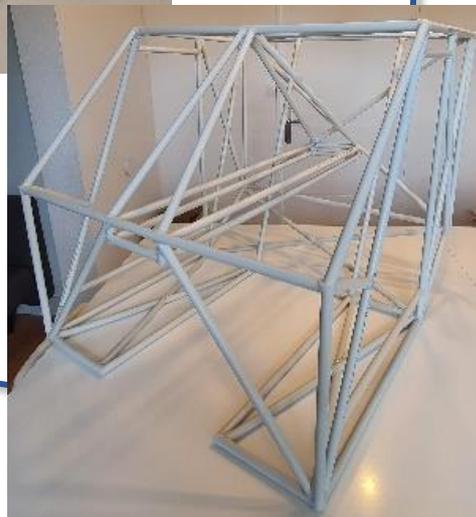
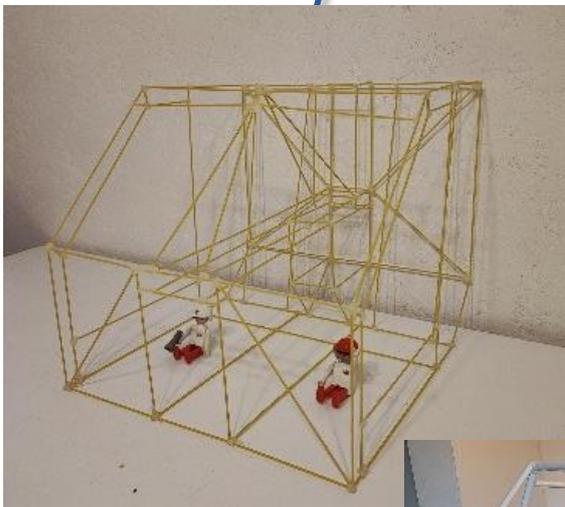


# Rapport de projet industriel

## Projet Mini-Bee : Maquette Physique



ESTACA - 3A AERO - Bordeaux  
2022-2023

Etudiants :

Thomas BASSET  
Armand GASSEAU  
Victor GAULTIER  
Antoine GAUTIER  
Tal GHENASSIA

Encadrant :

Xavier DUTERTRE

## Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier toutes les personnes et les organisations qui nous ont permis de travailler sur ce projet. En premier lieu, nous remercions notre encadrant pour ce projet et président de la société TECHNOPLANE, Monsieur Xavier DUTERTRE. Il nous a prodigué au cours de toutes nos réunions de précieux conseils qui nous ont permis d'aboutir aujourd'hui à ce rapport, mais aussi aux maquettes que nous avons pu produire au cours de cette année.

Nous tenons également à remercier les groupes avec lesquels nous avons collaboré sur ce projet, et en particulier le groupe de troisième année de l'ESTACA Saint-Quentin-en-Yvelines, chargé de la production d'une maquette numérique, sans qui nous n'aurions pas pu réaliser nos modèles physiques. Enfin, nous voulons remercier l'ESTACA, ses professeurs et son personnel, qui nous ont donné le cadre et les compétences nécessaires pour apporter notre pierre au projet Mini-Bee.

## Sommaire

I. Synthèse du rapport .....	3
<i>Résumé de notre travail sur l'année .....</i>	<i>3</i>
<i>Summarization of our work over the year.....</i>	<i>3</i>
II. Introduction.....	4
III. Mise en contexte.....	5
IV. Organisation .....	6
<i>Work Breakdown Structure (WBS).....</i>	<i>6</i>
<i>Diagramme de Gantt .....</i>	<i>6</i>
<i>Matrice RACI.....</i>	<i>7</i>
V. Etude préliminaire de projet .....	8
<i>Résumé du cahier des charges .....</i>	<i>8</i>
<i>Mini-Bee et conteneur LD3.....</i>	<i>8</i>
<i>Comparaison du Mini-Bee avec le Robinson R22 .....</i>	<i>9</i>
VI. Dimensionnement et apports au projet .....	10
<i>Intégration du radiateur.....</i>	<i>10</i>
<i>Montage et démontage des systèmes de conversion d'énergie.....</i>	<i>11</i>
<i>Intégration du moteur.....</i>	<i>12</i>
<i>Côtés et portes du Mini-Bee.....</i>	<i>13</i>
<i>Réservoir de carburant.....</i>	<i>13</i>
<i>Trains d'atterrissage .....</i>	<i>14</i>
VII. Maquettes physiques.....	15
<i>Maquette en spaghetti échelle 1:5 .....</i>	<i>15</i>
<i>Maquette en plastique échelle 1:2 version intermédiaire .....</i>	<i>17</i>
<i>Maquette en plastique échelle 1:2 version finale.....</i>	<i>17</i>
VIII. Conclusion.....	19
Annexe : Diagramme de Gantt .....	20
Table des illustrations .....	21

## I. Synthèse du rapport

### Résumé de notre travail sur l'année

Nous avons pour objectif de créer différentes maquettes physiques du Mini-Bee. Nous devons en faire une en spaghetti d'échelle 1:5 puis une seconde d'échelle 1:2 en plastique. Si nous avons le temps nous pouvions en faire une troisième avec une échelle 1:2 en métal, pour se rapprocher au plus du Mini-Bee final. Nous avons dû tout d'abord réfléchir à la géométrie du système et repenser différentes choses, comme l'emplacement du moteur, du réservoir et du radiateur, qui influence sur la structure générale de l'appareil. Une fois la première phase de réflexion terminée nous avons pu fabriquer la première maquette en spaghetti. Ce premier essai nous a permis de découvrir des points de fragilité de la structure. Après avoir parlé de ses points avec notre encadrant et après avoir vu la nouvelle structure proposée par un autre groupe qui travaillait sur la maquette numérique, nous avons pu commencer à faire la seconde maquette en échelle 1:2 avec des tubes de PVC. Cette dernière maquette nous a permis de revoir certains points de fragilités. Les maquettes ont permis de mieux se rendre compte de la structure de l'appareil et des points à revoir. Nous avons aussi pu apporter des points de réflexions aux autres groupes qui travaillaient sur le Mini-Bee grâce aux maquettes.

### Summarization of our work over the year

Our objective was to create various physical models of the Mini-Bee. We were supposed to make one at a 1:5 scale using spaghetti, followed by a second model at a 1:2 scale using plastic. If time allowed, we could also create a third model at a 1:5 scale using metal to better approximate the final Mini-Bee. We first had to consider the geometry of the system and rethink various aspects, such as the placement of the motor, tank, and radiator, which influenced the overall structure of the device. Once we completed the initial design phase, we were able to produce the first spaghetti model. This first attempt allowed us to discover structural weaknesses. After discussing these weaknesses with our supervisor and seeing the new structure proposed by another group working on the digital model, we began making the second 1:2 scale model using PVC tubes. This last model allowed us to revise certain weaknesses. The models helped us better understand the device's structure and the points that needed to be addressed. Thanks to the models, we were also able to provide feedback to other groups working on the Mini-Bee.

## II. Introduction

*« Ce qui nous importe, ce n'est pas d'arriver, mais d'aller vers. »*

*-Antoine de Saint Exupéry*

Nous pouvons trouver bien des applications à cette célèbre citation d'Antoine de Saint Exupéry. En tant que futurs ingénieurs aéronautiques, il est aisé de faire un parallèle avec notre cursus, ou bien encore nos sujets d'études. Mais aujourd'hui, ces mots prennent un sens particulier lorsqu'il s'agit du Mini-Bee.

