

Sommaire

1. Présentation du projet :	1
2. Cahier des charges :	2
3. Schéma structurel ensemble V1	4
4. Schéma structurel ensemble V2	5
5. Présentation de la partie personnelle :	6
6. Evolution de la partie personnelle suite à la revue de projet 2 :	10
7. Simulation des efforts exercés sur la pièce industrialisée :	15
8. Choix du matériau avec le logiciel CES :	15
9. La Chaine de cote :	17
10. Annexes :	18

1. Présentation du projet :

Depuis de nombreuses années, nous cessons de dire que dans le futur il y aurait des voitures volantes. En effet, le besoin de se déplacer plus rapidement sans utiliser de routes et aussi de manière écologique est présent. Suite à ce besoin, un projet, le Mini-Bee a été pensé :

Le Mini-Bee est développé par Technoplane, une start-up normande, membre du groupe NAE(Normandie AeroEspace), qui sollicite des étudiants afin d'apporter des améliorations à ce projet. C'est un engin capable de transporter deux à quatre personnes, dont le pilote muni du brevet adéquat, mélangeant l'avion, la voiture et l'hélicoptère. L'objectif de ce projet est de créer un véhicule volant hybride à décollage vertical permettant une grande manœuvrabilité et mobilité pour les différentes clientèles ciblées. Parmi les nombreux points intéressants du Mini-Bee, l'un d'entre eux est très intéressant

En effet, l'appareil sera composé de plusieurs modules interchangeables les uns en fonction des autres. Ainsi, le client pourra définir les équipements et certaines finitions du Mini-Bee en fonction de son budget et de son utilisation.

Ce projet peut aussi se décliner en plusieurs versions (secours, transports, formations...). Le Mini-Bee possédera donc différentes gammes selon les diverses utilisations et selon Xavier Dutertre, Président de la société Technoplane, il sera commercialisé au prix d'un million d'euros ce qui serait entre trois à quatre fois moins cher que les hélicoptères bi-turbine qui sont utilisés de nos jours. Les premiers vols pourraient intervenir en 2019 mais ils ne seront livrés qu'à partir de 2025 au rythme de dix appareils par an.



Rapport Conception détaillée Motorisation Mini-Bee
24 Mai 2019

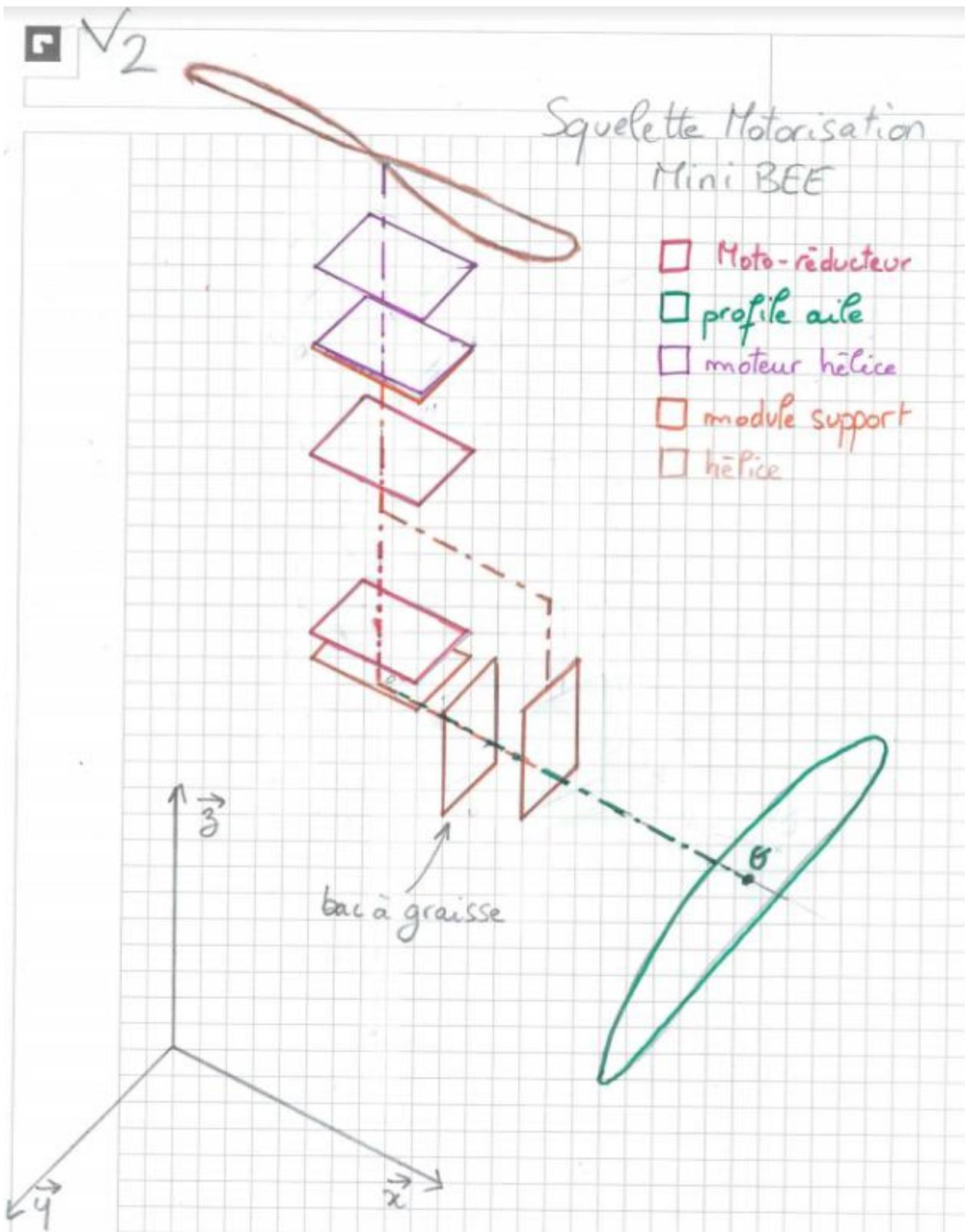
Le Mini-Bee est un projet intégrant un grand nombre d'acteurs (institutions, écoles, banques, incubateurs...) dont l'école Supméca et leur groupe d'ingénieurs qui ont gagné la 1ère place du salon du Bourget en travaillant sur la structure. Ce projet est innovant et changera le paysage lors de ces premières apparitions.

2. Cahier des charges :

Critères	Niveau d'exigence
1 : Respecter les contraintes imposées par Technoplane 2 : Respecter le délai de temps de conception 3 : Rendre le travail effectué sous forme de maquette numérique 3D	1 : Définies par Technoplane 2 : Définies par Technoplane 3 : STEP/STL...
1 : Masse du Mini-Bee 2 : Temps de décollage/atterrissage 3 : Charge utile 4 : Puissance mécanique maximale 5 : Nuisances sonores au sol 6 : Fréquence de rotation maximale de l'hélice 7 : Vitesse de décollage/atterrissage 8 : Effort de poussée (décollage) 8 (bis) : Effort de poussée (atterrissage)	1 : 1200 kg 2 : Inconnue 3 : 350 kg 4 : 20 kW par moteur 5 : Inconnue 6 : 3000 tr/min 7 : Inconnue 8 : >3800 N (décollage) 8 (bis) : <3800N (atterrissage)
1 : Masse du Mini Bee 2 : Altitude de vol 3 : Energie nécessaire au vol 4 : Temps de déplacement maximum 5 : Vitesse de croisière 6 : Rayon de giration 7 : Puissance mécanique maximale 8 : Charge utile 9 : Angle d'attaque 10 : Bruit en vol 11 : Fréquence de rotation maximale de l'hélice 12 : Poussée 13 : Vitesse réglable 14 : Type de courant 15 : Tension 16 : Inclinaison max. du module moteur par rapport à l'axe des ailes	1 : 1200kg 2 : 1500m 3 : Inconnue 4 : 2h 5 : 250km/h 6 : Inconnu 7 : Inconnu 8 : 350Kg 9 : 10° 10 : Inconnu 11 : 3000 tr/min 12 : Inconnu 13 : 220-300Km/h 14 : Continu 15 : 120V 16 : 105°
1 : Outillage standard 2 : Temps de maintenance 3 : Normes 4 : Besoins humains	1 : Définis par des normes 2 : Définis par l'atelier 3 : Définies par la PIPAME 4 : Définis par le chef d'atelier

