



# Projet Technoplane

Soutenance S7  
Fin du projet



# Sommaire

- Mise en contexte
- Gestion de projet
- Présentation de la démarche
  - Habitacle
  - Système d'orientation des rotors
- Conclusion



# Présentation du Mini Bee



HAMZA FOUATHI @ LESSER OPEN BEE LICENSE 1.1



# Acteurs du projet

M. Xavier Dutertre



M. Gaétan Gottis

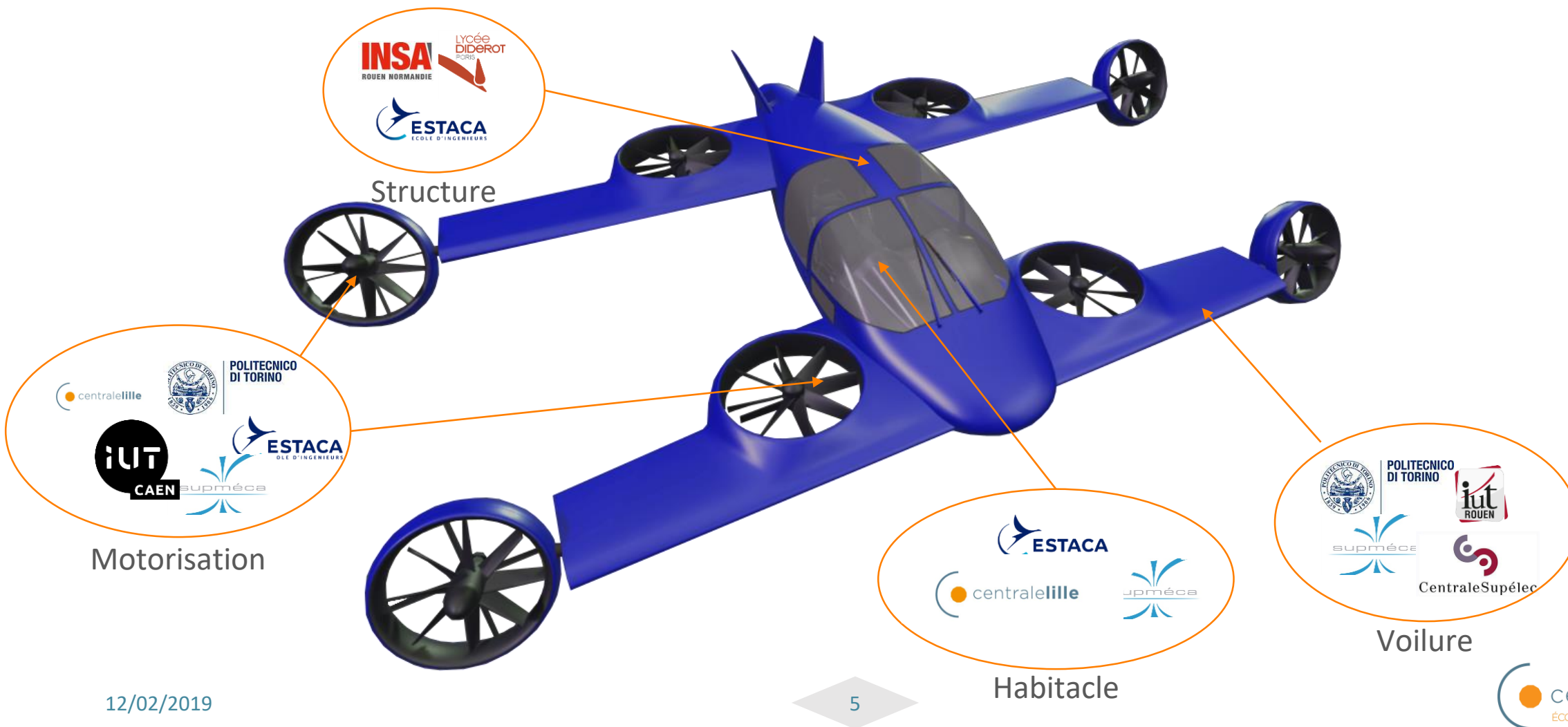
Equipe projet  
15 élèves



Référent : M. El Kamel  
Pilote : M. Mesghouni  
Consultants techniques

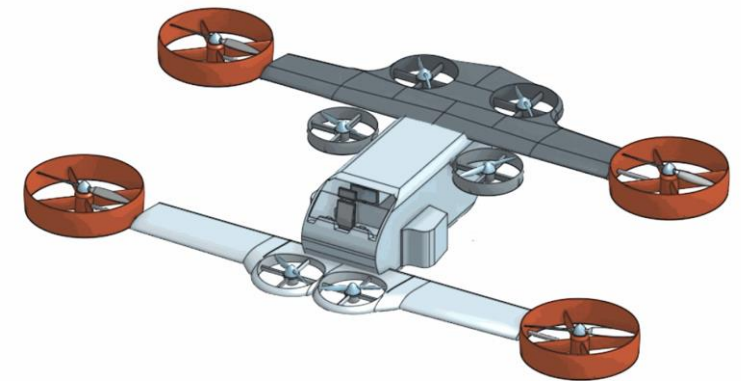
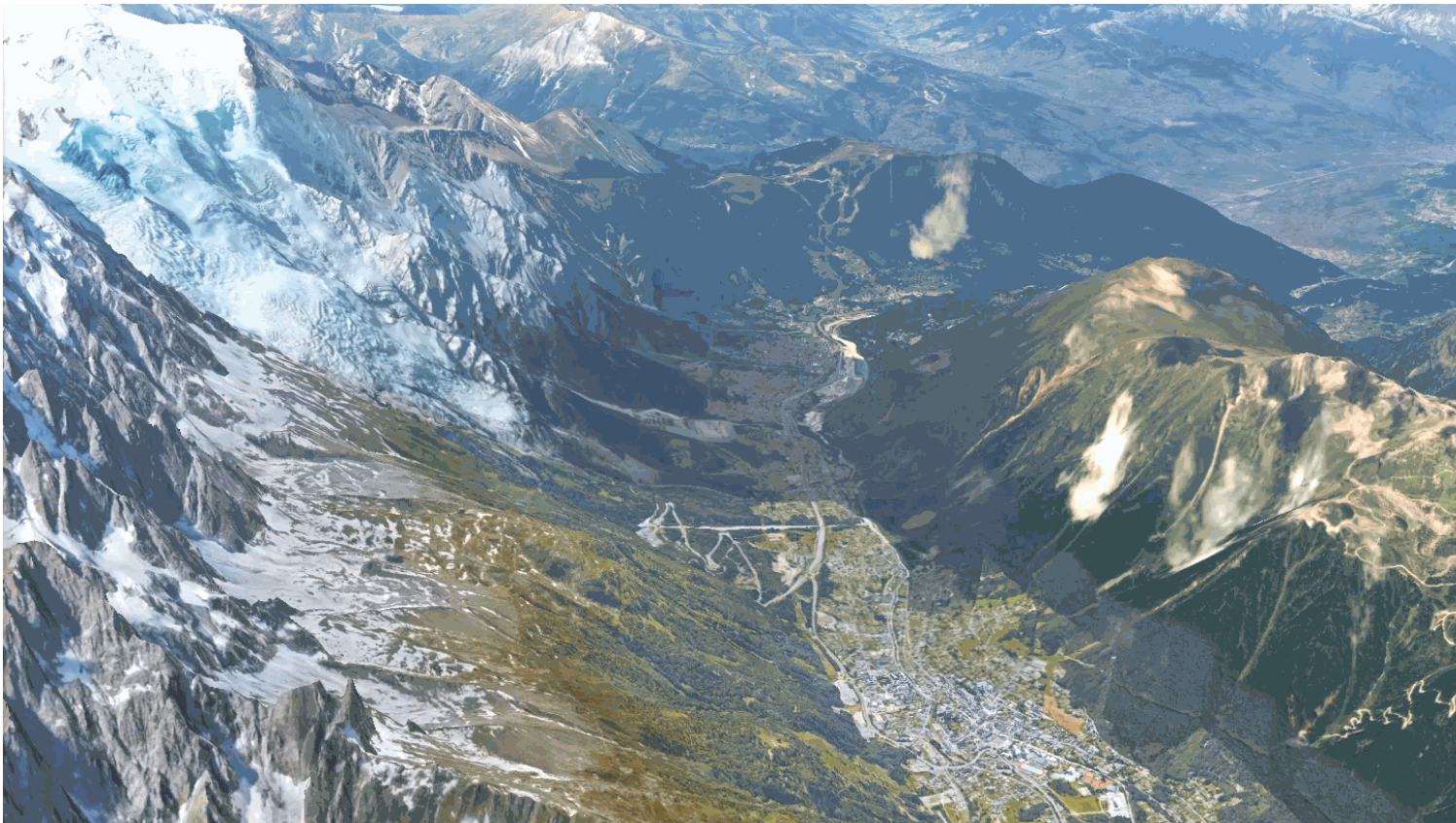


# Les intervenants





# Cahier des charges



# Lancement du projet



## Phase 1

- Recherche documentaire sur le travail réalisé par les autres écoles
- Prise de connaissance de l'état d'avancement du projet

## Phase 2

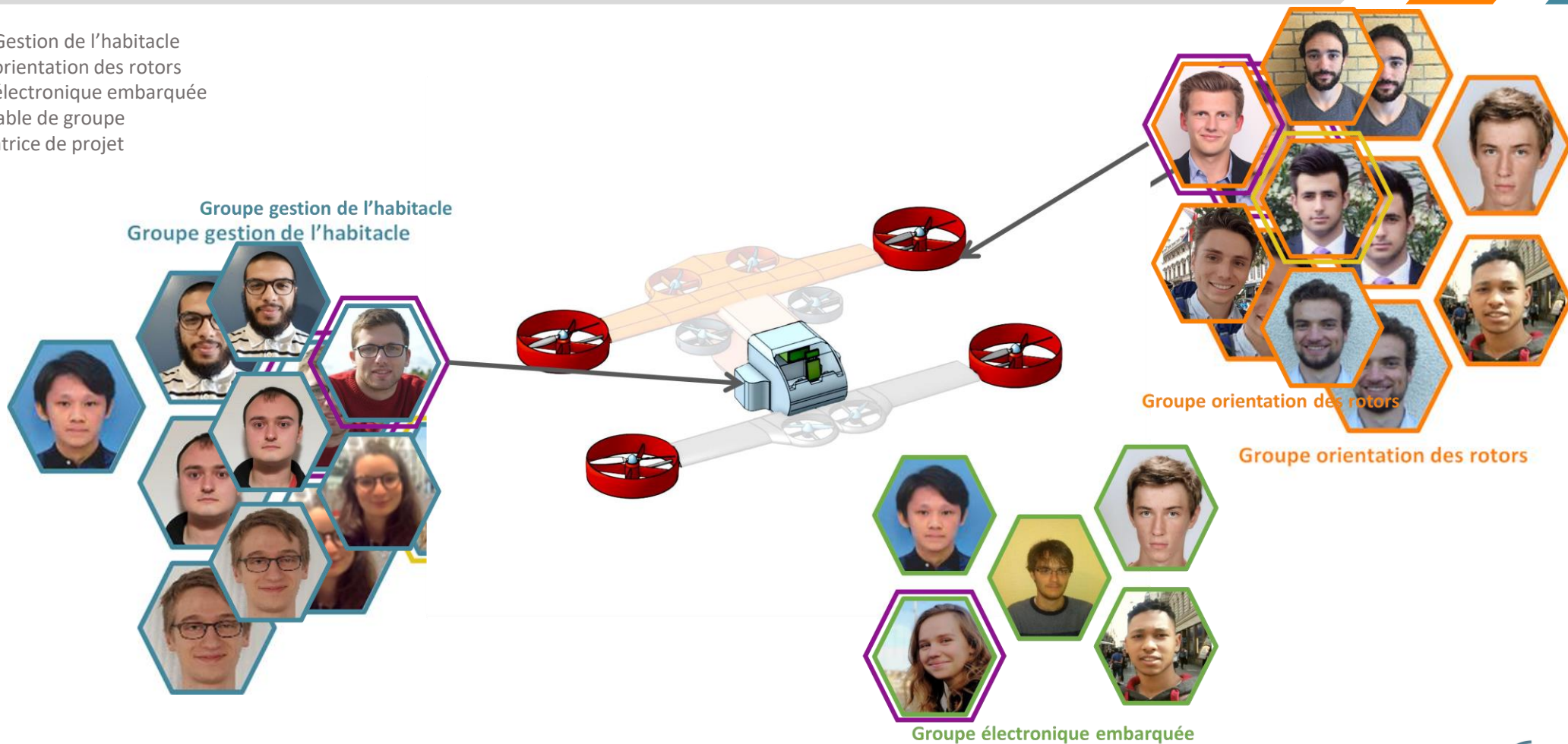
- Détermination des travaux envisageable pour notre équipe
- Positionnement sur les parties techniques voulues

## Phase 3

- Elaboration du cahier des charges en accord avec les choix précédents

# Sous-groupes

- Groupe Gestion de l'habitable
- Groupe orientation des rotors
- Groupe électronique embarquée
- Responsable de groupe
- Coordinatrice de projet





# Méthodes de travail

## Particularités



Interconnexion de toutes les parties du mini bee



Evolution du projet et du cahier des charges

## Organisation



Cahier des charges évolutif



Définir une plage de validité pour nos solutions et non un point de fonctionnement précis



Gestion du travail en sous-groupe et réunions (Chaque mardi)

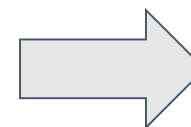
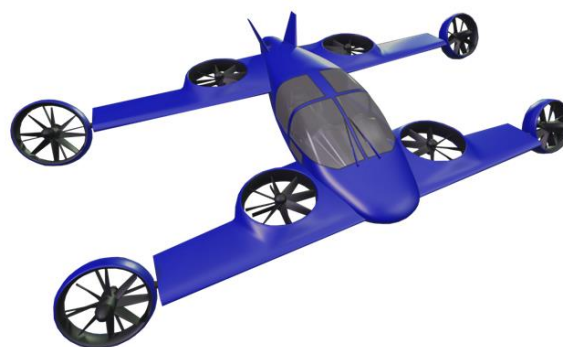
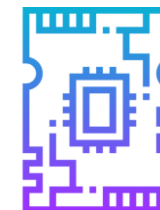


Communication avec le client pour suivre les évolutions et fournisseurs

# Méthodes de travail

Adaptation au projet :

- ❑ Suppression du sous-groupe de travail électronique embarqué
- ❑ Modification du mini-bee:
  - Diminution de la taille de l'habitacle
  - Ajout de 2 moteurs

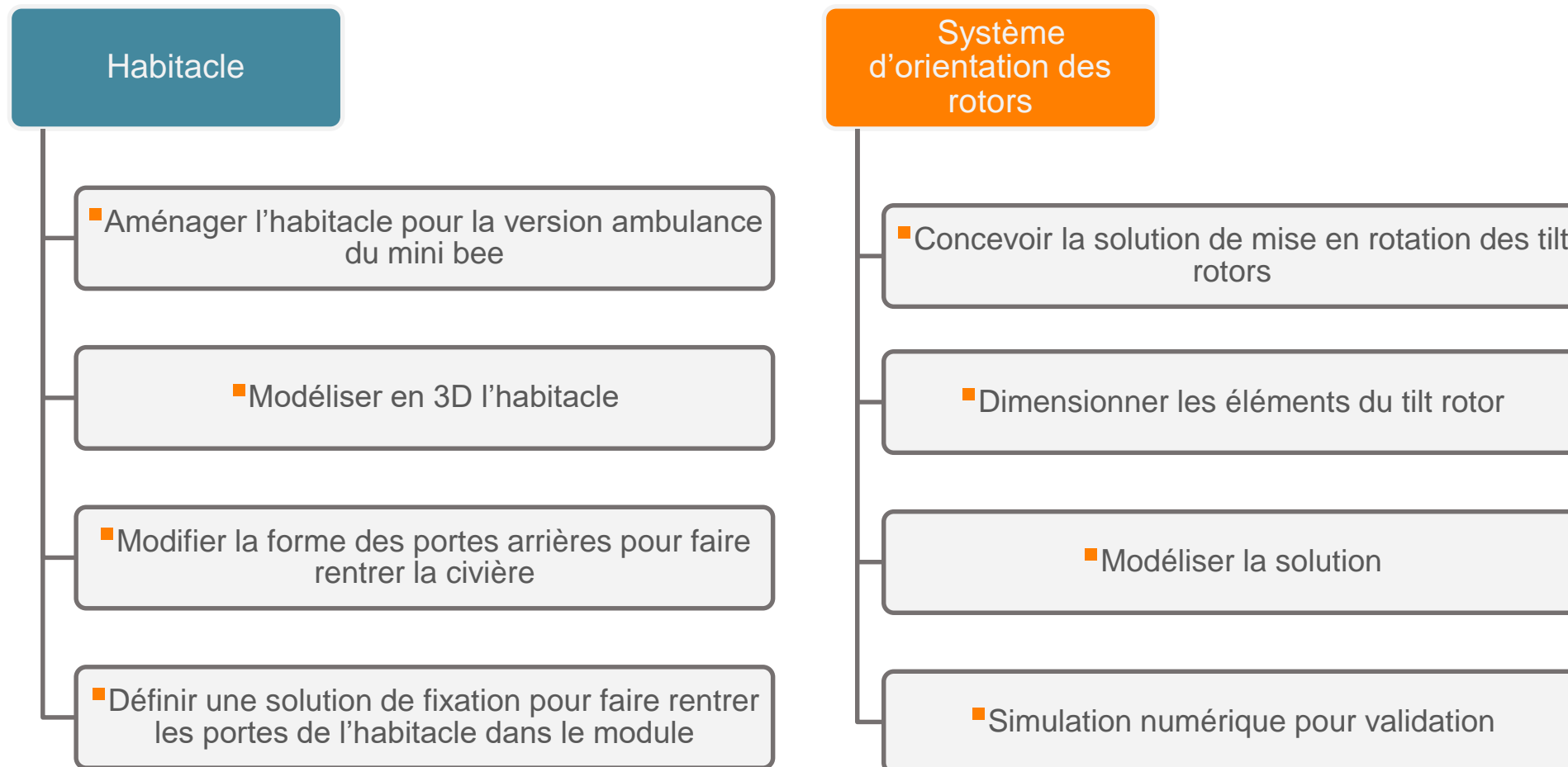


# Budget

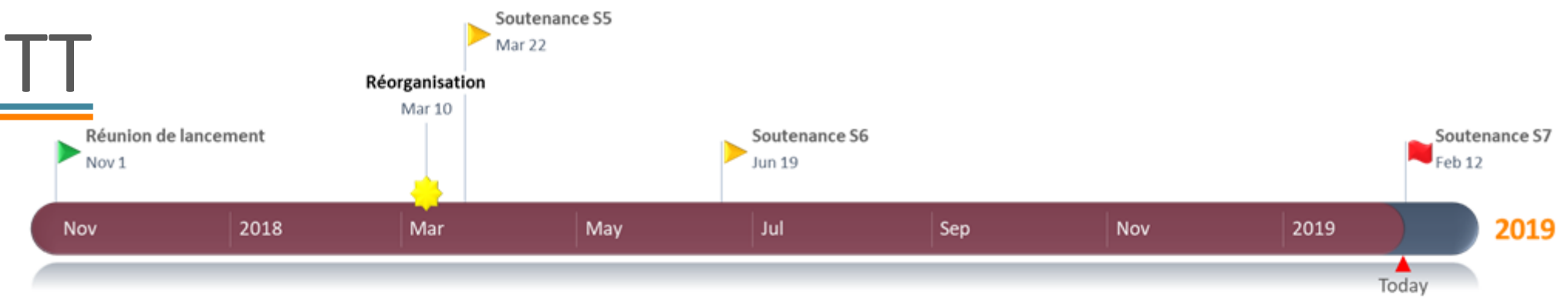
Exclusivement financé par l'Ecole Centrale de Lille



# Objectifs



# GANTT



Jul 1 ← Vacances d'été → Sep 2

Définition du cahier des charges

Nov 2 → Dec 21

Etat de l'art du projet

Nov 3 → Jan 3

Optimisation vitesse de rotation des hélices

Jan 6 → Apr 14

Définition de la solution

Apr 10 → Jun 8

Listing des solutions pour les capteurs

Dec 11 → Mar 11

Définition de l'aménagement de l'habitacle

Jan 12 → Mar 12

Réalisation d'un modèle numérique

Mar 4 → Jul 2

Création du système d'affichage

Mar 1 → Jun 12

Modèle 3D avec dimensions correctes

Sep 1 → Dec 21

Etude aérodynamique

Nov 9 → Jan 19

Proposer une solution technique pour les portes

Sep 3 → Oct 25

Etude technique de la solution

Nov 4 → Jan 24

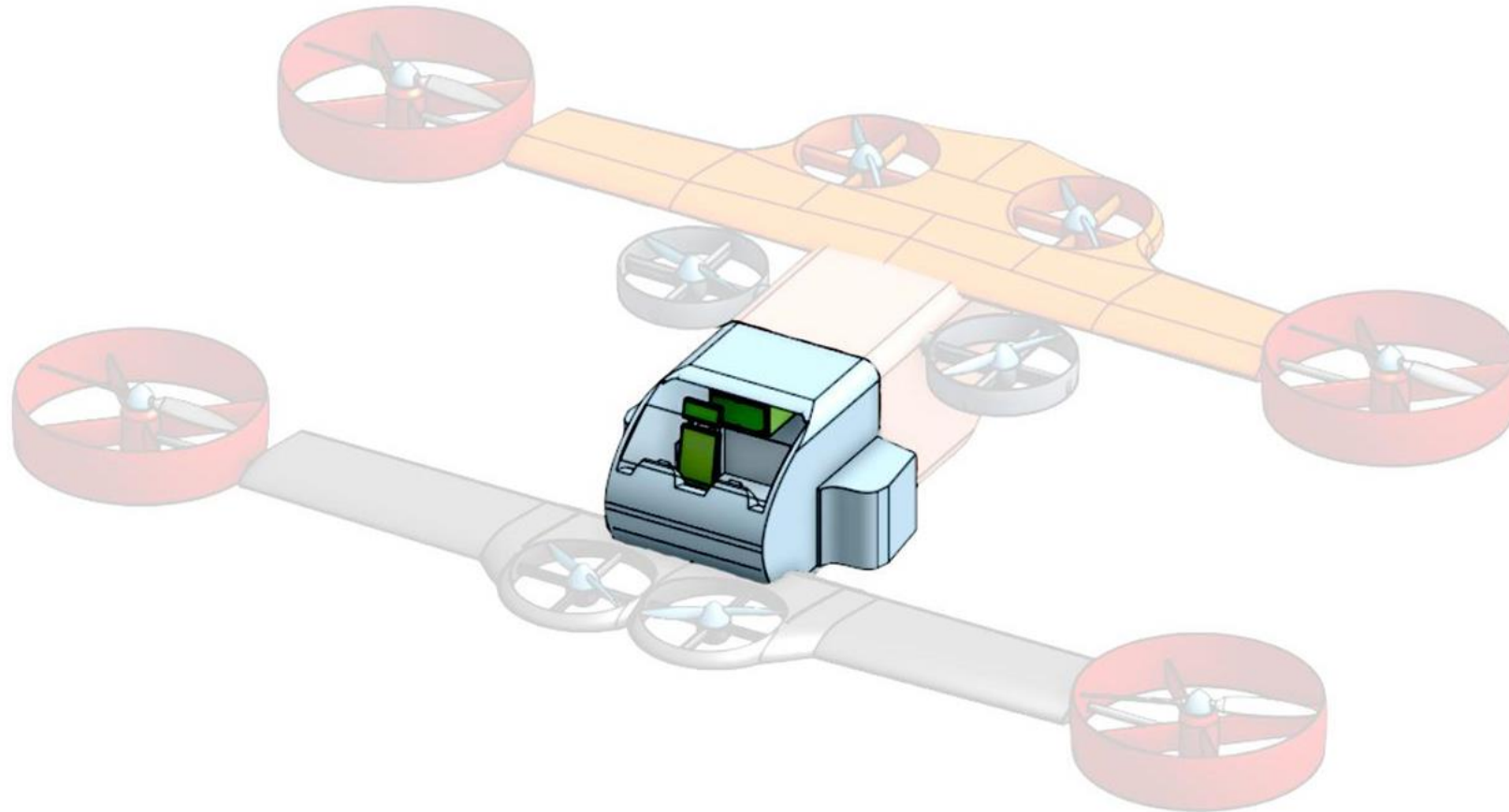
Finalisation et préparation de la soutenance

Modélisation de la solution retenue Jan 31 → Feb 12

Definition complete des composants du rotor Sep 15 → Jan 21

Definition complete des composants du rotor Sep 3 → Sep 15

# Gestion de l'habitacle



# Objectifs

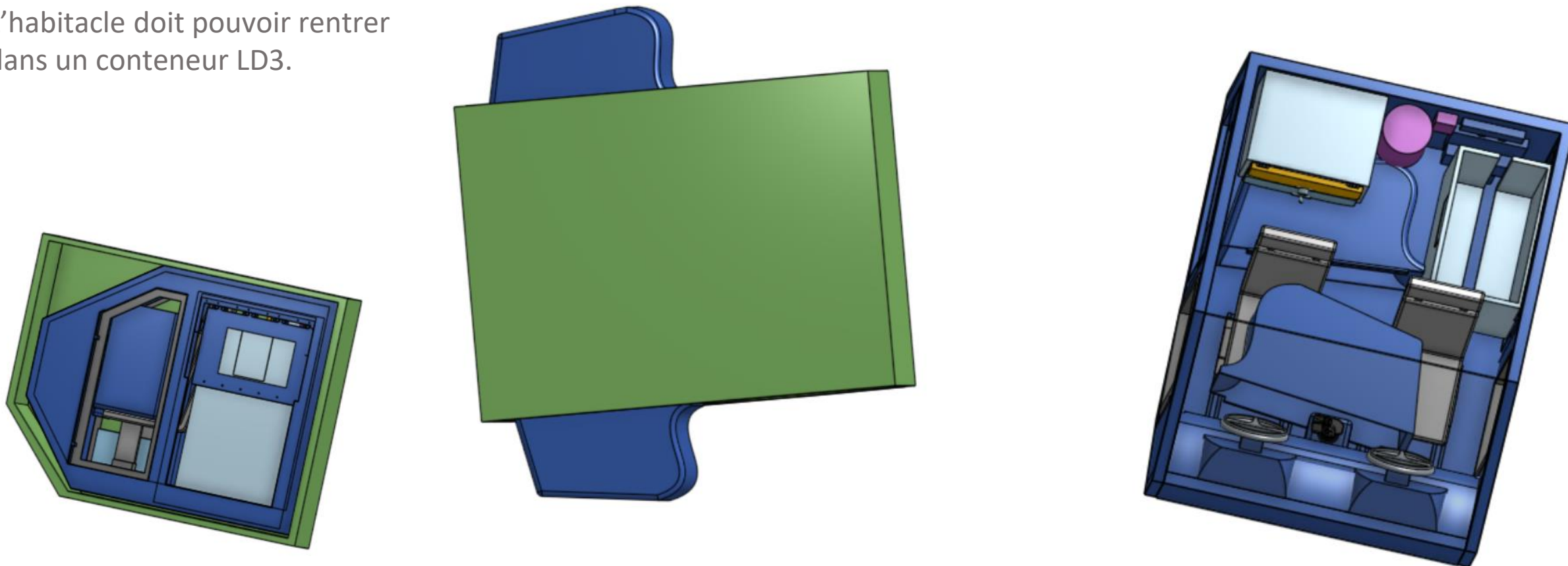
## Nos objectifs

1	Concevoir la structure des portes	<ul style="list-style-type: none"><li>● Forme permettant de mettre un brancard</li><li>● Forme aérodynamique</li><li>● Extension démontable</li></ul>
2	Aménager l'intérieur de l'habitacle	<ul style="list-style-type: none"><li>● Lister le matériel, selon différents scénarii</li><li>● Ranger le matériel</li><li>● Ranger les portes pour transport dans le conteneur</li></ul>
3	Modélisation des solutions	<ul style="list-style-type: none"><li>● Plan 2D</li><li>● Modèle CAO 3D</li></ul>



# Problématique du conteneur

L'habitacle doit pouvoir rentrer dans un conteneur LD3.



