

DIPLOME D'INGENIEUR DE L'INSTITUT SUPERIEUR DE MECANIQUE DE  
PARIS (INGENIEUR SUPMECA)

FORMATION INITIALE

PSYN MINI-BEE

LISA LEPERS ET FELIX BUHOT

---

# Conception et étude mécanique de la structure du Mini-Bee

---

CONTRAINTES DE CONFIDENTIALITE



## Sommaire

<b>Sommaire</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Le projet Mini-Bee</b> .....	<b>3</b>
1.1. La prise en main du projet.....	3
1.2. Notre mission dans ce projet.....	3
<b>2. Le planning</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Objectifs du projet</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Synthèse des décisions actées</b> .....	<b>5</b>
4.1. Décisions globales.....	5
4.2. R2H10A4.....	5
4.3. R1H6A0.....	5
<b>5. Phase de conception</b> .....	<b>6</b>
5.1. Préconception .....	6
5.2. Conception.....	8
5.1.1. <i>Emplacement et fixation des ROTAX 915</i> .....	8
5.1.2. <i>Trains d'atterrissage</i> .....	8
5.1.3. <i>Fixations des ailes</i> .....	9
5.1.4. <i>Positionnement des rotors</i> .....	9
5.1.5. <i>Structure</i> .....	12
<b>6. Phase de simulation</b> .....	<b>14</b>
6.1 Simulation statique.....	15
6.1.1 <i>Modèle du R1H6A0</i> .....	15
6.1.2 <i>Résistance des haubans</i> .....	15
6.1.3. <i>Poussée pour le R1H6A0 module passagers</i> .....	17
6.1.4. <i>Comparaison des différents modèles de poutres</i> .....	18
6.2 Simulation vibratoire .....	19
6.3 Bilan de masse .....	20
<b>La masse de la structure est de 124g, le prochain objectif est donc de réduire cette masse d'environ 5kg.</b> .....	<b>21</b>
<b>7. Ce qu'il reste à faire</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>8. Conclusion</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>9. Bibliographie</b> .....	<b>22</b>

## 1. Le projet Mini-Bee

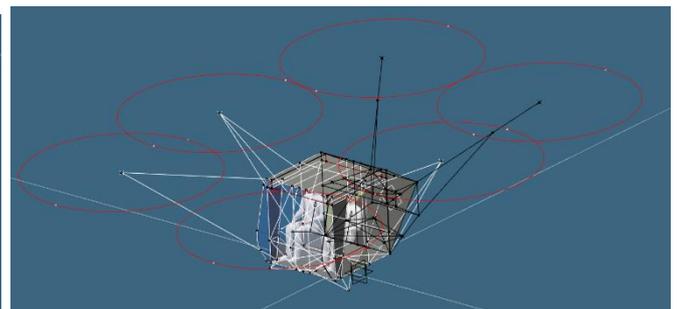
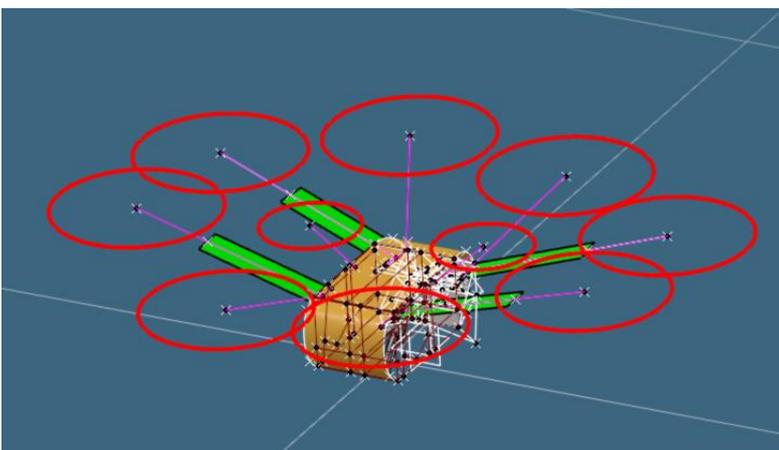
Le projet Mini-Bee est un projet collaboratif regroupant de nombreux acteurs universitaire d'articulant autour de la société Technoplane dans le but de créer une série d'appareils volants à bas coût allant du transport de blessés légers dans des lieux difficiles d'accès au simple taxi volant qui soient facilement transportable grâce à leur modularité. Le but étant de pouvoir placer les modules dans les conteneurs ULD (unit load device) pour pouvoir être embarqué dans un grand nombre de soutes d'avion moyen et long courrier.

### 1.1. La prise en main du projet

La première des tâches qui nous a incombés fût de synthétiser les avancés des autres écoles. Nous avons récupéré des informations issues de l'ESTACA pour ce qui est de la forme globale de l'appareil et de l'ESIGELEC sur les génératrices électriques. En effet, l'alimentation des rotors reposent sur un système hybride : les moteurs thermiques ROTAX alimentent des génératrices qui, elles-mêmes, alimentent en électricité les rotors de l'appareil. Il n'est pas possible de faire un modèle tout électrique à cause d'un problème de poids des batteries.

### 1.2. Notre mission dans ce projet

Nous avons travaillé sur la conception et sur la structure de deux appareils. Le premier est une ambulance volante qui peut décoller verticalement et qui permet d'évacuer des blessés dans des endroits reculés et peu accessibles, cette ambulance volante est composée de deux moteurs ROTAX 915, de 10 rotors à flux verticaux et de 4 ailes. Nous le dénommerons le R2H10A4. Le second est un ULM de classe 6 (inférieur à 600kg) permettant à deux personnes de se déplacer, il est composé d'un seul ROTAX, de 6 rotors et d'aucune ailes. Nous le dénommerons le R1H6A0.





## 4. Synthèse des décisions actées

### 4.1. Décisions globales

- Génératrices Emrax 188 twin c'est-à-dire que les génératrices sont doublées et sont alimentées par le même axe du même moteur
- ROTAX 915
- 2 PAX
- Décollage vertical
- Maintenance rapide
- Transportable dans des conteneurs ULD

### 4.2. R2H10A4

- 2 ROTAX 915 avec 100 litres de carburant
- 4 génératrices Emrax 188 (2 en « twin » sur chacun des moteurs)
- 8 rotors de diamètre 3.4m bipales + 2 rotors de diamètre 2m tri ou quadripales
- 4 rotors horizontaux fixés sur les ailes
- 4 ailes
- Transport d'un brancard

