

**2013
Aix-En-Provence**

Accès Libre

Prototypage drone

Conception, fabrication, essais



SANITAS Antonin

RESUME

Aujourd'hui le marché des drones civils est en pleine expansion. Ces aéronefs télé-pilotés offrent déjà nombreuses applications notamment dans le domaine de l'observation aérienne : photographie, vidéo, surveillance, contrôle d'infrastructure ...

L'entreprise STUDIA travaillant avec de nombreux secteurs industriels voit dans les drones offrant un marché porteur pour le développement du groupe. A cette fin, l'entreprise a besoin d'une base volante de démonstration attestant de la validité du projet et donnant les éléments pour la rédaction d'un cahier des charges optimisé.

Ce projet de création réalisé en binôme avec Sébastien VANSON (également élève ingénieur aux Arts et Métiers d'Aix-en-Provence) s'est déroulé en plusieurs étapes:

- Etude de marché et validation de cahier des charges
- Choix de la solution technique
- Choix des composants
- Conception, fabrication et essais du pré-prototype
- Modification du cahier des charges
- Conception, fabrication et optimisation du prototype final
- Validation et conclusion de l'étude

A l'issue du stage nous avons pu présenter le prototype en vol et nos conclusions pour des évolutions futures du projet de drone de l'entreprise STUDIA.

SOMMAIRE

<i>Résumé</i>	3
<i>Sommaire</i>	5
<i>Présentation de l'entreprise STUDIA</i>	7
Le groupe	7
Evolution du groupe.....	8
Implantations	9
<i>Présentation de la mission</i>	10
<i>Déroulement et activités réalisées</i>	11
Etude du marché et de validation de cahier des charges.....	11
étude du marché des drones	11
Etude de la réglementation.....	13
Validation du cahier des charges.....	14
Choix de la chaine de commande et d'énergie	15
Choix de la configuration du convertible	18
Etude des convertibles existants.....	18
Système de sustentation verticale.....	20
Configuration des surfaces portantes	21
Choix de l'Agencement global.....	21
Conception, fabrication et tests de la structure quadricoptère	23
Dimensionnement des moteurs et des hélices	23
Essai de poussée	24
Fabrication de la structure de test.....	26
Résultats des essais	27

Amélioration du prototype	28
Conclusions sur les incidents lors des essais.....	29
Dimensionnement de la structure d'aile	29
Test en vol avec carenage	30
Modification du cahier des charges	31
Conception et fabrication du prototype final	31
<i>Bilan de la mission</i>	43
Résultat final	43
Bilan.....	45
Voies d'évolution.....	46
En gardant le même concept	46
En changeant de concept	48
<i>Conclusion personnelle</i>	48
<i>Glossaire</i>	49
<i>Bibliographie</i>	50
<i>Annexes</i>	51
Annexe 1 : Proposition de stage	51
Annexe 2 : Cahier des charges initial	52
Annexe 3 : Choix de type en fonction de la Réglementation	53
Annexe 4 : Schéma de dimensionnement de l'aile volante	54

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE STUDIA

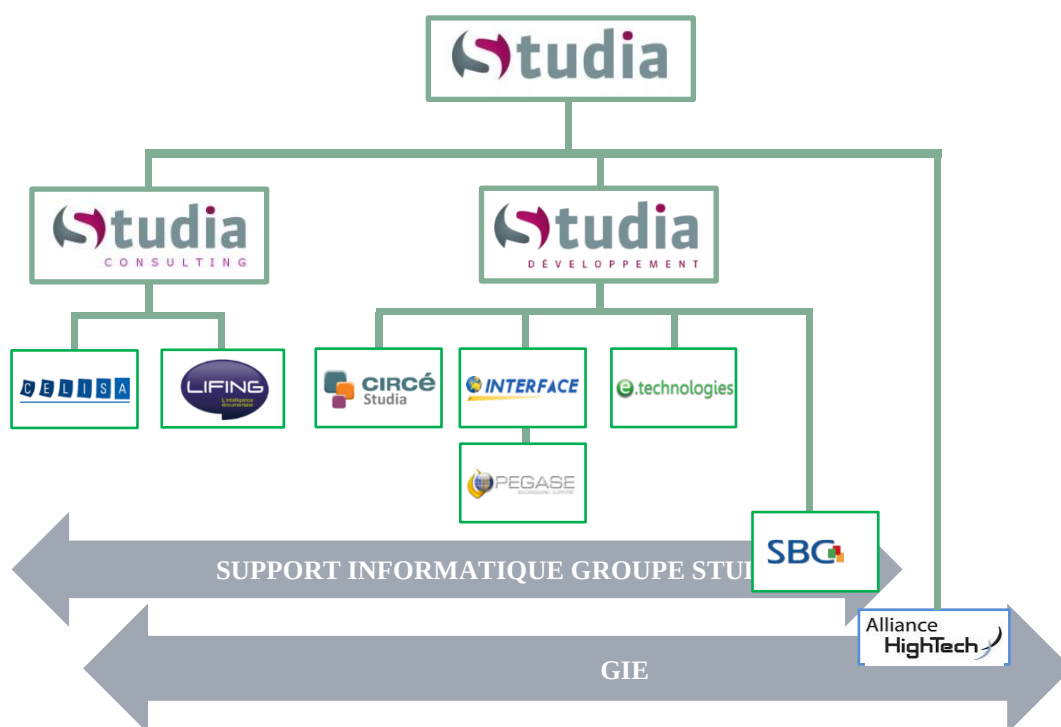
LE GROUPE

STUDIA Développement fait partie du groupement d'intérêt économique Alliance High Tech.

Alliance High Tech est composée de CELISA, LIFING, ALTERNA, INTERFACE, E-TECHNOLOGIES et est organisée de la manière suivante :

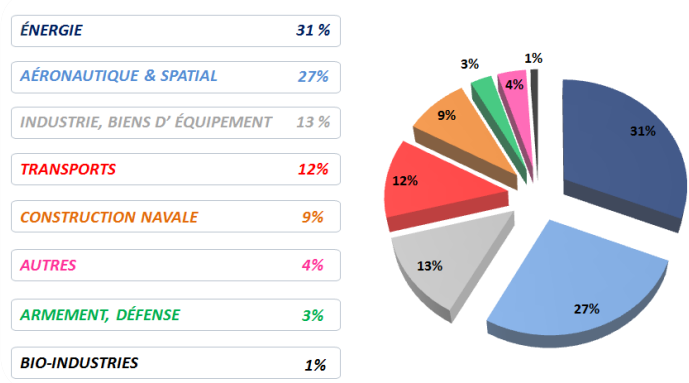
Studia Développement est un groupe E-TECHNOLOGIES, INTERFACE SAS, SBC et LIFING.

Le GIE été créé en 2009 à l'initiative de Marc DECOBECQ, et ses entreprises sont spécialisées à divers niveaux dans le traitement de l'information, la gestion du patrimoine documentaire et l'ingénierie documentaire.



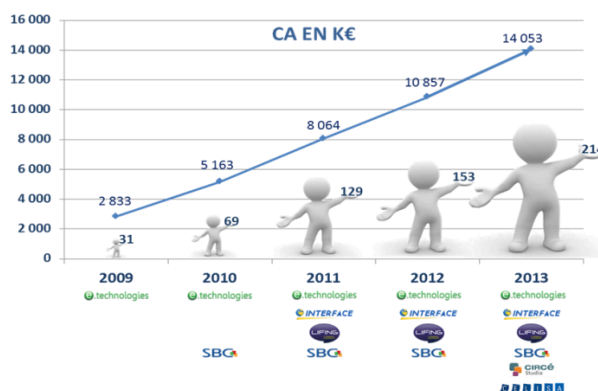
- **E-TECHNOLOGIES** : Créée en 1992, cette entreprise est orientée management de l'information.
- **INTERFACE** : Créée en 1991, elle est spécialisée dans l'ingénierie documentaire, ingénierie process et produit, management de projet et traduction/interprétariat.
- **LIFING** : Créée en 1990, accompagne les PME/PMI tout comme les grands groupes industriels et les institutions dans l'organisation et le traitement de gisements d'informations.
- **SBC** : Créée en 1985, propose le conseil, la vente, l'installation et la maintenance d'infrastructures informatiques.

Répartition de l'activité par secteur industriel



EVOLUTION DU GROUPE

STUDIA est actuellement un groupe en pleine expansion qui a vu son chiffre d'affaires connaître une très grande croissance et son effectif passer de 31 à 214 employés depuis sa création.



IMPLANTATIONS

Le groupe STUDIA est implanté essentiellement en France, son siège social est à Meyreuil, où nous avons effectué notre stage.

Sites d'implantation des sociétés du groupe STUDIA



PRESENTATION DE LA MISSION

La mission du stage est la validation d'un nouveau concept de drone et la réalisation du premier prototype opérationnel (Voir Annexe 1 : Proposition de stage), ainsi que la création d'une entreprise dans le cadre du groupe STUDIA si le projet est concluant.

Le but est de concevoir un drone convertible (décollage vertical et vol horizontal) et résistant aux crashes. Le drone doit pouvoir décoller et atterrir dans une zone réduite tout en augmentant la vitesse, la distance parcourue et en réduisant la consommation énergétique.

L'aspect esthétique, la solidité et la simplicité d'utilisation sont les critères principaux de la réalisation du projet à visée commerciale : un des points faibles des modèles actuels de drone est leur fragilité : nécessité de remplacer les pièces à la suite de crashes.

Afin de structurer ces différents critères, nous avons établi le premier cahier des charges (Voir Annexe 2 : Cahier des charges initial) avec les associés à l'origine du projet, Paul PEREZ, Robert TOUZET et Marc DECOBECQ.

DEROULEMENT ET ACTIVITES REALISEES

ETUDE DU MARCHE ET DE VALIDATION DE CAHIER DES CHARGES

ETUDE DU MARCHE DES DRONES

Les drones actuellement commercialisés ont uniquement des missions d'observation (photographie/ vidéo / surveillance) et sont principalement de trois types :

- Multicoptère/hélicoptère
- Avions
- Aérostats.



DRONES HELICOPTERE OU MULTICOPTERES

Ce sont les drones les plus courants : ils peuvent aussi bien rester en stationnaire avec une grande stabilité que suivre un objet/personne en déplacement. Equipés de nacelles vidéo stabilisatrices leurs applications actuelles sont :

- le loisir
- le cinéma
- les reportages télévisés
- la photographie aérienne
- la surveillance
- le contrôle d'infrastructure.

