

# LIVRABLE WP1 :

## Avioniques et Structures

**Projet de  
définition du  
« Mini-bee »**

**Thomas BOUAZIZ**

**Sébastien COSTES**

**Loriane FERNANDEZ**

## Circuit de validation initiale du document

LIVRABLE WP 1		
Rédigé par	WP 1	05/12/2018
Approuvé par	REONSABLE WP 1	10/12/2018
Vérifié par	WP 0	11/12/2018

## Suivi des versions

Auteur	Type de modification	Date	Numéro nouvelle Version
WP1	Rédaction initiale	11/12/18	V1

# SOMMAIRE

1. Introduction .....	3
2. Gestion de projet .....	3
2.1 Plan de management interne.....	3
2.2 OBS INTERNE.....	4
2.3 Planning .....	2
2.4 Tableau des Risques.....	4
3. Partie technique .....	9
3.1 Objectifs.....	9
3.2 L'avionique .....	9
i. Périmètre de l'étude.....	9
ii. Explication sur le choix de l'instrumentation .....	9
iii. Equipements d'avionique nécessaire pour le Mini-Bee.....	10
iv. Prix, masse, superficie de l'avionique .....	13
v. Etude complète .....	13
3.3 La structure .....	26
i. Périmètre de l'étude.. .....	26
ii. Dimensionnement de la structure .....	27
iii. Solutions techniques .....	28
iv. Poids de chaque module.....	32
v. Efforts structurels et coût.....	32
4. Conclusion.....	32

## 1. Introduction

Ce document regroupe l'ensemble des différents livrables élaborés par le groupe WP1. Cette étude comprend des documents de gestion au projet décliné au groupe ainsi que l'étude technique composée des spécifications techniques, des solutions techniques ainsi que des verrous technologiques.

La partie réglementation par l'intermédiaire du plan de certification fait l'objet d'un autre document. Le plan qualité n'a pas été traité à ce jour et sera étudié ultérieurement sous l'impulsion de WP0

## 2. Gestion de projet

### 2.1 PLAN DE MANAGEMENT INTERNE

Le plan de management de notre projet fil rouge est réalisé sous l'impulsion de WP0 et représente l'articulation générale entre les différents groupes.

Concernant l'organisation interne WP1, le groupe a opté pour une collaboration de confiance en limitant les réunions internes et en favorisant le télétravail ou le travail à domicile.

Cette méthode de travail est favorisée par l'émergence des nouvelles technologies permettant le travail collaboratif depuis Internet.

Le nombre de réunion de travail varie en fonction des avancées sur les dossiers et représente en moyenne une à deux séances par semaine d'une durée maximale de 30 minutes.

Au cours de ces réunions hebdomadaires où l'ordre du jour a été présenté par messagerie instantanée, l'équipe présente le travail accompli au responsable WP1 et fait part des problèmes rencontrés. Il vient ainsi un débat interne afin d'adapter les solutions envisageables. Si aucune solution n'est proposée pour répondre à la problématique, le responsable WP1 évoque le sujet lors de la réunion des chefs (WP0, WP1, WP2, WP3).

Au cours de ces réunions internes WP1, les différentes tâches sont partagées entre les trois membres et chaque étudiant du Work Package dispose d'un objectif clair et exhaustif du travail

à accomplir pendant sa semaine. Libre ainsi à lui en fonction de ses contraintes personnelles d'accomplir son travail au moment souhaité.

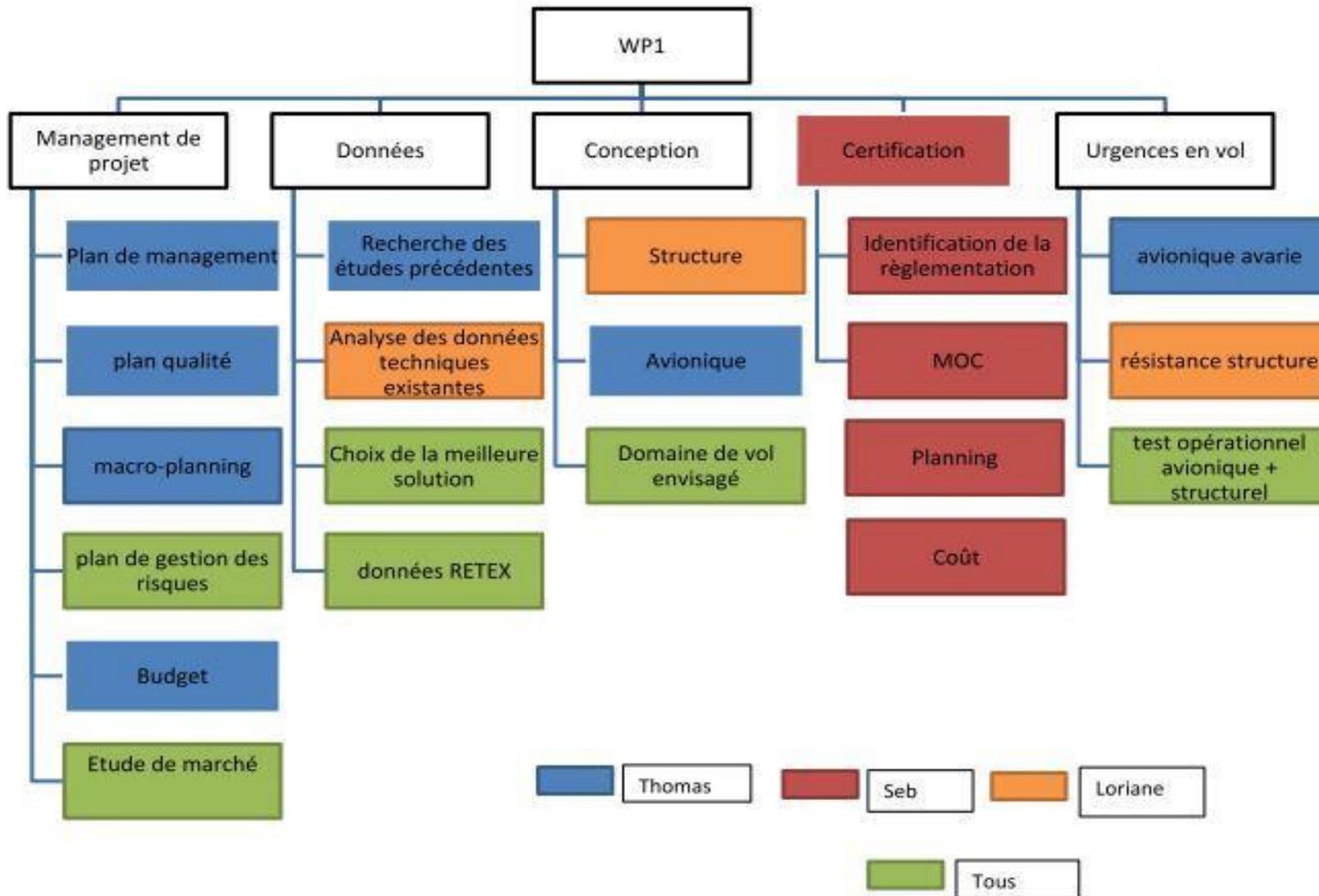
Le responsable WP1 dispose d'un droit de regard sur le travail accompli en se connectant sur l'espace de travail collaboratif et peut ainsi transmettre un éventuel recadrage du travail en cours de semaine.

