

Mini-Bee

Rapport de projet 4A



Encadrants :

GOTTIS Gaëtan
DUTERTRE Xavier

Elèves :

LESUEUR Théo
LOÏODICE Lucas
NICOLAS Doriann
N'KAOUA Joffrey
VALLIER Stéphane

Promo 4A AERO

23/04/2019

Remerciements

Avant de débiter ce rapport, nous tenons à remercier Technoplane de nous avoir donné la chance d'évoluer sur un projet aussi intéressant et complexe que celui du Mini-Bee. En particulier, nous souhaitons remercier M. GOTTIS, notre tuteur, dont la disponibilité et les conseils nous ont été d'une grande aide tout au long de ce projet et M. DUTERTRE, dont les retours lors de la soutenance intermédiaire nous ont permis de donner une nouvelle impulsion au projet, à travers de nouveaux objectifs.

De même, nous voulons remercier toutes les personnes avec qui nous avons échangé dans le cadre du projet Mini-Bee. L'entreprise TechnoMAP, en particulier Messieurs Fabien KENDZIOR, Christophe VERGNEAULT et Tony FOURNIER, avec qui nous avons pu échanger dans le cadre d'une réunion. Messieurs WEBER et GALABERT, responsables de la filière aéronautique à l'ESTACA, pour leur présence lors des soutenances. Enfin, nous voulons remercier les étudiants de l'ENSEA pour leur collaboration lors de ce projet.

Table des matières

Remerciements.....	2
Résumé.....	1
Introduction.....	2
I. Contexte du Mini-Bee	3
II. Gestion de projet	3
Méthodologie et démarche.....	3
Présentation des outils.....	4
1. Charte de projet :	4
2. Diagramme de Gantt :	4
3. Tableau de suivi des heures de travail :.....	4
4. Compte rendu de réunions tuteurs et partenaires :	5
5. Création d'outils de partage des informations :	5
III. Implémenter un nouveau mode de pilotage	6
Scénarios de vol	6
Base de notre étude SysML	7
1. Diagramme de bloc interne :	7
2. Diagramme de cas d'utilisation :	7
Diagrammes comportementaux (activité/séquence/état)	7
1. Séquences de vol :	7
2. Vol de croisière, détection de panne :	7
3. Panne moteur :	8
4. Panne volant :	8
IV. Modéliser une nouvelle configuration cockpit	9
Etude de veille de la configuration cockpit des concurrents.....	9
1. Aéronef :	9
2. Automobile :	10
Ergonomie du cockpit	11
1. Position du pilote :	11
2. Position des commandes :	11
Le tableau de bord	12
1. Instruments de vol :	12
2. Ecrans LCD tactiles :	14
Nomenclature de composants présents dans le cockpit	14
V. Réalisation d'un dossier de sûreté de fonctionnement	15

Introduction et contextualisation	15
Analyse fonctionnelle externe	15
Analyse fonctionnelle interne.....	16
1. Diagramme SADT système volant :	16
2. Diagramme SADT sous-système volant :	16
3. Diagramme SADT sous-système boutons et palettes :.....	17
Analyse prévisionnelle des risques	17
AMDEC	17
Arbre de défaillance.....	18
Identification des risques	18
VI. Réunion TechnoMAP	19
Retour d'expérience	20
Conclusion	21
Bibliographie	22
Annexe 1 : Charte de projet	23
Objectifs fixés en début de projet :.....	23
Objectifs refixés à mi projet :	26
Annexe 2 : Diagramme de Gantt	27
Annexe 3 : Tableau de suivi des heures de travail.....	31
Annexe 4 : Scénarios de vol	32
Annexe 5 : Diagramme Bloc Interne	33
Annexe 6 : Diagramme cas d'utilisation.....	34
Annexe 7 : Diagramme de séquence Vol de croisière	35
Annexe 8 : Diagramme de séquence Panne rotors verticaux	36
Annexe 9 : Diagramme de séquence Panne rotors tilts.....	37
Annexe 10 : Diagrammes Panne volant	38
1. Diagramme de séquence	38
2. Diagramme d'activité	39
Annexe 11 : Nomenclature des composants.....	40
Annexe 12 : Légende SADT.....	41
Annexe 13 : Analyse Prévisionnelle des Risques	42
Annexe 14 : AMDEC	43
Annexe 15 : Arbre de défaillances	47

Résumé

Au cours de notre projet, nous avons été amenés à développer différents axes, toujours centrés sur notre objectif : **proposer une nouvelle configuration du poste de pilotage**. En intégrant un volant comme commande de vol primaire, principale. Le but de cette nouvelle configuration est de rendre le pilotage le plus accessible à tous en pilotant le Mini-Bee à l'aide d'un volant, de pédales et d'autres éléments du tableau de bord en complément du volant. Si nous nous sommes dans un premier temps orientés vers une approche systémique en langage SysML, un problème de synergie avec une autre équipe étudiante nous aura permis d'évoluer vers de nouveaux objectifs. Le prototypage du volant et du cockpit en général est alors devenu notre axe d'étude principal, avec de nouveaux livrables. Nous avons donc réalisé une modélisation 3D en CAO et un dossier de sûreté de fonctionnement. Dans ce rapport, nous fournirons l'ensemble des livrables permettant de valider les critères de succès de nos différents objectifs.

Abstract

During this project, we were asked to develop different axes, always focused on our main objective: **to suggest a new configuration of the cockpit**. By integrating a steering wheel as the primary flight control. The aim of this new configuration is to make the pilotage as simple as possible, for everyone. We will be able to control the aircraft like a simple car. In addition, pedals, joysticks and other dashboard elements will be added. If we have initially moved towards a systemic approach in SysML language, a problem of synergy with another student team has allowed us to evolve towards new objectives Prototyping the steering wheel and cockpit in general then became our main focus of study, with new deliverables. We therefore carried out a 3D CAD modelling and a functional safety case study. In this report, we will provide a set of deliverables to validate the success criteria of our various objectives.

Mots-clés/Keywords :

Français : Mini-Bee, SysML, Volant TechnoMAP, SDF, Prototype CATIA, Gestion de projet.

English: Mini-Bee, SysML, TechnoMAP steering wheel, Operational Security, CATIA prototype, Project Management.

Introduction

Le Mini-Bee est une fusion complexe entre un avion, un hélicoptère et un quadricoptère. D'un point de vue concurrentiel, il possède des caractéristiques très avantageuses. En effet, le Mini-Bee bénéficie de la vitesse d'un avion, d'un coût inférieur à celui d'un hélicoptère et de la stabilité des quadricoptères.

Notre projet consiste à proposer une nouvelle configuration du poste de pilotage, en intégrant un volant comme élément principal de la partie commande de vol. Des pédales, joysticks et éléments du tableau de bord seront utilisés en complément du volant.

Pour cela, nous avons réalisé au premier semestre une approche systémique SysML en collaboration avec l'ENSEA pour formaliser les cas d'usage en commande de vol, séquences, états, flux du système afin de fournir les données d'entrées (input) adéquates et cohérentes avec les aspects aéronautiques et propulsion.

Au deuxième semestre, nous nous sommes intéressés au prototypage du cockpit en concevant sous CATIA le cockpit du Mini-Bee en y intégrant les composants de TechnoMAP que sont le volant et les pédales. Nous avons ensuite effectué une approche SDF (Sûreté de fonctionnement). Nous avons effectué les analyses de risques, de défaillance et la maîtrise des risques. Nous nous sommes focalisés sur le volant de TechnoMAP (système et sous-système).

Dans ce rapport, nous allons tout d'abord vous présenter la méthodologie ainsi que la démarche utilisée afin de mener à bien ce projet tout au long de l'année, ensuite nous vous ferons part de l'organisation du projet, enfin nous vous présenterons les résultats ainsi que les analyses effectuées.

I. Contexte du Mini-Bee

Dans le contexte de la mondialisation, les grandes métropoles sont de plus en plus peuplées et le trafic automobile devient de plus en plus congestionné. Afin de remédier à ce problème pour les usagers, la mise en service d'appareils tels que le Mini-Bee permet d'éviter ces ralentissements et embouteillages.

Le Mini-Bee a été principalement conçu pour être utilisé sous 3 formes : Taxi volant, Ambulance, Transport de passagers VIP.

Toutefois, il peut également être utilisé comme véhicule école, le Mini-Bee étant doté d'un système de double commandes, comme nous le verrons par la suite dans le projet.

Nous passons donc d'un mode de pilotage automobile (deux dimensions) à un mode de pilotage plus complexe (trois dimensions). Des pédales, joysticks et éléments du tableau de bord seront également utilisés en complément du volant. Le but de cette nouvelle configuration est de rendre le pilotage le plus simple possible pour toute la population. Le mini-Bee sera piloté comme une voiture, mais avec une dimension supplémentaire : l'altitude.

II. Gestion de projet

Méthodologie et démarche

A l'aube de notre future carrière d'ingénieurs, qui nous amènera sans doute à gérer des projets d'ampleur, il est important pour nous de savoir comment gérer un projet. Cette gestion de projet vise à organiser le bon déroulement des différents objectifs de notre projet afin de nous permettre d'accomplir notre mission principale. Il est démontré qu'un ingénieur dédie au minimum 20% de son temps à la gestion de son projet et qu'elle est souvent cruciale à la réussite ou à l'échec du projet.

Notre démarche a donc consisté à répondre aux objectifs suivants du cursus ESTACA 4^{ème} année en matière de gestion de projet :

- **Organiser** : apprendre à travailler en équipe pour répondre à un cahier des charges.
- **Acquérir de la méthode** : apprendre à planifier un travail sur du long terme – adopter une démarche structurée – savoir synthétiser.
- **Professionaliser** : développer les compétences associées au management de projet et au domaine technique.

Nous avons donc mis en place cinq outils de gestion de projet :

1. Charte de projet en début et à la moitié du projet
2. Diagramme de Gantt
3. Suivi des heures de travail prévues et réelles
4. Compte rendu de réunions tuteurs et partenaires
5. Création d'outils de partage des informations

Nous détaillerons dans la partie suivante comment nous avons suivi et mis en place chaque outil et ce qu'il nous a apporté d'un point de vue gestion de projet.

Présentation des outils

1. Charte de projet :

La charte de projet ([Annexe 1](#)) est probablement l'outil sur lequel nous nous sommes rattachés le plus. En effet, il s'agit d'une fiche qui définit chaque objectif du projet en termes d'exigences, de livrables et de critères de succès. Elle est le fil conducteur de notre projet, c'est donc la première tâche que nous avons effectuée à la mi-octobre 2018. Nous nous sommes souvent rattachés à elle pour ne pas dévier de nos missions. Elle reprend donc les 8 objectifs de notre projet à savoir :

Pour la première partie du projet d'octobre à mi-janvier :

- I. Modéliser une nouvelle configuration cockpit
- II. Implémenter et tester un nouveau mode de pilotage
- III. Implémenter et tester un dispositif pour le contrôle en cas d'urgence
- IV. Collaborer avec le partenaire industriel TechnoMAP
- V. Collaborer avec ENSEA
- VI. Mener à bien la gestion de projet

À la suite de la soutenance et du point sur nos objectifs à mi-parcours, deux nouveaux objectifs ont été fixés. Cela est dû au retard pris par l'équipe d'étudiants de l'ENSEA qui ne nous permettait pas de continuer sur les objectifs fixés dans la première partie du projet. Ces deux objectifs sont donc :

- VII. Concevoir et modéliser un cockpit ergonomique
- VIII. Proposer un prototypage et un moyen de test des commandes de vol

La charte de projet est aussi l'outil qui nous a permis de dire lorsqu'un objectif était atteint grâce aux livrables et critères de succès mentionnés pour chaque d'entre eux.

2. Diagramme de Gantt :

Un des outils indispensables à la gestion de projet est aussi le diagramme de Gantt ([Annexe 2](#)). Ce dernier évalue la planification chronologique et l'état (non commencé, en cours et terminé) de chaque objectif et des tâches qui en découlent. Les dates de début et de fin prévisionnelles et réelles de chaque tâche y ont été mentionnées. Le retard et les causes de ce dernier y apparaissent également. La visualisation graphique nous permet d'avoir un aperçu sur l'ensemble de l'année des jalons. Pour finir, les périodes d'examens de vacances et d'indisponibilité sur le projet y ont été indiquées afin de planifier au plus juste.

Cet outil a été réalisé par nos soins sur Excel et s'est vu être modifié à plusieurs reprises, selon les ajustements d'objectifs réalisés à mi-parcours mais aussi face aux imprévus (retard, tâches non prévues...).

3. Tableau de suivi des heures de travail :

Nous avons aussi mis en place cet outil communément réalisé ([Annexe 3](#)). Dans le monde professionnel, il permet d'estimer le nombre de personnes à prévoir pour chaque tâche et donc le budget alloué en termes de ressources humaines. Le suivi réel des heures permet par la suite de savoir si les prévisions ont été surestimées ou sous-estimées et donc de répercuter cette expérience sur les projets futurs.

De notre côté, nous avons aussi comptabilisé les heures prévues et réelles sur chaque tâche. Nos indicateurs sur l'ensemble du projet qui résultent de ce suivi sont les suivants :

- Nombre d'heures prévues par personne : 100h
- Nombre d'heures prévues au total : 415h

- Nombre d'heures réelles par personne : 110h
- Nombre d'heures réelles au total : 460h

On constate bien sûr, un décalage entre les heures prévues et réelles ce qui est souvent le cas dans les projets. En revanche, nous pensons que cela a été maîtrisé puisque cet écart représente un décalage de 45 heures soit seulement 10%.

Il a été aussi important pour nous de nous adapter au départ de notre camarade Lucas LOIODICE (en semestre à l'étranger en Chine dans la deuxième partie de l'année) pour passer d'une planification des tâches de 5 à 4 personnes.

4. Compte rendu de réunions tuteurs et partenaires :

Lors de ce projet nous avons eu l'occasion d'avoir plusieurs retours sur notre travail de la part de nos tuteurs Xavier DUTERTRE et Gaëtan GOTTIS. Après chaque réunion téléphonique nous avons essayé de faire un rapport écrit retraçant les points évoqués pendant ces réunions, les échéances futures et toute autre information utile à ce projet.

Nous avons également eu deux réunions téléphoniques avec les étudiants de l'ENSEA et une réunion avec le partenaire industriel de Technoplane : TechnoMAP, fabricant du volant et des pédales du Mini-Bee. Le bilan de cette réunion sera détaillé par la suite. Ces réunions étaient importantes pour notre projet, puisqu'elles faisaient partie de nos critères de succès pour les objectifs IV et V.

Rédiger des comptes rendus de nos réunions nous a été utile pour nous rappeler à posteriori les points évoqués lors de ces réunions. Nous avons aussi pris l'initiative d'enregistrer des audios de l'ensemble de ces réunions afin de pouvoir revenir sur une information qui aurait pu nous échapper.

5. Création d'outils de partage des informations :

Cette étape, bien que minime dans la gestion de projet, nous a semblé importante à mentionner dans la mesure où plusieurs équipes d'étudiants ou d'industriels ont travaillé ou travailleront sur le Mini-Bee. Nous avons donc créé d'une part une conversation de messagerie instantanée entre les membres de notre équipe et d'autre part avec les membres de l'équipe ENSEA afin de pouvoir s'échanger des informations relatives au projet. De plus, l'ensemble de nos fichiers et documents ont été déposés et répertoriés sur le serveur collaboratif de Technoplane. Nous avons notamment veillé à ce que nos fichiers CATIA soient dans une version ouvrable et modifiable pour les futurs utilisateurs.

