtenir une poussée 10 fois supérieure et pouvoir ainsi voler aussi longtemps qu'un drone... la réalité s'avéra moins évidente... notamment pour le temps de vol ! En revanche, l'idée de multiplier les dimensions de motorisation, d'hélices et d'énergie n'était pas si folle en ce qui concernait la poussée.

La première étape du projet consista à analyser l'existant en termes de matériel disponible dans le monde du modélisme pour des engins « de grande taille » afin de viser les dimensions maximales que m'autorisait le matériel existant. Une seconde étape fut d'analyser la configuration utilisée par les ingénieurs allemands du projet nommé E-volo (j'avais tout intérêt à m'inspirer de ce premier prototype allemand qui semblait avoir déjà « un peu » fait ses preuves). Assisté de mon père, ingénieur électrotechnicien à la retraite, il m'a fallu acquérir des notions plus poussées en aéromodélisme (moteurs brushless, ESC (Electronic Speed Controller), batteries Lithium-Polymère dites Lipos, carte inertielle...) que je ne connaissais pas et des connaissances sur le fonctionnement de base des drones (quadricoptère, hexacoptère, tricoptère...) et surtout me former un peu à l'aéronautique générale (poussée, hélices, carénage, etc...). Ce premier travail de préparation et d'études, qui dura presque une année, m'a permis d'aboutir à une idée plus précise des moteurs, des tailles d'hélices et de la configuration de mon futur engin volant.

Vint alors la seconde phase. Ayant besoin d'avoir une validation de mes premières idées de configuration et surtout d'un endroit pour réaliser un prototype relativement imposant, je me suis adressé à l'ESTACA (la célèbre école d'ingénieurs en aéronautique à Levallois) qui m'a tout de suite donné son accord pour m'aider sur le projet. Je devais donc avoir une équipe composée de quelques élèves pour travailler à mes côtés. Hélas... Quelques semaines après m'avoir donné leur accord, la responsable des projets de l'ESTACA m'annonçait sans ambages que les 4 ou 5 élèves avaient été « réquisitionnés » pour un gros projet chez AIRBUS. Mon petit projet de taxi volant ne faisait plus le poids... d'autant qu'AIRBUS était bien évidemment un gros partenaire de cette école.

Je me suis alors rapidement tourné vers l'IPSA (une autre école d'aéronautique, moins connue et moins cotée) où je me suis vu confier une équipe de 4 élèves-ingénieurs en fin d'études. Les étudiants ont, dans un premier temps, étudié mes documents et mes plans de pré-étude puis ont planché sur le sujet pour finalement choisir et valider avec moi une des configurations que j'avais envisagée mais sans hélas apporter de véritables nouveautés, d'innovations ou une réelle plus-value.

Dans mon document de travail, de nombreuses pistes avaient été évoquées telles que la création d'un « tapis de turbines électriques » de type EDF : Electric Ducted Fan (diamètre 120 mm), vendues notamment par Hobby King (voir images ci-après) et qui fournissaient une poussée de 6 Kg chacune. Dans cette configuration abandonnée, les N turbines auraient été réparties tout autour du châssis par grappes. Le mauvais rendement de ces turbines et le fait qu'aucune grosse turbine ne soit disponible sur le marché en mode contrarotatif (nécessaire pour éviter que l'engin ne tourne sur lui-même) a mis un terme à cette option de configuration. Il a même été question de mélanger une configuration à « grandes » hélices avec ces petites turbines Ducted Fan pour ajouter de la poussée... Idée trop confuse, elle aussi abandonnée.

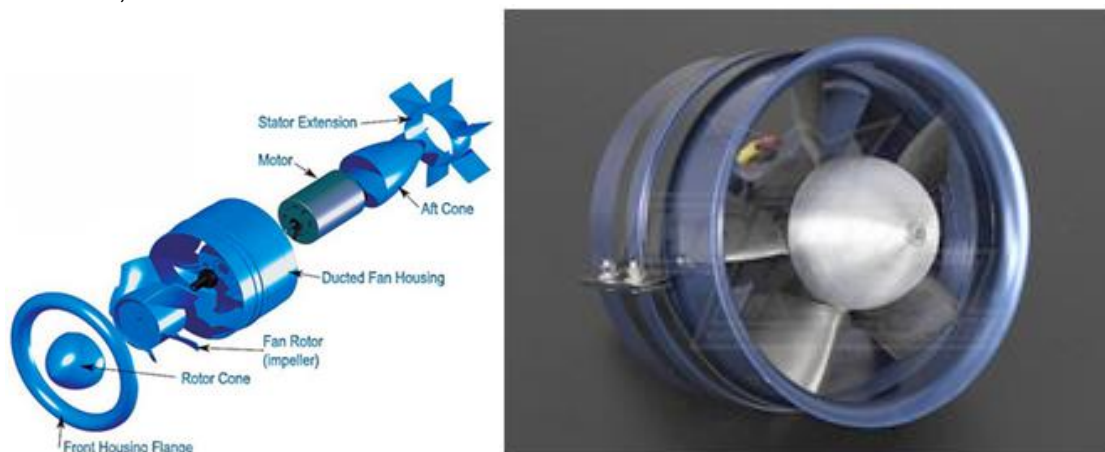


Fig. Turbine électrique Ducted Fan (EDF) - ALLOY DPS-2 – Diamètre : 120mm

Il fut aussi question d'aller vers une configuration en tricoptère (moins de moteurs mais moins de poussée à priori) :

