

RAPPORT D'AVANCEMENT DBEX

Diving Bird EXperiment

FINAND Camille
DUVERGER David
PAUL Peirera Jeremy
BOUYSSOU Maxime
MEHDI Nima
GUO Xinrui



sous la direction de :
Fabrice LEBARS





Remerciements

Nous tenons à remercier l'équipe de l'IFREMER, et tout particulièrement Patrick Rousseau et Olivier Menage pour leur soutien et leurs apports au projet.

Sommaire

Remerciements	3
Sommaire	4
Table des illustrations	5
Partie I : Introduction au projet	6
1- Formulation initiale du projet	6
1-1. Contexte	6
1-2. Expression initiale du besoin	7
2- État de l'art	8
2-1. Biomimétisme	8
2-2. Ailes volantes	9
2-3. Drones	10
2-3.1. Drones sous-marins	10
2-3.2. Drones volants	10
2-3.3. Ardupilot	12
Partie II : Dossier fonctionnel	13
3- Ingénierie des exigences	13
3-1. Approche Top-Down	13
3-2. Approche Bottom-Up	15
3-3. Fonctions principales du système	16
4- Spécification fonctionnelle 3 axes	19
4-1. Raffinement FAST	19
4-2. Spécification des fonctions	20
4-3. Spécification des données	21
4-4. Spécification des comportements	22
5- Architecture fonctionnelle	23
Partie III : Organisation	24
6- Méthodes de travail	24
7- Outils pour les échanges	24
8- Répartition des tâches dans le temps	25
Partie IV : Journal du projet	25
9- Choix et justifications	25

9-1. La forme du drone.....	25
9-2. Le matériel	25
9-3. La turbine	26
9-4. La batterie	26
9-5. La carte de contrôle.....	26
10- Résultats et analyses	26
Conclusion	26
11- Bibliographie	27

Table des illustrations

Figure 1 : un avion "plongeur" à ailes rétractables	8
Figure 2 : le Liberdade Xray	9
Figure 3: un drone quadricopter.....	11
Figure 4 : un Drone "aile volante"	11
Figure 5 : l'ardupilot, une carte de contrôle.....	12
Figure 6 : Une Bête à cornes.....	13
Figure 7 : Diagramme Bête a Corne du Systeme	14
Figure 8 : le Cycle en V	14
Figure 9 : Classement des exigences.....	16
Figure 10 : Diagramme APTE	16
Figure 11: Liste des fonctions du système	17
Figure 12 : Diagramme pieuvre détaillée.....	19
Figure 13 : Diagramme FAST détaillé.....	20
Figure 14 : Specification fonctionnelle 3 axes.....	20
Figure 15 : Spécification des fonctions.....	21
Figure 16 : Dictionnaire des Données.....	21
Figure 17 : Diagramme d'états du système.....	22
Figure 18 : Fonctionnement attendu du système	23
Figure 19 : Architecture fonctionnelle	24

Partie I : Introduction au projet

1- Formulation initiale du projet

1-1. Contexte

Les avantages d'un drone autonome capable de se déplacer dans les airs et dans l'eau sont nombreux. Du contre-espionnage, des missions de reconnaissance ou tout simplement de la prise de données dans le domaine civil, ce drone polyvalent pourraient être une évolution naturelle de la technologie des drones.

Notre projet, le projet DBEX (Diving Bird EXperiment), est un projet ambitieux et complexe. Il vise à réaliser un prototype d'un drone volant capable de devenir un sous-marin. Les technologies du drone volant et du drone sous-marin existent, mais aucun projet connu n'a permis de réaliser un drone de ce type.

Ce projet a été initié l'année dernière par un étudiant en PFE, Arnaud LABADIE, à l'ENSTA Bretagne : son objectif initial était de réaliser un prototype du Diving Bird. Il s'est au final limité à la partie aérienne. Il a réalisé un drone à voilure fixe, c'est-à-dire un avion télécommandé. Celui-ci était capable d'être autonome avec un plan de vol préprogrammé.

À défaut de réaliser des robots dotés de centrales inertielles couplés à des ordinateurs embarqués, nous utiliserons une électronique embarquée basée sur une technologie open-source, basé sur les cartes Ardupilot nous permettant de réaliser un système efficace de taille et poids réduits. Mais la difficulté du projet n'en est moins élevée, car de nombreuses étapes sont nécessaires et de nombreuses contraintes nous sont imposées sur un temps extrêmement réduit. L'aspect d'ingénierie système du projet est une phase très chronophage, mais non moins essentielle.

Néanmoins, nous sommes motivés à aboutir sur un prototype fonctionnel. Les différentes étapes du projet sont :

- réalisation du cas d'étude en ingénierie système - prise en main de l'électronique sur des systèmes intermédiaires
- réalisation d'une architecture physique
- intégration de l'électronique.

Ce projet ambitieux et complexe est un véritable défi pour nous, élève de secondes années de l'ENSTA Bretagne et nous souhaitons que le projet nous soit formateur et nous permettent de mettre en pratique nos connaissances acquises.



1-2. Expression initiale du besoin

Afin de récupérer efficacement des données situées sous la surface de l'eau, il est nécessaire de disposer d'un appareil étanche, capable d'aller se positionner à proximité de la source. Cependant le déplacement sous-marin étant peu efficace en matière de temps et d'énergie, et le déplacement en surface de l'eau étant difficile d'un point de vue légal, le besoin d'un appareil volant capable de plonger s'est fait ressentir. Et c'est à l'image du martin-pêcheur, l'un de ces nombreux "diving birds" que le Projet Dbex est né.

2- État de l'art

Le projet DBEX cherche à concevoir un appareil hybride capable de parcourir aussi bien sur le milieu aquatique que le milieu aérien.

2-1. Biomimétisme

Nous cherchons à concevoir un appareil qui puisse passer d'une phase aérienne à une phase sous-marine de manière rapide, tout en contrôlant l'amerrissage.

Comme de nombreux projets auparavant nous avons pensé à nous inspirer de certains oiseaux marins qui sont capables de réaliser une attaque en piqué pour chercher des proies sous la surface de l'eau. Certaines recherches antérieures proposent un système capable de replier sa voilure lors de la plongée, minimisant le profil pénétrant dans l'eau, réduisant les frictions lors de la pénétration dans le milieu aquatique. [10] [33]



Figure 1 : un avion "plongeur" à ailes rétractables

Pour la phase mer-air, certains documents proposent un jet-pompe capable de propulser l'appareil hors de l'eau, procédé inspiré de certains calmars volants.

Modéliser et fabriquer un tel appareil se seraient avérées complexe pour concilier toutes les caractéristiques que nous souhaitons telles que l'autonomie et l'intégration de capteurs embarqués.

Ainsi pour concilier à la fois la résistance et la polyvalence de l'appareil avec les caractéristiques citées au-dessus, le profil d'une aile volante s'est imposé à nous.

2-2. Ailes volantes

Une aile volante désigne un aéronef ne possédant ni fuselage ni empennage, et dont l'ensemble des différentes surfaces mobiles nécessaires à son pilotage est situé sur la voilure et font de ce système possède un bon potentiel d'appareil hybride. Le fait que l'aéronef est constitué d'une voilure unique renforce sa résistance lors de la pénétration dans l'eau.

La voilure aura peu tendance de se détacher du corps de l'appareil comme pour un avion classique. De plus, les ailes volantes possèdent des propriétés aérodynamiques qui lui permettent une plus grande capacité de transport de charge et une capacité de s'adapter théoriquement au milieu sous-marin (profil aile de raie) comme le montre le projet Liberdade XRay, un UUV (Underwater Unmanned Vehicle)



Figure 2 : le Liberdade Xray

2-3. Drones

2-3.1. Drones sous-marins

Avant de nous intéresser aux drones hybrides nous nous sommes penchés sur les drones préexistants et en particulier sur les drones sous-marins.

Les drones se présentent sous différents aspects tels les ROV (Remotely Operated Vehicle) dont l'autonomie décisionnelle est nulle, les AUV (Autonomous Underwater Vehicle) où l'autonomie est décidée par son opérateur et possèdent une plus grande adaptabilité. Utilisés dans des domaines aussi bien civils que militaires. Sur le sujet nous nous sommes particulièrement intéressés à la propulsion. Deux options ont été explorées :

- Propulsion par transfert de masse : une solution plus économe d'un point de vue énergétique. Mais nécessite une complexité technique difficilement réalisable dans le cadre d'un drone hybride. Cette solution est envisagée sur certains projets au sein de l'ENSTA Bretagne.
- Propulsion par turbine ou hélice : c'est la solution la plus souple. Et peut-être facilement couplé au système de propulsion aérien du drone.

2-3.2. Drones volants

Naturellement nous avons effectué des recherches sur le drone aérien, un sujet bien plus documenté grâce à sa popularité des amateurs de modélisme. Nous allons les distinguer par leurs architectures matérielles :

Les copters : dotés de 3 à 8 hélices voire plus pour des cas particuliers, ces drones très appréciés sont très maniables et mobiles malgré l'exigence demandée pour sa conception aussi bien sur l'aspect matériel que l'aspect logiciel. Un de ces atouts est le vol stationnaire malgré une efficacité énergétique médiocre. Ce type de drones est néanmoins utilisé dans notre étude pour tester notre électronique.