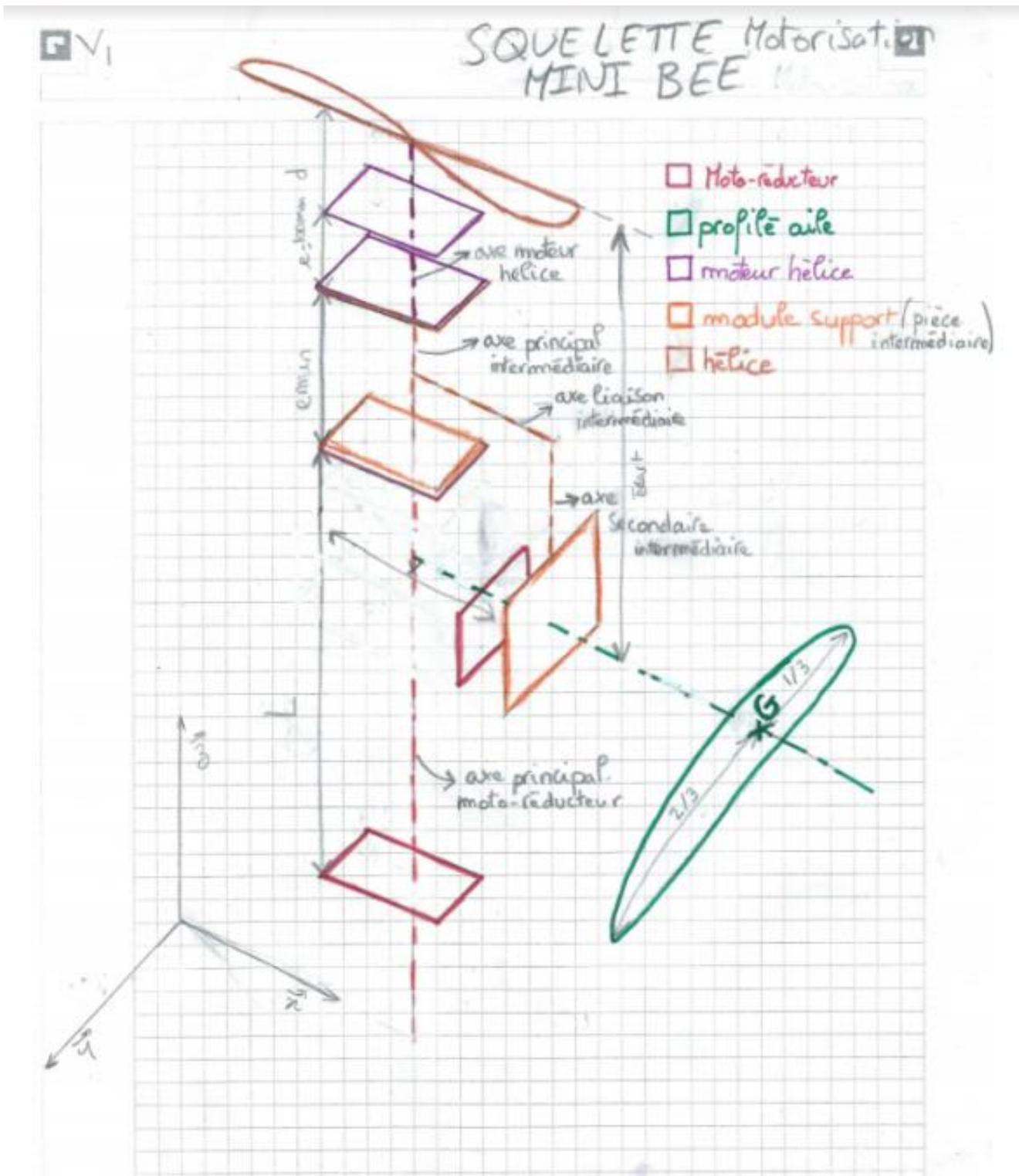
Fonctions	Fonctions d'adaptation
FSU0 : Intégrer les choix de conception du demandeur de produit	FSA0-1 : Respecter le cahier des charges de conception établi par le demandeur de produit
FSU1 : Fournir 1/8 de la poussée nécessaire à la structure pour faire décoller et atterrir le système	FSA1-1 : Distribuer l'énergie nécessaire au moteur pour décoller FSA1-2 : Permettre au pilote de positionner les moteurs à l'aide des commandes FSA1-3 : Limiter les pollutions gazeuses FSA1-4 : Résister aux contraintes de conditions de décollage/atterrissage
FSU2 : Permettre à la cellule de déplacer en s'appuyant sur l'air	FSA2-1 : Permettre au pilote d'amorcer la phase d'atterrissage par orientation des modules moteurs FSA2-2 : Être alimenté en énergie FSA2-3 : Adapter le module moteur à la cellule Mini-Bee
FSU3 : Pouvoir être dissocié de l'aile à l'aide d'outils	FSA3-1 : Posséder une structure démontable pour accéder au moteur

Rapport Conception détaillée Motorisation Mini-Bee
24 Mai 2019



3. Schéma structurel ensemble V1

4. Schéma structurel ensemble V2



Kk

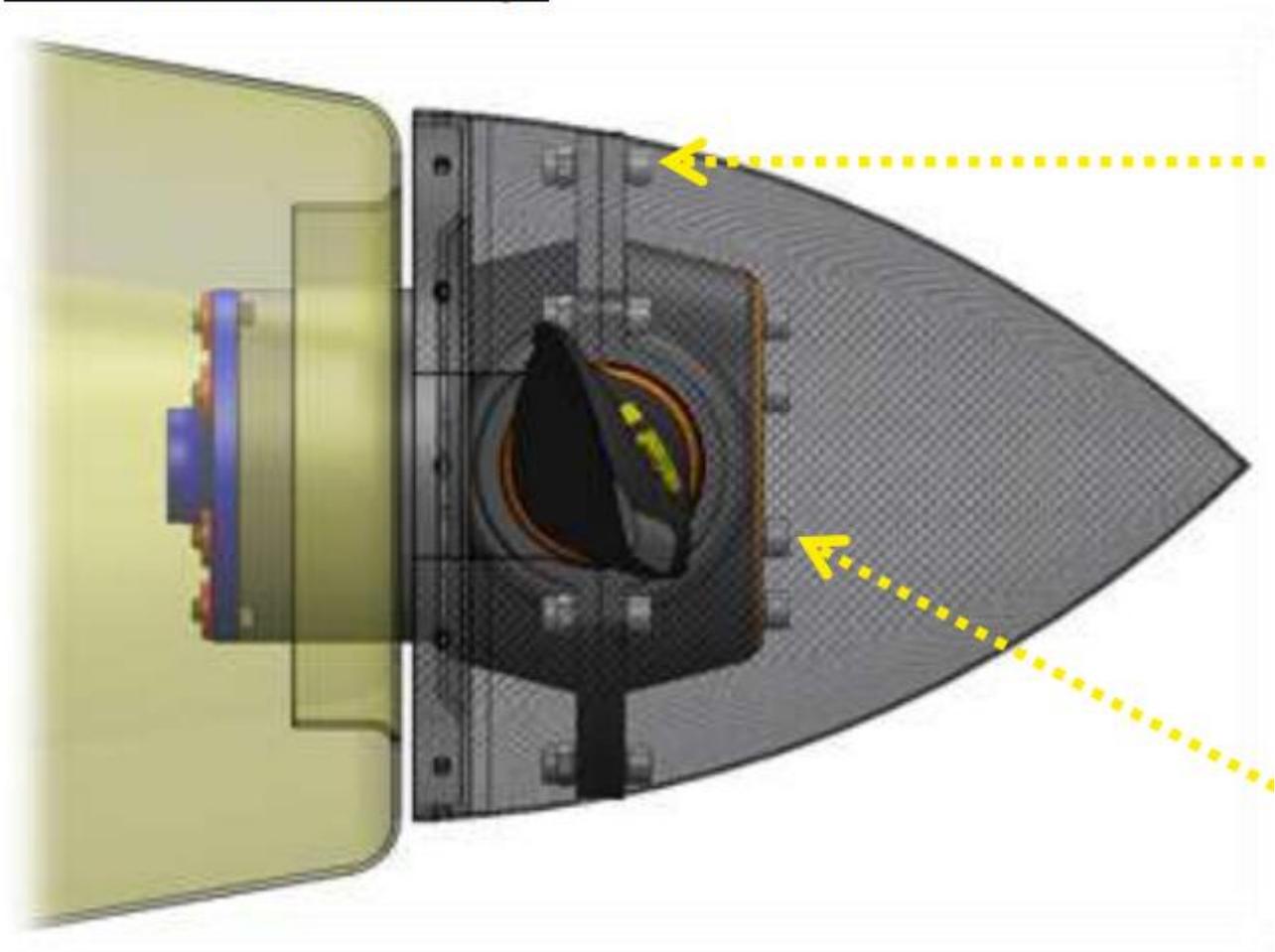
5. Présentation de la partie personnelle :

Ma zone de travail est focalisée sur la liaison pivot entre l'arbre tournant du moteur et sa partie fixe, cependant, elle concerne aussi la conception de la veine d'air, censée guider le flux d'air lors de la rotation de l'hélice, et transmettre les efforts de poussée du Mini-Bee.

Les sous-ensembles arbre tournant et « bati » regroupent en tout une dizaine de pièces, dont la plupart étant déjà définie par le constructeur Technoplane. J'ai principalement rencontré des problèmes au niveau de la modélisation des pièces de l'arbre tournant.

En effet l'hélice retenue est un modèle de l'entreprise DUC-Hélices, une start-up Française spécialisé dans les hélices pour les avions légers. Celle-ci comporte déjà des pièces prévues pour son montage. Pour toutes ces pièces, aucunes mises en plan n'étaient disponibles, sauf pour une seule. En ayant son diamètre extérieur, j'ai pu retrouver les cotations des autres éléments en faisant un rapport d'échelle sur cette représentation :

Présentation du montage



Une fois cela fait, j'ai pu commencer la modélisation de l'arbre. Il comporte :