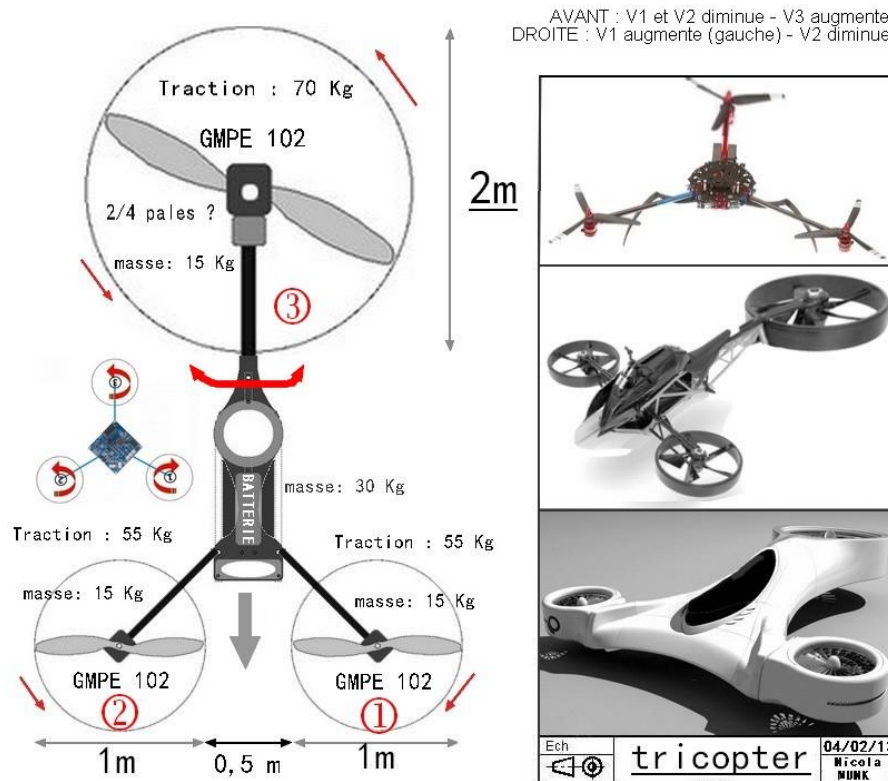
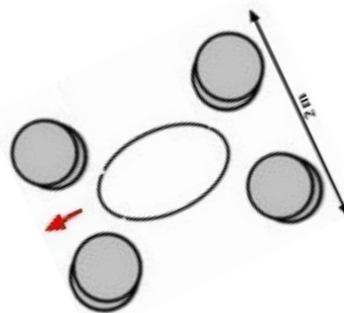
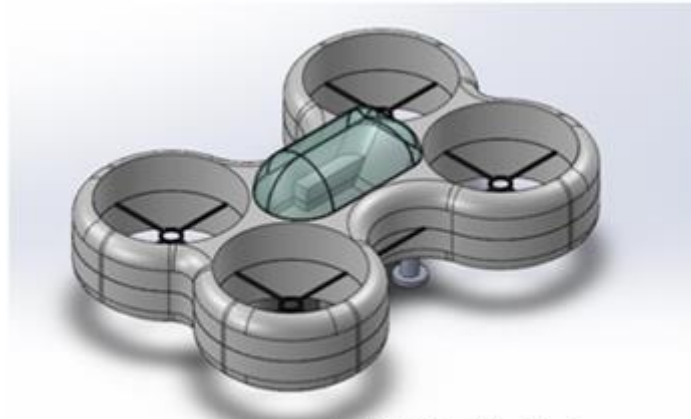


Fig. Une configuration en Tricoptère asymétrique envisagée

Après plusieurs réunions, réflexions, hésitations... nous avons enfin validé une configuration réaliste « moteur-esc-lipo-hélices ». Ainsi nous avons opté pour la configuration la plus logique, la plus équilibrée en « quadricoptère de type X8 », c'est-à-dire composée de 4 « pseudo-turbines » birotors (moteurs de 8KW et hélices de 85 cm de diamètre superposées 2 par 2) disposées en X sur un châssis d'environ 2 mètres de large sur 2,50 mètres de long. La configuration quadri X8 choisie permettant alors d'envisager ce genre de disposition pour le châssis :





(c) 2014 - N. Munk

Fig. Suggestion de châssis avec le carénage intégré des 4 turbines birotors



Fig. Une autre vision « plus fantaisiste » de l'engin « final » avec ses 4 turbines
On note bien ici que chaque turbine est constituée de 2 hélices superposées
qui tournent chacune dans un sens opposé

Le choix du matériel choisi fut dicté, d'une part, par le besoin de choisir des pièces rapidement disponibles en ligne et d'autre part, défini par des calculs plus ou moins précis car les essais et les calculs dans l'aéronautique, contrairement à ce que l'on croit, se font parfois « à la louche » malgré des calculs complexes et des valeurs très précises obtenues sur le papier... Par exemple, nous avons choisi un pas de 10 pour les hélices sans trop vraiment savoir pourquoi en réalité !

Afin de constituer une première pseudo-turbine de test (2 moteurs, 2 hélices, batteries lipo, ESC), j'ai pu commander en mars 2014 les pièces chez différents marchands en ligne (Hobby King CHINA, Hobby King UK et Fiala CZ pour les hélices dont une contrarotative qui a dut être réalisée pour nous sur mesure). De leur côté, les étudiants ont construit un banc de test vertical qui avait pour but de permettre de monter les moteurs et les hélices dans différentes configurations afin d'estimer la poussée unitaire selon les cas.

L'idée était donc de réaliser, dans un premier temps, une « pseudo-turbine » unitaire, d'en mesurer la poussée (et d'obtenir en passant le poids réel de l'ensemble avec les fils, les câbles...) et de voir si le nombre de 4 turbines autour de l'engin allait permettre d'obtenir la poussée nécessaire permettant de maintenir en l'air le châssis complet et un pilote !

Dans un souci de réalisme, les calculs de poussée nécessaire avaient été faits en considérant un pilote d'essai féminin habillé et casqué devant peser environ 60 Kg (et non un

homme pesant 80/85 Kg). Les analyses, les calculs et les diverses configurations testées nous ont amené à choisir une turbine birotors (2 hélices superposées de 85 cm placées en opposition, chacune étant motorisée par un moteur 10 Kw, l'ensemble se voyant entouré d'un carénage tubulaire). Ce choix ayant été fait afin de concentrer un maximum de poussée dans un minimum d'espace, tout en gardant la notion de sécurité (protection des hélices en latéral et possibilité de grillager le haut voire le bas de la carène).

Un second document détaille la configuration de cette turbine N°1 et tous ses tests. Ce document est disponible dans la partie 2 de ce livre.

Le matériel et l'outillage, pour réaliser « la turbine et le banc de test », m'ont coûté environ 2000 euros.