Tous ces outils nous ont donc permis de bien planifier nos tâches et accomplir nos objectifs dans les temps. Nous pouvons donc dès à présent nous avancer sur l'objectif VI (Mener à bien la gestion de projet) que nous considérons avoir accompli.

III. Implémenter un nouveau mode de pilotage

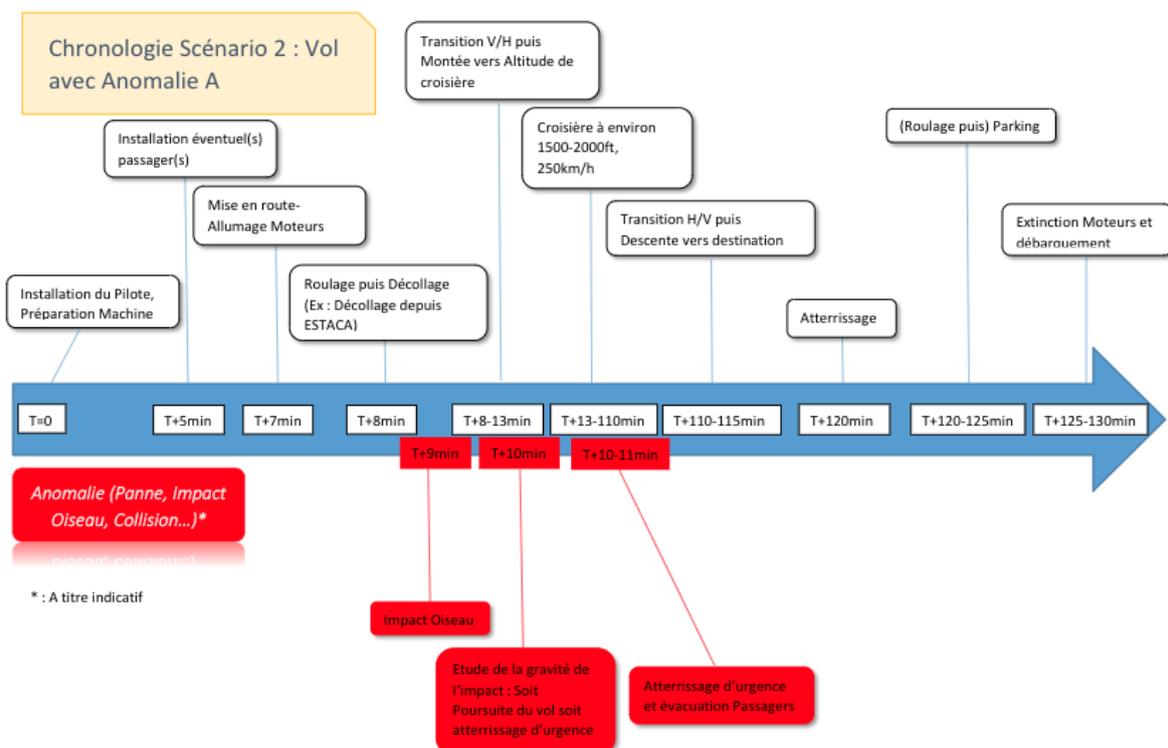
Afin de réaliser tous nos diagrammes SysML, il a fallu dans un premier temps définir l'ensemble des éléments par lesquels passaient les flux d'informations. Parmi les ensembles recensés, on trouve entre autres les pédales, le tableau de bord, le volant, les différents types de moteur ou encore le FCU. On retrouve également le pilote car il va agir sur le volant, les boutons et les pédales.

De même, une fois les composants recensés, nous avons dû nous documenter afin de mieux comprendre leurs mécanismes de fonctionnement. A titre d'exemple, nous avons appris grâce à divers échanges avec TechnoMap que le volant fonctionnait à l'aide d'un bus CAN, et que les pédales étaient gérées par un système de variation de résistance selon leur position.

Scénarios de vol

Afin de réaliser notre approche systémique, nous avons dans un premier temps identifié les différents scénarios possibles pouvant survenir au sol ou en vol et pour chaque phase de vol. Par exemple, nous avons imaginé un cas où le volant tombe en panne en vol de croisière. Ainsi, lors d'une panne de volant survenant en croisière, le pilote dispose du joystick pour contrôler le Mini-Bee. Nous savons que le volant peut tomber en panne, cette panne a été analysée.

Nous avons donc identifié tous les scénarios possibles selon chaque phase de vol ([Annexe 4](#)). Cependant, lors d'une phase de vol, une anomalie peut survenir. Ci-après, nous avons modélisé un exemple de diagramme représentant la chronologie du déroulement d'un vol avec anomalie survenant au milieu de la phase étudiée : l'anomalie étudiée est un impact d'oiseau survenant en croisière.



Base de notre étude SysML

1. Diagramme de bloc interne :

Une fois l'ensemble de ces informations assimilées, nous avons pu débiter la réalisation de nos diagrammes en SysML. Pour commencer, nous avons réalisé le diagramme de bloc interne ([Annexe 5](#)) relatif aux commandes de vol, nous permettant de synthétiser l'ensemble des connaissances acquises.

2. Diagramme de cas d'utilisation :

Le diagramme de cas d'utilisation ([Annexe 6](#)) est un second outil que nous avons utilisé afin d'analyser le système. Il nous a permis d'en avoir une approche globale et de lister les fonctions qu'il était capable d'effectuer. L'important pour nous était de recenser l'ensemble des fonctions qui entraient dans le périmètre de notre étude en amont du contexte. En effet, on remarque que les acteurs secondaires que l'on peut identifier sur l'annexe sont : le volant, les pédales, le joystick, le tableau de bord et le FCU. Nous restons donc dans le périmètre de notre étude.

Si nous avons choisi de réaliser ces diagrammes de façon prioritaire, c'est avant tout pour nous permettre de structurer notre étude. En effet, les diagrammes de bloc interne et de cas d'utilisation ont été les bases de notre approche systémique et ont permis d'obtenir l'ensemble des données nécessaires pour décrire les différentes séquences de vol.

Diagrammes comportementaux (activité/séquence/état)

Une fois ces diagrammes réalisés, nous sommes entrés dans une seconde phase, où nous avons réalisé les diagrammes d'état, puis les diagrammes de séquence des différents scénarios de vol.

1. Séquences de vol :

Pour s'assurer que les résultats obtenus via l'approche systémique sont cohérents et complets, nous avons dû recenser les différentes séquences de vol existantes et juger de l'intérêt de leurs représentations en SysML.

Les différentes séquences de vol retenues sont :

- Le vol de croisière
- Le Vertical Take Off/ Vertical Landing
- La panne volant
- Les pannes moteurs verticaux/tilts

D'autres séquences de vol, comme « caractéristiques du vol modifiées dû au givre », ont été abordées lors de plusieurs réunions mais nous avons jugé que leur réalisation n'était pas pertinente pour le moment.

2. Vol de croisière, détection de panne :

En analysant le diagramme de séquence vol de croisière ([Annexe 7](#)), on peut constater qu'il repose sur une boucle mettant en avant le rôle primordial du détecteur de panne. En effet, tant que le Mini-Bee est démarré, le détecteur de panne vérifie l'état des moteurs. Selon le résultat obtenu, on bascule sur deux séquences de vol différentes.

- Dans le cas où il n'y a **pas de panne**, le FCU envoie un signal qui permet d'allumer les LED en vert, synonyme de non-panne. Le pilote peut alors effectuer toutes les actions relatives au pilotage de l'appareil, que ce soit au niveau de la rotation du volant ou de la pression exercée sur les pédales. Le FCU se charge alors de transformer ces données en une vitesse de rotation des moteurs tilts et c'est ce qui permet finalement d'assurer le pilotage du Mini-Bee.

- Dans le cas où il y a une **panne**, on identifie le lieu de la panne puis on passe à la séquence du cas de panne correspondant.

3. Panne moteur :

Le Mini Bee possédant 4 moteurs verticaux et 4 moteurs tilts, nous avons dû effectuer une disjonction de cas lors de la réalisation des diagrammes de séquence panne moteur : c'est le mode dégradé.

Nous avons donc réalisé deux diagrammes de séquence sur les différents cas de panne moteur possibles : panne rotors verticaux ([Annexe 8](#)) et panne tilts ([Annexe 9](#)). Les principales informations contenues dans un diagramme de séquence sont les messages échangés entre les lignes de vie, présentés dans un ordre chronologique. Ainsi, contrairement à d'autres diagrammes, le temps y est représenté explicitement par une dimension (la dimension verticale) et s'écoule de haut en bas. Une ligne de vie est représentée par un rectangle, auquel est accroché une ligne verticale pointillée.

Rotors verticaux

En cas de panne de N rotors verticaux en croisière, le FCU affiche un message d'alerte indiquant que N rotors verticaux sont en panne. Ensuite vient l'activation du correcteur de dissymétrie (via l'interface FCU) qui va jouer sur la vitesse des autres rotors verticaux afin de maintenir l'aéronef en équilibre. Une fois la stabilisation effectuée, la procédure "Atterrissage d'urgence" est lancée et le mode "Vertical Landing" est activé, l'appareil utilisera les tilts encore en état de fonctionnement, afin d'assurer un atterrissage vertical d'urgence.

Rotors tilts

Dans le cas d'une panne de N tilts, le processus est le même mais la correction de dissymétrie s'effectue à l'inverse avec les rotors verticaux. Toutefois, si la panne a lieu alors que le Mini-Bee est en vol rectiligne horizontal en palier, alors les tilts devront effectuer la rotation afin de passer à l'état vertical, afin que les rotors verticaux (étant fixes) puissent stabiliser et équilibrer l'appareil.

4. Panne volant :

Pendant toute la durée d'un vol, du décollage jusqu'à l'atterrissage, une panne sur le volant peut survenir. Même s'il est présent deux fois dans le cockpit (un pour le pilote et un pour le copilote), il est nécessaire de prévoir un système de contrôle annexe. Ce système de contrôle est un joystick permettant de piloter le Mini-Bee en roulis et en tangage. Ce dispositif permet ainsi au pilote de poser le véhicule au sol. Le principe utilisé est explicité grâce au diagramme de séquence Panne volant ([Annexe 10.1](#)).

Ainsi, en cas de panne du volant, le pilote (ou copilote) contrôle la descente du Mini-Bee en utilisant la puissance des moteurs tilts. En effet, le pilote stabilise le véhicule à l'aide de tous les rotors, du joystick et des pédales puis une fois stabilisé, il éteint les rotors verticaux pour contrôler la descente avec les pédales et donc la puissance des rotors tilts. On retrouve notamment ce processus sur le diagramme d'activité Panne volant ([Annexe 10.2](#)).

IV. Modéliser une nouvelle configuration cockpit

Etude de veille de la configuration cockpit des concurrents

1. Aéronef :

Les véhicules personnels volants tel le Mini-Bee seront certainement amenés à se démocratiser dans la prochaine décennie. Cependant, il existe d'ores et déjà de nombreux prototypes de véhicules futuristes conçus par des entreprises plus ou moins grandes et reconnues. Dans le but de proposer une nouvelle configuration du cockpit du Mini-Bee, nous avons choisi de nous inspirer de concepts en faisant une brève étude concurrentielle. Cette partie a donc pour but de présenter nos travaux. Nous avons dans un premier temps regardé ce qui se faisait en terme de véhicule volant. Ci-dessous les illustrations non exhaustives :



1. ICON A5¹



2. PAL-V Liberty²



3. AeroMobil³

Nous avons remarqué que nombre de ces concepts présentent un volant comme élément de commande principal. Certains d'entre eux comme la configuration de gauche de l'ICON-A5 et l'AeroMobil ont un joystick/manche soit comme élément principal de commande soit comme élément secondaire. Pour ce qui est du contrôle de la poussée, on constate souvent la présence d'une manette des gaz. Il est à noter qu'en fonction des concepts proposés, on constate que les commandes de vol ne sont pas forcément doublées pour le passager « Co-pilote » : c'est par exemple le cas dans le concept AeroMobil. Le doublage des commandes est donc probablement un des choix cruciaux à faire en fonction de l'utilisation et de la réglementation du concept. Pour finir, nous soulignerons que tous les modèles ont un affichage des informations de vol (altitude, vitesses, horizon artificiel, cap...) à la fois sur un écran et sur des cadrans classiques pour le cas de panne de l'écran.

1. <https://www.iconaircraft.com/a5>

2. <https://www.pal-v.com/en/>

3. <https://www.aeromobil.com/>

2. Automobile :

Dans un deuxième temps, nous avons voulu aussi regarder les modèles de habitacles de concepts-car que l'on peut retrouver dans les salons automobiles. Ci-dessous des exemples illustrés :



1. Cockpit 2025 par Continental



2. i-COCKPIT par Peugeot



3. Byton



4. Honda AC-X Concept

L'étude de ce genre de concept car est intéressante du point de vue de l'affichage des informations et du design. En effet l'application du Mini-Bee n'étant pas la même, on ne peut pas espérer un degré d'automatisation de la conduite comme une voiture. Il est toutefois important de noter la présence de grands écrans tactiles ainsi que d'un système de « glass cockpit » qui permet l'affichage d'informations directement sur le pare-brise. Malgré le degré d'automatisation, sur certains de ces véhicules on constate toujours la présence d'un volant intégrant des boutons de contrôle et ayant la capacité de se rétracter. Pour finir, le design de ces concepts est plus dans la mouvance du minimalisme avec des lignes très élancées et épurées et des matériaux sobres.

Nous avons donc grâce à ces deux types de comparaisons, vu les tendances en terme de commandes de vol, d'affichage des informations et de design. Il est toutefois important de noter que ce ne sont que des éléments de comparaison concurrentielle. Cette comparaison peut à la fois amener à essayer de reproduire le concept de concurrents mais aussi à vouloir prendre un contre-pied et intégrer des nouveaux concepts de conduite innovants afin de pouvoir se démarquer de la concurrence. Nous verrons dans la suite de ce rapport, les choix que nous avons faits pour l'aménagement de ce nouveau cockpit du Mini-Bee.

Le joystick

Les commandes de vol du Mini-Bee comprennent aussi un joystick. Ce dernier est utilisé en cas de panne du volant. Le pilote peut ainsi contrôler le véhicule sans risque. Il y en a deux (un pour le pilote et un pour le copilote) et ils sont placés entre les deux sièges. Il est placé de manière à être facilement préhensible.

Sur l'image ci-après, on peut observer et donc vérifier que le mannequin attrape correctement le volant et le joystick sans effectuer de contorsions.



Les pédales

La position choisie pour les pédales du Mini-Bee ne respecte pas celle de référence. Cela est dû au fait que ce sont des pédales de voiture (fournies par TechnoMAP) et non des palonniers. Il a donc besoin de moins de place pour les actionner en toute liberté. Ainsi, leur position a été choisie afin de permettre au pilote de les atteindre sans qu'elles ne touchent ni le plancher ni la paroi du fond.

Le tableau de bord

Le tableau de bord permet au pilote d'obtenir toutes les informations dont le pilote a besoin à propos du vol. A ce titre, différents éléments le composent.

1. Instruments de vol :

Afin de montrer que les instruments de vol choisis pour le Mini-Bee étaient pertinents, nous avons voulu les comparer à ceux utilisés dans l'aéronautique actuelle et en particulier sur des hélicoptères légers.