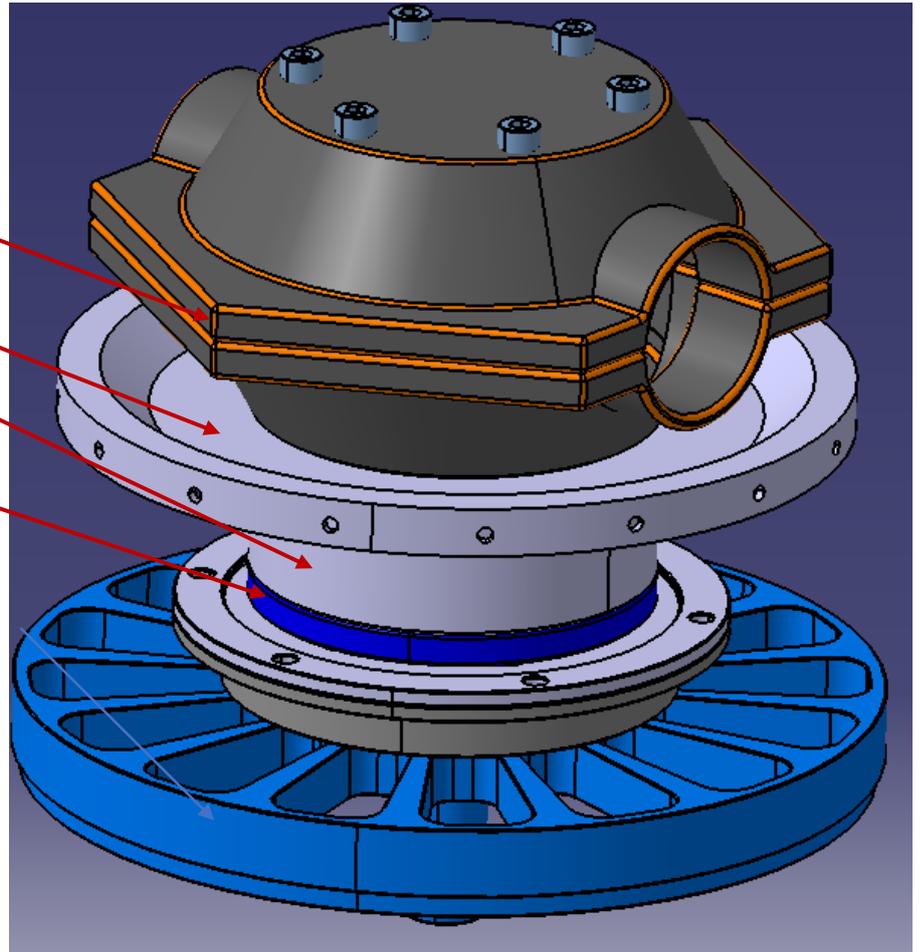
De deux demi-Moyeux

D'un cône

D'une platine pour le cône

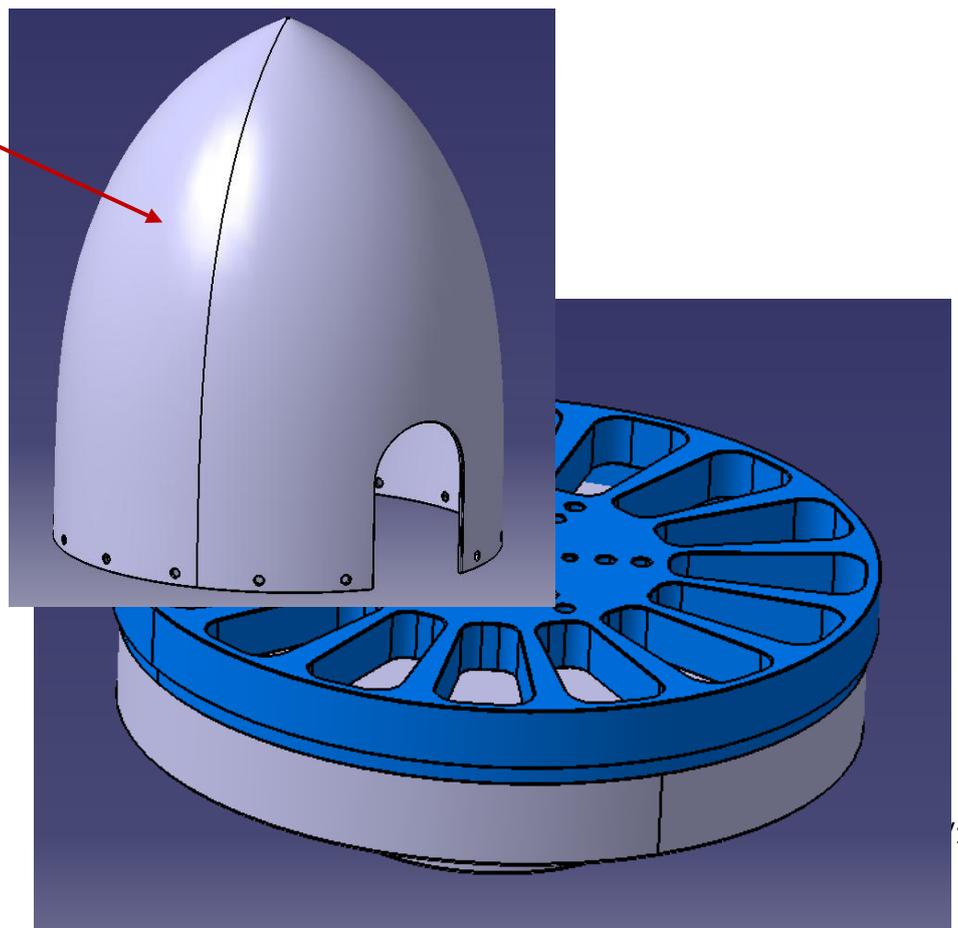
Une intercalaire de montage

Une entretoise de montage



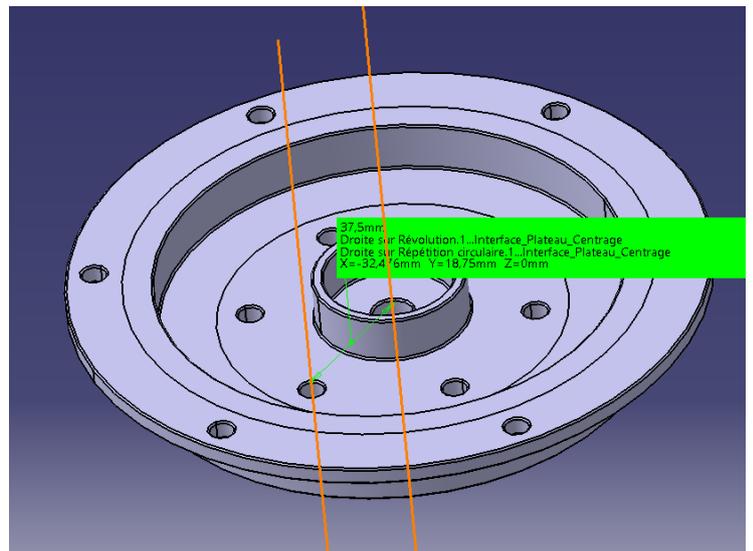
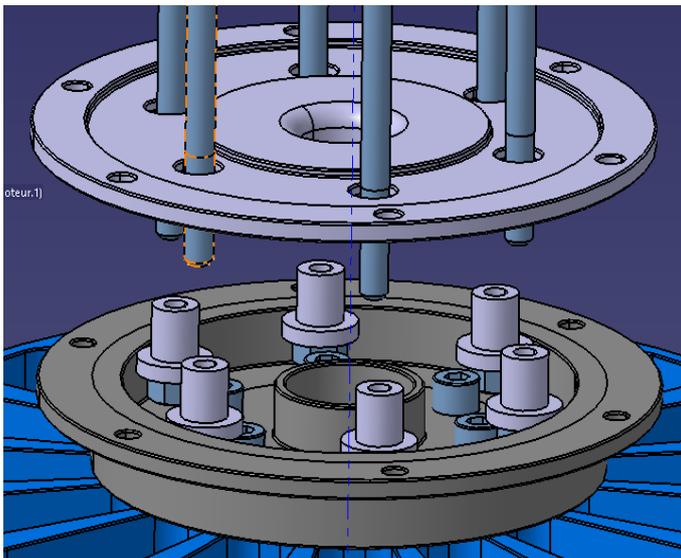
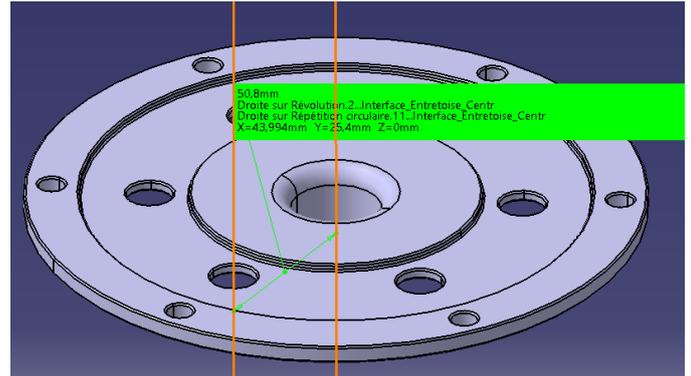
D'un cône

La pièce bleue correspond à l'arbre tournant du moteur ROTEX REB30, un moteur choisi par Technoplane pour son prototype :

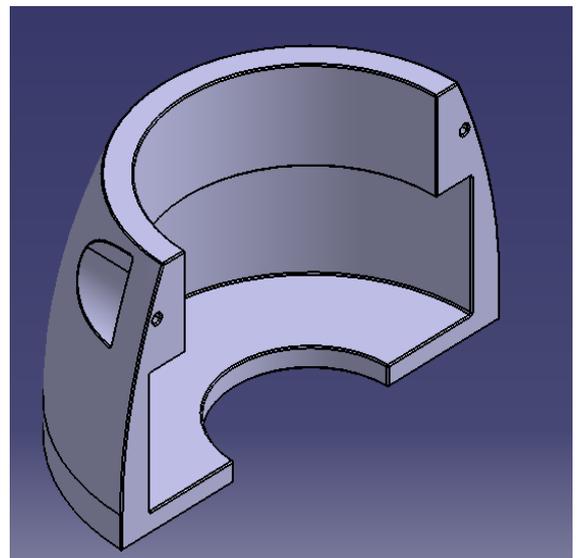
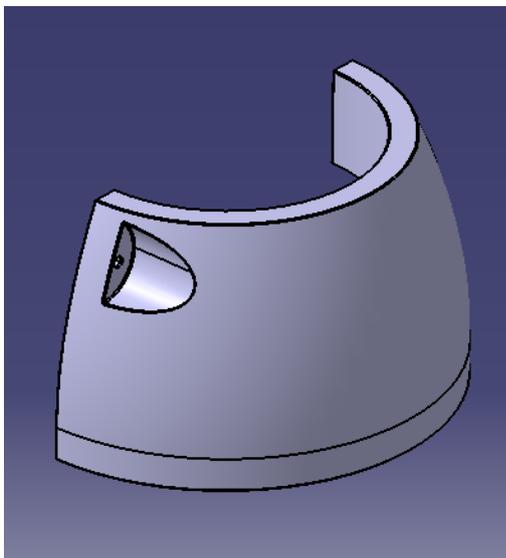