Avec nos ordres de grandeurs (vitesse, puissance, diamètre d'hélice, carénage), la théorie (Froude, etc.) nous laissait espérer une poussée de 50 Kg par turbine birotors.

Avec ce matériel, un ensemble châssis/pilote pesant alors 140 Kg environ (le châssis à vide – c'est à dire sans moteurs, hélices, batteries lipos, pilote - étant évalué à seulement 35 Kg).

Nous avons estimé que la poussée nécessaire devrait donc être de l'ordre de :

$$140 \text{ Kg} \times 1,5 = 210 \text{ Kg}$$

Pourquoi ce facteur 1,5 ? Parce qu'il semblait que c'était un facteur réaliste à appliquer pour avoir une poussée utile (pour contrer la pesanteur), un facteur 1 étant insuffisant et un facteur 2 étant a priori un peu excessif). Ce qui amenait à espérer et viser une poussée réelle par turbine d'un peu plus de 50 Kg lors des tests unitaires... **afin de pouvoir s'approcher des 200 Kg de poussée.**

Bien sûr, ce facteur arbitraire de 1,5 multiplié par la masse totale permettait au moins de faire décoller l'engin... mais quid du vol ?

Ces 50 Kg de poussée ne pouvait toutefois pas être atteints dès le premier essai car une poussée optimale dépend d'un bon nombre de facteurs à régler, tester, améliorer notamment quand il s'agit d'un système birotors caréné où en plus des paramètres classiques (diamètre d'hélice, pas, nombre de pales, largeur de pales, matériau de l'hélice, vitesse de rotation, etc...) viennent s'ajouter la distance inter-rotors, la forme du carénage, le poids du carénage, etc...

PREMIER TEST

Un tout premier test fut alors réalisé pendant une petite minute afin d'avoir une idée de la poussée réelle de nos deux hélices superposées. Nous avons commencé par des hélices qui se regardaient, distantes de 15 cm. Là encore la distance inter-hélices, bien qu'issue de calculs précis, avaient été décidée « à la louche »

Bien évidemment, la séance de test a été photographiée et filmée (disponible sur YouTube®).



Fig. Le banc de test, les 2 hélices en bois, disposées en regard (mode 2) et les 2 gros moteurs CA120



Fig. Nicola Munk et son équipe mesurant l'écart entre les 2 rotors sur le banc de test



Fig. Le test avec la bonne disposition des hélices (mode 1)
Les moteurs CA120 proches avec les hélices en opposition

Lors du tout premier test, les piles du dynamomètre ont été éjectées à cause des vibrations au bout d'une minute, impossible donc de voir la poussée générée ! Rageant ! Cependant le système fonctionnait bien et **le son était celui d'un véritable hélico au décollage** ! Très impressionnant !

Lors du second test, un ESC a brûlé après seulement une minute (car nous n'avions pas pris le soin de mettre un câble anti-retour et nous n'avions pas assez bien analysé en amont le fonctionnement de ces moteurs RC à très haute intensité). Top de précipitation et d'amateurisme.

Malgré ces déboires, nous avons cependant eu le temps d'atteindre une poussée mesurée de 40 Kg !

Cette valeur ayant été obtenue alors que nous étions en progression d'intensité (et non au max), que l'espace inter-hélices avait été décidé de façon arbitraire et que nous n'avions pas caréné les hélices.

Cette poussée furtive n'étant pas non plus significative puisque, privé d'ESC, nous n'avons pas pu tenter d'autres configurations (hélices en opposition - mode 1), hélices plus proches...) par la suite.

> Il faut aussi ajouter que les seules hélices que nous avons trouvées en paires CW et CCW (contrarotative) n'étaient pas d'excellente qualité (hélice de 85 cm, avec un pas de 10, en hêtre à bouts pointues : des profils inadaptés à un besoin de poussée verticale surtout en vue d'un futur carénage).

Nous n'avons donc pas pu refaire des tests supplémentaires à ce moment-là car l'ESC semblait irréparable, il fallait le faire réparer ou en commander un autre et donc attendre plusieurs semaines ! Nous avons un ESC pour 2 moteurs, or, il faut bien évidemment un ESC par moteur et on ne trouve évidemment pas ce genre de gros ESC dans des petites boutiques de modélisme, fussent-elles parisiennes.

Précisons que s'il vous prend l'envie de faire une construction de turbine de ce type, n'oubliez pas d'investir dans un grand grillage à maillage serré bien tendu pour vous

protéger – tout en vous laissant voir le montage - lors de la mise en marche. En effet, le vent généré ou les vibrations peuvent provoquer des expulsions de matériel (des vis ou autre) et pire encore un décrochement d'une hélice (même si la fixation des hélices est évidemment prévue pour éviter tout décrochement). Pour nos tests, totalement inconscients et pris par le temps, nous n'avions pas pris cette précaution. Par chance, rien n'a été projeté hormis une bâche qui traînait au sol... et les piles du dynamomètre, fixé entre le sol et le banc de test, qui ont sauté à cause des trop fortes vibrations.

On pouvait alors déduire de ces premiers tests qu'une poussée de 50 Kg restait parfaitement envisageable, en trouvant notamment la bonne distance inter-rotors, le bon pas d'hélice, le bon profil, le bon carénage, en utilisant du carbone et non du hêtre pour les hélices, en testant la turbine avec des hélices tripales ou quadripales qui étaient « peut-être » plus adaptées, etc... Il y avait donc encore un bon espoir coté « poussée »

Mais le gros doute concernait l'aspect « temps de vol » ! Lors d'un test, nous avons fait tourner un moteur avec une hélice et les lipos associées pendant 3 minutes max ! il fallait se rendre à l'évidence : le vol espéré de 10 minutes était donc illusoire !

Un décollage, vol et atterrissage étalés sur 5 minutes au mieux étaient envisageables avec les batteries lipos actuelles et le nombre de batteries qu'il était possible d'embarquer car ajouter des batteries signifiait ajouter un poids (donc un besoin de poussée) supplémentaire. Le chat qui se mordait la queue !