Leur point faible est leur manque de charge utile et d'autonomie (environ 15 minutes).

Leur architecture est assez semblable quels que soient les constructeurs. Globalement on retrouve des hélicoptères ou des quadricoptères/héxacoptères/octocoptères. Ils emportent un équipement de 500g à 4kg selon leur taille. Leur prix varie de 250€ pour le loisir à plus de 30000€ pour les professionnels.

Drone de loisir Dji Phantom



Drone professionnel sur mesure Rc-Tech



DRONES AVIONS

Moins courant que les multicoptères les drones avions permettent la surveillance sur de longues distances (gazoducs, frontières ...) et/ou de longues durées. Leur point fort est leur autonomie mais leur gros inconvénient qu'ils ne peuvent pas tenir un vol stationnaire et rendent donc impossible le contrôle d'un point précis.

Drone de surveillance Delair-Tech



DRONES AEROSTATS

Ces drones souvent captifs (reliés au sol par un câble) ont une autonomie quasi « infinie » et sont utiles pour la surveillance de sites ou d'événements fixes. Leur point fort est leur grande charge utile mais leur faible mobilité leur donne peu d'applications.

ETUDE DE LA REGLEMENTATION

La France est actuellement un des rares pays ayant une réglementation précise dans le domaine des drones. Les aéronefs télé-pilotés sont régis par l'arrêté du 10 mai 2012. Ce texte regroupe les drones en sept catégories différentes selon leurs performances et l'utilisation. Il existe deux grands types :

- les drones de loisirs : ouverts aux néophytes
- les drones professionnels : le pilotage nécessite la licence théorique de pilote ainsi que l'autorisation de vol en préfecture

Pour pouvoir faire un choix en fonction de la réglementation nous avons établi un tableau résumant les catégories et scénarios possibles (Voir Annexe 3 : Choix de type en fonction de la Réglementation).

VALIDATION DU CAHIER DES CHARGES

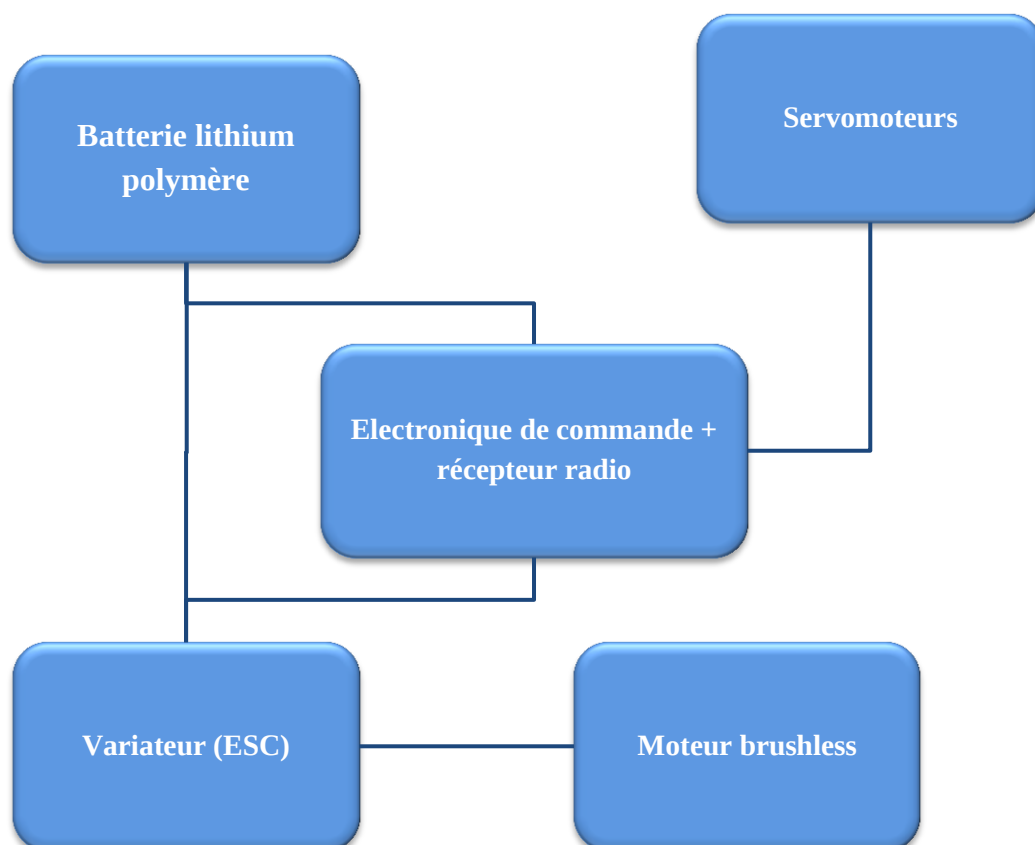
Le choix a été fait de faire entrer le drone dans la catégorie loisirs pour le prototype initial afin de limiter les contraintes. La seule contrainte légale est que la masse du drone soit inférieure à 25kg.

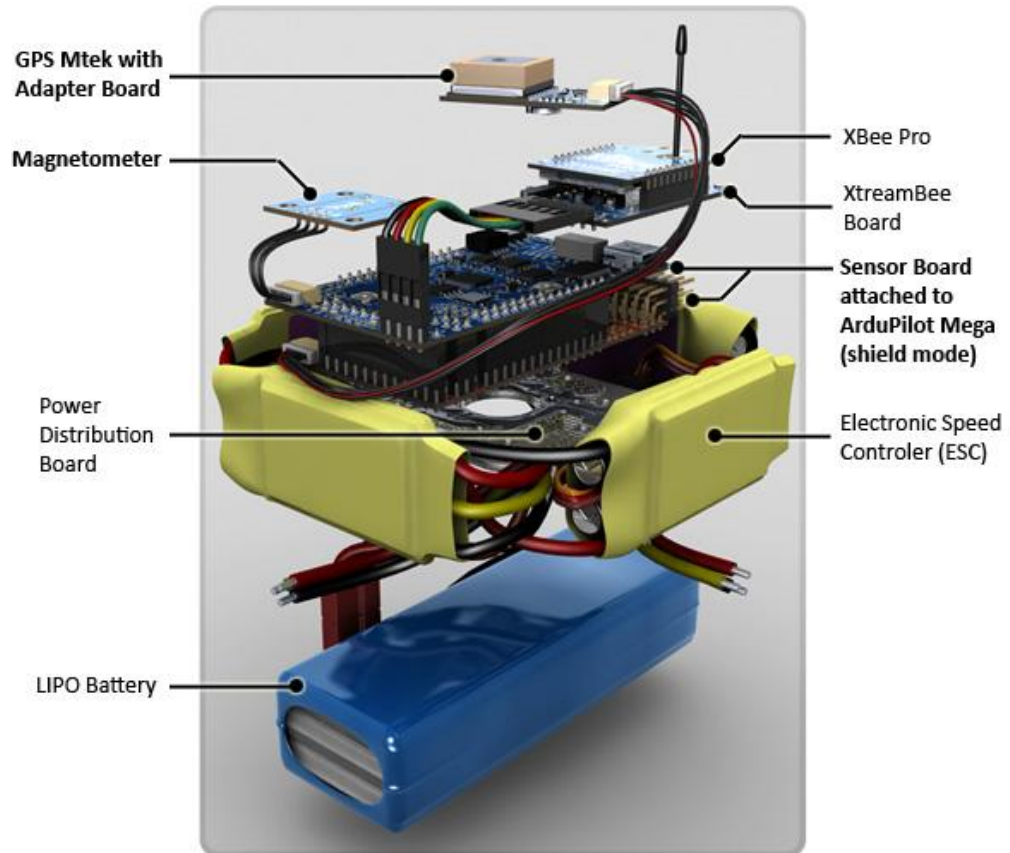
En résumé, il faut créer une configuration solide, avec le minimum de pièces mobiles, combinant système de décollage vertical, aile et système de propulsion pour le vol horizontal.

CHOIX DE LA CHAÎNE DE COMMANDE ET D'ÉNERGIE

Le système doit être simple, avec peu de maintenance : nous avons choisi un système de propulsion électrique, très éprouvé et courant dans le monde du modélisme.

La chaîne d'énergie et de commande :





Exemple de système de commande

Dans la mesure où nous ne disposons que de trois mois pour concevoir le prototype nous avons choisi d'utiliser un système de commande déjà existant mais cependant programmable et évolutif. Le système choisi est un des plus abouti et polyvalent à l'heure actuelle: ARDUPILOT fabriqué par la société américaine 3D-Robotics.



On peut voir ci-dessous son principe de fonctionnement. Il permet de commander des avions, des hélicoptères, des multicoptères ou tout autre type d'objet volant après programmation.



Nous avons anticipé en achetant ces éléments (Ardupilot, batterie, télécommande et récepteur) dès le début du projet pour tenir compte des délais de livraison.

CHOIX DE LA CONFIGURATION DU CONVERTIBLE

ETUDE DES CONVERTIBLES EXISTANTS

Avant de choisir une configuration de convertible, nous avons étudié ce qui existe dans le monde de l'aéronautique. Globalement, il existe trois types.

CORPS BASCULANT

Le principe de ce système consiste en deux hélices contrarotatives (coaxiales ou non) qui servent tant à la sustentation verticale qu'à la propulsion en vol horizontal après basculement de l'appareil. Dans l'aviation ces projets sont restés au stade de prototype avec des performances médiocres.

Le Lockheed XFV-1



Configuration non retenue :

- Fragilité des hélices contrarotatives
- Transition très difficile
- Stabilité stationnaire incertaine

DEUX PROPULSIONS (VERTICALE + HORIZONTALE)

Cette configuration regroupant deux systèmes de propulsion (un de sustentation, l'autre de propulsion) est intéressant car il permet de n'avoir aucune pièce mobile hormis les rotors. Aucun système de basculement donc moins de risque de casse. Cependant, cela risque d'amener du poids supplémentaire car selon la phase de vol un des systèmes de propulsion est inutile.

Eurocopter X³



Avantage :

Pas de pièce mobile hormis rotors

Inconvénients :

- Moteurs inutiles dans certaines phases donc augmentation de poids
- Augmentation du nombre de variateurs

PROPULSION BASCULANTE

Cette famille de convertible est quasiment la seule qui a été relativement efficace et utilisée en condition militaire opérationnelle. C'est celle qui nous semble donc être la plus adéquate pour la suite du projet.