## **2.2 OBS INTERNE**

L'OBS (Organizational Breakdown Structure) WP1 présenté à la page suivante représente les responsabilités de chaque étudiant pour chaque tâche de notre projet.

Bien que clairement défini, ce document reste toutefois théorique. En effet dans la pratique chaque étudiant s'est intéressé aux domaines de ses camarades et n'est pas resté cloisonné dans son domaine de compétences.

Le groupe a opté pour une approche collective plutôt qu'individuelle du projet.



## 2.3 PLANNING

Le calendrier présenté en page suivante représente les différentes étapes du projet pour WP1. Il s'agit d'un macro-planning qui ne détaille pas volontairement les sous-rubriques que peuvent contenir les différentes étapes. Ce planning est débattu et mis à jour lors de chaque réunion de calage interne WP 1.

## Planning WP1

Planning en date du 06/12/2018

Livrable	Commentaires	Date fixée (début)	Date fixée (fin)	Estimé Début	Estimé Fin	Avancement (en jours)	Travail estimé (en heures)	Durée estimée (en jours)	Réel Début	Réel Fin
Cahier des charges	Finalisé d'un travail commun avec tous les WP	08/11/2018	23/11/2018	08/11/2018	22/11/2018	21	60	14	08/11/2018	29/11/2018
Macro planning		12/11/2018	16/11/2018	13/11/2018	16/11/2018	5	10	3	12/11/2018	16/11/2018
Plan de Management	PM interne	19/11/2018	26/11/2018	19/11/2018	26/11/2018	6	10	7	19/11/2018	26/11/2018
Tableau des risques		22/11/2018	28/11/2018	22/11/2018	30/11/2018	5	10	25	24/11/2018	30/11/2018
Etude de marché	Non commencé	07/01/2019	31/01/2019	07/01/2019	31/01/2019		30	24		
Budget	Macro Budget effectué	30/11/2018	06/12/2018	29/11/2018	06/12/2018	6	15	7	04/12/2018	06/12/2018
Plan qualité	Non commencé	07/01/2019	15/01/2019	07/01/2019	15/01/2019		15	8		
Gestion de Conf	Non commencé	15/01/2019	22/01/2019	15/01/2019	22/01/2019		15	7		
Structure		20/11/2018	03/12/2018	20/11/2018	03/12/2018	12	30	13	20/11/2018	06/12/2018
Avionique		21/11/2018	03/12/2018	21/11/2018	03/12/2018	12	30	12	21/11/2018	06/12/2018
Certification		15/11/2018	03/12/2018	15/11/2018	03/12/2018	20	40	18	15/11/2018	06/12/2018
Urgences en vol	Non commencé	22/01/2019	05/02/2019	22/01/2019	05/02/2019		25	13		

## 2.4 TABLEAU DES RISQUES

Le tableau de gestion des risques inhérents au projet est un document que le groupe a voulu évolutif et non figé. Les différents travaux effectués par le groupe aussi bien en termes de certification, de structure ou d'avionique ont servi à alimenter ce tableau. Au fur et à mesure de l'étude, le groupe a dû proposer des mesures palliatives concrètes afin de limiter les risques. Le tableau présenté ci-dessous est arrêté à la date de rédaction de ce document et peut être soumis à des mises à jour régulières.

Famille de risques	Risques & Facteurs de risques	Probabilité	Gravité	Criticité	Impact	Nature du risque	N° action associé	Probabilité	Gravité	Criticité
Conception	<b>Facteur de risque :</b> Foudre/orage <b>Risque :</b> Foudroiement en vol	3	4	15	Non certification et non navigabilité Mini-Bee	Qualité	Elaborer un système antifoudre, système de clinquants (grillage inséré au composite) inconvénient : poids supplémentaire	2	2	5
Conception	<b>Facteur de risque :</b> déformation de structure dans le temps <b>Risque :</b> impossible d'échanger les modules	3	3	11,25	Le concept de modularité n'est plus assuré	Qualité	S'appuyer sur une base métallique, percer avant montage pour être sûr que cela s'adapte	2	2	5
Conception	<b>Facteur de risque :</b> Un ou plusieurs concurrents arrivent sur le marché avec des produits similaires ou plus performants avant Technoplane rendant le Mini-Bee dépassé avant sa sortie <b>Risque :</b> Non lancement du projet	3	3	11,25	Le marché visé est déjà pris. Le MINI-BEE n'est pas compétitif.	Coût/délai	Assurer une veille technologique	2	2	5
Conception	<b>Facteur de risque :</b> Une mauvaise répartition du poids <b>Risque :</b> Problème de centrage de masse	3	3	11,25	Décentrage de masse	Qualité	S'assurer de la fiabilité des calculs de masse et centrage	1	2	2,5