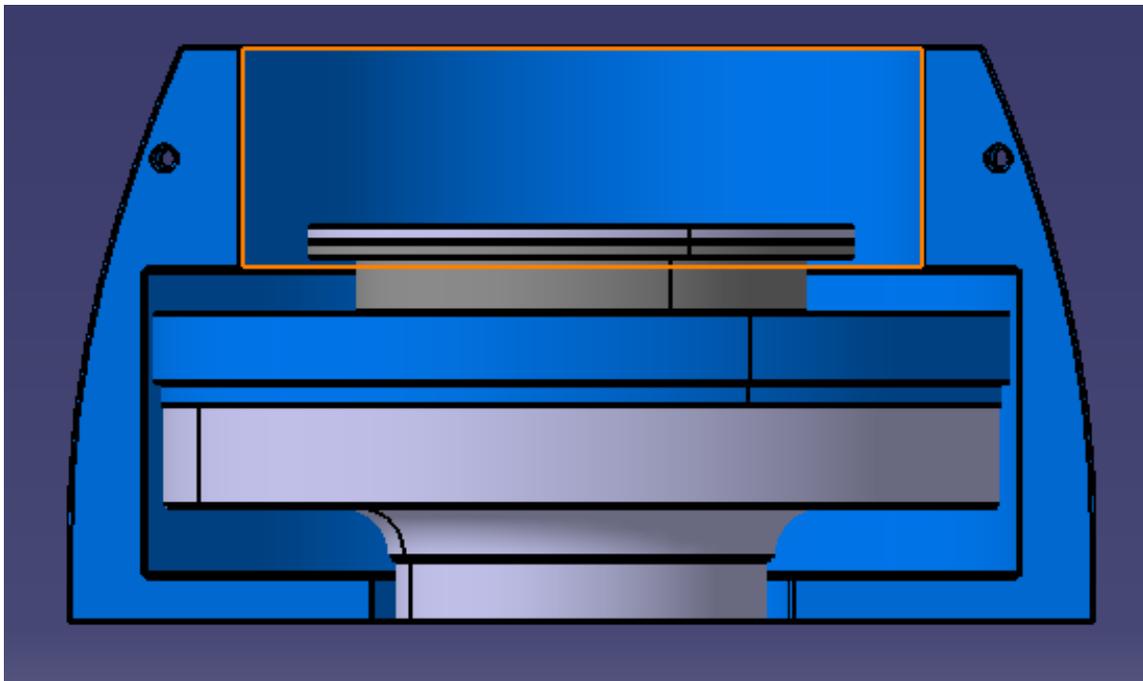
En revanche, le diamètre de positionnement des vis du demi-moyeu, valant 101.6mm, ne coïncide pas avec celui du moteur (75mm). Il a donc fallu que je crée 2 pièces permettant l'encastrement du bloc hélice sur l'arbre moteur :

Ces deux pièces permettent ainsi un encastrement rigide entre le moteur et le montage Duc Hélices. Elles viennent ensuite être assemblés par une couronne de 6 Vis M8. Cette interface propose une solution compacte en seulement 2 pièces.



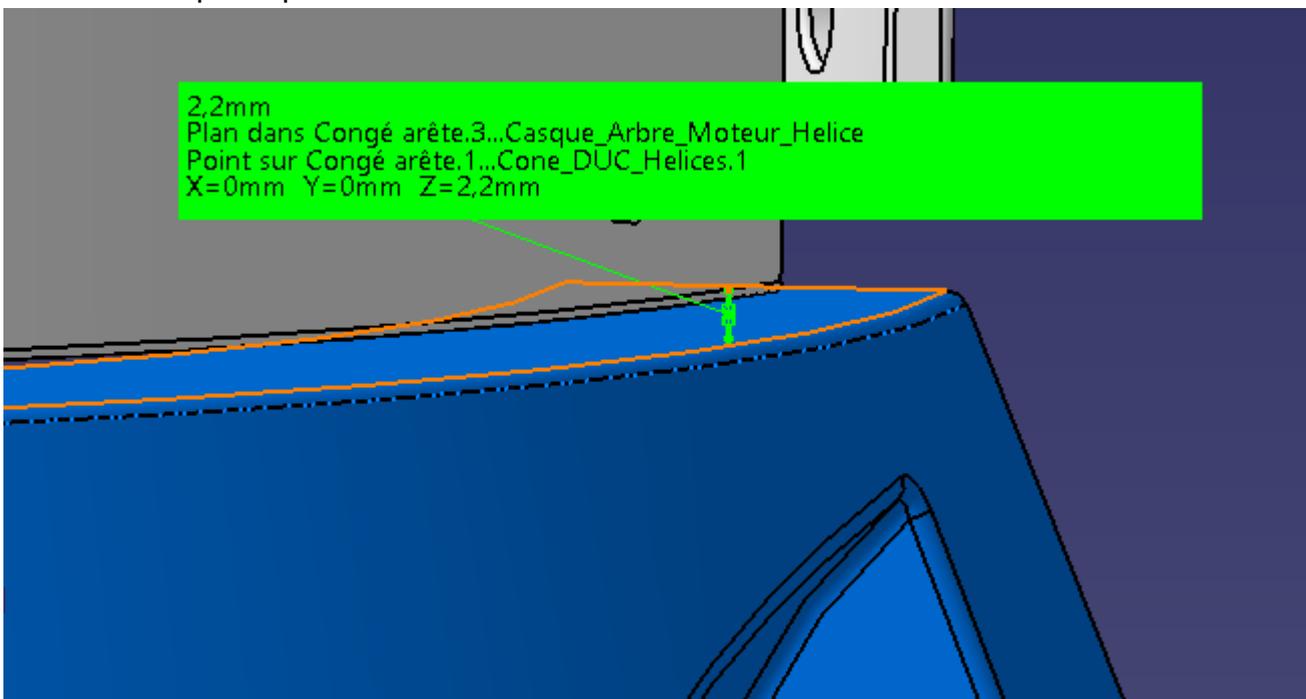
Afin de répondre au besoin de protéger le moteur de l'eau en vol, j'ai réalisé un capot limitant de manière significative l'entrée d'eau dans le stator :





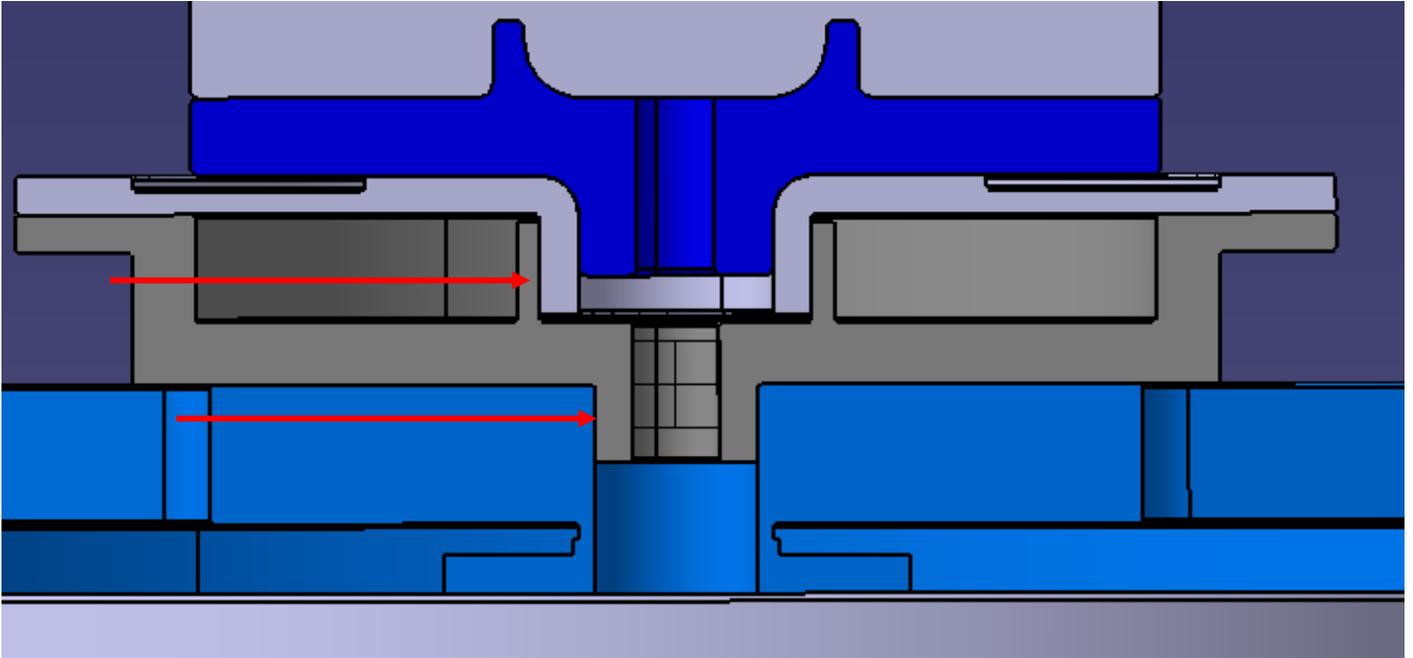
Un écart de 2,2mm sépare le capot de l'arbre, car dû à la haute vitesse de rotation de l'arbre et la vitesse du flux d'air, les chances qu'une quantité d'eau suffisante à faire court-circuiter le moteur sont infimes. Le stator n'est donc pas en danger.