V22 OSPREY de la marine américaine



Avantages:

- mêmes moteurs pour les deux phases
- gain de masse et de composants

Inconvénients:

- besoin d'un système de pivotement
- pièces mobiles, fragilité

Ensuite, nous nous intéressons à la géométrie des moteurs de sustentation permettant la meilleure stabilité puis au dimensionnement des surfaces portantes et à l'agencement global théorique permettant la transition verticale/horizontale.

SYSTEME DE SUSTENTATION VERTICALE

Plusieurs choix s'offraient à nous : hélicoptère classique, hélicoptère birotor ou multicoptère.

Notre choix s'est porté vers une solution de type quadricoptère pour le vol vertical : une solution très stable et relativement facile à commander ; aucun servomoteur ou pièce mobile. Comparativement à un tricoptère, il n'est pas nécessaire d'incliner un des rotor pour diriger l'engin : sur un quadricoptère la variation de vitesse des moteurs influe sur la poussée et permet de le diriger.

La configuration hélicoptère classique est abandonnée car elle nécessite des systèmes de changement de pas des pales donc des pièces mobiles et fragiles.

Schéma de principe d'un quadricoptère :

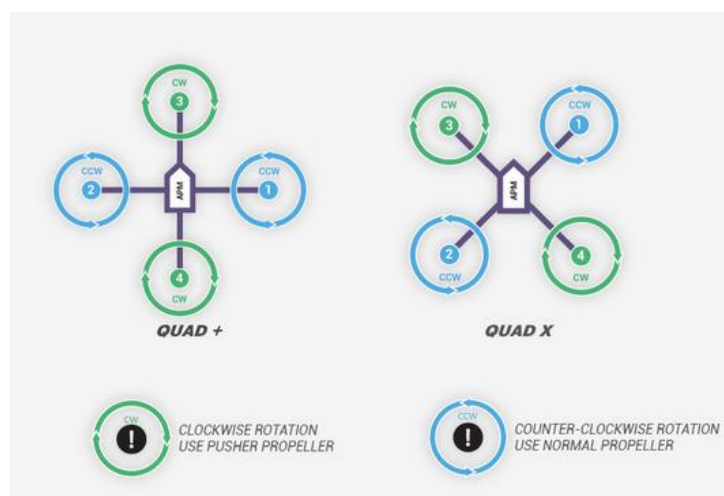
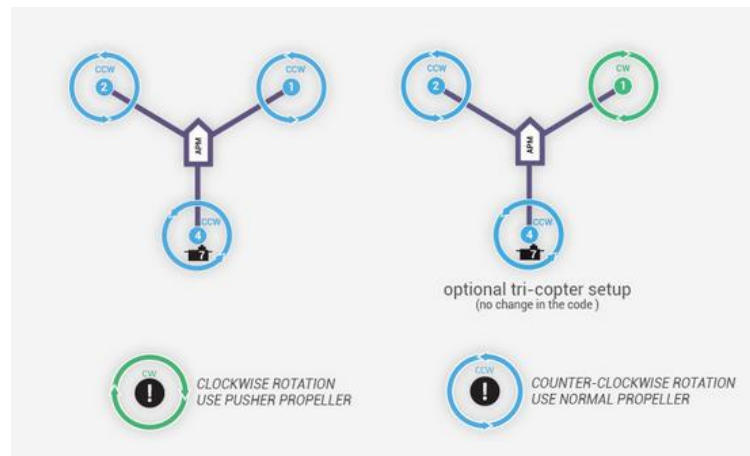


Schéma de principe d'un tricoptère :



Nous avons décidé de nous tourner vers un quadricoptère convertible : soit les moteurs basculent, soit un moteur annexe gère la propulsion. Il existe plusieurs techniques conversions vol vertical/vol horizontal.

CONFIGURATION DES SURFACES PORTANTES

Pour respecter le cahier des charges, nous cherchions une géométrie à la fois moderne et solide. Le choix d'une aile volante nous a semblé le meilleur compromis : bien moins stable en vol horizontal qu'un avion classique (qui comporte un empennage vertical et horizontal) elle est plus robuste car monobloc et plus futuriste. Nous nous sommes inspirés pour le design du bombardier furtif B2 et des ailes volantes des frères Horten.

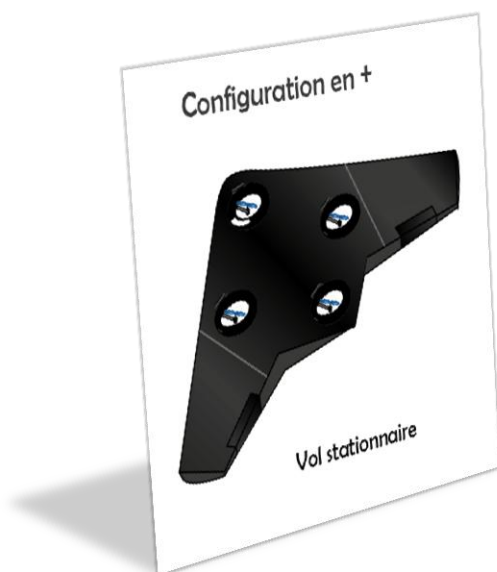
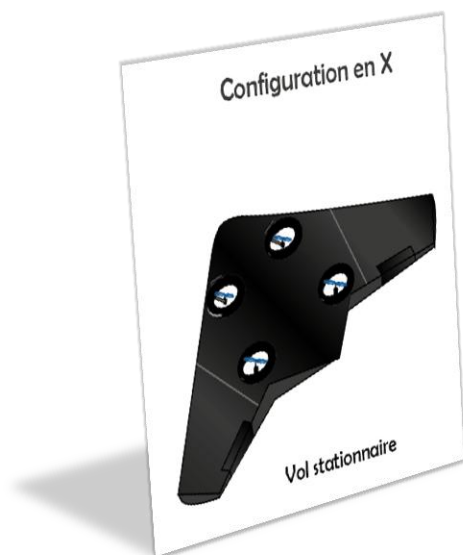
Bombardier furtif B2



CHOIX DE L'AGENCEMENT GLOBAL

Pour l'agencement global nous avons travaillé le design pour le rendre le plus original possible et le différencier de la concurrence tout en gardant les zones fonctionnelles (ailerons, moteurs).

CONFIGURATION A MOTEURS BASCULANTS



CONFIGURATION A MOTEURS FIXES



Dans l'impossibilité de faire un choix raisonné par manque de données techniques sur la stabilité et les performances des différents modèles, nous avons décidé de commencer par nous focaliser sur le système quadricoptère et effectuer des essais sur les possibilités de ce système.

CONCEPTION, FABRICATION ET TESTS DE LA STRUCTURE QUADRICOPTERE

DIMENSIONNEMENT DES MOTEURS ET DES HELICES

Une analyse des données constructeurs de couples moteurs/hélices et une analyse dimensionnelle associées nous a permis de dimensionner ces éléments.

Volts (V)	Prop	Throttle	Amps (A)	Watts (W)	Thrust (G)	Thrust (OZ)	RPM	Efficiency (G/W)	Efficiency (OZ/W)	operating temperature (°C)
11.1	APC11*4.7	50%	2.9	32.19	400	14.11	3885	12.43	0.44	
		65%	4.8	53.28	560	19.75	4565	10.51	0.37	
		75%	7.6	84.36	740	26.10	5220	8.77	0.31	
		85%	11	122.1	940	33.16	5800	7.70	0.27	
		100%	14	155.4	1080	38.10	6240	6.95	0.25	
	APC12*3.8	50%	3.6	39.96	530	18.69	3770	13.26	0.47	
		65%	5.8	64.38	670	23.63	4300	10.41	0.37	
		75%	10	111	920	32.45	4980	8.29	0.29	
		85%	12.7	140.97	1030	36.33	5260	7.31	0.26	
		100%	17	188.7	1230	43.39	5680	6.52	0.23	
	APC13*4	50%	2.7	29.97	410	14.46	3980	13.68	0.48	
		65%	4.2	46.62	520	18.34	4637	11.15	0.39	
		75%	6.7	74.37	740	26.10	5425	9.95	0.35	
		85%	9.3	103.23	910	32.10	6025	8.82	0.31	
		100%	12.1	134.31	1100	38.80	6575	8.19	0.29	
	APC14*4.7	50%	4.7	52.17	600	21.16	3210	11.50	0.41	60°C hot
		65%	7.8	86.58	800	28.22	3690	9.24	0.33	
		75%	13	144.3	1090	38.45	4225	7.55	0.27	
		85%	16.8	186.48	1250	44.09	4510	6.70	0.24	
		100%	21.5	238.65	1420	50.09	4835	5.95	0.21	
	APC15*4	50%	3.2	35.52	480	16.93	3530	13.51	0.48	
		65%	5.2	57.72	650	22.93	4090	11.26	0.40	
		75%	9	99.9	920	32.45	4825	9.21	0.32	
		85%	12.7	140.97	1170	41.27	5410	8.30	0.29	
		100%	16.1	178.71	1340	47.27	5795	7.50	0.26	

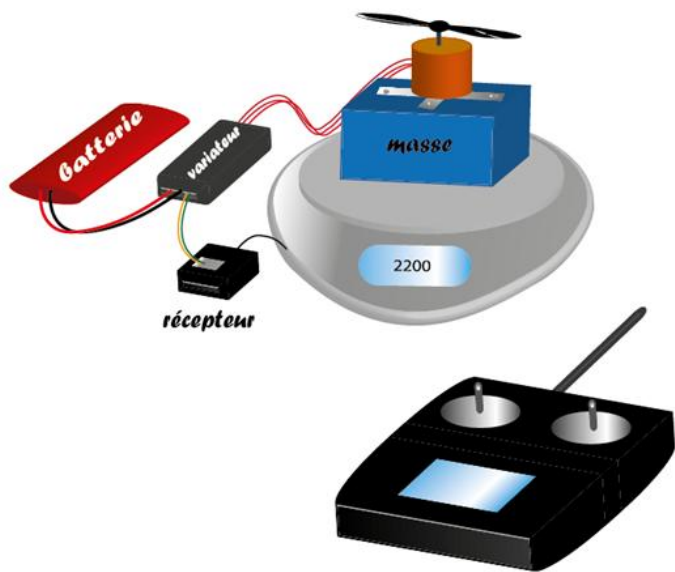
Exemple de caractéristiques moteur hélice du constructeur T-motor pour le moteur mt2814.