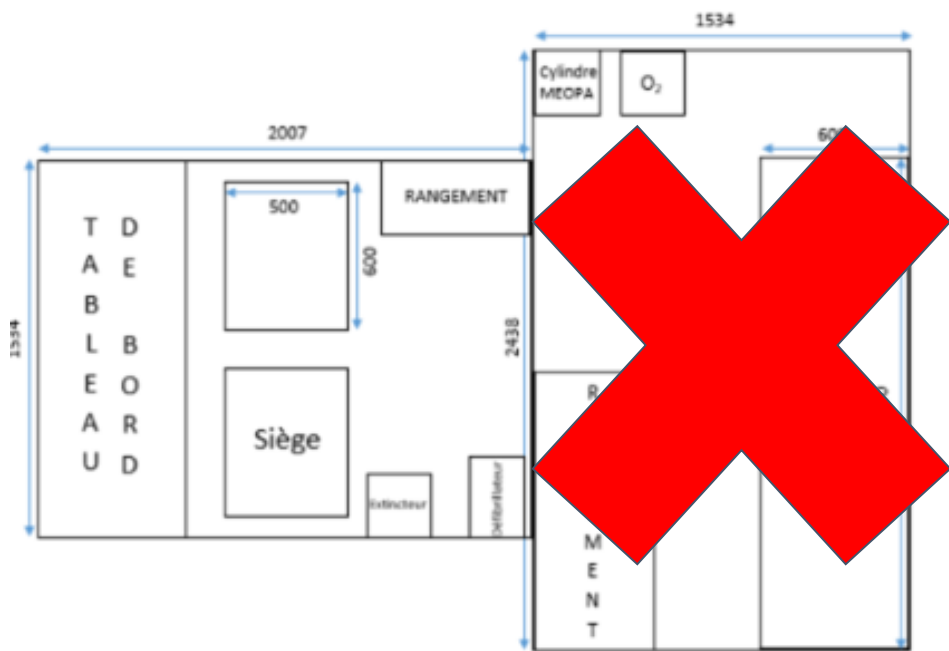
Les solutions de rangement des portes et de la civière



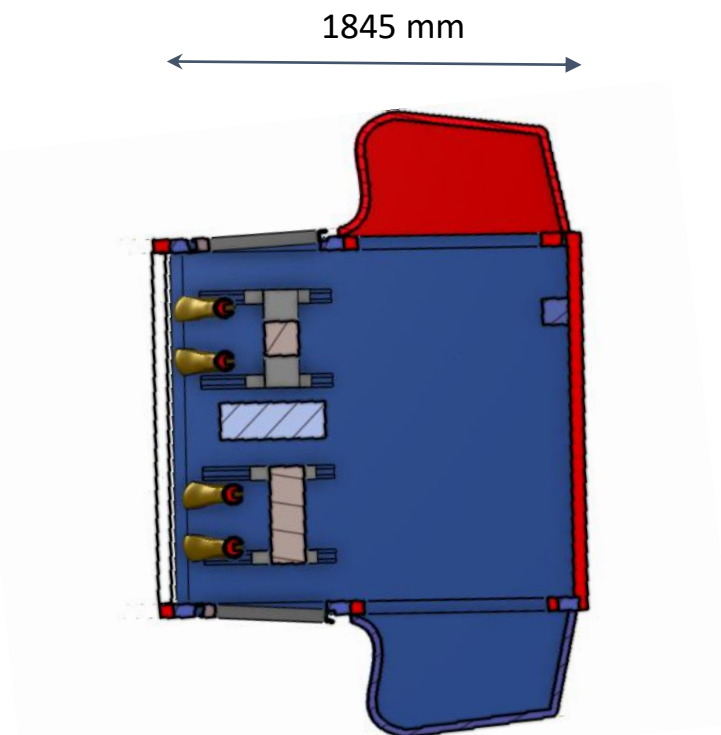
# Problématique du conteneur



Contexte : Changement de module  
(23 mai 2018)



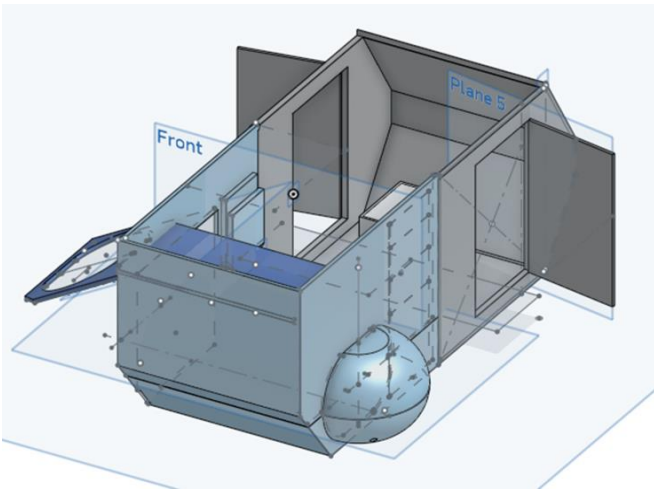
Version initiale du mini-bee



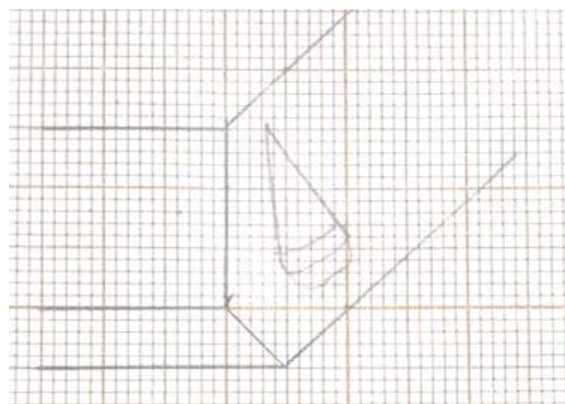
Dernière version du mini-bee



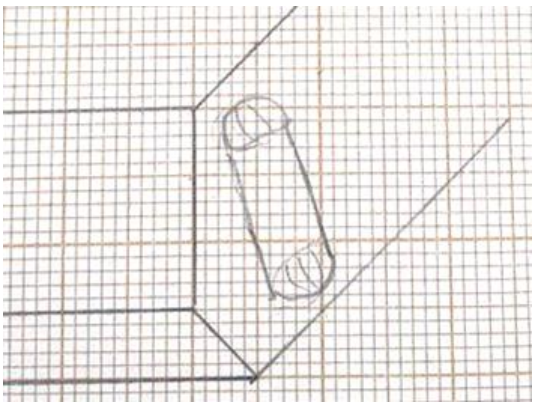
# Changement de forme



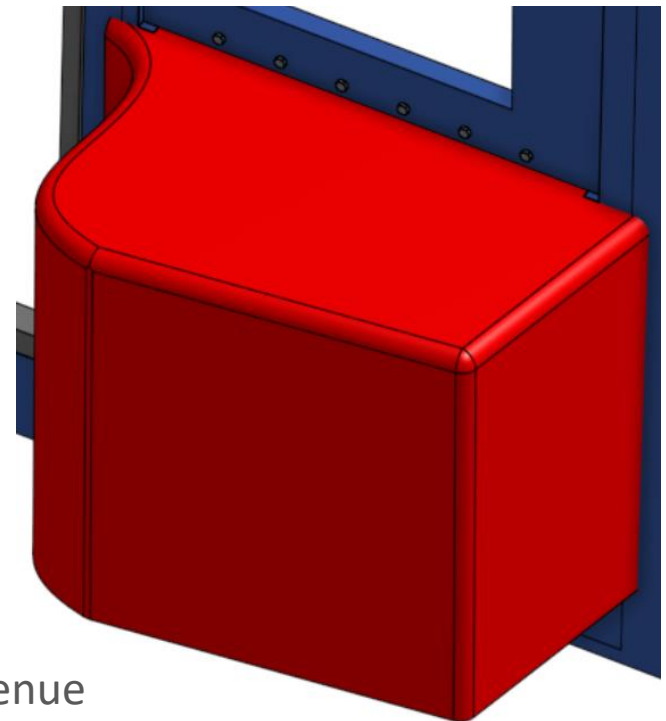
Solution 1 : lobes circulaires



Solution 2: lobes en forme de gouttières



Solution 3: lobes en forme de demi tubes



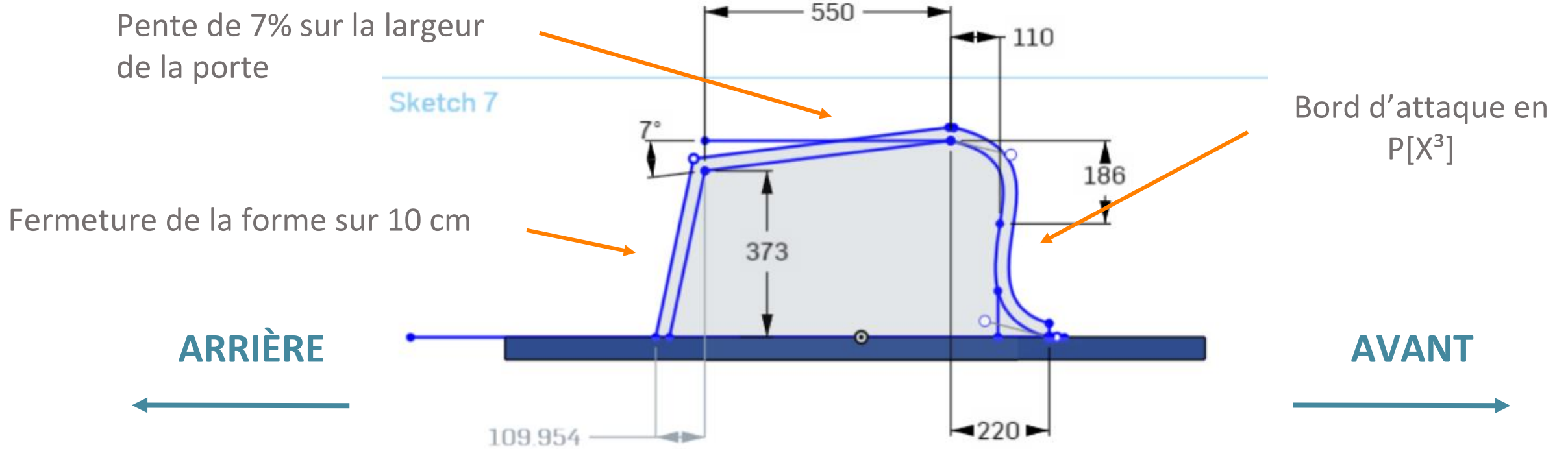
Solution retenue



# Changement de forme

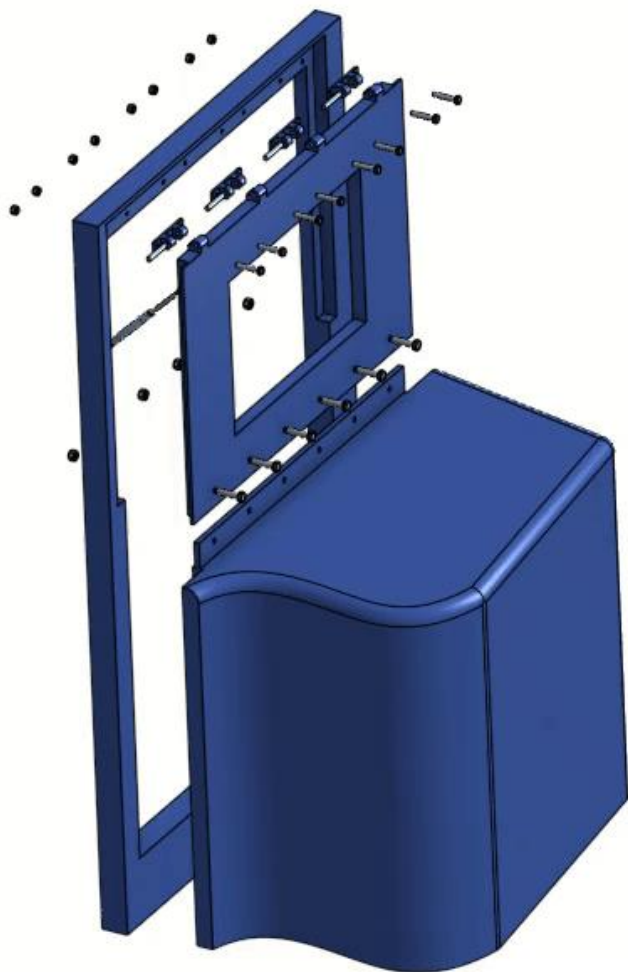
Modélisation aérodynamique des portes :

## Coupe horizontale (vue de dessus)

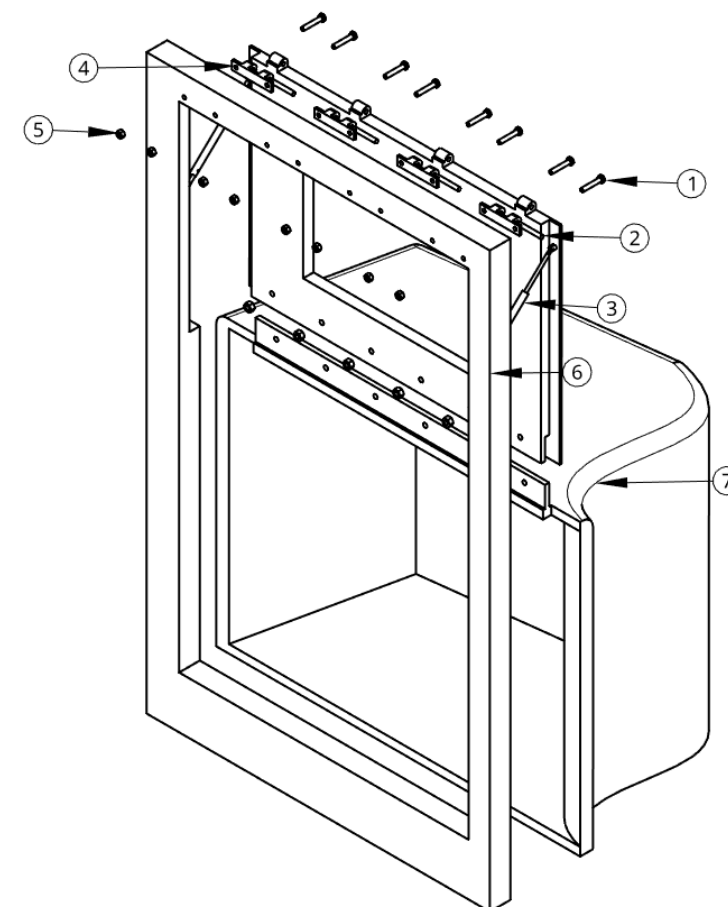




# Fixation de la porte



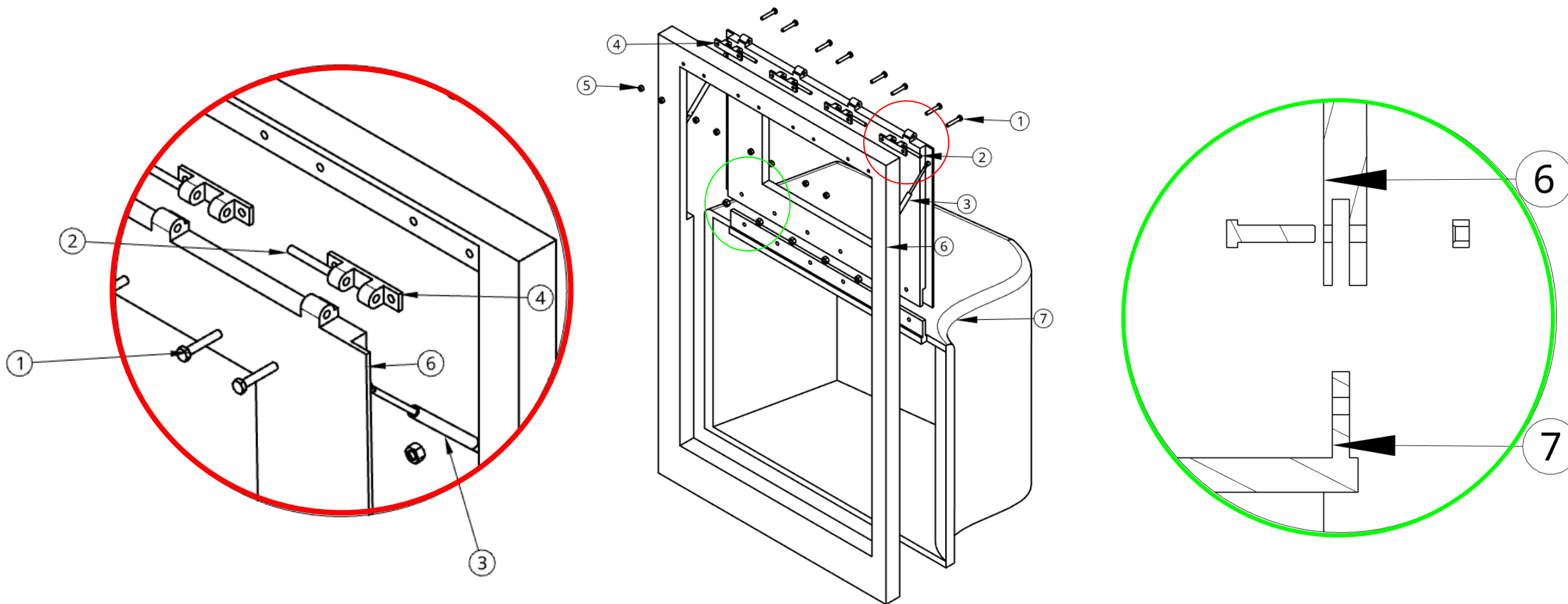
1	8 vis H M8
2	4 axes de porte
3	2 vérins
4	4 charniere de porte
5	8 ecrous H M8
6	partie fixe de la porte
7	partie demontable de la porte
8	6 vis H M10
9	6 ecrous H M10



Vue éclatée de la porte

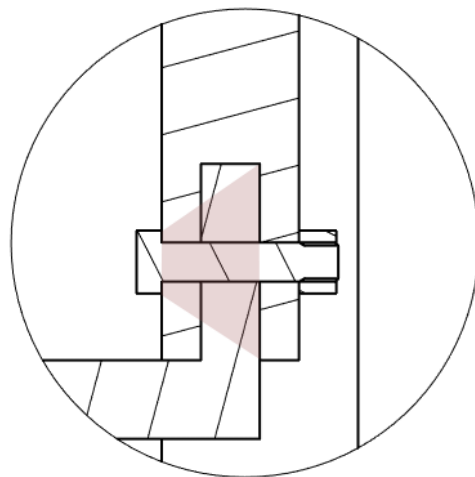
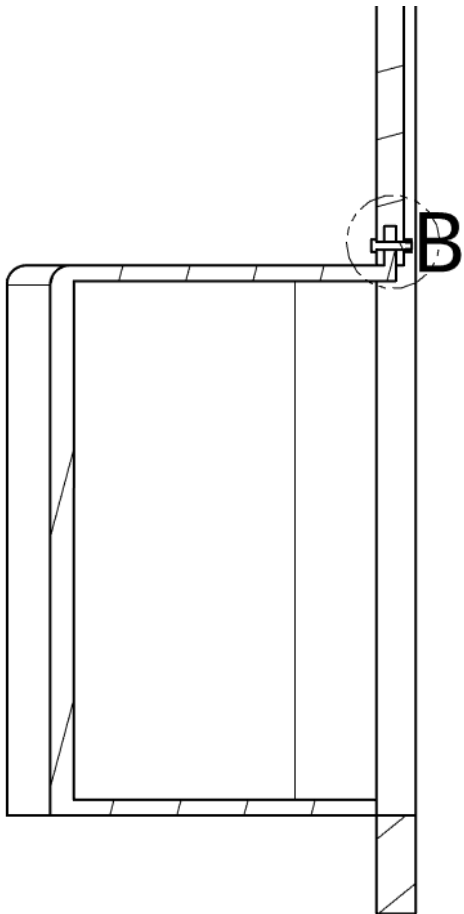


# Fixation de la porte





# Fixation de la porte



- Cône de pression des vis à 45°
- Avec les épaisseurs de matière on obtient des cercles de 100mm de diamètre
- 6 vis espacées de 100 mm chacune
- Choix des vis restants en fonction du couple de serrage à fournir

fixation de la partie démontable de la porte

# Equipements et aménagement



Encombrement

- Brancard



Accès en urgence

- Trousse de secours



Montagne

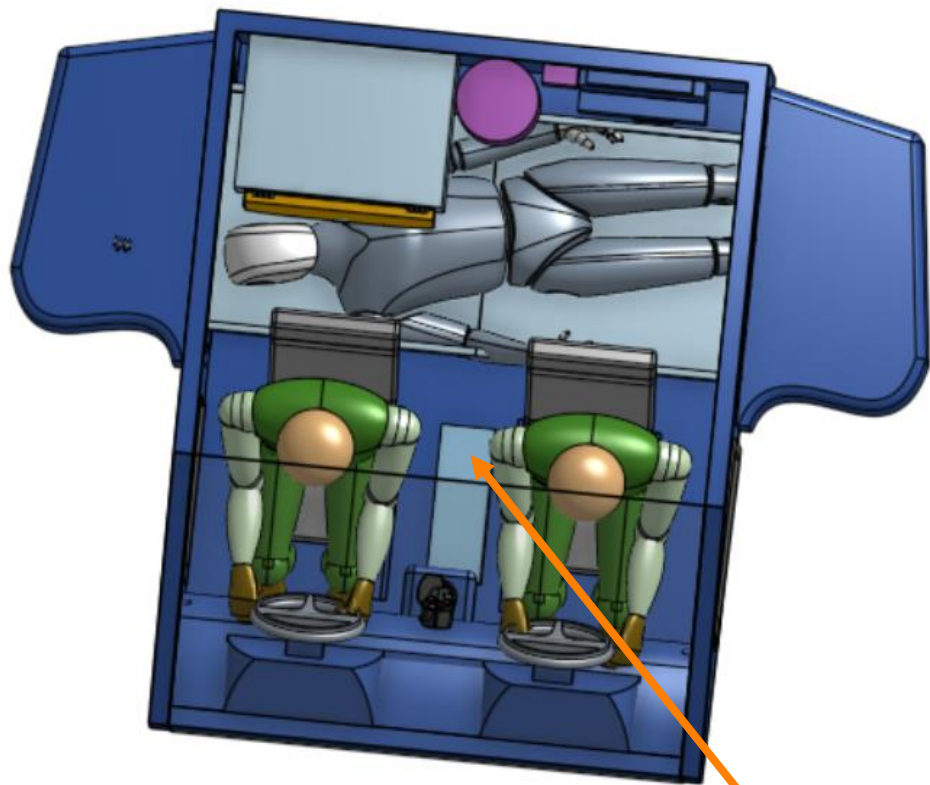
- Cordes



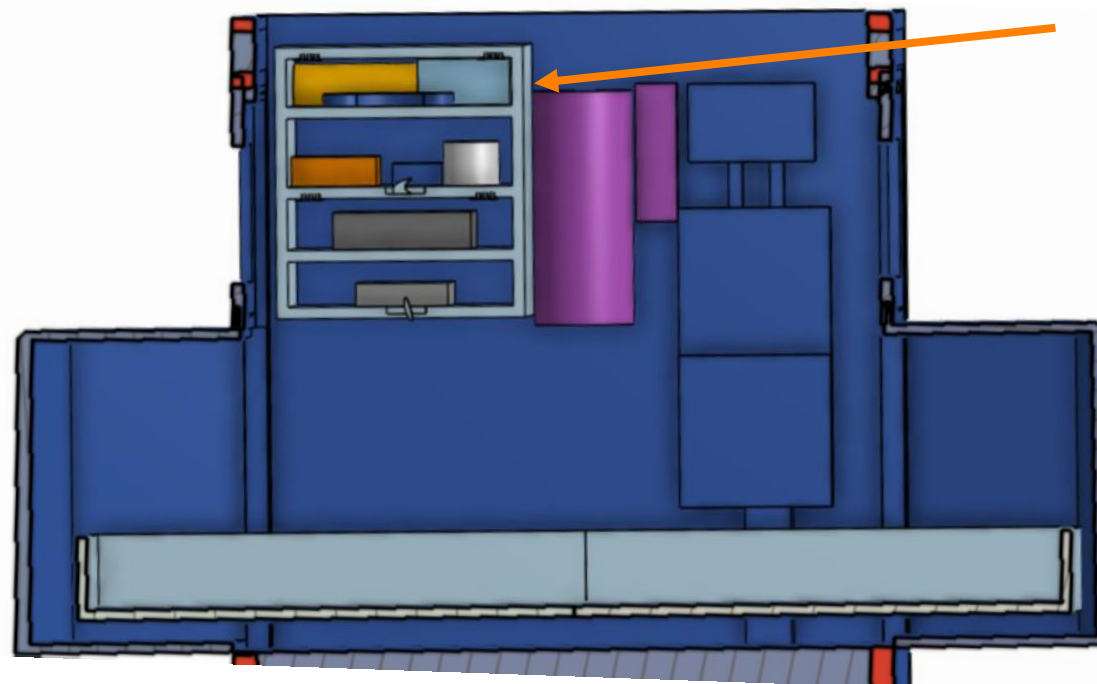
Modélisation "simplifiée" des équipements

Liste des équipements	Poids en Kg
Chaise portoir 2 roues Kartsana S127	7,2
Brancard Kartsana TGM241 Norme EN 1789	36,5
Attelles rigides / semi rigides Blue Splint (Le jeu de 5 avec sac de transport)	1,8
Masque de poche de réanimation en étui rigide	1
Collier cervical AMBU REDI ACE réglable (1 collier adulte / 1 collier enfant)	1
Aspirateur de mucosités manuel AMBU Res Cue Pump	0,23
Couverture anti bactérienne étanche	1
Insufflateur Bavu à usage unique (3 tailles)	1
Tensiomètre 4 Brassards Manopoire	1
Bassin de lit autoclavable	0,3
Urinal homme non autoclavable	0,3
Urinal femme autoclavable	0,3
Sac pour bassin de lit et urinal	0,3
Haricot réniforme autoclavable	0,3
HMS Pack accouchement d'urgence	1
Marteau brise vitre et coupe ceinture	0,5
Trousse de secours complète Ambulance VSL	3
Triangle + Gilet de sécurité	1
Extincteur à poudre 2 Kg	8,3
	58,83

# Equipements et aménagement



Trousse de secours



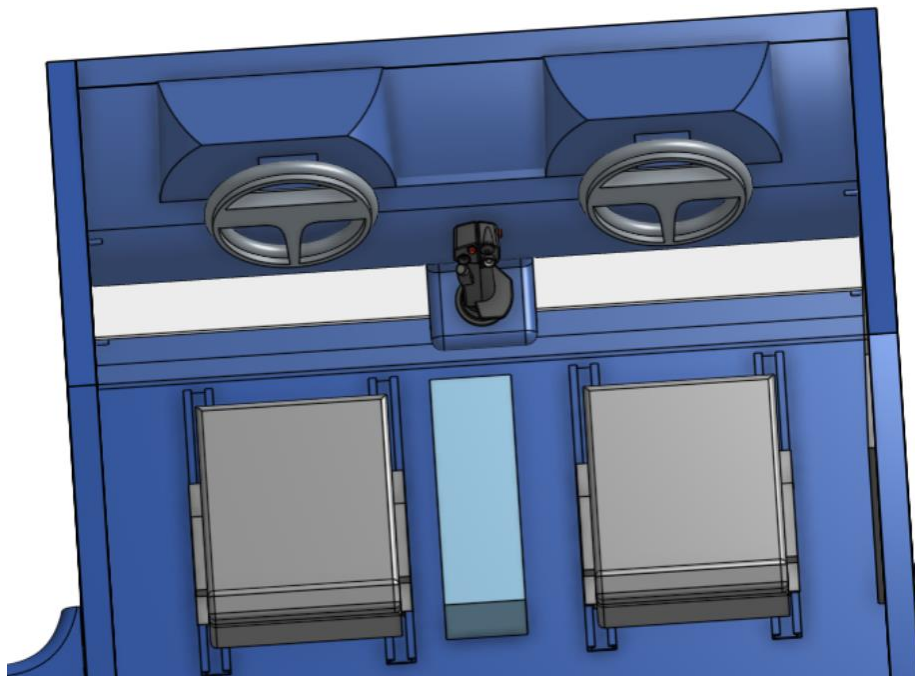
Etagère de rangement

Vue coupée de devant, avec l'étagère ouverte

L'aménagement intérieur est étudié pour pouvoir prodiguer des soins rapidement



# Equipements et aménagement



Les sièges sont réglables, pour permettre de sortir/ entrer plus aisément et rapidement



Leurs formes nous a été inspirée par ceux du Robinson R44



Nous avons contacté...