Hélicoptère léger

Nous avons choisi d'observer les instruments de vol utilisés sur l'hélicoptère léger R44 Raven II du constructeur Robinson pour notre comparaison. Celui-ci nous permettra de montrer que nous avons prévu l'emplacement pour tous les équipements nécessaires au bon déroulement d'un vol. Dans le rectangle blanc sur l'image ci-dessous, on peut voir les instruments de vol suivants :

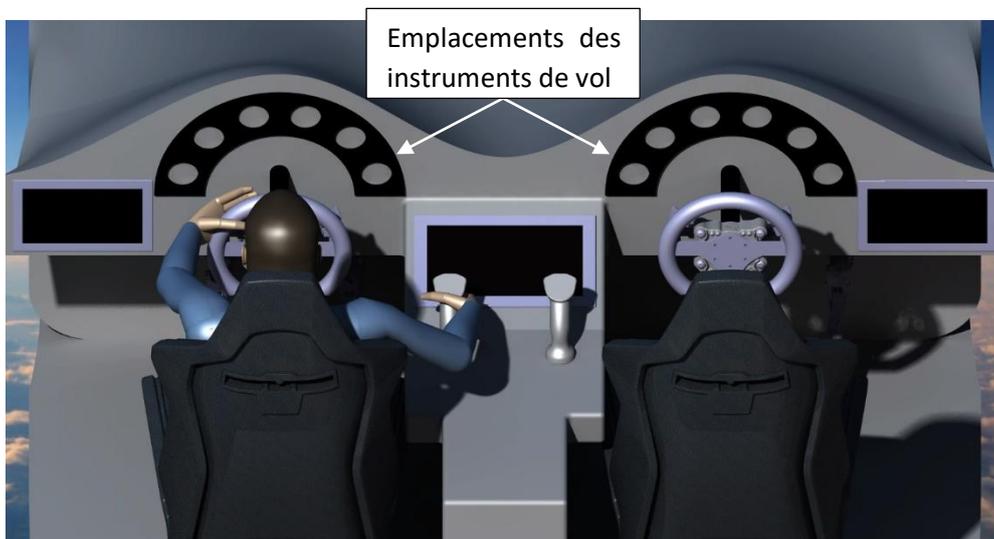


Mini-Bee

Les équipements présents dans le cockpit du Mini-Bee seront doublés afin de permettre le vol en toute sécurité en cas de perte d'un ou plusieurs de ces instruments. On les retrouvera sur les emplacements prévus (entouré en blanc ci-dessus). Ils sont au nombre de six et font partie de la liste minimale des équipements fournis par Technoplane :

- L'altimètre
- L'accéléromètre
- L'horizon artificiel
- Le compas
- L'indicateur de virage
- L'anémomètre

Parmi ces équipements, seuls l'accéléromètre et le compas ne sont pas présents dans le cockpit du R44 Raven II. Cependant, les dimensions d'un accéléromètre et d'un compas étant similaires à celles des autres équipements, cela ne posera pas de problèmes pour les intégrer au cockpit du Mini-Bee.



2. Ecrans LCD tactiles :

Comme on peut le voir sur l'image du cockpit du Mini-Bee vue précédemment, trois écrans LCD tactiles sont présents. Deux sur les côtés pour le pilote et le copilote et un au centre. On peut imaginer afficher des informations complémentaires sur le vol grâce à ces écrans comme la consommation de carburant, l'état des moteurs, la navigation (plan de vol, cartes géographiques, météo, espaces aériens, relief, trafic aérien, caméras...). Les deux écrans sur les côtés respectifs gauche et droite peuvent fonctionner indépendamment, c'est-à-dire qu'un pilote peut consulter la navigation sur son écran tandis que le copilote consulte les paramètres moteurs par exemple.

Quant à l'écran central, il peut afficher d'autres paramètres comme les checklists, la configuration de l'appareil, à savoir l'état des moteurs/tilts (position verticale ou horizontale), l'état des batteries, des moteurs thermiques, etc.

Nomenclature de composants présents dans le cockpit

Le prototypage de notre cockpit sur CATIA nous a amené à intégrer une multitude de composants. Il était donc important de répertorier l'ensemble de ces derniers dans une nomenclature. Le tableau ci-après ([Annexe 11](#)) fait apparaître la quantité de chaque composant dans le cockpit. Tous les composants relatifs au volant sont donc doublés pour la commande co-pilote. De plus, des informations sur les constructeurs, la masse et le prix estimatif de chaque composant y sont inscrites. Des estimations de masses et de prix d'achat unitaire ont donc dû être réalisées lorsque nous n'avions pas les informations. Nous y avons intégré tous les éléments de la liste minimale d'équipements autrement dit les éléments obligatoires pour la certification de l'aéronef. La structure du tableau de bord faite par nos soins sur CATIA y a été également intégrée.

COCKPIT-MINI BEE : NOMENCLATURE DE COMPOSANTS						> NON DEFINI		
SOUS ENSEMBLE	NOM	QUANTITE	EXEMPLE DE FABRIQUANT	MASSE unitaire (kg)	MASSE total (kg)	Prix estimatif unitaire €	Prix estimatif €	Lien site web
VOLANT	VOLANT	2	TECHNO MAP	1,588	3,176	200	400	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
VOLANT	BOUTTONS POUISOIR	6	TECHNO MAP			25	150	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
VOLANT	Mollette Trim lacet	2	TECHNO MAP			25	50	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
VOLANT	Palettes	4	TECHNO MAP			30	120	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
VOLANT	LEDS	8	TECHNO MAP			15	120	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
PEDALES	PEDALES	4	TECHNO MAP			5,248	20,992	80
JOYSTICK	JOYSTICK	2	APEM	1,53	3,06	180	360	http://files.danfoss.com/documents/520L0826.pdf
DASH-BOARD	LCD SCREEN BIG	1		5	5	200	200	
DASH-BOARD	LCD SCREEN SMALL	2		2	4	100	200	
DASH-BOARD	Pannel switch	1	LOGITECH	5	5	100	100	https://www.logitech.fr/fr/products/flight/flight-sim
ELEMENTS DE LA MEL	Variomètre	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	170	340	https://www.flightillusion.com/product-category/stand
ELEMENTS DE LA MEL	Altimètre	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	200	400	https://www.flightillusion.com/product-category/stand
ELEMENTS DE LA MEL	Accéléromètre (3 axes)	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	200	400	https://www.flightillusion.com/
ELEMENTS DE LA MEL	ROF: Horizon artificiel	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	240	480	https://www.flightillusion.com/product-category/stand
ELEMENTS DE LA MEL	Compas	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	220	440	https://www.flightillusion.com/
ELEMENTS DE LA MEL	Air speed	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	200	400	https://www.flightillusion.com/
STRUCTURE COCKPIT	STRUCTURE COCKPIT	1	ESTACA	130	130	2600	2600	CF VUE CATIA
AMENAGEMENT	SIEGES	2		15,89	31,78	150	300	
RADIO	Bloc radio	1	FLIGHT ILLUSION	5	5	400	400	https://www.flightillusion.com/product-category/stand
RADIO	Casques	2	David Clark	1	2	400	800	https://www.googleadservices.com/pagead/ack?sa=L&
FCU	Computer	1	FLIGHT ILLUSION	5	5	3000	3000	https://www.flightillusion.com/
TRANSPONDEUR	TRANSPONDEUR	1	FLIGHT ILLUSION	5	5	2000	2000	https://www.flightillusion.com/
TOTAUX					230,8		13580	

Nomenclature de composants du cockpit

Après sommation, nous estimons une masse totale de **230 kilogrammes** et un prix total brut d'achat de composants de **13580 euros**. Une marge d'erreur conséquente doit être prise en compte étant donné le grand nombre d'estimations faites. Il faudra également rajouter à ce prix les coûts de montage et certainement le coût de tous les éléments de connexion (fils, CAN...), les matériaux d'isolation et autres équipements de confort (air conditionné, etc). Nous avons volontairement pris uniquement les équipements relatifs au pilotage du véhicule. Pour aller plus loin, nous imaginons que cette nomenclature pourrait par la suite servir de base pour faire une nomenclature de décomposition d'assemblage ou de gestion de la production.

V. Réalisation d'un dossier de sûreté de fonctionnement

Introduction et contextualisation

A la suite d'une soutenance intermédiaire fixée à mi-parcours du projet, nous nous sommes rendus compte que nous avons négligé l'aspect sécuritaire du système. En effet, implémenter un nouveau mode de conduite implique de prendre en compte les risques éventuels liés à son implémentation et à l'utilisation des différents composants le constituant.

C'est dans cette optique que nous avons voulu effectuer une étude afin d'attester des aspects sécuritaires de nos choix. Notre dossier de sûreté de fonctionnement comporte une analyse fonctionnelle, une analyse préliminaire des risques, une AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) ainsi qu'un arbre de défaillance.

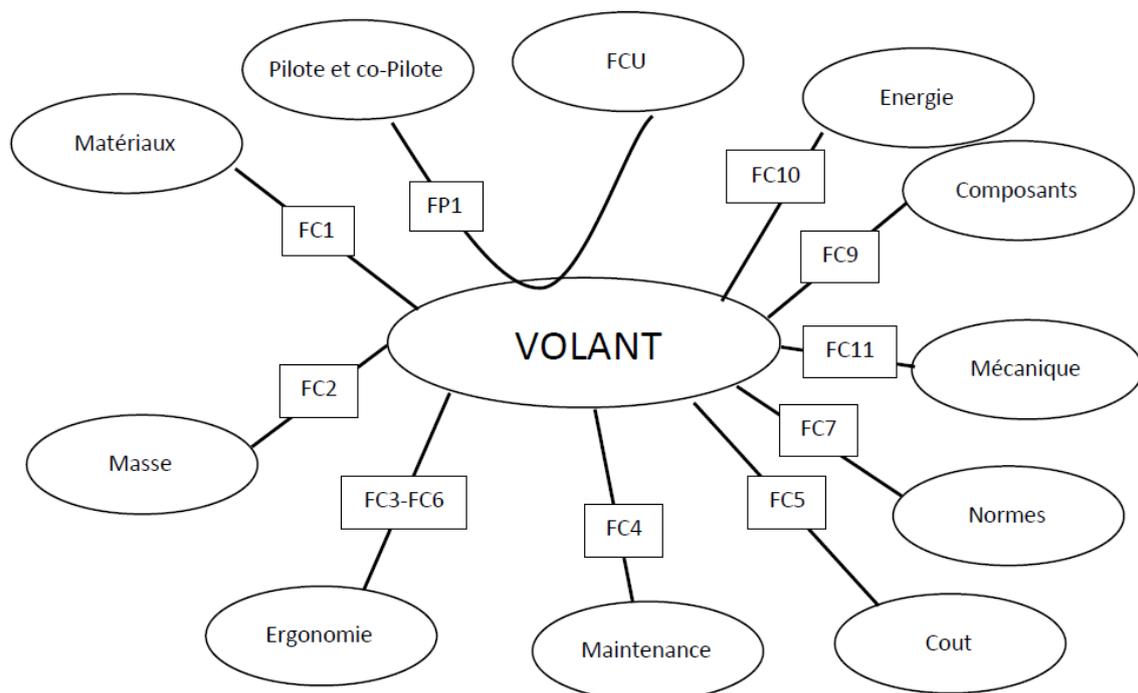
Le système étudié dans le cadre de ce dossier est le volant. Il était donc intéressant d'effectuer une nouvelle analyse fonctionnelle, centrée sur le volant, plutôt que de reprendre le diagramme des cas d'utilisation réalisé en SysML qui concernait les fonctions du Mini-Bee dans sa globalité.

L'analyse fonctionnelle du système volant s'est divisée en deux sous-parties :

- Externe, via le graphe des interactions
- Interne, via un diagramme SADT (Structured Analysis and Design Technics)

Analyse fonctionnelle externe

Le graphe des interactions présenté ci-dessous a été réalisé pour les phases de vie « conception » et « utilisation » :



Les différentes fonctions, principales et contraintes, ont été définies dans le tableau ci-dessous :

Phase de vie utilisation:	Phase de vie conception:
FP1: Le volant doit transmettre les commandes du pilote au FCU	FC4: Le volant doit permettre la maintenance simplifiée
FC1: Le volant doit être résistant	FC2: Le volant doit avoir une masse optimale
FC3: Le volant doit être réglable en position	FC5: Le coût du volant doit être maîtrisé
FC10: Le volant doit être alimenté en électricité	FC7: Le volant doit respecter les normes de sécurité
FC11: Le volant doit retranscrire la conduite	

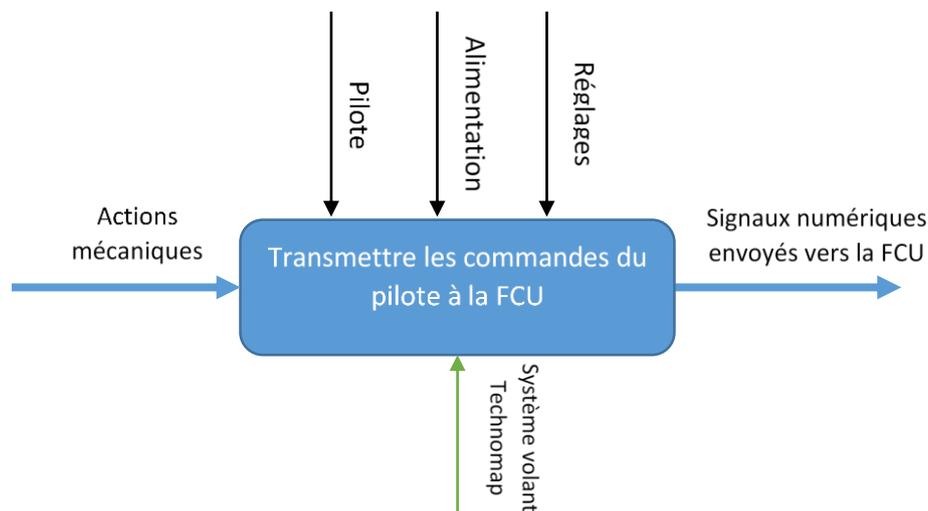
Analyse fonctionnelle interne

Pour l'analyse fonctionnelle interne, nous avons réalisé un diagramme SADT. C'est un diagramme qui permet d'identifier les flux d'informations d'un système et les éléments qui peuvent agir sur celui-ci.

Il a donc fallu dans un premier temps représenter les flux globaux du système, puis effectuer une nouvelle analyse pour chaque sous-système possible.

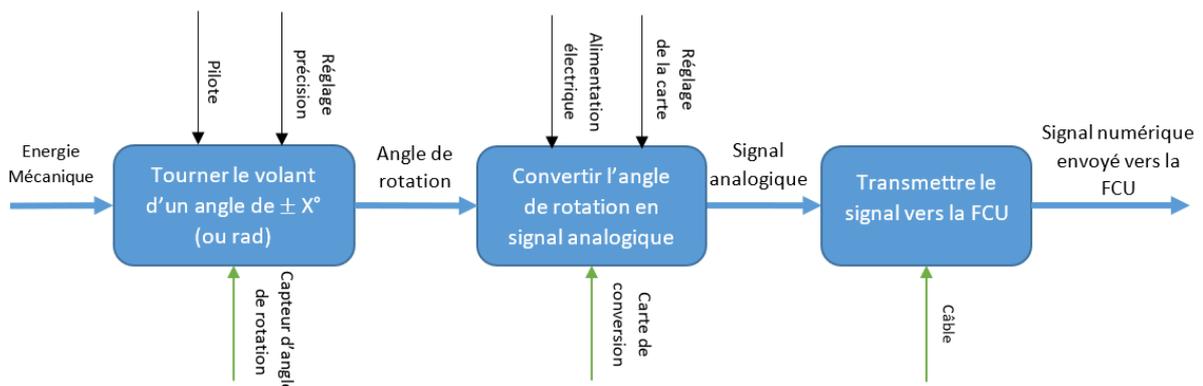
Une légende descriptive des différents éléments sera fournie en annexe ([Annexe 12](#)).

