

# Filière Systèmes industriels

Orientation Infotronics

## Travail de bachelor Diplôme 2018

*Loïc Gillioz*

*Installation d'instrument par drone  
(InstalloDrone)*

■ Professeur  
Joseph Moerschell

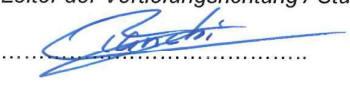
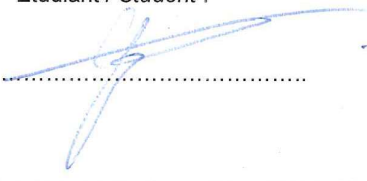
■ Expert  
François Baillifard

■ Date de la remise du rapport  
17.08.2018

Ce rapport est l'original remis par l'étudiant.  
Il n'a pas été corrigé et peut donc contenir des inexactitudes ou des erreurs.

Filière / Studiengang <b>SYND</b>	Année académique / Studienjahr <b>2017/18</b>	No TD / Nr. DA <b>it/2018/67</b>
Mandant / Auftraggeber <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input checked="" type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire Partnerinstitution	Etudiant / Student <b>Loïc Gillioz</b>  Professeur / Dozent <b>Joseph Moerschell</b>	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire Partnerinstitution
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja <sup>1</sup> <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) <b>François Baillifard</b> Norbert S.A., Avenue du Grand-Saint-Bernard 35, 1920 Martigny	

Titre / Titel <b>Installation d'instrument par drone (InstaDrone)</b>
Description / Beschreibung  Les instruments pour des mesures environnementales doivent souvent être installés dans des endroits exposés, p.ex. des éboulements. Si cette installation pouvait se faire par drone, le risque et le coût de l'opération seraient réduits.  Il s'agit de développer l'installation d'un instrument par drone sur un rocher, sur la base de travaux faits dans un projet PGa. Les travaux suivants seront entrepris :  <ul style="list-style-type: none"> <li>– Le développement du prototype existant, sans changement du concept d'installation, est continué jusqu'à la réalisation des tests réels. Il s'agit d'analyser les performances des vols de reconnaissance, et par vol d'installation de supports d'ancrage par collage sur rocher.</li> <li>– Dans ce but, en particulier le pilotage par vidéo en ligne de l'installation, et la commande des différents éléments, doivent être développés.</li> <li>– Le pied d'ancrage existant est modifié, en lui ajoutant un petit instrument avec contrôleur, modem LoRa et alimentation solaire. L'instrument sera un inclinomètre et un récepteur GPS.</li> <li>– Ensuite, la nacelle est simplifiée (pas de création mécanique d'une nouvelle nacelle, mais adaptation de l'actuelle), afin de permettre d'installer un seul support d'ancrage, combiné avec un petit instrument de mesure. Cette version est développée jusqu'à des tests complets réels.</li> <li>– En fonction des résultats des tests, un mécanisme d'orientation des pads sur la nacelle est étudié et un concept est développé.</li> <li>– Documentation des travaux et résultats.</li> </ul>

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum  Responsable de l'orientation / filière Leiter der Vertiefungsrichtung / Studiengang:   <sup>1</sup> Etudiant / Student : 	Délais / Termine  Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags: <b>16.05.2018</b>  Présentation intermédiaire / Zwischenpräsentation <b>14 – 15.06.2018</b>  Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts: <b>17.08.2018, 12:00</b>  Expositions / Ausstellungen der Diplomarbeiten: <b>29, 30 – 31.08.2018</b>  Défense orale / Mündliche Verfechtung: <b>04, 05 – 06.09.2018</b>
---	--

<sup>1</sup> Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme.  
Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.



## Installation d'instrument par drone

Diplômant/e Loïc Gillioz



### Objectif du projet

Les instruments de mesure environnementaux doivent souvent être installés dans des zones à risque. Ce projet cherche à développer un concept d'installation d'un appareil sur un rocher, avec un drone, pour réduire les risques et les coûts.

### Méthodes | Expériences | Résultats

Le drone, grâce à sa mobilité, peut atteindre aisément des zones difficiles d'accès. Il reste cependant incapable de remplacer un spécialiste pour effectuer une installation selon les méthodes actuelles pensées pour des humains. Une importante partie du projet est donc de résoudre la problématique de transition de l'homme vers la machine.

Travail de diplôme  
| édition 2018 |



Filière  
*Systèmes industriels*

Domaine d'application  
*Infotronics*

Professeur responsable  
*Joseph Moerschell*  
[joseph.moerschell@hevs.ch](mailto:joseph.moerschell@hevs.ch)

Partenaire  
*Gianinetti SA Travaux Spéciaux*

Plusieurs caméras sont installées sur le drone afin de pouvoir contrôler les opérations depuis le sol. L'appareil est installé en 3 étapes :

1. Repérage des lieux
2. Collage d'un support dans le rocher
3. Fixation de l'instrument sur le support

Le repérage permet de survoler la zone et de vérifier la faisabilité de l'opération. Un support est collé à la paroi à l'aide d'un système à ventouse et un dispositif pouvant orienter le support selon la paroi. L'instrument est enfin fixé par aimantation et insertion dans le support collé.