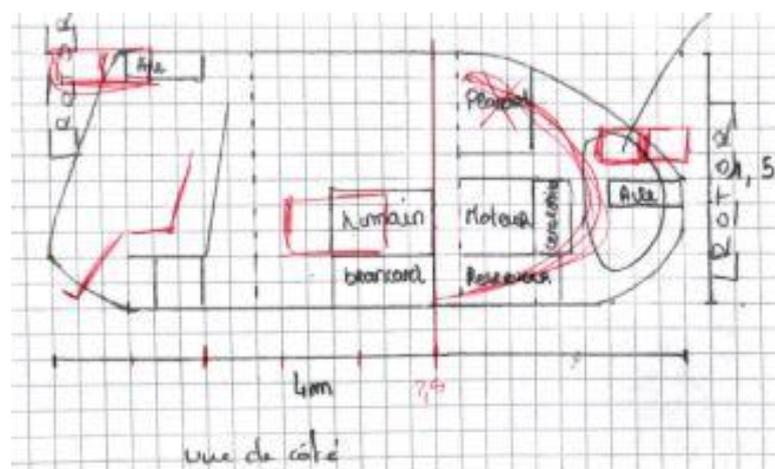
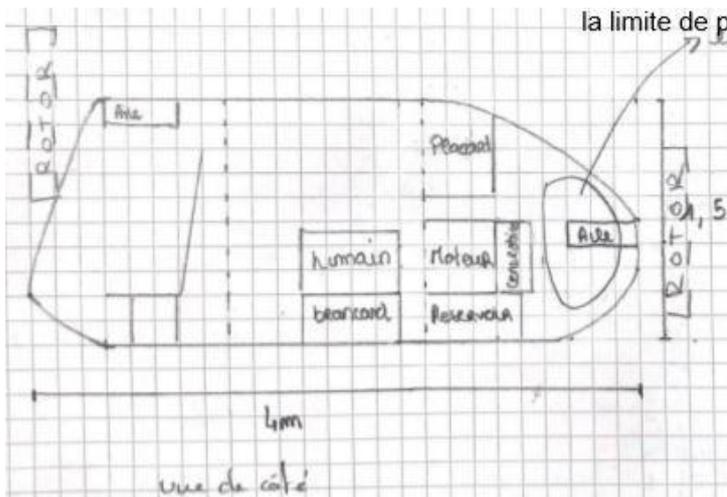
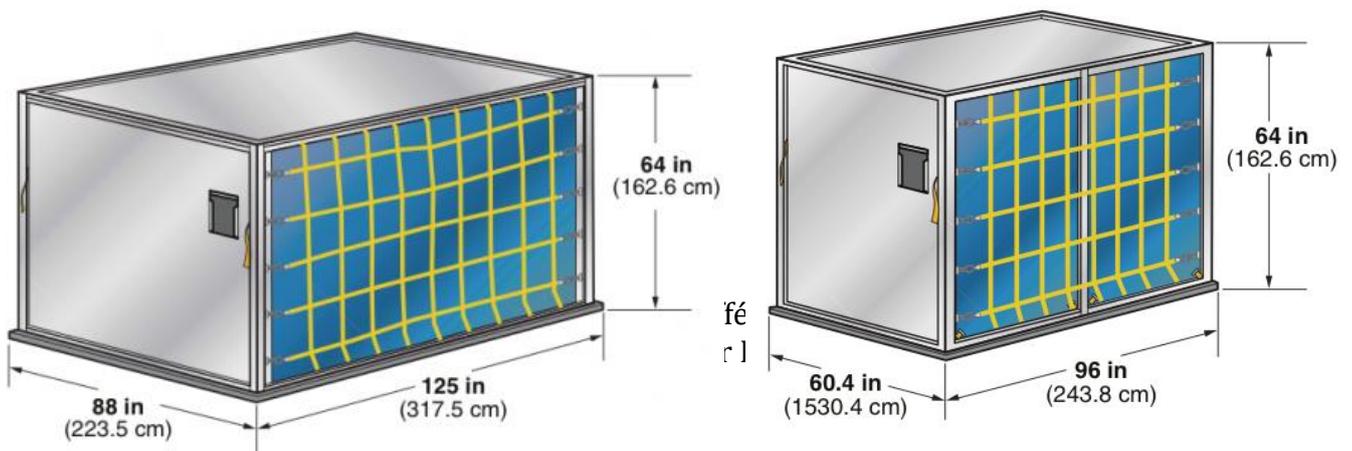
### 4.3. R1H6A0

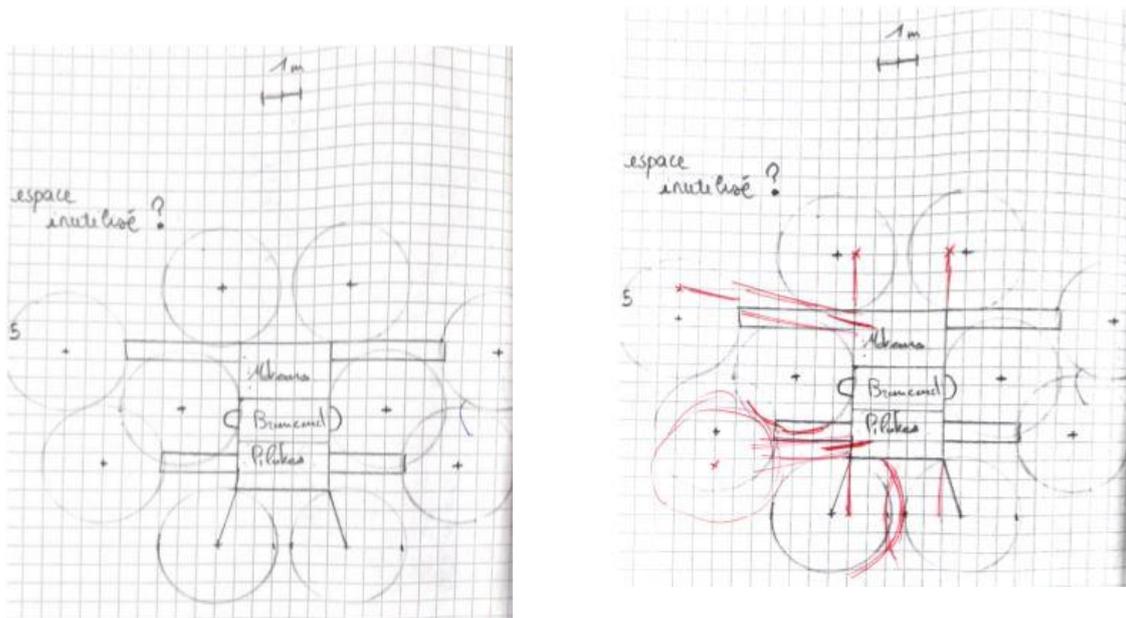
- ULM classe 6
- 1 ROTAX 915 avec des jerrycans de 20L en nombre adaptable en fonction de l'autonomie souhaitée
- 2 génératrices Emrax 188 en « twin »
- 6 rotors de diamètre 3.4m
- Pas d'ailes
- Possibilité d'emmener sac de golf

## 5. Phase de conception

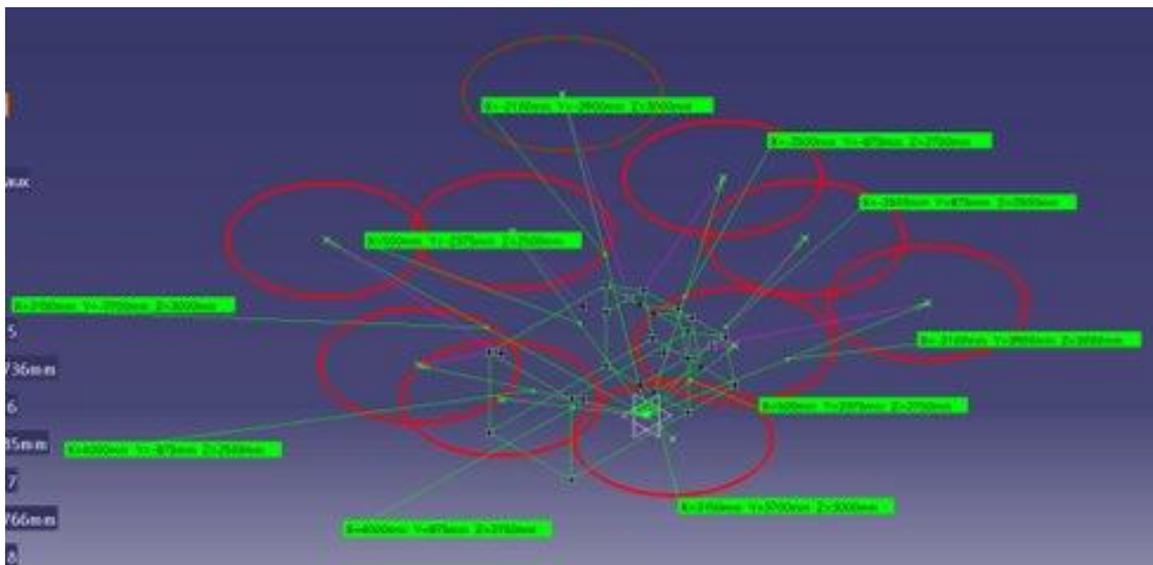
### 5.1. Préconception

Pour commencer, nous avons travaillé sur l'habitacle du modèle R2H10A4. La première phase consistait à définir le volume global de l'appareil afin de pouvoir créer une structure externe aux bonnes dimensions. Pour cela, nous avons les contraintes suivantes : deux pilotes, un blessé dans un brancard et l'intégration du module dans des conteneurs ULD LD-9 et LD-4. Le Mini-Bee doit être en effet facilement démontable en deux modules : le module pilote qui doit pouvoir rentrer dans le ULD LD-9, et le module générateur (moteur+génératrice+réservoir) dans le ULD LD-4.





Grâce à ces échanges rapides de schémas et de corrections, nous avons pu rapidement avancer et réaliser une première maquette numérique d'un premier modèle avec laquelle, il est plus facile de se représenter dans l'espace les différentes positions des rotors.



Dans un premier temps, nous nous sommes posé la question de placer chaque rotors à une hauteur différente dans le but d'éviter une casse en série si l'une des pâles d'un rotors venait à se détacher en vol et heurter un rotor voisin. Nous avons ensuite écarté cette idée car elle pose plusieurs problèmes quant au nombre de pièce de longueurs différentes que cela implique.