La protection est permise par deux capots. Ceux-ci seront centrés et mis en position indépendamment sur la pièce bâti du module, puis viendront être serrés entre eux grâce à la déformation plastique.



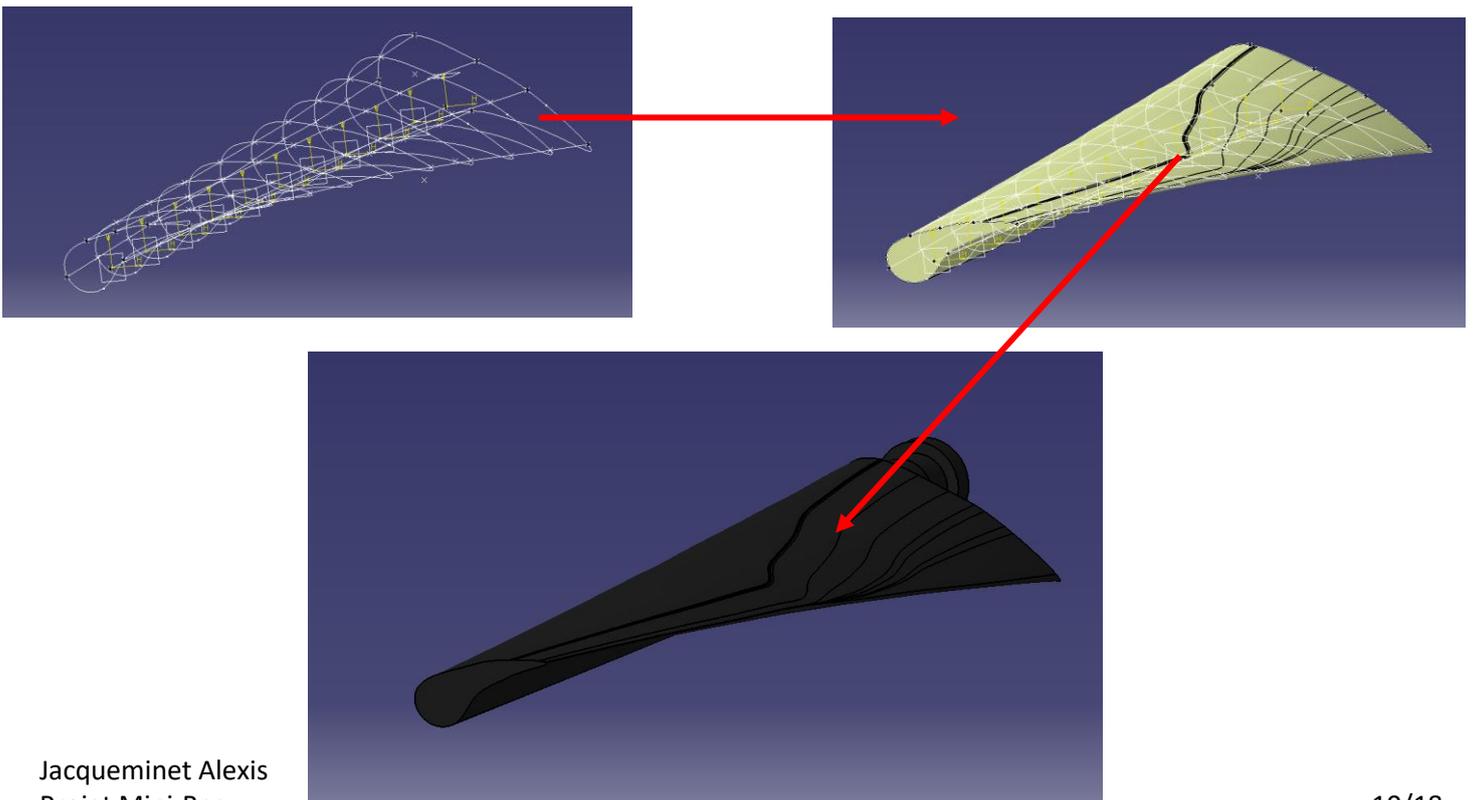
6. Evolution de la partie personnelle suite à la revue de projet 2 :

Après la revue de projet, nos enseignants ont conseillé de réaliser un centrage pour toutes les pièces de l'arbre, afin d'éviter toutes vibrations supplémentaires, et de garantir un meilleur positionnement :



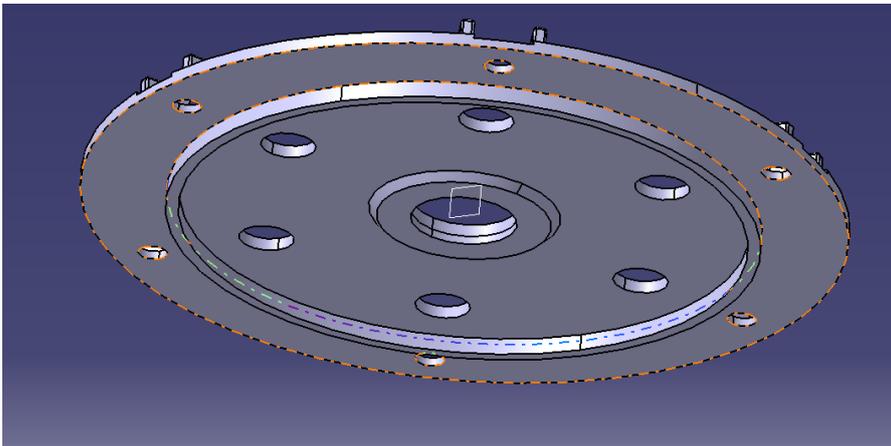
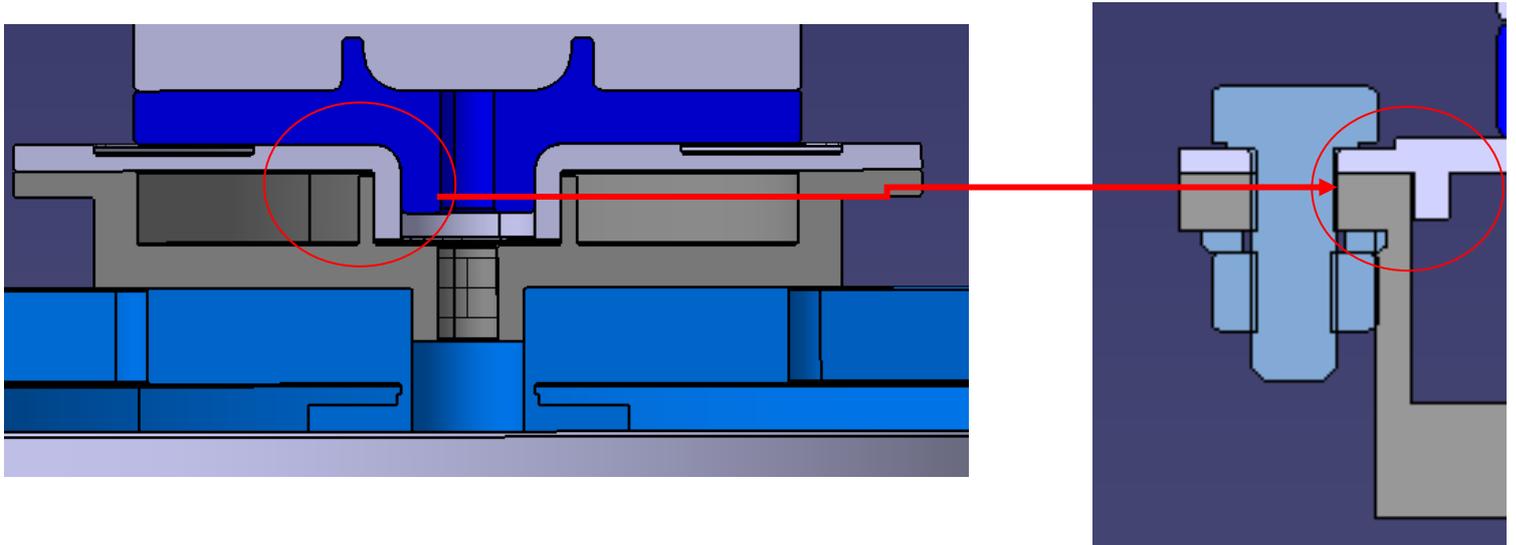
Pour ce qui est de la modélisation de l'hélice, j'ai dû travailler dans l'atelier « Generative shape and design » de CatiaV5.

Pour la suite des études effectuées sur le module moteur, nous n'utiliserons pas, la géométrie de l'hélice pour réaliser nos calculs. En effet nous utiliserons l'effort de poussée transmis à tout l'ensemble, les propriétés aérodynamiques sont donc négligées.