Le Mini-Bee est un projet de VTOL (acronyme de Vertical Take-Off and Landing, dénomination rassemblant tous les aéronefs ayant la capacité de décoller à la verticale) développé par la société TECHNOPLANE. L'objectif de cette startup est de produire un engin volant capable de transporter deux personnes, un pilote et un médecin, pour les amener au plus vite sur des lieux sinistrés à la suite d'une catastrophe naturelle ou pour intervenir sur un lieu difficile d'accès par exemple. Son fondateur, Monsieur Xavier DUTERTRE, fait appel via sa société à des partenaires industriels et universitaires pour développer ce nouveau moyen de transport innovant.

Nous sommes aujourd'hui dans la neuvième année de développement du projet, et c'est ainsi que la citation ci-dessus prend son sens. Nous avons passé une année à collaborer avec différents groupes d'étudiants partout en France pour donner vie à un projet dont nous ne verrons l'aboutissement final que dans les années à venir, très certainement après l'obtention de notre diplôme. Là est toute l'essence du Mini-Bee. Un projet rassemblant des groupes d'étudiants, chacun apportant sa contribution par ses connaissances et ses compétences propres.

### III. Mise en contexte

Le projet Mini-Bee est passé par plusieurs étapes avant d'arriver à sa forme et à sa mission actuelle. Initialement, cela devait être un véhicule tout public censé apporter une nouvelle dimension à la mobilité intra-urbaine, mais le projet s'est affiné, non sans rajouter certaines contraintes au cahier des charges, pour prendre la forme que nous lui connaissons actuellement.

Aujourd'hui, le Mini-Bee est un véhicule de type VTOL capable de transporter deux personnes vers un lieu difficile d'accès. De plus, il doit être déployable rapidement et à moindre frais. L'une des caractéristiques principales du Mini-Bee voit alors le jour : il doit être transportable dans deux conteneurs « LD3 », et ainsi pouvoir être expédié par avion sans délais n'importe où dans le monde. Le premier caisson contiendra la cabine, c'est la partie que nous allons traiter en exclusivité dans ce rapport. Le second sera réservé au transport des hélices.

Ce projet est animé par la société TECHNOPLANE, dont notre encadrant, Xavier Dutertre, en est également le président. Plusieurs écoles d'ingénieurs sont concernées par le développement du Mini-Bee. Nous avons donc été amené à travailler en collaboration avec des élèves de l'Ecole Centrale de Lille, mais aussi avec le groupe d'étudiants de l'ESTACA Saint-Quentin-en-Yvelines en charge de la production de la maquette numérique de l'aéronefs.

Notre implication dans ce projet s'est faite à travers la réalisation d'une maquette physique basée sur les éléments structuraux les plus récents à notre disposition. En premier lieu, nous devons identifier les problèmes techniques qui pouvaient se présenter durant la conception et challenger les solutions techniques proposées par le groupe en charge de la maquette numérique. Nous avons aussi proposé nos propres solutions concernant certains éléments du Mini-Bee, comme cela sera détaillé plus tard. Sur la base des maquettes physiques que nous avons réalisées, nous devons ensuite tirer des conclusions afin de valider ou d'améliorer les choix de design et de dimensionnement réalisés par l'ensemble des groupes chargés de la conception de la cabine du Mini-Bee.

Nous sommes rentré dans le projet Mini-Bee à un moment important de son existence. La forme et le cahier des charges du véhicule étaient maintenant clairement fixé, mais les modèles numériques existants posaient de nombreux problèmes, notamment en termes de maintenance et d'intégration moteur. Il était donc nécessaire de trouver de nouvelles solutions pouvant répondre aux besoins d'ergonomie et de places, sans compromettre la résistance structurelle de la cabine et en conservant un poids total relativement faible.

## IV. Organisation

Nous avons travaillé à cinq sur le projet Mini-Bee. Du fait de la taille de ce groupe, une bonne organisation concernant la répartition du travail et le partage des informations était de mise. Pour partager nos documents et pouvoir travailler en parallèle sur un même document, nous avons utilisé OneDrive fournit avec notre compte Microsoft ESTACA. Voici une présentation des outils de gestion de projet que nous avons utilisé au cours de l'année.

### Work Breakdown Structure (WBS)

Un diagramme WBS est une représentation hiérarchique permettant de décomposer un projet en sous-tâches afin de les rendre plus facilement réalisables. Avec l'aide de cet outil, nous avons pu nous répartir la charge de travail de manière homogène sans négliger d'axe de développement. En le combinant avec la matrice RACI décrite ci-après, nous avons pu assurer une bonne communication au sein du groupe et ainsi gagner en efficacité. Les trois sous-parties qui se distingue du projet global de création de maquette physique sont aussi organisé de manière chronologique. Ainsi, nous avons commencé par une étude globale du projet Mini-Bee pour saisir les éléments les plus important à intégrer à notre étude. Nous avons ensuite apporté nos solutions techniques aux problèmes architecturaux de la cabine du véhicule. En parallèle, nous avons réalisé une première maquette en spaghetti à l'échelle 1 :5. Enfin, après avoir reçu la maquette numérique de la cabine mise ç jour par le groupe de Saint-Quentin, nous nous sommes attelés à la création d'une maquette en plastique à l'échelle 1 :2.

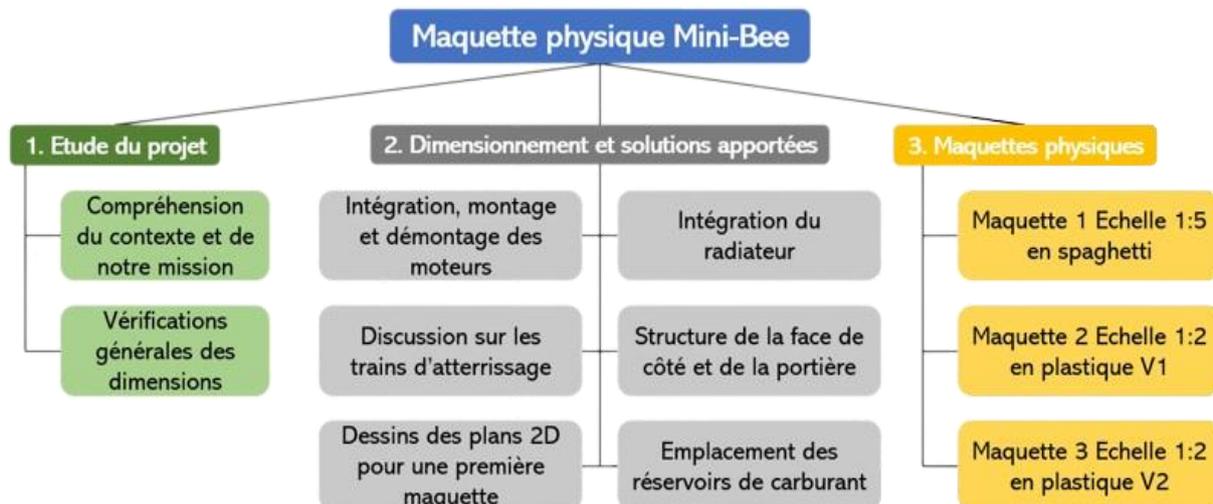


Figure 1 : Diagramme WBS

## Diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt est l'outil de gestion de projet par excellence. Il permet de visualiser les tâches passées et à venir ainsi que leur niveau de complétude afin de coordonner les efforts d'une équipe pour atteindre les objectifs d'un projet dans les délais impartis. Nous avons mis à jour notre diagramme de Gantt hebdomadairement afin d'avoir une vision la plus juste de l'avancée réelle de notre projet. Il nous a permis d'avoir une vision à long terme de nos objectifs et ainsi d'anticiper les échéances à venir. L'annexe de ce rapport intègre notre diagramme de Gantt complet en format paysage pour faciliter la lecture.