A travers cette première vue nous pouvons faire un point sur les grandes orientations retenues. Un ROTAX 915 alimente via des génératrices Emrax 188 des moteurs électriques placés sous chaque rotor. Il y a 10 rotors au total. Nous travaillons sur la structure globale de l'appareil. L'appareil fait 1.75m de largeur pour 3.5m de longueur

et il doit peser au maximum 1200kg, une masse équivalente à celle d'un Cessna 172 ou d'un Robison R44. Par ailleurs, le but du Mini-Bee est de pouvoir tirer les avantages combinés de ces deux appareils. L'idée étant de pouvoir décoller comme un avion grâce à une piste de décollage quand le Mini-Bee part de sa base et de se poser comme un hélicoptère sur le terrain où le blessé se trouve.



Le ROTAX 915 dispose de 5 points de fixations, dont 4 à l'arrière et une, devant sur le dessous du moteur. De plus un sixième point de fixation doit être créé lors de la conception de la liaison entre le moteur et les génératrices. En ce qui concerne l'emplacement, les moteurs doivent être le plus à l'arrière afin de pouvoir faire sortir le ventilateur de la structure de l'appareil.



### **5.1.2. Trains d'atterrissage**

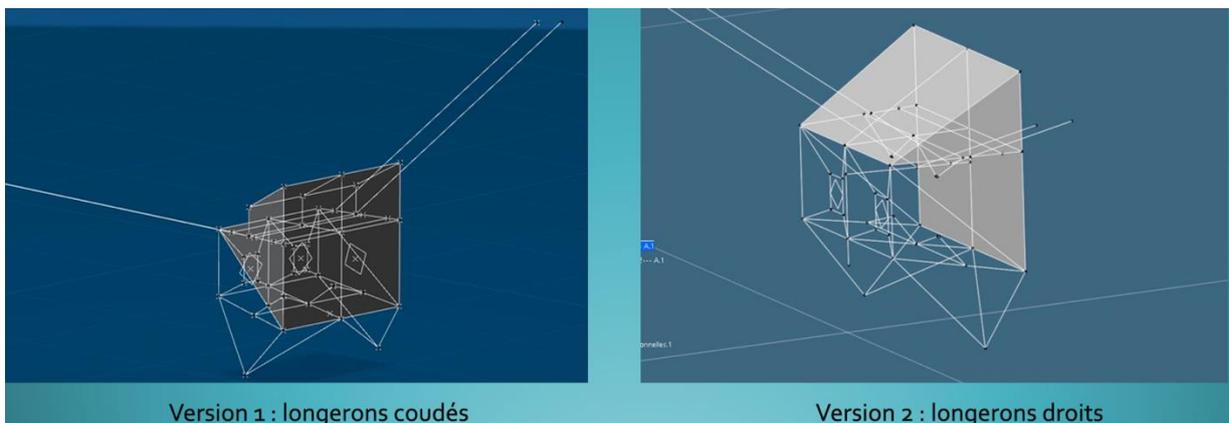
Pour le train d'atterrissage il y a deux possibilités : soit similaire à un hélicoptère, soit à un avion. L'un des objectifs du Mini-Bee étant de pouvoir atterrir dans des endroits d'accès difficile. C'est pourquoi un train d'atterrissage Alaska Landing Gear a été choisi, car il possède un fort amortissement et il est vendu entièrement fabriqué par le fournisseur ce qui facilite l'assemblage de l'appareil.



### 5.1.3. Fixations des ailes

Afin de minimiser la masse, l'objectif de la fixation des ailes était d'intégrer ses fixations dans la structure pour la consolider également. De plus, elles doivent être facilement démontable afin de rentrer l'appareil dans les conteneurs. L'aile est composée de deux longerons principaux qui permettent de fixer l'aile. Il y avait également deux possibilités :

- Soit de prolonger les longerons jusqu'au centre de la structure afin de la fixer sur la structure extérieure et intérieure.
- Soit de les prolonger jusqu'au centre, mais cette extension serait horizontale afin d'optimiser l'encombrement.



Version 1 : longerons coudés

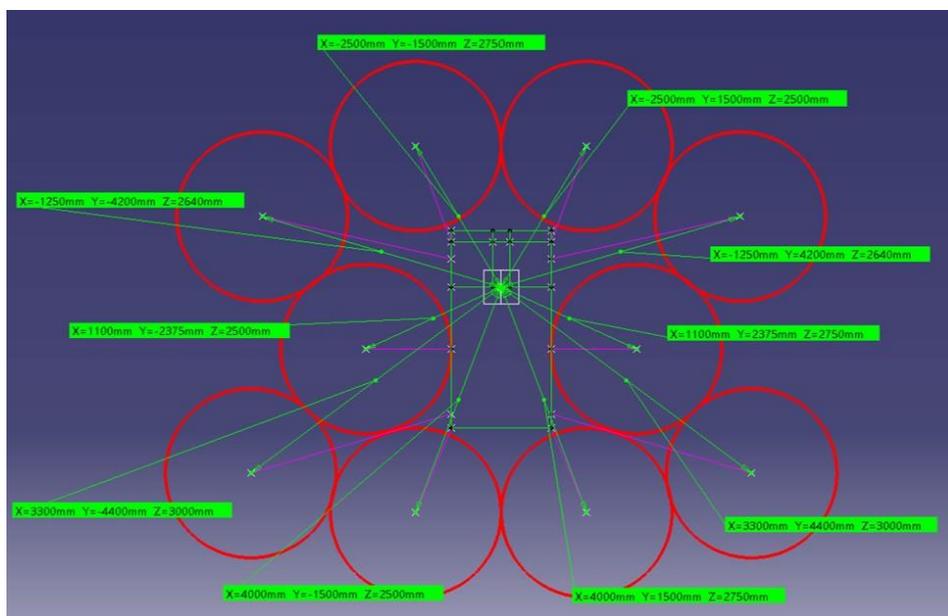
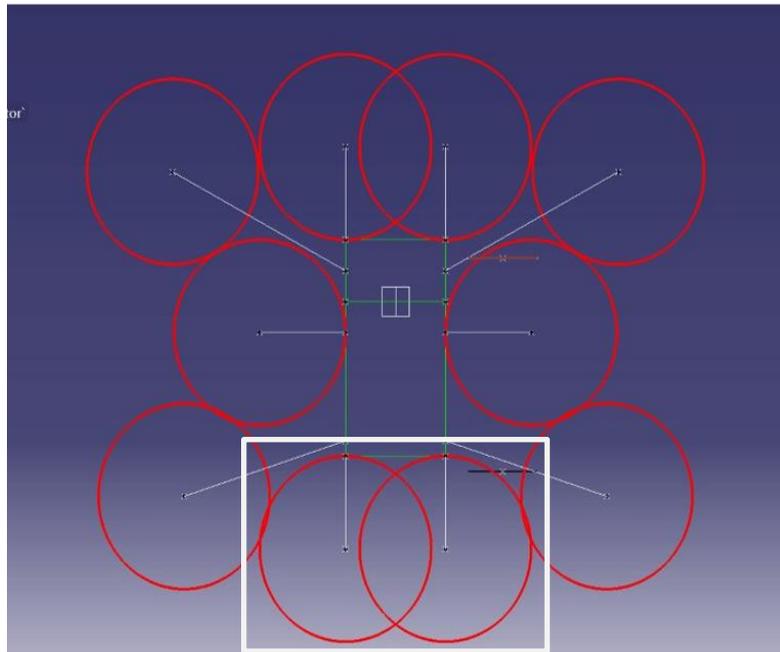
Version 2 : longerons droits

Les longerons droits ne peuvent pas être retenus à cause de l'encombrement du moteur. De plus, pour le module cockpit, les longerons pourraient gêner les pilotes, où ils passeraient devant leur tête.

### 5.1.4. Positionnement des rotors

De nombreuses itérations ont été faites sur le positionnement des rotors. Différentes contraintes nous ont été imposées, il nous fallait respecter une hauteur minimum de 2.5m pour éviter des risques d'accident et de blessure. Ensuite il fallait positionner les rotors dans l'espace autour de l'appareil de façon à ce que le flux issu des rotors ne se soit pas au-dessus des ailes ni de la structure. Sachant que chaque rotor doit avoir un diamètre de 3.4m la surface rotorique est importante comparée à la taille de la structure principale. De plus, nous avons réfléchi à des hauteurs différentes pour chaque rotor dans le but d'éviter que la casse de l'un impacte les autres rotors.