Conception	<b>Facteur de risque :</b> Fragilité de la structure <b>Risque :</b> ne résiste pas aux impacts aviaires	2	4	10	Non certification et non navigabilité Mini-Bee	Qualité	Faire des tests en laboratoire, tester la structure avec des collisions aviaires	2	2	5
Conception	<b>Facteur de risque :</b> Les efforts gyroscopiques sont plus importants que prévus et entraînent des efforts non prévus sur la structure <b>Risque :</b> déformation, rupture de la structure	2	4	10	Perte de temps pour revoir les plans de définition avec des risques sur le devis de masse	Qualité	Fiabiliser les calculs, faire des tests pour confirmer	2	2	5
Conception	<b>Facteur de risque :</b> les pièces structurales en composite sont moins résistantes que ce qui a été calculé en conception nécessitant de revoir les plans de définitions <b>Risque :</b> Cassure de la structure	2	3	7,5	Perte de temps pour revoir les plans de définition avec des risques sur le devis de masse	Qualité	Faire des tests laboratoires pour confirmer les calculs	2	2	5
Conception	<b>Facteur de risque :</b> la mise au point du pilote automatique et de la gestion de la puissance par rapport à un convertible est trop complexe et ne permet pas un pilotage stable de l'engin <b>Risque :</b> Aéronef incontrôlable	2	3	7,5	Perte de temps pour la mise au point	Qualité	Donner les contraintes techniques du PA au fournisseur afin de vérifier la conformité de ce dernier	2	2	5

Conception	<p><b>Facteur de risque :</b> le nombre important de rotors entraînent l'incapacité de l'équipage d'avoir un contrôle efficace sur tous les paramètres à surveiller</p> <p><b>Risque :</b> non certification et paramètre de l'aéronef non compréhensible pour un équipage humain</p>	2	3	7,5	Non certification et non navigabilité Mini-Bee	Coût/délai	Créer une interface de pilotage ergonomique et compréhensible	1	2	2,5
Conception	<p><b>Facteur de risque :</b> impacts et chocs entraînant le délaminage du composite</p> <p><b>Risque :</b> Réduction des performances mécaniques du matériaux qui fragilise la structure</p>	3	3	11,25	Dommages importants sur la structure	Qualité	Protection de certaines zones de pièce avec de la mousse pendant les phases d'assemblage	2	3	7,5
Conception	<p><b>Facteur de risque :</b> Contact entre l'aluminium et fibre de carbone</p> <p><b>Risque :</b> corrosion galvanique de l'aluminium</p>	2	3	7,5	Dommages importants sur la structure	Qualité	Bonne isolation thermique lors de l'assemblage	1	2	2,5

Conception	<b>Facteur de risque :</b> Chargement mal dimensionné <b>Risque :</b> l'aéronef ne supporte pas la charge ultime lors des test	2	4	10	Non certification et non navigabilité Mini-Bee	Qualité	Calculer la charge limite et appliquer le bon facteur de sécurité en bonne connaissance des matériaux	1	3	3,75
------------	--	---	---	----	--	---------	---	---	---	------

## 3. Partie technique

### 3.1 OBJECTIFS

L'objectif de cette partie est de dresser l'ensemble des spécifications techniques aussi bien pour l'avionique que pour la structure.

### 3.2 L'AVIONIQUE

#### *i. Périmètre de l'étude*

Cette étude du système d'avionique a été réalisée en prenant l'hypothèse que l'aéronef sera IFR. Il sera ainsi en mesure d'effectuer des vols VFR de jour et de nuit.

Si cette hypothèse devait changer, il est possible de réduire le coût en limitant les instruments obligatoires pour cette classe de vol.

Une planche de bord afin de visualiser l'avionique envisagée dans le cockpit est en cours de réalisation et sera présentée ultérieurement.

La partie pilote automatique n'a pas été étudiée, cette partie très spécifique fait l'objet d'études spécifiques.

L'avionique moteur n'a également pas été traitée, cependant dans le choix du moteur le critère d'une avionique compatible et disponible doit être pris en compte.

#### *ii. Explication sur le choix de l'instrumentation*

Le cockpit d'un aéronef doit répondre à des normes et contraintes d'exploitation stipulées dans le plan de certification.

Afin de certifier et exploiter dans les conditions d'évacuation sanitaire, le Mini-Bee doit disposer d'un système avionique exhaustif et répondant à des critères stricts.

Pour élaborer notre étude, nous avons ainsi rédigé sous forme d'un tableau les différents éléments obligatoires que nous devons retrouver dans le cockpit du Mini-Bee. Ce tableau est inséré dans le dernier paragraphe de cette étude sur l'avionique.

Nous avons ensuite contacté plusieurs fournisseurs d'avionique tel que Garmin afin de leur proposer notre projet dans le but d'obtenir un chiffrage global. N'ayant pas obtenu de réponse pour une solution « sur étagère », nous avons ainsi continué notre étude sur un chiffrage « sur mesure ». Chaque instrument sera ainsi acheté les uns après les autres et ne sera en aucun cas développé spécialement pour notre aéronef.

Pour ce faire, nous avons choisi un par un les éléments d'avionique à intégrer dans le cockpit en se reportant à la réglementation.

### *iii. Equipements d'avionique nécessaire pour le Mini-Bee*

L'aéronef doit être équipé de systèmes avioniques fiables, performants, robustes et simple d'utilisation pour les pilotes.