Cependant, face au peu de références disponibles chez les fournisseurs nous avons dû choisir un moteur correspondant au mieux avec différentes hélices et faire des essais de poussée.

ESSAI DE POUSSEE

Pour tester la poussée des hélices et vérifier l'autonomie de la batterie nous avons réalisé un banc d'essais sommaire.

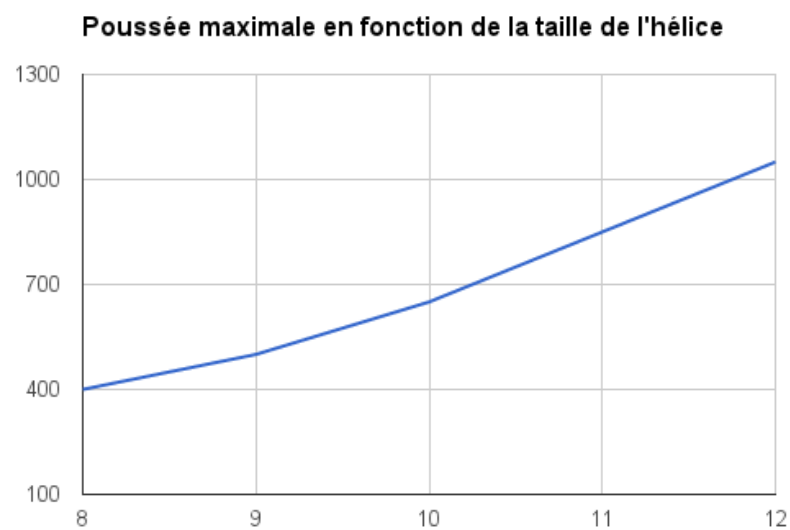
Principe de l'essai de poussée :





Banc d'essais pour la poussée des moteurs

Résultats du test :



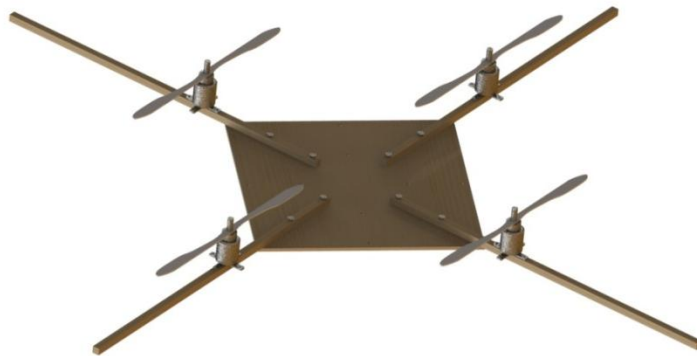
Les résultats étant suffisamment précis nous avons choisi tous les composants restants (Moteurs, variateurs et hélices) pour fabriquer de la structure de test.

FABRICATION DE LA STRUCTURE DE TEST

Le but de la structure de test était principalement de déterminer la masse maximum au décollage, l'espacement minimum entre les moteurs permettant une bonne stabilité en vol et également se familiariser avec l'électronique de contrôle.

Nous avons conçu une structure basique en bois permettant de changer rapidement l'espacement des moteurs et facilement réparable en cas de crash.

Design de la structure:



Prototype en cours de fabrication



RESULTATS DES ESSAIS

Les essais de la structure quadricoptère ont été très concluants. Le modèle est facile à piloter et l'espacement des moteurs n'influe que peu sur la stabilité. Pour la suite nous avons choisi un espacement minimum des moteurs pour diminuer l'encombrement (les hélices se touchent presque).



Premier vol (moteurs éloignés)



Second vol (moteurs rapprochés)

AMELIORATION DU PROTOTYPE

Afin d'obtenir de meilleures performances nous avons choisi d'améliorer le modèle en allégeant la structure tout en augmentant sa solidité. Le bois est ainsi remplacé par l'aluminium, les bras sont raccourcis, la protection de batterie est allégée.



Cette structure bien meilleure que la précédente nous a permis de valider le choix de la taille des hélices (10 pouces) ainsi que la masse maximum au décollage (3kg). La vitesse importante de déplacement (environ 50km/h) nous a amenés à nous poser la question de l'utilité du convertible.



CONCLUSIONS SUR LES INCIDENTS LORS DES ESSAIS

Au cours des différents tests en vol nous avons été « victimes » de plusieurs crashes. Les raisons sont principalement la casse d'hélices en vol, l'instabilité du modèle ou le manque de dextérité du pilote.

Cependant si la plupart sont restés sans conséquence, la casse d'une hélice lors d'une manœuvre à grande vitesse a entraîné la perte du prototype.



Grâce à ce dernier crash nous avons estimé par des calculs de résistance des matériaux la force d'impact sur le prototype et nous nous en sommes servi pour le dimensionnement des prototypes futurs.

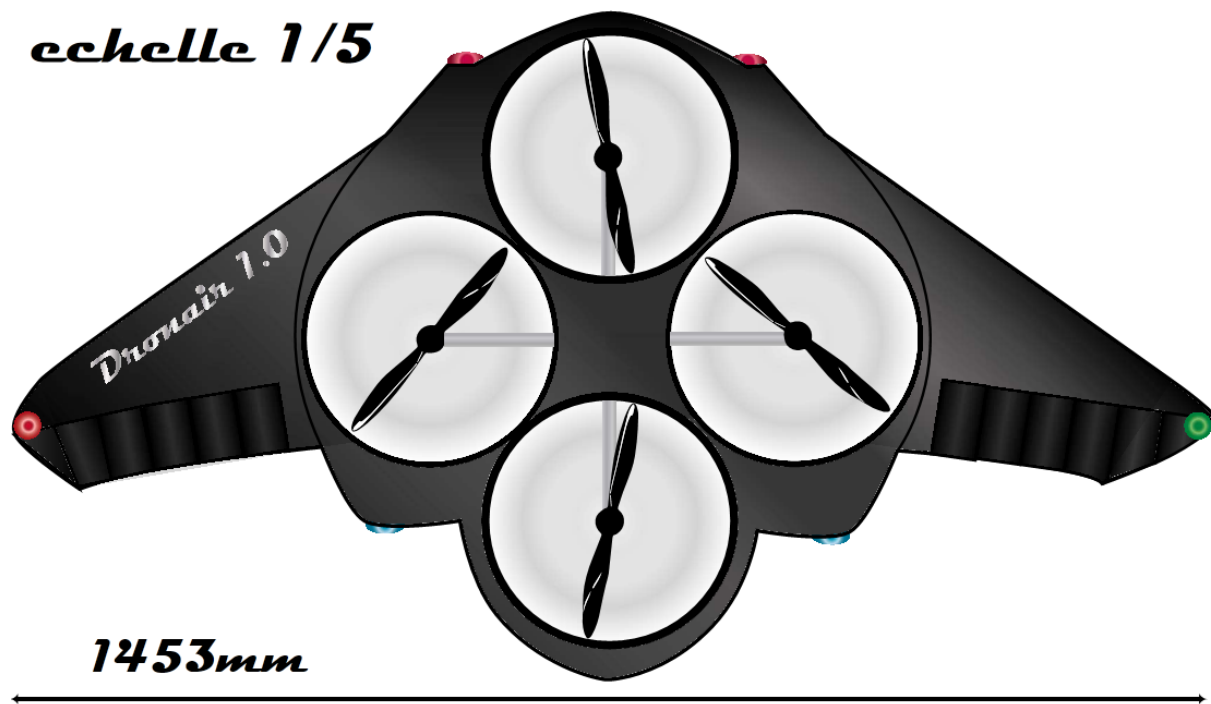
DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'AILE

Connaissant l'espacement nécessaire entre les moteurs nous avons étudié la structure en forme d'aile volante. Nous souhaitons que notre modèle vole en palier aux alentours de 40km/h. Nous avons établi un schéma de dimensionnement des surfaces portantes à partir de la masse maximum au décollage et la vitesse en palier (Voir Annexe 4 : Schéma de dimensionnement de l'aile volante).

Après calcul, nous nous sommes rendus compte que la surface alaire était très importante et que l'envergure de l'appareil approchait les deux mètres. Cela nous a contraints à envisager de fabriquer le drone en trois parties démontables pour respecter le cahier des charges (le drone doit rentrer dans un coffre de citadine).

Ces essais nous ont ainsi permis d'en venir à un design moins « utopiste » et plus fidèle à la réalité physique.

échelle 1/5



Cependant vu les dimensions importantes de la structure nous voulions tester en conditions réelles un carénage pour valider sa faisabilité.

TEST EN VOL AVEC CARENAGE

Nous avons fabriqué une protection en polystyrène de 500g ne simulant que la partie intérieure du carénage (pas les ailes). Nous avons ensuite testé le modèle.



Le résultat fut plus que décevant. L'appareil se révèle totalement incontrôlable, instable, sous-motorisé et trop encombrant. Cela nous a conduits à revoir radicalement le cahier des charges.

MODIFICATION DU CAHIER DES CHARGES

La finalité du projet n'étant pas de faire un quadricoptère standard mais de produire un drone robuste. Le choix a été fait d'oublier l'idée du convertible (se révélant trop lourd et inutile) et garder le concept de solidité et d'encombrement réduit.

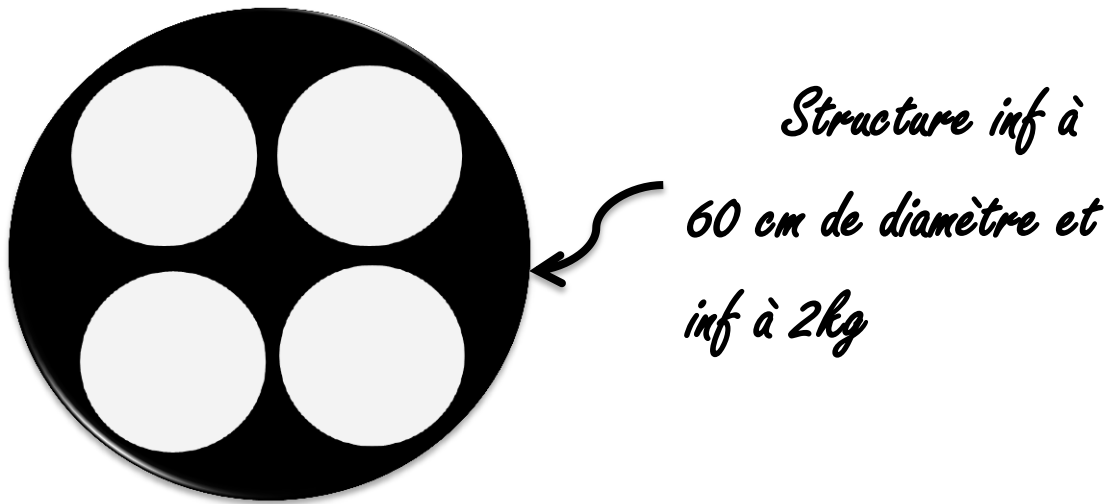
L'étude a été réorientée vers un quadricoptère plus petit conservant le concept de solidité comme critère principal.