1. Diagramme SADT système volant :



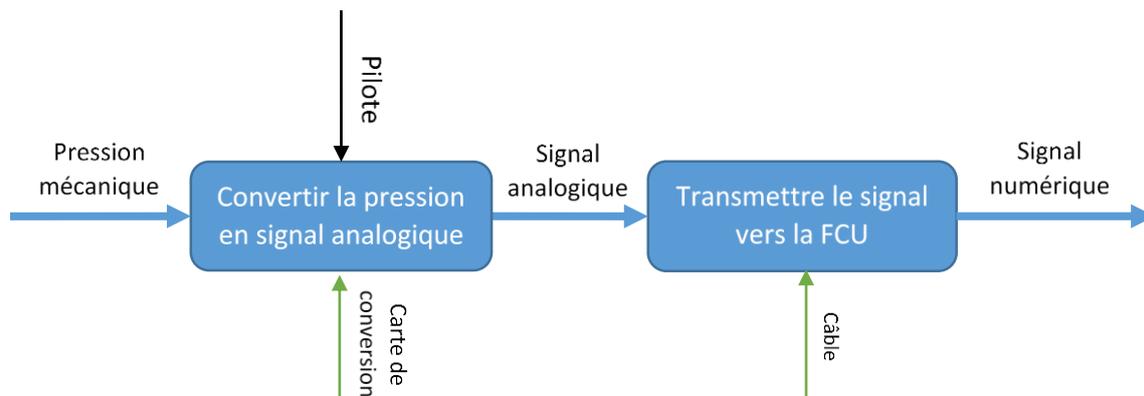
Le volant permet de transmettre les commandes du pilote à la FCU à travers son utilisation et celle des boutons. Le pilote exerce une action mécanique (pression ou angle de rotation) qui va être convertie en signaux numériques qui vont ensuite être envoyés vers la FCU. Le système volant (ensemble volant) se compose de 2 sous-systèmes dont le comportement diffère, le sous-système volant (pièce volant) et le sous-système boutons/palettes.

2. Diagramme SADT sous-système volant :



Lorsque le pilote désire tourner le Mini-Bee, il exerce une rotation sur le volant (droite ou gauche). Cet angle de rotation va ainsi être converti en signal analogique. Ce dernier va être transformé sous la forme d'un signal numérique qui va être envoyé vers la FCU pour exercer la commande désirée.

3. Diagramme SADT sous-système boutons et palettes :



Les boutons et les palettes se comportant de la même façon, nous avons décidé de les représenter par un seul et même diagramme. Le pilote exerce une pression mécanique sur un bouton. Cette pression va ensuite être convertie en signal analogique via l'intermédiaire d'une carte de conversion. Ce dernier va être transformé en signal numérique qui sera ensuite dirigé vers la FCU pour exercer la commande souhaitée.

Analyse prévisionnelle des risques

Afin de réaliser notre étude analyse des risques préliminaires ([Annexe 13](#)), nous sommes partis de la fonction principale ainsi que des fonctions contraintes. A partir de ces fonctions, nous avons identifié les effets de leur perte et/ou d'une dégradation de celles-ci sur le sous-système et l'appareil ainsi que l'équipage et les passagers. La gravité de ces effets a été mesurée grâce à une échelle. Pour finir, nous avons attribué à chaque évènement une probabilité d'évènement par heure de vol.

Pour une meilleure lisibilité, le tableau sera fourni en annexe, avec une légende des différentes échelles utilisées.

AMDEC

Dans la réalisation de notre AMDEC ([Annexe 14](#)), nous avons notamment consacré plusieurs lignes à l'étude des boutons. Si analyser tous les boutons peut sembler redondant, il nous a semblé judicieux de le faire car les boutons ont, malgré le fait qu'ils soient identiques, des niveaux de gravité différents de par leurs fonctions qui sont elles aussi différentes. Par exemple, la perte du bouton permettant la transition des moteurs de l'horizontale à la verticale est bien plus impactant que celle du bouton réglant l'affichage du tableau de bord.

Cependant, on peut porter un regard critique sur certains éléments constituant l'AMDEC. La criticité est calculée en réalisant le produit de la gravité, de l'occurrence et de la détectabilité. Or, l'occurrence d'évènements dramatiques comme l'électrocution du pilote est minime, de ce fait cet évènement se retrouve avec une criticité inférieure à d'autres situations a priori moins dangereuses. L'analyse de l'AMDEC seule ne suffit donc pas à mettre en évidence les risques les plus critiques. Cela est principalement dû aux choix des échelles utilisées, trop subjectives pour une étude théorique.

Pour remédier à cela, nous nous sommes documentés sur les différentes normes en vigueur, et notamment sur la norme DO-178, dont les critères d'évaluation sont fournis en annexe. L'utilisation de cette norme, en plus de notre propre évaluation de la criticité, nous a semblé judicieuse afin de confronter notre résultat à une norme utilisée dans l'aéronautique. Même si elle s'applique de manière initiale à l'avionique uniquement, son échelle peut être utilisée pour évaluer la gravité d'autres systèmes.

Arbre de défaillance

Nous avons réalisé l'arbre de défaillance ([Annexe 15](#)) de notre système au niveau équipements. Notre système, dans sa configuration la plus classique, ne possède pas de système de redondance et c'est la raison pour laquelle nous n'avons pas de porte logique « et ».

Identification des risques

Dans le cadre de notre étude, nous avons dû dans un premier temps nous documenter afin de connaître les différentes réglementations en vigueur pour notre aéronef : fusion complexe d'un avion et d'un multicoptère. Ainsi, nous nous sommes renseignés sur :

- La FAA AC 25 (catégorie avion)
- La FAA AC 27 (catégorie « rotorcraft »)
- Le règlement de l'OSAC (périodicité de maintenance)

Les moyens de réduction de danger que nous avons choisis sont donc axés sur 2 problématiques majeures :

- Assurer la longévité de chaque composant et son bon fonctionnement.
- Permettre au pilote d'avoir des éléments de secours lui donnant la possibilité d'assurer la sécurité du vol en cas de problème.

Concernant la première problématique, un élément qui est apparu comme étant primordial afin d'assurer la sécurité de fonctionnement des différents composants du système est la redondance des différents circuits électriques reliant le volant et les boutons à la FCU. De plus, nous avons relevé certaines contraintes devant être prises en compte lors de l'élaboration du cahier des charges telles que le choix des matériaux de chaque composant, la masse du volant et de l'arbre de transmission, des dispositifs de protection contre les incendies etc...

Quant à la deuxième problématique, elle nous a permis d'ajouter une solution de secours en cas de dysfonctionnement de composants primordiaux, voire de panne. Outre la redondance mise en place pour chaque composant jugé important, nous avons pu attester de l'intérêt d'un joystick de secours à utiliser en cas de panne volant. C'est une démarche que nous avons par ailleurs adoptée lors de l'étude systémique sur le cas de panne volant.

VI. Réunion TechnoMAP

Dans la continuité du projet, nous avons décidé d'organiser un entretien téléphonique avec l'entreprise TECHNOMAP, afin de leur présenter le travail effectué sur la modélisation du cockpit, en ayant utilisé leurs composants, donc le volant ainsi que les pédales. Nous leur avons également envoyé, suite à cet entretien, la fiche listant les composants afin que l'entreprise puisse compléter les parties manquantes comme les prix et la masse de leurs équipements.

La réunion s'est effectuée via Skype, en conférence de groupe. Les membres présents étaient :

- Fabien KENDZIOR
- Christophe VERGNEAULT
- Tony FOURNIER
- Morgan LIMARE

Lors de cette réunion, nous avons pu aborder plusieurs points. Tout d'abord, nous avons parlé du volant avec l'éventuelle intégration d'un Airbag, mais ce dernier étant prévu initialement pour de la compétition, le volant était donc non conçu (pensé) pour abriter un airbag. De plus, l'ajout de cet élément coûte cher en surcote. On peut aussi rajouter que si le pilote porte un casque, un airbag dans le volant peut devenir dangereux : risques de chocs.

Vient ensuite l'aspect volumique : si un airbag est intégré dans le volant, les palettes ne pourront plus être présentes derrière ce dernier. Les membres de l'équipe TechnoMAP nous ont donc informé, suite à ces contraintes, que l'airbag ne pourrait pas être contenu dans le volant, mais pourrait en revanche s'intégrer dans le tableau de bord ou le cockpit lui-même.

Nous nous sommes ensuite renseignés sur les pédales, dont nous avons donc appris le fonctionnement : celles-ci sont gérées par une variation de résistance suivant leur position. Une mesure est ainsi effectuée suivant cette position. Deux pistes sont présentes avec un potentiomètre. Il n'y a pas de signal CAN pour les pédales.

Tout au long de l'entretien téléphonique, les membres de TechnoMAP ont bien insisté sur le fait qu'ils étaient en mesure de s'adapter face à nos demandes, ou contraintes sur les composants. En effet, le volant étant initialement issu d'une application navale, la possibilité de le moduler leur est tout à fait possible. Le support du volant peut également être adaptable : les boutons affichés peuvent faire office de démonstrateur, par exemple. Enfin, le bouton du trim lacet, aussi connu sous le nom de compensateur de direction, peut être modifié, voire remplacé. Un bouton rotatif avec 3 crans (- ; Neutre ; +) a donc été envisagé.

A la fin de cet entretien, les membres de l'équipe TechnoMAP nous ont fait part de leurs remarques concernant notre présentation. Ils nous ont bien précisé qu'il fallait que nous nous adaptions avec ce qu'ils proposent (catalogue). De plus, comme énoncé précédemment, nous sommes à tout moment en mesure de les contacter afin d'effectuer des requêtes, remarques, en particulier au niveau de la conception du volant ou des autres composants.

Nous pouvons également définir nos besoins en composants et définir les fonctionnalités du Joystick car TechnoMAP pourrait être en mesure de nous les fournir.

Finalement, une remarque valorisante de leur part faisant part de l'intégration satisfaisante et intéressante de leurs composants a été évoqué.

Retour d'expérience

Travailler dans le cadre du projet Mini-Bee aura été pour nous une opportunité d'accroître nos connaissances théoriques et techniques, puisque ce projet nous a permis de travailler dans plusieurs domaines. En effet, entre CAO, programmation SysML et gestion de projet, la richesse des domaines abordés nous aura aidé à développer une certaine polyvalence. Cette richesse nous aura même permis d'inscrire notre projet de sûreté de fonctionnement dans notre prototypage du volant, ajoutant un nouveau livrable à notre étude.

De plus, s'inscrire dans un tel projet est professionnalisant, puisque nous avons été amenés à interagir avec des industriels, leur fournir des livrables et collaborer avec des étudiants d'autres écoles. Nous souhaitons par ailleurs une nouvelle fois remercier M. GOTTIS, avec qui nous échangeons hebdomadairement, pour sa disponibilité tout au long du projet.

Le projet arrivant à son terme, une des thématiques primordiales que nous tenons à souligner est la gestion de projet. En effet, pour assurer un bon déroulement du projet, la mise en place d'outils comme le diagramme de Gantt, les chartes de projet et les comptes rendus de réunions nous ont permis d'être réguliers dans le travail fourni malgré les imprévus. De ce fait, le passage du groupe de 5 à 4 étudiants au second semestre, et la gestion du planning étudiants (examens), sont des éléments que nous aurons sus maîtriser.

Conclusion

Cette étude réalisée tout le long de l'année nous a permis de répondre à la problématique de notre sujet : « Proposer une nouvelle configuration du cockpit » ainsi que « Implémenter un nouveau mode de conduite incluant un volant ». Pour ce faire, nous avons fixé plusieurs objectifs qui ont été détaillés tout le long de ce rapport. Nous pouvons dire que l'ensemble des critères de succès de ces objectifs ont été accomplis. Il en résulte d'une part, une nouvelle modélisation du cockpit CATIA intégrant de nouveaux composants dont le volant et d'autre part, une définition complète du nouveau système de conduite tant en situation normale qu'en situation d'urgence. Seul l'objectif de tester notre nouveau mode de pilotage n'a pas pu être atteint. Nous avons souligné durant le rapport le manque de synergie entre notre groupe et celui des étudiants de l'ENSEA, cela ne nous a cependant pas importuné puisque nous avons pu nous fixer de nouveaux objectifs à mi-parcours afin de remédier à cette problématique.

Principalement par manque de temps, nous avons aussi quelques remords, notamment sur la conception en réalité virtuelle ou en impression 3D d'un prototype physique de notre cockpit. En effet, la conception en réalité virtuelle demande l'utilisation de logiciels complexes pour pouvoir passer d'une CAO à une maquette virtuelle. Pour ce qui est de l'impression 3D, une conception de CAO particulière est nécessaire sur laquelle nous ne sommes pas encore formés.

Comme détaillé un peu plus haut, cette expérience nous a permis de consolider ou d'approfondir nos compétences théoriques et pratiques. Si nous pouvons retenir trois mots clés définissant ce projet sur ce point, ils seraient sûrement : **Organiser - Professionnaliser – Concevoir.**

Pour finir, nous souhaiterions ouvrir sur la suite que nous pourrions donner au projet. Nous pensons notamment à la reprise de notre travail par une nouvelle équipe ESTACA à la rentrée 2019. Le sujet serait, la réalisation physique de notre prototype de cockpit soit en impression 3D soit en collaborant avec TechnoMAP pour le développement des composants. Il a été également évoqué lors de la réunion avec TechnoMAP le fait de présenter au public le projet lors du salon aéronautique du Bourget 2019 qui aura lieu en Juin. Nous serions ravis de voir cette idée aboutir jusqu'au bout et ne manquerons pas, si nous le pouvons, de passer sur le stand Technoplane pour voir le rendu.

Bibliographie

Règlementation :

- https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_27-1B_.pdf
- [http://www.regles-osac.com/osac/fascicules.nsf/b2916504c56ce9d0c12566c0005a60d0/46fa00a9c912e91bc1256f11002738fc/\\$file/p422110.pdf](http://www.regles-osac.com/osac/fascicules.nsf/b2916504c56ce9d0c12566c0005a60d0/46fa00a9c912e91bc1256f11002738fc/$file/p422110.pdf)
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/DO-178>

Etude concurrentielle :

- <https://www.iconaircraft.com/a5>
- <https://www.pal-v.com/en/>
- <https://www.aeromobil.com/>
- <https://www.peugeotnepal.com/brand-and-technology/concept-cars/peugeot-instinct-concept/the-responsive-i-cockpit.html>
- [https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Technology-Trends/Holistic-Human-Machine-Interface-\(1\)/Cockpit-2025](https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Technology-Trends/Holistic-Human-Machine-Interface-(1)/Cockpit-2025)
- <https://www.thestar.com.my/tech/tech-news/2018/04/09/screens-replacing-speedometers-your-next-cars-instrument-panel/>
- <https://hondalaunches.com/honda-ac-x-to-arrive-next-y>

SysML :

- <http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/techniques/979/979-179-p100.pdf>
- <https://www.omg.org/news/meetings/tc/berlin-13/special-events/component-pdfs/S2-4-Hiranabe.pdf>

Ergonomie cockpit :

- <http://avionics-system-design.blogspot.com/2013/12/ergonomics-of-aircraft-cockpit.html>

Annexe 1 : Charte de projet

Objectifs fixés en début de projet :

I Modéliser une nouvelle configuration cockpit	
<u>Exigences</u>	<ul style="list-style-type: none">• La nouvelle configuration cockpit doit respecter les normes de sécurité : redondance des systèmes primordiaux, 2^{ème} mode de commande de vol en cas de non fonctionnement du volant, intégration de la liste minimale d'équipements (LME)• Les opérations de maintenance doivent être facilitées• Réglage volant pour pilote en fonction de sa taille et de son gabarit siège en translation horizontale, volant en ajustement en hauteur.• Le volant doit répondre aux attentes design : le volant doit être ergonomique pour une bonne prise en main du pilote et doit être facile d'utilisation. Il ne doit pas gêner les mouvements dans l'espace du pilote.• Le volant ne doit pas gêner la vue des instruments de bord : visibilité (distance par rapport au siège et diamètre volant)
<u>Livrables</u>	<p>Le livrable sera un dossier reprenant :</p> <ul style="list-style-type: none">• Etude de veille de la configuration cockpit des concurrents• Liste des éléments présents dans la nouvelle modélisation• Schémas du concept de la nouvelle modélisation• Cahier des charges chiffrés de notre nouvelle configuration• Schéma et paragraphe explicatif mettant en avant l'ergonomie de la configuration (+modélisation CAO si les schémas ne suffisent pas)
<u>Critères de succès</u>	Avoir pensé et présenté sous forme de schémas une nouvelle configuration cockpit, avec un coût et la masse de conception maîtrisés.