Cependant, la superposition des rotors bien qu'elle impose une structure de bras plus simple pour les relier au corps de l'appareil, n'est pas envisageable d'un point de vue aérodynamique. C'est pourquoi, nous avons opté sur une répartition différente :

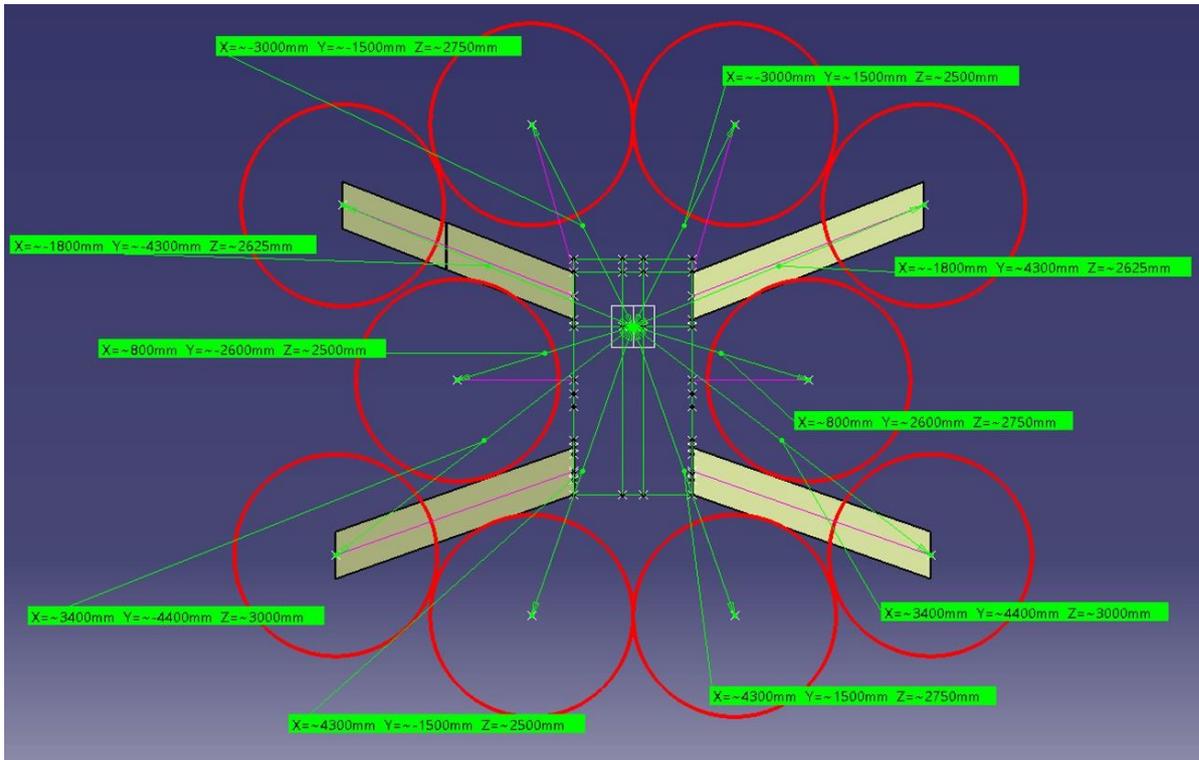


Cette répartition semble plus adaptée mais elle ne laisse pas assez de place pour les ailes. De plus, les ailes avant ont un important angle de flèche négatif qui induit des problèmes de stabilité. En effet, la section la plus arrière de l'aile décrochera en premier, provoquant un moment poussant l'avion plus loin dans le décrochage.

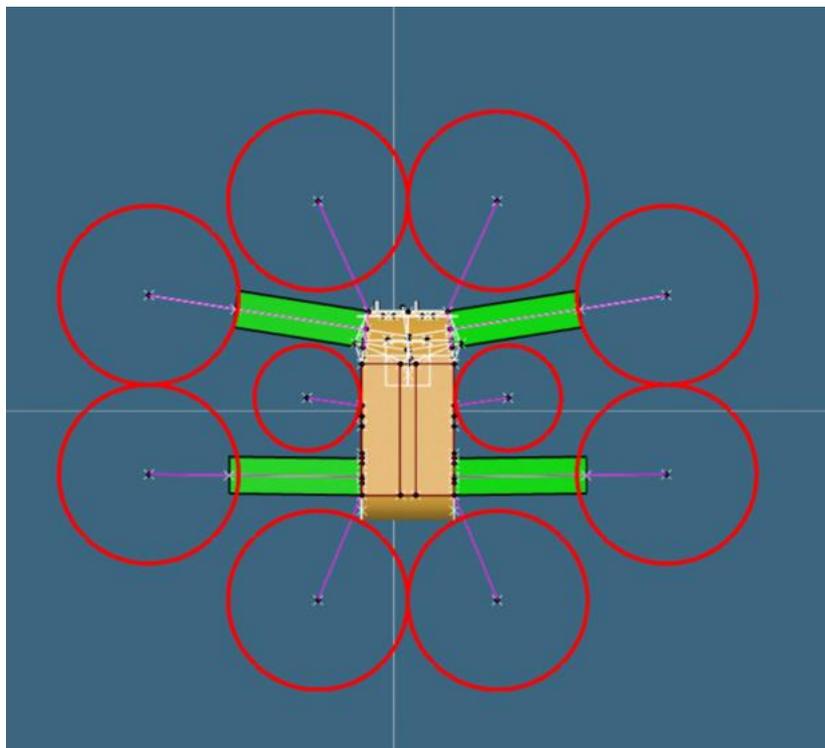
- ▶ Position du centre des rotors par au point de référence
  - ▶  $x=0$  jonction des deux blocs
  - ▶  $y=0$  milieu de la structure en largeur

► z=0 sol

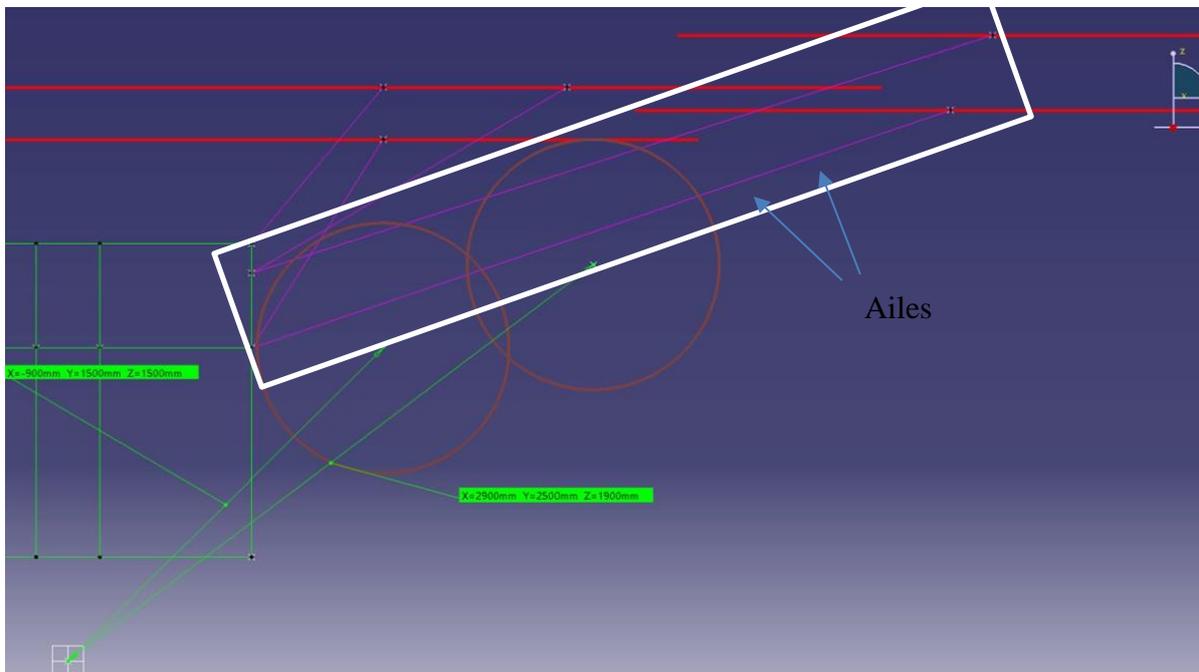
Voici une vue avec les ailes et les rotors légèrement déplacés.