# Conclusion

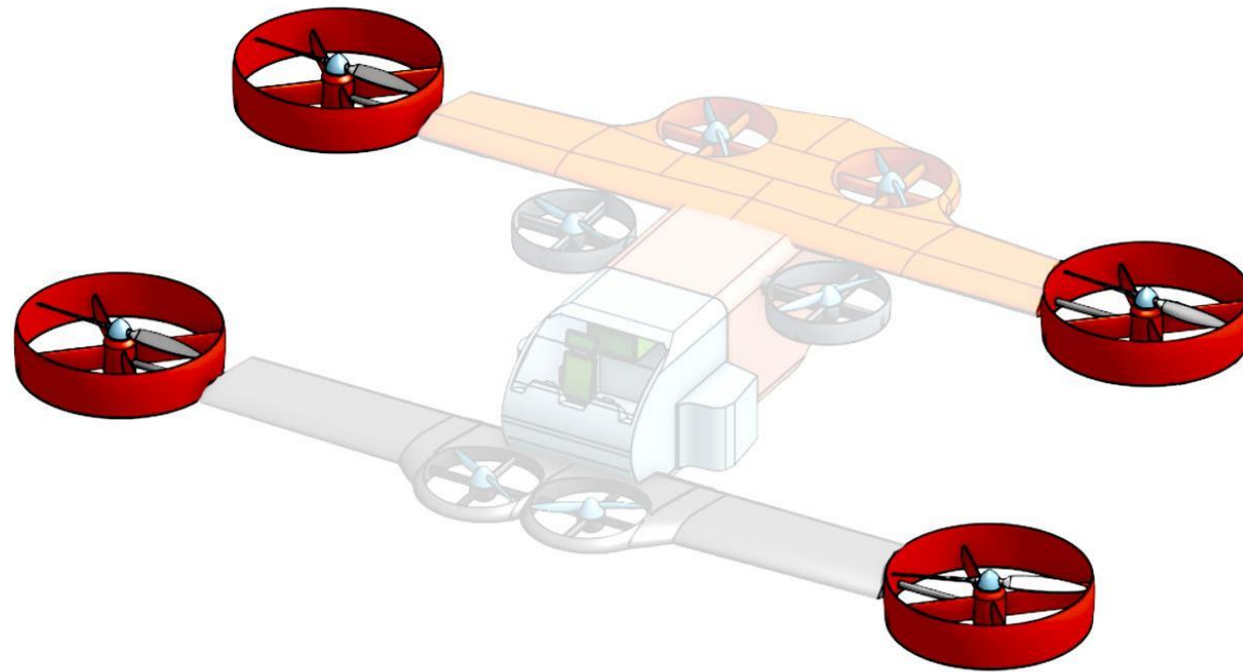
## Travail réalisé :

- ✓ Etude de la législation en vigueur
- ✓ Elaboration d'une liste de matériel
- ✓ Elaboration des aménagements intérieurs afin de transporter un patient et le soigner
- ✓ Design de la structure des portes démontable facilement

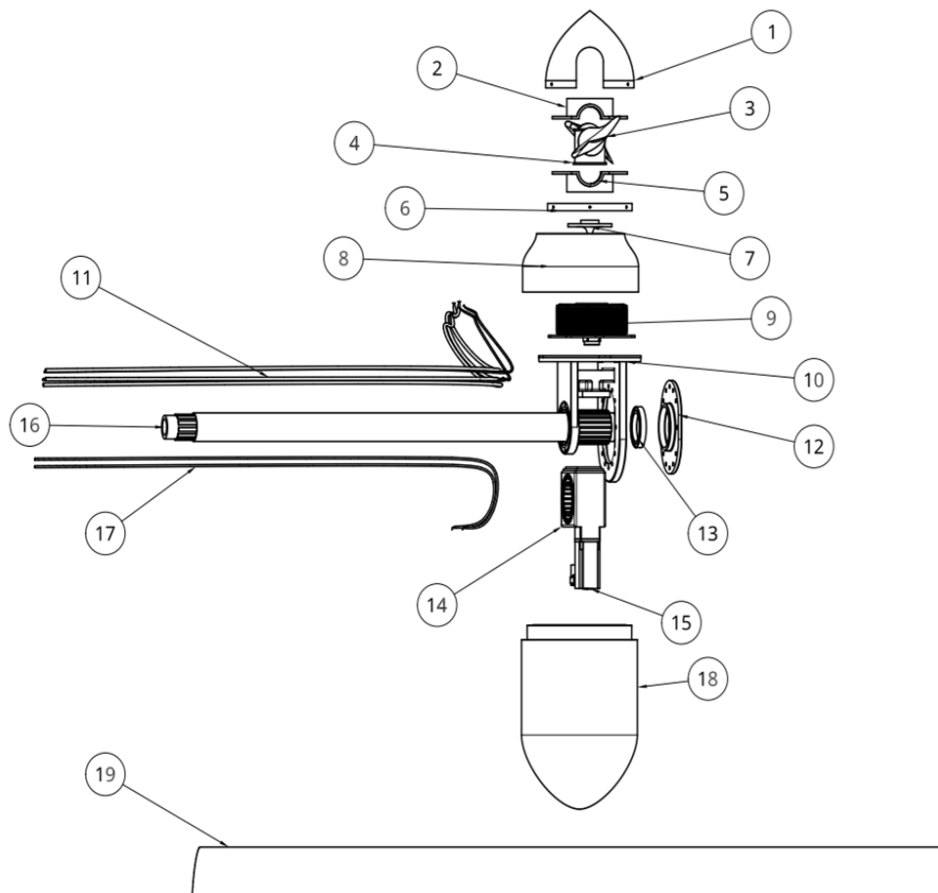
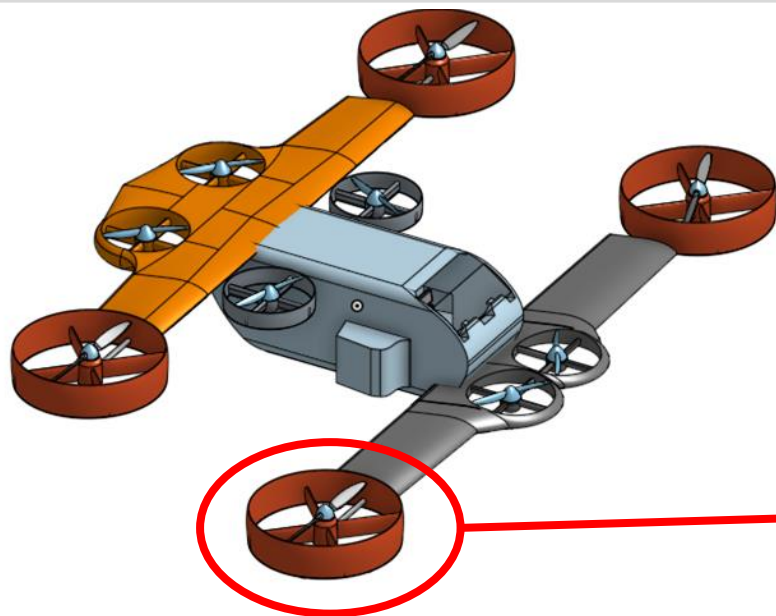
## Travail futur :

- Tableau de bord / Électronique
- Verrouillage des portes
- Structure externe plus vraisemblable (G1)

# Systeme de pilotage des rotors



# Présentation



Pièces	
1	Cône
2	Demi-moyeu avant Duc
3	Pale flash 1900mm Duc
4	Entretoise intérieur de moyeu
5	Demi-moyeu arrière Duc
6	Rondelle de serrage Duc
7	Porte-hélice
8	Carrénage haut
9	Emrax 188
10	Bâti
11	Câbles alimentation Emrax
12	Chapeau
13	Roulement à rouleaux coniques à une rangée
14	Réducteur traversant
15	Moteur
16	Arbre cannelé
17	Câbles alimentaion du moteur tilt
18	Carrénage inférieur
19	Carrénage extérieur

# Objectifs



1	Définir une solution pour l'orientation des rotors	<ul style="list-style-type: none"><li>• Facilement démontable</li><li>• Robuste avec encombrement minimal</li><li>• Solution dans le rotor</li></ul>
2	Calculer les forces et dimensionner les composants	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pale et moteur imposés</li><li>• Respecter les critères de dimensionnement de l'aéronautique</li></ul>
3	Réaliser une maquette numérique	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modèle Onshape</li></ul>
4	Réaliser une étude numérique de RDM et Méca Flux pour valider notre solution	<ul style="list-style-type: none"><li>• Résister aux conditions de vol</li><li>• Optimiser l'aérodynamisme</li></ul>

# Etat de l'art



*Boeing/Bell V-22 Osprey,*  
armée américaine, 2005

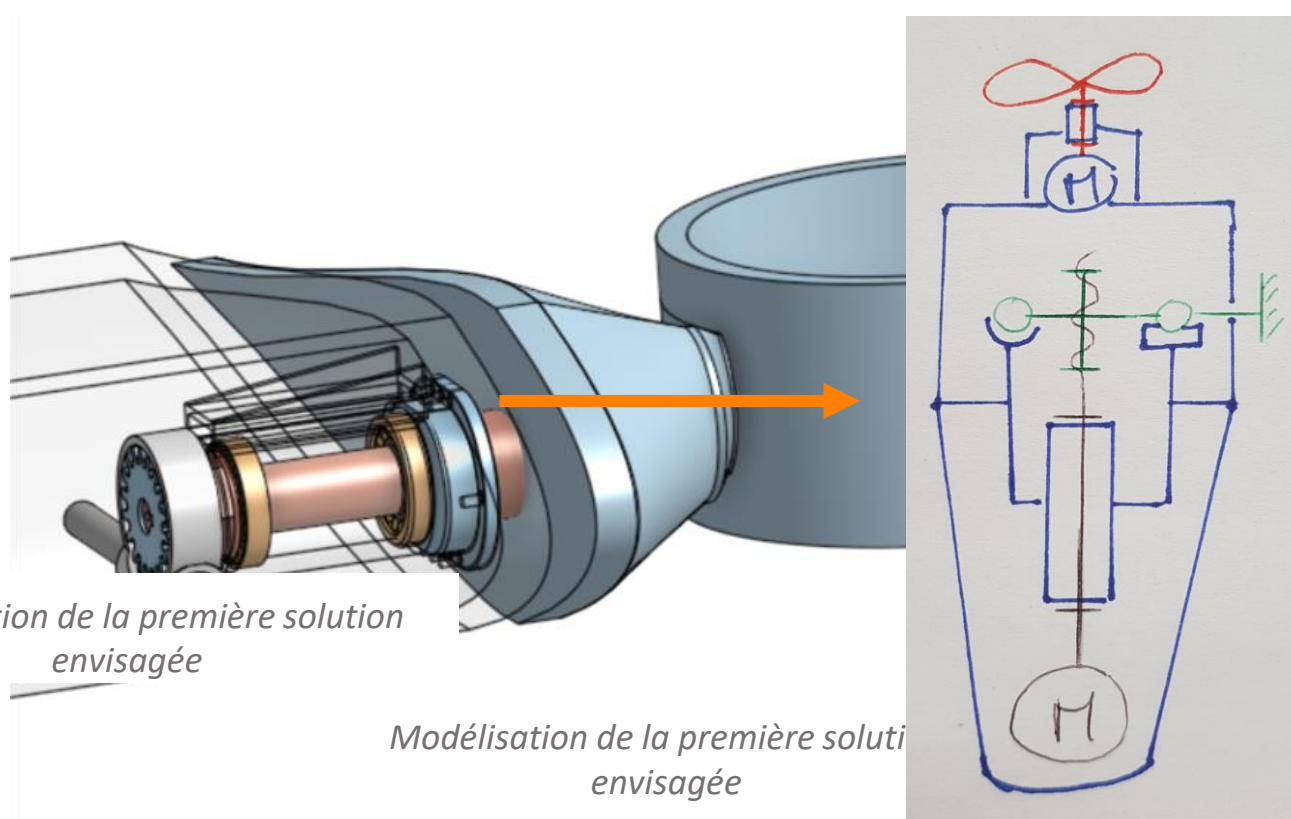


*Projet Zero,*  
par AugustaWestland, 2013



**Taxi volant, projet par Uber et  
Bell, 2023**

# Première solution



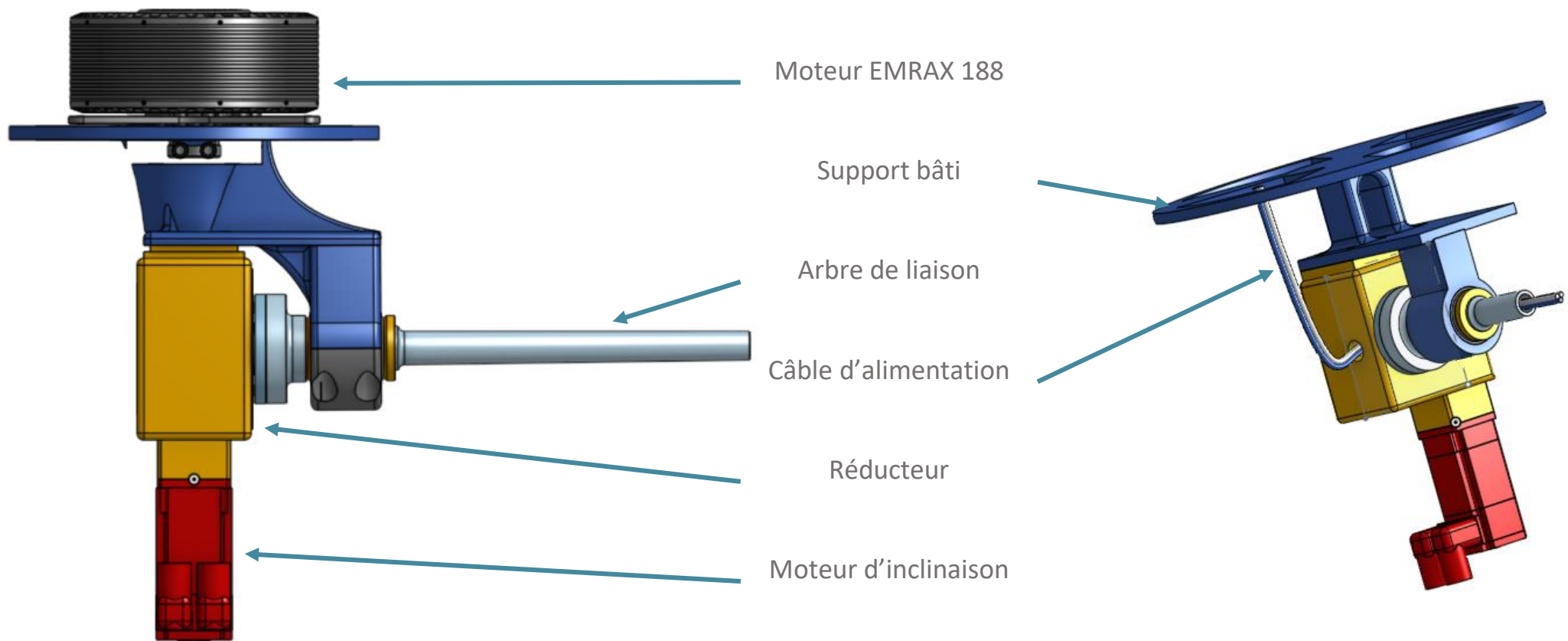
*Modélisation de la première solution envisagée*

*Modélisation de la première solution envisagée*

*Schéma de la nouvelle solution*



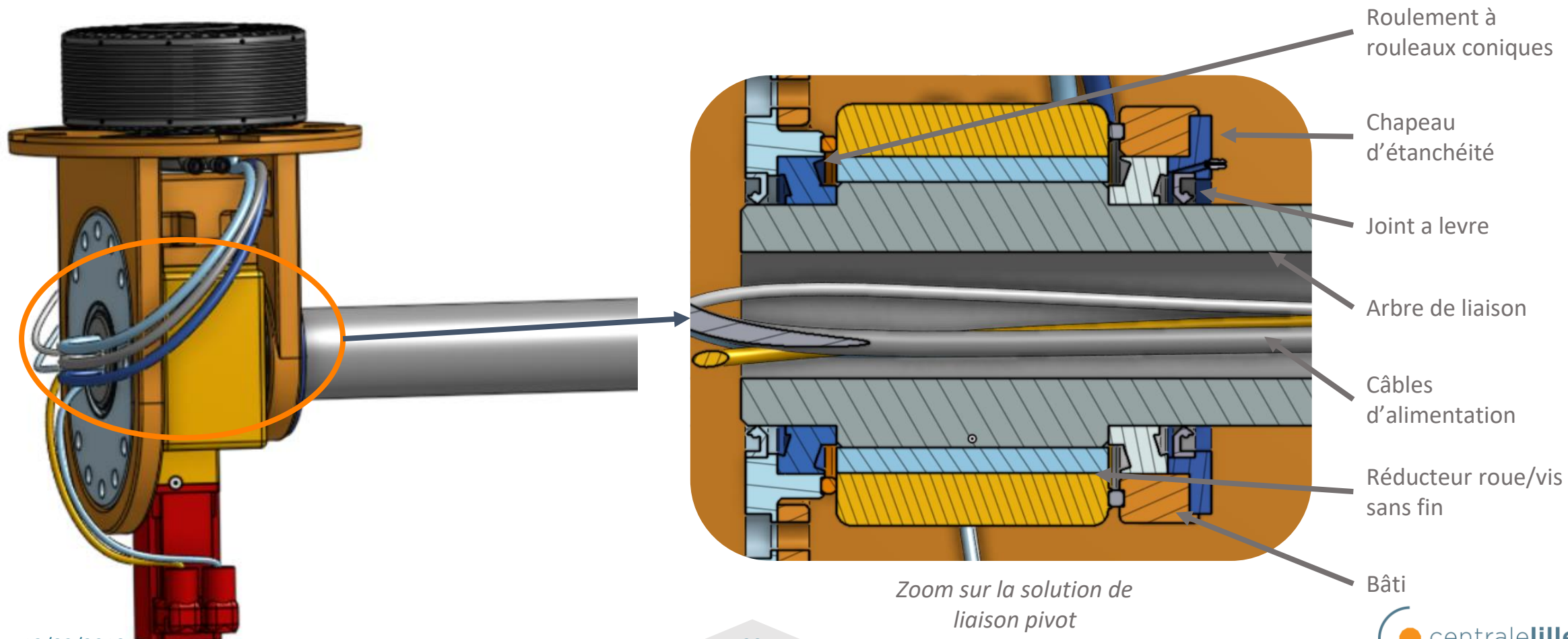
# Solution intermédiaire



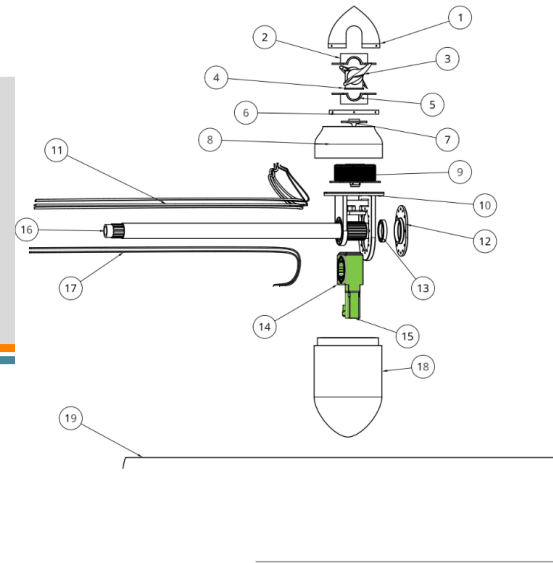




# Solution retenue



# Solution de mise en rotation



Solution retenue:

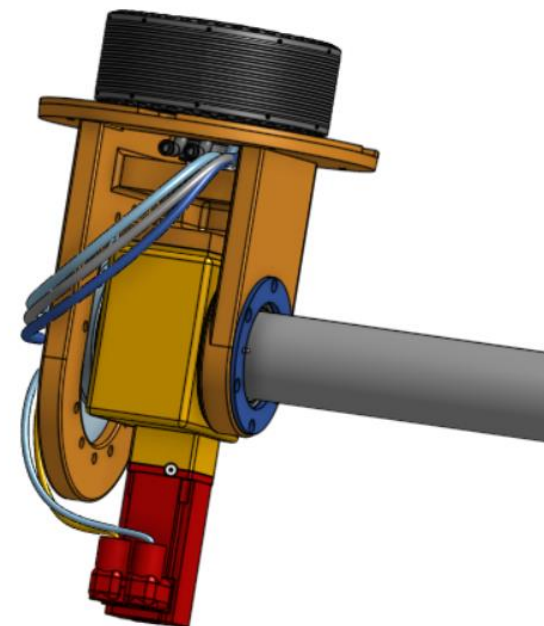


SEW  
CMP40S/PK/RH1M/SM

Moteur retenu utilisé par  
tres éc  
ets.  
1000G

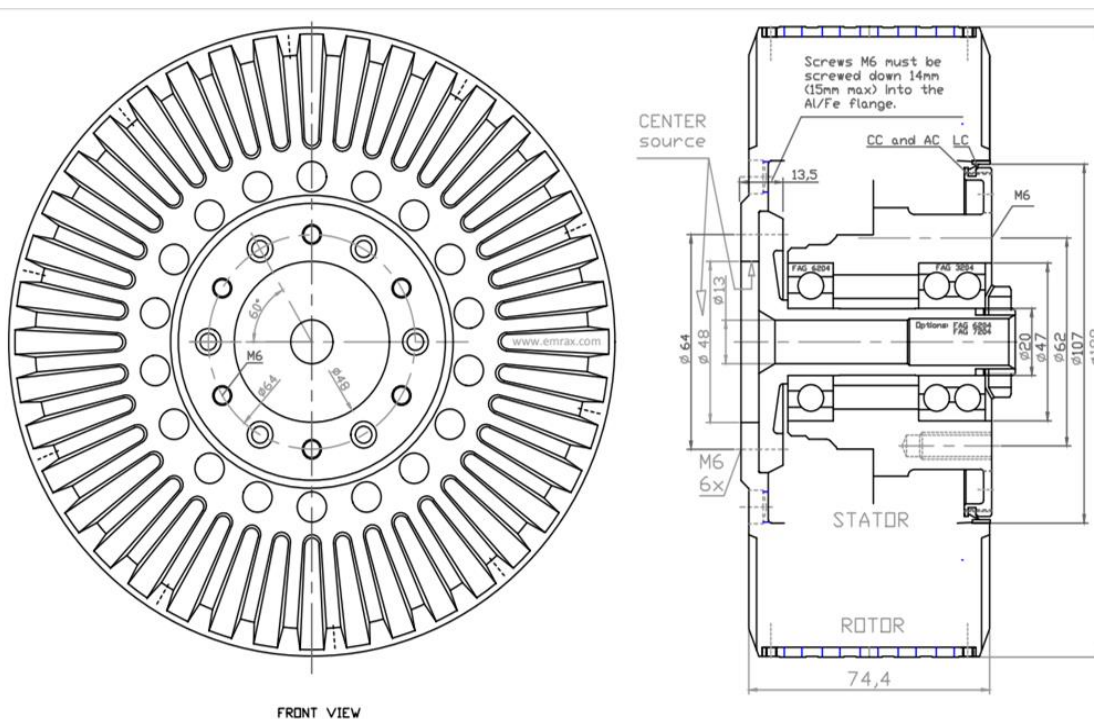
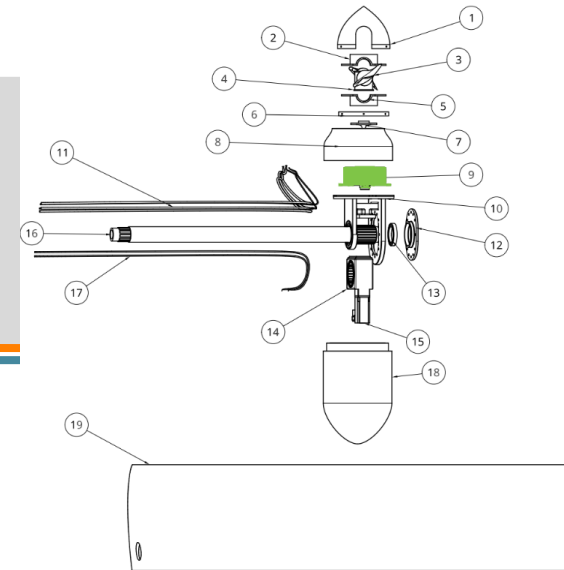