II. Implémenter et tester un nouveau mode de pilotage	
<u>Exigences</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Le volant se comportera comme dans une voiture ; il donne la direction droite/gauche • Il y aura un dispositif de contrôle de vitesse • Il y aura un dispositif de freinage • Il y aura un dispositif de contrôle d'altitude • Fonctions tangage et roulis sur le joystick en direct (mode sport) • Un dispositif d'auto pilotage à plusieurs niveaux doit pouvoir être implémenté • La réaction de l'appareil doit se faire sentir sur le volant (Aptic feedback) • Le Primary Flight display doit pouvoir retranscrire les informations de commande du volant • La sensibilité et vitesse de réaction du volant (pédales et roulette) devront pouvoir être réglées en fonction du mode de conduite. • Une même maîtrise et maniabilité en configuration normale, sport ou semi-pilote automatique
<u>Livrables</u>	<p>I. Partie d'implémentation dossier reprenant :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les actions de chaque élément du cockpit sur la commande de vol avec diagramme blocs en sysML. • Description des séquences de vols classiques et les éléments actionnés dans ces dernières → Diagrammes de séquences et des cas utilisation • Description des séquences de vols en cas d'urgence et les éléments actionnés dans ces dernières → Diagrammes de séquences et des cas utilisation <p>II. Partie Tests :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dossier explicatif des conditions de tests. • Vidéo de présentation des séquences : on filmera le pilote avec ses actions sur les commandes de vol ainsi que l'enregistrement écran du flight simulator.
<u>Critère de succès</u>	Avoir testé le mode de pilotage en condition normales sur un Flight simulator d'un parcours type comprenant toutes les séquences de vol possibles.
<u>Outils</u>	SysML, logiciel de Flight simulator

III. Implémenter et tester un dispositif pour le contrôle en cas d'urgence	
<u>Exigences</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Le volant doit pouvoir signaler une situation d'urgence • Il faudra définir un cas d'urgence • Il faudra définir ce qui sera acceptable comme sortie de cas d'urgence
<u>Livrables</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Dossier explicatif des conditions de tests en cas d'urgence • Vidéo de présentation d'une séquence de sortie de cas d'urgence : on filmera le pilote avec ses actions sur les commandes de vol ainsi que l'enregistrement écran du flight simulator.
<u>Critère de succès</u>	Avoir testé le pilotage sur un Flight simulator : sortir d'une situation de panne déclenchée volontairement sur toutes les séquences de vol possible.

<u>IV. Collaborer avec le partenaire industriel Technomap</u>	
<u>Exigences</u>	Intégrer le volant de TechnoMAP dans le cockpit du Mini-Bee (emplacement et interactions système)
<u>Livrables</u>	CR des différents échanges avec TechnoMAP
<u>Critère de succès</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Leur volant s'adapte parfaitement au cockpit en termes d'ergonomie et de placement • Le volant réagit normalement aux commandes qui lui sont appliquées

<u>V. Collaborer avec ENSEA</u>	
<u>Exigences</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Définir les inputs du système (les entrées du système, les informations fournies à travers nos différents diagrammes blocs, de cas d'utilisation, de séquences...), pour les transmettre à l'ENSEA • Approche systémique, utilisation du langage SysML • Réaliser des tests avec l'ENSEA permettant de rectifier ou de confirmer notre progression dans l'intégration du volant • Echanges/Réunions régulières entre les deux équipes
<u>Livrables</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Bilan d'une première réunion avec l'équipe de l'ENSEA • Dossier des données d'entrées pour ENSEA • Bilan intermédiaire de la collaboration avec ENSEA • Bilan des tests en collaboration avec ENSEA
<u>Critère de succès</u>	Avoir réalisé des commandes de vols (volant, joystick, pédales...) qui répondent de manière optimale aux actions qui leur sont imposées même en cas d'urgence ou de panne de différents systèmes de l'appareil.
<u>Outils</u>	SysML

<u>VI. Mener à bien la gestion de projet</u>	
<u>Livrables</u>	<ul style="list-style-type: none"> • CR de toutes les réunions avec les tuteurs • CR de toutes les réunions avec ENSEA • Diagramme de Gantt • Excel du suivi des heures unitaires/global
<u>Critère de succès</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de retard sur les livrables • Avoir compris l'intérêt de mettre en place des outils de gestion de projet

Objectifs refixés à mi projet :

<u>VII. Proposer un prototypage et un moyen de test des commandes de vol</u>	
<u>Exigences</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Valider les choix effectués lors de la conception de l'ensemble. • Échanger ou acquérir de l'expérience sur un concept ou produit matériel. • Préparer des spécifications techniques.
<u>Livrables</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Définition de composants techniques. • Définition des scénarii de vol pour faire ressortir les risques, analyse de la cinématique des mouvements du pilote • Dossier sureté de fonctionnement.
<u>Critères de succès</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Avoir créé un fichier Excel qui détaille les caractéristiques de chaque composant du BDD. • Avoir créé une fiche récapitulative pour chaque scenario de vol avec identification des risques • Avoir créer un dossier de SDF avec : Analyse fonctionnelle, Analyse préliminaire des risques, AMDEC, Arbre de défaillance • Avoir fait 2 réunions avec TechnoMAP pour présenter notre travail et récupérer leurs remarques sur la définition de composants
<u>VIII. Concevoir et modéliser un cockpit ergonomique</u>	
<u>Exigences</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Le volant doit répondre aux attentes design : le volant doit être ergonomique pour une bonne prise en main du pilote et doit être facile d'utilisation. Il ne doit pas gêner les mouvements dans l'espace du pilote. • Le volant ne doit pas gêner la vue des instruments de bord : visibilité (distance par rapport au siège et diamètre volant). • La nouvelle configuration cockpit doit respecter les normes de sécurité : redondance des systèmes primordiaux, 2^{ème} mode de commande de vol en cas de non fonctionnement du volant, intégration de la liste minimale d'équipements (LME). • Les opérations de maintenance doivent être facilitées. → Fréquence, quel type • Réglage volant pour pilote en fonction de sa taille et de son gabarit siège en translation horizontale, volant en ajustement en hauteur. • Fichier CAO en ISO : .stp • Reprendre le CAO volant et pédales de TechnoMAP • Comparaison cockpit existants
<u>Livrables</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Fichier CAO complète du cockpit • Document expliquant l'ergonomie du cockpit : comparaison avec un tableau de bord déjà existant, vue de coupe, cotation des éléments
<u>Critères de succès</u>	<p>Avoir conçu une CAO complète du cockpit avec intégration des composants définis et présenté une ergonomie cohérente avec la définition des scénarii de pilotage.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avoir conçu un fichier VR : (s'il nous reste du temps) → BONUS

Annexe 2 : Diagramme de Gantt

CONTRAINTES/REMARQUES							
SOUTENANCE/RAPPORTS ESTACA							
	TACHES	ETAT	DATE DEBUT	ATE FIN PREVU	DATE FIN REELLE	RETARD (j)	REMARQUES
1 ANALYSE SUJET							
1,1	Charte de projet	Terminé	17/10/2018	23/10/2018	29/10/2018	6	Difficultés à cerner la difference exigeances/succes/Resulats
1,2	Mise en place des outils de gestion de projet	Terminé	17/10/2018	18/10/2018	18/10/2018		
2 RECHERCHE ET IMPLEMENTATION DE LA NOUVELLE CONFIGURATION							
2	Fiche vieille technique/concurrentiel	Terminé					
2,1	Brainstorming sur la configuration	Terminé	17/10/2018	19/10/2018	19/10/2018		
2,2	Diagramme cas utilisation	Terminé	20/10/2018	25/10/2018	25/10/2018		
2,3	Diagramme des BDD	Terminé	20/10/2018	25/10/2018	25/10/2018		
2,4	Diagramme des IBD	Terminé	25/10/2018	30/10/2018	30/10/2018		
3 IMPLEMENTER ET TESTER UN NOUVEAU MODE DE PILOTAGE							
3,1	Diagramme des Etats	Terminé	05/11/2018	06/11/2018	22/11/2018	6	Difficultés à cerner le principe des diagrammes etats
3,2	Diagramme des Sequences	Terminé	13/11/2018	13/11/2018	19/11/2018	6	itération supplémentaire suite à Reunion avec Gaetan
3,3	Diagramme des Activités	Terminé	01/01/2019	10/01/2019	23/01/2019	13	
	Preparation Soutenance et points à mi-projet	Terminé	06/01/2019	22/01/2019	30/01/2019	8	
4 PHASE DE PROTYPAGE							
4,1	Excel de definition des composants	Terminé	30/01/2019	31/02/2019	15/03/2019	15	Informations manquantes
4,2	Definition des scenrarii de vol	Terminé	30/01/2019	12/02/2019	12/02/2019		
4,3	Dossier de SDF	Terminé	20/02/2019	22/03/2019	03/04/2019	12	Modification suite au point avec les tuteurs SDF
5 PHASE DE CONCEPTION ERGONOMIQUE							
5,1	CAO du cockpit	Terminé	30/01/2019	15/03/2019	15/03/2019		
	Redaction rapport et prepartion soutenance	Terminé	19/04/2019	25/04/2019	25/04/2019		

Annexe 3 : Tableau de suivi des heures de travail

ESTIMATION ET SUIVI HEURES DE TRAVAIL							
TACHES/SEANCES DE TRAVAIL	DATE	NB DE PERS TRAVAILLANT	TEMPS PREVU(min)		TEMPS REEL (min)		ETAT
			UNITAIRE	GLOBAL	UNITAIRE	GLOBAL	
ANALYSE SUJET							
Prise de connaissance du sujet (docs serveurs)	18/10/2019	5	60	300	60	300	Terminé
Réunion G.GOTTIS	18/10/2019	5	240	1200	270	1350	terminé
Réunion Equipe	19/10/2019	2	60	120	240	480	Terminé
RECHERCHE ET IMPLEMENTATION DE LA NOUVELLE CONFIGURATION							
Réunion Equipe	22/10/2018	3	120	360	180	540	Terminé
Réunion Equipe	22/10/2018	5	60	300	60	300	terminé
Réunion G.GOTTIS		5	30	150	30	150	Terminé
Réunion G.GOTTIS	06/11/2019	5	30	150	30	150	Terminé
Réunion Equipe	06/11/2019	5	120	600	240	1200	Terminé
IMPLEMENTER ET TESTER UN NOUVEAU MODE DE PILOTAGE							
Réunion G.GOTTIS	12/11/2019	5	60	300	90	450	Terminé
Réunion Equipe	12/11/2019	5	120	600	240	1200	Terminé
Réunion G.GOTTIS	26/11/2018	5	30	150	45	225	Terminé
Réunion Equipe	26/11/2018	5	60	300	90	450	Terminé
Réunion Equipe	03/12/2018	5	90	450	180	900	Terminé
Réunion Equipe	21/12/2019	3	180	540	240	720	Terminé
Réunion Equipe	06/01/2019	2	60	120	45	90	Terminé
Réunion G.GOTTIS	08/01/2019	5	30	150	45	225	Terminé
GESTION DE PROJET ET PREPARATION DE SOUTEANCE							
Preparation souteance	10/01/2019	5	420	2100	420	2100	Terminé
Preparation souteance	14/01/2019	5	420	2100	420	2100	Terminé
Soutenance	17/01/2019	5	60	300	60	300	Terminé
Réunion G.GOTTIS	21/01/2019	4	15	60	15	60	Terminé
Réunion G.GOTTIS	25/01/2019	4	120	480	120	480	Terminé
PROTOTYPAGE DU COCKPIT et CONCEPTION ERGONOMIQUE							
Réunion G.GOTTIS	29/01/2019	4	30	120	45	180	Terminé
Réunion Equipe	30/01/2019	4	120	480	120	480	Terminé
Scéance de travail+ Réunion G.GOTTIS	06/02/2019	4	240	960	240	960	Terminé
Scéance de travail+ Réunion G.GOTTIS	13/03/2019	4	240	960	240	960	Terminé
Scéance de travail+ Réunion G.GOTTIS	21/02/2019	4	240	960	240	960	Terminé
Scéance de travail+ Réunion G.GOTTIS	27/02/2019	4	240	960	240	960	Terminé
Réunion Equipe	06/03/2019	4	300	1200	240	960	Terminé
Scéance de travail+ Réunion G.GOTTIS	07/03/2019	4	240	960	240	960	Terminé
Sceance de travail 14/03/2019	14/03/2019	4	240	960	240	960	Terminé
Sceances de travail SDF	01/04/2019	4	360	1440	360	1440	Terminé
Reunion Technomap	08/04/2019	4	60	240	60	240	Terminé
Réunion G.GOTTIS	12/04/2019	4	60	240	60	240	Terminé
PREPARATION SOUTENANCE FINALE							
Réunion Equipe	23/04/2019	4	360	1440	360	1440	Terminé
Réunion Equipe	24/04/2019	4	360	1440	360	1440	Terminé
Réunion Equipe	25/04/2019	4	360	1440	360	1440	Terminé
SOUS TOTAL en minutes				5895	24870	6555	27510
TOTAL en heures				98h15mn	414h30mn	109h15mn	458h30mn