## Matrice RACI

Enfin, nous avons réalisé une matrice RACI afin de répartir au mieux les rôles sur les différentes tâches et assurer une communication optimale au sein du groupe. Concrètement, l'acronyme RACI signifie Responsible, Accountable, Consulted, Informed. Chaque membre du groupe se voit attribué une lettre en fonction de son degré d'implication dans chaque tâche. Il est à noter que le degré d'implication est défini à l'avance, et que le travail effectif réalisé n'a aucun lien avec la matrice RACI. En consultant la matrice RACI, nous avons été en mesure de gagner en efficacité puisque nous savions quelle était la personne du groupe la plus apte à répondre à nos interrogations personnelles.

Tâches/Membres	Tal	Antoine	Thomas	Victor	Armand
<b>1. Etude du projet</b>					
Compréhension du contexte et de notre mission	A/R	R	R	R	R
Vérification générale des dimensions	A/R	R	R	R	R
<b>2. Dimensionnement</b>					
Intégration du radiateur	I	I	R	I	A/R
Structure de la face de côté et de la portière	R	I	A/R	I	R
Emplacement des réservoirs de carburant	I	A/R	R	I	I
Intégration, montage et démontage des moteurs	R	I	A/R	I	R
Dessins des plans 2D pour une première maquette	I	R	I	A/R	I
Discussion sur les trains d'atterrissage	R	I	R	I	A/R
<b>3. Maquettes physiques</b>					
Maquette 1 Echelle 1:5 en spaghetti	R	I	I	A/R	I
Maquette 2 Echelle 1:2 en plastique version intermédiaire	R	A/R	R	R	I
Maquette 3 Echelle 1:2 en plastique version finale	A/R	R	R	R	R

Figure 2 : Matrice RACI

## V. Etude préliminaire de projet

### Résumé du cahier des charges

Comme tout projet d'ingénierie, le Mini-Bee doit répondre à un cahier des charges précis qui a été établi durant les premières années de conception du véhicule. Il a été modifié au fil des années pour rester cohérent et réalisable malgré les exigences techniques posées, et les contraintes structurelles qui se sont présentées. Voici un résumé des exigences auxquels doit répondre le Mini-Bee :

- Être capable de déplacer deux personnes
- Se déplacer à une vitesse de croisière de 170 km/h
- Pouvoir atteindre une vitesse verticale ascensionnelle de 4m/s
- Tenir dans deux conteneurs LD3 une fois démonté
- Respecter les normes CS27 et TSO
- Avoir une masse totale (avec plein de carburant et e passagers) de 750 kg
- Être facilement démontable afin d'assurer une maintenance rapide

Nous tenons à apporter un élément de compréhension crucial à ce rapport : le Mini-Bee se propulse certes avec un judicieux assemblage de 60 rotors positionnés en nid d'abeille (ce qui donne d'ailleurs son nom au projet), mais l'énergie alimentant les moteurs électriques est d'abord générée par un convertisseur mécanique-électrique couplé à un moteur thermique à piston, le ROTAX 915is.

### Mini-Bee et conteneur LD3

L'exigence du cahier des charges ayant le plus d'influence sur notre projet est sans nul doute le fait que le Mini-Bee doit être capable de tenir dans deux conteneurs LD3. Un conteneur LD3 est un type de conteneur aérien utilisé pour le transport de fret dans l'aviation civile et militaire. Le Mini-Bee doit, une fois démonté, tenir dans deux de ces caissons. Le premier accueillera la cabine, le second contiendra les hélices. Au cours de notre projet, nous n'avons pris en compte que les dimensions de la cabine, les dimensions des rotors étant gérés par d'autres groupes travaillant également sur le projet Mini-Bee. Travaillant également sur le projet Mini-Bee. Dès le premier coup d'œil, la forme extérieure de la cabine de l'aéronef rappelle celle du conteneur. En effet, la place disponible à l'intérieur du Mini-Bee étant déjà relativement restreinte, il va de soi que les dimensions de la cabine doivent être optimisées pour occuper au mieux l'espace disponible dans le conteneur. Comme nous le verrons dans ce rapport, de nombreux choix structuraux découlent directement la forme du conteneur LD3.

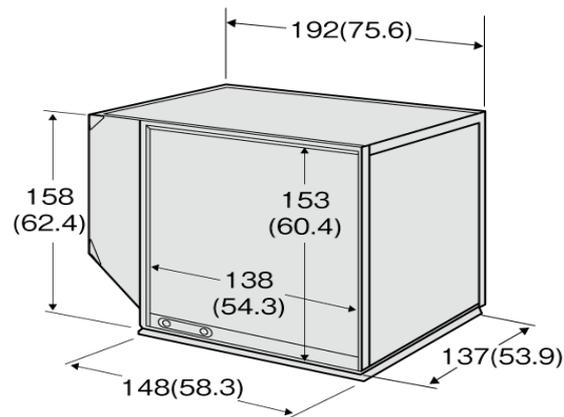


Figure 3 : Schéma et dimensions d'un conteneur LD3

### Comparaison du Mini-Bee avec le Robinson R22

Étant donné son cahier des charges novateur et encore jamais vu pour un aéronef, le Mini-Bee ne dispose d'aucun véhicule auquel se comparer. L'engin volant le plus proche se trouve dans la famille des hélicoptères. Il s'agit du Robinson R22, un hélicoptère léger biplace utilisé pour la formation des pilotes, l'observation aérienne, la photographie et bien d'autres applications. Il est particulièrement apprécié pour sa maniabilité, sa facilité de maintenance et son faible coût d'entretien. Il correspond globalement dans ses dimensions extérieures au Mini-Bee, à ceci près que son moteur n'est pas intégré à sa cabine, ce qui est le cas du Mini-Bee. Le R22 est donc un point de départ intéressant pour notre projet, notamment en termes d'aménagement intérieur et de confort passager.

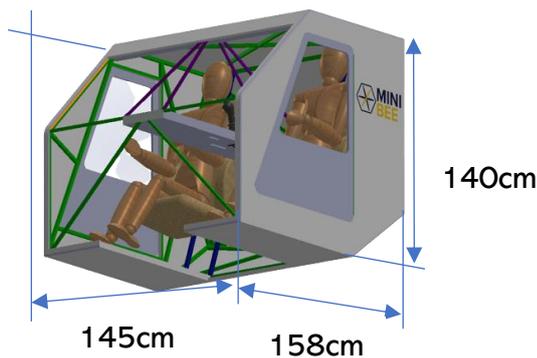


Figure 5 : Dimensions extérieures du Mini-Bee

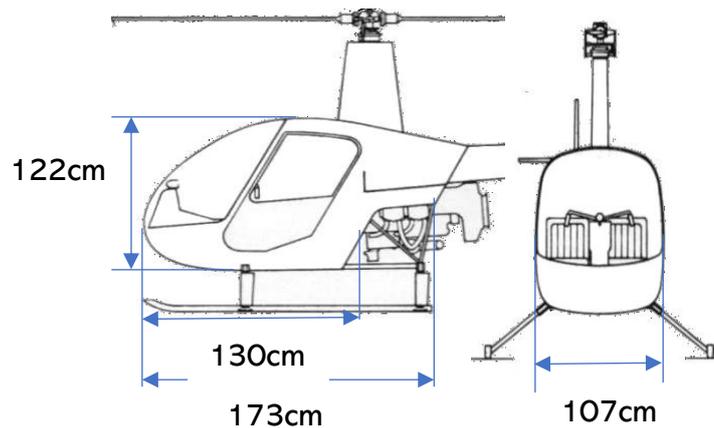


Figure 5 : Dimensions extérieures du R22

## VI. Dimensionnement et apports au projet

Dans cette partie du projet, nous avons apporté nos solutions aux les problèmes liés au dimensionnement des éléments du châssis du Mini-Bee. Il s'en est suivie une phase de discussion avec Mr. DUTERTRE, notre encadrant pour ce projet, afin de valider ou non ses solutions. Nous avons aussi échangé avec le groupe travaillant sur la maquette numérique afin d'intégrer ses évolutions à leurs travaux. Il est à noter que ce groupe a aussi apporté de nombreuses améliorations au projet et que la maquette à l'échelle 1:2 que nous avons produit résulte de tous les ajouts fait au projet pendant l'année scolaire 2022-2023.