CONCEPTION ET FABRICATION DU PROTOTYPE FINAL

Le nouveau quadricoptère plus petit doit répondre aux maîtres mots « solidité, esthétique, fiabilité ».

La structure doit être carénée, de moins de 80cm de diamètre et d'une masse inférieure à 2kg.

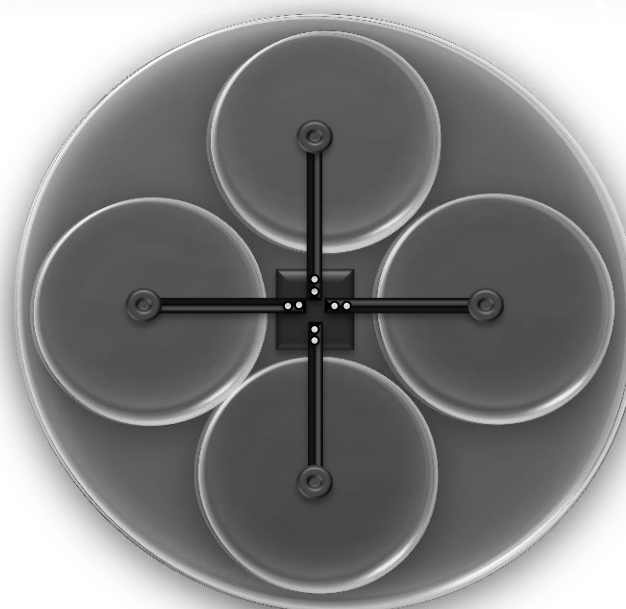
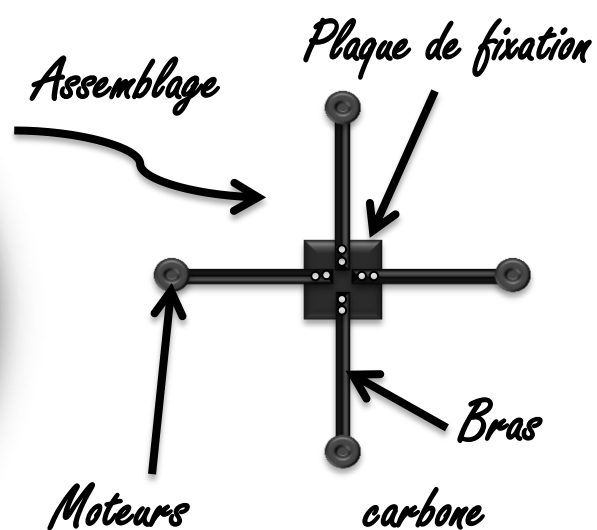
Cette ébauche de la forme souhaitée s'est imposée :



Première ébauche de la structure carénée

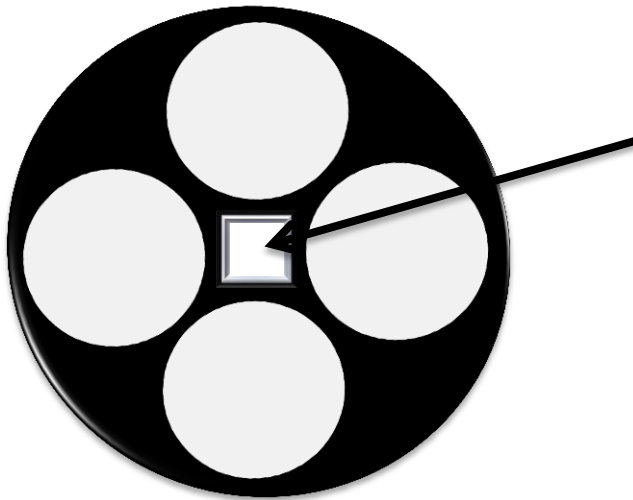
Nous avons privilégié la simplicité des formes compte tenu des moyens de production dont nous disposons (matériel de « bricolage basique »).

CONCEPTION DE LA STRUCTURE



Structure carénage + bras

Dans le but d'obtenir la structure la plus solide et la plus légère possible, le carbone s'est imposé comme le meilleur matériau. Les moteurs sont liés par 4 bras en carbone reliés par une plaque sur laquelle est aussi fixé le carénage.



Cavité contenant l'électronique

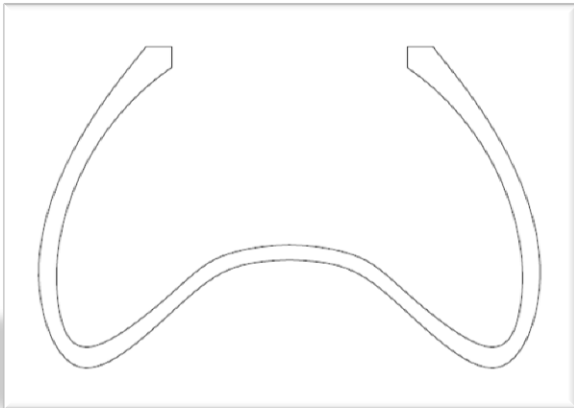


Capot supérieur



Capot inférieur de batterie

Pour placer les composants électroniques nous avons prévu une cavité rectangulaire au milieu du carénage fermée par deux capots (un supérieur et un inférieur) moulés en carbone.



*Ebauche de la forme des
trains d'atterrissage*

Les trains d'atterrissage sont de forme arrondie en rupture avec ce que l'on peut voir sur les quadricoptères du marché :

Bilan de masse de la structure totale

	Masse	
Poussée des 4 moteurs		2400
4 Moteurs MT2208	180	
4 variateurs 20A	60	
batterie 4000mAh	307	
electronique	100	
hélices	40	
Masse totale propulsion	687	
Structure		
Intérieur mousse	180	
Tissus carbone avec résine	820	
Résine	0	
Bras carbone	160	
Masse totale structure	1847	
Restant pour l'accélération	553	

FABRICATION DU CARENAGE

Une fabrication par un sous-traitant spécialisé dans les matériaux composites aurait été la plus adaptée pour ce type de structure mais non adaptée :

- cout trop élevé
- manque de temps
- conception assistée par ordinateur indisponible

C'est pourquoi nous avons choisi de la fabriquer artisanalement avec un intérieur polystyrène recouvert tissu carbone stratifié à la résine époxy.

FABRICATION DE LA SOUS-COUCHE DE POLYSTYRENE

La structure interne est réalisée en plaques d'isolation découpées, collées et poncées:



Structure interne terminée



STRATIFICATION DU CARENAGE CARBONE

On ajuste le tissu carbone prédécouper sur la structure interne polystyrene.



Le vide est fait à l'aide d'une pompe à vide et d'une poche plastique dans laquelle on vient placer le carénage avec le tissu carbone et la résine sur sa surface.

Après stratification de la première face, on laisse sécher environ 24H, et on arrive au résultat suivant :



On procède de même pour l'autre face.



FABRICATION DES TRAINS D'ATERISSAGE

Pour fabriquer les trains d'atterrissage, nous avons procédé de la même manière que pour le carénage : structure interne en polystyrène, puis en stratifiant du carbone.



Pour le premier train, nous avons appliqué des morceaux de tissus découpés sur le polystyrène, puis nous avons mis sous vide, le résultat final manquait d'esthétisme. Nous avons mastiqué pour améliorer l'état de surface.

Un autre procédé est utilisé pour le deuxième train : nous avons inséré deux feuilles sous le modèle polystyrène, puis deux sur le polystyrène, appliqué la résine et fait le vide, donnant la forme au carbone.

L'ébavurage a alors été plus conséquent mais le résultat a été bien plus satisfaisant.



FABRICATION DES CAPOTS

Nous avons fabriqué des modèles en polystyrène sur lesquels nous avons stratifié le carbone sur une seule face. Après séchage le polystyrène est retiré pour laisser une coque.



ASSEMBLAGE DE LA STRUCTURE FINALE



BILAN DE LA MISSION

RESULTAT FINAL

Masse	1,5kg
Taille	60 cm de diamètre
Autonomie	1min
Charge utile	0kg





BILAN

En trois mois nous avons fabriqué un prototype de drone opérationnel donc la mission a été réalisée et le résultat positif : le drone vole, résiste aux crashes, rentre dans un coffre et son esthétique est « acceptable ».

Néanmoins il a une autonomie insuffisante (moins d'une minute), une charge utile nulle et une maniabilité incertaine. La conception artisanale et le peu moyens financiers ne sont pas la raison principale des mauvaises performances du prototype.

La demande initiale se heurte à une limite technologique. Nous avons cherché à faire un objet volant qui devait être à la fois léger et solide voire incassable. Deux principes antinomiques spécialement en aéronautique. Le compromis dans ce cas précis fut très difficile à trouver : en diminuant la solidité on diminue certes la masse mais aussi l'utilité du carénage. D'autant plus que quantifier la « solidité » est très subjectif. Bien qu'ayant utilisé des matériaux de dernière génération, possédant une résistance massique des plus importantes, en dimensionnant la structure au plus juste niveau poids, nous sommes encore très loin d'un appareil utilisable : il faut diminuer la masse d'environ 500g (environ 1/3 de la masse totale) pour envisager ne serait-ce qu'un appareil de modélisme. Dans ces conditions l'application professionnelle est impossible. Le même constat se fait sur la qualité des moteurs, des hélices et des batteries.