Réducteur Roue/vis sans  
fin traversant



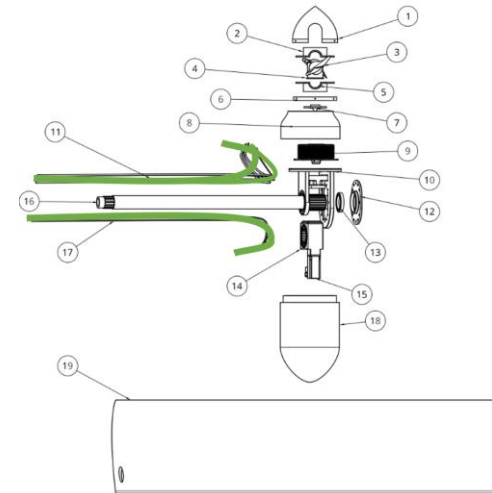
# Choix du moteur

Moteur utilisé: Emrax 188



- 30 kW en continu
- 50 Nm en continu
- $\eta=98\%$
- 2400tr/min pt fonctionnement

# Choix de l'alimentation du moteur



Emrax 188:

- 200A en courant continu →  $\varnothing$  8,3mm à 1cm : Triphasé donc 3 câbles
- Codeur angulaire → 2 câbles  $\varnothing$  3mm

Moteur tilt:

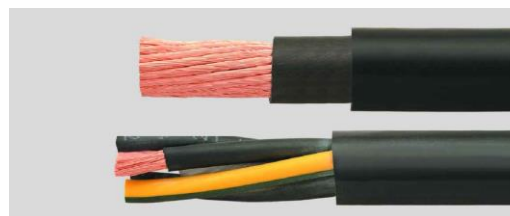
- 2 câbles  $\varnothing$  6mm

Deux solutions possibles:

Systeme à collecteur tournant

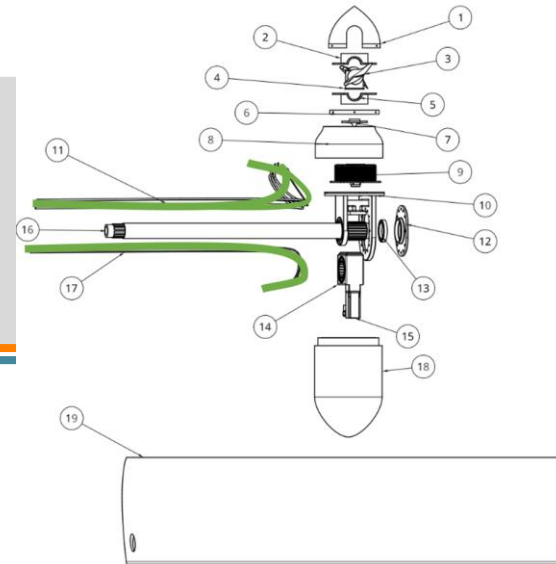


Systeme avec câbles plus résistant à la torsion:

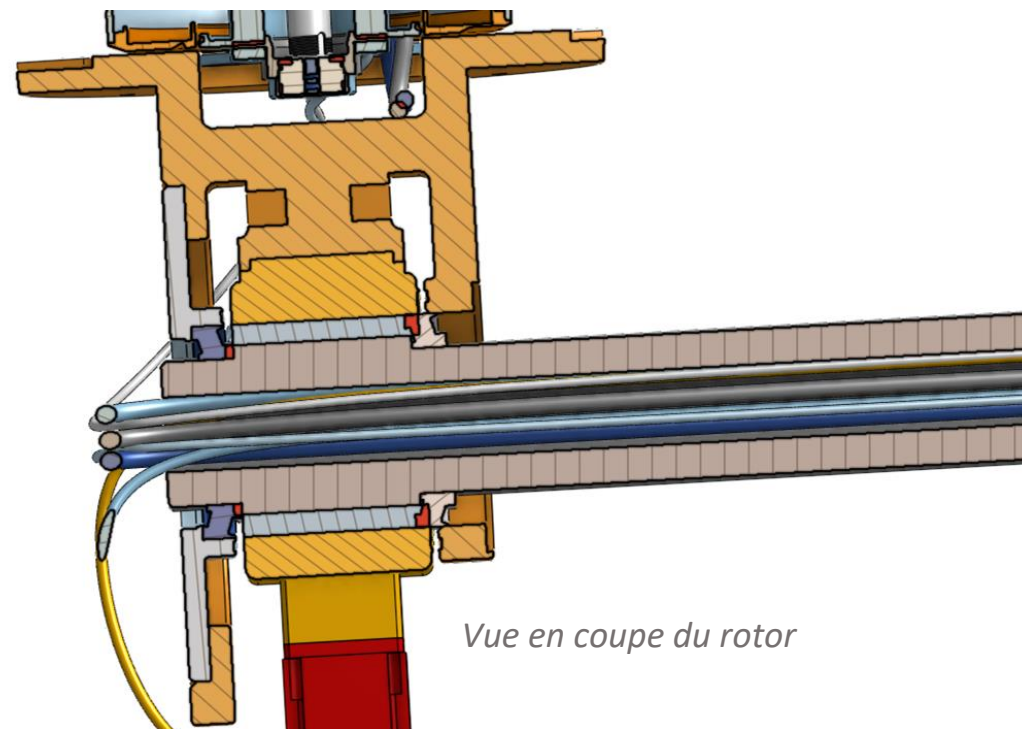
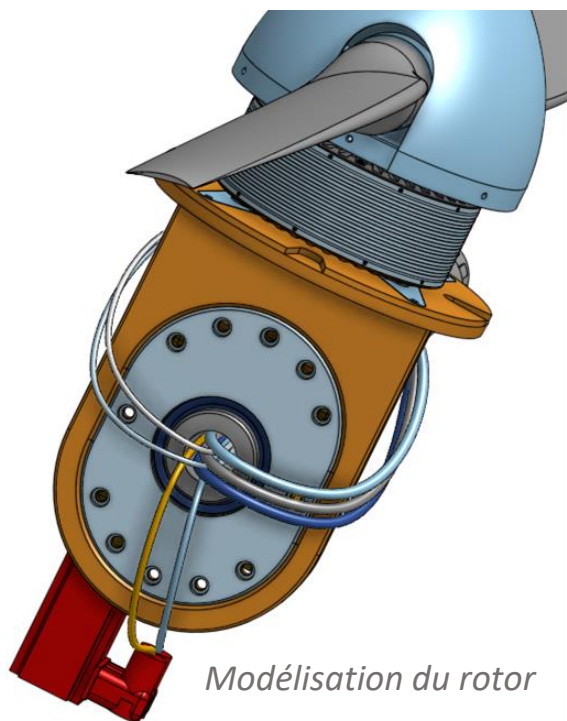


Emrax 188 avec câbles d'alimentation

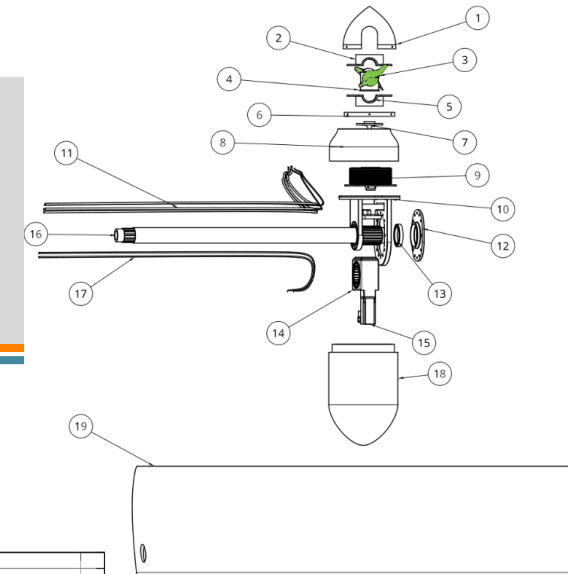
# Choix de l'alimentation du moteur



Solution retenue:



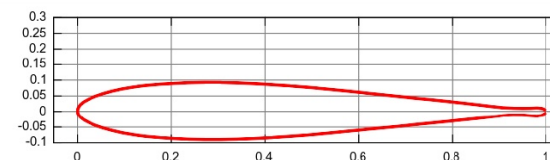
# Choix des pales



Travail de recherche d'optimisation des pales

Critères : Profil, Nombre, Inclinaison

Objectif : Optimisé pour vol horizontal et vertical



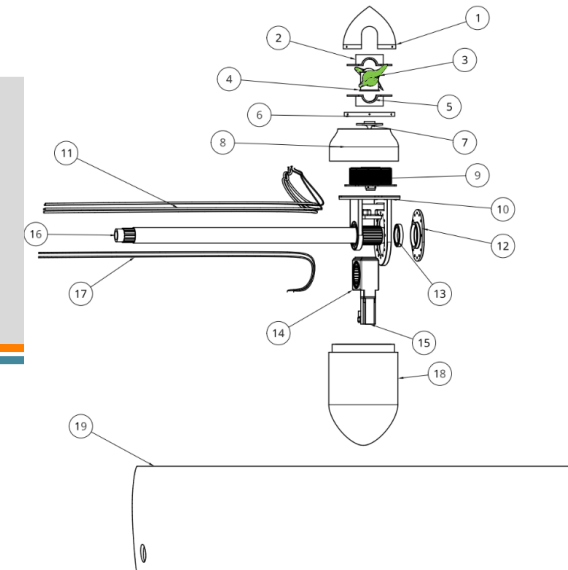
Pales hélicoptère

Pales d'avion



V  
S

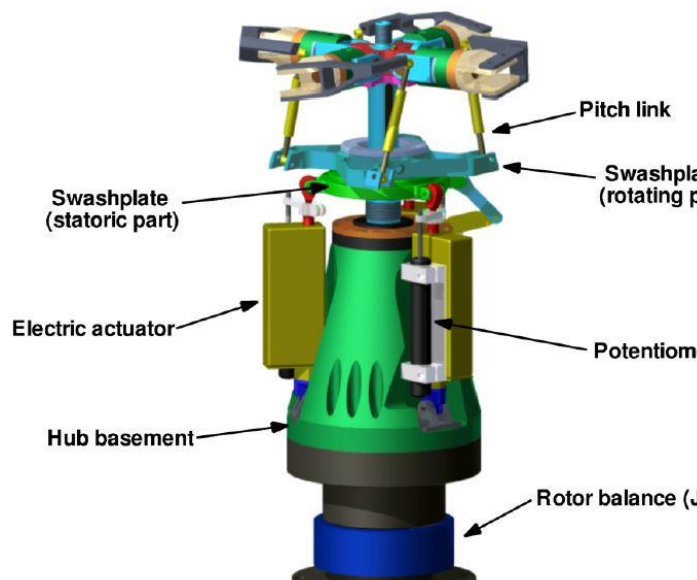
# Choix des pales



## Travail de recherche d'optimisation des pales

```

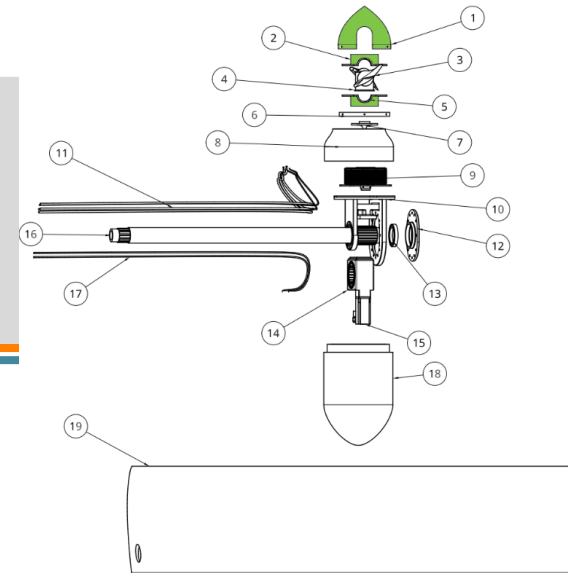
Editor - C:\Users\Quenti
Code.m x +
28
29 R = 0.8; %
30
31 B = 6; % Nc
32
33 n = 6; % zc
34
35 omega = 2 *
36
37 V = 5; % Ve
38
39 c1 = 0.5; %
40
41 a0 = 5; % C
42
43 %-----
44
45 % Calculat
46
47 b = -0.559
48
49 % from c/d to a typical value
50
51 e4 = b;
52
53 sigma = (B*b)/(pi*R); % Solidity
54 e5 = sigma;
55
    
```



Système d'inclinaison des pales

Section (X)	0,30	0,45	0,60	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
X <sup>2</sup>	0,09	0,20	0,36	0,49	0,56	0,64	0,72	0,81	0,90	1,00
X <sup>3</sup>	0,03	0,09	0,22	0,34	0,42	0,51	0,61	0,73	0,86	1,00
Chord(b)	0,25	0,29	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,21
Solidity	0,39	0,45	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33
Pitch Angle	1,00	0,80	0,66	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48	0,46	0,44
Ωr	60,32	90,48	120,64	140,74	150,80	160,85	170,90	180,96	191,01	201,06
Air Flow Angle	0,94	0,74	0,60	0,53	0,50	0,48	0,45	0,43	0,41	0,39
sin(Φ)	0,81	0,68	0,57	0,51	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38
Lift CurveSlope(a0)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
β-Φ	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
Induced AoA(α i)	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Φ0	0,97	0,77	0,63	0,56	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,41
α0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
LiftCoefficient(Cl)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
DragCoefficient(Cd)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
cos <sup>2</sup> (α i)										
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
cos <sup>2</sup> (Φ)	0,34	0,54	0,68	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85
cos <sup>2</sup> (Φ0)	0,56	0,72	0,81	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92
sin(Φ0)	0,83	0,70	0,59	0,53	0,50	0,48	0,46	0,43	0,41	0,40
Cl*cos(Φ0)	0,08	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13
Cd*sin(Φ0)	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
ΨT	0,07	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
Cl*sin(Φ0)	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
Cd*sin(Φ0)	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
ΨQ	0,44	0,27	0,20	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14
ElementalThrustCoefficient(dCt/dx)	0,01	0,04	0,07	0,10	0,11	0,12	0,14	0,14	0,15	0,15
ElementalTorqueCoefficient(dCq/dx)	0,01	0,03	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,13

# Choix des pales

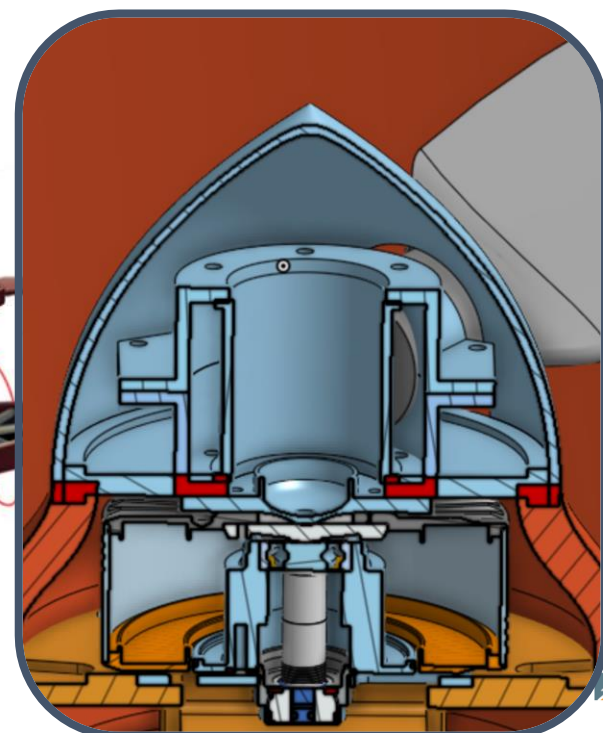
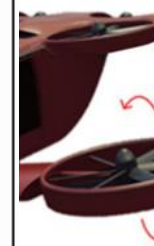
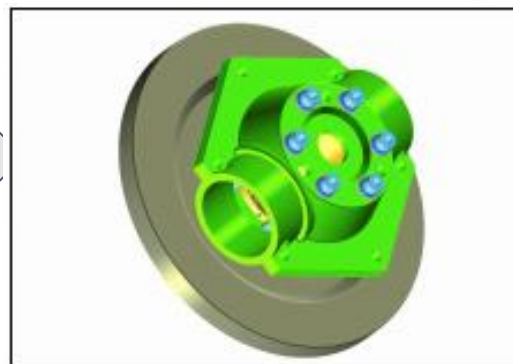
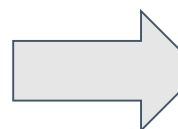
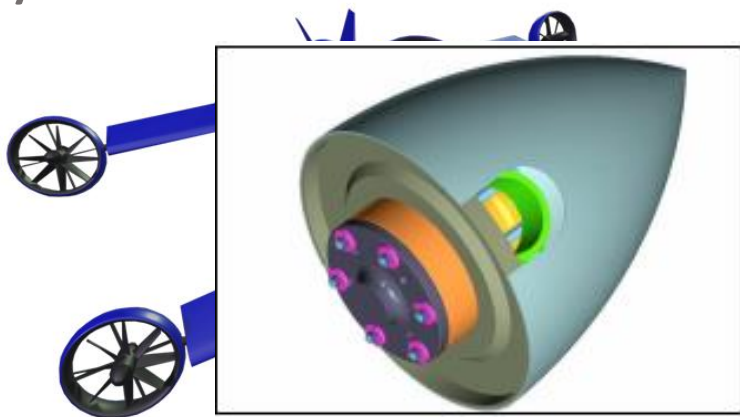


Choix des hélices avec le client :



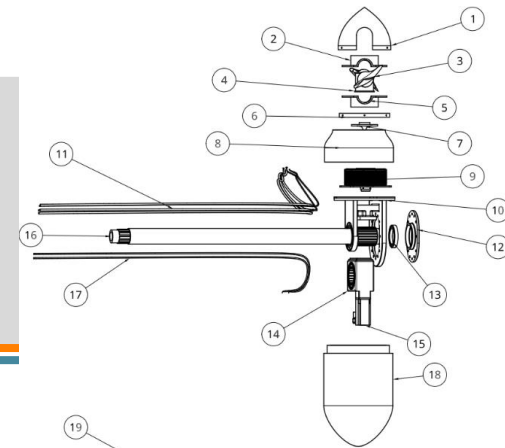
**Hélice Bipale FLASH Inconel Ø1900mm Tractive**

Systeme d'accroche :

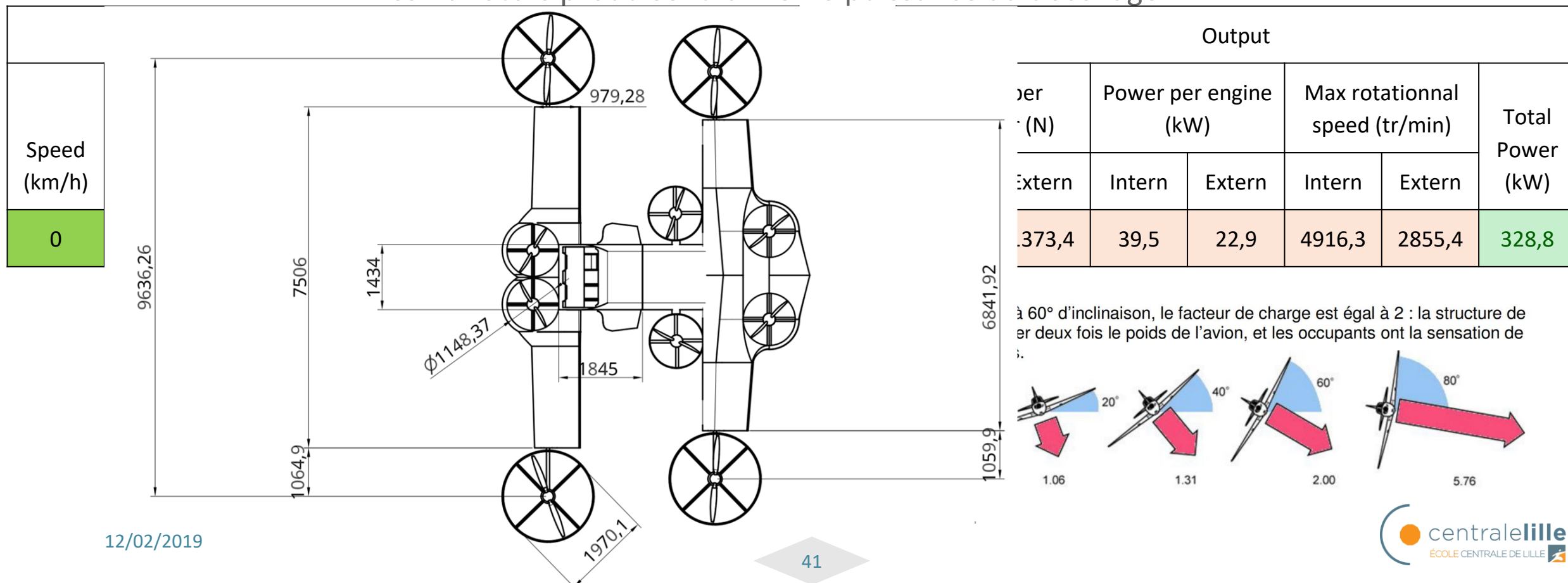




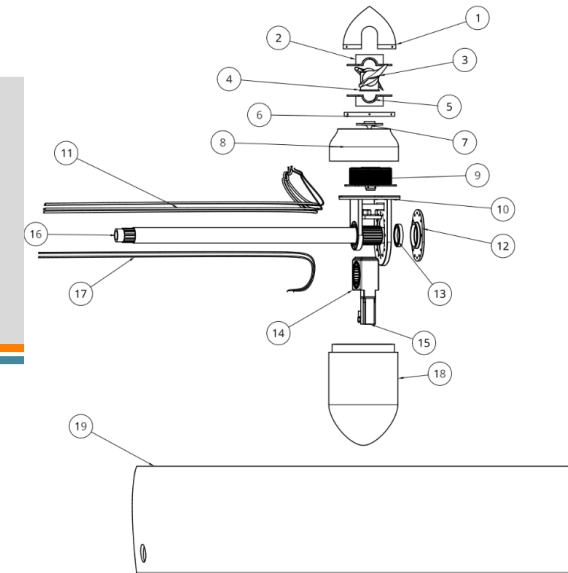
# Définition des contraintes sur le rotor



**Hypothèse:** - la masse du mini bee est répartie de façon homogène  
 - les 10 rotors produisent la même puissance au décollage

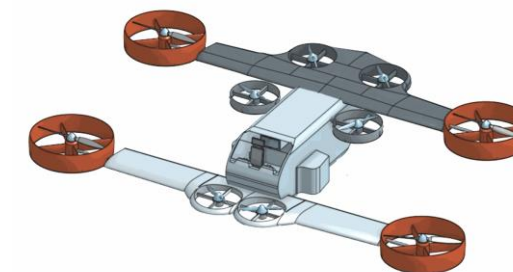


# Définition des contraintes sur le rotor

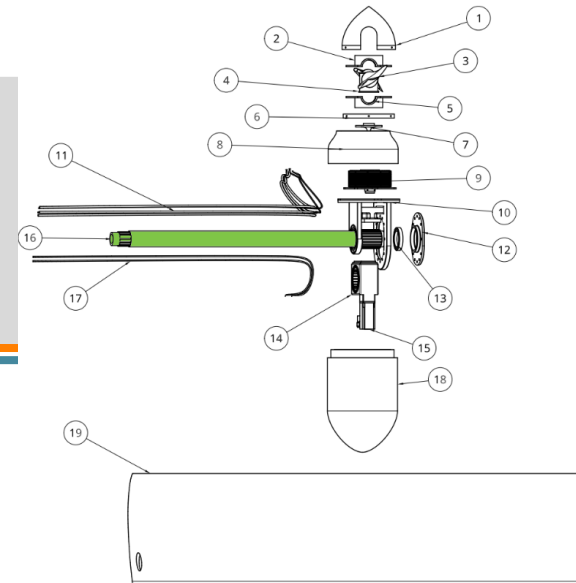


Force exercée par le rotor pour le dimensionnement :

Phase de vol	Force par tilt-rotor en N
Au décollage vertical:	1373
Au décollage vertical à 50 km/h :	1387
Vol horizontal à 250 km/h :	528
Vol avec monté à 45° à 250 km/h :	895
Vol avec virage 75° (n=4) à 250 km/h :	2500
Vol avec monté à 45° et virage 75°(n=4) à 250 km/h :	3606