En parallèle, un instrument de démonstration a été développé. Celui-ci est autonome en énergie, et peut communiquer avec un serveur distant par ondes radio et via le réseau mobile.



Système embarqué sous le drone.



À gauche : manette de contrôle.  
À droite : instrument de démonstration.





## Préface

Ce travail a été pour moi une grand investissement personnel, et c'est avec le plus grand plaisir que je remets ce rapport qui conclut une belle aventure. De nombreuses heures de travail aboutissant à un prototype, non pas parfait, mais concrétisant le meilleur que j'ai pu fournir et imaginer durant 3 mois. Je suis aujourd'hui fier de ce que je remets, et vous souhaite une excellente lecture.

Pour toutes questions : [loic.gillioz@master.hes-so.ch](mailto:loic.gillioz@master.hes-so.ch)

« *Nom de Zeus !* »

- DR. EMMETT BROWN  
"Retour vers le futur" (1985)  
écrit par Robert Zemeckis

# Remerciements

Je n'aurais pas pu réaliser ce travail de diplôme sans l'aide de certaines personnes. Dès lors, je souhaite remercier tout particulièrement :

- Joseph Moerschell, pour m'avoir encouragé à continuer dans ce projet après la première version réalisée en PGa, ainsi que pour son suivi, sa bonne humeur et sa bienveillance tout au long de ce travail ;
- Amandus Steiner, pour ses conseils quant aux aspects mécaniques de mon projet, sa disponibilité pour réaliser les impressions 3D, sa sympathie ;
- Pascal Sartoretti, pour sa gestion impeccable des commandes ;
- Mes chers collègues du bureau Mariatharsan Arumugam, Joost Laros, Thomas Moser et Mauro Stefan pour m'avoir supporté, et pour la belle ambiance qu'ils ont su instaurer ;
- Mathieu Dayer, pour ses conseils, son imagination et son intelligence dans la création mécanique, qui m'ont été précieux pour démarrer ce projet sur de bons rails ;
- Christelle Gillioz, Marie Hofmann et Julien Hofmann pour leurs corrections et conseils sans lesquels ce travail n'aurait pas la même classe, il faut le dire ;
- Laura Vallotton, pour son précieux soutien au quotidien.

Ce travail est dédié à ma chère maman Geneviève, qui m'a toujours poussé à exercer un métier qui me plaît. Aujourd'hui, c'est grâce à elle que je me lève avec le sourire tous les matins.

Je remercie également pour leur lecture les experts que je me réjouis de rencontrer lors de la soutenance du projet.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Origine du projet</b>	<b>14</b>
2.1	Le projet ExtensoDrone . . . . .	14
2.1.1	Scénario d'installation . . . . .	15
2.1.2	Résultats et améliorations . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Cahier des charges et planning</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Révision du concept d'installation</b>	<b>19</b>
4.1	Reconnaissance . . . . .	19
4.2	Installation du point d'ancrage . . . . .	20
4.3	Installation de l'instrument . . . . .	22
<b>5</b>	<b>Architecture du système</b>	<b>23</b>
5.1	À propos des cartes de développement Feather . . . . .	24
5.2	À propos du code et des bibliothèques . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Système embarqué sous le drone</b>	<b>25</b>
6.1	Tête d'installation . . . . .	26
6.1.1	Capteurs à ultrasons . . . . .	27
6.1.2	Calcul de l'angle . . . . .	28
6.1.3	Motorisation . . . . .	29
6.1.4	Processeur de régulation . . . . .	31
6.2	Boîtier . . . . .	32
6.2.1	Pompe . . . . .	32
6.2.2	Transmission vidéo . . . . .	32
6.2.3	Driver pour servomoteurs . . . . .	33
6.2.4	Processeur de contrôle . . . . .	34
6.2.5	Alimentation . . . . .	34
6.2.6	Batterie et autonomie . . . . .	35
<b>7</b>	<b>Télécommande</b>	<b>36</b>
7.1	Contrôle à distance . . . . .	38