Ces systèmes sont décomposés en plusieurs parties :

#### *Avionique moteur*

Le pilote doit être capable de visualiser les paramètres moteurs. Le calculateur associé à ce besoin est le FADEC (Full Authority Digital Engine Control), qui est un système s'interfaçant entre le cockpit et le moteur d'aéronef. Il est ainsi nécessaire de prévoir un système de visualisation sous forme d'écran de ces informations dans le cockpit. Le moteur va ainsi envoyer les données (consommation, température moteur, régime etc.) au FADEC qui après analyse les retranscrira sur un écran dans le cockpit.



Figure 1 : affichage paramètres moteur



Figure 2 : Système FADEC

*EFIS (Electronic Flight Instrument System)*

L'EFIS permet au pilote d'afficher tous les paramètres nécessaires à la conduite du vol. Sur cet instrument le pilote va par exemple afficher l'altitude de l'aéronef, la vitesse, les moyens de radionavigation.



Figure 3 : Exemple d'EFIS (ici il s'agit d'un PFD)

### *Antennes, sondes et lumières*

En termes d'avioniques, il est également nécessaire de prévoir les différentes sondes pour alimenter en données les affichages. Par exemple pour le calcul de l'altitude, il est nécessaire d'avoir une prise de pression statique.

En termes d'éclairage, il faut également prévoir l'éclairage intérieur de la cabine, l'éclairage des instruments mais également l'éclairage extérieur (strobe, feux de position etc.)



Figure 4 : Feux anticollision avion

### *Radio*

Il est nécessaire également de prévoir un bloc radio. Ce bloc radio doit comprendre la possibilité de communiquer avec le sol via une radio VHF ou encore de se parler entre équipage via l'Intercom.



Figure 5 : Boîte de mélange radio

## *Secours*

En cas de problème avec l’affichage par l’intermédiaire du PFD, il faut prévoir une instrumentation minimum conventionnelles (cadrans). Cette avionique dit « avionique de secours » permettra au pilote de se dérouter en toute sécurité.



Figure 6 : Altimètre conventionnel

### *iv. Prix, masse, superficie de l’avionique*

Le prix total estimé par l’intermédiaire de cette étude est de 53 290€ TTC pour une instrumentation IFR et VFR de nuit. Dans l’hypothèse où le Mini-Bee serait uniquement VFR le coût est estimé à 39 665€. Ces chiffres ne sont pas définitifs et permettent d’obtenir un ordre de grandeur. En effet comparer les prix, se renseigner auprès de la concurrence (entreprises d’avionique), une commande de plusieurs lots sont quelques solutions pour diminuer le coût. La masse et superficie totale n’ont pas encore été calculées à ce jour.

### *v. Etude complète*

L’étude a été réalisée auprès du fournisseur « Air Team ». Le tableau ci-dessous reprend l’instrumentation obligatoire pour que le Mini-Bee devienne certifiable.

Equipements		VFR jour				VFR nuit				IFR				Prix unitaire
		Pilote 1	Pilote 2	Médecin	Prix total	Pilote 1	Pilote 2	Médecin	Prix total	Pilote 1	Pilote 2	Médecin	Prix total	
Ecran multifonction (MFD)	 <p><b>Produit</b> Aspen EFD1000H Pro Disponibilité: ⚠ Habituellement Code: 920-00003-112</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="2"/> pc ⚠</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 11 501,10 <b>Prix HT</b> € 23 002,20</p>	1	1	0	24 000 €	1	1	0	24 000 €	1	1	0	24 000 €	12 000 €
Cap magnétique	 <p><b>Produit</b> LightAircraft CM24 Disponibilité: ✓ En stock Code: CM24</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 95,60 <b>Prix HT</b> € 95,60</p>	1	0	0	100 €	1	0	0	100 €	1	0	0	100 €	100 €
Chronomètre	Fonction comprise dans l'écran multifonction	1	0	0	0 €	1		0	0 €	1	0	0	0 €	0 €
Cap stabilisé	Fonction comprise dans l'écran multifonction	0	0	0	0 €	1	1	0	0 €	1	1	0	0 €	0 €
Assiette	Fonction comprise dans l'écran multifonction	0	0	0	0 €	1	1	0	0 €	1	1	0	0 €	0 €
Indicateur de dérapage	Fonction comprise dans l'écran multifonction	1	1	0	0 €	1	1	0	0 €	1	1	0	0 €	0 €
Vitesse ascensionnelle	Fonction comprise dans l'écran multifonction	1	1	0	0 €	1	1	0	0 €	1	1	0	0 €	0 €

Altitude - pression	Fonction comprise dans l'écran multifonction	1	1	0	0 €	1	1	0	0 €	1	1	0	0 €	
Feu anticollision	 <p><b>Produit</b> Whelen A625 Disponibilité: ✓ En stock Code: 01-0770058-03</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 153,20 <b>Prix HT</b> € 153,20</p>	1	0	0	150 €	1	0	0	150 €	1	0	0	150 €	150 €
Eclairage pour les instruments et équipements de bord	 <p><b>Produit</b> UMA Disponibilité: ⚠ Habituel Code: 2-418-150W</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="3"/> pc ⚠</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 111,447 <b>Prix HT</b> € 334,34 <b>Prix TTC</b> € 404,55</p>	0	0	0	0 €	3	3	0	660 €	3	3	0	660 €	110 €

<p>Eclairage pour compartiment passager</p>	 <p><b>Produit</b> Whelen A300W28  Disponibilité: ⚠ Habituel  Code: 01-0770104-31</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="2"/> pc ⚠</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 263,2025  <b>Prix HT</b> € 526,41</p>	0	0	0	0 €	0	0	2	520 €	0	0	2	520 €	260 €
<p>Feu de navigation position (vert, rouge, blanc)</p>	 <p><b>Produit</b> Whelen 7111002  Disponibilité: ✔ En stock  Code: 01-0771110-02</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 202,50  <b>Prix HT</b> € 202,50</p>	0	0	0	0 €	3	0	0	600 €	3	0	0	600 €	200 €