# Dimensionnement de l'arbre

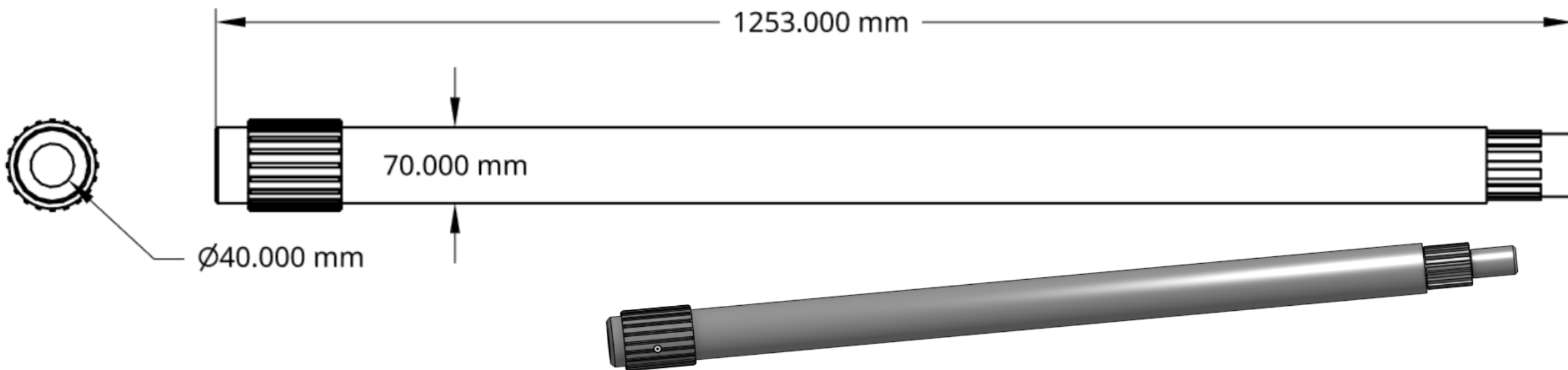


Choix de la famille de matériau avec RDM Le Mans

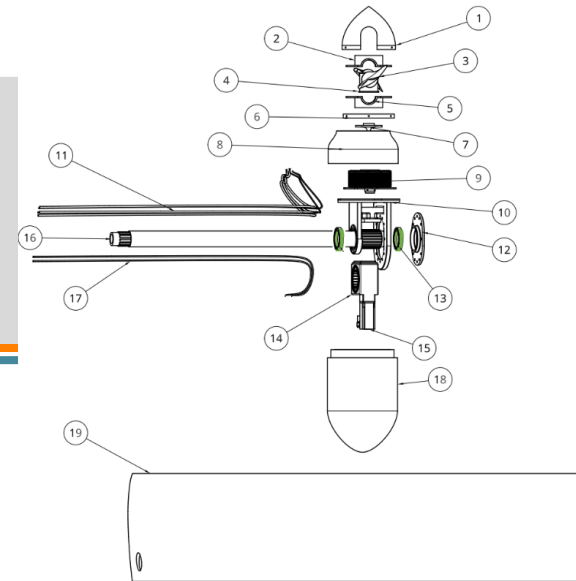
➤ Aluminium

Léger

Supporte les contraintes appliquées



# Choix des roulements



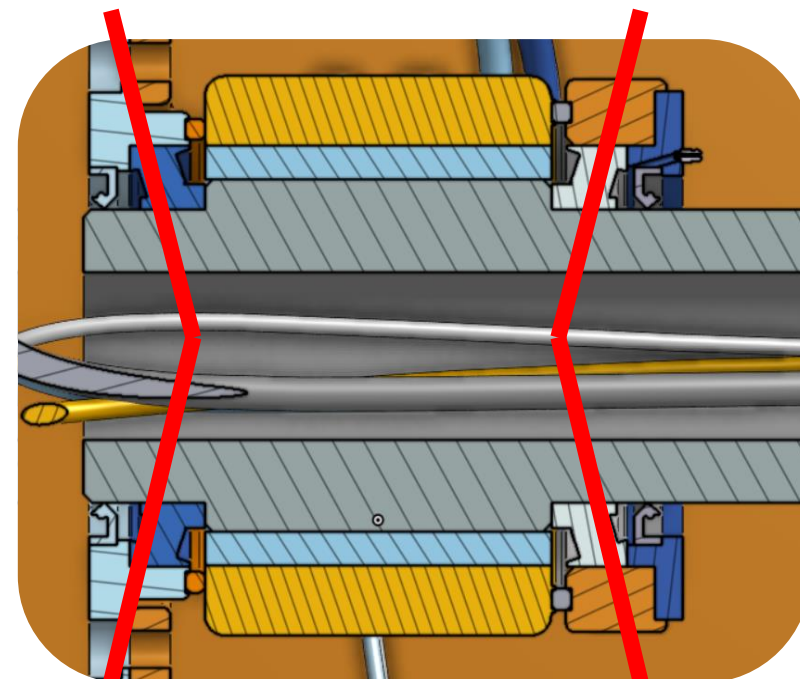
## Critères de dimensionnement:

- Durée de vie: 12 ans
- Vol 6/7 jours en service
- 6h d'exploitation par jour

**Soit plus de 22 000 h de vol**



Choix final: SKF 32914

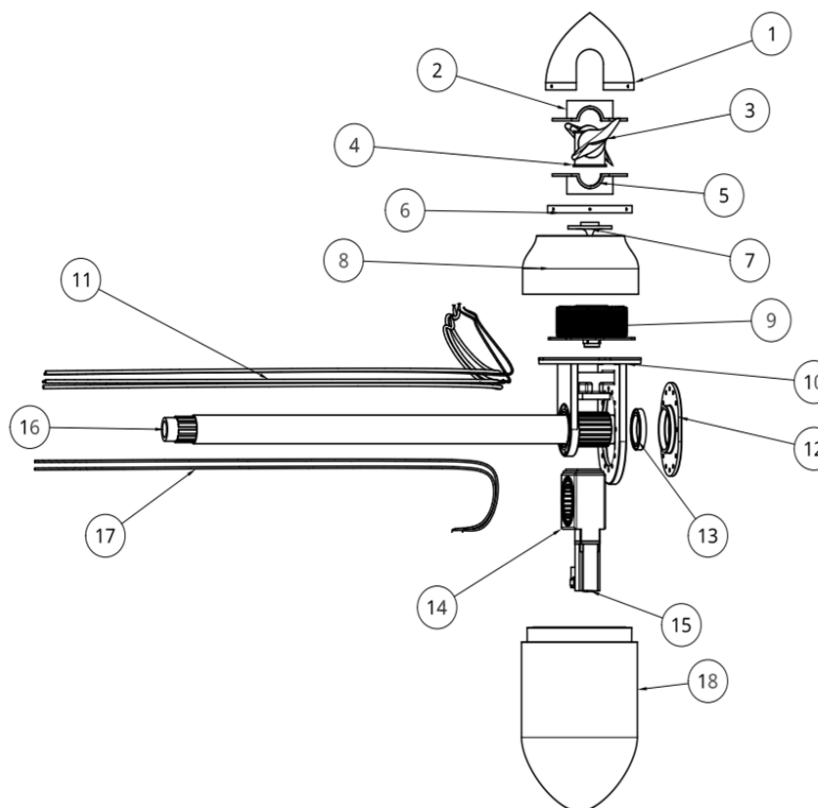




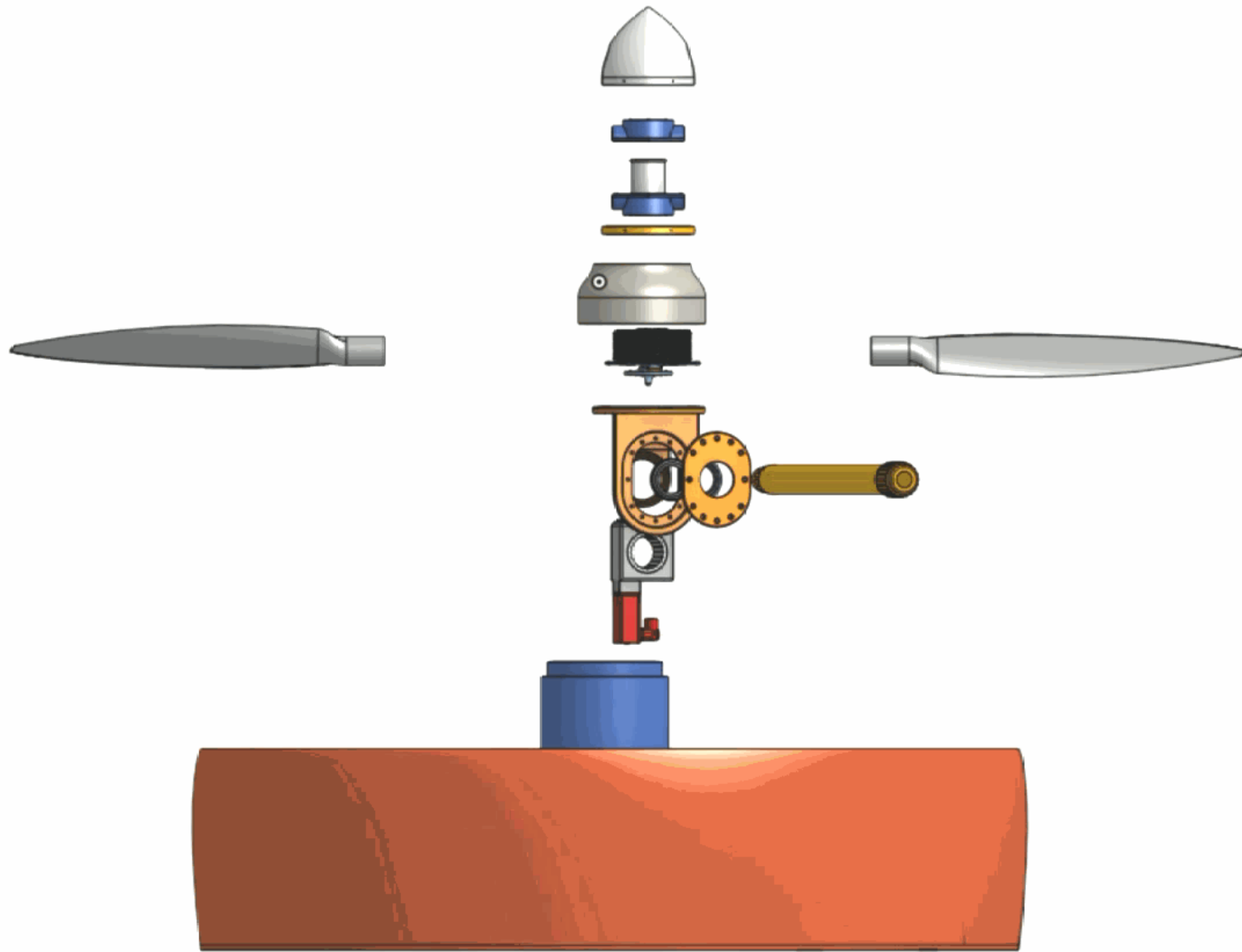
# Masse du rotor

Pièce	Masse en kg
Bâti (en aluminium)	5,86
Moteur tilt	2
Réducteur	5,6
Ensemble pales, support	3,35
Emrax 188	7,3
Carénage rotor+Carénage pales	19,6
Roulements	0,98
Arbres	9,121
Chapeau	0,79
Câbles 8mm x3	1,1
Câbles 6mm x4	0,6

Total **56,201** kg

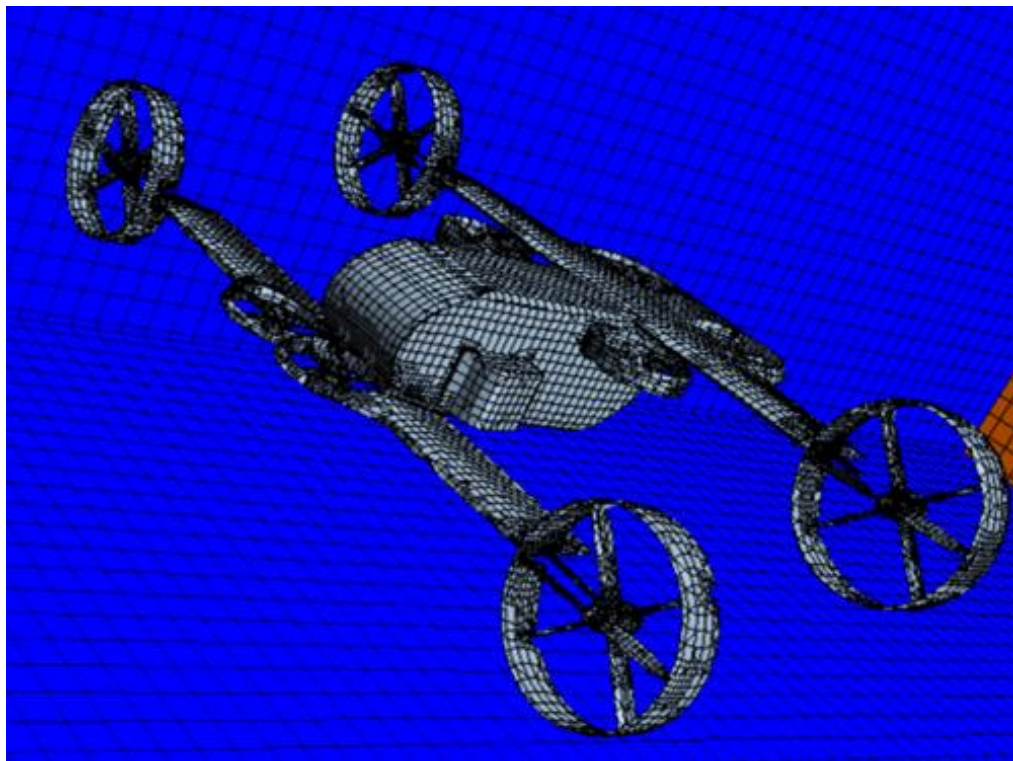


Pièces	
1	Cône
2	Demi-moyeu avant Duc
3	Pale flash 1900mm Duc
4	Entretoise intérieur de moyeu
5	Demi-moyeu arrière Duc
6	Rondelle de serrage Duc
7	Porte-hélice
8	Carrénage haut
9	Emrax 188
10	Bâti
11	Câbles alimentation Emrax
12	Chapeau
13	Roulement à rouleaux coniques à une rangée
14	Réducteur traversant
15	Moteur
16	Arbre cannelé
17	Câbles alimentaion du moteur tilt
18	Carrénage inférieur
19	Carrénage extérieur

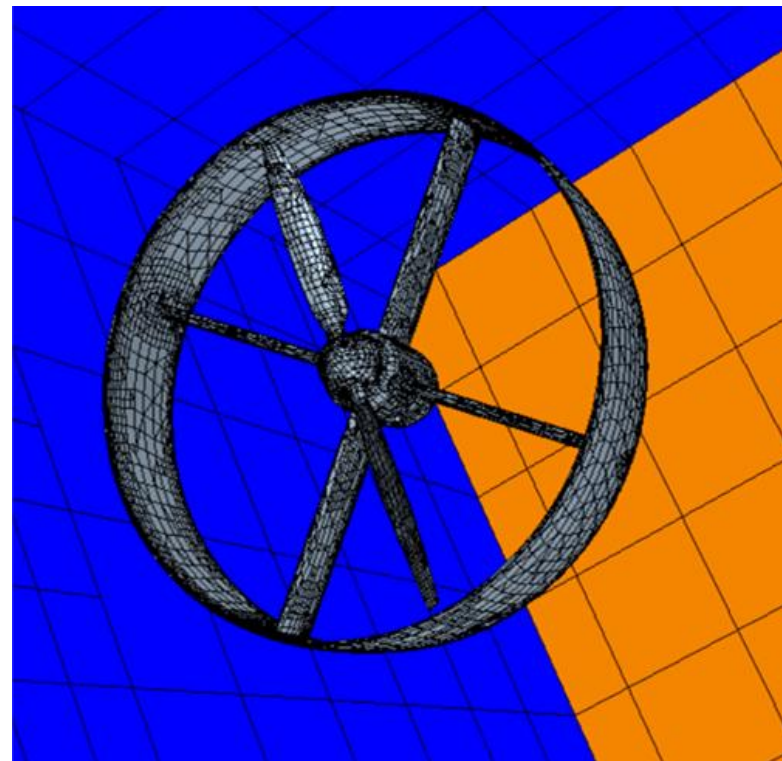
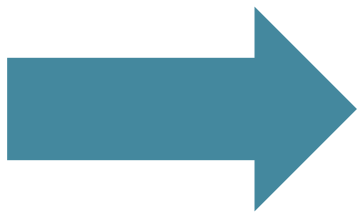




# Simulation aérodynamique



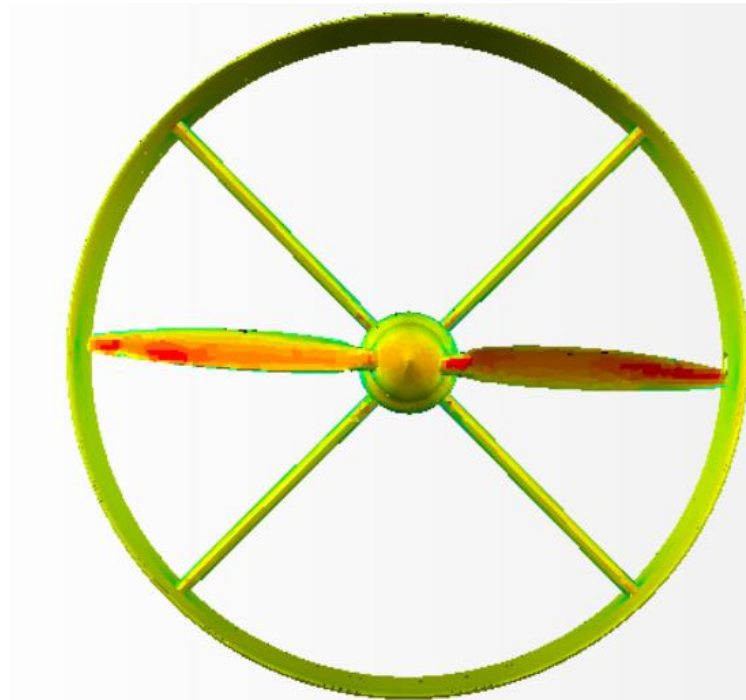
1,4 millions cellules



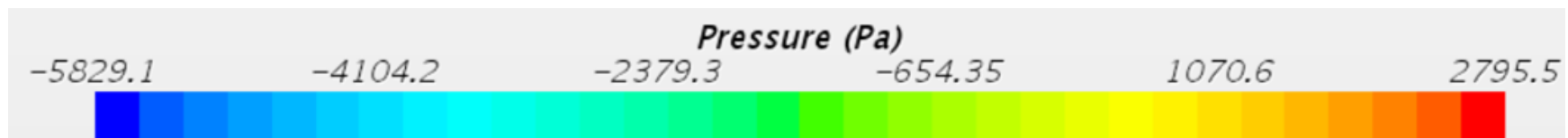
60 000 cellules



# Simulation aérodynamique



- Altitude de 50m
- $V=250\text{km/h}$
- $F=755\text{N}$







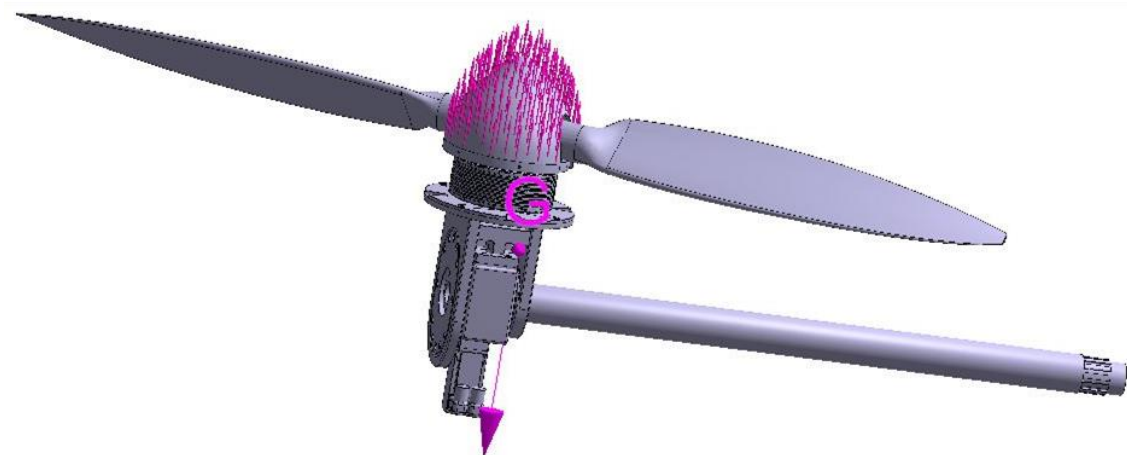
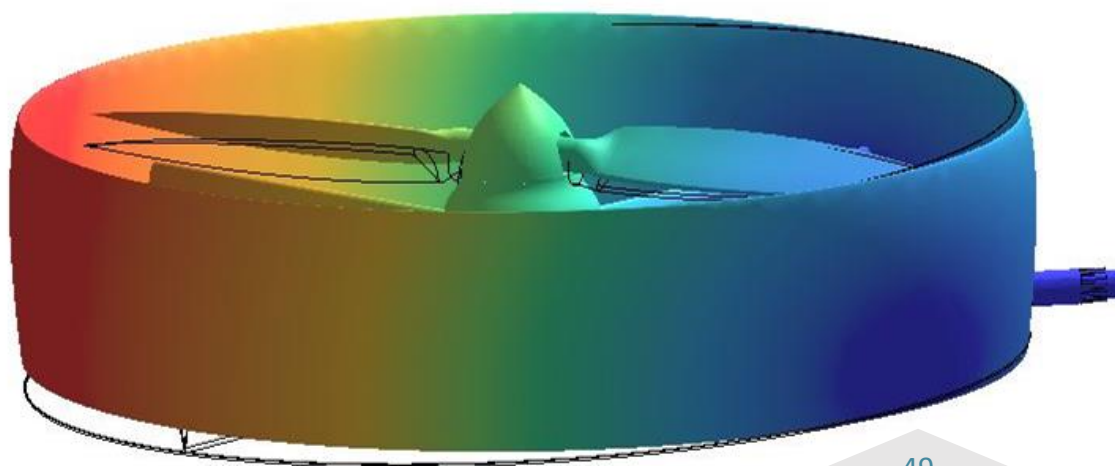
# Simulation numérique : RDM

Forces:

$F_{max} = 5500 \text{ N}$

$P_{min} = 450 \text{ N}$

Résultat déplacement:



Displacement  
Magnitude  
[mm]



Max: 7.0962e+1  
Min: 1.1374e-6



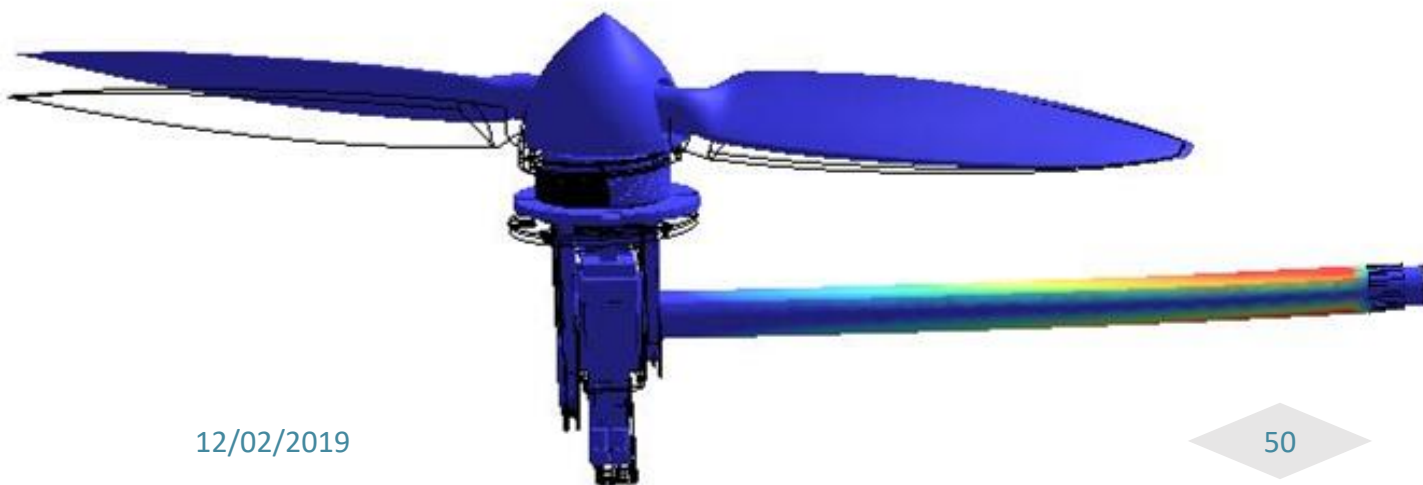
# Simulation numérique : RDM

Résultats:

Critère de von Mises

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_I - \sigma_{III})^2} \leq R_e$$

$1,8 \times 10^8 < 3,45 \times 10^8 = R_e$



Von Mises Stress [pa]



Max: 1.8297e+8  
Min: 3.4903e+1

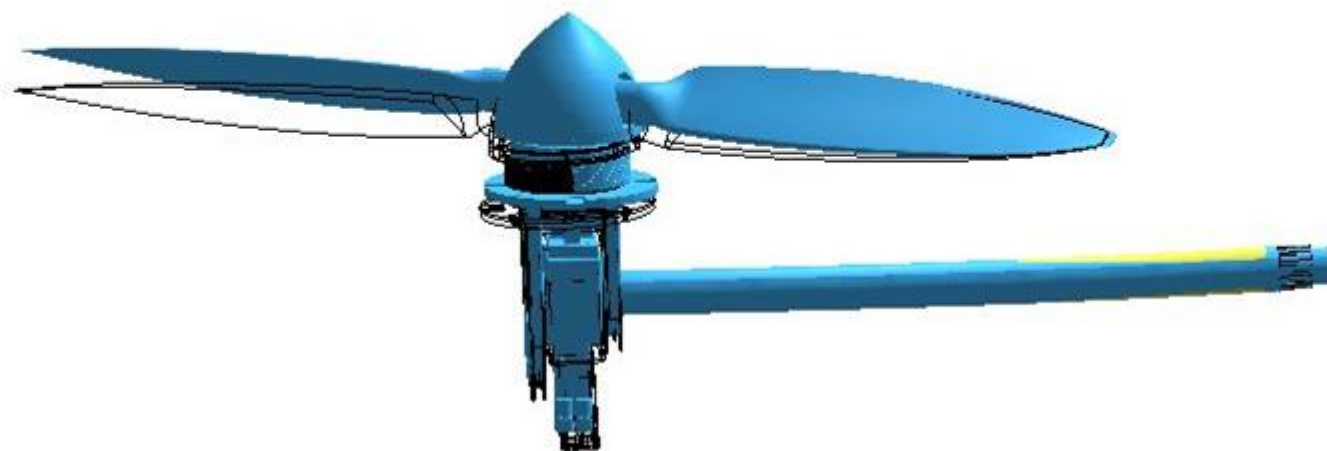
Aluminum Alloy 2024 - T3 Temper

Units system:	<input checked="" type="radio"/> SI <input type="radio"/> IPS
Elasticity modulus [pa]:	73,000,000,000
Poisson's ratio:	0.33
Density [kg/m³]:	2,780
Thermal expansion coeff. [1/(degree C)]:	0.0000232
Thermal conductivity [W/(m*K)]:	121
Ultimate tensile stress [pa]:	483,000,000
Tensile yield stress [pa]:	345,000,000
Compressive yield stress [pa]:	345,000,000
Default failure criterion:	Von Mises Stress

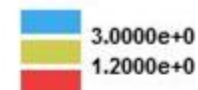


# Simulation numérique : RDM

**Aviation:** Coefficient de sécurité min = 1,5 pour  $n = 4$



Safety Factor



Max: 1.0000e+2

Min: 1.8856e+0

Résultat:

→ Coefficient de sécurité = 1,88 pour  $n > 4$  (environ 8)

→  $F_{max} = 5500 * 1,88 = 10\ 340N$  avant rupture





# Conclusion

Caractéristique	Données
Montage du système	Le système se démonte d'un seul bloc
Masse du système	56,2kg
Durée de vie	>12ans
Resistance	Résiste au cas le plus défavorable
Coefficient de sécurité (dans le cas le plus défavorable)	>2

## Travail a poursuivre:

- Optimisation de la solution retenue
- Continuation de la modélisation aérodynamique



# Conclusion générale

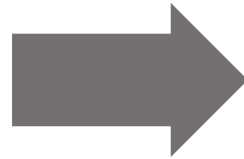
- Equipe G1 dans la continuité de notre projet
  - Modélisation du fuselage du nez du cockpit
  - Modélisation des ailes
  - Réalisation d'une maquette du cockpit
- Apprentissage du travail en groupe
- Première expérience professionnelle

# Bilan des livrables



## Rotor Fonctionnel

- Définition de tous les composants
- Etude et dimensionnement validant la proposition