La solution retenue pour résoudre le problème d'angle de flèche négatif à l'avant et positif à l'arrière est de réduire la taille des deux rotors centraux de 3.4m à 2m de diamètre.



Dans sa configuration actuelle, l'appareil présente un fort dièdre positif comme on peut le constater sur la photo suivante :



Cela est dû au fait que les ailes servent de support aux rotors horizontaux. Pour corriger ce dièdre, on peut imaginer changer l'angle entre les ailes et le bras qui va jusqu'au rotor. Cela suppose de trouver un compromis entre le dièdre désiré et le gain de poids.

### 5.1.5. Structure

#### 5.1.4.1 Structure du R2H10A4

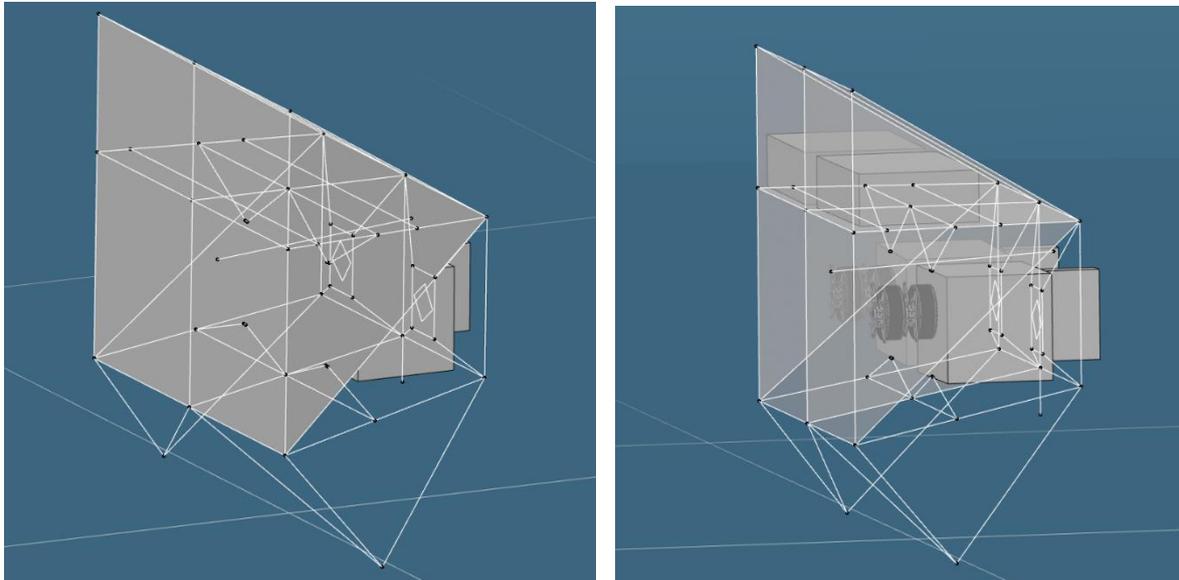
La structure est composée de deux parties démontables : le module générateur et le module passager. En ce qui concerne le module pilote, un premier prototype a été fabriqué par Xavier Dutertre à l'occasion du Salon du Bourget de 2019. Des études ont été menées sur cette partie par l'Estaca, qui a modélisé la structure du Bourget afin de l'étudier et de l'optimiser. Notre travail est basé donc principalement sur la conception du module générateur et sur l'amélioration de la structure de l'Estaca pour le module passager.

Les différentes contraintes liées à la conception du module générateur sont :

- Les dimensions doivent être comprises dans celle de l'ULD LD-4 et LD-9 (voir partie sur la préconception)
- Doit pouvoir supporter 2 ROTAX 915 ainsi que 4 génératrices EMRAX 188
- Doit contenir les réservoirs de carburants de 150 kg environ
- Doit également supporter les deux ailes arrière ainsi que les bras des rotors
- La masse doit être minimisée et ne pas dépasser 1200kg
- La forme de la structure doit correspondre à la forme optimale trouvée par l'Estaca lors de leur étude sur l'optimisation aérodynamique de la forme du Mini-Bee

- Les moteurs doivent pouvoir être facilement accessible et démontable par le dessous et le côté afin d'optimiser la maintenance de celui-ci
- La structure doit être facilement fabricable afin de limiter les couts de fabrication

Après plusieurs itérations et échanges sur la structure du module générateur avec notre contact industriel, nous obtenons la structure finale suivante :



Tout d'abords, les réservoirs sont placés en haut du module, soutenu par deux poutres et entourés de coques en aluminium. Le but étant d'intégrer des réservoirs souples (anti-crash) à la structure (cas similaire à des avions de transport ou les réservoirs sont intégrés dans les ailes).

Puis en ce qui concerne les attaches arrière du moteur, nous avons choisi de les fixer par 4 poutres arrière car ces fixations son difficilement accessibles (par exemple dans le cas d'une fixation avec deux poutres verticales), dû à l'encombrement des composants du moteur.

Enfin la structure est composée d'une tôle en aluminium centrale qui sépare les deux moteurs et dont le rôle est celui d'une paroi anti-feu. Puis de tôles triangulaires sur le côté permettant de protéger les génératrices des conditions extérieures, tout en gardant le moteur facilement accessible.

Pour ce qui concerne la structure du module générateur, Xavier Dutertre nous a demandé de la modéliser aussi pour pouvoir comparer avec celle de l'Estaca. Cela nous a permis aussi de pouvoir réaliser des simulations globales du modèle. Le but étant de pouvoir itérer sur la structure en fonction des résultats de nos simulations pour pouvoir la renforcer en fonction des différents cas de charges.

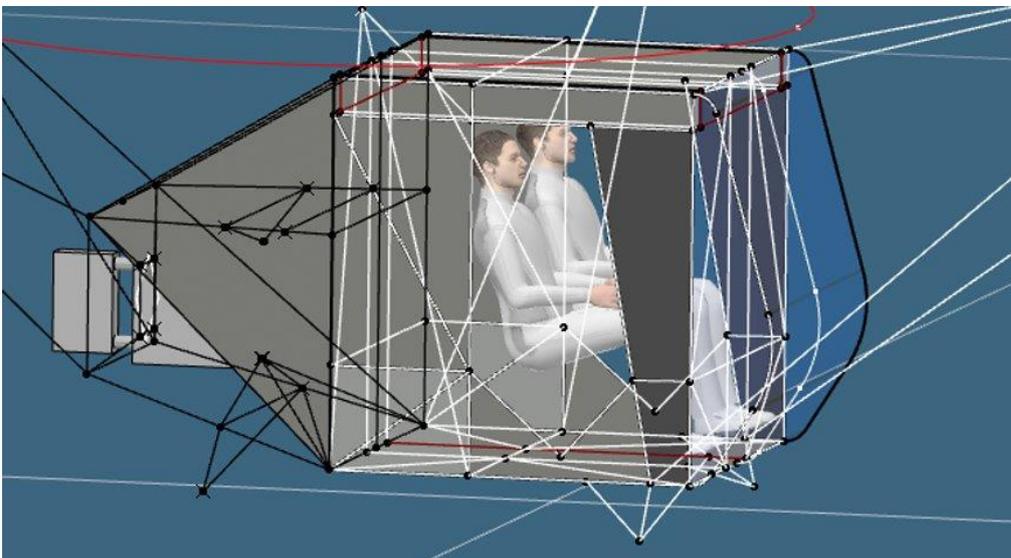
#### 5.1.4.2 Structure du R1H6A0

Les différentes contraintes liées à la conception du module générateur sont :

- Les dimensions permettre à l'appareil de rentrer dans 2 ULD LD-3 (voir partie sur la préconception)
- Doit pouvoir supporter 1 ROTAX 915 ainsi que 2 génératrices EMRAX 188
- Doit contenir 6 jerrycans de 20 litres

- La masse doit être minimisée et ne pas dépasser 600kg
- La forme de la structure doit correspondre à la forme optimale trouvée par l'Estaca lors de leur étude sur l'optimisation aérodynamique de la forme du Mini-Bee
- Les moteurs doivent pouvoir être facilement accessible et démontable par le dessous et le côté afin d'optimiser la maintenance de celui-ci
- La structure doit être facilement fabricable afin de limiter les couts de fabrication

La structure du R1H6A0 est inspirée de celle de du R2H10A4, nous avons raccourci les longueurs et largeurs et adaptée toute la structure. Le but de cet appareil est d'assurer le transport de deux usagers. Cependant la principale différence avec l'autre version est que l'appareil n'est pas équipé d'ailes, et que le train d'atterrissage sera composé de deux roues à l'avant et une à l'arrière.