<b>8 Capteurs et chaîne de communication</b>	<b>39</b>
8.1 Technologie LoRa . . . . .	40
8.2 Sauvegarde des données . . . . .	40
8.3 Protocole MQTT . . . . .	41
8.4 Instrument de démonstration . . . . .	42
8.5 Relais . . . . .	43
8.6 Serveur . . . . .	44
8.6.1 Base de données chronologique (InfluxDB) . . . . .	45
8.6.2 Visualisation des données (Grafana) . . . . .	45
8.6.3 Parcours des données (NodeRED) . . . . .	45
8.7 Réduction de la consommation d'énergie . . . . .	46
<b>9 Récepteur vidéo</b>	<b>47</b>
<b>10 Résultats</b>	<b>48</b>
<b>11 Conclusion</b>	<b>52</b>
<b>Annexes</b>	<b>54</b>
<b>A Planning</b>	<b>55</b>
<b>B Liste des pièces</b>	<b>56</b>
<b>C PCB - Alimentation embarquée</b>	<b>58</b>
<b>D PCB - Télécommande</b>	<b>62</b>
<b>E PCB - Alimentation vidéo</b>	<b>70</b>
<b>F PCB - Mux/Demux pour ultrasons</b>	<b>73</b>



# 1 Introduction

Face aux changements climatiques actuels, il est important de se prémunir des catastrophes naturelles, qui voient leur fréquence augmenter. La mesure de ces événements permet d'affiner les modèles climatiques et de prévenir à temps la population. En Valais, canton niché au coeur des Alpes, le réchauffement climatique induit notamment la fonte généralisée du permafrost, sol gelé de haute altitude. Ce retrait progressif provoque une augmentation des glissements de terrain<sup>1</sup>. D'autres phénomènes, comme les cycles de gel/dégel, fissurent la roche, et peuvent accélérer les éboulements. Aujourd'hui, une importante flotte de capteurs est déjà déployée, permettant aux géologues de surveiller l'évolution des zones à risque.

L'installation d'appareils de mesure dans les lieux sensibles est précieuse, mais parfois ardue et/ou coûteuse. Les moyens employés par les entreprises de travaux spéciaux peuvent être conséquents. Par exemple, installer un extensomètre dans une paroi rocheuse implique souvent une descente en rappel par un spécialiste. Cette manoeuvre est loin d'être aisée, puisque l'opérateur doit emporter à la fois les outils nécessaires et les capteurs à placer. Ce matériel est par ailleurs souvent imposant (grosse perceuse, extensomètre encombrant).

Dans ce genre de situations, l'utilisation d'un drone faciliterait les opérations. La capacité de ces engins à voler avec précision est un énorme avantage pour se déplacer en terrain difficile et accéder facilement aux zones sensibles. De plus, l'absence de risque pour l'opérateur, pouvant rester à l'abri, serait gage de sécurité.

Ce travail de diplôme étudiera, par la mise en oeuvre d'un prototype, l'installation d'appareils à l'aide d'un drone. Bien que l'idée principale soit d'appliquer ce concept aux installations d'appareils de mesure environnementaux, le domaine d'application peut être élargi : installation d'éclairages dans des parois, d'antennes réseau dans les villes, etc. De par son caractère novateur, le projet se veut exploratoire. Le but est de monter un concept, susceptible de répondre aux nombreux défis que représente le transfert d'une installation humaine vers une installation à distance, effectuée par une machine télécommandée. À cette problématique s'ajoutent tous les éléments perturbateurs causés par l'emploi d'un drone, comme la stabilité en vol, l'autonomie ou encore la charge transportable.

Après un historique du projet, un concept d'installation sera présenté. De ce concept découlent des objectifs que le prototype tentera d'atteindre. Les chapitres suivants décriront les différents éléments développés dans la réalisation du prototype. Enfin, une critique des résultats mettra en avant les avancées effectuées, et permettra de garder un oeil critique sur le travail accompli.

---

1. CANTON DU VALAIS. *Types de dangers - Glaciers et permafrost/pergélisol [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://www.vs.ch/web/sfcep/types-de-dangers>.

## 2 Origine du projet

Les extensomètres sont des instruments utilisés dans le domaine de la géologie pour mesurer les mouvements des roches, permettant ainsi de surveiller l'évolution de fissures ou de glissements de terrain. Les modèles actuels sont développés de manière peu coûteuse, car on les installe souvent en terrain accidenté, sujet aux chutes de pierres et autres dangers naturels. Leurs mesures sont sommaires : on mesure une distance entre 2 extrémités fixées de part et d'autre d'un pan de rocher. Ces deux points d'ancrage sont reliés à l'aide d'un tube télescopique ou d'un fil. Le déplacement relatif d'un des points d'ancrage par rapport à l'autre implique, dans le cas d'un tube télescopique, que celui-ci coulisse ou, dans le cas d'un fil, qu'il se déroule ou s'enroule. Ces mesures sont indicatives, mais ne permettent pas une analyse en profondeur des mouvements. Un travail de Master à la HES-SO Valais s'est donné comme objectif de développer un nouvel extensomètre capable de mesurer jusqu'à 6 degrés de liberté sur un déplacement de roche. A la suite de ce projet, l'idée d'installer cet extensomètre par un drone a été étudiée dans le cadre du projet ExtensoDrone.