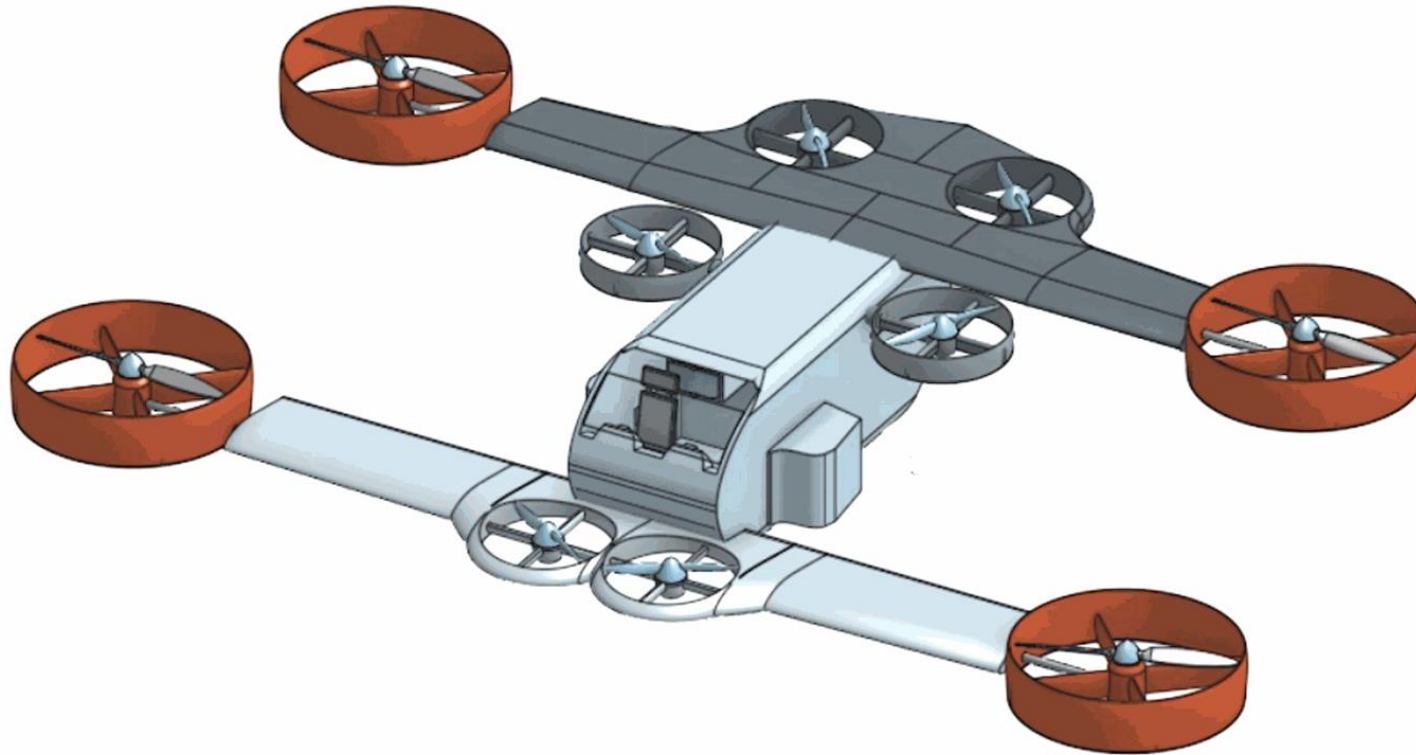
## ■ Habitable aménagé

- Liste des équipements
- Disposition et dimension de l'habitable
- Intégration du brancard
- Mise en place des extensions

Maquette numérique  
sur  
**Onshape**

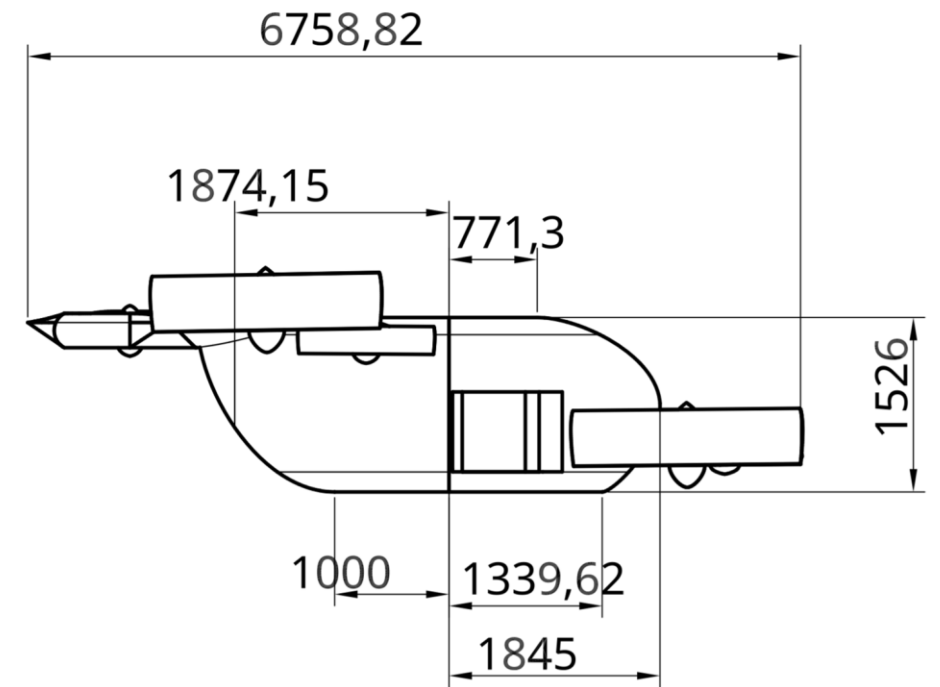
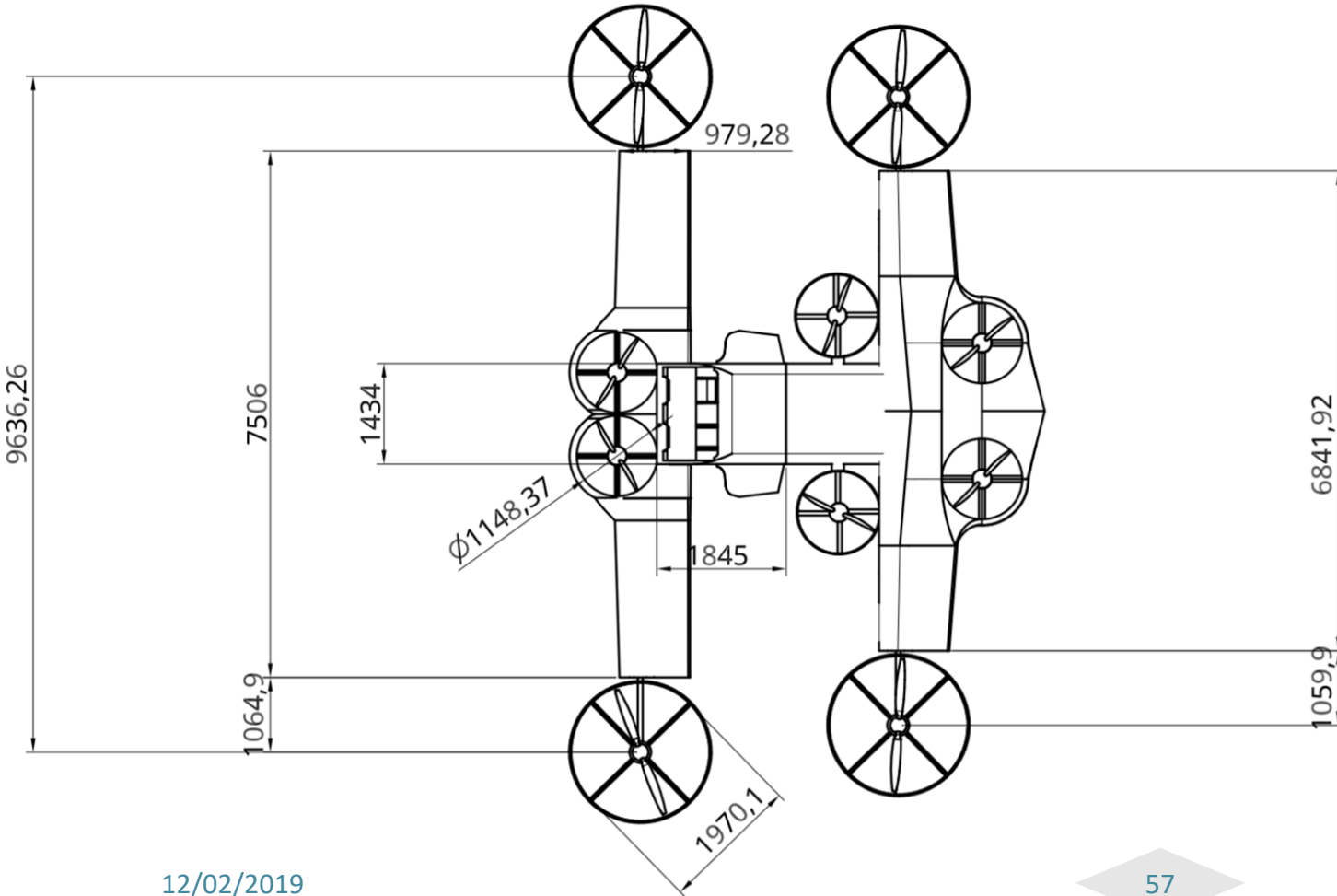
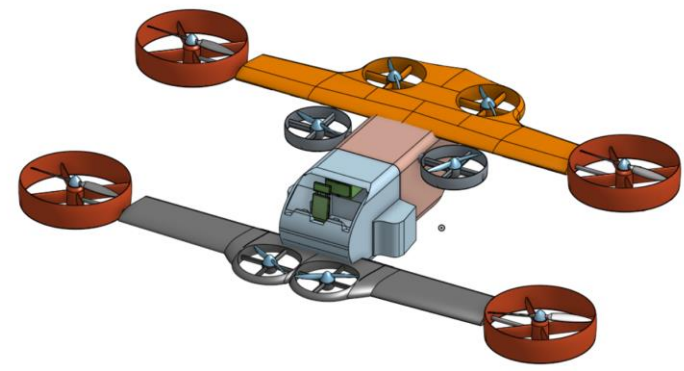


# Prototype

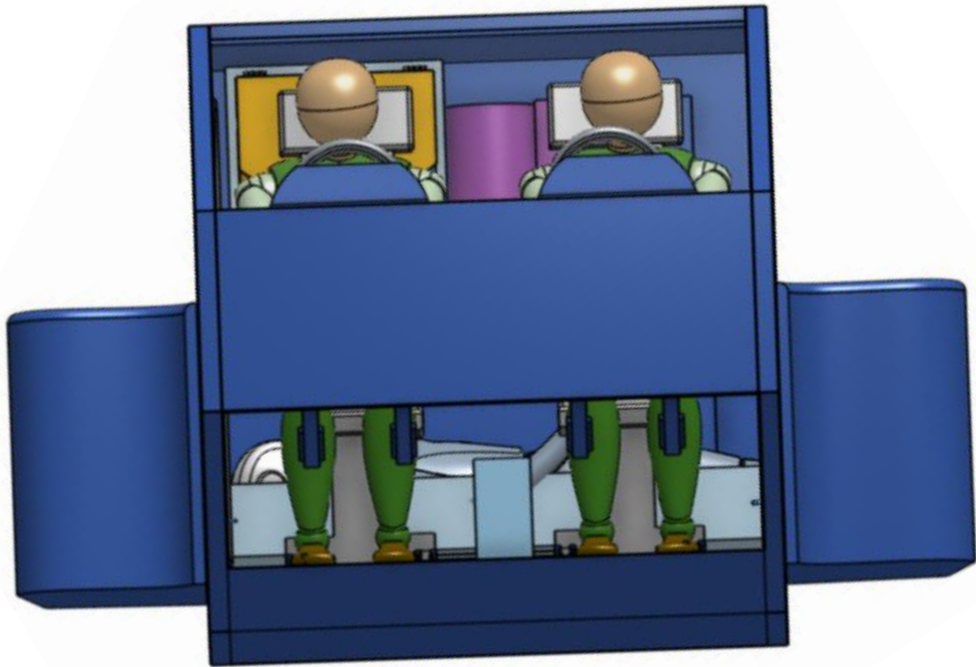
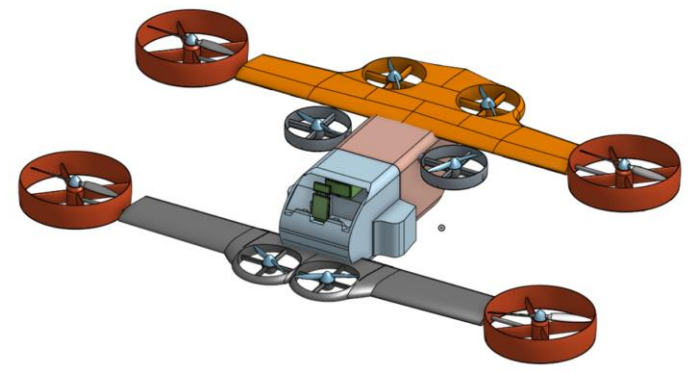




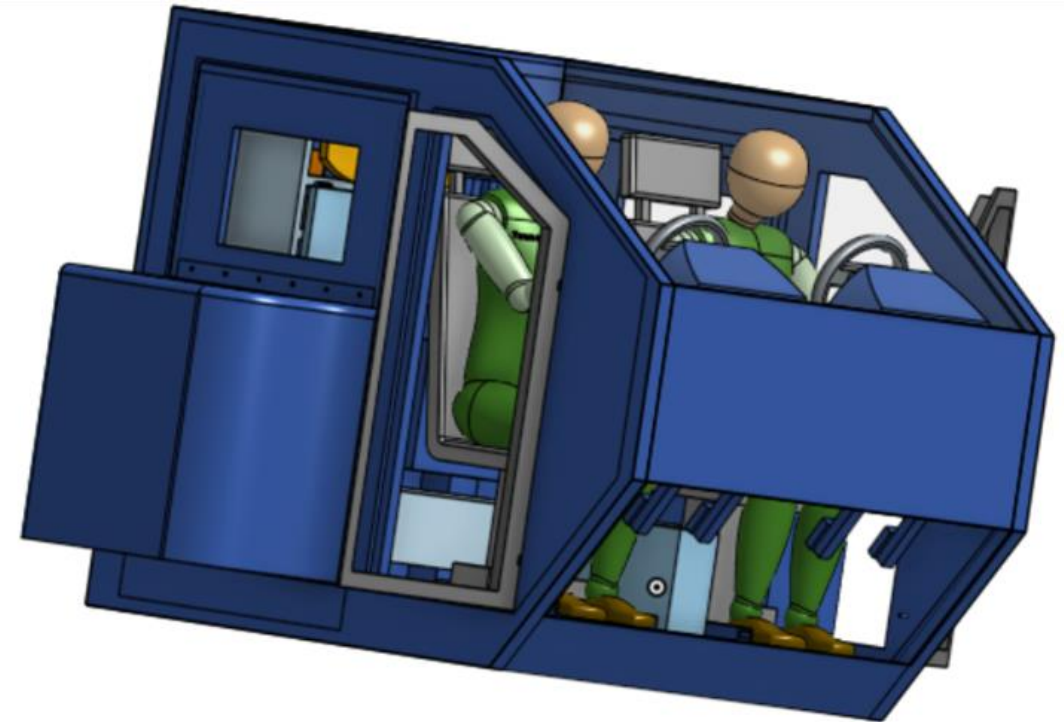
# Dimensions



# L'habitacle : intérieur d'un véhicule

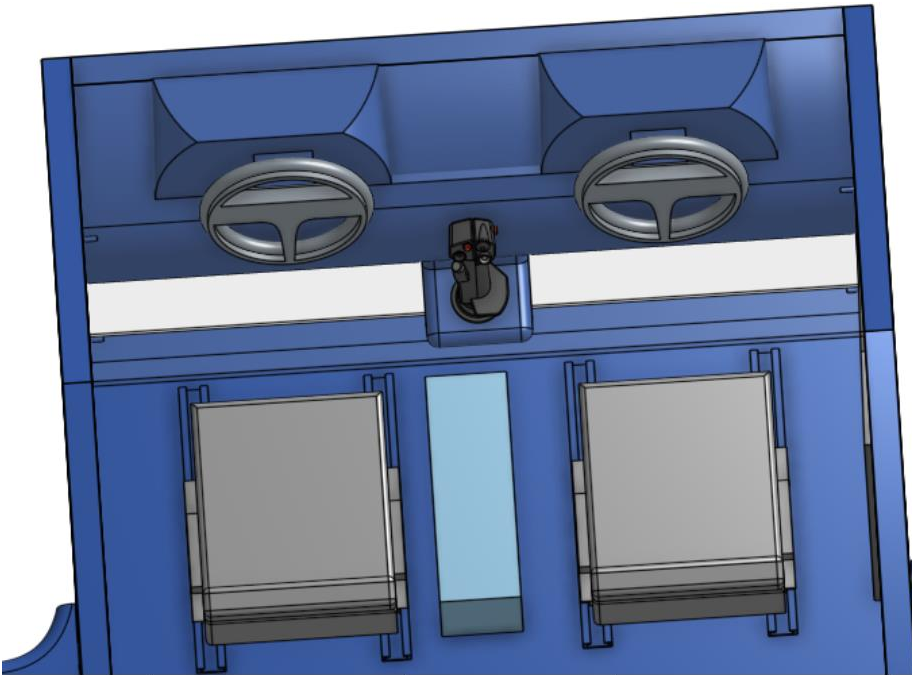
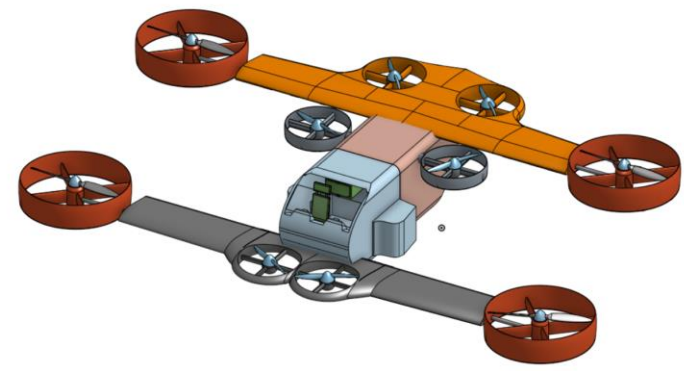


Vue de face du mini bee



vue en perspective du mini bee

# L'habitacle : intérieur d'un véhicule



Sièges réglable

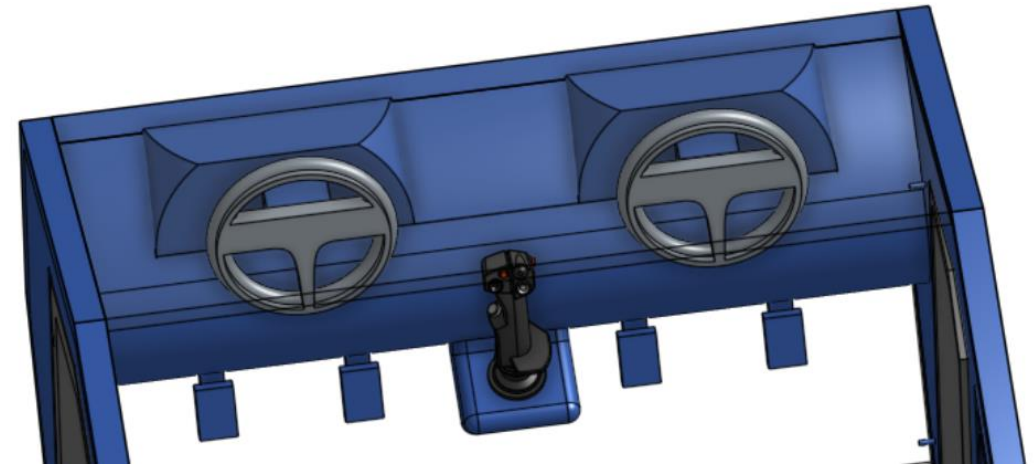
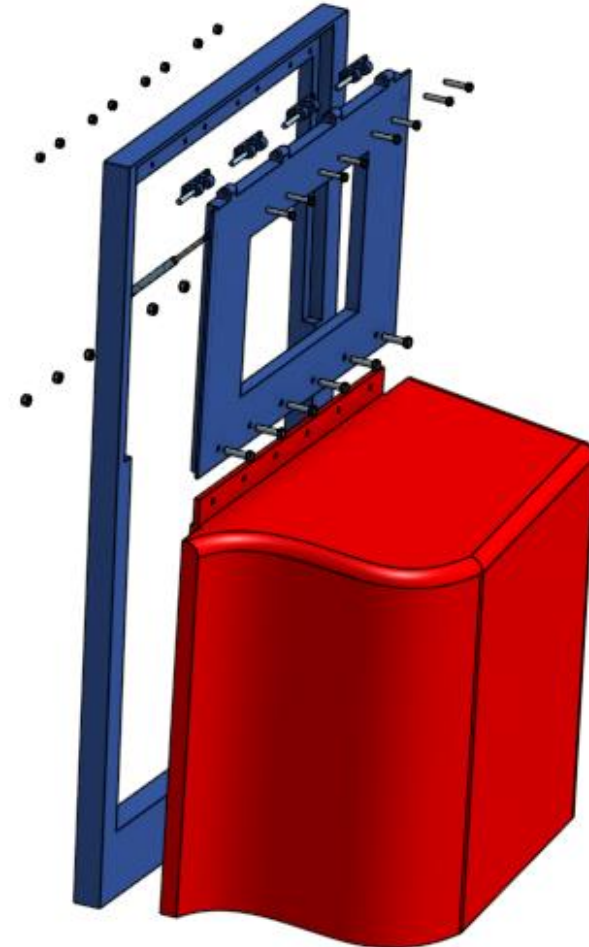
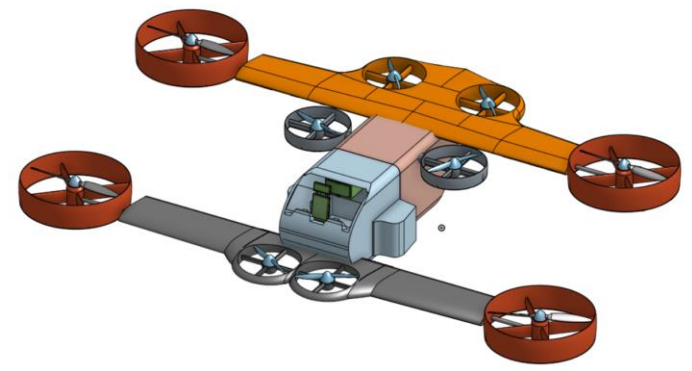
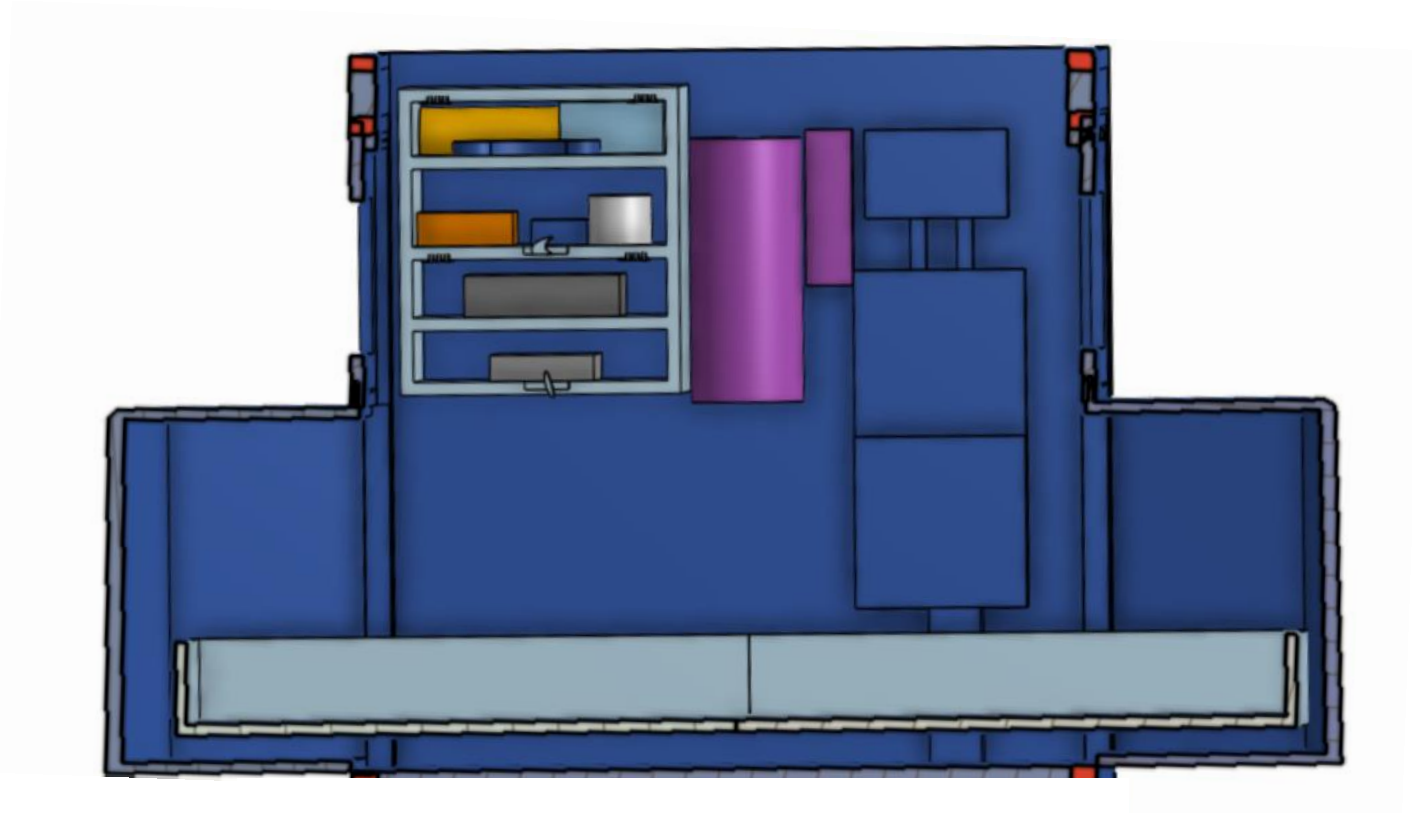
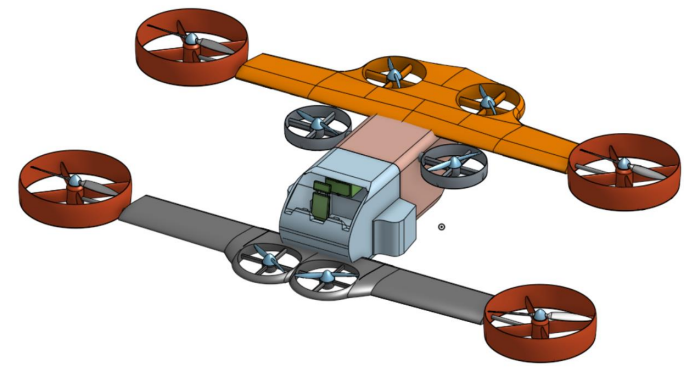