Les avions : obéissant à des lois de commandes plus simples qu'un copteur, ils possèdent une plus grande efficacité énergétique et sont capables de parcourir de plus grandes distances. Il s'agira d'un modèle de travail intermédiaire avant la réalisation de notre prototype



Figure 3: un drone quadricopter

Les ailes volantes : profil d'avion particulier, ils sont généralement plus aérodynamiques et possèdent une résistance structurelle plus grande. Ils sont capables aussi de porter une charge utile bien plus importante que les profils d'aéronefs traditionnels. Ils souffrent néanmoins d'une petite instabilité en vol. C'est ce profil qui sera adopté pour notre prototype.



Figure 4 : un Drone "aile volante"

2-3.3. Ardupilot

L'ardupilot est une carte de commande multimode, c'est-à-dire qu'elle peut aussi bien commander un quadcopter, un avion ou une voiture. Nous pouvons aussi développer nos propres lois de commande du fait qu'il s'agisse d'une structure entièrement open-source. La carte est équipée d'une multitude de capteurs.

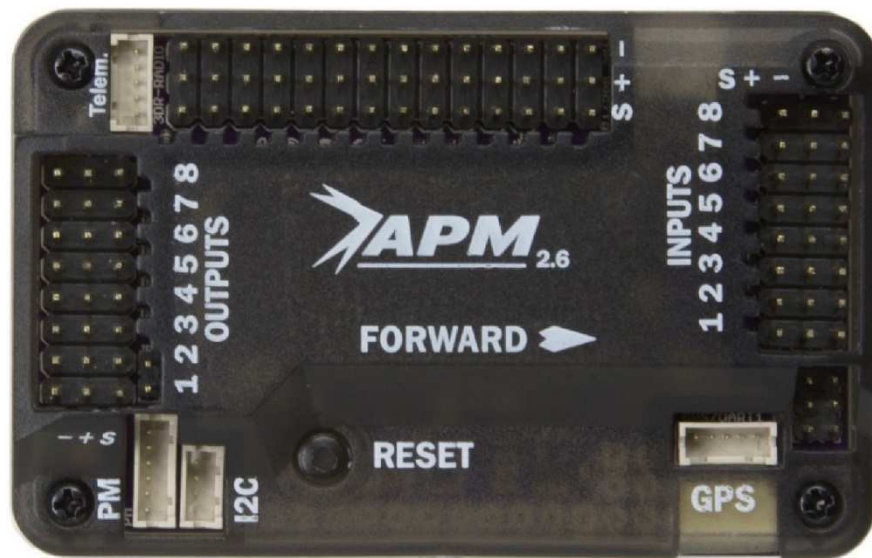


Figure 5 : l'ardupilot, une carte de contrôle

On peut brancher une multitude de capteurs à la carte telle que des GPS, de compas magnétique, des modules de mesures de tension et d'intensité des moteurs, des servomoteurs, des sonars, des relais ou tout autre type de capteur ou actionneur communiquant en I2C.

La carte est équipée de multiples algorithmes autonomes. Le mode le plus intéressant est le mode Follow Me qui permet au drone de suivre une personne équipée d'un GPS portatif et d'un émetteur. De plus le drone est capable de réaliser des instructions parallèlement à son déplacement tel que prendre une photo ou lâcher un colis.

Il s'agit d'une carte est très polyvalente cependant limitée en puissance de calcul par son processeur 8 bits, mais il y en existe dotée d'un processeur 32 bits. Le software repose alors sur un noyau linux.

Partie II : Dossier fonctionnel

3- Ingénierie des exigences

3-1. Approche Top-Down

Une approche dite descendante, ou approche top-down ("de haut en bas" en anglais), implique des processus qui, à partir d'un apport de matière première brute (ici la présentation d'un projet), visent à forger celle-ci en augmentant la complexité de l'ensemble. En résumé, on s'intéresse à des détails de plus en plus fins.

La première étape de cette méthode est de concevoir le diagramme "bête à cornes" qui permet de répondre aux questions fondamentales suivantes :

- À qui le système rend-il service ?
- Sur quoi agit-il ?
- Dans quel but ?

La forme générale de ce diagramme est la suivante :

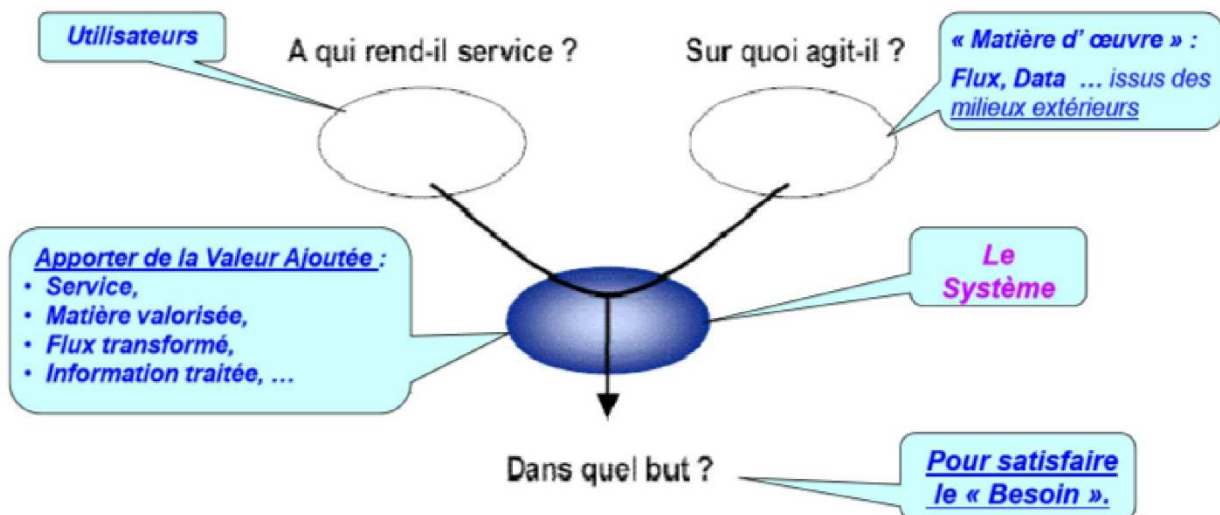


Figure 6 : Une Bête à cornes

Ces indications nous ont mené à la conception de notre propre diagramme "bête à cornes" en rapport avec le projet DBEX .

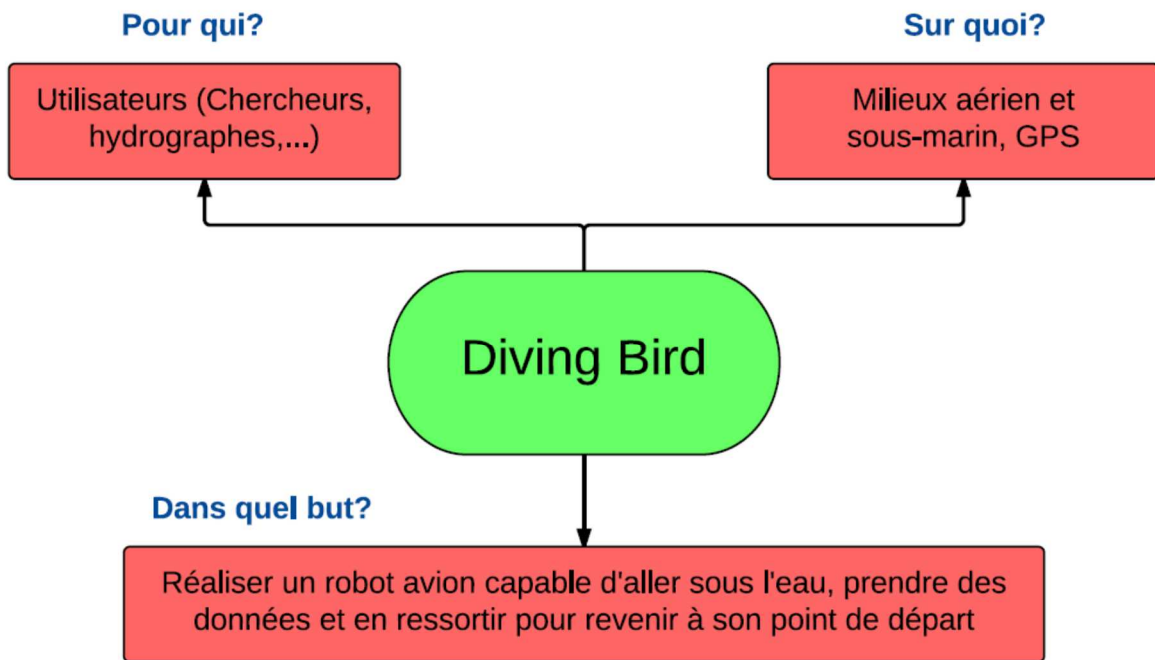


Figure 7 : Diagramme Bête à Corne du Systeme

Les étapes suivantes de cette méthode consistent à réaliser les différents points de la méthode en V en partant de l'analyse fonctionnelle 3.3.