Annexe 4 : Scénarios de vol

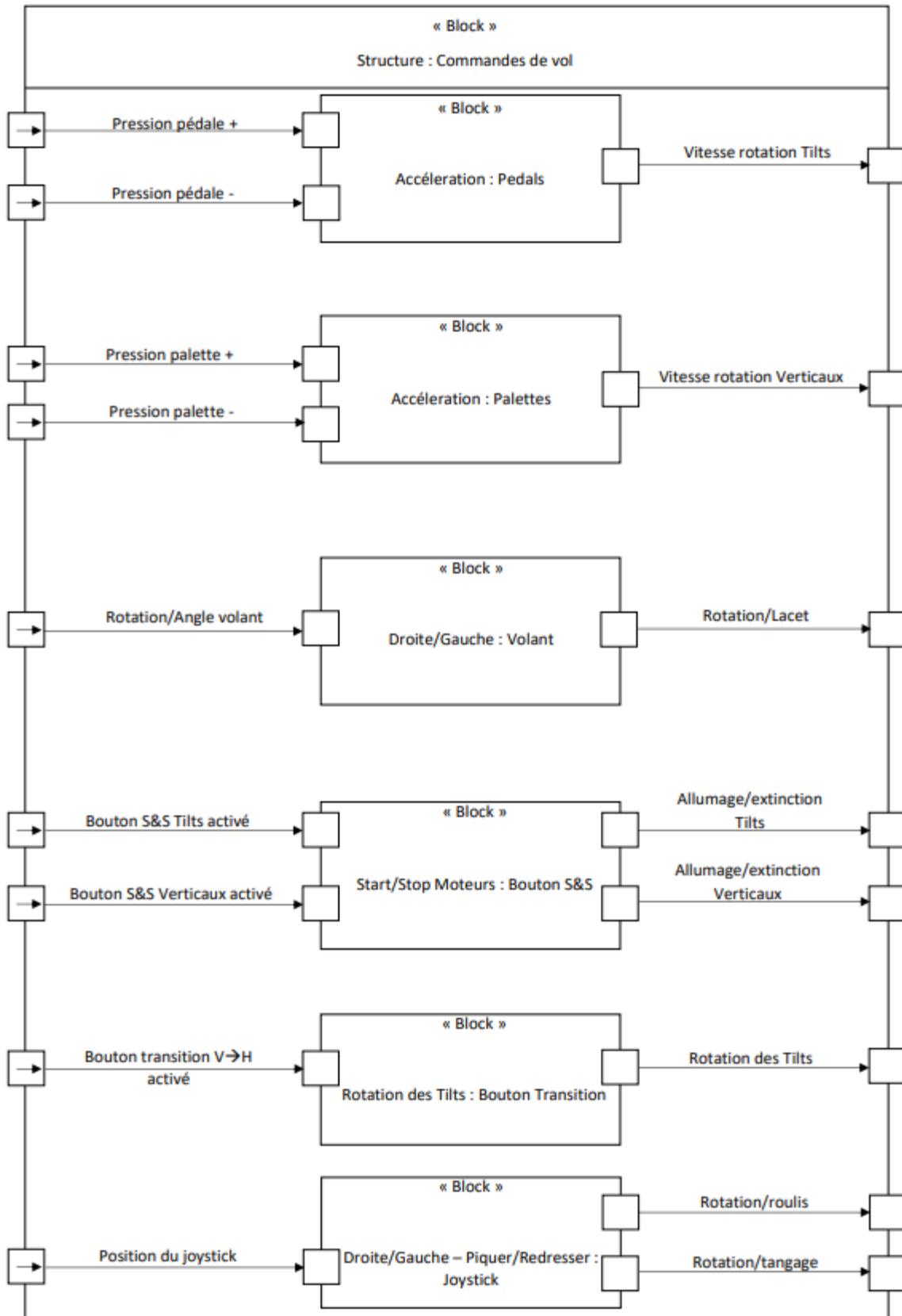
Conditions Normales

- Installation du pilote (et copilote si présent) : préparation aéronef (plan de vol, performances, carburant, destination, météo, instruments de bord)
- Installation éventuel(s) passager(s)
- Mise en route – Démarrage des moteurs
- Roulage
- Décollage Vertical
- Phase de transition **V->H** – Montée vers altitude de croisière
- Phase d'accélération jusqu'à vitesse de croisière
- Vol de croisière (Vol Horizontal)
- Phase de décélération jusqu'à vitesse de descente/transition
- Phase de transition **H->V** - Vol stationnaire
- Exemple : dans le cas d'une mission de sauvetage, pour d'autres raisons (attente, trafic, contrôle aérien, etc.) ...
- Phase de transition **H->V** – Descente vers destination
- Descente Verticale
- Atterrissage
- Parking
- Extinction des moteurs
- Extinction Instruments de bord et autres.
- Evacuation du poste, débarquement passager(s).

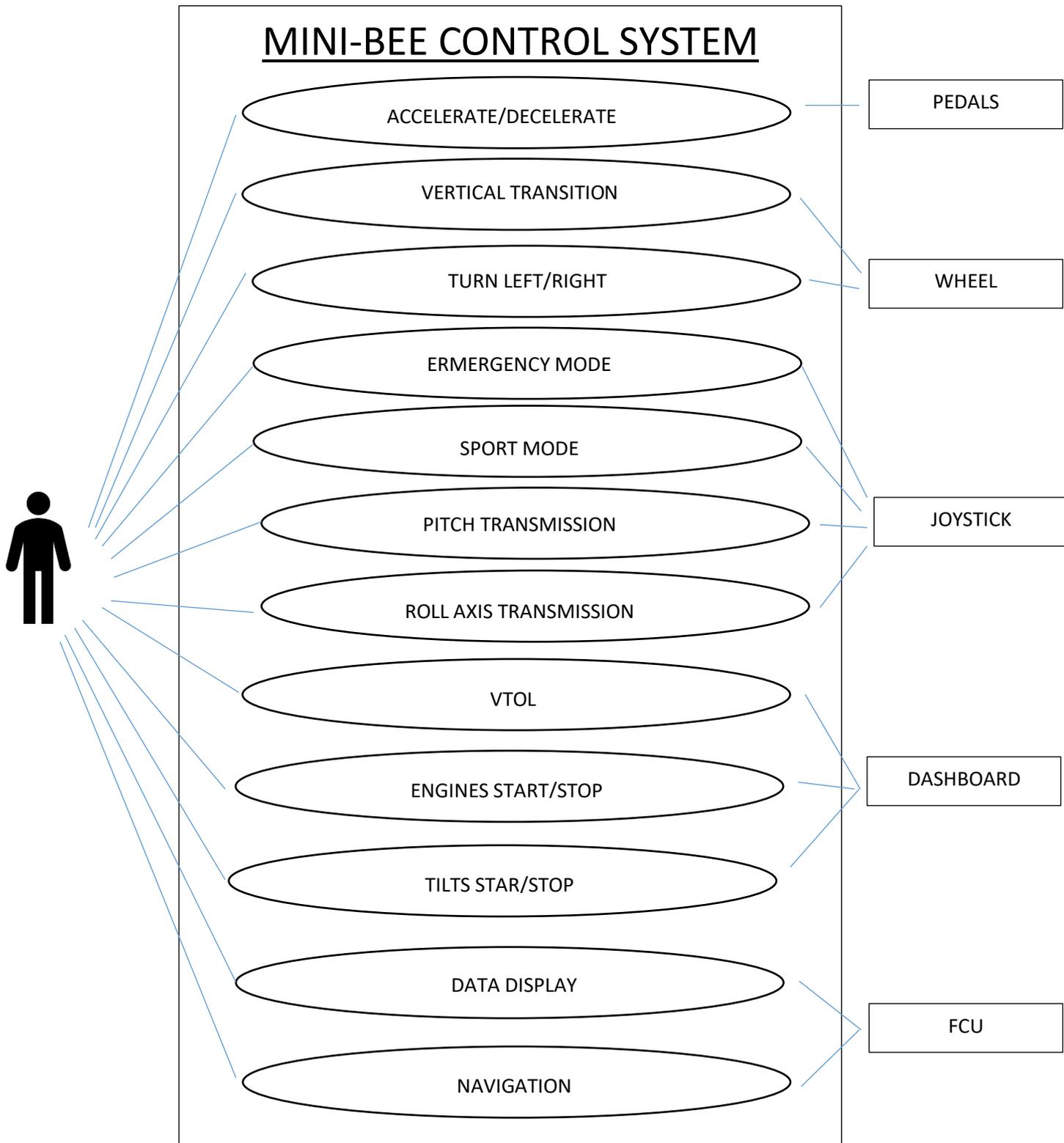
Conditions anormal (Anomalies, Pannes)

- Panne Electrique (Batteries, Alternateur, Générateur) au sol ou en l'air : perte équipements électriques (Feux navigation, phares, anticollision)
- Panne Rotor Vertical (n-1) en sol ou en l'air
- Panne Tilt (n-1) en sol ou en l'air
- Panne Moteur Thermique en sol ou en l'air
- Panne Volant
- Panne Radio
- Panne Sortie trains d'atterrissage
- Dysfonctionnement Tube Pitot (perte d'informations sur la vitesse, altitude)
- Panne d'instruments de bord (FCU, écrans LCD => Possibilité d'avoir recours aux instruments de secours
- Panne Transpondeur
- Crevaison Train(s) d'atterrissage (ou explosion si surpression gonflage)
- Impact oiseau(x)
- Impact grêle (si orage)
- Foudroiement
- Givrage pales rotors
- Perte humaine (Malaise ou décès pilote) au sol ou en vol
- Incendie Batteries (si Lithium) ou court-circuit
- Incendie dans le poste de pilotage
- Présence de monoxyde de carbone
- Impact balle/cartouche provenant d'un chasseur, tireur ball-trap
- Collision au sol ou en vol avec un autre appareil volant (drone, avion, ULM...)
- Fuite carburant
- Perte Huile Moteur
- Perte Liquide de refroidissement
- Temps de réponse trop long
- Détournement
- Déclenchement inopiné de l'airbag