<p>Deux phares d'atterrissage dont au moins un réglable</p>	 <p><b>Produit</b> Whelen PLED2T Disponibilité: <span style="color: orange;">▲</span> Habituel Code: 01-0771424-25</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="2"/> pc <span style="color: red;">▲</span></p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 240,9495 <b>Prix HT</b> € 481,90</p>	0	0	0	0 €	2	0	0	500 €	2	0	0	500 €	250 €
<p>Prise pression statique</p>	 <p><b>Produit</b> Winter Instruments 6 DSD Disponibilité: <span style="color: orange;">▲</span> Habituellement dis Code: 6014</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc <span style="color: red;">▲</span></p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 75,60 <b>Prix HT</b> € 75,60</p>	1	1	0	150 €	1	1		150 €	1	1	0	150 €	75 €

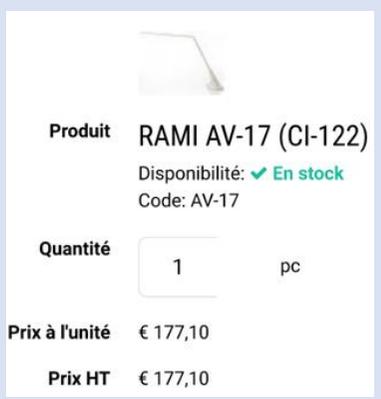
Prise Pitot	 <p><b>Produit</b> Garmin GAP 26 Disponibilité: <span style="color: orange;">▲</span> Habituel Code: 010-01074-60</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="2"/> pc <span style="color: red;">▲</span></p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 385,70 <b>Prix HT</b> € 771,40</p>	1	1	0	800 €	1	1	0	800 €	1	1	0	800 €	400 €
Vitesse de l'air indiquée	 <p><b>Produit</b> LightAircraft BK200-1A Disponibilité: <span style="color: green;">✓</span> En stock Code: BK200-1A</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 166,50 <b>Prix HT</b> € 166,50</p>	1	1		320 €	1	1		320 €	1	1		320 €	160 €
Température de l'air extérieur	 <p><b>Produit</b> Concorde TS-C10 Disponibilité: <span style="color: orange;">▲</span> Habituel Code: 5-0263</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc <span style="color: red;">▲</span></p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 650,40 <b>Prix HT</b> € 650,40</p>	1			650 €	1			650 €	1			650 €	650 €

Dispositif de secours de mesure de l'assiette	 <p><b>Produit</b> TruTrak Gemini PFD Disponibilité: <span style="color: orange;">▲</span> Habituellem Code: PFD</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc <span style="color: red;">▲</span></p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 1 168,20 <b>Prix HT</b> € 1 168,20</p>				0 €	1	1		2 400 €	1	1		2 400 €	1 200 €
Vitesse de l'air indiquée supplémentaire	Compris dans l'horizon de secours				0 €	1	1		0 €	1	1		0 €	
Vitesse ascensionnelle supplémentaire	Compris dans l'horizon de secours				0 €	1	1		0 €	1	1		0 €	
Radar météo	A priori non indispensable				0 €				0 €				0 €	
Interphone	 <p><b>Produit</b> Flightcom 403 Disponibilité: <span style="color: orange;">▲</span> Habituellem Code: 101-0243-10</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc <span style="color: red;">▲</span></p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 266,60 <b>Prix HT</b> € 266,60</p>	1	0	0	270 €	1	0	0	270 €	1	0	0	270 €	270 €

Extincteur à main cockpit	 <p><b>Produit</b> H3R C352TS Disponibilité: <span style="color: green;">✓ En stock</span> Code: C352TS</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="2"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 338,70 <b>Prix HT</b> € 677,40</p>	1			700 €	1			700 €	1		700 €	700 €
Extincteur à main soute	 <p><b>Produit</b> H3R C352TS Disponibilité: <span style="color: green;">✓ En stock</span> Code: C352TS</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="2"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 338,70 <b>Prix HT</b> € 677,40</p>			1	700 €			1	700 €			1	700 €
ELT (Emetteur Localisation d'Urgence)	 <p><b>Produit</b> Kannad INTEGRA AF Pack Disponibilité: <span style="color: green;">✓ En stock</span> Code: 1202502 <b>Programmation</b> Pays d'enregistrement: FRANCE Marques de l'avion: MINIBEE</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 669,50 <b>Prix HT</b> € 669,50</p>	1			700 €	1			700 €	1		700 €	700 €

VHF	 <p><b>Produit</b> Funkwerk ATR833 A OLED Disponibilité: <span style="color: green;">✔ En stock</span> Code: ATR833A-OLED</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="2"/> pc <span style="color: red;">▲</span></p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 1 322,80 <b>Prix HT</b> € 2 645,60</p>	1	1		2 600 €	1	1		2 600 €	1	1		2 600 €	1 300 €
Boite de mélange audio	 <p><b>Produit</b> Garmin GMA 340 Disponibilité: <span style="color: green;">✔ En stock</span> Code: 010-00152-11</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 1 502,50 <b>Prix HT</b> € 1 502,50</p>	1			1 500 €	1			1 500 €	1			1 500 €	1 500 €

<p>Transpondeur radar secondaire</p>	 <p><b>Produit</b> Trig TT21  Disponibilité: <span style="color: green;">✔ En stock</span>  Code: 00710-00</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 1 621,20  <b>Prix HT</b> € 1 621,20</p>	1	0	0	1 600 €	1	0	0	1 600 €	1	0	0	1 600 €	1 600 €
<p>Lampe torche</p>		0	0		0 €	1	1	1	300 €	1	1	1	300 €	100 €
<p>Détecteur CO2</p>	 <p><b>Produit</b> CO Guardian Aero 452  Disponibilité: <span style="color: orange;">⚠ Habituellemen</span>  Code: 452-101-011</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc <span style="color: red;">⚠</span></p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 514,70  <b>Prix HT</b> € 514,70</p>	1	0	1	1 040 €	1	0	1	1 040 €	1	0	1	1 040 €	520 €