### Intégration du radiateur

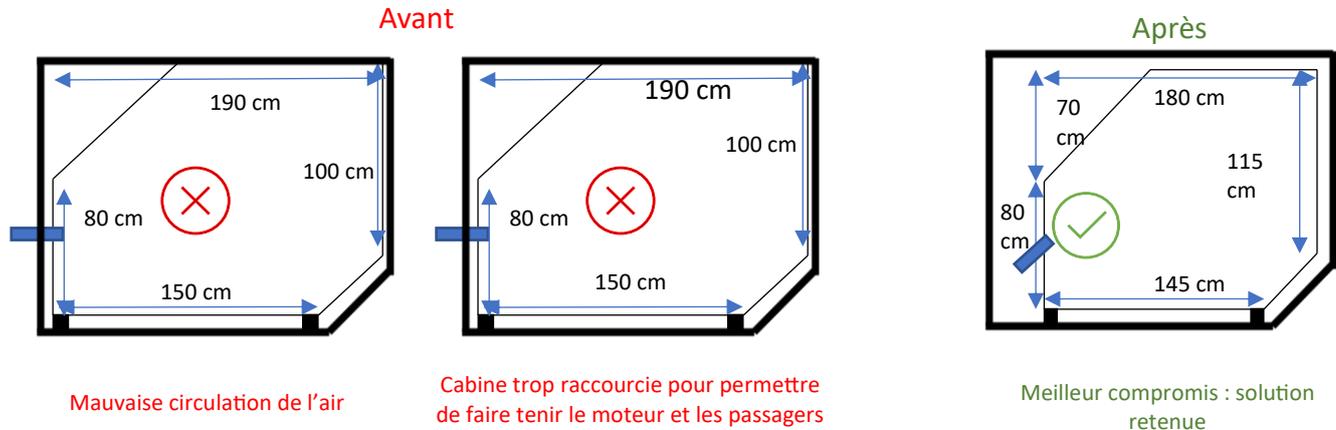
L'intégration du radiateur dans le Mini-Bee est la première contrainte à laquelle nous avons été confronté. En effet, le positionnement du système de refroidissement n'avait jusqu'à présent pas été pris en compte dans les dimensions extérieures du Mini-Bee. Concrètement, la cabine ne tenait pas dans le conteneur une fois le moteur et son radiateur monté sur le châssis. Nous avons alors étudié plusieurs possibilités de montage du système de refroidissement, et les avons confronté afin de retenir la solution assurant une bonne circulation tout en garantissant suffisamment de place à l'intérieur de la cabine. Pour toute cette partie de l'étude, nous avons assimilé le radiateur à un parallépipède de 26,5x9,05x48,2cm.

Dans un premier temps, nous avons pensé que placer le radiateur à la verticale, directement contre le châssis, permettrait d'assurer une place maximale pour l'intégration du moteur et pour le confort des passagers. Malheureusement, nous sommes rapidement arrivés à la conclusion qu'une telle configuration ne permettrait pas d'assurer une circulation de l'air suffisante pour refroidir efficacement le moteur.

Nous avons ensuite challengé l'hypothèse d'un radiateur positionné à l'horizontale, mais la nécessité de faire tenir la cabine dans un conteneur LD3 nous obligeait à raccourcir la cabine de 26,5cm. Or cette obligation, ce, ce qui ne nous permettait pas de garantir suffisamment de place à l'intérieur du Mini-Bee pour faire tenir l'ensemble des systèmes de conversion d'énergie.

La solution que nous avons finalement retenue est un mélange des deux hypothèses précédentes : un radiateur accroché au niveau de la partie supérieur de la face avant du Mini-Bee avec une inclinaison de 45° par rapport, à -45° par rapport à l'horizontale. Cette solution nous permet d'assurer un refroidissement optimal sans pour autant compromettre la place à l'intérieur de la cabine. Le seul inconvénient à cette architecture est qu'elle nécessite une modification des conduits reliant le radiateur au moteur, puisque les tubes assurant le passage de l'air doivent être rallongé. Les pertes

de charges inerrantes à cette modification sont trop faibles pour exercer une quelconque influence sur l'efficacité du refroidissement du moteur.



*Figure 6 : Solutions d'intégrations du radiateur*

### Montage et démontage des systèmes de conversion d'énergie

Comme nous l'avons vu précédemment, le Mini-Bee tire son énergie électrique d'un moteur thermique couplé à un convertisseur d'énergie : le EMRAX. Un EMRAX est un type de moteur électrique très prisé dans le domaine des transports en raison de sa capacité à fonctionner à des vitesses de rotation élevées, de son efficacité et de ses performances générales. Dans le projet Mini-Bee, nous utilisons deux EMRAX en mode générateur, afin de convertir le mouvement de rotation du moteur thermique en énergie électrique exploitable par les rotors du véhicule. Afin de faciliter la maintenance du Mini-Bee, nous avons dû repenser la face avant et la face inférieure de la cabine. L'objectif de ces modifications était de pouvoir démonter rapidement et à moindre frais l'ensemble de génération d'énergie par le dessous de l'appareil, tout en garantissant la solidité du châssis. Nous avons donc élargi les barres de la face du dessus pour que le moteur puisse passer entre. L'écartement actuel des barres est donc de 62cm, ce qui est légèrement supérieur à la largeur du moteur. De plus, le système d'accrochage du moteur à la cabine a dû être revu, comme nous le verrons dans le paragraphe suivant.