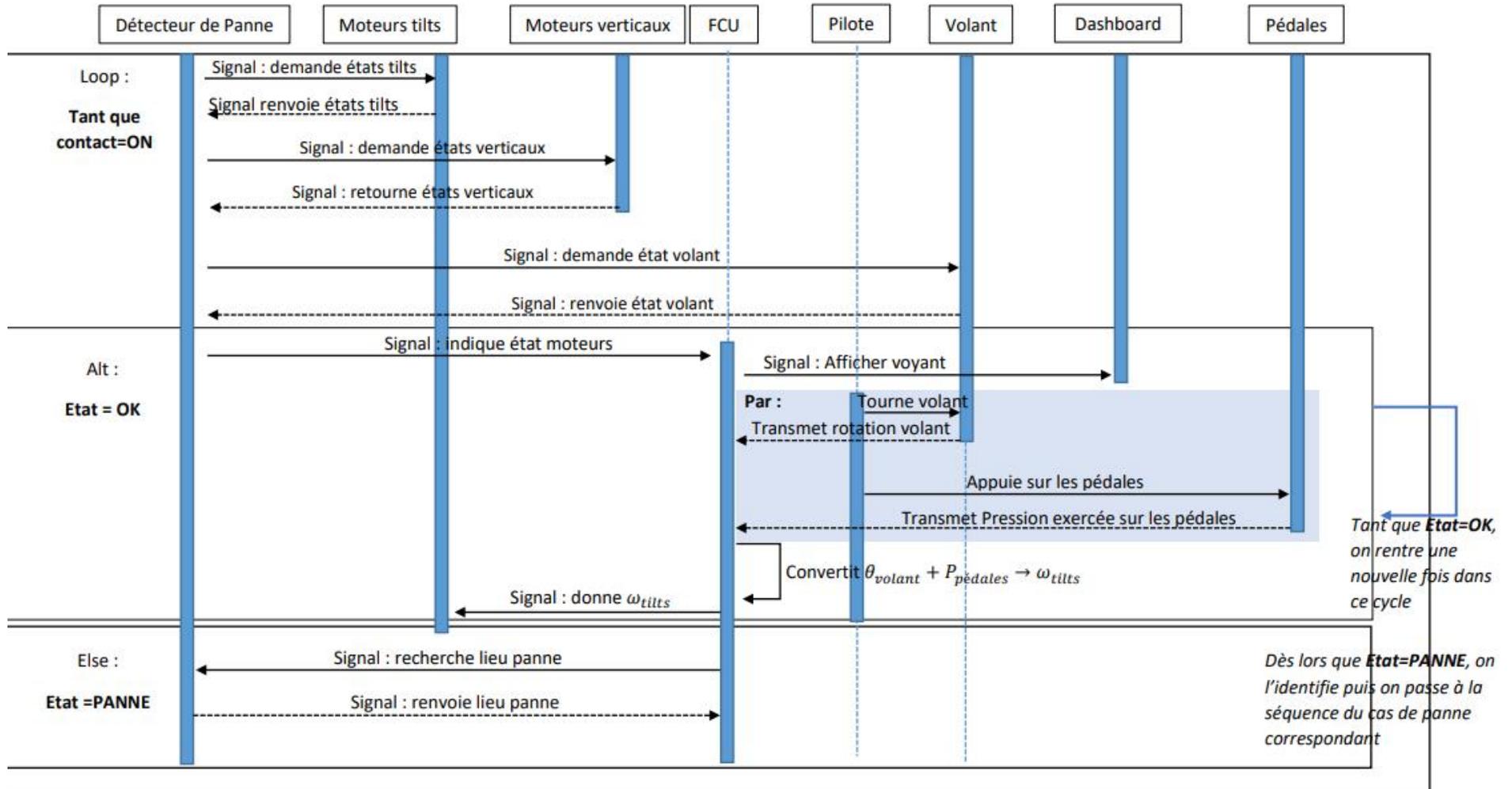
Annexe 5 : Diagramme Bloc Interne



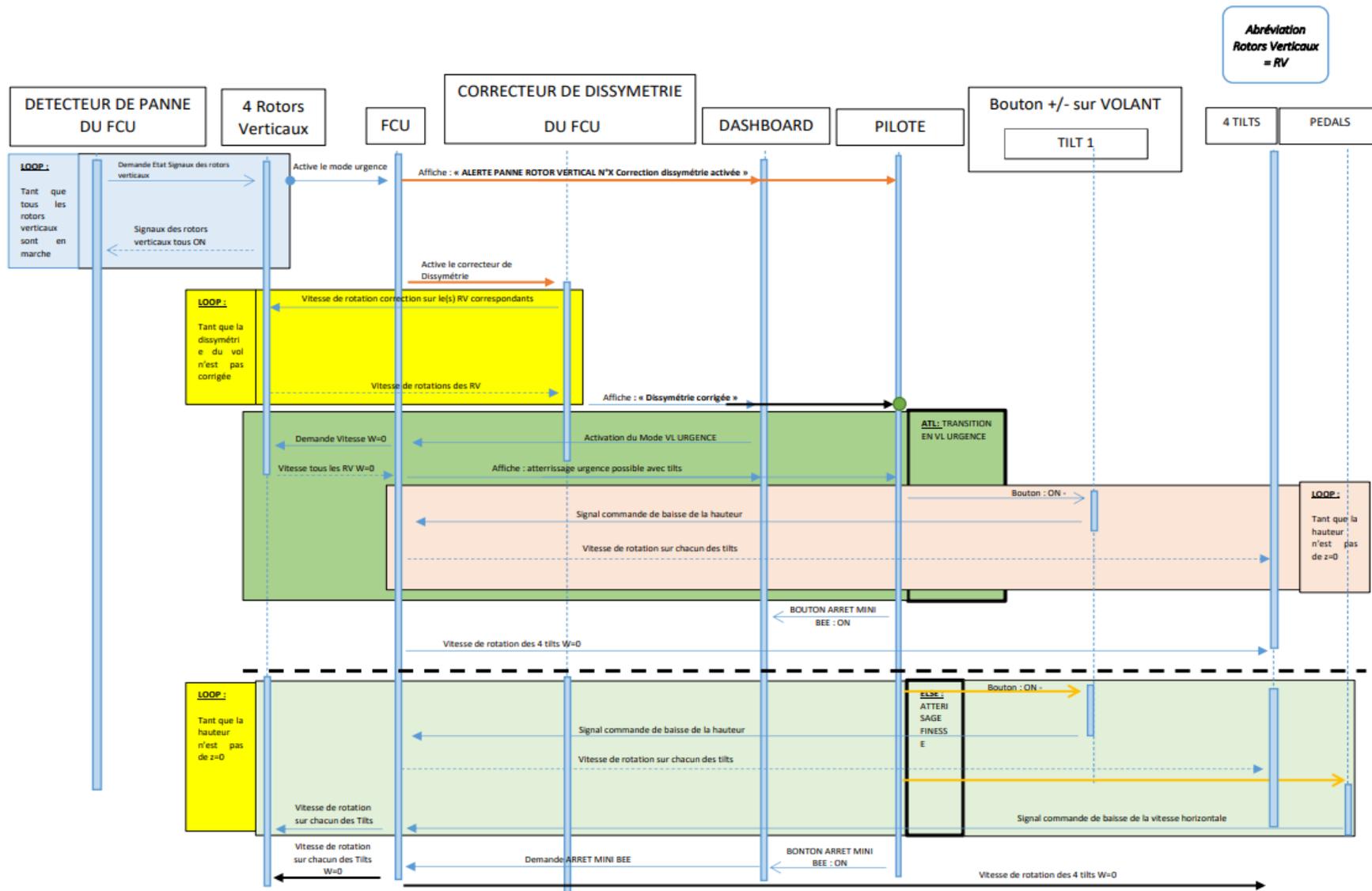
Annexe 6 : Diagramme cas d'utilisation



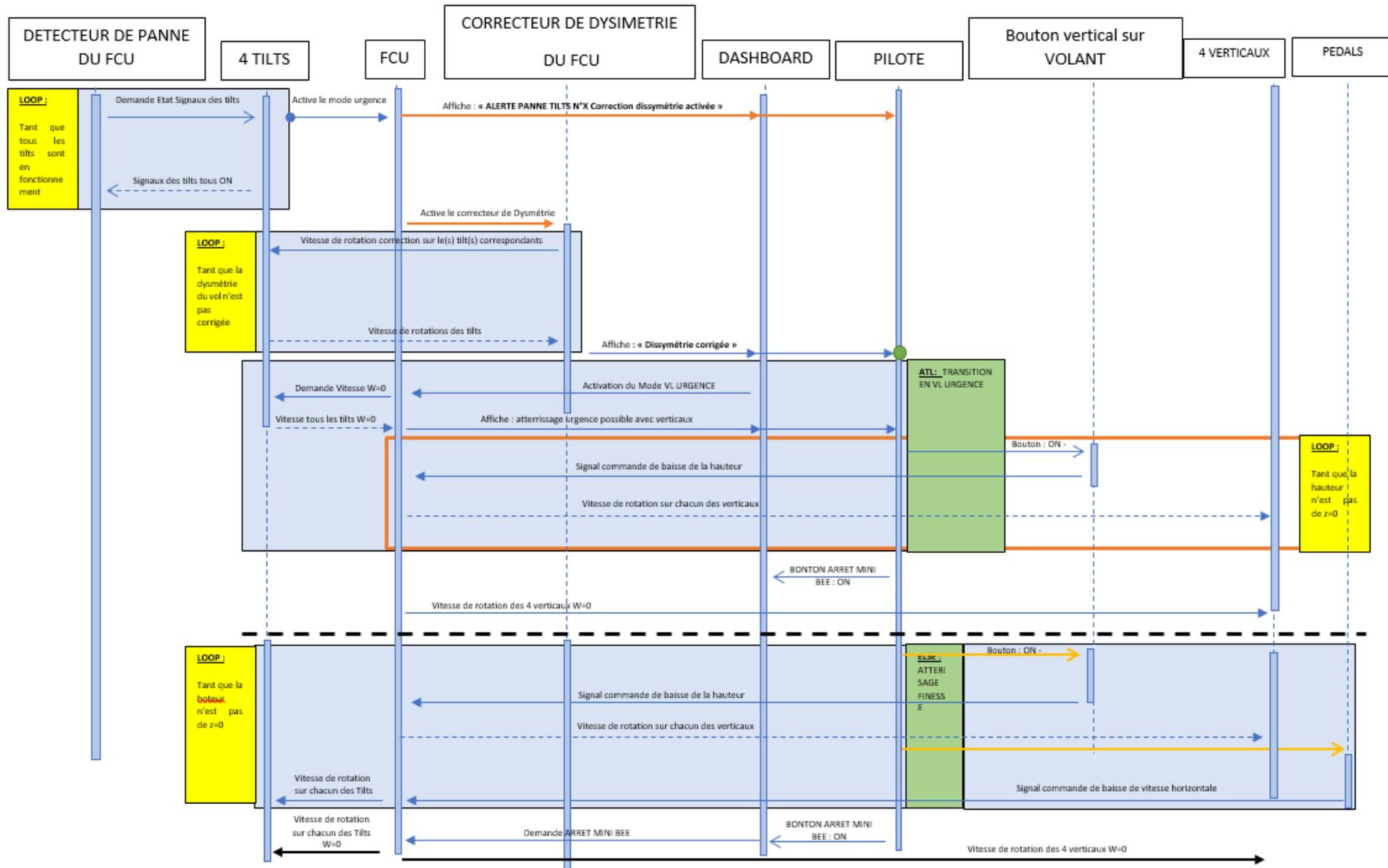
Annexe 7 : Diagramme de séquence Vol de croisière



Annexe 8 : Diagramme de séquence Panne rotors verticaux

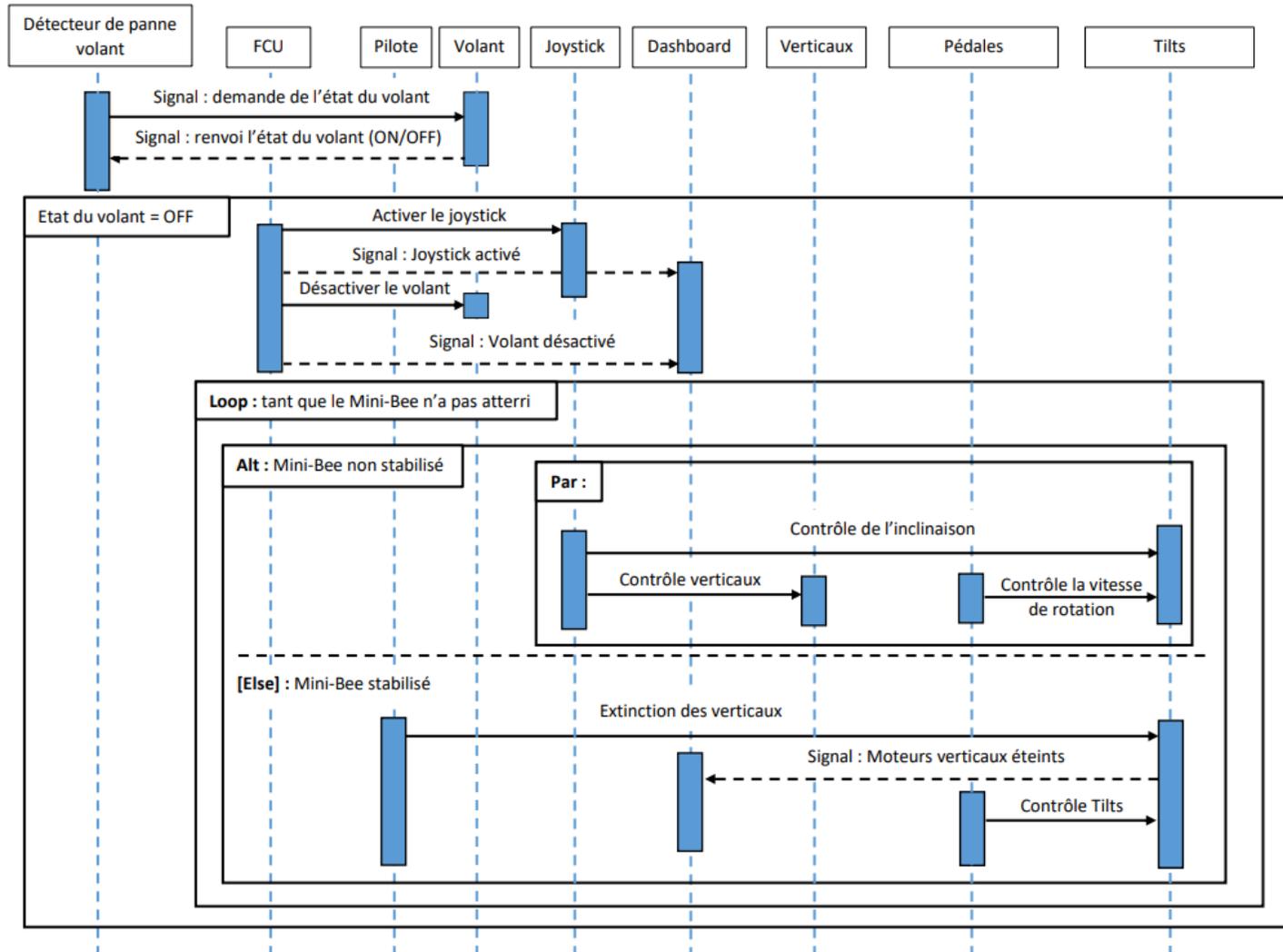


Annexe 9 : Diagramme de séquence Panne rotors tilts

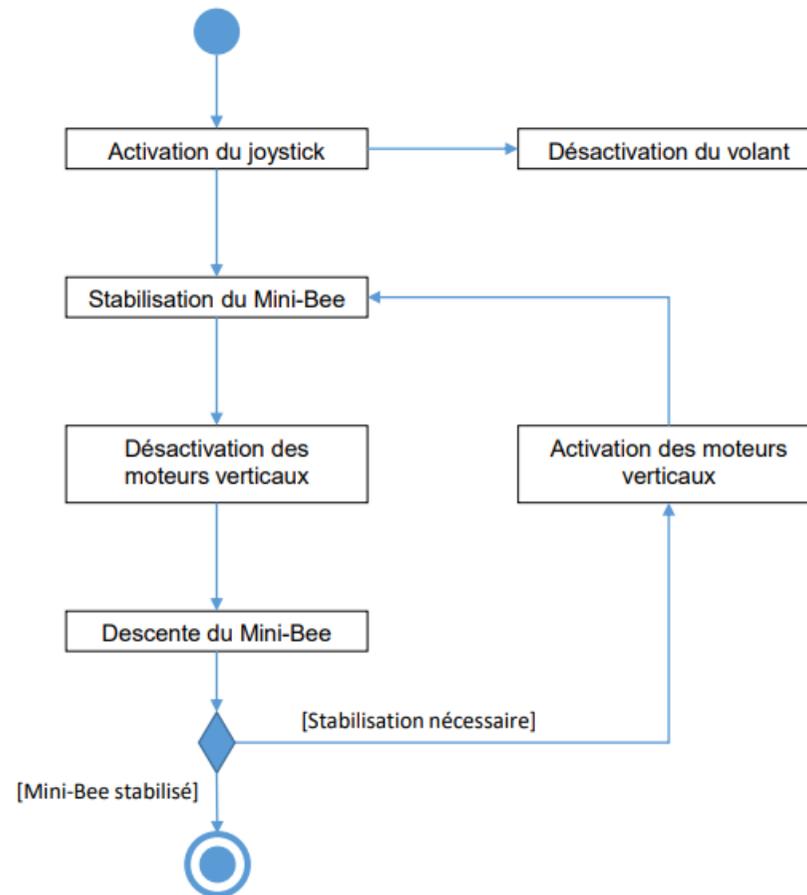


Annexe 10 : Diagrammes Panne volant

1. Diagramme de séquence



2. Diagramme d'activité



On considère que la panne du volant survient en vol et que l'action présentée ci-dessus se termine lorsque le Mini-Bee a atterri.

Annexe 11 : Nomenclature des composants

COCKPIT-MINI BEE : NOMENCLATURE DE COMPOSANTS								
SOUS ENSEMBLE	NOM	QUANTITE	EXEMPLE DE FABRIQUANT	MASSE unitaire (kg)	MASSE total (kg)	Prix estimatif unitaire €	Prix estimatif €	Lien site web
VOLANT	VOLANT	2	TECHNO MAP	1,588	3,176	200	400	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
VOLANT	BOUTONS POUSSOIR	6	TECHNO MAP			25	150	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
VOLANT	Molette Trim lacet	2	TECHNO MAP			25	50	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
VOLANT	Palettes	4	TECHNO MAP			30	120	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
VOLANT	LEDS	8	TECHNO MAP			15	120	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
PEDALES	PEDALES	4	TECHNO MAP	5,248	20,992	80	320	http://www.technomap.fr/nos-realizations-pxl-60.html
JOYSTICK	JOYSTICK	2	APEM	1,53	3,06	180	360	http://files.danfoss.com/documents/520L0826.pdf
DASH-BOARD	LCD SCREEN BIG	1		5	5	200	200	
DASH-BOARD	LCD SCREEN SMALL	2		2	4	100	200	
DASH-BOARD	Pannel switch	1	LOGITECH	5	5	100	100	https://www.logitech.fr/fr-fr/products/flight/flight-sim
ELEMENTS DE LA MEL	Variomètre	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	170	340	https://www.flightillusion.com/product-category/standa
ELEMENTS DE LA MEL	Altimètre	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	200	400	https://www.flightillusion.com/product-category/standa
ELEMENTS DE LA MEL	Accéléromètre (3 axes)	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	200	400	https://www.flightillusion.com/
ELEMENTS DE LA MEL	ROF: Horizon artificiel	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	240	480	https://www.flightillusion.com/product-category/standa
ELEMENTS DE LA MEL	Compas	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	220	440	https://www.flightillusion.com/
ELEMENTS DE LA MEL	Air speed	2	FLIGHT ILLUSION	0,9	1,8	200	400	https://www.flightillusion.com/
STRUCTURE COCKPIT	STRUCTURE COCKPIT	1	ESTACA	130	130	2600	2600	CF VUE CATIA
AMENAGEMENT	SIEGES	2		15,89	31,78	150	300	
RADIO	Bloc radio	1	FLIGHT ILLUSION	5	5	400	400	https://www.flightillusion.com/product-category/standa
RADIO	Casques	2	David Clarck	1	2	400	800	https://www.googleadservices.com/pagead/aclk?sa=L&
FCU	Computer	1	FLIGHT ILLUSION	5	5	3000	3000	https://www.flightillusion.com/
TRANSPONDEUR	TRANSPONDEUR	1	FLIGHT ILLUSION	5	5	2000	2000	https://www.flightillusion.com/
TOTAUX					230,8		13580	

Annexe 12 : Légende SADT

Légende :

-  : Entrées et sorties du système
-  : Organe(s) de contrôle (Exploitation), Energie, Configuration, Réglage
-  : Mécanismes qui interviennent (Système)