Tableau de bord

# L'habitacle : intérieur d'un véhicule

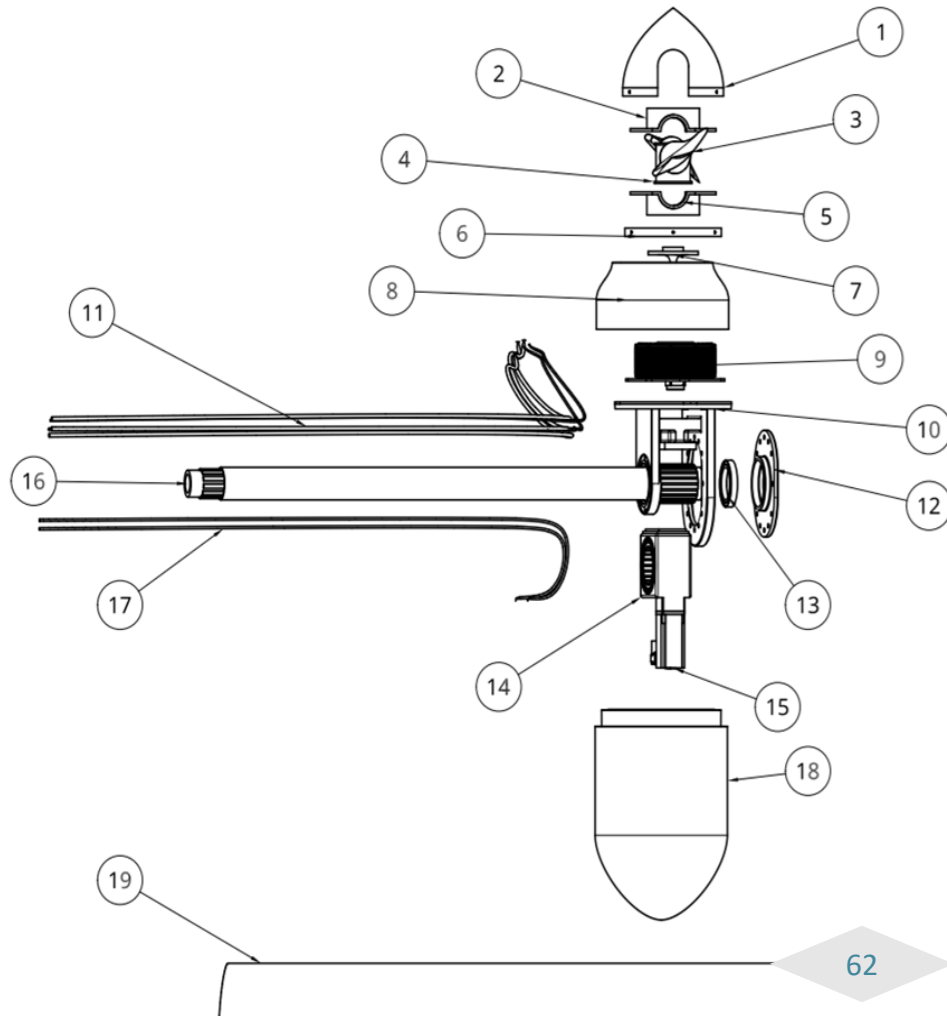


# L'habitacle : intérieur d'une ambulance



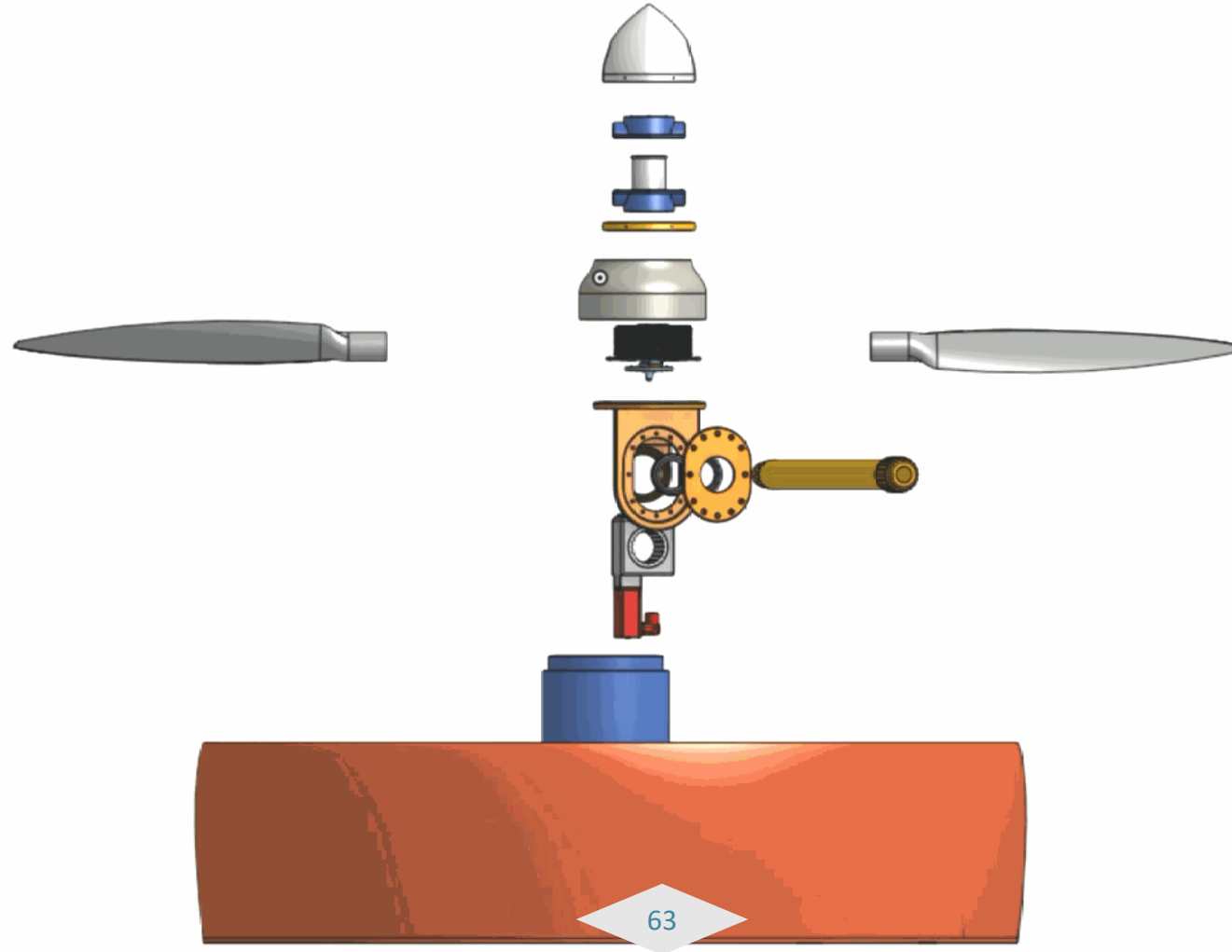
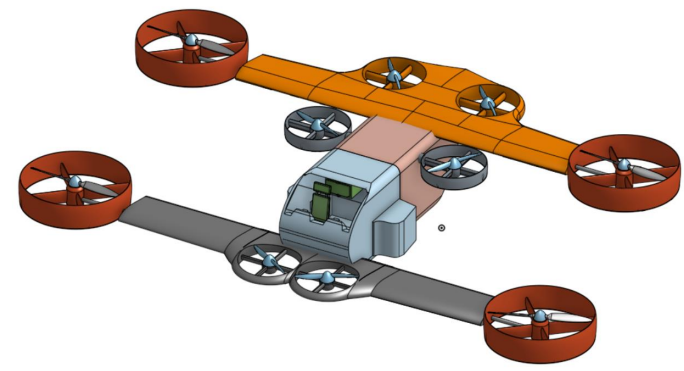
Modélisation des équipements rangés

# Définition des composants

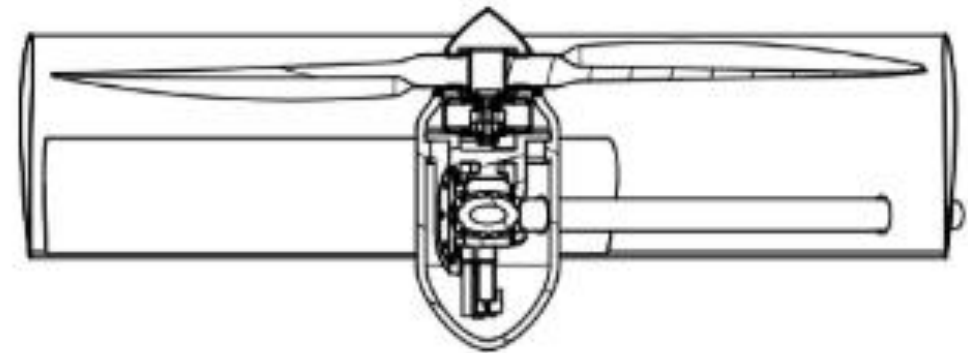
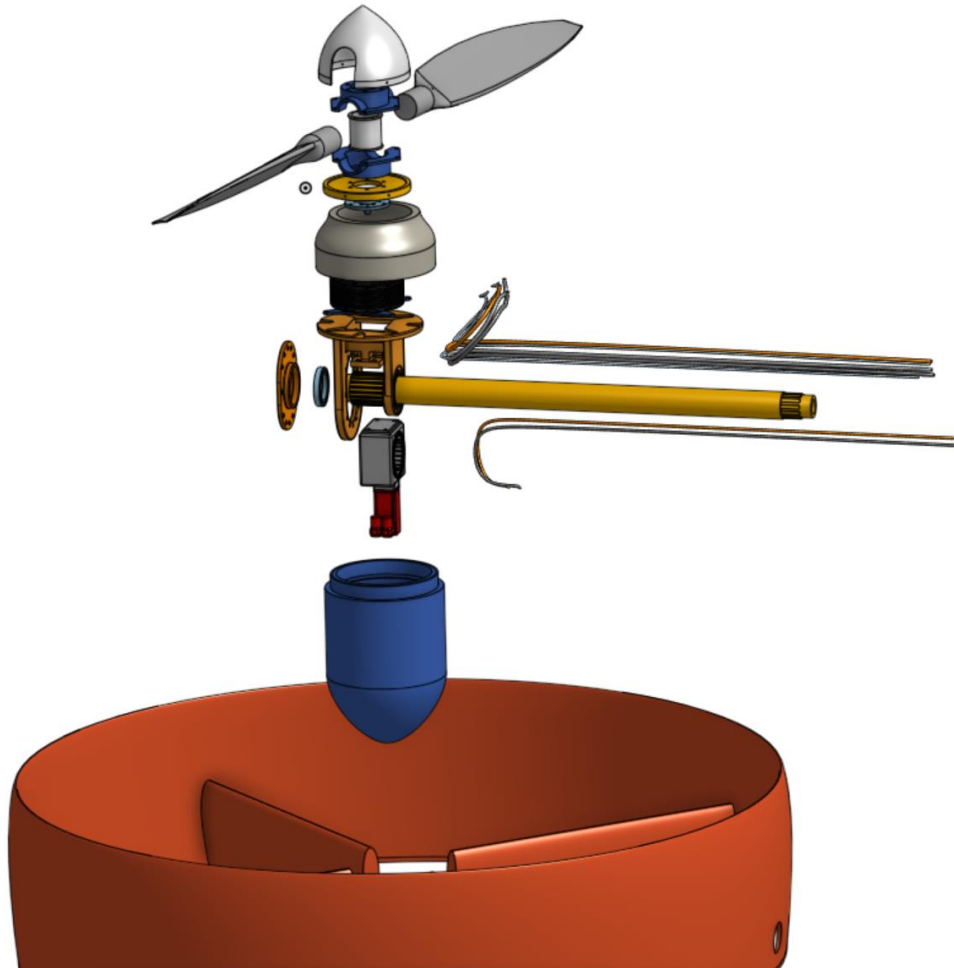
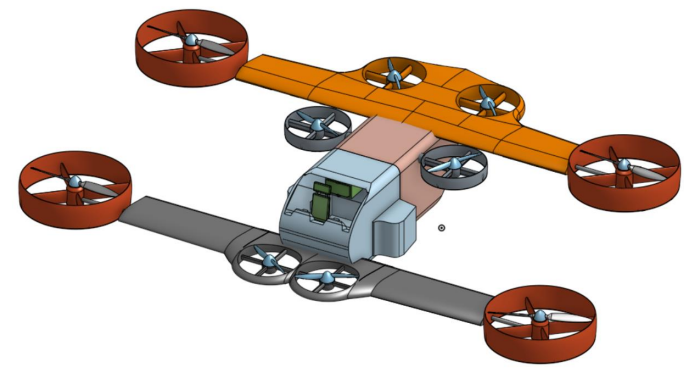


Pièces	
1	Cône
2	Demi-moyeu avant Duc
3	Pale flash 1900mm Duc
4	Entretoise intérieur de moyeu
5	Demi-moyeu arrière Duc
6	Rondelle de serrage Duc
7	Porte-hélice
8	Carrénage haut
9	Emrax 188
10	Bâti
11	Câbles alimentation Emrax
12	Chapeau
13	Roulement à rouleaux coniques à une rangée
14	Réducteur traversant
15	Moteur
16	Arbre cannelé
17	Câbles alimentaion du moteur tilt
18	Carrénage inférieur
19	Carrénage extérieur

# Solution montable



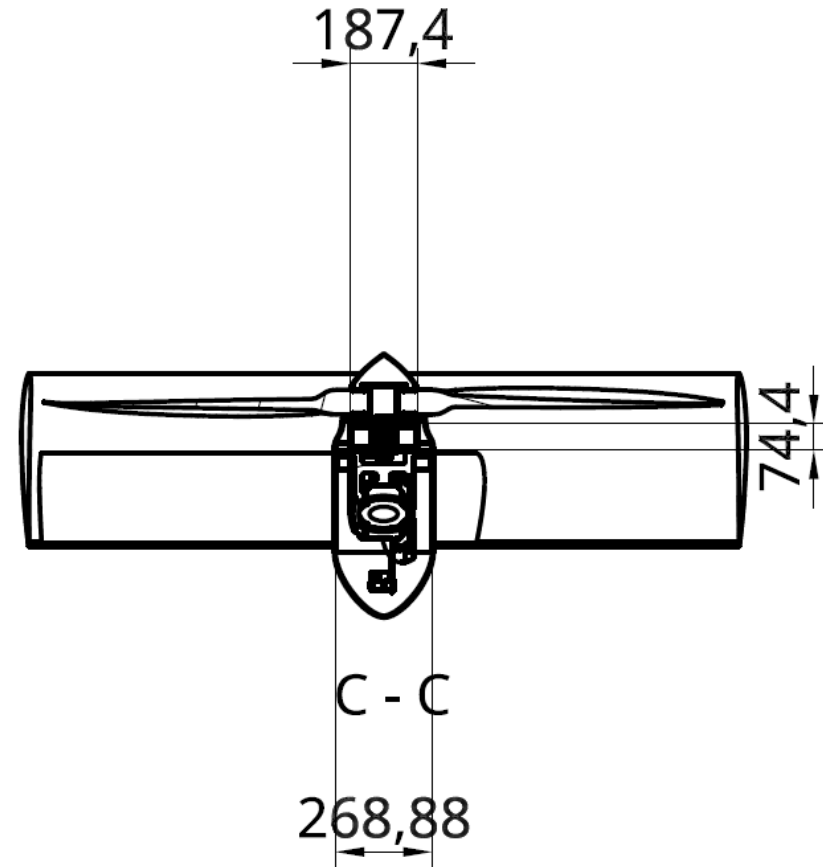
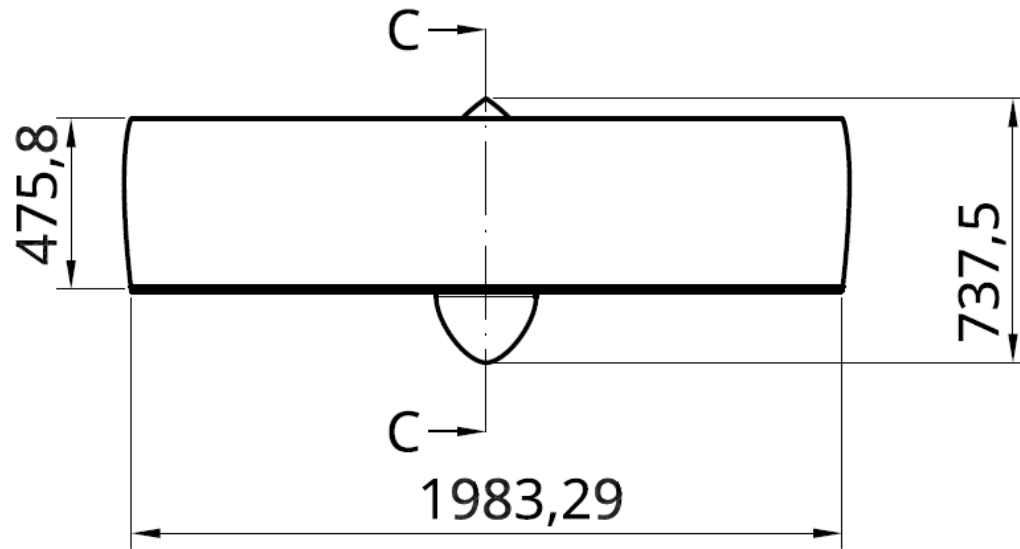
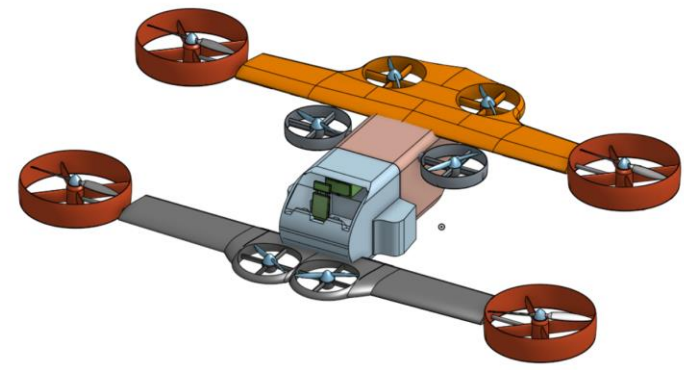
# Prototype



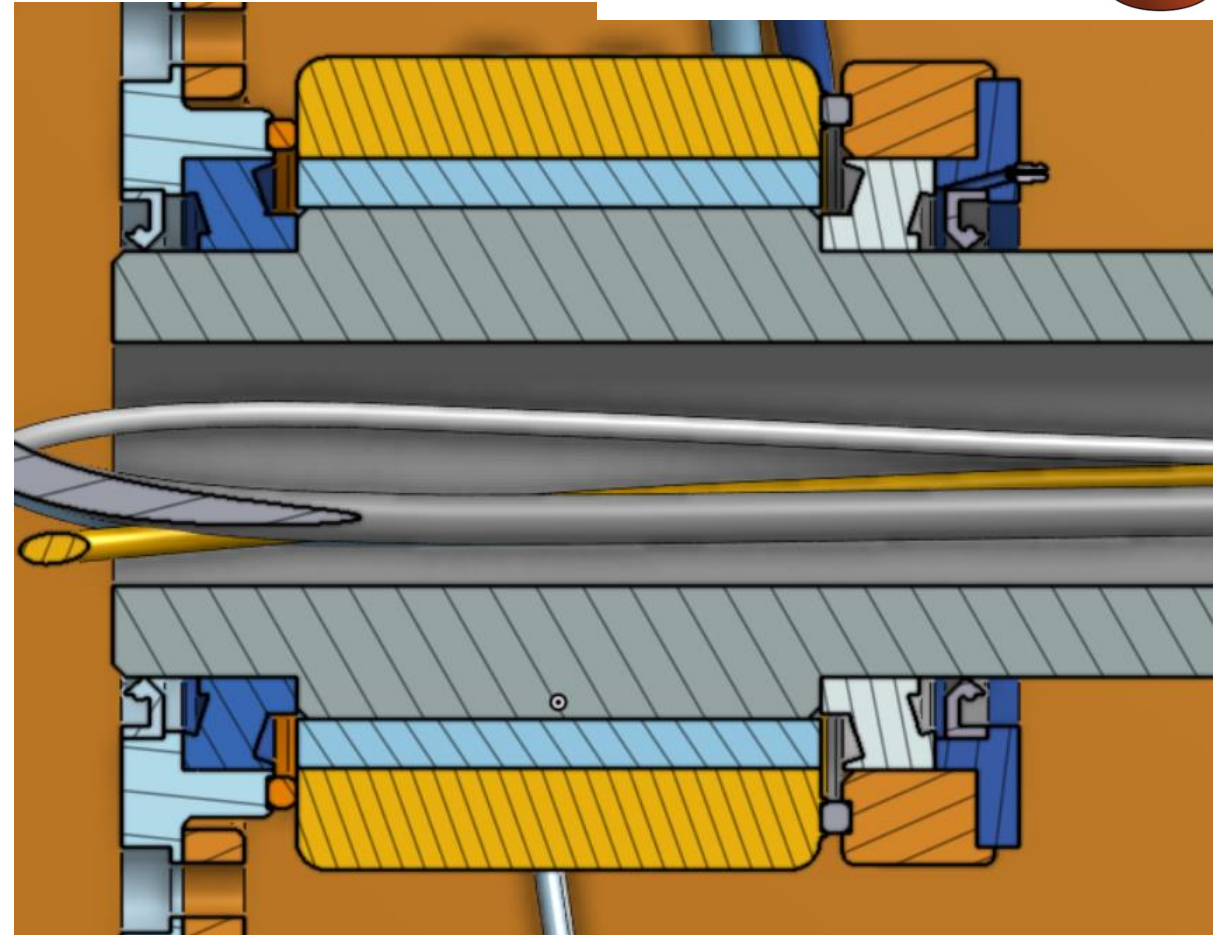
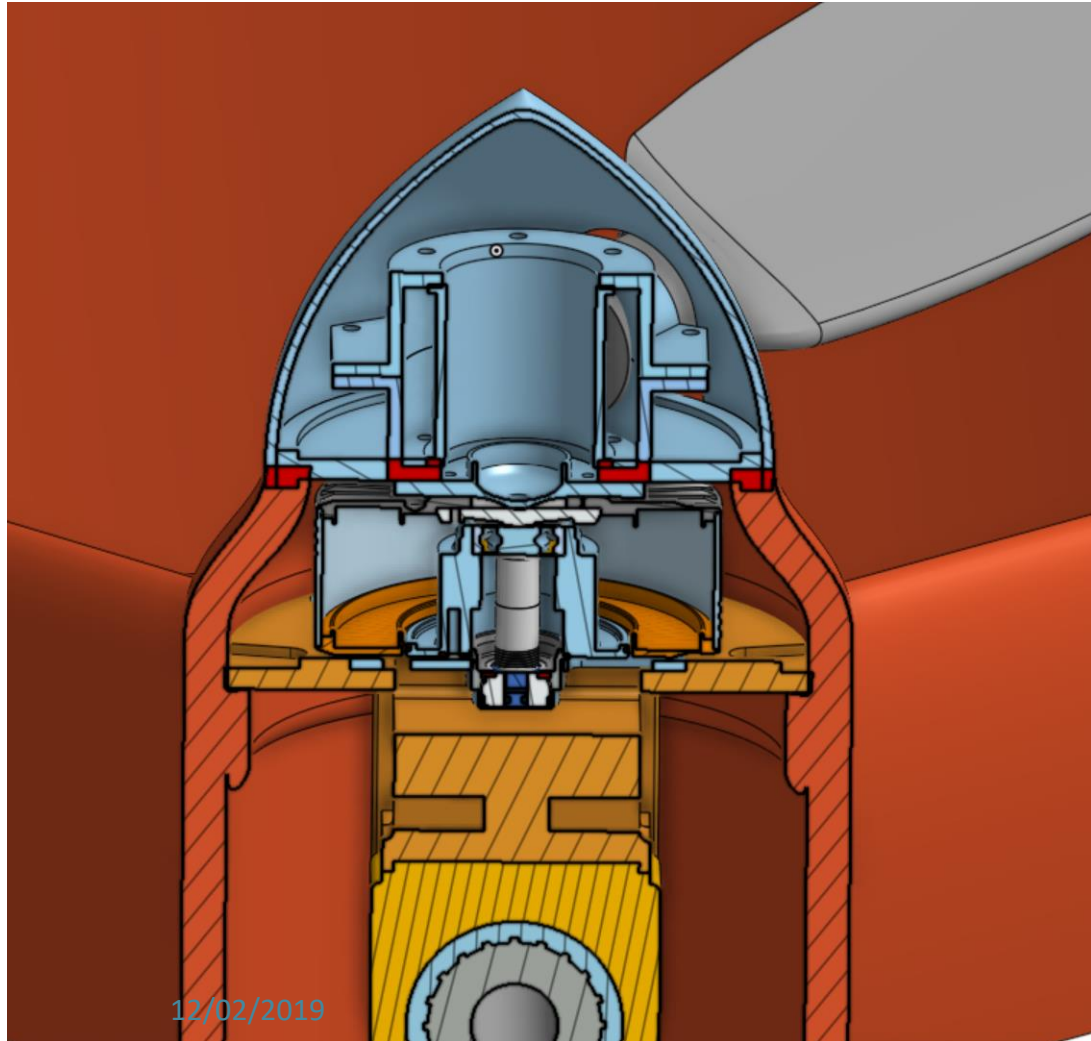
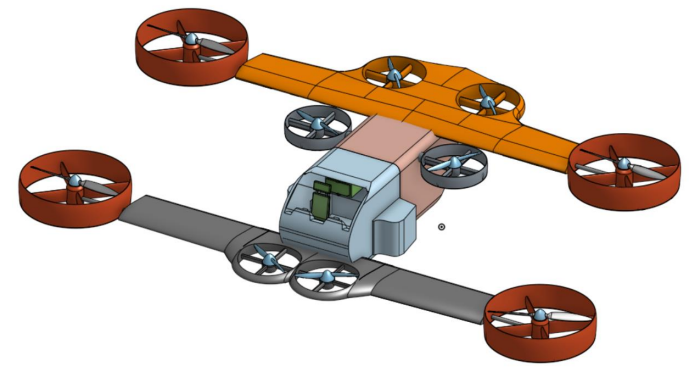
B - B