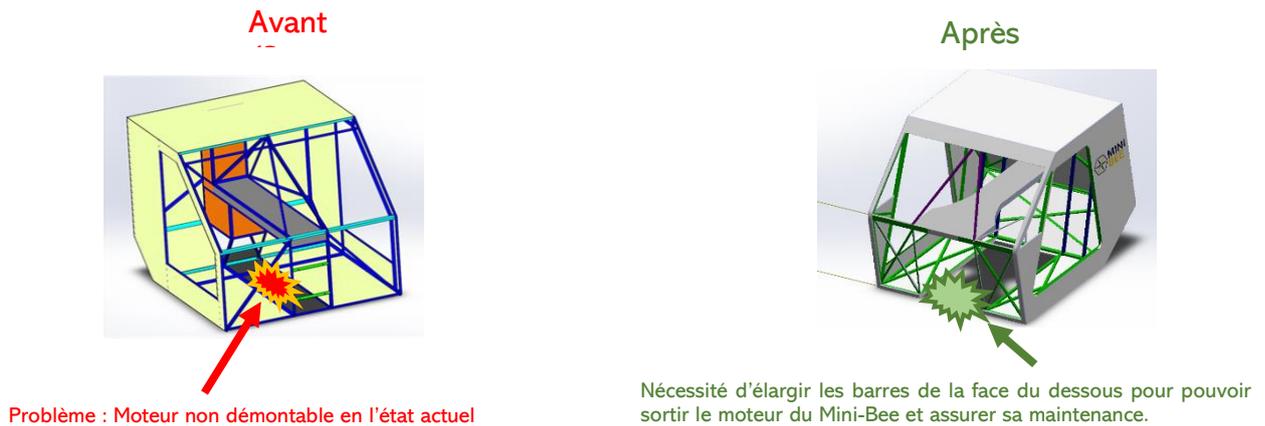


Figure 7 : Modifications apportées à la structure pour faciliter la maintenance

### Intégration du moteur

À la suite des modifications réalisées sur le châssis pour permettre le démontage du système de génération d'énergie, nous nous sommes penchés sur la question de l'accrochage du moteur à la cabine. Ce dernier possède bien un arceau destiné à le fixer sur un bâti, mais les efforts générés par les vibrations durant son fonctionnement rendaient l'ensemble peu fiable. Il est alors venu l'idée de construire un berceau rendant solidaire le ROTAX et les deux EMRAX, qui pourrait se démonter par le dessous du Mini-Bee. Deux versions de cette solution ont été proposées par le groupe en charge de la maquette numérique. Celle qui a été retenue utilise un axe central maintenant le moteur thermique et les générateurs électriques aligné, et permet de réduire le poids de la structure. L'ensemble sera fixé à la poutre centrale de la cabine par plusieurs tiges donc l'architecture n'a pas encore été clairement définie à l'heure actuelle. Nous avons proposé quelques solutions utilisant les points d'accroche déjà présents sur le moteur, mais nous n'avons pas challengé leur efficacité.

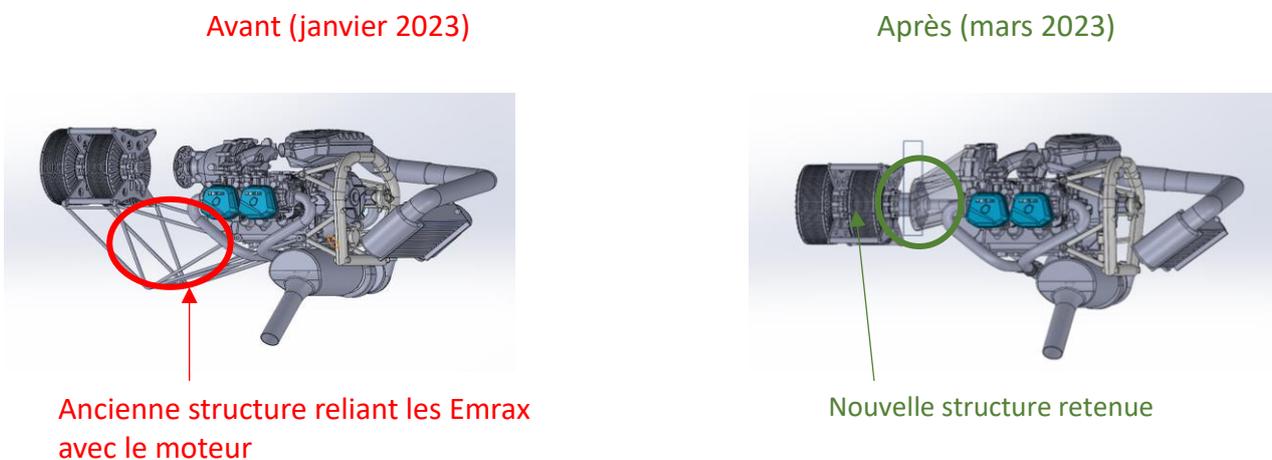


Figure 8 : Solutions d'intégration du moteur

## Côtés et portes du Mini-Bee

Après une rapide réflexion sur la faisabilité du Mini-Bee, nous sommes arrivés à la conclusion que la géométrie des portes allait poser un problème lors de la fabrication. En effet, la structure des côtés du véhicule présentait une mauvaise reprise des efforts et était bien trop complexe à fabriquer (nous avons pu nous en rendre compte lors de la création de la première version de la maquette à l'échelle 1:2). Nous sommes passés par une version intermédiaire de l'architecture de la porte, qui adopte une ouverture moins complexe à fabriquer mais conserve une mauvaise reprise des efforts, du fait des angles superflus et d'une complexité globale trop grande. La structure finale des côtés assure une reprise quasiment parfaite des efforts dans la cabine. Le nombre de points d'intersection entre les barres est certes resté le même entre les deux versions, mais la solidité de l'ensemble est incomparable. En effet, les contours de la porte s'appuient sur les angles de la structure extérieure de la cabine, ce qui améliore la résistance structurelle du châssis. De plus, les portes ont pu être élargies ce qui nous permet d'améliorer le confort des passagers.

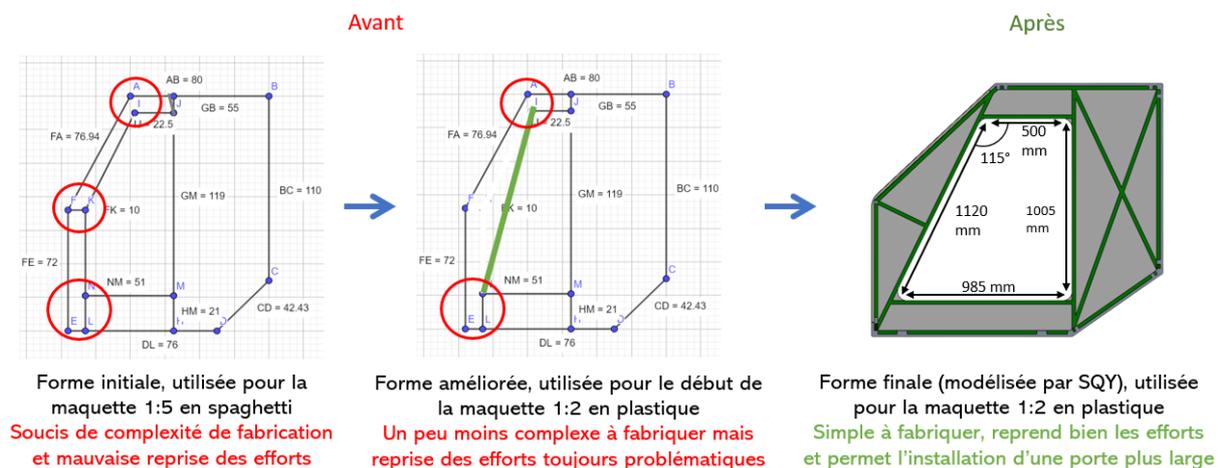
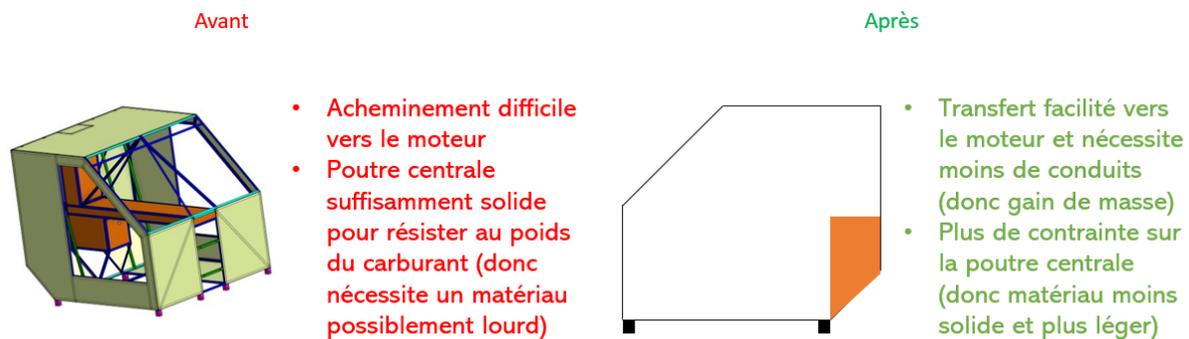