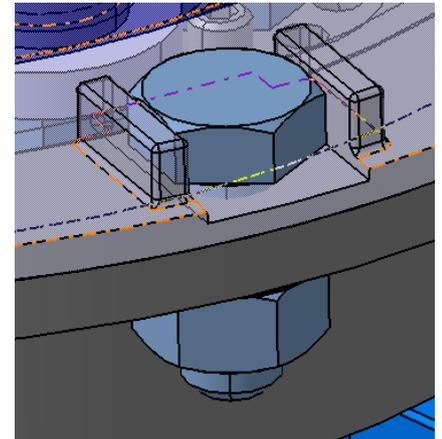


24 Mai 2019

Suite à la deuxième revue de projet, Le centrage de mes deux pièces permettant le montage de l'hélice sur le moteur a été déplacé. Il n'est en effet plus réalisé au niveau de l'entretoise Duc mais directement en bordure de « l'interface moteur » :



En vol, les vibrations sont omniprésentes, et sollicitent énormément la visserie. Afin d'éviter tout risque de desserrement en vol, les têtes de vis, ou les écrous doivent être bloqués par une solution physique. J'ai alors choisi de réaliser une extrusion permettant de figer la tête de vis par deux extrusions, empêchant totalement la vis de tourner. Avec une largeur de tête de vis de 13mm, les deux rebords situés à 14mm l'un de l'autre assure le bon maintien du serrage :



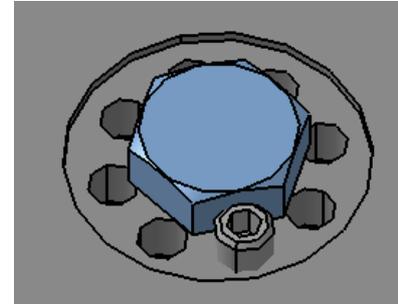
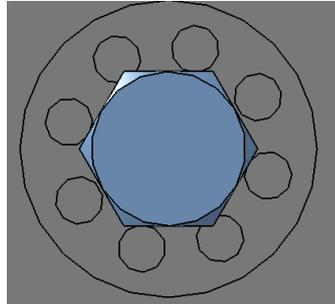
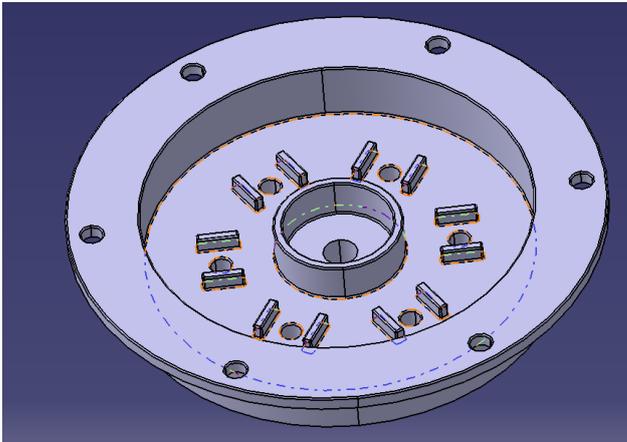
Pour les écrous, ceux-ci seront percés sur leurs cotés afin de venir les lier deux par deux par un fil. Cela servira au serrage et également de repère visuel, pour s'assurer que le tout est bien fixé ou si il y a alors nécessité de resserrer à nouveau.

Pour ce qui est de la pièce réalisant l'interface du moteur et de l'hélice, Il était également nécessaire de bloquer les fixations par une solution physique. J'ai au départ usé de la même

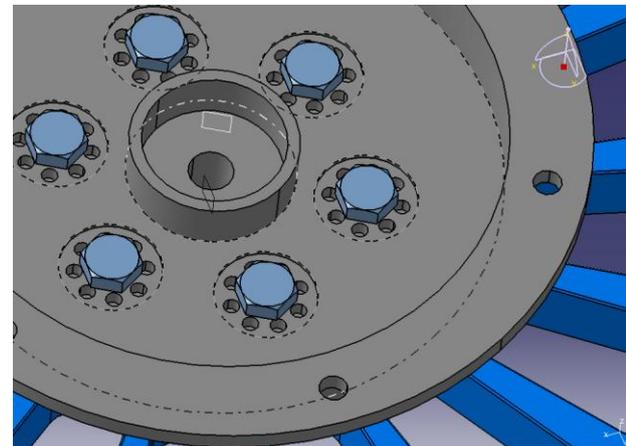
24 Mai 2019

solution qu'avant, sauf que ceci était irréalisable étant donné que le vissage se fait avec uniquement les vis. Le blocage physique empêche tout moyen de serrer l'ensemble :

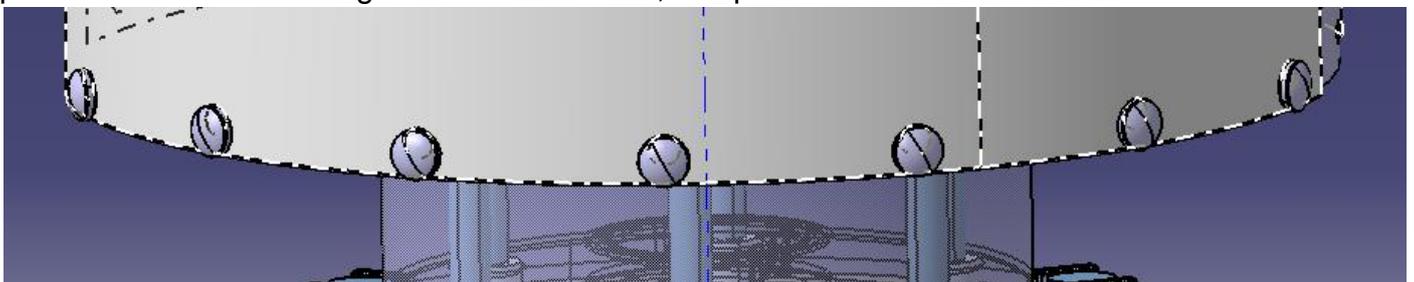
J'ai alors cherché une solution alternative. Au départ je souhaitais assurer le blocage physique par l'usage de vis de pression une fois la vis montée, avec plusieurs emplacements :



Cela soulève alors un nouveau problème, le coût de réalisation (48 perçages en plus par pièce en cas d'industrialisation). J'ai donc décidé d'utiliser le même procédé vu précédemment plus hauts avec les écrous. Les vis seront contraintes entre elles, deux par deux par un fil, offrant les mêmes garanties de serrage.



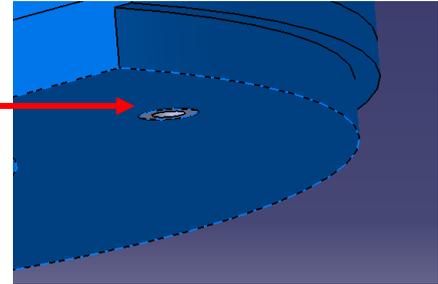
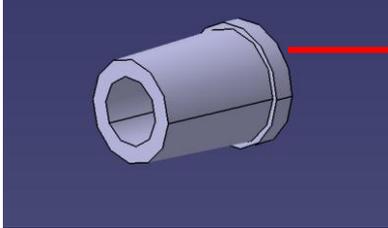
Par la suite, j'ai choisi comme solution de maintien en position du Cône DUC de l'assembler à la platine de montage des rivets, pour un total de 14 rivets :



24 Mai 2019

Passons maintenant au casque permettant d'empêcher tout contact entre le moteur et l'eau.

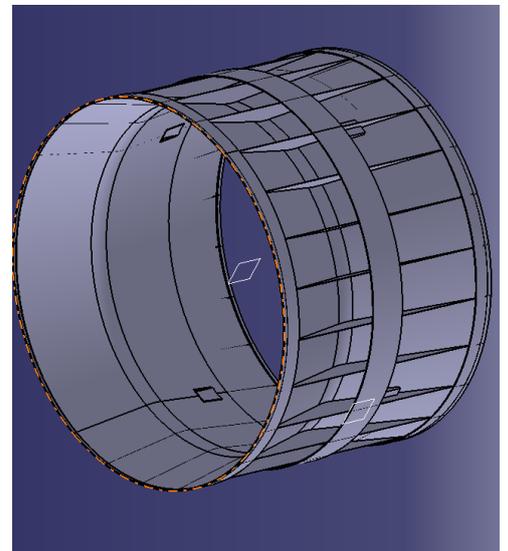
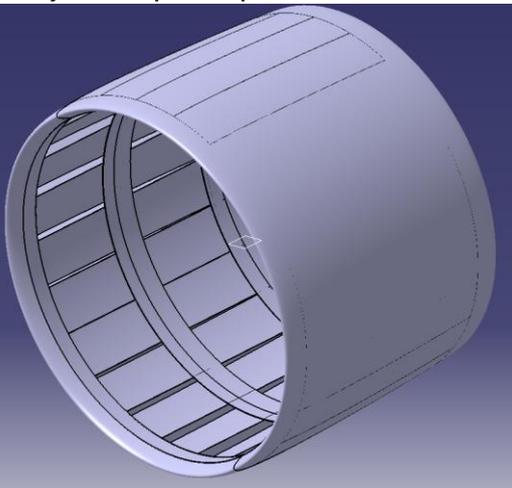
Le taraudage étant de mauvaise qualité dans du plastique, l'ajout d'inserts métalliques me semblait être une solution adéquate pour ceci. Ils seront intégrés au moule avant l'ajout du matériau lors de sa réalisation.



Cela me permet ainsi de garantir un encastrement rigide entre la pièce bâti du module moteur et le casque de protection.

Passons à la « jupe » du module moteur.