Micro-casque pour communication	 <p>BOSE A20</p> <p>★★★★★</p> <p>Fabricant: <b>BOSE</b></p> <p>Date produit: 22/04/2020</p> <p>Certificat: FAA Epor (E133)</p> <p>État: Tout-terrain</p> <p>Disponibilité: <input checked="" type="checkbox"/> En stock</p> <p>Garantie: 60 Mois</p> <p>Prix TTC: <b>€ 1 010,35</b></p> <p>Prix HT: € 835</p> <p>Bluetooth: <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Oui</p> <p>Code: <input type="text"/></p>	1	1	2	4 000 €	1	1	2	4 000 €	1	1	2	4 000 €	1 000 €
Antenne VOR	 <p>Produit <b>RAMI AV-532</b></p> <p>Disponibilité: <input checked="" type="checkbox"/> En stock</p> <p>Code: AV-532</p> <p>Quantité <input type="text" value="1"/> pc</p> <p>Prix à l'unité € 124,60</p> <p>Prix HT € 124,60</p>	1	0	0	125 €	0	0	0	0 €	0	0	0	0 €	125 €
Antenne VHF	 <p>Produit <b>RAMI AV-17 (CI-122)</b></p> <p>Disponibilité: <input checked="" type="checkbox"/> En stock</p> <p>Code: AV-17</p> <p>Quantité <input type="text" value="1"/> pc</p> <p>Prix à l'unité € 177,10</p> <p>Prix HT € 177,10</p>	1	0	0	180 €	1	0	0	180 €	1	0	0	180 €	180 €

Antenne ETL	 <p><b>Produit</b> RAMI AV-300 Disponibilité: <span style="color: green;">✓ En s</span> Code: AV-300</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 269,60 <b>Prix HT</b> € 269,60</p>	1	0	0		1	0	0	270 €	1	0	0	270 €	270 €
Antenne transpondeur	 <p><b>Produit</b> RAMI AV-22 (CI-101) Disponibilité: <span style="color: green;">✓ En stock</span> Code: AV-22</p> <p><b>Quantité</b> <input type="text" value="1"/> pc</p> <p><b>Prix à l'unité</b> € 80,20 <b>Prix HT</b> € 80,20</p>	1			80 €	1			80 €	1			80 €	80 €
Porte carte pouvant être éclairé		0	0		0 €	0	0		0 €	1	1		0 €	
Equipement de communication bi directionnelle avec les hôpitaux et services de secours au sol		1	1	1	0 €	1	1	1	0 €	1	1	1	0 €	

Mesure de l'alimentation des instruments de bord		1			0 €	1			0 €	1			0 €	
Enregistreur de vol		1			0 €	1			0 €	1			0 €	
Trousse de premier secours		1			0 €	1			0 €	1			0 €	
Alternat radio sur les commandes de vol		1	1	1	0 €	1	1	1	0 €	1	1	1	0 €	
Avertisseur de proximité du sol (à confirmer)	 <p>FreeFlight Systems RA-4000 Radar Altimeter Sensor System</p> <p>From: \$8,489.00</p>	0	0	0	0 €	1	0	0	8 500 €	1	0	0	8 500 €	8 500 €
Indicateur ceinture et fumée		0	0	1	0 €	0	0	1	0 €	0	0	1	0 €	
Avionique moteur non étudié		0	0	0	0 €	0	0	0	0 €	0	0	0	0 €	
Pilote auto non étudié		0	0	0	0 €	0	0	0	0 €	0	0	0	0 €	
<b><u>TOTAL</u></b>		<b><u>39 665 €</u></b>				<b><u>53 290 €</u></b>				<b><u>53 290 €</u></b>				

### 3.3 LA STRUCTURE

#### *i. Périmètre de l'étude*

Le Mini-Bee est un aéronef réalisant beaucoup de cycles, il doit donc être résistant à la fatigue. Destiné au marché du secours aérien, le Mini-Bee doit pouvoir embarquer tout le matériel médical nécessaire ainsi que l'équipage et le blessé. Afin de garder une consommation raisonnable, le poids de la structure doit être minimisé. De plus, l'aéronef doit être capable de se poser dans tout type d'endroit, une résistance aux impacts est ainsi nécessaire.

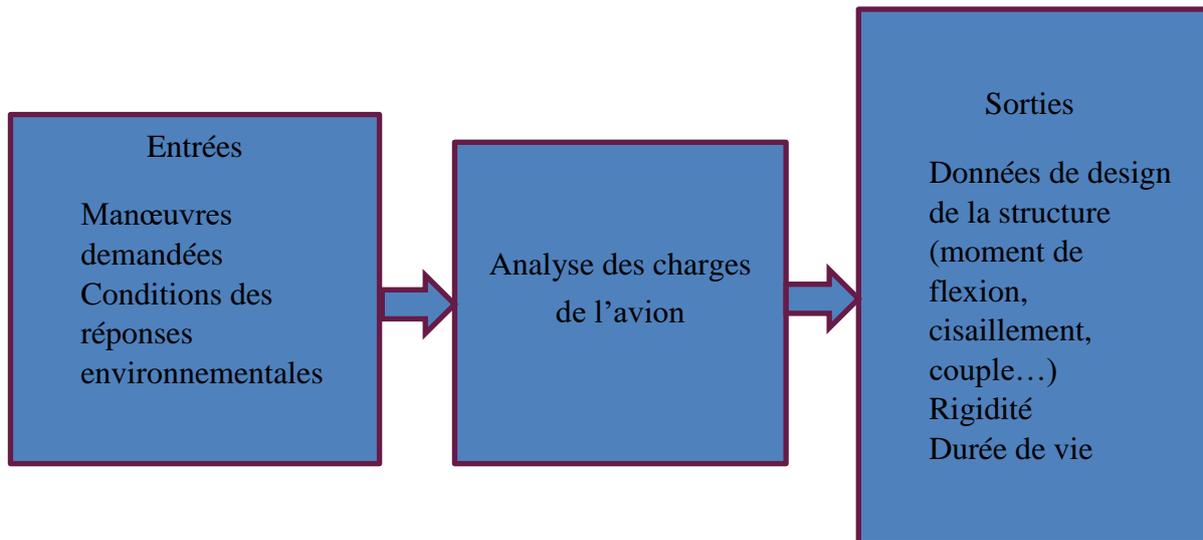
La modularité de l'aéronef entraîne un choix de matériaux particulièrement résistant à la déformation afin de ne pas engendrer d'écarts entre les modules lors de l'assemblage après maintenance.