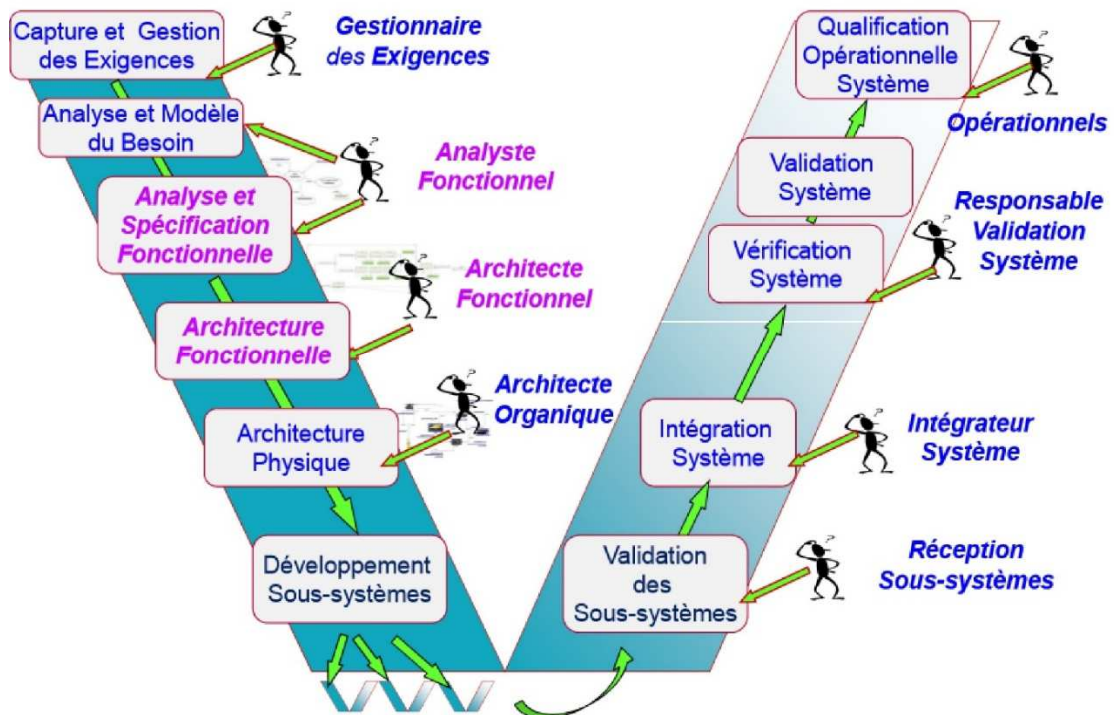


Figure 8 : le Cycle en V

3-2. Approche Bottom-Up

Une approche dite ascendante, ou approche bottom-up ("de bas en haut" en anglais), se caractérise par une suite de processus qui apportent chacun une partie fondamentale à l'édifice qu'ils cherchent à produire, à partir d'éléments de base. La différence entre la méthode Top-Down et Bottom-up est que dans le dernier nous ne partons de rien. C'est-à-dire que le système est conçu entièrement tandis que dans le premier cas nous partons d'un système déjà conçu que nous voulons transformer afin de répondre à nos différentes exigences. Dans ce cas, nous partons directement de la première méthode du diagramme en V.

La première étape consiste à centraliser toutes les exigences d'un projet et de les classer. Nous les avons toutes obtenues par l'intermédiaire des interviews réalisées auprès de nos encadrants et par le biais du sujet déjà défini 3.4.

Identifiant	Type	Description de l'Exigence	Etat	Flexibilité	Criticité	Vérification	Groupe Logique	Fonction
Exi_001	Contrainte	Le système devra pouvoir décoller, atterrir et voler de manière stable	Dicusté	1	5			FP4
Exi_002	Service	Le système devra posséder un mode manuelle où l'utilisateur pourra prendre le contrôle radio-télécommandé	Accepté	3	5			FP2
Exi_003	Performance	Le système devra posséder un mode autonome lors de son vol	Discuté	1	5			FP7
Exi_004	Performance	Le système devra être amphibie et pouvoir plonger et se déplacer de manière autonome sous l'eau	Accepté	3	5			FP3
Exi_005	Performance	Le système devra avoir une autonomie suffisante pour pouvoir enchaîner 2 phases aériennes et 1 phase aquatique	Discuté	3	5			FC3
Exi_006	Performance	Le système devra pouvoir se localiser grâce à un système type GPS et suivre une trajectoire de points GPS	Accepté	1	5			FP6 & FP7
Exi_007	Performance	Le système devra pouvoir, dans sa phase aérienne, estimer son altitude	Discuté	1	5			FP2
Exi_008	Performance	Le système devra pouvoir collecter des données vidéos et transmettre un flux à l'opérateur	Discuté	5	3			FP1
Exi_009	Performance	Le système devra pouvoir collecter des données dans sa phase amphibie	Discuté	5	3			FP5
Exi_010	Performance	Le système devra être capable d'estimer sa position sous l'eau	Discuté	5	1			FP5
Exi_011	Performance	L'utilisateur pourra récupérer des données du robot en temps réels	Discuté	5	2			FP8
Exi_012	Performance	Le système devra stocker les informations prélevées et pouvoir les transmettre à l'opérateur	Accepté	3	5			FP8
Exi_013	Performance	Le système devra pouvoir voler pour une durée de 30 minutes	Discuté	5	3			FC3
Exi_014	Performance	Le système devra pouvoir plonger d'une profondeur de 1 ou 2 mètres	Discuté	5	3			FP9
Exi_015	Performance	Le système physique devra avoir une densité proche de celle de l'eau et une flotabilité légèrement inférieure	Discuté	1	5			FP9
Exi_016	Performance	Le système devra pouvoir émerger de l'eau et prendre son envol	Accepté	1	5			FP9
Exi_017	Performance	Etre capable de localiser le diving bird en cas de panne de batterie	Accepté	1	5			FP10
Exi_018	Performance	Le système devra s'adapter au milieu aérien	Accepté	3	5			FC1
Exi_019	Performance	Le système devra s'adapter au milieu sous-marin	Accepté	3	5			FC2

Figure 9 : Classement des exigences

Les étapes suivantes sont les mêmes pour les deux méthodes et vont être définies dans les chapitres suivants .

3-3. Fonctions principales du système

Cette partie concerne l'analyse fonctionnelle du système et débouche sur la création du diagramme pieuvre ou APTE. Cette partie concerne l'analyse fonctionnelle du système et débouche sur la création du diagramme pieuvre ou APTE.