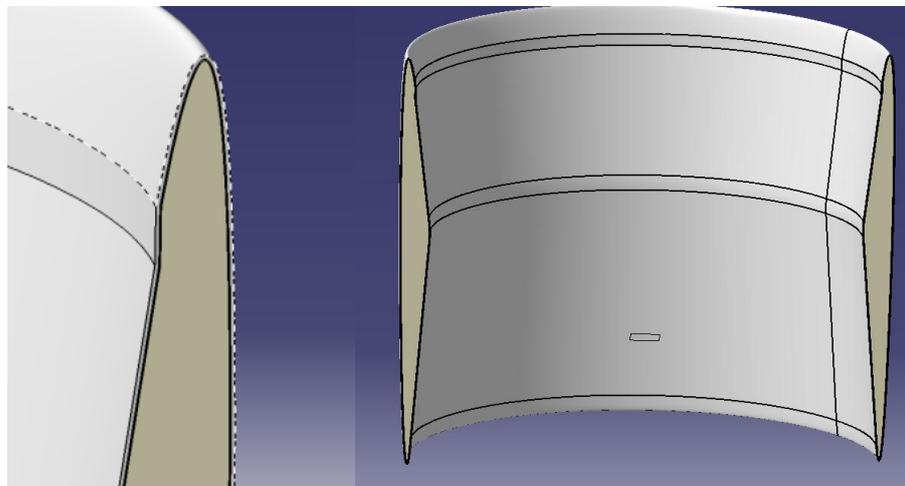
Elle devait au départ être réalisée en deux pièces, obtenue par injection plastique :



Cependant, certaines formes, notamment au niveau des bords d'attaques et de fuites, étaient impossibles à obtenir, même après simplification de la géométrie.

J'ai alors du revoir le matériau et le procédé d'obtention, pour aboutir à cette jupe V2 :

Inspiré des planches de surf, la jupe sera réalisée avec un pain en mousse de polystyrène découpé selon la forme voulue, enrobé d'une fine couche de fibre de verre, allégeant également le poids de la pièce.

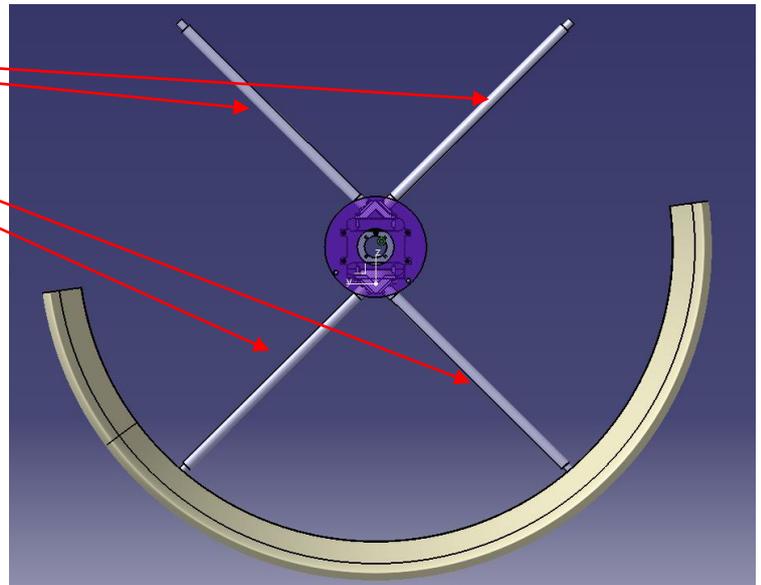
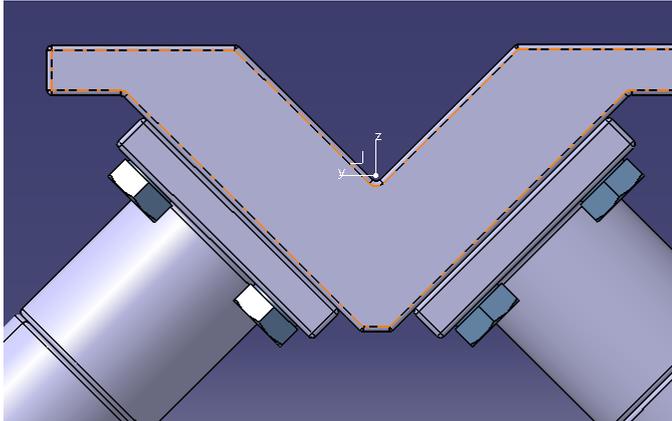


La couche de fibre de verre sera d'une épaisseur de 3mm :

Le montage de la jupe se fait par l'intermédiaire de 4 bras sur la pièce bâti :

Ceux-ci sont montés deux par deux, sur deux surfaces.

Une pièce de raccord le permet grâce à ses deux surfaces inclinées à 45° :

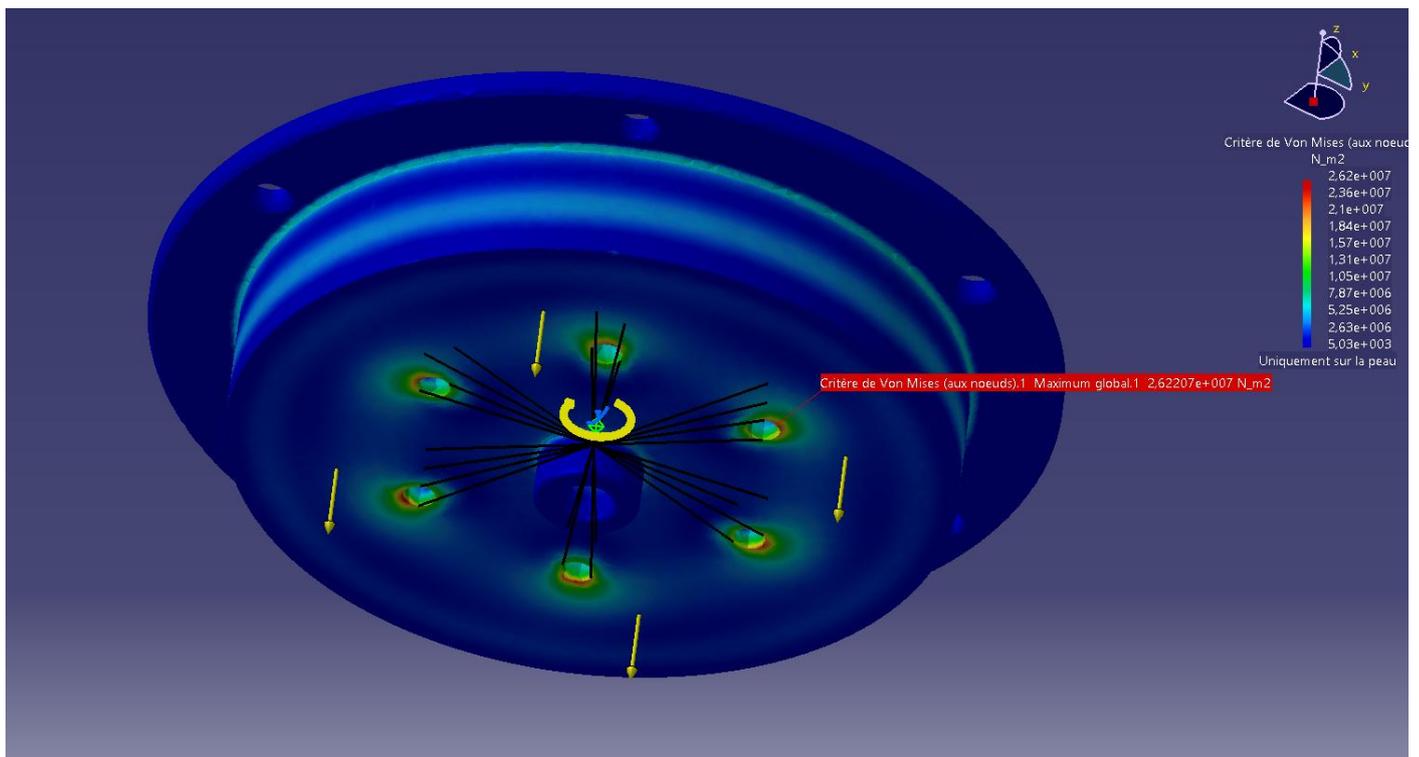


Les bras sont composés de 3 pièces. Deux pièces pour réaliser l'encastrement de chaque coté du bras et d'un arbre plein qui sera soudé aux deux dernières.

7. Simulation des efforts exercés sur la pièce industrialisée :

L'interface Moteur/Montage hélice est soumise à 2 contraintes durant la phase de vol : Le couple max exercé par le moteur Rotex REB 30 (pour une fréquence de rotation de 3000 tr.min⁻¹ et une puissance de 30Kw) s'élève à 95,5N.m.

Reste alors l'effort de traction exercée par la poussée de l'hélice. Cette valeur avait déjà été déterminée lors de la rédaction du CDCF (> 3800N, correspondant au poids du Mini-Bee avec la charge utile max divisé par le nombre de moteurs).L'effort appliqué est arrondi à 4000N pour la simulation.



La contrainte max retenue est de 26Mpa. Elle va donc me servir de référence pour le choix de mon matériau. En aéronautique, le coefficient de sécurité est en général de 2, je vais donc prendre comme Re min 50Mpa.