Mes nouvelles recherches devaient donc d'une part se concentrer sur l'optimisation de la turbine pour gagner en poussée et sur la fiabilisation/sécurité du système (un ESC qui saute au premier test n'est en rien rassurant quand on envisage de voler un jour avec ce matériel !) mais surtout, il fallait se pencher **sur l'optimisation (ou la modification) de l'alimentation des moteurs et donc du temps de vol car l'expérience (mais aussi les calculs sur papier) nous donnaient des temps ridicules !**

Ceci m'a mené jusqu'au mois de septembre 2014. Je souhaitais continuer l'aventure plus sérieusement, désireux de m'appuyer sur des professionnels et non plus sur des étudiants, qui pour certains étaient certes pleins de bonne volonté et m'avaient bien aidé dans la réalisation des tests mais qui avaient encore trop à apprendre pour être vraiment efficaces par la suite. En outre, l'école IPSA n'avaient pas forcément vu d'un bon œil ce projet « farfelu » qui sortait des rangs et des projets classiques confiées aux étudiants de 2^{ème} ou 3^{ème} année.

Dans cette optique je fis la connaissance d'un investisseur, spécialisé dans les drones et l'électronique embarquée, totalement emballé par le projet (les photos et les vidéos de la turbine ayant fini de le convaincre). Il me proposa un financement « par paquets » de 20 000 euros (pouvant aller jusqu'à **une aide de 100 000 euros** au total) en échange de parts dans la société que je devais nécessairement créer selon lui et en contrepartie de quoi je me trouvais dans l'obligation de faire des rapports tous les 15 jours sur l'avancement du projet. Ce qui est normal.

Je souhaitais poursuivre mes essais et mon étude mais n'étant pas du tout certain que le projet était viable (surtout en termes de temps de vol), étant encore en phase de test et non en phase de développement, je n'ai pas voulu donner suite à cette offre. Simplement par honnêteté.

Bien sur tout le monde m'a pris pour un fou de ne pas avoir accepté l'argent. Mais j'avais suffisamment critiqué E-volo avec leurs millions levés alors qu'ils avaient juste vendu « du vent » et tenu des promesses qu'ils devaient, tout comme moi, inéluctablement savoir irréalisables. Pour ma part, je cherchais plutôt, à ce moment précis, une équipe, prête à mettre une structure à disposition et un peu d'argent dans le commerce pour voir si ce projet était viable ou non ! Et voir comment il était possible de l'adapter pour gagner en temps de vol.

Dans le même esprit, j'aurais pu utiliser le *crowdfunding* ou tenter une levée de fonds (en faisant de fausses promesses comme les autres) mais j'avais avant tout besoin, par simple souci d'honnêteté, de savoir si un tel engin allait pouvoir voler, avec des batteries actuelles, sans avoir besoin d'attendre encore plusieurs années, ne serait-ce que **5 ou 10 minutes** !

Ainsi en octobre 2014, j'ai eu le plaisir d'être reçu par le directeur de Starbust Accelerator, un ingénieur Sup'Elec, dans ses locaux du 15^{ème} arrondissement de Paris, il a fortement apprécié mon concept et a immédiatement soumis pour moi le projet à l'**ONERA** (Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales situé à Palaiseau). La réponse de l'organisme fut quasi immédiate et sans équivoque :

« L'onera a lancé ce genre d'étude de faisabilité et **tant que les batteries ne vont pas gagner un facteur 10 en stockage** (ou tant que nous n'aurons pas les super capacités) ce n'est même pas la peine d'y penser sauf pour des amusements de 10 minutes à peine. À l'heure actuelle on vole avec du kérosène. Celui-ci a 44 à 46 Mj/kg en densité énergétique. On le brûle mal avec des rendements autour de 36%. Cela donne donc dans les 15 mJ/kg utiles ! Alors que les meilleures batteries sont à 2 à 2,5 mJ/kg. On pourrait donc certes voler en électrique mais on perd en masse transportée ou on perd en autonomie et la perte est de l'ordre de 7 fois ! »

À cette même période E-volo présentait enfin son nouvel « hélico » électrique (ou plutôt son nouveau leurre...) avec 18 hélices, tout blanc, sublime, flambant neuf : le E-volo VC200 avec une vidéo d'un très court vol à vide dans un gymnase fermé (bien à l'abri du vent donc) :



Fig. Le grand VC200... qui a uniquement volé quelques instants dans un gymnase sans pilote

Tout ça pour ça ? Il fallait se rendre à l'évidence, en 2015, E-volo **malgré les millions d'euros levés**, n'avait pas fait voler un pilote (même léger) dans ce nouvel engin optimisé (le pilote pouvant, malgré tout, être dans le cockpit en termes de poussée mais le temps de vol aurait été encore plus ridicule). Cet hélico à 16 hélices volait parfaitement (avec une bonne stabilité apparente dans une zone à l'abri du vent et ne faisait presque pas de bruit). Le souci était, encore une fois, qu'il était télécommandé depuis le sol et non piloté mais surtout qu'il volait très peu de temps dans des conditions pourtant optimales !

Nos propres calculs de temps de vol théoriques (10 minutes) et expérimentaux (3 minutes) mais aussi l'information fournie par l'Onera, les pannes lors des premiers essais ainsi que le triste constat sur le projet allemand E-volo qui n'avait finalement réussi à faire voler qu'une belle grosse maquette-grandeur m'incitaient à abandonner ou à envisager une toute autre approche.