Le processus de réalisation d'une structure est le suivant :

- Spécifications techniques
- Pré-étude et Pré-dimensionnement
- Choix du procédé et des matériaux
- Etudes et Dimensionnements
- Définition Moules et Outillages
- Réalisation prototype
- Qualification
- Production série
- Tests et contrôles de sortie

Pour cette étude, nous agissons sur les trois premières étapes.

## ii. Dimensionnement de la structure



L'aéronef est supposé contenir plus de charge que la quantité spécifiée lors de sa vie, un certain nombre de réserves doivent être dédiées à une défaillance complète de la structure.

On applique donc une marge qui permet au pilote de dépasser le chargement limite en cas d'urgence sans altérer la sécurité du pilotage.

Le chargement limite est le chargement maximum anticipé, l'aéronef doit supporter le chargement limite sans avoir de déformation permanente.

Le chargement ultime engendre un facteur de sécurité, dépendant des paramètres du matériaux. L'aéronef doit supporter la charge ultime sans rupture durant trois secondes au moins.

*Charge ultime = Charge limite x facteur de sécurité*

Si la résistance est démontrée par des tests dynamiques simulant les conditions de charges réelles, la limite des trois secondes ne s'applique pas.

Durant sa vie, l'aéronef subit deux types de chargements. Les chargements dû aux commandes : les manœuvres au sol et en vol ; et les chargements des conditions environnementales : les rafales, les impacts dans le sol.

Bien que l'aéronef supporte ses charges limites et ultimes, il doit être démontré qu'il peut supporter sa charge réelle durant toute sa vie. Un chargement répété modifie et dégrade les propriétés des matériaux et peut conduire à une défaillance, même à un niveau de contrainte faible. Ce phénomène de fatigue entraîne des fissures et la propagation de ces fissures est dommageable pour la structure. Les forces statiques affaiblissent la rigidité et la dureté des matériaux. Les conditions environnementales engendrent de la corrosion, l'humidité et la

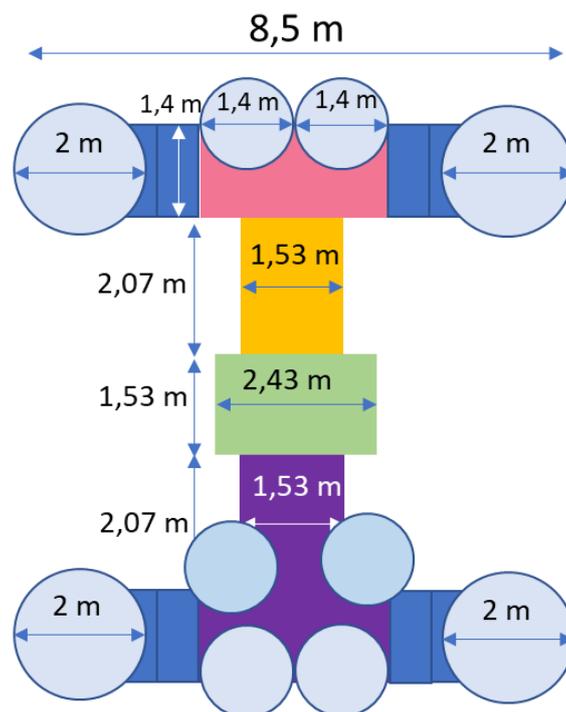
chaleur peuvent aussi altérer la structure. Les dommages accidentels tels que les chocs et les impacts que pourra subir l'aéronef sont à prendre en compte lors du choix des matériaux.

La conformité aux exigences de résistance et de déformation doit être démontrée pour chaque condition de charge critique. Il est possible d'utiliser une analyse structurelle afin de le prouver seulement si la structure testée est conforme aux structures pour lesquelles l'expérience a montré la fiabilité de l'analyse. Dans d'autres cas, des tests de charge justificatifs doivent être effectués. Les tests dynamiques, y compris les tests structurels en vol, sont acceptables si les conditions de charges nominales ont été simulées.

### iii. Solutions techniques

#### Structure

Le structure du Mini-Bee est composée de huit modules : quatre modules d'aile, le cockpit où se trouve le poste de pilotage, la cabine échangeable selon le besoin, la queue où se trouve le moteur principal et le nez de l'aéronef.



Afin de réaliser la structure la plus adaptée au besoin de l'aéronef, différents critères sont à prendre en compte comme les critères techniques tels que les propriétés mécaniques, l'endurance, ou la rigidité. Les critères technologiques concernant la capacité de mise en

œuvre des matériaux doivent être également étudiées tout comme les critères économiques avec les coûts de matières premières et de procédures d'implémentation. Enfin, il est nécessaire de prendre en compte les critères stratégiques comme les aspects commerciaux.