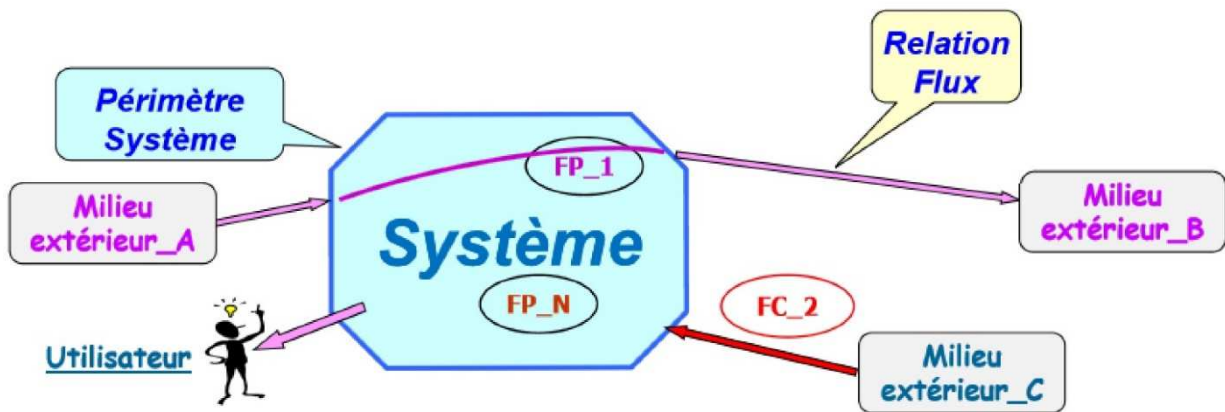


Figure 10 : Diagramme APTE

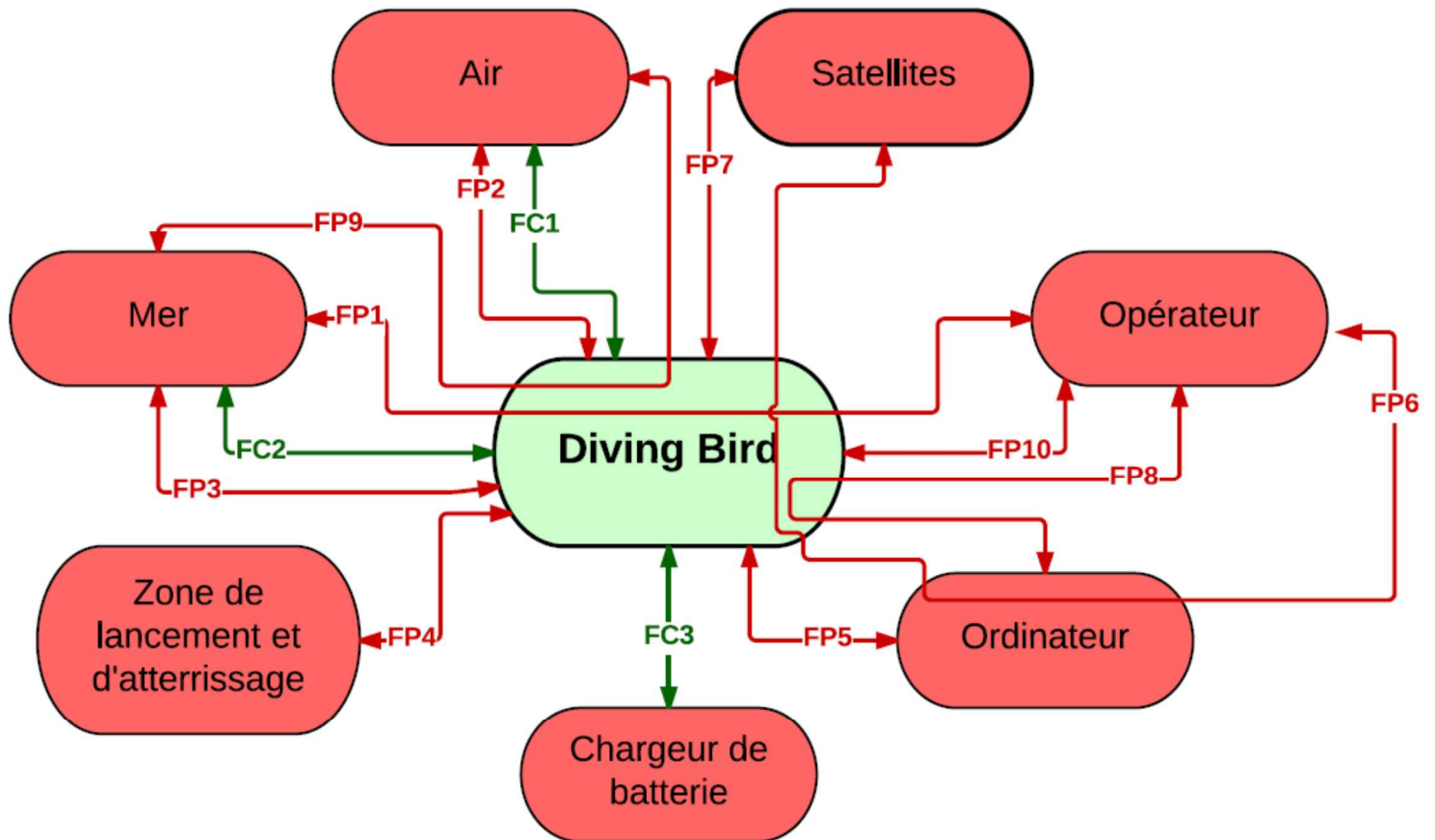
Il faut identifier et définir les différentes fonctions principales et de contraintes. Mais comment les identifier ?

Les fonctions principales consistent à des :

- relations établies par le système entre les milieux extérieurs au périmètre.
- Transformations de Flux s'établissant à travers le système entre un Acteur "Source" (émet un flux) et un Acteur "Puits" (reçoit un flux transformé).

Les fonctions contraintes s'apparentent quant à elles à des contraintes d'adaptation aux milieux extérieurs s'appliquant au système (Perception de l'environnement et prise en compte, Normes et Standards, Coût de réalisation, d'exploitation...).

Nous obtenons par la suite ce diagramme :



- FP1: Obtenir des données provenant de la mer**
- FP2: Etre capable de voler**
- FP3: Etre capable de naviguer sous l'eau**
- FP4: Permettre le décollage et l'atterrissage du robot**
- FP5: Prendre des données au fond de l'eau et être capable d'estimer sa position sous l'eau**
- FP6: Programmer le trajet que doit suivre le robot**
- FP7: Gérer les différentes phases en fonction des points GPS**
- FP8: Récupérer les données et la position du robot sur son ordinateur**
- FP9: Etre capable de plonger et de sortir de l'eau**
- FP10: Permettre la localisation du Diving Bird en cas de panne de batterie**

- FC1: Etre capable de s'adapter au milieu aérien**
- FC2: Etre capable de résister au milieu marin et d'éviter de couler en cas de panne de batterie**
- FC3: Gérer l'énergie**

Figure 11: Liste des fonctions du système



Nous avons également réalisé un diagramme pieuvre plus détaillée qui relie les différentes fonctions à des solutions techniques trouvées à l'aide du raffinement présenté dans le chapitre suivant.

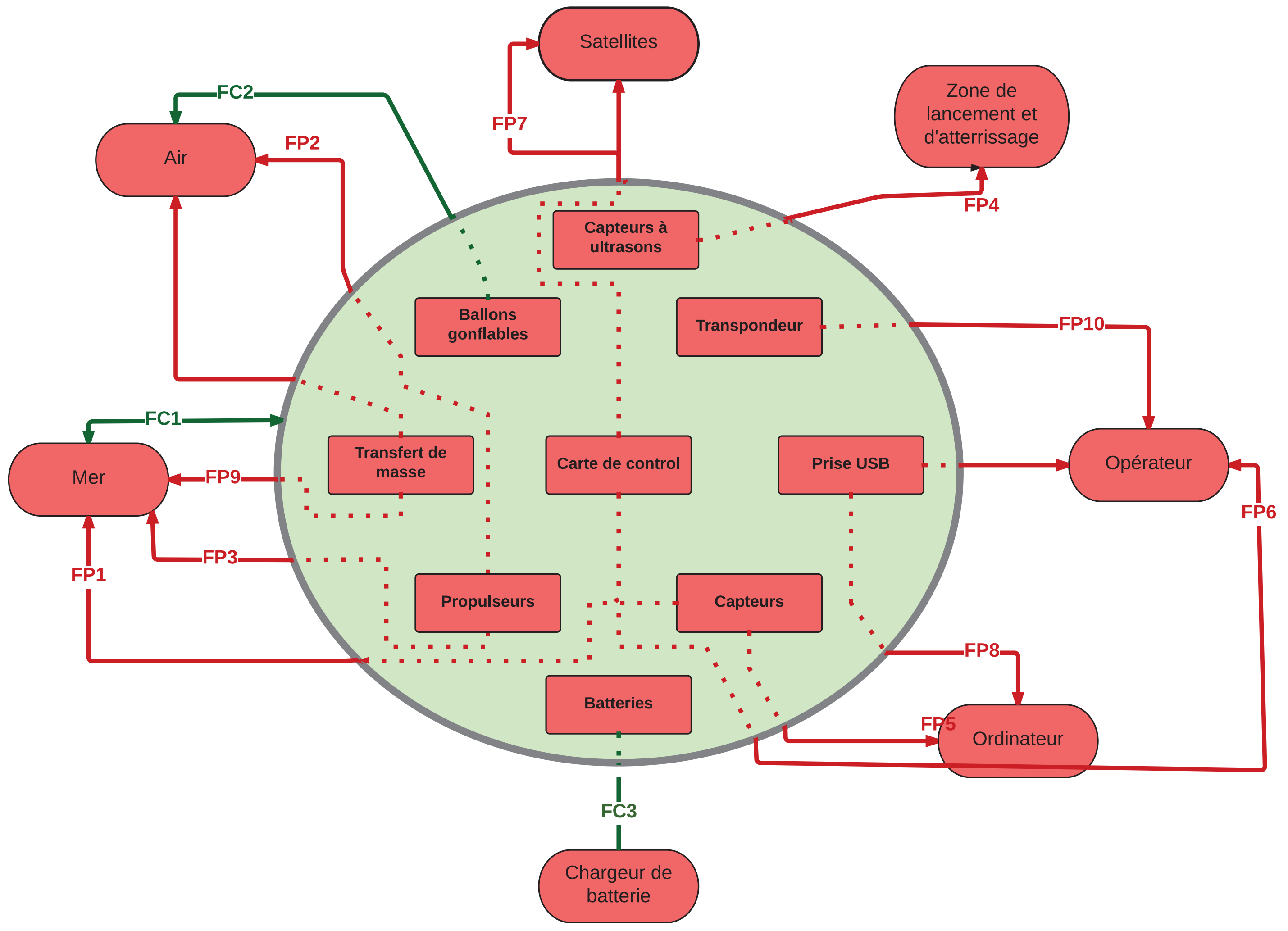
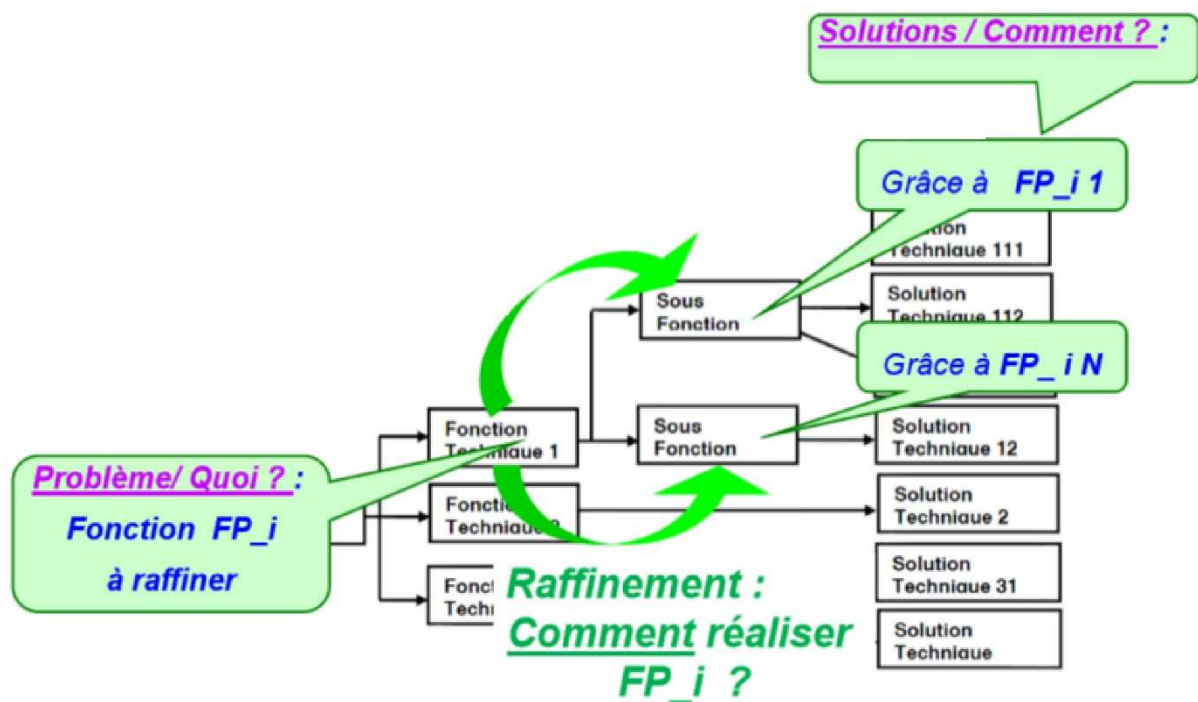