Ainsi, en mars 2015, j'ai commencé par me débarrasser des deux gros moteurs électriques CA120 achetés pour les tests ainsi que des contrôleurs et des batteries lipos... qui ne me servaient plus à rien de toute façon. *Le bon coin* a eu raison de ce matériel dès le premier jour de l'annonce... le tout fut revendu pour 300 euros seulement. J'ai toutefois conservé les deux hélices en bois de 85 cm... en souvenir comme un vieux marin qui accroche l'hélice de son bateau au mur ! L'heureux acquéreur des moteurs était un professeur de mécanique enthousiaste qui construisait des skate-boards motorisés avec ses élèves. Avant de payer, il a tout naturellement testé devant moi les lipos que je lui proposais avec les moteurs. Ce contrôle nous a permis de constater qu'une des batteries lipos 6S était totalement HS... N'ayant pas servi depuis les récents tests, ce pack lipo était donc HS au moment du test ! Je me souvins alors que l'un des élève-ingénieur « distrait » avait par mégarde relié les 2 pôles pendant une fraction de seconde alors qu'il était en train de souder les 2 packs 6S en série... ce qui avait provoqué une énorme étincelle ! Et une belle frousse pour le jeune étudiant suivie d'une belle engueulade de ma part ! Une question se posait alors : « *est-ce qu'une batterie lipo qui ne sort plus de jus peut toutefois conduire le courant si elle est montée en série avec une autre lipo ?* » A priori oui (en tous cas pour cette fois) ! Ou alors, le court-circuit a eu raison de la lipo après coup... elle a un peu tenu avant de mourir quelques heures plus tard ? (je ne m'y connais finalement pas assez en batteries pour avoir une idée précise de la chose). Cependant, on dirait bien que le pack de lipos « grillé » se soit transformé en conducteur basique. Cela signifie que nous avons peut-être un des deux moteurs qui ne tournait qu'en 6S (alors que l'autre tournait bien en 12S...) ce qui sous-entend que d'une part nous étions peut-être déphasé (avec des vitesses différentes) et surtout que nous n'étions en totalité qu'à 75% de la puissance totale et non à 100% pour obtenir tout de même plus de 40 Kg de poussée.

Ce qui laisse un petit espoir supplémentaire pour **obtenir sans trop de changement la poussée nécessaire de 45/50 Kg par turbine**. Il resterait toutefois à optimiser :

- la synchronisation de rotation des 2 hélices
- le matériau, la taille et la forme des hélices (largeur, longueur, pas, etc...)
- le carénage (forme, hauteur...)
- la distance inter-rotors et bien d'autres critères...

Mais en revanche, cette information ne laissait pas vraiment de nouvel espoir concernant le temps de vol potentiel... qui malgré cela (avec 25 % de lipo en plus) resterait dans tous les cas bien trop court. **Nous ne pourrions guère espérer « voler » plus de 5 minutes** (d'autant qu'il fallait compter le temps de décollage et de l'atterrissage).

En 2015 (et pour les dix années à venir), l'option 100% électrique ne semblait donc pas encore viable pour du VTOL dans le monde entier – en termes de durée de vol et non en termes de poussée – une autre approche allait alors être d'envisager une bonne vieille motorisation thermique tout en conservant l'idée des « pseudo-turbines carénées » réparties autour du bâtiment (en mode tricoptère Y6 ou quadricoptère X8). Dans cette optique, il allait falloir envisager d'utiliser, par exemple, des moteurs 125^{cm³} « légers » (équivalents de nos 8 Kw) sachant qu'il faudrait étudier par la suite les solutions (plus complexes qu'en électrique) permettant de réguler et de synchroniser via une centrale inertielle les vitesses de chaque moteur thermique... Pour des raisons de poids et d'encombrement, il faudrait idéalement un seul gros moteur par turbine permettant de faire tourner à la fois les deux hélices, une en CW et une autre en CCW. De plus, contrairement aux moteurs RC électriques, ces moteurs à essence ne s'achètent pas en ligne en quelques clics sur le site Hobby King pour quelques centaines d'euros... et n'arrivent pas en quelques jours dans un colis postal.

Si le but principal reste de voler en VTOL unipersonnel (décollage vertical), il est envisageable d'abandonner non seulement l'électrique mais aussi la configuration « drone » pour revenir vers une forme de gyrocoptère ou d'hélicoptère birotors miniature sur le modèle

des études japonaises *HiRobo* ou *Gen-H4* (muni de 4 petits moteurs) qui étaient elles aussi à l'état de projets ou de prototypes en 2015 :

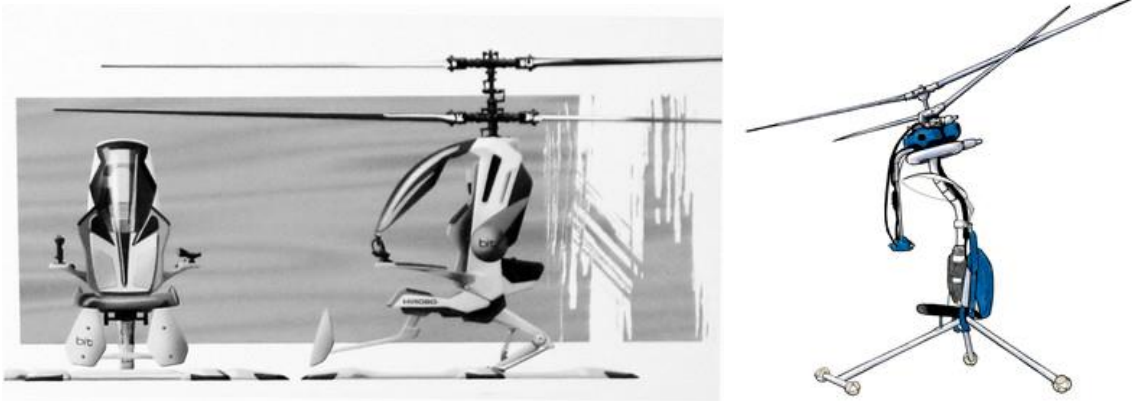


Fig. Les hélicos unipersonnels HIROBO et GEN-H4



Fig. Une autre forme d'hélico personnel proche du Hirobo

Le projet *JET SKY* qui consistait à créer un engin à décollage vertical personnel n'est donc pas vraiment mort ou abandonné, ce projet a simplement été mis en « stand-by » depuis la fin de l'année 2015. Cette même année 2015 qui avait par ailleurs vu l'apparition de nouveaux « concurrents électriques » comme ce canadien qui vole sur son dangereux Hoverboard au-dessus d'un lac :



Fig. Hoverboard – Un Octocopter, made in Canada

ou encore le projet Flike, proche de la première configuration en tricoptère envisagée pour le JetSky, qui a volé en 2015 avec un pilote **pendant 1 minute et 30 secondes** mais sans grande stabilité :



Fig. Flike - Tricoptère X6 en Hongrie

Ces autres beaux projets prouvent tous – tout comme le projet jet Sky – que l'on peut voler en électrique mais **ils montrent également tous les mêmes limites de cette motorisation en termes de temps de vol.**

Le projet Jet Sky (avec tous les plans et le détail des tests matériels) a finalement été mis en ligne par mes soins (notamment sur Amazon fin 2015) afin d'aider toutes personnes désireuses de réaliser ce genre d'engin multiroteurs basés sur les configurations de drones grandeur nature... une façon de passer le relais, en quelque sorte.