### *Les cadres*

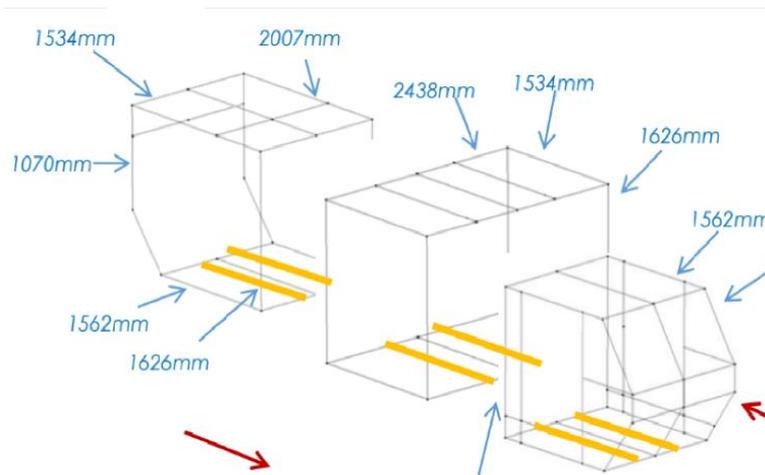


Figure 8 : Schéma des cadres du Mini-Bee

### *Ailes*

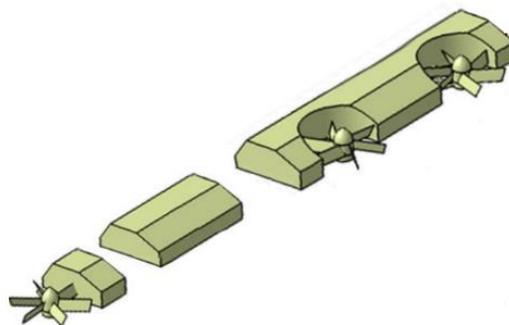


Figure 9 : Schéma des ailes du Mini-bee

Les cadres sont en aluminium Al 7075 T6. Cet aluminium fait partie de la famille 7000 comportant d'excellentes propriétés mécaniques. Le traitement thermique T6 permet de maximiser ces propriétés mécaniques mais la résistance à la corrosion reste médiocre. Un facteur de sécurité de 1,15 est à appliquer au chargement limite pour calculer le chargement ultime.

Contrainte à la rupture en traction	572 MPa
Contrainte à la rupture en fatigue	159 MPa
Contrainte à la rupture en cisaillement	331 MPa
Elongation à la rupture	11

### *Les jointures de cadres*

La technique de soudage FSW permet de souder des alliages d'aluminium alors que c'est impossible avec les procédés comme le TIG ou MIG. Cette application n'engendre pas de fissures à chaud ou de porosité et n'entraîne qu'une faible déformation des joints. Le remplacement des rivets par des soudures FSW sur les voilures permettrait de gagner jusqu'à 20% de la masse totale de la voilure. Cette technique est au stade de développement avec des projets en partenariat avec des industriels. Stelia Aerospace développe le projet OFFSET subventionné à 50% par la DGAC.

### *Le revêtement*

La structure du Mini-Bee est composée de matériaux composites. La principale motivation d'utilisation des matériaux composites par la réalisation de la structure du Mini-Bee est le gain de masse apporté tout en conservant d'excellentes caractéristiques mécaniques.

Les matériaux composites présentent aussi une quasi-insensibilité à la fatigue en comparaison des matériaux métalliques qui nécessitent en maintenance un suivi régulier de la propagation des fissures de fatigue dans les pièces de structure.

De plus, les matériaux composites ne sont pas sujet à la corrosion. Cependant, ils nécessitent une bonne isolation électrique lors des assemblages avec des pièces en alliage léger entre le composite et le métal pour éviter la corrosion galvanique de l'aluminium pour les fibres de renfort en carbone.

Les techniques de fabrication des matériaux composites permettent l'obtention de formes complexes directement par moulage avec possibilité de réaliser en une seule pièce un ensemble, qui en métal nécessiterait plusieurs sous-éléments. Cela permet de réduire les coûts d'assemblage de façon importante.

Du fait de la conductivité électrique non suffisante des matériaux composites, une protection particulière doit être utilisée pour protéger les structures contre les foudroiements. L'ajout d'un grillage de bronze à la surface de la structure permet d'écouler les charges électriques accumulées lors d'un foudroiement de la structure en vol.

Des chocs peuvent entraîner des délaminages menant à une réduction des performances mécaniques de façon non négligeable. L'ajout de mousse lors les phases d'assemblage permettrait de protéger certaines zones.

Le matériau composite identifié par Technoplane est le suivant :

Renfort : Fibre de carbone

La fibre de carbone possède une forte résistance en traction et en compression et une faible densité.

Contrainte à la rupture	3200 MPa
Module de Young	230 GPa
Elongation	1,3%
Densité	1,75

Comparaison avec d'autres renforts :

Renfort	Aramide	Silicium	Bore	Carbure de silicium
Contrainte à la rupture en traction	2900 MPa	3000 MPa	3500 MPa	4000 MPa
Module de Young	130 GPa	70 GPa	400 GPa	450 GPa
Elongation	2,3%	0,7%		0,7%
Densité	1,45	2,2	2,6	3,4

La fibre de carbone garde une bonne résistance à la rupture avec une faible densité, ce renfort semble donc le plus avantageux.

Matrice : Résine époxy

La résine époxy possède des très bonnes propriétés mécaniques et une excellente adhérence aux métaux.

Contrainte à la rupture en traction	60 à 80 MPa
Contrainte à la rupture en flexion	150 MPa

#### *iv. Poids de chaque module*

Le poids des différents modules est précisé dans le tableau suivant.

Ailes	120 kg (pour les 4 ailes)
Nez	45 kg
Queue	135 kg
Cabine	79 kg
Cockpit	61 kg

#### *v. Efforts structurels et coût*

Les calculs des efforts sur la structure et les trains d'atterrissage sont en cours d'élaboration. De plus, nous avons identifié des fabricants de matériaux composites dans le but de réaliser une estimation financière.

## **4. Conclusion**

Le travail effectué depuis le début du projet montre bien la complémentarité de l'aspect technique avec le management de projet. En effet, sans des méthodes de travail strictes et rigoureuses, le projet n'aurait pu avancer de la manière souhaitée. Certaines parties n'ont pas pu être traitées faute de temps mais des recherches ont commencé et ces tâches sont en cours de réalisation. Cette étude a permis de chiffrer avec plus de précisions toute la partie avionique du tableau de bord.