Figure 12 : Diagramme pieuvre détaillée

4- Spécification fonctionnelle 3 axes

4-1. Raffinement FAST

Le raffinement se réalise en se posant les questions pourquoi ? Comment ? Quand ? Et permet de d'établir une relation entre les besoins et les solutions. Sa structure générale suit le procédé suivant :



➔ Fonction globale, décomposition fonctionnelle, solutions techniques

Plus détaillé dans le diagramme FAST général suivant :

Diagramme FAST

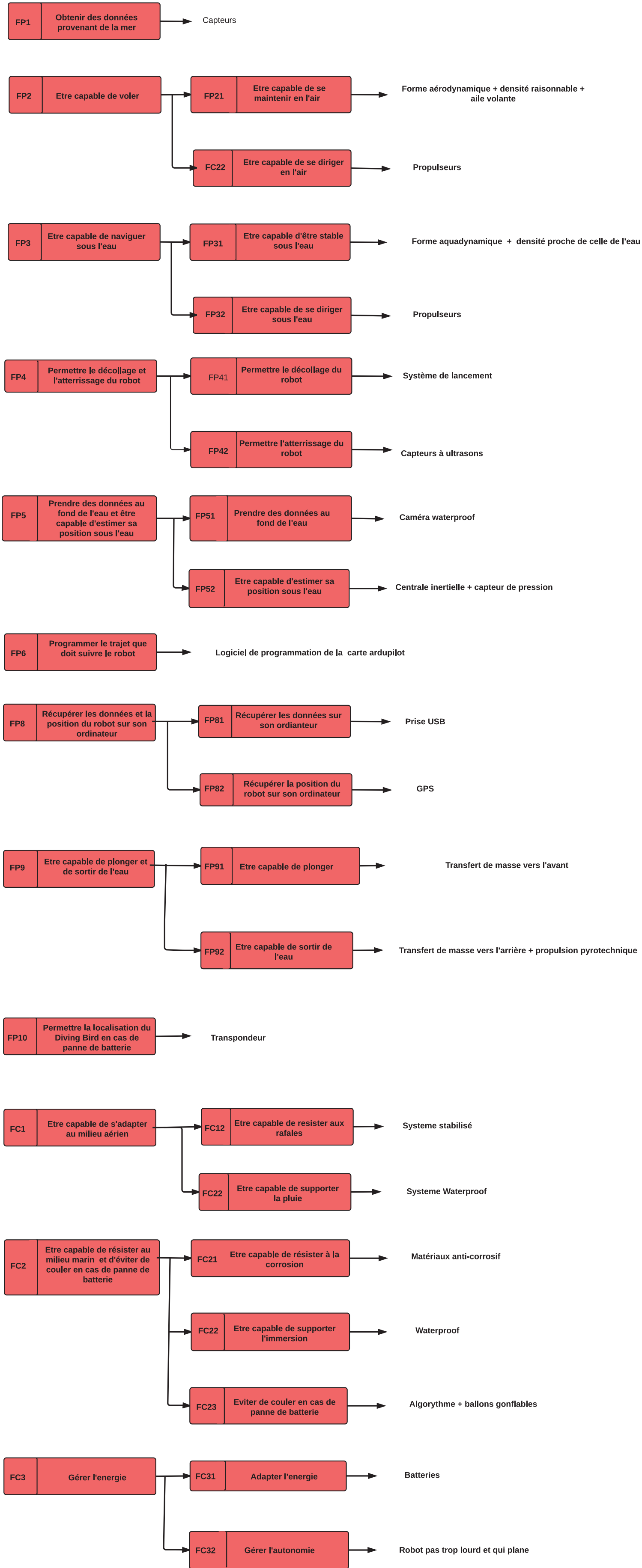


Figure 13 : Diagramme FAST détaillé

Le raffinement de nos fonctions nous mène au diagramme FAST précédant .

Les spécifications fonctionnelles vont maintenant être établies à l'aide de ces trois axes 4.3 qui seront traités chacun leur tour.

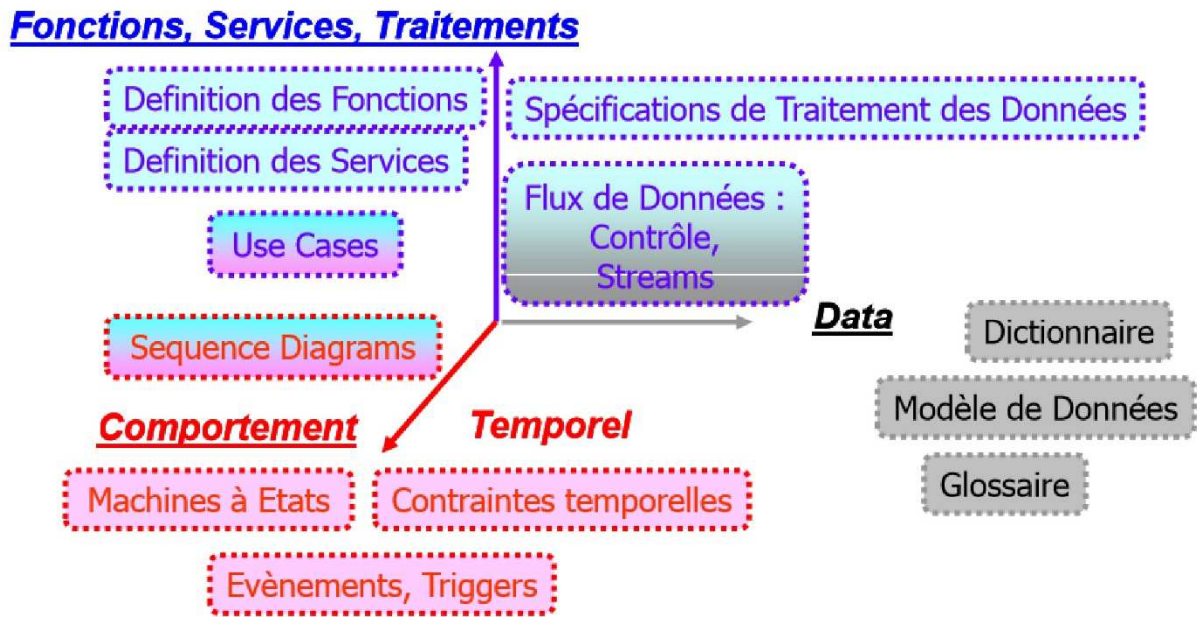


Figure 14 : Spécification fonctionnelle 3 axes

4-2. Spécification des fonctions

Pour décrire l'axe Fonctions, Services, Traitements on écrit le titre de chaque fonction principal, et on décrit sa/ses préconditions(s), le/les trigger(s) et la/les post-conditions(s).

Titre	FP1 : Obtenir des données provenant de la mer
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> - Aller jusqu'au waypoint voulu - Rentrer sous l'eau sans aucuns dégâts
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> - Quand l'avion se trouve sous l'eau il allume la camera
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - Il collecte les données d'où il se trouve - Après avoir collecté les données suffisantes il éteint la camera - Il rentre à la base

Titre	FP2 : Etre capable de voler
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> - Les moteurs doivent être allumés - Il doit être légé
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> - Il suit le trajet de waypoints
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - Sa batterie doit être suffisante pour un aller-retour

Titre	FP3 : Etre capable de naviguer sous l'eau
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> - Le système doit être étanche - Les moteurs doivent marcher sous l'eau
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> - Sous l'eau il se met en mode « sous l'eau » - Il navigue sous l'eau
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - En « mode sous l'eau » les moteurs tournent plus doucement.