Ironie du sort, en 2016, un an après la mise à disposition gratuite de mes plans en ligne sur Internet, on voyait apparaître le prototype du futur « taxi volant » de Dubaï conçu par une équipe chinoise :



Fig. L'hélico électrique chinois EHANG 184 en 2017

Après avoir publié gratuitement nos travaux sur le net, nous avons retrouvé notre configuration exacte dans les fameux EHANG, configuration qui est exactement la même que celle du projet Jet Sky : un quadri de type X8 birotors avec les mêmes 8 moteurs CA120... disposés en mode 1 et les mêmes dimensions d'hélices. Une structure qui n'est pas non plus sans rappeler l'un des croquis proposés dans le document de pré-études intégré dans le document complet que j'avais publié sur le net en 2015 :

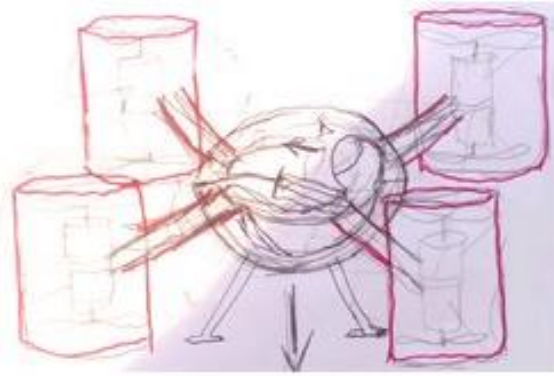


Fig. Exemple de croquis pour une configuration que j'avais proposée en janvier 2014, très proche du eHang...

Il ne manque que le carénage et nous aurions une copie parfaite du projet JetSky !

Voici ce qu'a dit la presse au sujet du eHang : « *Annoncé depuis février 2017, personne ne l'a jamais vu voler... et pourtant ce drone semble fortement intéresser Dubaï* »

Finalement, à la fin 2018, un eHang, en version octocoptère 2x8 hélices, a embarqué deux passagers à 130 Km/h à 300 m d'altitude, sans toutefois préciser, là encore, le temps de vol réel qu'autorise cette machine... mais ce n'est certainement pas plus de 10 minutes... Ce qui nous ramène à la phrase du responsable de l'ONERA : « *En électrique, ce ne peut être qu'une configuration pour un amusement* » car voler 10 minutes, si cela est possible (ce qui reste encore à prouver car aucune vidéo dite « de démonstration » ne dure encore 10 minutes, surtout avec un pilote) n'est évidemment pas suffisant pour un hélico personnel, un taxi volant, une moto volante... digne de ce nom. Car n'oublions pas qu'il faut : décoller verticalement, monter, voler, redescendre et atterrir verticalement.



Fig. Le eHang dans sa V2, autre configuration envisagée dans la pré-étude JetSky publiée en 2015

Les projets sortis après 2015

Depuis le projet e-volo en 2013 en Allemagne et le projet Jet sky en 2014 en France, en plus du eHang chinois évoqué ci-dessus, de nombreux projets similaires ont vu le jour partout dans le monde à partir de 2016. On soulignera qu'en 2016, le français Airbus a démarré un projet de « taxi volant » (nommé Vahana) équipé de 8 rotors. Le vol de test a duré... 56

secondes ! Airbus parle de commercialiser cet engin vers 2020. Boeing est aussi dans la course au taxi volant.



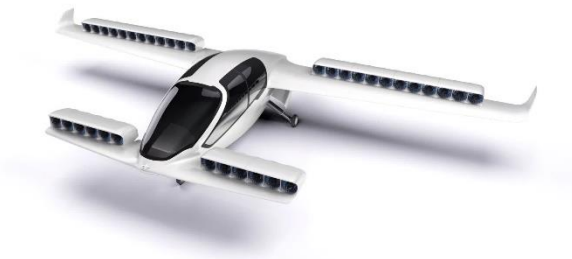
L'hoversurf : Vol dans un stade, véritable hachoir volant... et durée de vol très limitée, une fois encore...



Koncepto Milenya - avec un vol de 5 minutes max annoncées



BackFly en 2018



Lilium en 2018



NEXUS - Le taxi volant de UBER (conçu par BELL en 2019). Vol prévu en 2023...



Jetson Speeder prototype PAV (personal air vehicle) – Quadri X8 en 2019

On peut aussi évoquer le projet du français Francky Zapata et son FlyBoard (vu à Paris lors du 14 juillet 2019) qui vole à peine 10 minutes (à grande vitesse) avec une structure légère, sous ses pieds, alimentée en kérozène et non en électrique.



Le **Flyboard** thermique de F. Zapata

PARTIE II

LA FABRICATION D'UN PROTOTYPE DE « PSEUDO-TURBINE »

Cette partie du livre contient la description de la construction de la première turbine de tests (plans, achats, construction, photos, tests).

1) CONFIGURATION CHOISIE POUR LE PROTOTYPE DE TURBINE DE TEST

Drone de type Quadricoptère X8, composée de 4 turbines birotors (4 x 2 hélices contrarotatives superposées)

Motorisation prévue pour l'engin complet :



4 turbines composées chacune de 2 moteurs superposés.