Figure 9 : Evolution de l'architecture du côté du Mini-Bee

## Réservoir de carburant

Au cours de nos réflexions autour des meilleures solutions à adopter pour le Mini-Bee, nous nous sommes questionnés sur la forme et l'emplacement du réservoir de carburant. En effet, l'énergie à bord de l'aéronef étant générée à l'origine par un moteur thermique, il est nécessaire d'emporter suffisamment de carburant pour toute la durée du trajet. Nous ne nous sommes pas penchés sur le calcul de la consommation spécifique du ROTAX 915is, en effet les calculs de consommation, de distance franchissable et donc de quantité de carburant à emporter ont été réalisés par un autre groupe. Nous nous sommes simplement assuré que le volume du réservoir était de 118L au minimum, valeur nous permettant d'assurer une distance franchissable d'environ 440 km. Lorsque nous nous sommes penchés sur le projet Mini-Bee, le réservoir était placé à l'arrière de la cabine, légèrement surélevé et se prolongeant à l'intérieur d'une poutre centrale séparant les

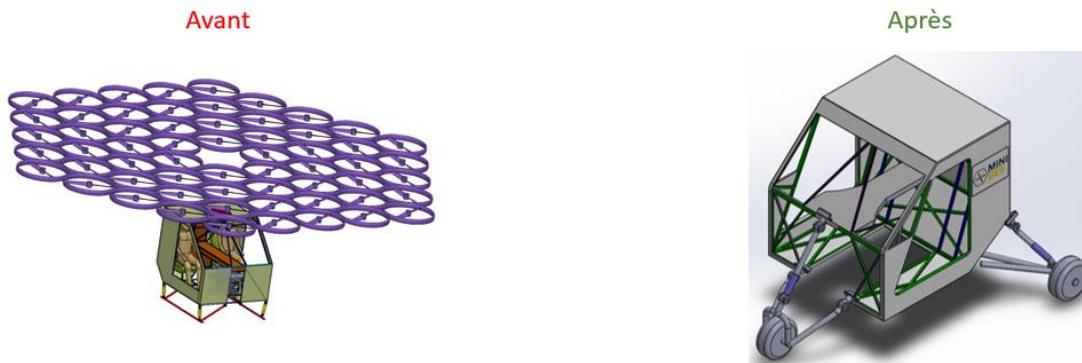
deux passagers. Cette architecture faisait apparaître des difficultés d'acheminement du carburant vers le moteur. De plus, cela nous imposait d'avoir une poutre centrale suffisamment solide pour résister au poids du carburant, donc l'utilisation d'un matériau possiblement plus lourd. Enfin, la sécurité des passagers n'était pas garantie en cas de problème technique puisque la forme même du réservoir ne permettait pas d'assurer le respect des normes de résistance aux chocs, aux vibrations et aux collisions. Nous avons opté pour une solution architectural simplifiée, avec un Mini-Bee embrayant un réservoir placé à l'arrière de la cabine et positionné dans la longueur du Mini-Bee. Par ces modifications, nous avons pu conserver le volume souhaité tout en limitant la complexité et le poids du véhicule. De plus, il sera bien plus simple de respecter les exigences de sécurité pour pouvoir intégrer un réservoir de carburant à notre véhicule.



*Figure 10 : Représentation de la nouvelle intégration du réservoir*

## Trains d'atterrissage

Comme tout aéronef se posant sur la terre, le Mini-Bee est doté d'un système d'atterrissage. Plusieurs solutions étant envisageables pour réaliser celui de ce projet. Tout d'abord, nous avons challengé l'hypothèse d'un système semblable à des barres d'hélicoptères. Cela présentait l'avantage d'être léger, compacte et relativement simple à fabriquer, mais ne permettait pas de déplacer la cabine une fois posée au sol (sauf à l'aide d'un transpalette). De plus, les atterrissages durs (atterrissage se produisant avec une vitesse d'approche excessive pouvant endommager l'aéronef et compromettre la sécurité des passagers) étaient bien moins envisageables avec des barres d'hélicoptères puisque aucun système ne permettait de fournir un amortissement de la cabine suffisant. La solution retenue est un assemblage composé de trois roues, une à l'avant et deux à l'arrière. Ce système permet d'assurer la stabilité du Mini-Bee une fois posée et de déplacer la cabine au sol, même si les roues ne sont pas motorisées. On peut facilement imaginer qu'un véhicule de 750 kg peut être déplacé par quelques personnes à la seule force de leurs bras, donc considérer que le Mini-Bee peut être déplaçable une fois posé n'est pas incohérent. De plus, les atterrissages durs sont bien plus envisageables avec des trains d'atterrissages, puisque la cabine est bien mieux amortie. Le seul inconvénient de cette solution est que le système est plus lourd et plus encombrant, mais nous avons de bonnes raisons de penser qu'une fois démonté il pourrait tenir à l'intérieur de la cabine, et ainsi ne pas poser de problème lors du transport dans le conteneur LD3.



#### Barres d'hélicoptère

- Pas de déplacement possible au sol
- Atterrissage dur impossible
- Léger

#### Roulettes

- Déplacement au sol possible
- Répartition du centre de gravité à l'arrière
- Atterrissage dur possible
- Plus lourd

Figure 11 : Système d'atterrissage du Mini-Bee

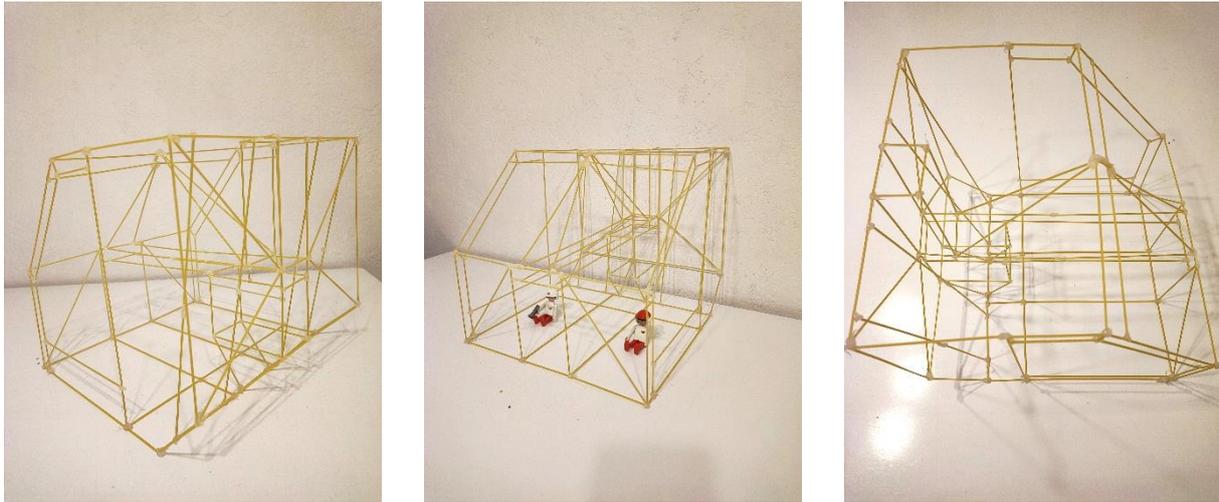
## VII. Maquettes physiques

Partie principale de notre projet, la réalisation de maquettes physiques nous a permis de mieux appréhender la réalité du Mini-Bee. C'était la première fois depuis le début du projet qu'un modèle physique de la cabine était produit. Pour nous, cela a représenté une réelle avancée dans le projet, pas tant sur les solutions techniques apportées au Mini-Bee (même si une majorité du temps que nous avons passé sur ce projet y était consacré), mais surtout sur notre motivation à voir ce véhicule « réellement » exister. Pouvoir mettre les mains sur notre sujet d'étude était un sentiment particulier, subtil mélange d'excitation et de satisfaction que seul nous cinq avons eu la chance de ressentir.