Titre	FP4 : Permettre le décollage et l'atterrissage du robot
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> • Décollage : <ul style="list-style-type: none"> - Les moteurs doivent être suffisamment puissants pour soulever le poids de l'avion • Atterrissage : <ul style="list-style-type: none"> - L'avion doit être en vol
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sur Terre : <ul style="list-style-type: none"> • Décollage : <ul style="list-style-type: none"> - L'avion allume ses moteurs - Il augmente la puissance jusqu'à ce qu'il commence à décoller - Il décolle • Atterrissage : <ul style="list-style-type: none"> - Il réduit la vitesse de ses moteurs pour éviter tous dégâts - Il réduit sa hauteur pour arriver suffisamment proche du sol ➤ En mer : <ul style="list-style-type: none"> • Décollage : <ul style="list-style-type: none"> - L'avion monte à la surface de l'eau - Il augmente la vitesse de ses moteurs - Il décolle
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - Après l'atterrissage il doit être intact

Titre	FP5 : Prendre des données et être capable d'estimer sa position sous l'eau
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> - Etre rentré sous l'eau sans dégâts - Etre en mode : « sous l'eau »
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> - Activer le suivi de l'avion sous l'eau - Les capteurs/caméras s'activent
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - L'avion collecte des données

Titre	FP6 : Programmer le trajet que doit suivre le robot
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrir le logiciel Mission Planner - Allumer la carte de contrôle arduinopilot
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> - On trace les différents waypoint sur le logiciel - On écrit la programmation des waypoints sur la carte de contrôle - On lance le suivi de la trajectoire
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - Le trajet suivi par le robot doit être retourné sur l'ordinateur

Titre	FP7 : Gérer les différentes phases en fonction des points GPS
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> - Les waypoints doivent déjà être programmées sur l'avion
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> - Suivre les waypoints
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - Les phases sont correctement suivies

Titre	FP8 : Récupérer les données et la position du robot sur son ordinateur
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> • Récupérer les données : <ul style="list-style-type: none"> - L'avion doit être posé - L'ordinateur doit être allumé • Récupérer la position du robot : <ul style="list-style-type: none"> - Le logiciel Mission Planner doit être ouvert
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> • Récupérer les données : <ul style="list-style-type: none"> - Brancher le câble USB entre le robot et le pc - Récupérer les données • Récupérer la position du robot : <ul style="list-style-type: none"> - Voir la position du robot sur le logiciel Mission Planner
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - Les données sont traitées et le suivi du robot est actif

Titre	FP9 : Etre capable de plonger et de sortir de l'eau
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> - Etre étanche - Les moteurs doivent être étanches - Etre suffisamment résistant
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> • Plonger : <ul style="list-style-type: none"> - Ralentir vitesse des moteurs - L'avion se penche vers l'avant - L'avion plonge en douceur sans dégâts - L'avion passe en mode « sous l'eau » • Sortir de l'eau : <ul style="list-style-type: none"> - L'avion se penche vers l'arrière - L'avion monte à la surface - Augmenter la vitesse des moteurs - L'avion décolle de l'eau - Passage en mode « Vol »
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - L'avion change de phase sans aucuns problèmes

Titre	FP10 : Permettre la localisation du Diving Bird en cas de panne de batterie
Précondition	<ul style="list-style-type: none"> - Atteindre un seuil critique de batterie
Trigger	<ul style="list-style-type: none"> - Allumer le transpondeur
Post-condition	<ul style="list-style-type: none"> - Le signal est lancé jusqu'à ce que l'utilisateur puisse le retrouver

Figure 15 : Spécification des fonctions

4-3. Spécification des données

Source	Data	Unité
Propulseur	Couple	N*m
Batterie	Energie	V
Transfert de masse	Force	F
Capteurs	Energie	V
Transpondeur	Energie	V

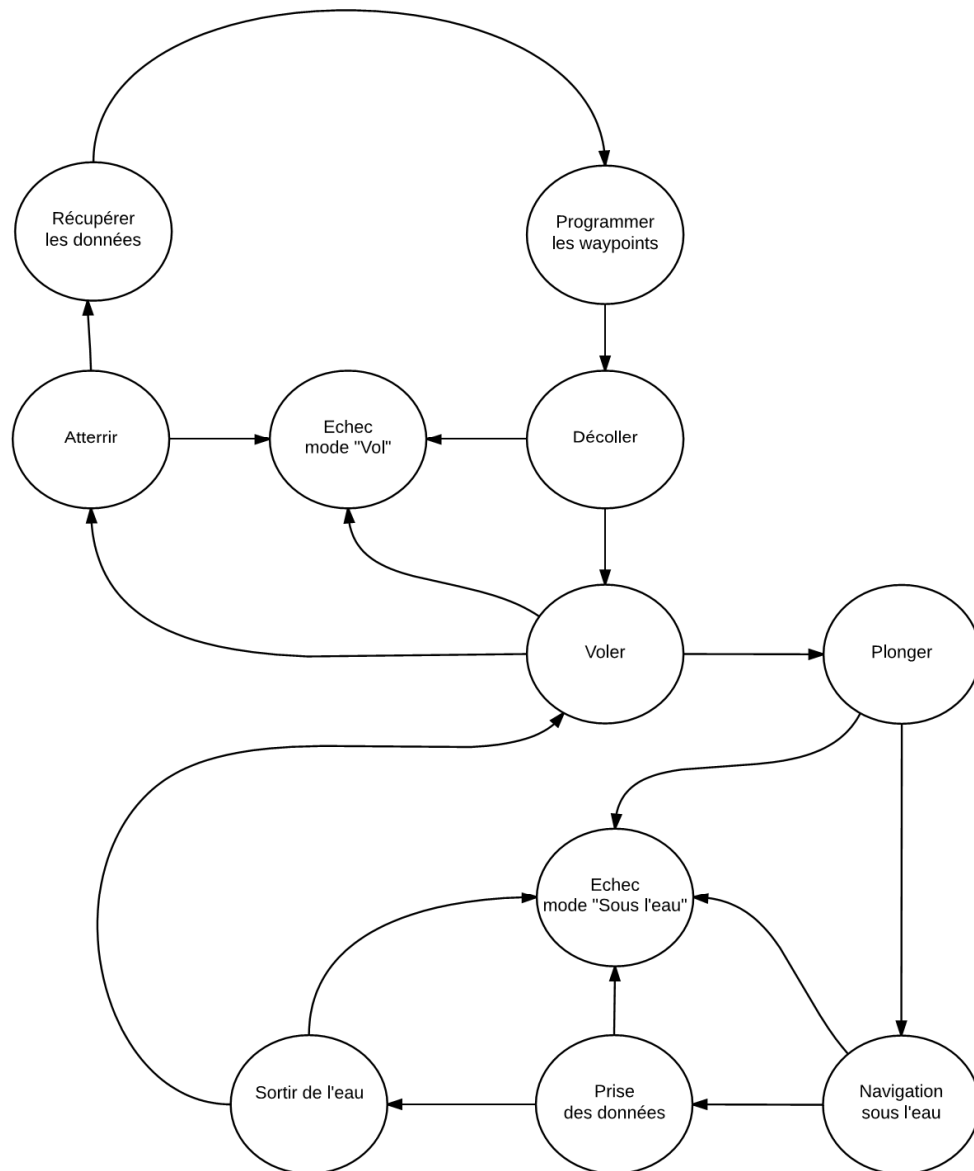
Source	Requête	Type d'informations
Utilisateur	Obtenir les informations sur la position	Position du robot
Diving Bird	Récupérer les données	Données prises sous l'eau
Utilisateur	Permettre la localisation	Waypoints
Ordinateur	Prendre l'information	Données prises sous l'eau

Source	Evènement
Capteurs à ultrasons	Permettre le décollage et l'atterrissage
Capteurs	Prendre des données sous la mer
Transpondeur	Transmettre un signal sonore
Carte de contrôle	Maîtriser les différentes phases
Prise USB	Transmettre les données enregistrées
Transfert de masse	Permettre de plonger et de sortir de l'eau
Ballons gonflable	Eviter de couler en cas de panne de batterie
Chargeur de batterie	Charger les batteries
Satellite	Faire le suivi des différents waypoints
Zone de lancement et d'atterrissage	Décoller, atterrir
Mer	Plonger
Air	Voler
Batteries	Allumer les capteurs
Logiciel Mission Planner	Configurer les waypoints et les écrire sur la carte de contrôle

Figure 16 : Dictionnaire des Données

Le dictionnaire de données contient les différents flux du système avec leurs unités/leurs types d'informations.