Moteurs choisis : Turnigy CA120 - 10Kw - **6600 tr/min à vide en 12S**
(2 moteurs commandés en ligne chez HobbyKing UK et livrés en une dizaine de jours)

8 Kw en continu et 4000 tr/min environ une fois l'hélice montée

Poids : 2,7 Kg par moteur

Prix : 400 € par moteur (en 2014)

Hélices :



4 x 2 x 34"x10 - 1 PUSHER - 1 PULLER (achetées en ligne chez Fiala Cz, la CCW a été faite sur mesure étant disponible de base uniquement en rotation horaire classique)

> Hélices bipales **85 cm** en hêtre avec un pas de 10
(idéalement il aurait fallu un matériau composite plus léger et plus adapté)

Poids d'une hélice en hêtre : 460 g

Prix : 65 € par hélice



Il a été notamment envisagé de couper les pointes pour mieux épouser la paroi du futur carénage

NOTA BENE : après un premier test, constatant la facilité avec laquelle l'hélice démarrait, **nous aurions pu utiliser facilement des hélices de 95 cm** sans aucun souci de couple au démarrage tout en n'atteignant pas le mur du son puisqu'on aurait eu alors une vitesse de 313 mètres par seconde à 6600 tr/min (vitesse max du moteur à vide). Nous aurions gagné ainsi 3 ou 4 Kg de poussée !

Alimentation du système :

2 packs 6S montés en serie pour avoir nos 12S par moteur
(Turnigy nano-tech A-SPEC G2 4250mah 6S 65-130C)

Poids des 2 packs 6S : 2x663g = 1,32 Kg

Le but était par la suite de parvenir à faire évoluer le rapport mAh-facteur C / Poids

Prix : 160 € le pack série 6S+6S (pour alimenter chaque moteur en 12S)



Fig. Un de nos pack Lipos 6S

Contrôleurs de vitesse (ESC) :

ESC 300A - Turnigy Fatboy V2 300A ESC 4~15S (OPTO) – un ESC par moteur

Poids : 406 g x 8

Prix : 150 € par ESC



Fig. Un de nos ESC 300 ampères qui a grillé lors du test

Essai de la pseudo-turbine sur banc de test

Poids d'une pseudo-turbine (birotor) complète sans la ou les barre(s) transversale(s) de fixation, sans le carénage et sans les grilles éventuelles de protection
=> 2x2730 g (moteurs) + 2x332 g (bipales en hêtre) + 2x406 g (ESC) + 4x663 g (lipos 6S) + câbles/visserie = **10 Kg/11 Kg**

Calcul prévisionnel de poussée :

MOTEUR CA120 TURBINES ALLOY DSP2	Nbre hélices	Poussée réelle hélice	poids de 1 moteur +hélice	Poussée prévue *	Nbre de packs		Poids pilote	Poids chassis	Masse totale moteurs hélices chassis pilote	Poussée utile (masse x1,5) *	delta poussées *	prix (€) (moteurs + hélices + esc + lipos)	Poids sans pilote et sans chassis
					lipos 12S	Poids d'un pack lipo 12S							
quadri "X8" 8 x 85cm - 2-2-2-2	8	26	4	208	8	1,60	60	35	139,8	209,7	-1,7	7200	44,8
4 pseudo-turbines bi-rotor	4	50	8	200	8	1,60	60	35	139,8	209,7	-9,7	7200	44,8

Ce tableau théorique indiquait un manque de 10 Kg de poussée si le facteur 1,5 choisi plus haut s'avérait être le bon avec des hélices de 85 cm (qui se sont avérées trop courtes puisque 95 cm passaient parfaitement en termes de couple, d'encombrement et de vitesse du son)

Détails des paramètres du tableau EXCEL ci-dessus :

Estimation basse de la poussée (sur la base de 65% de la formule de Froude) avec un Turnigy CA120 monté avec une hélice de 85/86 cm (34") => 26 Kg de poussée ou une pseudo-turbine birotors 85 cm => 50 Kg

Un ensemble moteur+hélice+esc+visserie/câbles = 2730+400+406+500 = 4 Kg environ
On considère ici un châssis d'environ 35/40 Kg (qui intègre les 4 carénages, la carte, les câbles, la visserie, les patins, le siège...)

La masse à sustenter (châssis+pilote+motorisation) étant de 140 Kg (on en déduit que la poussée utile par pseudo-turbine doit être de $(140 \times 1,5) / 4 = 52 \text{ Kg} !$

Coût de fabrication :

On peut arrondir le prix à 600 € pour un ensemble « moteur (400 eur) + ESC (150 eur) + hélice (65 eur) »

Soit 1200 euros environ pour une turbine birotor/bimoteurs (tarifs 2014)

Il faut de plus compter 1 pack lipo 12S (ou 2x6S) par moteur = 160 euros

2) Résultats des tests avec cette configuration sur banc de tests grandeur nature

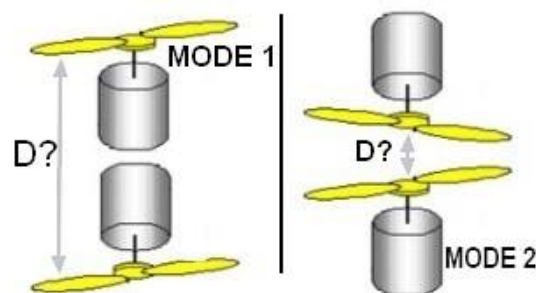


Fig. différentes dispositions des hélices et des moteurs

Pour ces premiers tests, le « MODE 2 » de la figure ci-dessus a été choisi

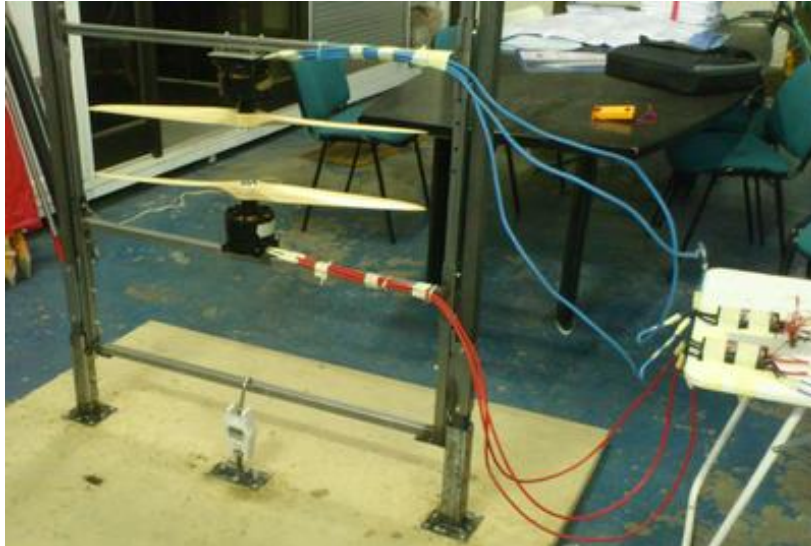


Fig. Le banc de test avec ses 2 moteurs et ses 2 hélices qui se regardent. À droite, on voit les 2 ESC qui commandent les moteurs. En bas, accroché au sol, le dynamomètre.