Pour que ce concept puisse commencer à être viable il faudrait un saut technologique dans un de ces domaines. Cependant nous risquons rapidement d'arriver à une limite physique. Pour les hélices, nous ne pourrions pas dépasser la limite de Betz. Il faudrait donc sans doute encore attendre pour voir une évolution significative de l'énergie massique des batteries, du rendement du couple moteur/hélice, de la découverte de nouveaux matériaux ou des techniques de fabrication des composites. Cette dernière est la voie la plus prometteuse sur laquelle travailler : les composites sont en pleine expansion dans l'aéronautique, les avions modernes contenant un pourcentage de composites de plus en plus important.

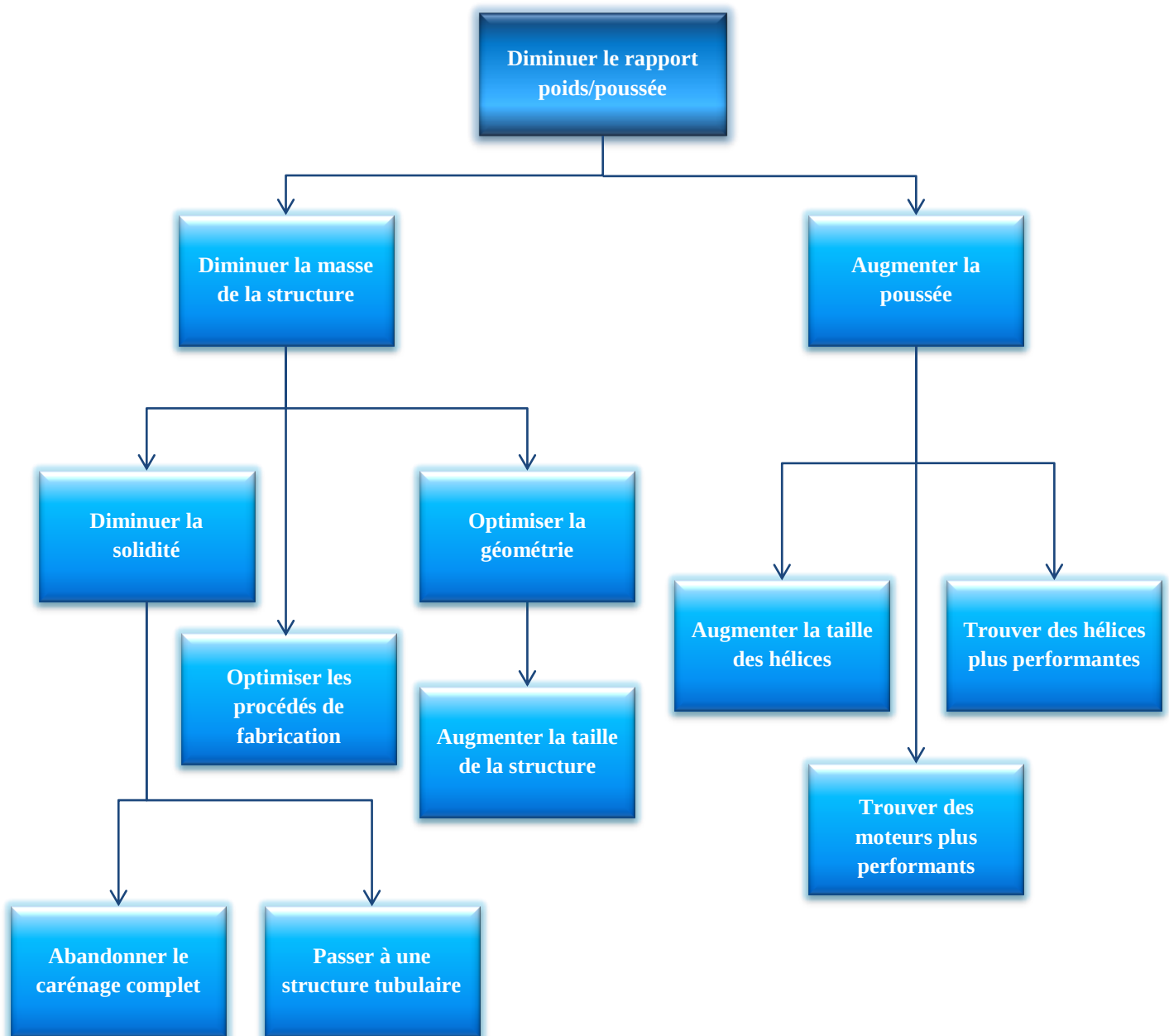
Nous pensons qu'il faudrait plutôt s'orienter vers un concept où la fiabilité des composants et des systèmes fait qu'il ne va pas se crasher. Cela correspond mieux avec les problématiques industrielles où nous imaginons bien qu'un appareillage professionnel n'est pas fait pour résister aux chocs (exemple un appareil photo reflex professionnel peut coûter plus cher que le drone qui le porte). Nous pouvons faire le même constat dans le monde de l'aéronautique ou l'automobile : aucun avion n'est prévu pour résister à un crash mais est conçu pour « casser » en amortissant l'impact et protéger ce qu'il transporte.

VOIES D'ÉVOLUTION

EN GARDANT LE MEME CONCEPT

On peut résumer les voies d'évolution en une phrase : il faut diminuer le rapport poids / poussée.

Ce dernier est primordial car c'est lui qui détermine les capacités d'accélération et donc de maniabilité. Plus le drone va être sur-motorisé (rapport poids puissance faible) plus il va avoir de facilité à se déplacer, ses moteurs n'auront pas un fonctionnement à pleine puissance permanente, la charge utile sera plus importante et l'autonomie en sera rallongée.



EN CHANGEANT DE CONCEPT

Une autre voie d'évolution est d'oublier le concept de solidité mais en gardant celui de fiabilité.

Vu le nombre importants de drones dans le commerce aujourd'hui, leurs performances et applications proches, il faut sans doute plus miser sur les applications précises et uniques du drone que sur sa polyvalence.

CONCLUSION PERSONNELLE

Ce stage m'a permis de mettre en pratique la théorie de gestion d'un projet tant sur le plan humain, logistique et technique.

Plan humain :

- Relations avec les initiateurs du projet : réunions de suivi, évaluation de faisabilité du cahier des charges
- Travail en binôme : répartition des tâches selon les capacités et connaissances, discussion des choix (matériaux, design, composants...)
- Relations avec les fournisseurs

Plan logistique :

- Financement : gestion des achats et des comptes
- Fournisseurs : commandes, aléas de livraison, indisponibilité de produits

Plan technique :

- Utilisation et évaluation des connaissances acquises
- Mise en évidence de lacunes en matériaux composites
- Recherches de solutions technologiques

Cette expérience m'a conforté dans le choix d'un profil d'ingénieur aéronautique et dans la préférence de gestion d'un projet de manière globale.

GLOSSAIRE

Termes	Description
Servo, servomoteur	Actionneur mécanique asservi permettant de tenir une position avec un effort statique
Quadricoptère/Hexacoptère/Octocoptère	Multicoptère avec 4/6/8 rotors
Multicoptère	Aéronef télé piloté à voilure tournante mais possédant plus de deux rotors
Drone	Aéronef télé piloté
GIE	Groupement d'intérêt économique

BIBLIOGRAPHIE

www.dji.com

<http://www.rc-tech.ch>

<http://copter.ardupilot.com>

www.wikipedia.fr

<http://www.wingcopter.com/>

<http://epervier.sudluberan.free.fr>

<http://flashrc.com>

<http://pb-modelisme.com>

www.rctigermotor.com

ANNEXES

ANNEXE 1 : PROPOSITION DE STAGE

STAGE PROTOTYPAGE CFAO et MAQUETTE H/F

CONTEXTE :

A partir d'un cahier des charges existant, nous cherchons à valider les choix préétablis, à optimiser les solutions, puis à développer en CFAO et à réaliser un démonstrateur de niveau 1 qui sera ensuite livré à un bureau d'études pour la création du prototype.

La mission proposée consiste à dérouler étape par étape ce programme de travail.

MISSION :

Le stagiaire aura pour mission de :

Optimiser et valider le cahier des charges

Finaliser la maquette en CFAO

Développer le démonstrateur

Proposer et Implémenter les bases du système logiciel de commande

Conclure / Effectuer le bilan du démonstrateur et proposer :

- La validation de la solution existante
- Les éventuelles évolutions / études nécessaires en B.E.
- Le rapport de stage et conclusions finales.

PROFIL :

Niveau + domaine : Bac + 4/5 Mécanique / CFAO / Aérodynamique

Connaissances : Théoriques : CFAO, Usinage, Simulation et Usine numérique, Informatique,

Mécanique des fluides

Pratiques : Catia (obligatoire),

Informatique et langages de programmation (Java, Objective-C)

Savoir être : Curieux/se, Autonome, Organisé(e), Soigné(e)

ANNEXE 2 : CAHIER DES CHARGES INITIAL

OBJECTIFS :

Le drone aura pour mission de :

Voler en palier

Voler en stationnaire

Transporter une charge utile 500g mini

Transmettre des données vidéo et télémesures

Il devra être beau « value for money »

Il devra être sans dangers et sûr

Solide

Fiable

STRUCTURE :

Dimensions : doit rentrer dans un coffre de citadine

Poids à vide: autour de 2 kgs max

Poids en Charge : 2.5 kgs

Étanchéité : oui

Flottabilité : option

CARACTERISTIQUES DU VOL :

- Doit être planant à basse vitesse

- Doit se sustenter en vol de croisière avec sa vitesse seule.