4-4. Spécification des comportements



Echec mode "Vol": Emmettre un signal de détresse

Echec mode "Sous-l'eau": Se positionner à la surface de l'eau et émettre un signal de détresse

Figure 17 : Diagramme d'états du système

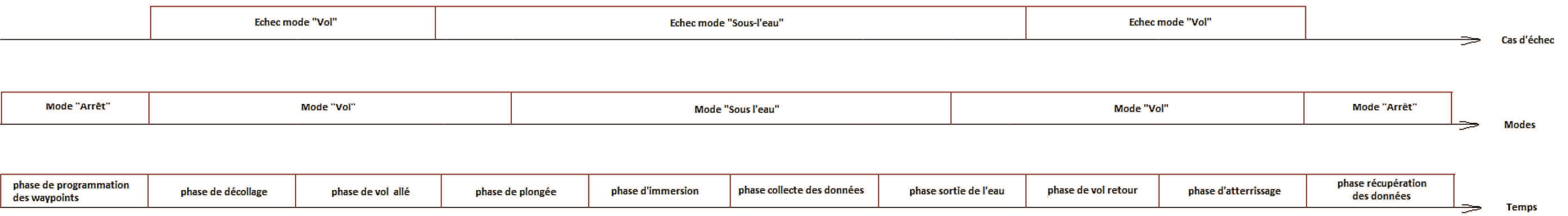


Figure 18 : Fonctionnement attendu du système

5- Architecture fonctionnelle

L'architecture fonctionnelle consiste à relier les différentes fonctions/sous-fonctions avec des flux comme présentés sur le schéma précédent :

Architecture Fonctionnelle

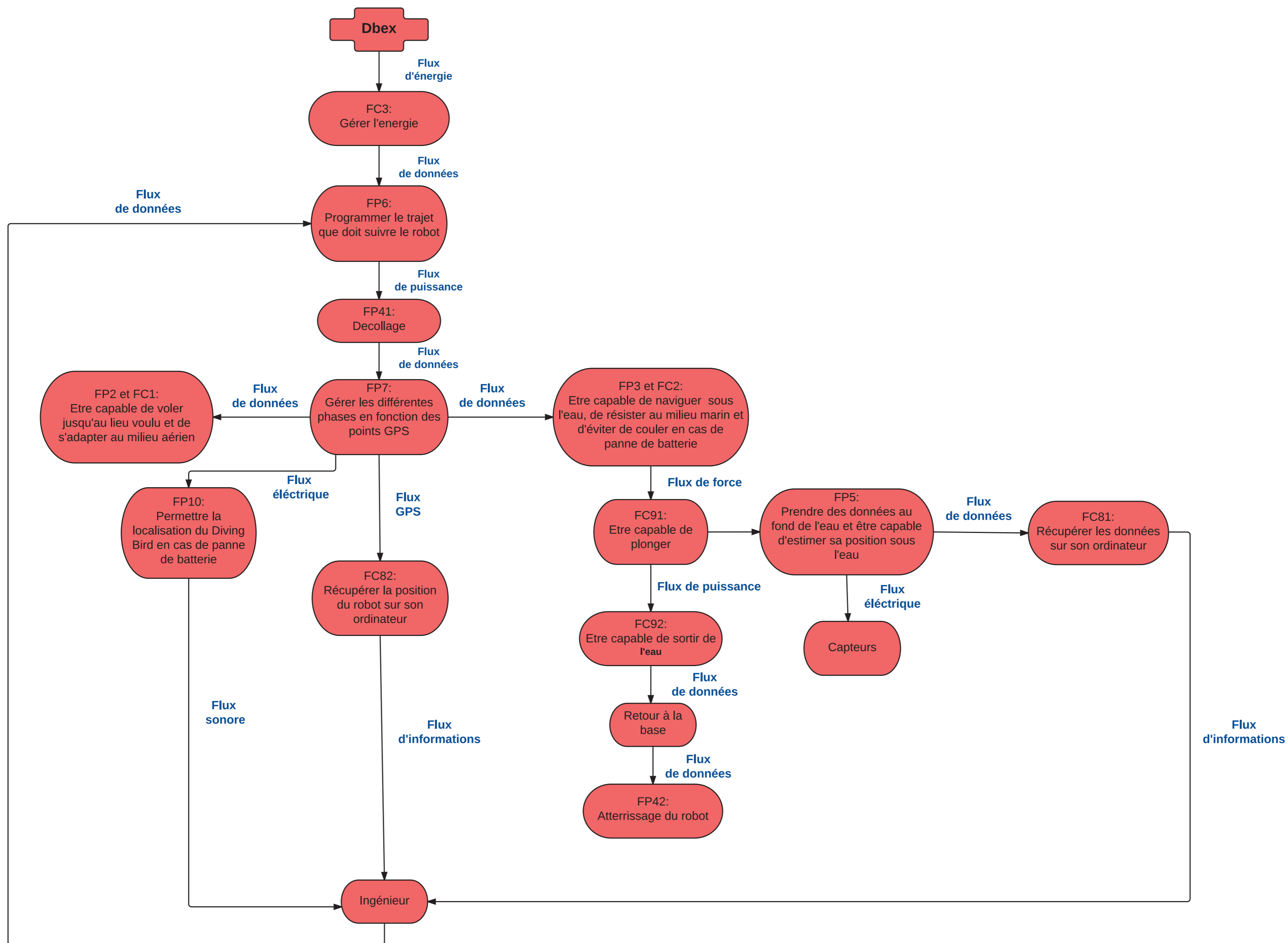


Figure 19 : Architecture fonctionnelle

Partie III : Organisation

6- Méthodes de travail

Les rencontres du groupe se déroulent les lundis et jeudi matin à la salle robotique de l'ENSTA. Dans ces périodes, nous avons essayé de faire un peu de tout dans le projet, de la partie théorique à la construction et tests de drone. De plus, les cartes Ardupilot ont été prises en main. Ce sont les cartes qui permettent de rendre autonomes des voitures, des avions ou des quadcopters.

Notre groupe est formé de quatre élèves français, d'un Brésilien et d'une Chinoise. De part cette diversification, toutes les tâches ont dû bien être expliquées, ce qui impliquait que pour chaque tâche effectuée par un élève étranger, un élève français s'occupait de sa supervision.

On est parti sur une approche Top down du problème. C'est-à-dire qu'on utilise une carte de commande qui est plus ou moins une boîte noire. Ainsi, on a déjà un drone et une voiture quasiment autonomes. Par la suite, on va ouvrir la boîte pour comprendre chaque élément. Le fait d'avoir déjà bien utilisé la carte nous permet de mieux comprendre son fonctionnement interne.

Comme objectif de travail, nous avons effectué toute la partie d'Ingénierie Système du projet DBEX. Les diagrammes et les tests logiciels que l'on utilisera lors du projet ont été faits et pris en main. Avec le temps, les tâches se sont accrues de complexité pour chacun des membres.

À chaque fin de séance, le groupe organise un débriefing pour nous aider à nous organiser mieux pour les prochains rendez-vous, mais également pour connaître toutes les tâches effectuées par les membres du groupe lors de cette séance. Pendant ces réunions, chaque membre du groupe explique clairement le travail qu'il a effectué et ce qu'il reste à faire. Les priorités sont ensuite mises en place pour les prochaines séances.

7- Outils pour les échanges

Pour les échanges de fichiers, nous avons utilisé la plateforme GitHub pour que tous les membres du groupe aient accès à toutes les ressources fournies par les autres membres. Avec GitHub, il est possible de rester au courant de toutes les actualisations sur les dossiers du projet, ce qui crée une plus grande synergie au sein du groupe. Il y a aussi une indexation automatique qui permet de réaliser des recherches de fichiers avec beaucoup plus de rapidité, ce qui peut être pratique avec l'avancement du projet.

8- Répartition des tâches dans le temps

La répartition du travail a été assez homogène. Lors des débuts de séances, on se répartissait en plusieurs groupes à chaque fois. Généralement, il y a un petit groupe qui avançait sur la partie pratique. Cela consista à construire un drone ou des voitures pour tester le mode autonome des cartes ardupilot. Parfois, le groupe entier travaillait sur cet aspect.

Le reste du temps, il avait le reste du groupe qui travaillait sur l'aspect ingénierie système. De plus, en début de projet, on a tous beaucoup travaillé sur l'état de l'art. Il y a déjà beaucoup qui a été fait sur ce domaine.

Le groupe qui travaillait sur le drone était composé de Maxime et d'une autre personne du groupe qui tournait. Il y avait toujours Maxime dans ce groupe, car il est un membre actif dans la section drone du club robotique. Ainsi, on avait un flux de travail assez ininterrompu. Il était au courant de ce qui était fait le reste de semaine sur le drone. L'autre avantage est le suivant, les autres membres de l'équipe sont formés progressivement à la construction et aux réglages de drone. À terme cela permettra qu'on puisse tourner beaucoup plus souvent sur les différentes parties du projet.

Partie IV : Journal du projet

9- Choix et justifications

Dans notre projet, pour réaliser le drone qui peut voler entre ciel et eau, on a conçu la forme de prototype du drone, choisi les matériaux et les autres composants techniques.

9-1. La forme du drone

On choisit la forme de delta (triangle) . Il y a une turbine montée sur une nacelle deux axes. On a ainsi une poussée vectorielle.

9-2. Le matériel

Plastique et toile, c'est une question de densité, on veut le drone léger, mais plus lourd que l'eau. La toile nous permet d'avoir un drone d'une grande surface. Le plastique permet d'avoir des pièces assez restantes et faciles à fabriquer avec l'imprimante 3D



9-3. La turbine

Turbine type "ducted fan" (modèle réduit d'un réacteur d'avion équipé d'un moteur électrique). Cette turbine est efficace, compacte et puissante.