Annexe 13 : Analyse Prévisionnelle des Risques

N°	Fonctions	Défaillances fonctionnelles	Événement Redouté Sous-système	Situations dangereuses	Effets sur l'appareil	Effets sur l'équipage et passagers	Gravité	Probabilité λ /heure de vol
Fonction Principale								
FP1	Assurer la transmission des commandes du pilote à la FCU (Flight control unit : calculateur de vol)	<u>Perte de FP1</u> : La transmission des commandes du pilote à la FCU (Flight control unit : calculateur de vol) n'est plus du tout assurée	ER1 : Perte totale de la commande contrôlant l'appareil sur l'axe de lacet	Avion en manœuvre : Inclinaison "élevée", Avion en manœuvre : Incidence "élevée", Avion en manœuvre : Vitesse avion "faible"	Appareil déstabilisé, incontrôlable Risque de crash si pilotes / système de contrôle de secours (roulis, tangage) ne rattrapent pas l'appareil par action sur le joystick	Panique, Blessures et Chocs Plusieurs morts si crash	B	$\lambda < 10^{-9}$ / FH
			ER1 : Perte totale de la commande contrôlant l'appareil sur l'axe de lacet	L'appareil est pris dans de fortes turbulences	Appareil déstabilisé, incontrôlable Risque de crash si pilotes / système de contrôle de secours (roulis, tangage) ne rattrapent pas l'appareil par action sur le joystick	Panique, Blessures et Chocs Plusieurs morts si crash	B	$\lambda < 10^{-9}$ / FH
FP1	Assurer la transmission des commandes du pilote à la FCU (Flight control unit : calculateur de vol)	<u>Dégradation de FP1</u> : La transmission des commandes du pilote à la FCU (Flight control unit : calculateur de vol) est mal assurée ou assurée par intermittence	ER2 : Perte partielle de la commande contrôlant l'appareil sur l'axe de lacet	Avion en manœuvre : Inclinaison "élevée", Avion en manœuvre : Incidence "élevée", Avion en manœuvre : Vitesse avion "faible"	Appareil déstabilisé, pilotage dur et désagréable	Panique, Blessures et Chocs Plusieurs morts si crash	C	$\lambda < 10^{-9}$ / FH
			ER2 : Perte partielle de la commande contrôlant l'appareil sur l'axe de lacet	L'appareil est pris dans de fortes turbulences	Appareil déstabilisé, pilotage dur et désagréable	Panique, Blessures et Chocs Plusieurs morts si crash	C	$\lambda < 10^{-9}$ / FH
Fonctions Contraintes								
FC1	Le volant doit être résistant à l'environnement extérieur	<u>Perte/Dégradation de FC1</u> : Le matériau du volant n'est pas assez résistant aux sollicitations extérieures	Apparition de déformations plastiques et fatigue matériau, corrosion	Ruptures des composants sur volant	Perte de contrôle totale ou partielle de l'appareil	Panique, Blessures et Chocs Plusieurs morts si crash	B	$\lambda < 10^{-9}$ / FH
FC3	Le volant ne doit pas gêner la visibilité	<u>Perte/Dégradation de FC3</u> : le volant est mal positionné	La visibilité des pilotes sur le tableau de bord et les instruments de vol est réduite ou inexistante	Impact oiseau, fortes turbulences	Perte de contrôle totale ou partielle de l'appareil, décrochage (erreur sur la vitesse)	Panique, confusions, stress, fatigue	C	10^{-7} / FH $< \lambda$ $< 10^{-9}$ / FH
FC6	Le volant doit être réglable en position	<u>Perte/Dégradation de FC6</u> : mécanismes de réglages du volant sont défectueux	Les mouvements des pilotes ne sont pas ergonomiques, compliqués à effectuer	Turbulences sur l'arbre qui se déforme, se rompt	Perte de contrôle partielle et momentanée de l'appareil	Panique, confusions, stress, fatigue	D	$< 10^{-7}$ / FH
FC10	Le volant doit être bien alimenté en électricité	<u>Perte de FC10</u> : perte d'alimentation électrique	Le capteur de position, les boutons et les LED ne sont pas fonctionnels	Foudroiement, batterie(s) morte(s)	Perte de contrôle totale ou partielle de l'appareil	Panique, quelques morts si crash	B	$\lambda < 10^{-9}$ / FH
		<u>Dégradation de FC10</u> : surtension, sous-tension, électricité intermittente	Le capteur de position, les boutons et les LED fonctionnent mal	Hausse de tension au démarrage et fluctuation de tension sur le réseau, foudroiement	Perte de contrôle totale ou partielle de l'appareil	Panique, quelques morts si crash	B	$\lambda < 10^{-9}$ / FH
FC11	Le volant doit retranscrire la conduite	<u>Perte/Dégradation de FC11</u> : système "Haptic feedback" défectueux	Le pilote ne "sent" plus ou mal les interactions avec sa machine	Alimentation défectueuse	Perte de contrôle partielle et momentanée de l'appareil	Panique, confusions, stress, fatigue	B	$\lambda < 10^{-9}$ / FH

Annexe 14 : AMDEC

Sous-système/système		Analyse des Modes de Défaillances des Composants de leurs Effets et de leur Criticité sur le Système										Actions de maîtrise des risques	
Item	Composant	Fonction	Mode de défaillance	Cause possible	Effets		Criticité				Gravité correspondante (Norme DO-178)	Moyen des détections des défaillances	Moyen de réduction de danger
					Sous-système	Système	G	O	D	C			
1. Dysfonctionnements Volant													
1.1 Panne due à un problème d'alimentation													
1.1.1	Circuit élec	FC10	Volant mal alimenté	Court-circuit	Non alimentation	Panne	3	1	3	9	B	Test manuel volant	Redondance des circuits électriques et mise en place d'un joystick de secours
1.1.2	Batterie	FC10	Volant mal alimenté	Surtension	Surchauffe	Panne	3	1	3	9	B	Test manuel volant	Dispositifs de protection
1.1.3	Batterie	FC10	Volant non alimenté	Perte alimentation	Non alimentation	Panne	3	1	2	6	B	Test manuel volant	Redondance & Commande mécanique pour garder manœuvrabilité
1.2 Panne due à l'environnement extérieur													
1.2.1	Volant	FP1	Volant cassé	Faible Résistance matériaux		Volant non-utilisable	3	1	1	3	B	Visuel/Test Manuel	Redondance + joystick + matériaux adéquats
1.2.1	Volant	FP1	Volant cassé	Masse trop importante		Volant non-utilisable	3	1	1	3	B	Visuel/Test Manuel	Redondance + joystick + résistant à la sollicitation
1.3 Panne due à l'utilisation des données de rotation du volant													
1.3.1	Câbles	FP1	Non réception des données de rotation du volant	Corrosion	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le volant n'est plus relié à la FCU	3	1	3	9	B	Test manuel volant	Conditions de fonctionnements adéquates (pression, température) Adapter la nature des matériaux en contact
1.3.2	Câbles	FP1	Non réception des données de rotation du volant	Frottements	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le volant n'est plus relié à la FCU	3	2	3	18	B	Test manuel volant	Adapter la nature des matériaux en contact
1.3.3	Câbles	FP1	Transmission des données de rotation trop lente	Temps de réponse		L'aéronef répond trop lentement aux commandes	3	1	2	6	B	Test manuel volant	Simplification des circuits Autre choix de connectique (→ fibre)
1.4 Dysfonctionnement dû au blocage du volant													
1.4.1	Arbre	Assurer la transmission mécanique	Arbre de transmission bloqué	Mauvaise lubrification	Arbre tourne difficilement	La conduite n'est pas souple, agréable	2	3	1	6	C	Visuel/Test Manuel	Lubrifier lors de la maintenance de l'appareil
1.4.2	Arbre	Assurer la transmission mécanique	Arbre de transmission fragile	Matériau non adapté	Rupture de l'arbre	Le volant n'est plus relié à la FCU	3	1	2	6	C	Visuel/Test Manuel	Choix de matériau cohérent
1.4.3	Volant	FP1	Blocage du volant	Mauvais réglage de la butée	Le volant est bloqué dans sa position	Le Mini-Bee ne peut plus être contrôlé par le volant	3	1	1	3	C	Visuel/Test Manuel	Check à effectuer lors de la maintenance

1.5 Autres dysfonctionnements													
1.5.1	Circuit élec	FP1	Début d'incendie	Arc électrique	Dégradation des circuits	Le volant n'est plus relié à la FCU	3	1	4	12	B	Visuel	Bascules vers circuits secondaires
1.5.2	Circuit élec	FP1	Début d'incendie	Câble chauffe anormalement	Dégradation des circuits	Le volant n'est plus relié à la FCU	3	2	3	18	B	Visuel	Disjoncteur et redondance des circuits pour basculer vers autre
1.5.3	Batterie	FP1	Début d'incendie	Surcharge	Dégradation des circuits	Le volant n'est plus relié à la FCU	3	2	3	18	B	Visuel	dispositifs de protection
1.5.5	Volant	FP1	Electrocution pilote	Mauvaise isolation		Mort du pilote	4	1	4	16	A	Visuel	Matériau isolant pour prévenir conduction électricité Diode servant de fusible
2. Dysfonctionnements boutons													
2.1 Dysfonctionnements LED													
2.1.1	Circuit élec	Attester du bon fonctionnement des moteurs	Mauvaise connectique	Court-circuit	LED n'est alimentée	Le pilote n'a plus d'informations sur l'état des moteurs	1	2	3	6	B	Visuel/Test Manuel	Redondance des circuits
2.1.2	LED	Attester du bon fonctionnement des moteurs	LED grillée	Fin de vie	LED ne fonctionne plus	Le pilote n'a plus d'informations sur l'état des moteurs	1	3	1	3	B	Visuel/Test Manuel	Checklist à effectuer avant décollage
2.1.3	Câbles	Attester du bon fonctionnement des moteurs	Non réception signal FCU	Corrosion	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote n'a plus d'informations sur l'état des moteurs	1	2	3	6	B	Visuel/Test Manuel	Conditions de fonctionnements adéquates (pression, température)
2.1.4	Câbles	Attester du bon fonctionnement des moteurs	Non réception signal FCU	Frottements	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote n'a plus d'informations sur l'état des moteurs	1	2	3	6	B	Visuel/Test Manuel	Adapter la nature des matériaux en contact
2.1.5	LED	Attester du bon fonctionnement des moteurs	LED trop fragile	Faible résistance matériaux	LED se casse	Le pilote n'a plus d'informations sur l'état des moteurs	1	1	1	1	B	Visuel	Choix de matériau cohérent
2.2 Dysfonctionnement bouton VTOL													
2.2.1	Circuit elec	Assurer la transition Horizontal/Vertical	Mauvaise connectique	Court-circuit	Le bouton n'est plus relié à la FCU	Le pilote ne peut plus effectuer de transition Verticale/Horizontale	2	2	3	12	C	Test Manuel	Redondance des circuits électriques
2.2.2	Câbles	Assurer la transition Horizontal/Vertical	Non transmission du signal	Corrosion	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote ne peut plus effectuer de transition Verticale/Horizontale	2	2	3	12	C	Test Manuel	Conditions de fonctionnements adéquates (pression, température)
2.2.3	Câbles	Assurer la transition Horizontal/Vertical	Non transmission du signal	Frottements	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote ne peut plus effectuer de transition Verticale/Horizontale	2	2	3	12	C	Test Manuel	Adapter la nature des matériaux en contact

2.2.4	Bouton	Assurer la transition Horizontal/Vertical	Bouton trop fragile	Faible Résistance matériaux	Le bouton se casse	Le pilote ne peut plus effectuer de transition Verticale/Horizontale	2	1	1	2	C	Visuel	Choix de matériau cohérent
2.3 Dysfonctionnement roulette trim lacet													
2.3.1	Circuit élec	Contrôler le trim du lacet	Mauvaise connectique	Court-circuit	La roulette n'est plus reliée au trim	Le pilote ne peut plus agir sur la roulette pour contrôler le trim	2	2	3	12	C	Test Manuel	Redondance des circuits
2.3.2	Câbles	Contrôler le trim du lacet	Non transmission du signal	Corrosion	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote ne peut plus agir sur la roulette pour contrôler le trim	2	2	3	12	C	Test Manuel	Conditions de fonctionnements adéquates (pression, température)
2.3.3	Câbles	Contrôler le trim du lacet	Non transmission du signal	Frottements	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote ne peut plus agir sur la roulette pour contrôler le trim	2	2	3	12	C	Test Manuel	Adapter la nature des matériaux en contact
2.3.4	Bouton	Contrôler le trim du lacet	Bouton trop fragile	Faible Résistance matériaux	La roulette se casse	Le pilote ne peut plus agir sur la roulette pour contrôler le trim	2	1	1	2	C	Visuel	Choix de matériau cohérent
2.4 Dysfonctionnement bouton changement display Dashboard													
2.4.1	Circuit élec	Changer l'affichage du Dashboard	Mauvaise connectique	Court-circuit	Le bouton n'est plus relié à la FCU	Configuration du Dashboard bloquée	0	2	3	0	E	Visuel/Test Manuel	Redondance des circuits
2.4.2	Câbles	Changer l'affichage du Dashboard	Non transmission du signal	Corrosion	Dégradation des câbles transmettant l'info	Configuration du Dashboard bloquée	0	2	3	0	E	Visuel/Test Manuel	Conditions de fonctionnements adéquates (pression, température)
2.4.3	Câbles	Changer l'affichage du Dashboard	Non transmission du signal	Frottements	Dégradation des câbles transmettant l'info	Configuration du Dashboard bloquée	0	2	3	0	E	Visuel/Test Manuel	Adapter la nature des matériaux en contact
2.4.4	Bouton	Changer l'affichage du Dashboard	Bouton trop fragile	Faible Résistance matériaux	Le bouton se casse	Configuration du Dashboard bloquée	0	1	1	0	E	Test Manuel	Choix de matériau cohérent
2.5 Dysfonctionnement Radio ATC													
2.5.1	Circuit élec	Communication avec l'extérieur	Mauvaise connectique	Court-circuit	Le bouton n'est plus relié à la FCU	Le pilote ne peut plus interagir avec l'extérieur	2	2	3	12	C	Test Manuel	Redondance des circuits
2.5.2	Câbles	Communication avec l'extérieur	Non transmission du signal	Corrosion	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote ne peut plus interagir avec l'extérieur	2	2	3	12	C	Test Manuel	Conditions de fonctionnements adéquates (pression, température)
2.5.3	Câbles	Communication avec l'extérieur	Non transmission du signal	Frottements	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote ne peut plus interagir avec l'extérieur	2	2	3	12	C	Test Manuel	Adapter la nature des matériaux en contact

2.5.4	Bouton	Communication avec l'extérieur	Bouton trop fragile	Faible Résistance matériaux	Le bouton se casse	Le pilote ne peut plus interagir avec l'extérieur	2	1	1	2	C	Visuel	Choix de matériau cohérent
2.6 Dysfonctionnement des palettes													
2.6.1	Circuit élec	Gérer l'altitude du Mini-Bee	Mauvaise connectique	Court-circuit	Les palettes ne sont plus reliées à la FCU	Le pilote ne peut plus modifier son altitude	2	2	3	12	C	Test Manuel	Redondance des circuits
2.6.2	Câbles	Gérer l'altitude du Mini-Bee	Non transmission du signal	Corrosion	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote ne peut plus modifier son altitude	2	2	3	12	C	Test Manuel	Conditions de fonctionnements adéquates (pression, température)
2.6.3	Câbles	Gérer l'altitude du Mini-Bee	Non transmission du signal	Frottements	Dégradation des câbles transmettant l'info	Le pilote ne peut plus modifier son altitude	2	2	3	12	C	Test Manuel	Adapter la nature des matériaux en contact
2.6.4	Bouton	Gérer l'altitude du Mini-Bee	Bouton trop fragile	Faible Résistance matériaux	Les palettes se cassent	Le pilote ne peut plus modifier son altitude	2	1	1	2	C	Visuel	Choix de matériau cohérent
2.6.5	FCU	Gérer l'altitude du Mini-Bee	Trop grande sensibilité palettes	Mauvais réglage commande		Conduite difficile et dangereuse	2	1	3	6	B	Test Manuel	Vérification du paramétrage lors de la maintenance

Echelle de Gravité

G=0	Pas d'effet
G=1	Mineure
G=2	Significative
G=3	Critique
G=4	Catastrophique

Echelle d'occurrence

O=0	Occurrence inexistante sur matériel similaire
O=1	Occurrence occasionnelle déjà apparue sur matériel similaire
O=2	Occurrence occasionnelle posant plus souvent des problèmes
O=3	Occurrence certaine sur ce type de matériel
O=4	Occurrence systématique sur ce type de matériel

Echelle de détectabilité

D=1	Signe avant-coureur de la défaillance que l'opérateur pourra éviter par une action préventive ou alerte automatique d'incident
D=2	Il existe un signe avant-coureur de la défaillance mais il y a un risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur
D=3	Le signe avant-coureur de la défaillance n'est pas facilement décelable
D=4	Il n'existe aucun signe avant-coureur de la défaillance

Annexe 15 : Arbre de défaillances