## 6. Phase de simulation

Pour faire les simulations, nous avons principalement utilisé le logiciel ABAQUS, car il était plus rapide que la 3Dexperience, qui ne s'ouvre pas toujours. Nos simulations se concentrent principalement le R1H6A0 car un prototype doit être fabriqué dans les mois à venir. Une des difficultés rencontrées fût l'importation de nos sections de poutres L, T qui sont orientées une par une. En effet, il y avait un souci de reconnaissance des nœuds qui se trouvent aux mêmes endroits. Plusieurs méthodes ont été essayées. La première consistait à éditer le fichier « .inp » généré par 3Dexperience manuellement pour séparer les éléments poutres des éléments coques pour ensuite fusionner ces deux structures. Cette méthode fût une réussite seulement pour les jonctions de deux coques entres elles, les éléments poutres ont été ignoré par cette fusion dans Abaqus. La deuxième méthode à consister à écrire un script python qui lit le fichier .inp pour détecter les nœuds qui sont au même endroit grâce à leurs coordonnées et dans une deuxième partie lier les nœuds aux mêmes coordonnées en choisissant un maître et laisser tous les autres en esclave grâce à un \*TIE.

## 6.1 Simulation statique

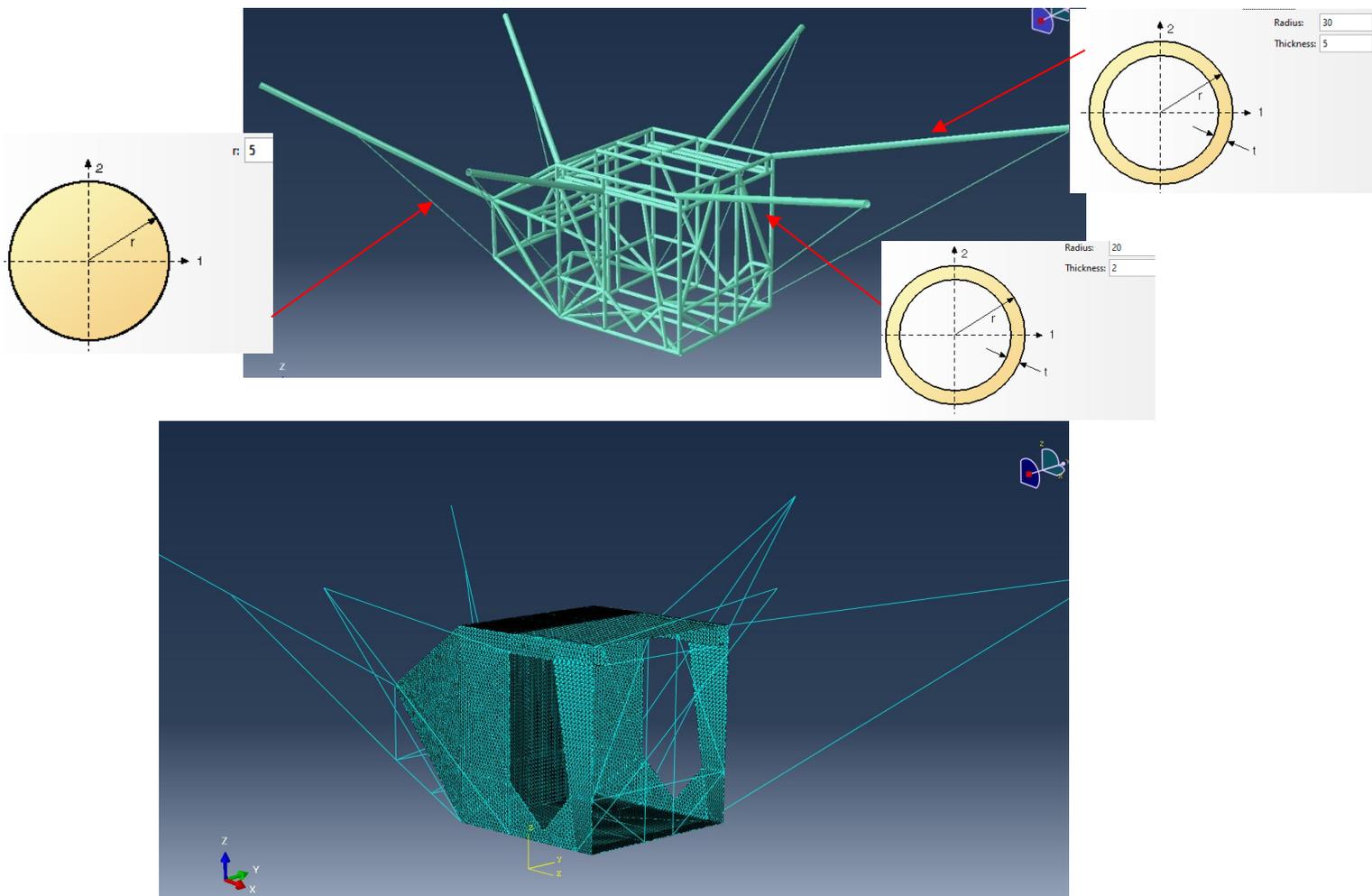
### 6.1.1 Modèle du R1H6A0

Le matériau utilisé pour les simulations est l'aluminium pour la structure entière, en effet c'est une volonté de l'industriel d'utiliser ce matériau afin de limiter les couts. L'utilisation de matériaux composite pourrait être envisagée plus tard.

Pour les simulations sur ABAQUS, nous avons principalement utilisé des tubes circulaires associés à la structure filaire. Le diamètre utilisé 40mm pour une épaisseur de 2mm. En ce qui concerne les bras ils sont de 60mm et 5mm d'épaisseur. Les haubans sont de 5mm de diamètre est plein.

Pour les tôles, l'épaisseur utilisée de la section Shell est de 1mm.

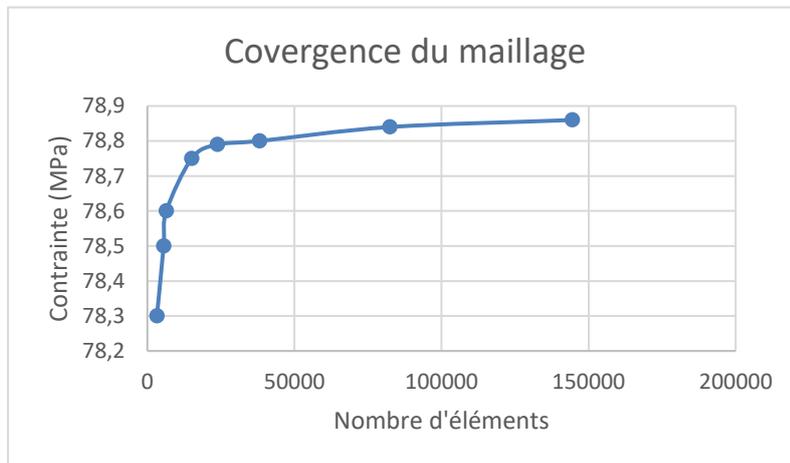
Pour le maillage nous avons utilisé des éléments quadratiques B32 pour les poutres et STRi65 pour la coque.



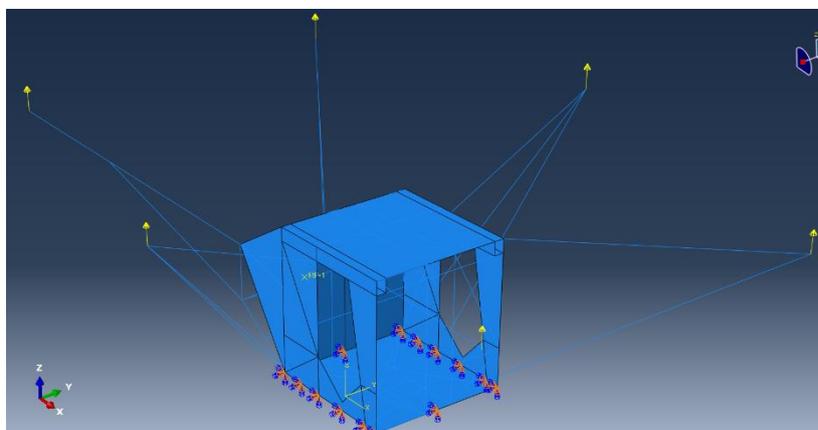
### 6.1.2 Résistance des haubans

Une des premières problématiques posées était le nombre de hauban nécessaire pour soutenir les bras des rotors. En effet, cela permettrait des minimiser la masse en