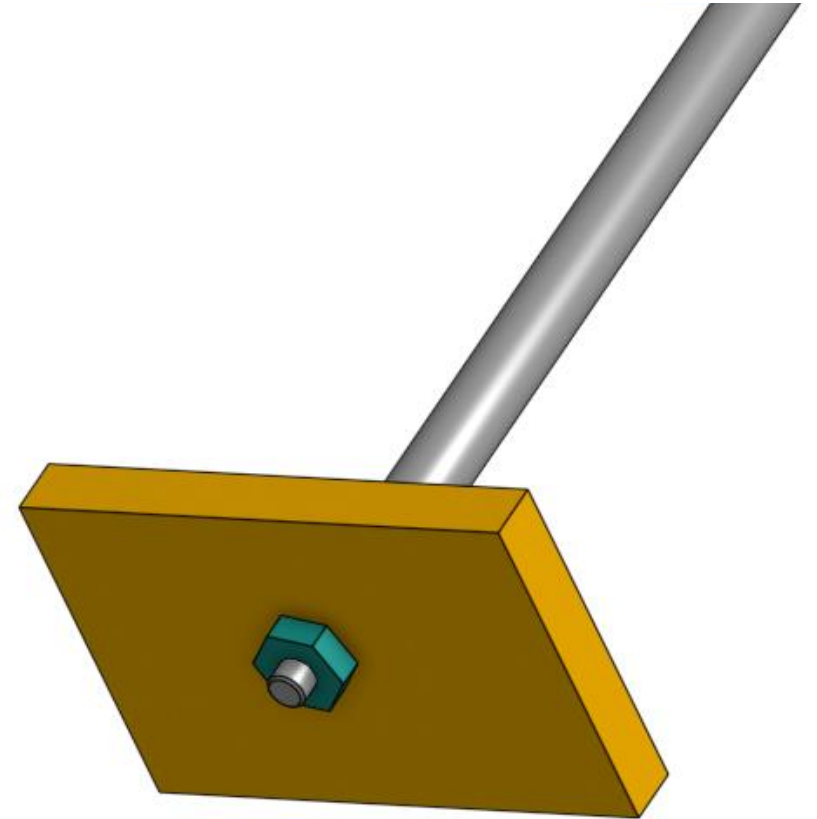
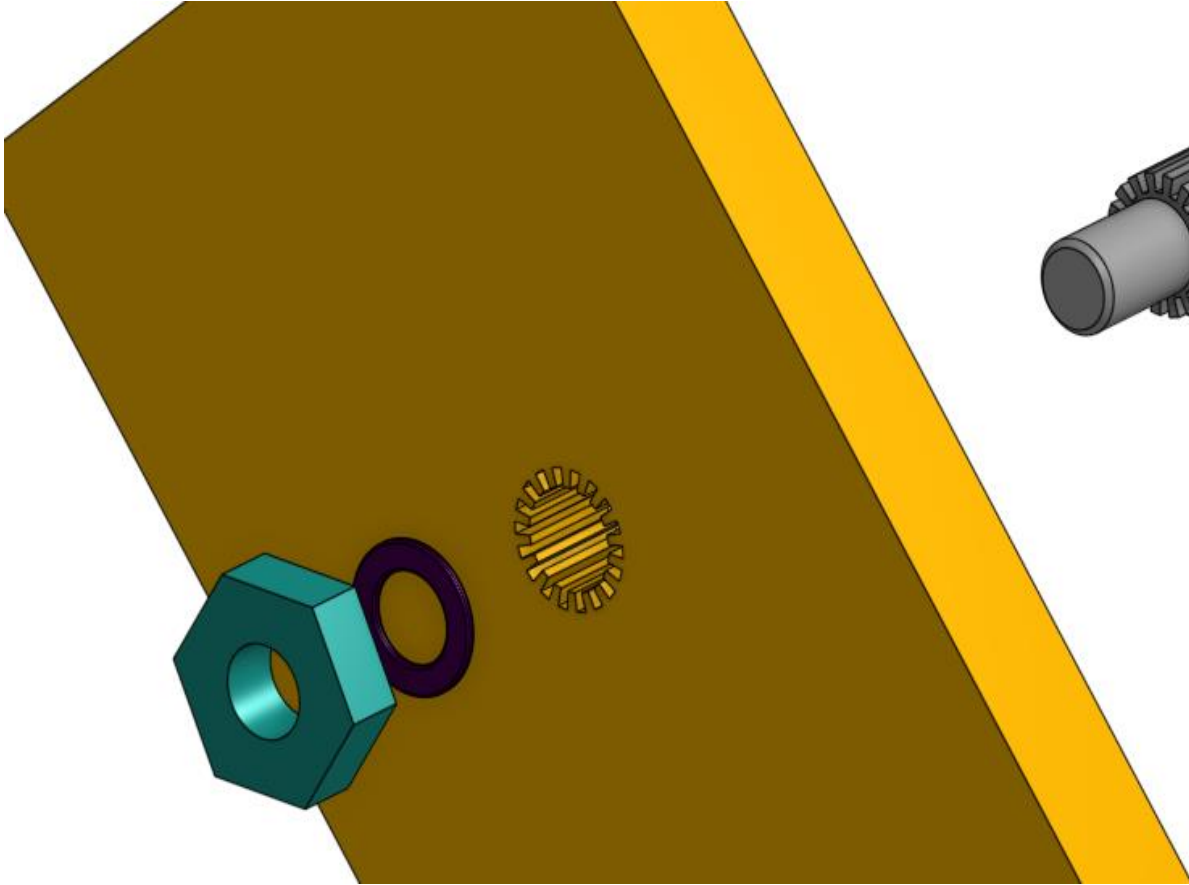
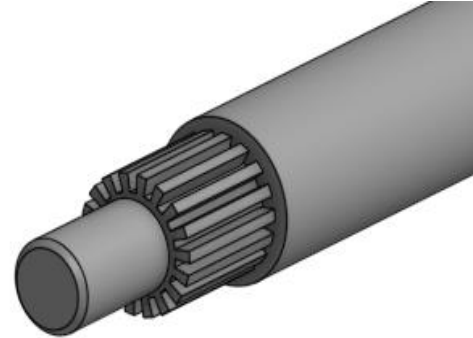
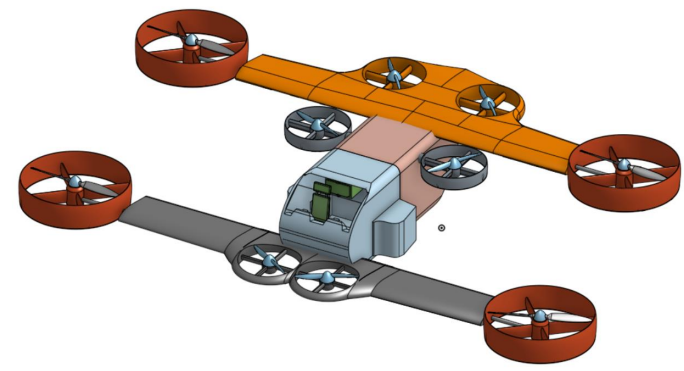
# Prototype



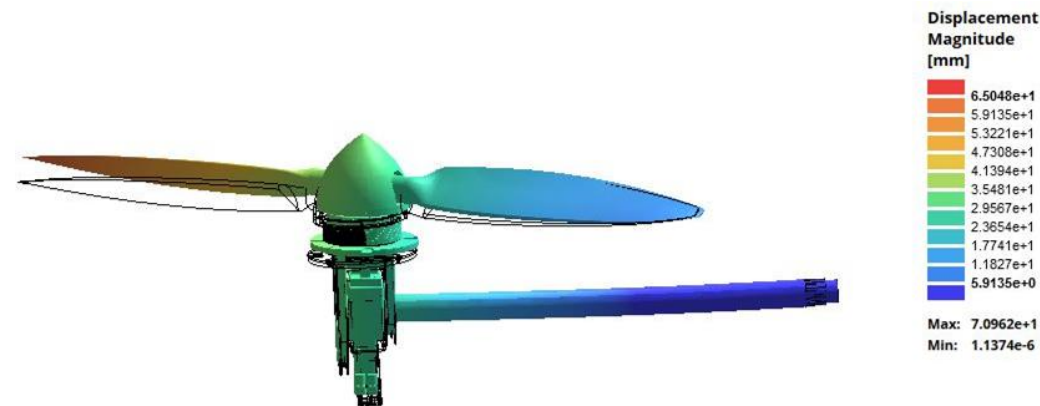
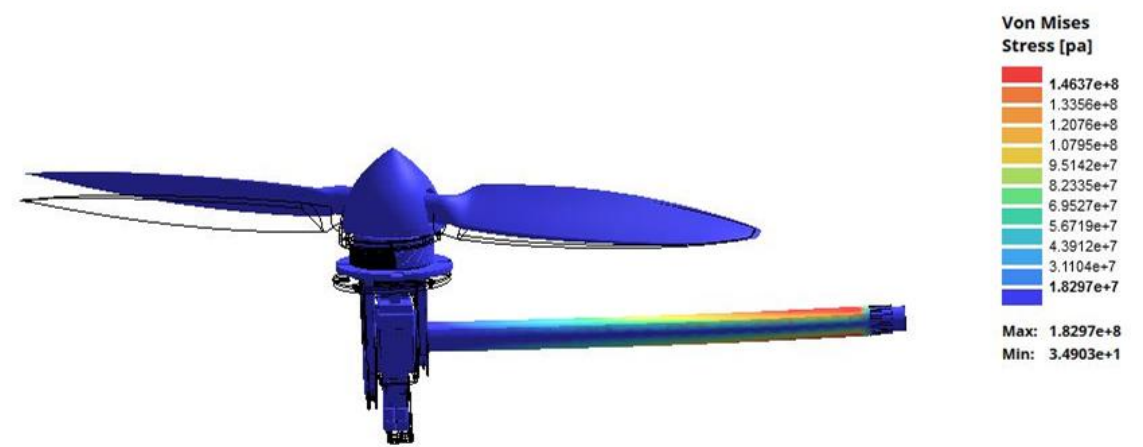
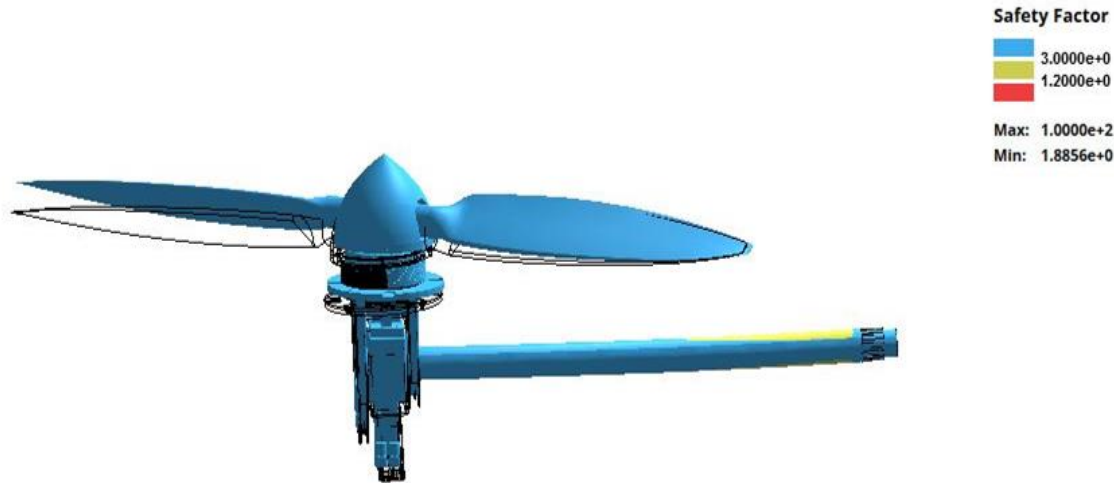
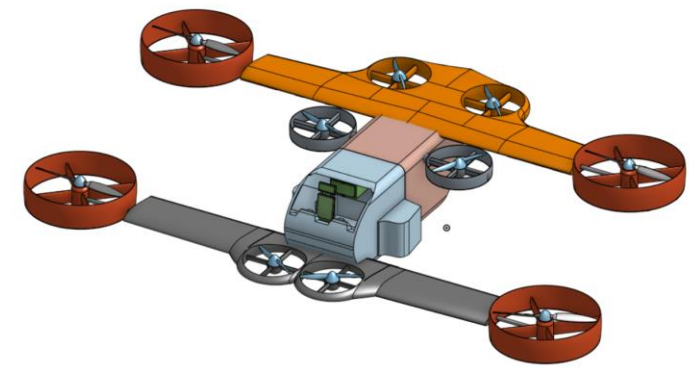
# Prototype



# Prototype



# Résultats simulations



# Annexes





Vis H:

- ✓ couple de serrage important
- ✓ faible impact aérodynamique
- = nécessite des outils pour le montage



Vis à poignée:

- = couple de serrage plus faible
- ✗ impact aérodynamique plus important
- ✓ aucun outil nécessaire pour le montage

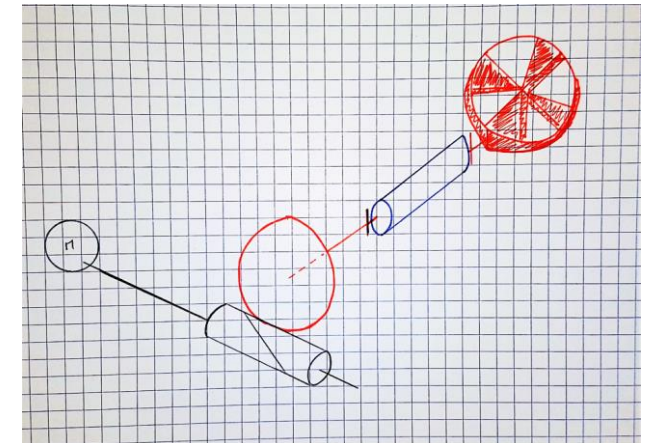
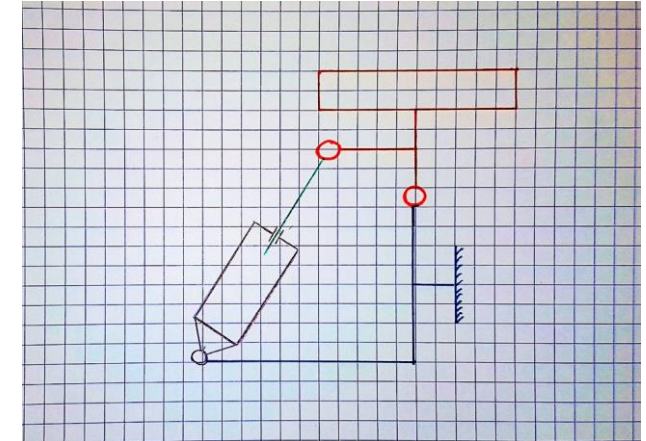
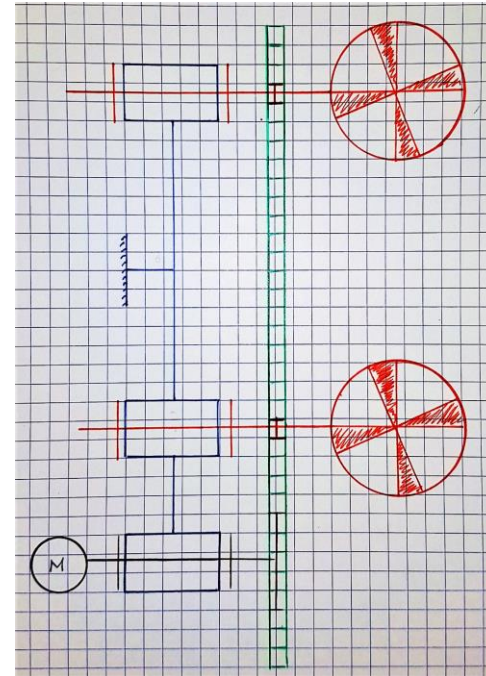
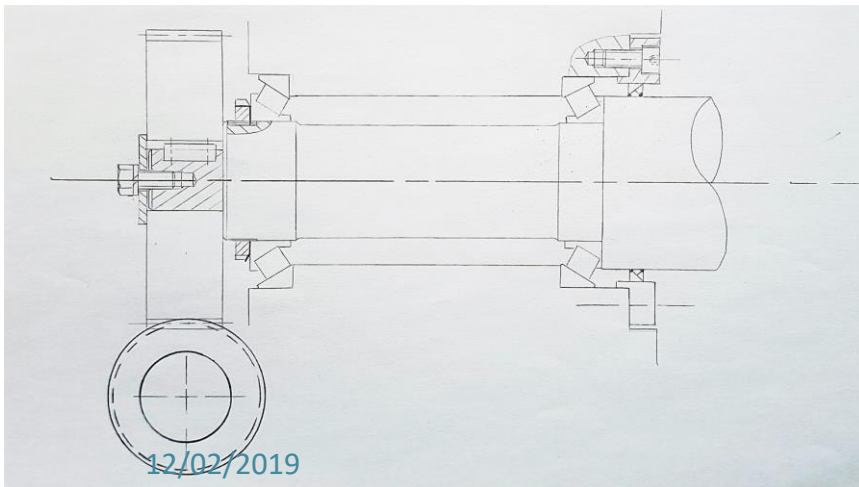
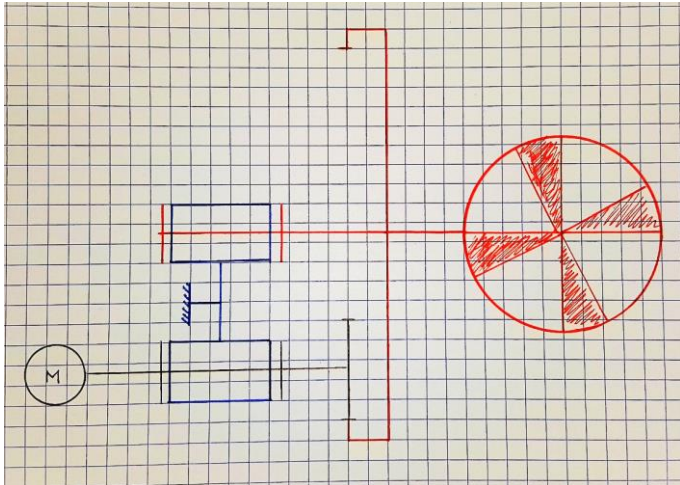


Ecroû à oreille:

- ✗ couple de serrage plus faible
- ✓ impact aérodynamique inexistant
- ✓ aucun outil nécessaire pour le montage



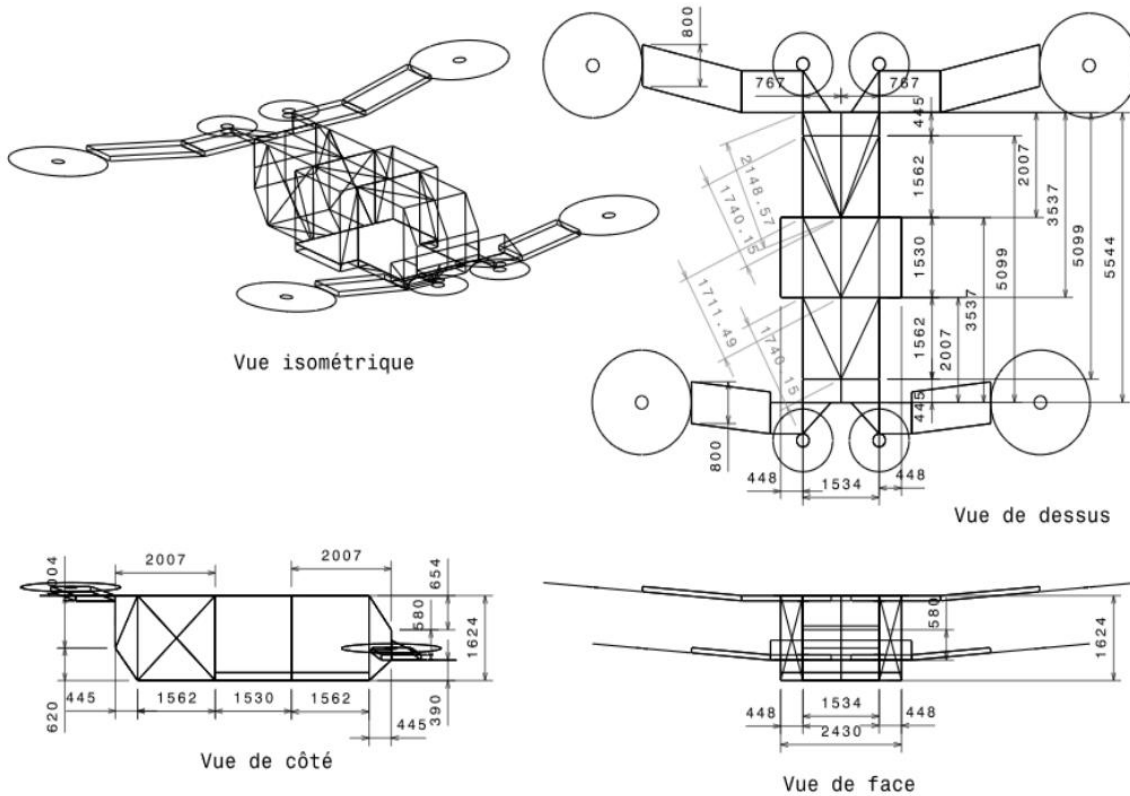
## Solutions envisagées pour l'orientation des rotors



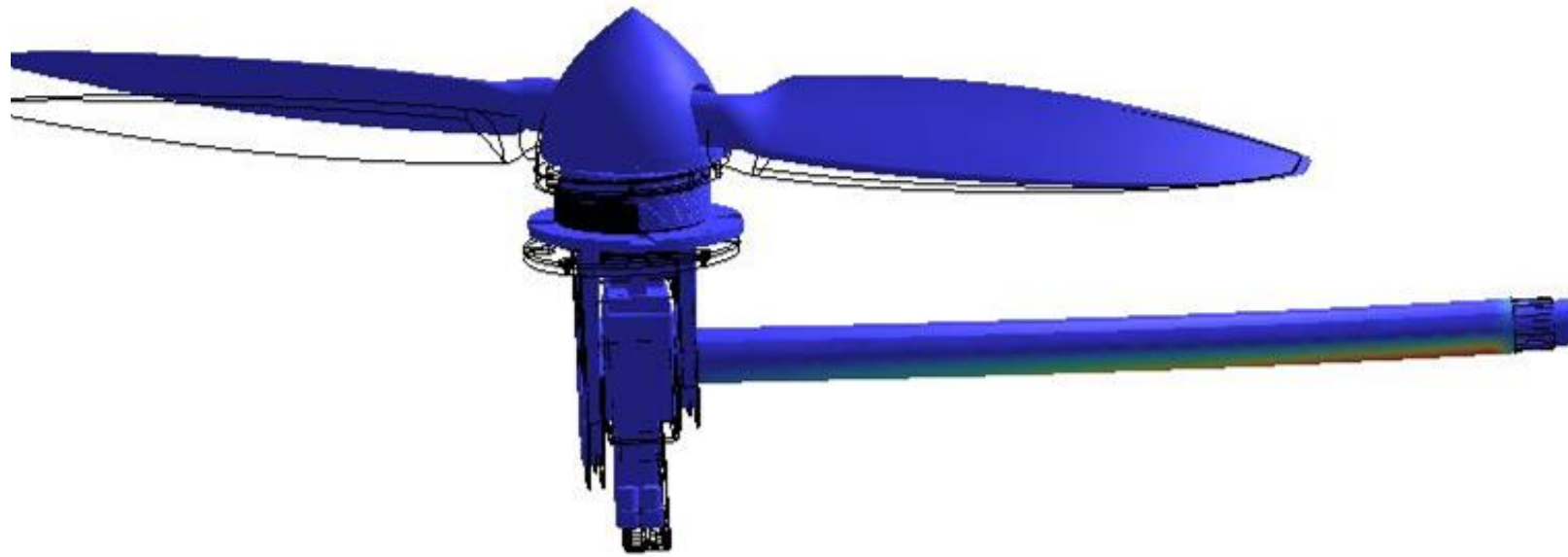
# Annexe



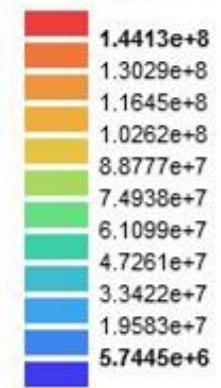
Mini-Bee v2018-02-19 : Complet (Avec Ailes)



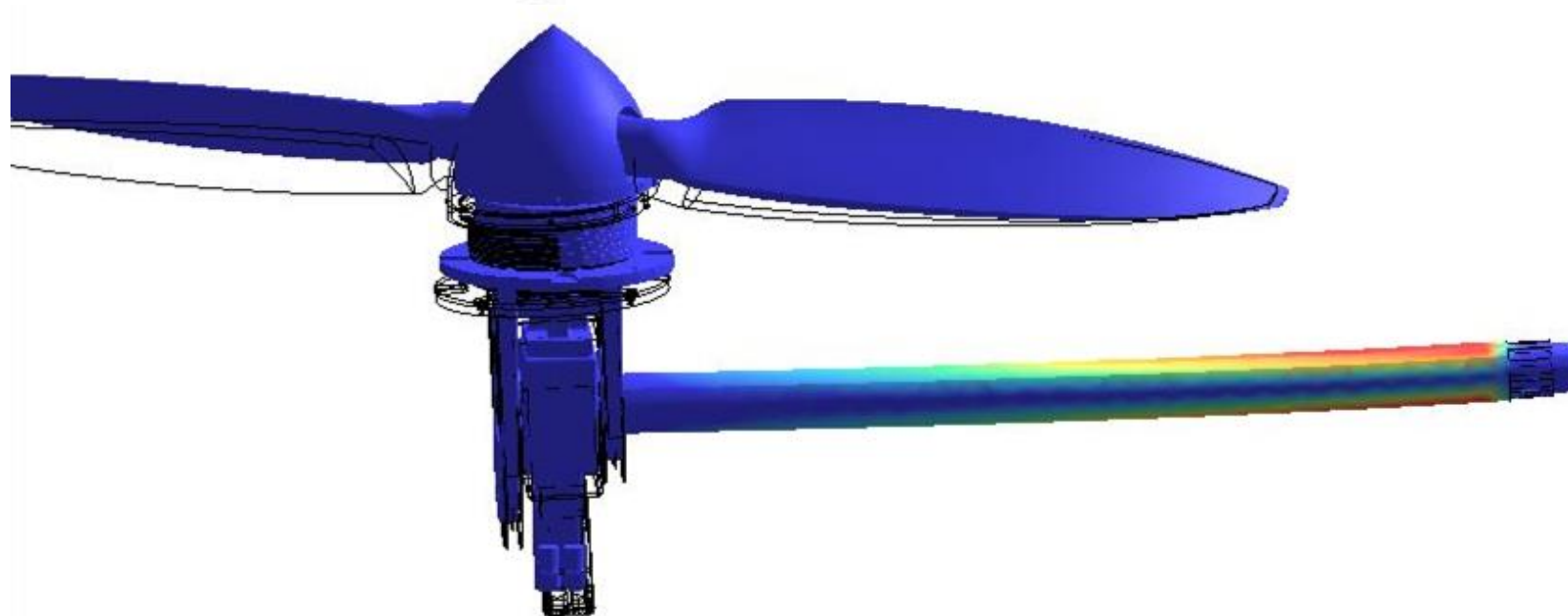




**Major Principal Stress [pa]**



Max: 1.8367e+8  
Min: -1.4025e+7



**Major Principal Stress [pa]**



Max: 9.1542e+7  
Min: 2.0020e+1