Vitesse de croisière: 40 - 45 km/h

Vitesse de décrochage : 20 à 40km/h

VNE : à vérifier

Altitude Max : 200 m – 300 m

Durée de vol Stationnaire : 15 à 30'

Durée de vol palier : 45' mini

Glissement sur herbe possible

Vitesse limite du vent : 35 à 45 km/h

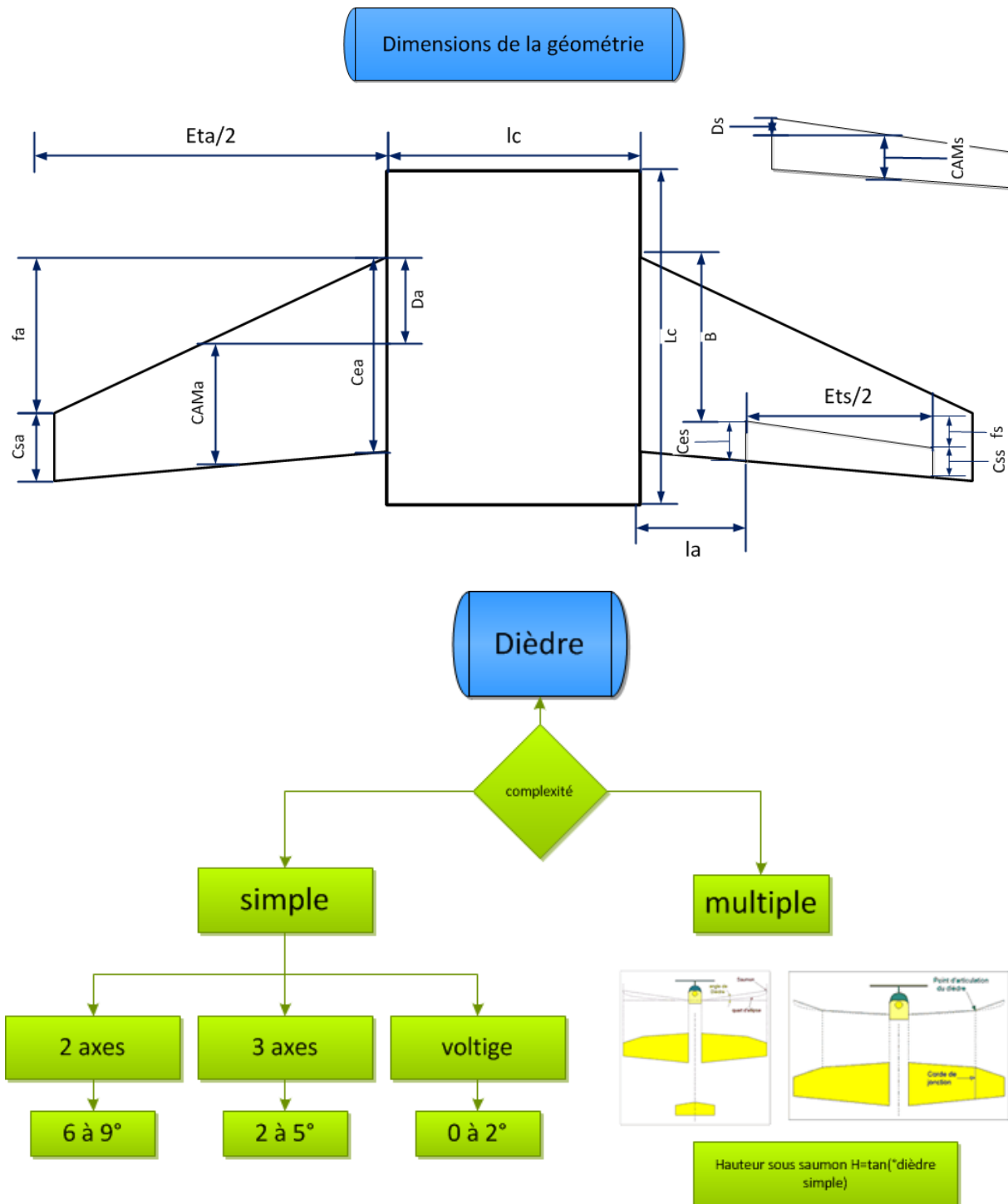
Rayon d'action : fonction de la législation ; minimum 500m

Précision d'atterrissage : 2m*2m

ANNEXE 3 : CHOIX DE TYPE EN FONCTION DE LA REGLEMENTATION

Utilisation	Descriptif détaillé	Critère principal	Catégorie	Scénario	Contrainte physique	Contrainte	Contrainte légale	Matière géométrique
Loisir déviant	Amateur, facile, jeu	solidité/acteur	A	Nil	<2kg, <15kW hauteur	Utilisation en vue, moins de 150m de hauteur	Assurance responsabilité	quadcopter cédé (à drone perso)
Loisir média "paysage"	"pro" vidéos photo en extérieur	stabilité vol horizontal, autonomie, acteur	A	Nil	<2kg, <15kW hauteur	Utilisation en vue, moins de 150m de hauteur	Assurance responsabilité	aile volante simple grand allongement (charge utile interne ou en pod)
Loisir média "intérieur"	"pro" vidéos photo en intérieur	manabilité, stabilité stationnaire	A	Nil	<2kg, <15kW hauteur	Utilisation en vue, moins de 150m de hauteur	Assurance responsabilité	quadcopter/robot/robot/robot cédé (charge utile interne ou en pod)
Loisir volage	polyvalence vitesse	manabilité	A	Nil	<2kg, <15kW hauteur	Utilisation en vue, moins de 150m de hauteur	Assurance responsabilité	quadcopter avec aile volante ou robot/robot avec aile volante (wingcopter)
Travail aérien								
Utilisation	Descriptif détaillé	Critère principal	Catégorie	Scénario	Contrainte physique	Contrainte	Contrainte légale	Matière géométrique
Observation ou transport d'un objet proche hors zone peuplée	Vérification d'un pont précis en vue directe (pas école, structure chimique...) <100m	Solidité/acteur/stabilité	D (ou E)	S1	<2kg	h<150m, d<100m en vue	brevet théorique du pilote	robot/robot carré (tr. quasi...) avec caméra intégrée pour une utilisation directe
Observation ou transport d'un objet proche en ville, appellation légère	Vérification d'un pont précis en vue directe (bâtiment, structure chimique...) <100m	Solidité/acteur/stabilité/sécurité, bonne charge utile	D	S3	<2kg, 2kg<=4kg, parachute, aérolog.	h<150m, d<100m en vue	brevet théorique du pilote	robot/robot carré (tr. quasi...) avec caméra intégrée pour une utilisation directe
Observation ou transport d'un objet proche en ville, appellation lourde	Vérification d'un pont précis en vue directe (bâtiment, structure chimique...) <100m	Solidité/acteur/stabilité/sécurité, bonne charge utile	E dérogation	S3	aérolog.	h<150m, d<100m en vue	brevet théorique du pilote	robot/robot carré (tr. quasi...) avec caméra intégrée pour une utilisation directe
Observation ou transport d'un objet relativement éloigné <1km avec précision hors zone peuplée, appellation légère	Vérification d'un pont précis en vue directe mais emplacement éloigné (champ école, ... réacteur nucléaire)	rapacité et stabilité	D	S2	<2kg	h<50m, d<1000m et hors vue	brevet théorique du pilote	Convertible quadcopter/aile volante ou robot/robot aile volante
Observation ou transport d'un objet relativement éloigné <1km avec précision hors zone peuplée, appellation lourde	Vérification d'un pont précis en vue directe mais emplacement éloigné (champ école, ... réacteur nucléaire)	rapacité et stabilité, bonne charge utile	E	S2	<2kg	h<50m, d<1000m et hors vue	brevet théorique du pilote	Convertible quadcopter/aile volante ou robot/robot aile volante
Observation ou transport d'un objet relativement éloigné <1km avec précision hors zone peuplée								impossible
Observation ou transport d'un objet relativement éloigné >1km avec précision hors zone peuplée								impossible
Observation ou transport d'un objet éloigné >1km hors zone peuplée	Surveillance grands sites (pipelines, mines ...)	autonomie, stabilité	D	S4	<2kg	fonction réglementaire	autorisation spéciale, brevet de pilote et 100h de vol + 20 sur type	aile volante simple grand allongement
Observation ou transport d'un objet éloigné de manière globale, appellation légère hors zone peuplée	Surveillance Carrogaphie, bâtiment 3D ...	autonomie, stabilité, acteur, bonne charge utile	D	S2	<2kg	h<50m, d<1000m et hors vue	brevet théorique du pilote	aile volante simple grand allongement
Observation ou transport d'un objet éloigné de manière globale, appellation lourde hors zone peuplée	Surveillance Carrogaphie, bâtiment 3D ...	autonomie, stabilité, acteur, bonne charge utile	E	S2	<2kg	h<50m, d<1000m et hors vue	brevet théorique du pilote	aile volante simple grand allongement

ANNEXE 4 : SCHEMA DE DIMENSIONNEMENT DE L'AILE VOLANTE

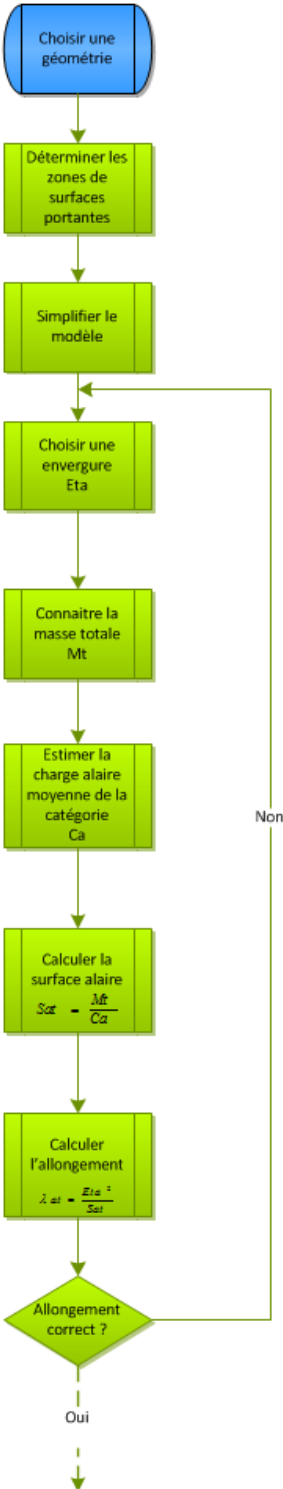


Données entrée :