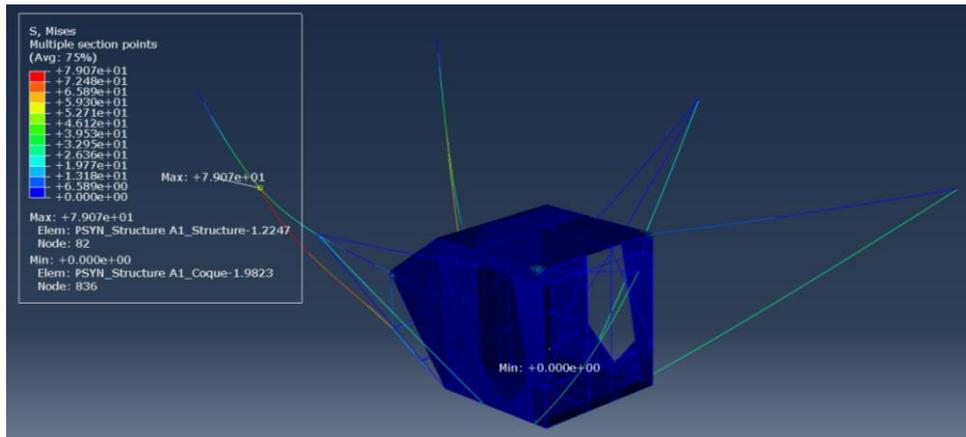
minimisant le nombre de hauban. De plus les haubans et les bras seront bien des poutres circulaires contrairement au reste de la structure, c'est pourquoi il est intéressant de les étudier. Nous avons fait une première simulation avec un hauban pour les bras avant et arrières, et deux pour les centraux, ou nous avons également fait une étude de convergence du maillage.



En ce qui concerne les conditions initiales, un encastrement est appliqué sur le bas de la structure. Une force de 1000N est appliquée sur les bouts des bras, qui correspondent à la poussée nécessaire pour soulever l'appareil.



Résultat : On obtient une contrainte maximale de 79.07MPa, soit un coefficient de sécurité de 1.89. On peut observer que plus les haubans ne soutiennent le bout du bras, plus la contrainte est faible. Il faudrait donc les placer comme cela pour minimiser la contrainte. Cependant, les haubans seraient plus longs, est donc plus lourds. Il est donc nécessaire de trouver un compromis entre la résistance des bras et la masse du hauban. De le cas des haubans arrières, le coefficient de sécurité est suffisamment élevé pour envisager de les attacher au milieu du bras.



Par la suite, nous avons optimisé la masse des bras et des haubans en diminuant l'épaisseur des bras ainsi que leur diamètre.

Epaisseur (mm)	bras	Diamètre (mm)	bras	Masse totale (kg)	Contrainte Max(Mpa)	Coefficient de sécurité
5		60		137	79,07	1,90
4		60		130	81,8	1,83
3		60		124	86,5	1,73
2		60		117	125,6	1,19
5		40		124,5	132,1	1,14
4		40		120,8	153	0,98
3		40		116,8	197	0,76
5		50		130,1	90,5	1,66
4		50		125,6	97,7	1,54
3		50		120,4	125	1,20

On obtient une solution optimale de 3mm d'épaisseur pour 60mm de diamètre ce qui permet de gagner 13kg de la structure de base.

### 6.1.3. Poussée pour le R1H6A0 module passagers.

Nous avons commencé à modéliser les versions du mini-bee sur CATIA V5 puis nous avons importé notre maquette sur les logiciels proposés par la 3Dexperience de Dassault Système. Cela nous a permis une certaine flexibilité puisque nous avons pu mailler nos pièces directement dans l'atelier dédié dans la 3Dexpérience. De ce fait une modification structurelle de notre modèle mettait automatiquement le maillage à jour. Nous avons modélisé différente section de poutre en L, en T et en tube. Ces poutres sont maillées avec des éléments B32. Les revêtements sont des éléments de coques STRI65.

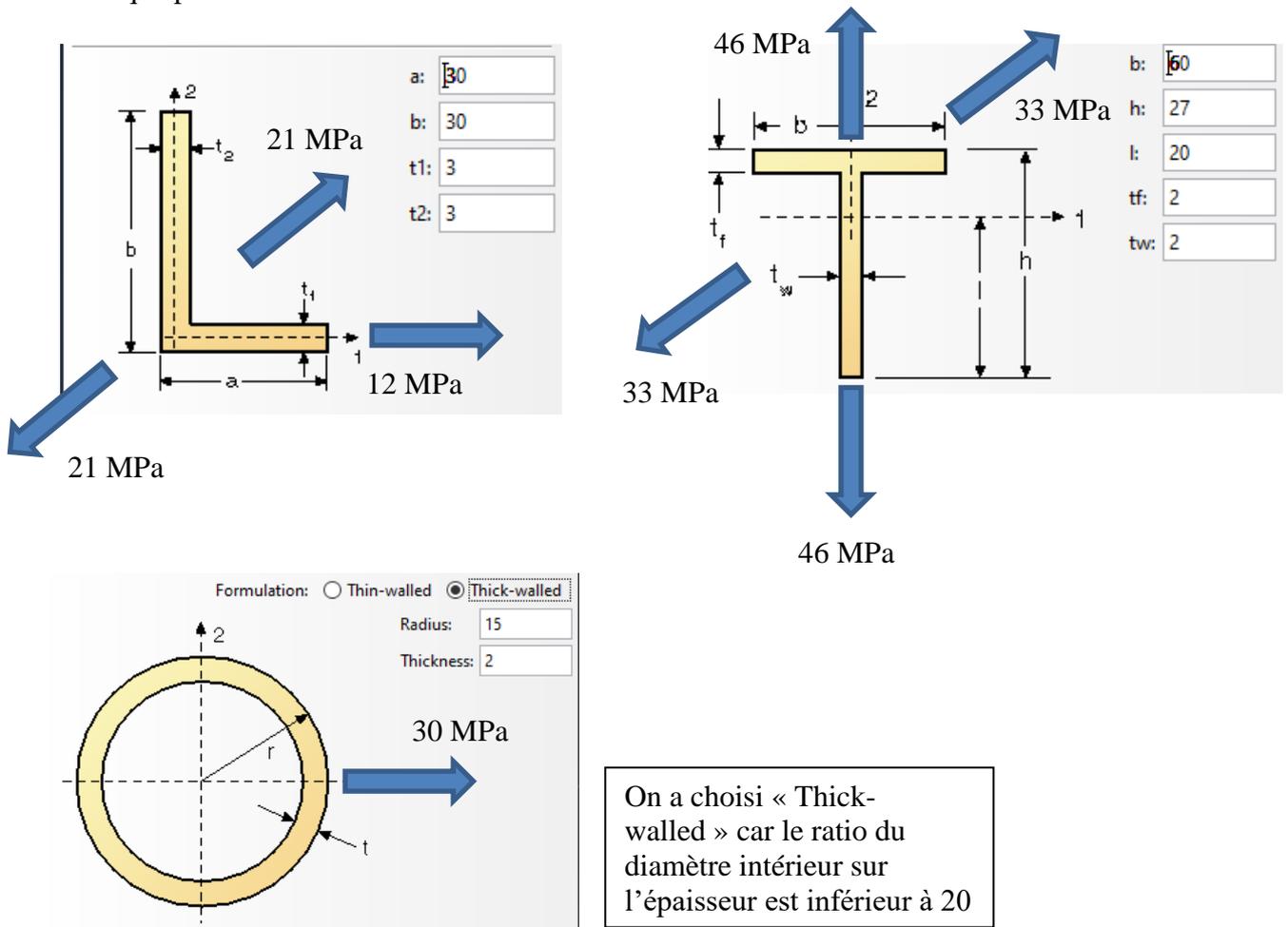
La simulation suivante est réalisée pour une force de poussée nécessaire à faire décoller 97kg de structure passager auxquels on peut ajouter 200kg pour les deux passagers et un sac de golf. Ce qui nous amène à 300kg de poussée nécessaire au décollement de l'appareil et répartie sur les quatre rotors de ce module.