9-4. La batterie

Batterie lipo, c'est une batterie ayant un rapport poids puissance très intéressante.

9-5. La carte de contrôle

Ardupilot ; on l'équipe avec GPS et des capteurs tels qu'un sonar.

10- Résultats et analyses

On est train de prendre en main complètement l'ardupilot. Pour le mode autonome, on est train de la tester sur une voiture avant de le faire sur le drone. On a eu de bons résultats. La voiture arrive à rallier un point GPS qu'on lui donne.

Conclusion

Nous avons analysé la partie ingénieries systèmes du projet. Nous avons organisé notre travail fait les répartitions tâches. Et puis, nous avons testé les composants techniques, et résolu les problèmes. Maintenant, on va entrer dans le vif : la construction de notre drone, test de son étanchéité sous l'eau, etc.

11- Bibliographie

- [1] Erik J Anderson et Mark A Grosenbaugh : Jet flow in steadily swimming adult squid. *Journal of experimental biology*, 208(6) :1125–1146, 2005.
- [2] PAV Anderson, J Aiema, H Atwood, F Clarac, J Davenport, SM Evans et B Hazlett : Marine and freshwater behaviour and physiology. 1995.
- [3] Rhodri Armour, Keith Paskins, Adrian Bowyer, Julian Vincent et William Megill : Jumping robots : a biomimetic solution to locomotion across rough terrain. *Bioinspiration & biomimetics*, 2(3) : S65, 2007.
- [4] M Burrows et MD Picker : Jumping mechanisms and performance of pygmy mole crickets (orthoptera, tridactylidae). *The Journal of experimental biology*, 213(14) :2386–2398, 2010.
- [5] KS Cole et DL Gilbert : Jet propulsion of squid. *The Biological Bulletin*, 138(3) : 245–246, 1970.
- [6] Timothee R Cook et Guillaume Leblanc : Why is wing-spreading behaviour absent in blue-eyed shags? *Animal Behaviour*, 74(3) :649–652, 2007.
- [7] John Davenport, Roger N Hughes, Marc Shorten et Poul Scheel Larsen : Drag reduction by air release promotes fast ascent in jumping emperor penguins; a novel hypothesis. *Marine Ecology-Progress Series*, 430 : 171–182, 2011.
- [8] Robert Dudley, Greg Byrnes, Stephen P Yanoviak, Brendan Borrell, Rafe M Brown et Jimmy A McGuire : Gliding and the functional origins of flight : biomechanical novelty or necessity? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, pages 179–201, 2007.
- [9] R Eubank, E Atkins et G Meadows : Unattended operation of an autonomous seaplane for persistent surface and airborne ocean monitoring. *In OCEANS 2010*, pages 1–8. IEEE, 2010.
- [10] Andrew Fabian, Yifei Feng, Erika Swartz, Derek Thurmer et Rui Wang : Hybrid aerial underwater vehicle (mit lincoln lab). 2012.
- [11] Dario Floreano, Jean-Christophe Zufferey, Mandyam V Srinivasan et Charlie Ellington : *Flying insects and robots*. Numéro LIS-BOOK-2009-001. Springer, 2009.
- [12] Stefan Garthe, Silvano Benvenuti et William A Montevecchi : Pursuit plunging by northern gannets (sula bassana) feeding on capelin (mallotus villosus)". *Proceedings of the Royal Society of London. Series B : Biological Sciences*, 267(1454) :1717–1722, 2000.
- [13] Daniel T Grant, Mujahid Abdulrahim et Rick Lind : Design and analysis of biomimetic joints for morphing of micro air vehicles. *Bioinspiration & biomimetics*, 5(4) : 045007, 2010.
- [14] Auke Jan Ijspeert, Alessandro Crespi, Dimitri Ryczko et Jean-Marie Cabelguen : From swimming to walking with a salamander robot driven by a spinal cord model. *science*, 315(5817) :1416–1420, 2007.
- [15] G Iosilevskii et D Weihs : Speed limits on swimming of fishes and cetaceans. *Journal of The Royal Society Interface*, 5(20) :329–338, 2008.
- [16] JianHong Liang, GuoCai Yao, TianMiao Wang, XingBang Yang, WenDi Zhao, Gang Song et YuCheng Zhang : Wing load investigation of the plunge-diving locomotion of a gannet morus inspired submersible aircraft. *Science China Technological Sciences*, 57(2) :390–402, 2014.
- [17] Richard J Lock, Ravi Vaidyanathan, Stuart C Burgess et John Loveless : Development of a biologically inspired multi-modal wing model for aerial-aquatic robotic vehicles through

- empirical and numerical modelling of the common guillemot, uria aalge. *Bioinspiration & biomimetics*, 5(4) : 046001, 2010.
- [18] Silvia Maciá, Michael P Robinson, Paul Craze, Robert Dalton et James D Thomas : New observations on airborne jet propulsion(flight) in squid, with a review of previous reports. *Journal Molluscan Studies*, 70(3) : 297–299, 2004.
- [19] Dana Mackenzie : A flapping of wings. *Science*, 335(6075) :1430–1433, 2012.
- [20] WL Morgan : Feeding methods of the short-tailed shearwater puffinus tenuirostris. *Emu*, 82(4) :226–227, 1982.
- [21] K Muramatsu, J Yamamoto, T Abe, K Sekiguchi, N Hoshi et Y Sakurai : Oceanic squid do fly. *Marine biology*, 160(5) :1171–1175, 2013.
- [22] Robin R Murphy, Eric Steimle, Chandler Griffin, Charlie Cullins, Mike Hall et Kevin Pratt : Cooperative use of unmanned sea surface and micro aerial vehicles at hurricane wilma. *Journal of Field Robotics*, 25(3) : 164–180, 2008.
- [23] Keiji Nagatani, Seiga Kiribayashi, Yoshito Okada, Kazuki Otake, Kazuya Yoshida, Satoshi Tadokoro, Takeshi Nishimura, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi, Mineo Fukushima *et al.* : Emergency response to the nuclear accident at the fukushima daiichi nuclear power plants using mobile rescue robots. *Journal of Field Robotics*, 30(1) : 44–63, 2013.
- [24] Ron O’Dor, Julia Stewart, William Gilly, John Payne, Teresa Cerveira Borges et Tierney Thys : Squid rocket science : how squid launch into air. *Deep Sea Research Part II : Topical Studies in Oceanography*, 95 :113–118, 2013.
- [25] Hyungmin Park et Haecheon Choi : Aerodynamic characteristics of flying fish in gliding flight. *The Journal of experimental biology*, 213(19) :3269–3279, 2010.
- [26] K Peterson, P Birkmeyer, R Dudley et RS Fearing : A wing-assisted running robot and implications for avian flight evolution. *Bioinspiration & biomimetics*, 6(4) : 046008, 2011.
- [27] Flavio Quintana, Rory P Wilson et Pablo Yorio : Dive depth and plumage air in wetttable birds : the extraordinary case of the imperial cormorant. *Marine Ecology Progress Series*, 334 : 299–310, 2007.
- [28] Graham T Reels et Rory Dow : Underwater oviposition behavior in two species of euphaea in borneo and hong kong (odonata : Euphaeidae). *International Journal of Odonatology*, 9(2) :197–204, 2006.
- [29] Gal Ribak, Daniel Weihs et Zeev Arad : How do cormorants counter buoyancy during submerged swimming? *Journal of experimental biology*, 207(12) :2101–2114, 2004.
- [30] Gal Ribak, Daniel Weihs et Zeev Arad : Submerged swimming of the great cormorant phalacrocorax carbo sinensis is a variant of the burst-and-glide gait. *Journal of experimental biology*, 208(20) :3835–3849, 2005.
- [31] Frank Richardson : Functional aspects of the pneumatic system of the california brown pelican. *Condor*, pages 13–17, 1939.
- [32] Yan Ropert-Coudert, Francis Daunt, Akiko Kato, Peter G Ryan, Sue Lewis, Kaori Kobayashi, Yoshihisa Mori, David Grémillet et Sarah Wanless : Underwater wingbeats extend depth and duration of plunge dives in northern gannets morus bassanus. *Journal of Avian Biology*, 40(4) : 380–387, 2009.
- [33] R Siddall et M Kovač : Launching the aquamav : bioinspired design for aerial–aquatic robotic platforms. *Bioinspiration & biomimetics*, 9(3) : 031001, 2014.
- [34] TM Wang, XB Yang, JH Liang, GC Yao et WD Zhao : Cfd based investigation on the impact acceleration when a gannet impacts with water during plunge diving. *Bioinspiration & biomimetics*, 8(3) : 036006, 2013.



- [35] Sarah Wanless et JD Okill : Body measurements and flight performance of adult and juvenile gannets *morus bassanus*. *Ringing & Migration*, 15(2) :101–103, 1994.
- [36] Yuuki Y Watanabe, Akinori Takahashi, Katsufumi Sato, Morgane Viviant et Charles-André Bost : Poor flight performance in deep-diving cormorants. *The Journal of experimental biology*, 214(3) :412–421, 2011.
- [37] Rory P Wilson, Kit Hustler, Peter G Ryan, Alan E Burger et E Christian Noldeke : Diving birds in cold water : do archimedes and boyle determine energetic costs? *American Naturalist*, pages 179–200, 1992.