### Maquette en spaghetti échelle 1:5

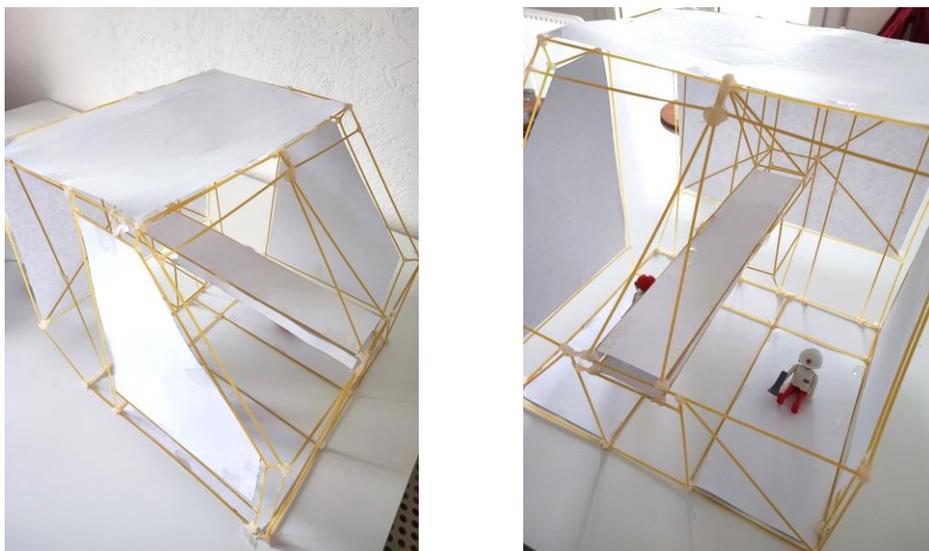
Dès novembre 2022, nous nous sommes attelé à la réalisation d'une première maquette physique à échelle 1:5. L'objectif de ce premier modèle était de pouvoir créer un premier prototype du Mini-Bee tel qu'il était à avant que nous rejoignons le projet. De plus, nous savions que l'architecture de la cabine telle qu'elle était précédemment présentait un certain nombre d'erreurs et d'incohérences, c'est pourquoi nous avons cherché à la réaliser à moindre coups. Mr Dutertre nous a alors proposé de réaliser ce premier modèle en spaghetti assemblé avec un pistolet à colle afin de limiter le coût des matériaux et de nous permettre de construire facilement notre maquette. Grâce à ce prototype, nous avons pu éprouver la solidité de la structure telle qu'elle était avant les modifications que nous et nos homologues de Saint-Quentin avons apporté. Ces conclusions sont rassurantes puisqu'elles nous prouvent que les hypothèses sur lesquelles reposaient le projet Mini-Bee n'étaient pas incohérentes, et que la forme de la

cabine est globalement correcte, à quelques exceptions près. Nous avons tout de même rencontré quelques difficultés pendant la réalisation de la maquette. En effet, nous ne pouvions pas assurer une précision similaire à chaque collage de spaghetti, ce qui induit parfois des placements imparfaits et des décalages de quelques millimètres dans l'assemblage final. De plus, les plus grandes barres de la cabine ont dû être représenté par un assemblage de plusieurs spaghetti mis bout-à-bout, et il était ainsi difficile de garder des tiges parfaitement droites. Finalement, notre maquette mesure environ 30x25x25cm.



*Figure 12 : Maquette en spaghetti à échelle 1:5*

La cabine finale du Mini-Bee sera renforcée de plaques d'aluminium, de bâches et de Plexiglass afin de ne pas directement exposer l'intérieur de la cabine à l'air libre. Pour représenter ces éléments sur notre maquette spaghetti, nous avons utilisé des feuilles de papier, ce qui semble au premier abord très peu utile pour solidifier une maquette, mais qui se sont révélée très efficaces pour rigidifier la structure. Nous pouvons en conclure que l'ajout de peaux sur la cabine nous permettra d'améliorer grandement la résistance structurelle du Mini-Bee.



*Figure 13 : Maquette en spaghetti avec peaux*

## Maquette en plastique échelle 1:2 version intermédiaire

Après avoir réalisé une première maquette à l'échelle 1:5, nous nous sommes penché sur les points d'améliorations que nous avons traité dans la partie VI de ce rapport. Afin d'intégrer les modifications du châssis dans nos prototypes (qui restent le cœur de notre sujet de projet), nous avons entrepris la construction d'une nouvelle maquette à l'échelle 1:2. Rapidement, nous avons été interrompu par notre encadrant puisque le groupe de Saint-Quentin avait terminé la réalisation de la maquette numérique mise à jour du châssis du Mini-Bee (voir partie consacrée aux côtés et à la porte du Mini-Bee). Nous sommes donc reparti d'une maquette numérique plus récente pour concevoir l'intégralité de notre maquette en plastique. Comme montré dans les photos ci-après, les portes présentaient en effet encore des défauts de conception rendant la structure fragile à certains endroits, et présentant une mauvaise reprise des efforts. De plus, l'architecture de la poutre centrale avait été modifiée, et la face arrière de la maquette physique ne correspondait plus au nouveau châssis.

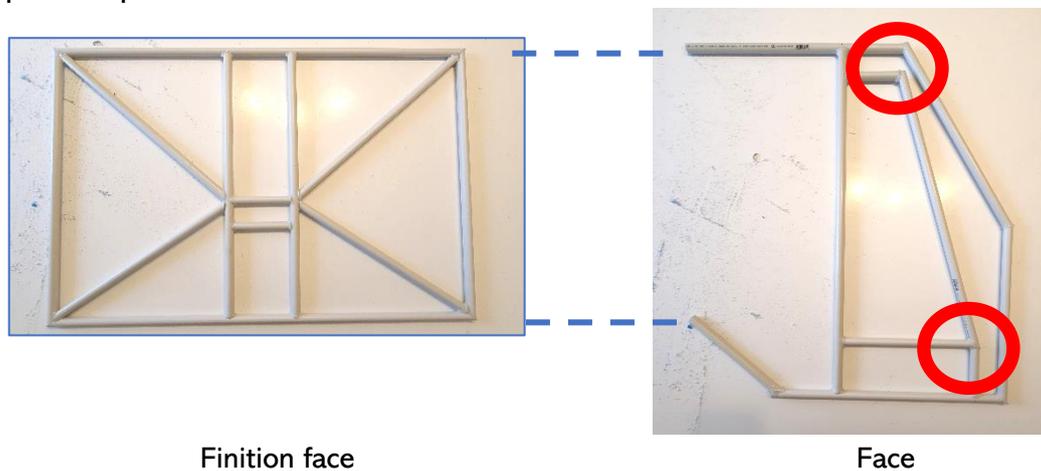
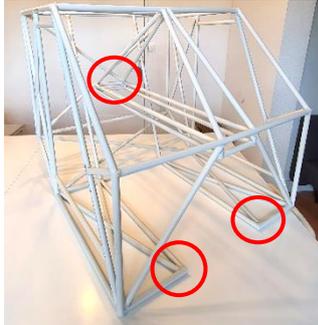


Figure 14 : Face arrière et côté de la première maquette en plastique (échelle 1:2)

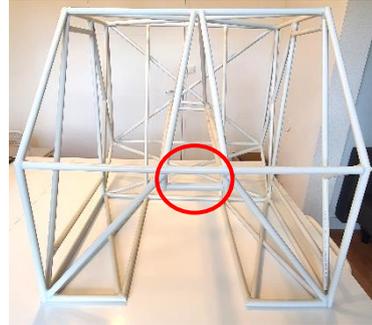
## Maquette en plastique échelle 1:2 version finale