L'intérêt de cette simulation est de comparer les résultats obtenus pour des poutres de section différentes

### 6.1.4. Comparaison des différents modèles de poutres

Pour prendre du recul par rapport à nos simulations et mettre en avant l'intérêt mécanique des profilés qui seront à terme utilisés pour les prototypes, nous vous proposons une étude comparative de ces différents modèles. Pour cela, nous avons simulé en flexion selon différentes directions les trois modèles de poutres évoquées : les poutres tubulaires, en L et en T. Nous veillerons à conserver la même masse de matière pour chacune de ces poutres. Pour les simulations, les poutres sont d'une longueur d'un mètre, les deux cotés des poutres en L sont de la même longueur et de mêmes épaisseurs, les poutres en T auront quant à elles une largeur du côté plat plus importante que la barre verticale du T.

Voici un résumé des dimensions des sections qui ont été choisies en fonction de leur utilité technique pour le Mini-Bee et dans le souhait de conserver les mêmes aires de section.



Les simulations ont été réalisées avec des steps statiques en imposant un déplacement constant selon différentes directions symbolisé par les flèches. Le maillage est quadratique (élément B32). Les poutres sont encastées à une extrémité et le déplacement est soumis à l'autre extrémité. Le matériau utilisé est de l'aluminium. De ce fait, avec les contraintes mesurées, les poutres restent dans leur domaine élastique. La valeur des contraintes n'a qu'un intérêt comparatif.

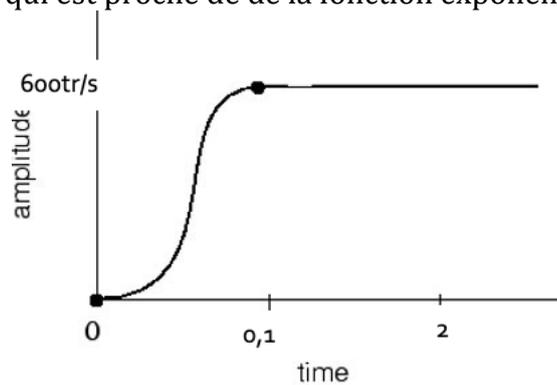
On se sert de la concentration de contraintes pour comparer les poutres. On remarque que la concentration de contrainte est la moins élevée pour des poutres en L dans les directions selon les axes 1 et 2. Dans les directions à 45° de 1 et 135° de 2, nous avons la même contrainte un peu plus élevée. Pour la poutre en T, son épaisseur étant plus faible ses caractéristiques sont moins bonnes que pour le tube mais en reste proche. De plus, la poutre en T permet une grande zone de fixation.

Nous pouvons en déduire que nos simulations « simplifiée » tout en tubulaire sont surdimensionnées au niveau de la section pour tout ce qui est contour de l'appareil, là où il y a effectivement des poutres en L et sous-dimensionnées pour les endroits où il y a des sections en T.

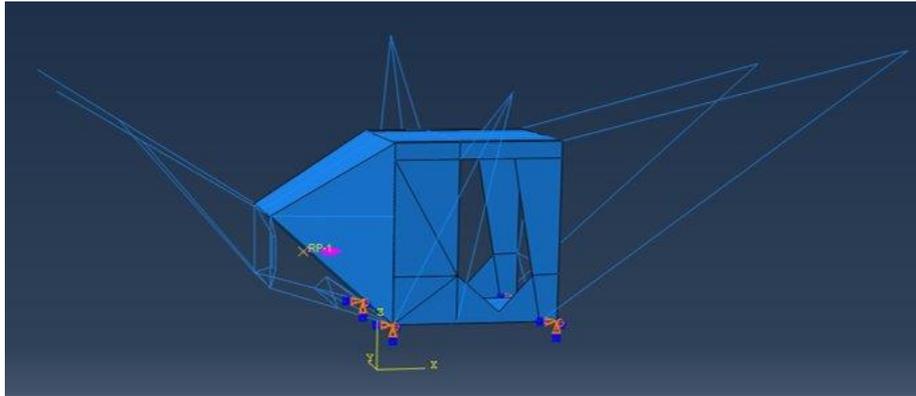
## 6.2 Simulation vibratoire

La première étape a été de déterminer les modes propres de la structure à l'aide du step frequency d'Abaqus. Les fréquences étudiées sont celles avant la fréquence de fonctionnement du moteur ainsi que celle autour. En revanche, des résultats n'ont pas pu être interpréter pour le moment

Puis, nous avons étudié l'impact du moteur au démarrage. Pour cela, un step Dynamics explicit a été utilisé, afin d'avoir une simulation moins lourde et notamment car nous sommes sur un régime transitoire assez rapide. Une vitesse de rotation est appliquée au niveau d'un référence point qui représente le centre de masse du moteur. Une MPC constraint de type tie est appliquée entre ce référence point et les attaches du moteur. L'amplitude de la vitesse de rotation appliquée est celle d'une réponse à une fonction du premier ordre qui représente le démarrage du moteur, cependant nous avons utilisé un smooth step qui est proche de de la fonction exponentielle.



Enfin un encastrement est appliqué sur les sommets de la face inférieure du système.



La simulation prenant un temps considérable (temps d'incrément très faible), la simulation n'a pas pu aboutir (moins d'une seconde au lieu de 5s). Les premiers résultats affichés ne permettaient pas d'aboutir sur une interprétation car la contrainte de Von Mises équivalente n'était que de l'ordre de 10 moins douze MPa.

### 6.3 Bilan de masse

Une des principales contraintes lors de la conception de la structure est d'être limité par la masse maximale au décollage de l'appareil. Pour cela, un bilan de masse a été réalisé pour les deux appareils afin de connaître la masse maximale que peut avoir la structure, pour les deux appareils.

Pour le R2H10A4 :

Cabine	
Liste équipements	Poids (kg)
Equipement estimée par Centrale Lille	58.83
Bouteille Oxygène	10
MID avec pompe	9.6
Défibrillateur	2.5
Plancher	8
Portes	10
Blessé	100
<b>Total</b>	<b>198.93</b>

Moteurs	
Liste équipements	Poid(kg)
Moteurs	169.2
Génératrices	27.2
Réservoir	150
Rotor+bras	30
Ailes	30
<b>Total</b>	<b>406.4</b>

Cockpit	
Liste équipements	Poid(kg)
2 pilotes	200
Sièges	36
Cablage 20	20
Rotor+bras	60
Equipement pilotage	50
Train d'atterissage	30
Portes	20
Ailes	30
<b>Total</b>	<b>446</b>

<b>Total</b>	<b>1051.33</b>
<b>MTOW</b>	<b>1200</b>
<b>Poids structure maximale</b>	<b>148.67</b>

Actuellement, la structure du module générateur est de 38kg, le module pilote de l'Estaca est de 136kg, ce qui donne une masse totale de 174kg de la structure. Il est donc nécessaire de l'optimiser afin de rentrer dans les critères de masse.

Pour le R1H6A0 :

Cockpit	
Liste équipements	Poid(kg)
2 pilotes	200
Siège	36
Cablage	10
Plancher	5
Train atterrissage	20
Portes	10
Total	281

Moteurs	
Liste équipements	Poid(kg)
Moteurs	84.6
Génératrices	13.6
Réservoir	100
Total	198.2

Total	479.2
MTOW	600
Poids max structure	120.8

La masse de la structure est de 124kg, le prochain objectif est donc de réduire cette masse d'environ 5kg.

## 7. Ce qu'il reste à faire

Réfléchir à la fixation des rotors verticaux aux ailes

Fixation des rotors aux bras et intégration des moteurs électriques

Optimisation de la masse des deux modèles

Toute la partie câblage

Étude afin de choisir les ailes adaptées à l'appareil, pour pouvoir valider les solutions techniques de fixation des ailes.

## 8. Conclusion

Nous avons beaucoup aimé travailler sur le projet Mini-Bee, la réactivité de M.Dutertre nous a été très profitable et nous a motivé à participer à ce projet. Le projet est d'autant plus intéressant qu'il nous a permis de faire de la conception et des simulations qui se sont auto-alimentées et qui a nourri notre pratique. De plus, pour la conception, il nous a fallu prendre en compte de nombreuses entrées fournies par les autres écoles relatives à leurs champs de compétences. Le projet en cours de développement, nous avons une large liberté quant à la définition de la structure et à son amélioration.

Le positionnement et l'organisation du module générateur et des rotors est validé. Pour ce qui est de la fixation des ailes sur la structure principale, nous avons bien avancé mais il reste à définir quels seront les ailes pour adapter le système de fixation des ailes aux dimensions propres à l'aile. Il en est de même pour le train d'atterrissage qui a été déterminé, mais la liaison à la structure du Mini-Bee reste à faire.