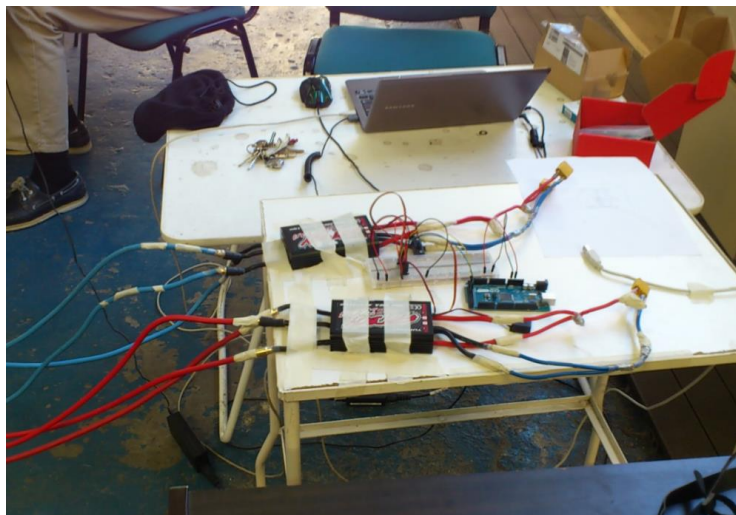


Fig. Les 2 ESC, la carte permettant de se connecter à l'ordinateur qui génère les impulsions progressives

DÉROULEMENT DES TESTS

- test initial avec une seule hélice Fiala pour valider le montage alimenté en 6S en //
 => Rotation ok, poussée hélice seule en 6S : 11-12 Kg => durée : 3 minutes max.

- test avec 2 hélices en série, moteurs alimentés chacun en 12S - en « mode 2 », les hélices étant à **une distance de 15 cm**

Poids du banc de test avec les moteurs : 15 Kg

=> lors de ce test, il y a eu hélas un arc de courant (nous n'avions pas géré le non-retour par une diode ou autre) du coup nous avons eu un ESC Hors Service... Le dynamomètre ayant affiché 19,9 Kg, soit **une poussée réelle de 40 Kg environ** (en comptant le poids du système moteur).

=> beaucoup de bruit, de fortes vibrations (quelques vis usine de fixation du moteur perdues ou délogées à cause des vibrations !)

N'ayant plus qu'un ESC, nous n'avons donc pas pu tester les 2 hélices disposées en opposition (MODE 1) - qui semblait pourtant être la disposition la plus évidente - ni le gain obtenu avec le carénage en aluminium qui était prévu. Par la suite, l'idée était de s'inspirer de la technologie des turbines militaires, pour se rapprocher des concepts actuels des drones de type HoverEye ou iStar :



Conclusions issues de ces premiers tests :

- poussée max obtenue avec une turbine birotors sans carénage : **40 Kg pendant 1 minute**
- beaucoup de vibrations et trop de bruit
- les hélices 34" (85 cm) ont été parfaitement supportées (poids/couple) par les moteurs
=> possibilité de mettre du 905 cm ou même du 1m en carbone voire plus (mais attention à la taille finale de l'engin => encombrement et surtout au **mur du son** qui est approché avec cette taille d'hélice !) => du 905 cm et du carbone nous aurait certainement permis de gagner 5 Kg de poussée.
- une taille + grande d'hélice permettait peut-être d'envisager de revenir à une configuration de type tricopter X6
- il restait à connaître le gain de poussée (vs poids supplémentaire) qu'amènerait un carénage (le carénage + grille amenant en outre une sécurisation nécessaire)
- le système lipo-esc-moteur du modélisme semble peu fiable à de tels niveaux de puissance => il est donc important de mieux étudier la théorie et l'utilisation des éléments (lipo, esc, brushless...) et de fiabiliser les montages (fusibles, diodes anti-retour, couplage anti-arc électrique...)
- **sécurité lors des tests** : il faut impérativement protéger (grillage à maillage serré) le champ de tests car les vitesses et les vibrations intenses peuvent rapidement amener des projections de pièces, de vis ou de débris d'hélices - voire l'hélice tout entière !

CONCLUSION

Le projet JetSky et tous les projets similaires nous montrent bien que l'envie de créer un appareil (voiture, scooter, taxi, hoverboard) volant, personnel, léger, pratique et de type VTOL... anime de nombreuses personnes dans le monde et cela prouve qu'il y aura sûrement un marché (même grand public) pour ce genre d'engins dans les décennies à venir ! La voiture volante ou le scooter volant n'ont certainement pas dit leur dernier mot ! Il faudra sûrement attendre que les technologies en termes d'alimentation évoluent afin que l'on puisse gagner en rapport (Poids + encombrement)/Puissance. Les batteries lipos ne pourront du reste pas faire de miracles, il faudra trouver une source d'énergie plus innovante (pile nucléaire ou autre). Mais, au risque de paraître défaitiste (ou trop réaliste ?) nous aurons beau tous tenter de réduire au maximum le poids du châssis (comme l'a fait F.

Zapata avec une simple plaque sous ses pieds posées sur deux turbines ou en envisageant une armure à propulsion façon Iron Man), le problème du temps de vol restera l'unique et véritable point bloquant avant de prétendre pouvoir vraiment voler en électrique en partant de notre jardin pour aller faire les courses à 10 minutes de la maison... En 2050 peut-être, quand une nouvelle source d'alimentation aura vu le jour sur le modèle de la pile atomique par exemple...

Toute personne (éditeur, ingénieur, journaliste, investisseur...) souhaitant en savoir plus sur ce projet et désireuse de me contacter pour discuter est la bienvenue !

Vous pouvez m'écrire à l'adresse suivante :

nicolas.munck75@orange.fr