Une fois la maquette numérique livrée par le groupe de Saint-Quentin, nous avons construit une maquette de la version la plus récente du Mini-Bee. Ce prototype intègre toutes les modifications que nous avons apporté au projet pendant l'année en ce qui concerne le châssis. Une fois toutes les faces assemblées, la maquette mesure environ 76,5x72,5x70cm de côté. Elle est construite avec des tubes de PVC de 16mm de diamètre fixés entre eux avec un pistolet à colle. En cumulé, nous avons passé une dizaine d'heures à assembler ce prototype. Au cours de la fabrication, nous avons pu relever quelques points d'améliorations à apporter au projet. En premier lieu, la face de dessous du Mini-Bee présente des points de fragilités au niveau des points d'accroche du train d'atterrissage avant, ce qui pourrait poser des problèmes en cas d'approche trop brutale. Ensuite, les fixations de la poutre centrale sont floues et mal intégrées à la structure globale de la cabine. Son architecture serait à revoir pour améliorer la solidité du Mini-

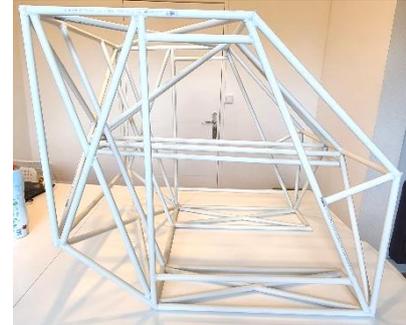
Bee. Enfin, le centre de gravité de la structure est situé à l'arrière du châssis, bien que le Mini-Bee soit stable une fois posé. Cela reste anecdotique puisque le poids du moteur, des passagers et du réservoir de carburant viendra équilibrer l'ensemble de la cabine. Globalement, nous avons pu constater que le prototype est solide et facilement assemblable, ce qui est encourageant pour la suite du projet.



Vue 3/4



Vue de face



Vue de droite

En rouge : points perfectibles sur la structure

*Figure 15 : Maquette en plastique (échelle 1:2)*

## VIII. Conclusion

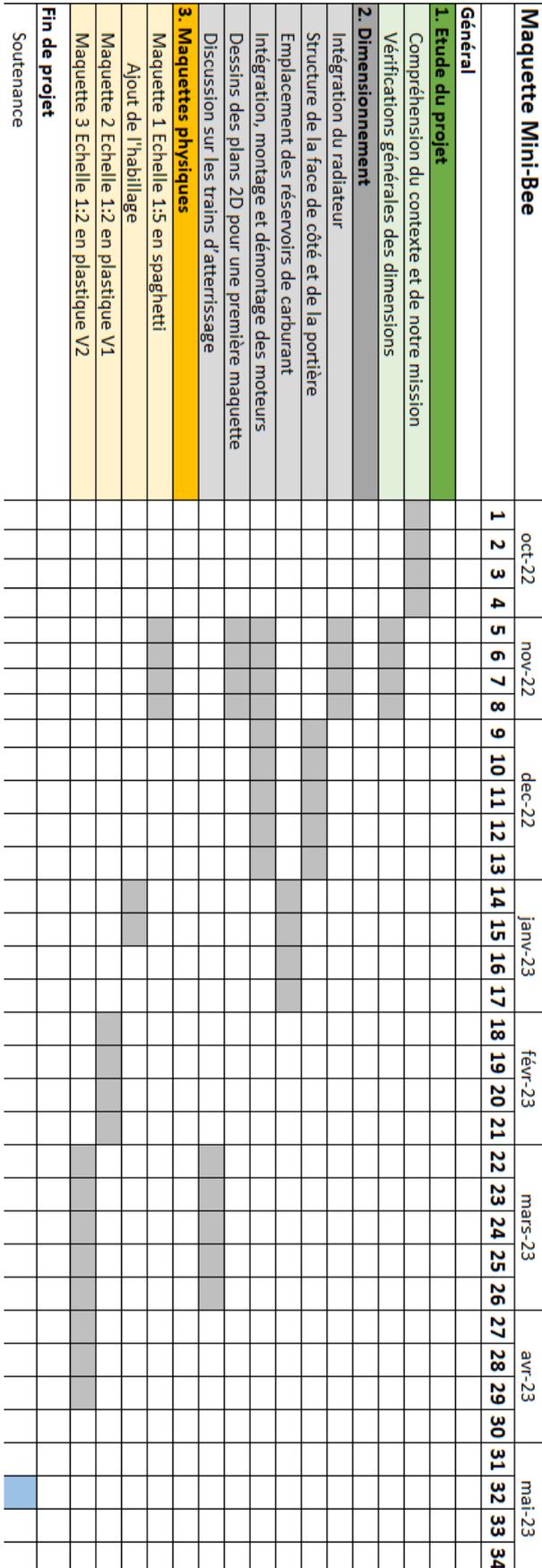
Ce projet fut la première approche d'une expérience d'ingénieur pour nous tous. En effet jusqu'ici dans notre parcours, les projets sur lesquels nous avons travaillé étaient pleinement inscrits dans le cadre académique et avaient pour unique objectif de nous exercer et d'appliquer directement les compétences acquises sur des cas prévus pour.

Le Mini-Bee quant à lui est un appareil qui se destine à être produit à grande échelle, et touche donc directement le monde professionnel. Cette dimension de concrétisation nous a poussé à devoir travailler avec les autres équipes afin de synchroniser nos avancés et nos résultats. Ainsi, nous évitions de faire le même travail deux fois, et nous pouvions progresser sur des aspects du Mini-Bee nécessitant la coordination de plusieurs groupes. Ceci nous a permis de comprendre l'importance de la collaboration et de la synchronisation entre les équipes d'un projet de grande ampleur, mais aussi l'importance d'atteindre les objectifs prévus dans les temps afin de ne pas retarder les autres équipes, et donc le projet.

Les prochains groupes travaillant sur la partie maquette pourraient se pencher sur les différents points suivants :

- Banc d'essai
  - Tester le moteur Rotax 915is
  - Valider l'accrochage du moteur sur la poutre centrale (forme de la poutre)
  - Définir les passages des câbles
  
- Prototypage échelle 1
  - Faire une maquette échelle 1 en profilé plastique avec les revêtements
  - Faire une maquette échelle 1 en profilé ALU
  
- Conception détaillée
  - Valider le bilan de masse
  - Intégrer la structure supérieure (rotors)
  - Valider la stabilité du train en trépied, et les efforts du train
  - Valider l'encombrement au niveau des pieds des pilotes

## Annexe : Diagramme de Gantt



## Table des illustrations

Figure 1 : Diagramme WBS .....	6
Figure 2 : Matrice RACI.....	7
Figure 3 : Schéma et dimensions d'un conteneur LD3 .....	9
Figure 5 : Dimensions extérieures du Mini-Bee.....	9
Figure 5 : Dimensions extérieures du R22 .....	9
Figure 6 : Solutions d'intégrations du radiateur.....	11
Figure 7 : Modifications apportées à la structure pour faciliter la maintenance .....	12
Figure 8 : Solutions d'intégration du moteur.....	12
Figure 9 : Evolution de l'architecture du côté du Mini-Bee.....	13
Figure 10 : Représentation de la nouvelle intégration du réservoir.....	14
Figure 11 : Système d'atterrissage du Mini-Bee.....	15
Figure 12 : Maquette en spaghetti à échelle 1:5.....	16
Figure 13 : Maquette en spaghetti avec peaux .....	16
Figure 14 : Face arrière et côté de la première maquette en plastique (échelle 1:2).....	17
Figure 15 : Maquette en plastique (échelle 1:2) .....	18