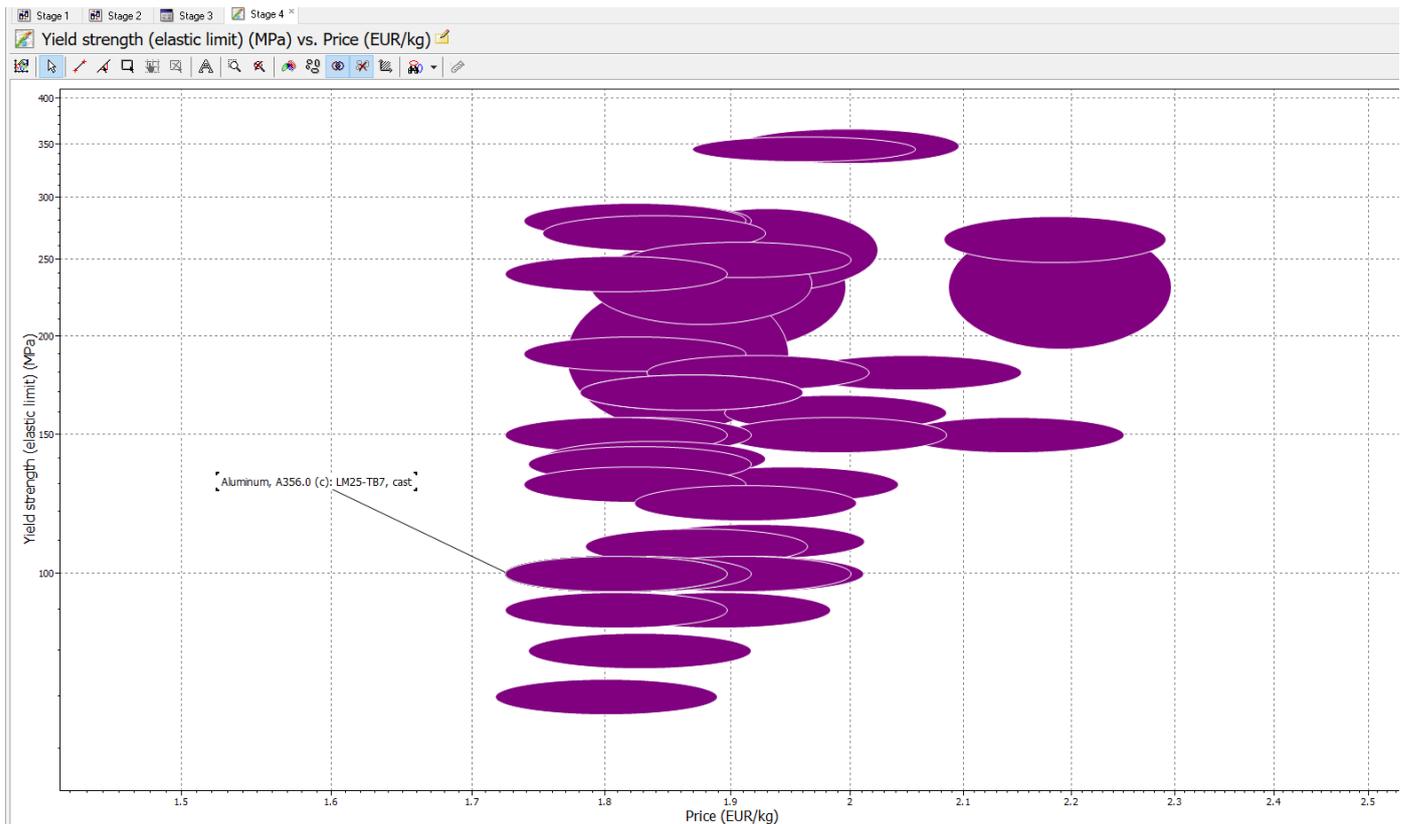
8. Choix du matériau avec le logiciel CES :

CES est un logiciel permettant de rechercher des matériaux et procédés de fabrication en fonction de critères tel que les propriétés mécaniques, électriques, composition des alliages, prix ou encore coût des procédés.

Rapport Conception détaillée Motorisation Mini-Bee

24 Mai 2019

La pièce industrialisée sera produite par moulage au sable vert. Afin d'avoir une pièce légère, je souhaite trouver un alliage d'aluminium. Mes critères de recherche sont l'obtention du produit brut par le moulage au sable vert, le prix et la résistance élastique min de 50MPa :



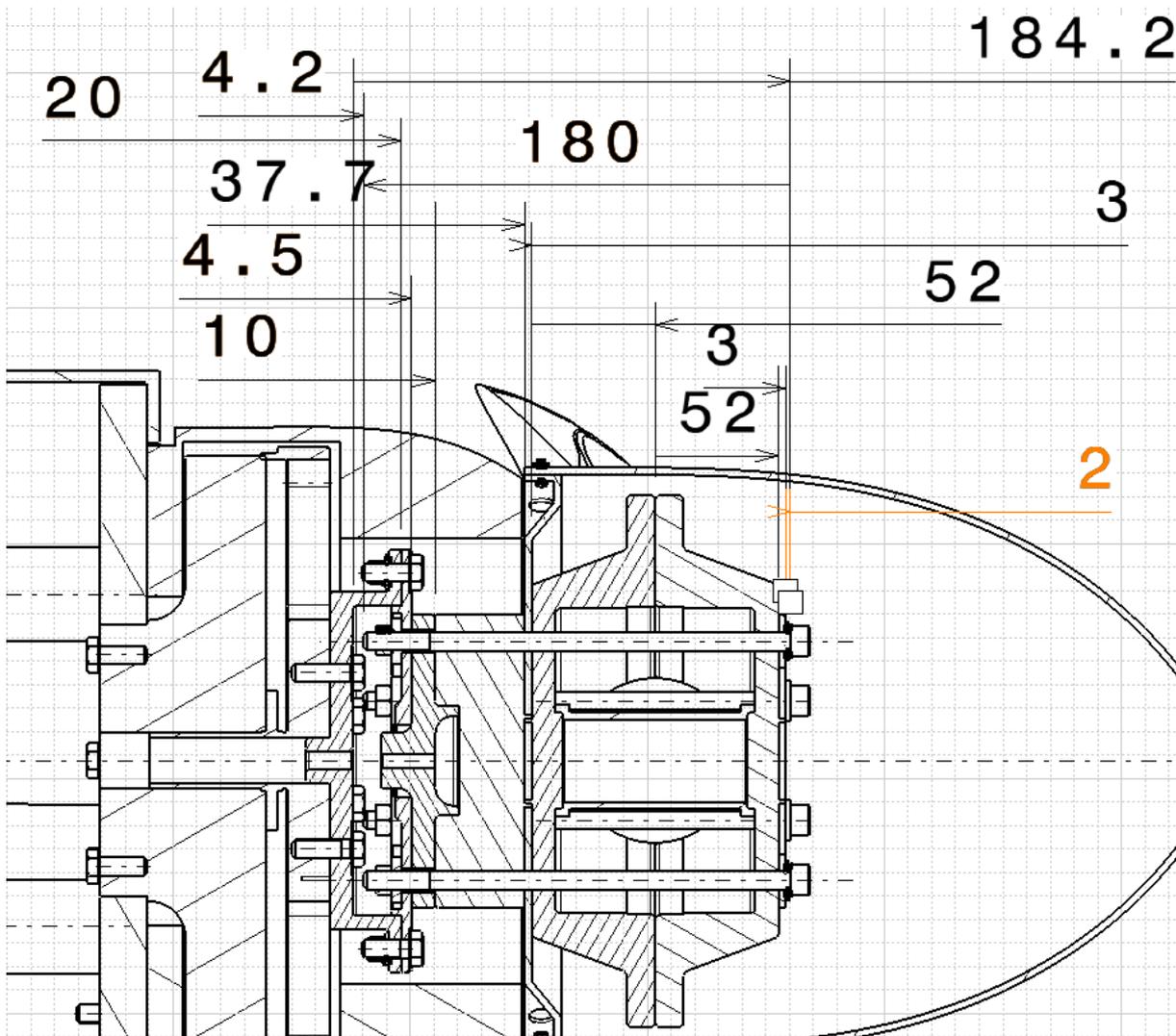
Le graphique ci-dessus m'a ensuite permis de finir ma recherche en intégrant le critère du prix.

L'alliage A356.0 (c): LM25-TB7 répond à mon besoin avec sa faible densité. La résistance élastique de celui-ci est de 100MPa, fixant ainsi le Cs à 4.

General properties			
Designation			
A356.0 (c): LM25-TB7			
UNS number	A03560		
Density	2.65e3	-	2.71e3 kg/m ³
Price	1.72	-	1.9 EUR/kg
Tradenames			
MADISON-KIPP NO. 400, Kippcast (USA); WELDLOY NO. 690, Park Sales Co. (USA); SEMALLOY NO. 2401, Semi-Alloys, Inc. (USA); ALUMINUM A-57G, French manufacture (France);			
Composition overview			
Composition (summary)			
Al/Si/Mg			
Base			
Al (Aluminum)			
Composition detail			
Al (aluminum)	93	-	%
Mg (magnesium)	0	-	%
Si (silicon)	7	-	%
Mechanical properties			
Young's modulus	71	-	75 GPa
Flexural modulus	71	-	75 GPa
Shear modulus	26	-	28 GPa
Bulk modulus	65	-	86 GPa
Poisson's ratio	0.32	-	0.36
Shape factor	40	-	
Yield strength (elastic limit)	95	-	105 MPa
Tensile strength	219	-	242 MPa
Compressive strength	95	-	105 MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	95	-	105 MPa
Elongation	5.6	-	6.5 % strain
Hardness - Vickers	64.5	-	65.5 HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	45	-	55 MPa
Fatigue strength model (stress range)	36.4	-	45.9 MPa
Excludes: Stress Ratio = 0, Number of Cycles = 1e7			
Fracture toughness	24	-	26 MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	1e-4	-	0.0025

9. La Chaine de cote :

Ce que nous voulons dans notre cas, est de calculer le jeu entre le bout de la vis CHCM8x180 et le fond de l'interface, la pièce industrialisée, en effet nous souhaitons empêcher tous contact entre ces deux pièces.



Jeu Max calculé $\rightarrow 20.25 + 4.75 + 10.05 + 37.75 + 3.05 + 52.05 + 52.05 + 3.05 + 2.15 - 179.5 = 5.15$

Jeu Mini calculé $\rightarrow 19.75 + 4.25 + 9.95 + 37.65 + 2.95 + 51.95 + 51.95 + 2.95 + 1.85 - 180.5 = 2.75$

ITmoy = JMax - JMini = 5.15 - 2.75 = 2.9mm

10. Annexes :