- Mt
- Eta

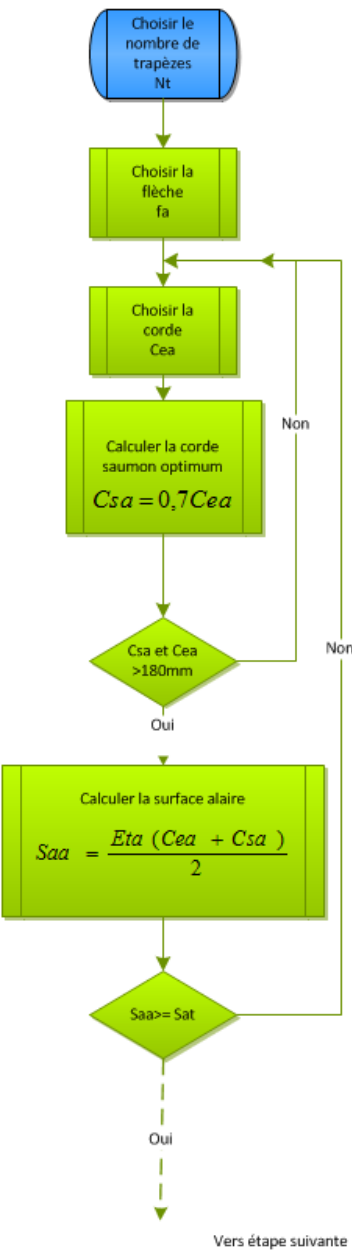
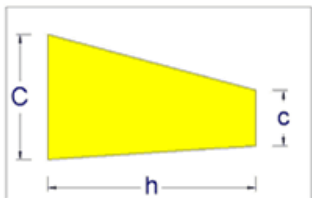
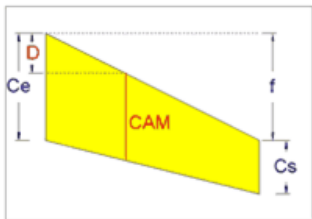
tableau 1		
envergure (m)	charge alaire (g/dm2)	
	avion	planeur
1	30 à 45	15 à 30
2	50 à 100	25 à 50
3		40 à 60

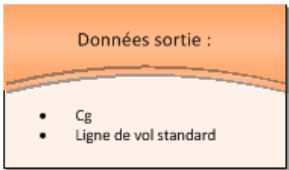
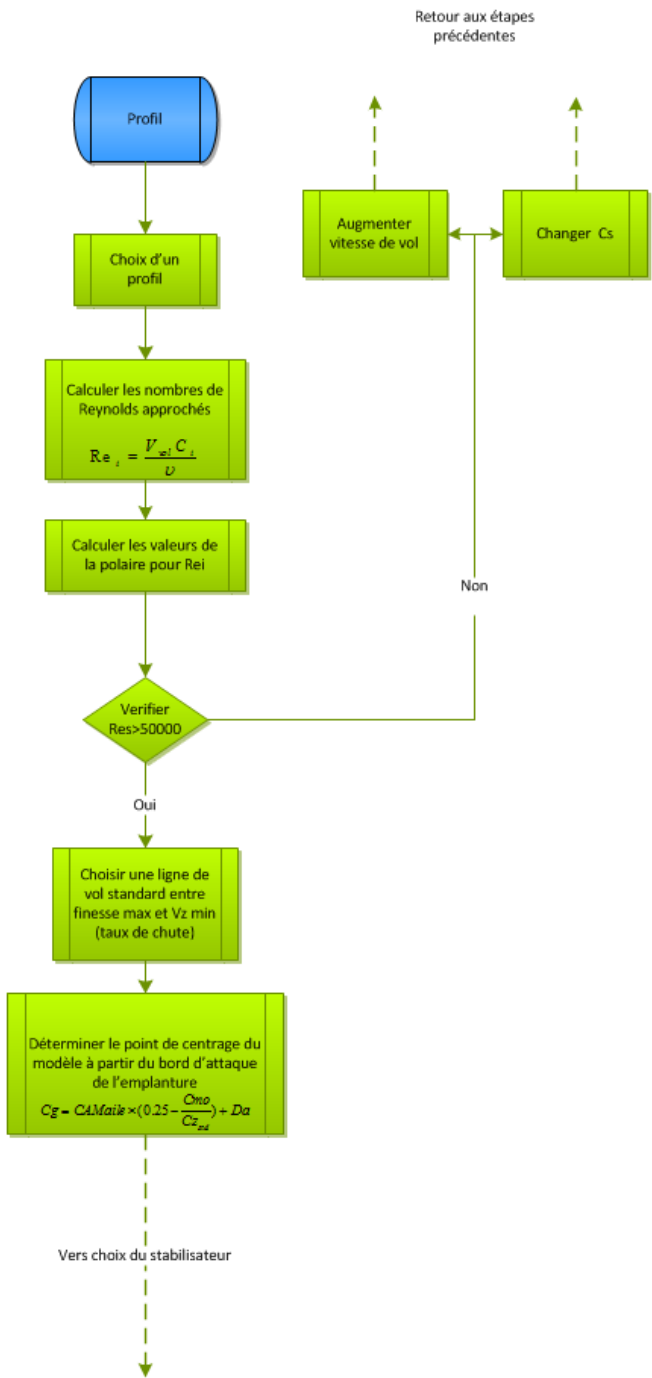
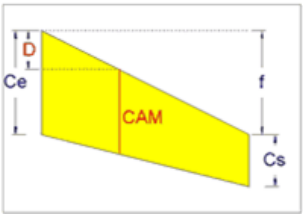
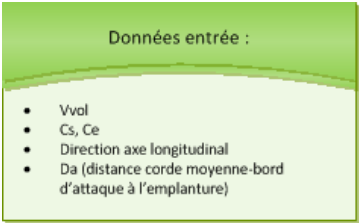
tableau 2		
envergure (m)	allongement	
	avion	planeur
1	4 à 8	6 à 8
2	4 à 8	8 à 14
3	4 à 8	12 à 20

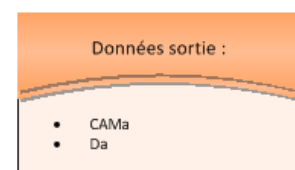
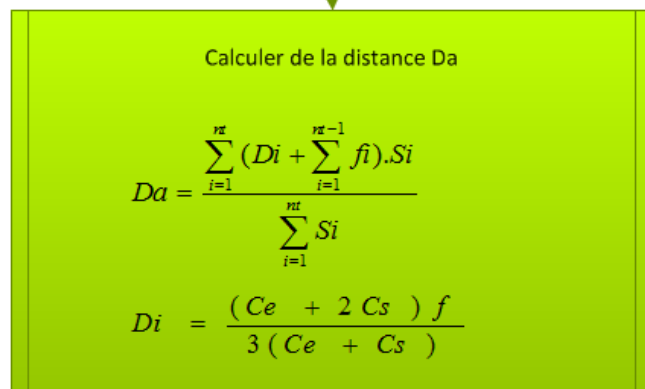
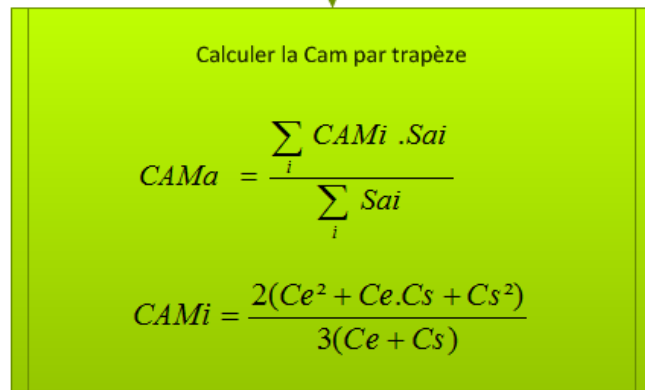
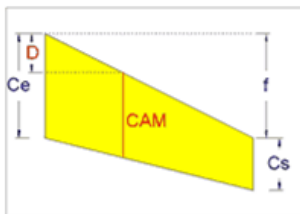
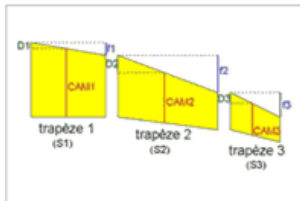


Données sortie :

- λa
- Sat

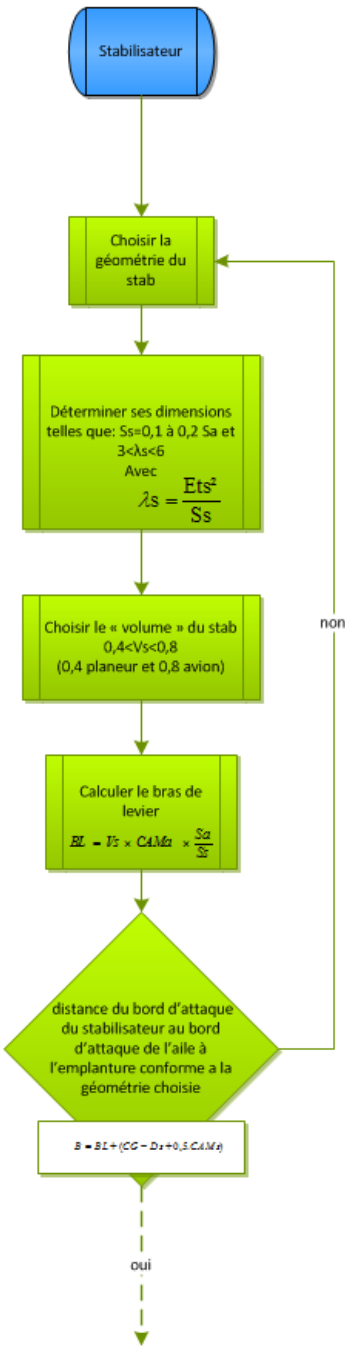
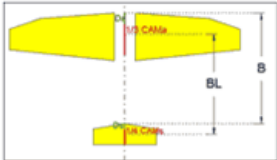






Données entrée :

- CAMa
- Sa surface alaire de l'aile

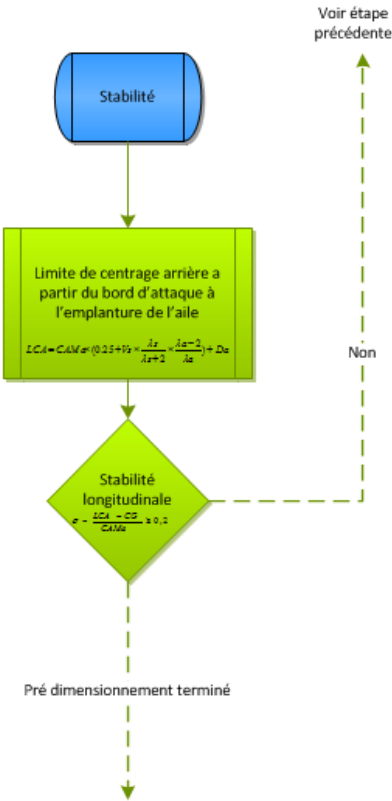


Données sortie :

- Dimensions du stab

Données entrée :

- CAMa
- Da
- λ_a
- λ_s
- Vs
- CG



Données sortie :

- Dimensions de l'aile