FIGURE 1: Extensomètre développé par la HES

### 2.1 Le projet ExtensoDrone

Le projet interdisciplinaire ExtensoDrone a été réalisé dans le cadre du cours PGa<sup>2</sup> par 5 étudiants de la HEV au semestre d'automne 17/18, et s'est terminé en janvier 2018.

Le but d'ExtensoDrone était d'étudier l'installation d'un extensomètre sur un rocher au moyen d'un drone. A la fin du projet, un scénario d'installation ainsi qu'un prototype ont été présentés.

---

2. Pour Projet de Gestion appliquée, travail semestriel à raison d'un jour par semaine, en groupe, autour du développement d'un produit industriel.

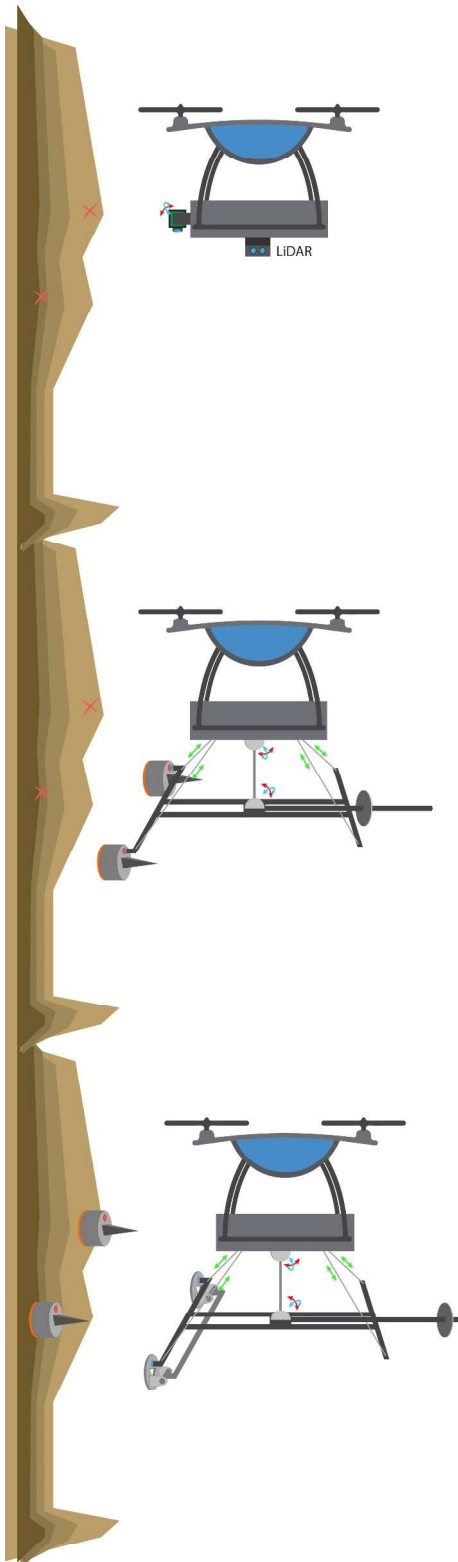


FIGURE 2: Vols d'installation

### 2.1.1 Scénario d'installation

Le scénario d'installation comprenait 3 étapes :

- Repérer le lieu de l'installation, par un premier vol ;
- Installer deux points d'ancrage sur une façade droite, à la verticale, par un deuxième vol ;
- Installer l'extensomètre sur ces points d'ancrage, par un troisième vol.

Le prototype présenté concrétisait ces idées et offrait une première itération du projet. Il contenait :

- Un prototype de point d'ancrage ;
- Une structure suspendue, reliée à une nacelle par des câbles ;
- Une nacelle, contenant une batterie et l'électronique de contrôle pour la structure suspendue ;
- Une télécommande, permettant le contrôle à distance de la nacelle ;
- Plusieurs éléments jugés utiles, comme des caméras embarquées et un scanner LiDAR.

L'installation des points d'ancrage était l'étape la plus complexe. Comme il n'était pas possible de forer la paroi, le point d'ancrage devait y être collé. Pour cela, le système contenait une éponge sur une de ses faces. Avant le décollage du drone, cette éponge était remplie de colle liquide puis, sans tarder pour que la colle ne sèche pas, le drone s'approchait de la paroi en tenant le point d'ancrage, le mettait en contact avec la roche, et le laissait sur la paroi. Le point d'ancrage utilisait une petite pompe et une ventouse pour rester agrippé à la roche. Une pile 9V assurait l'alimentation de la pompe pendant quelques minutes, cette fois en attendant que la colle sèche et puisse supporter le poids du système.

La fixation de l'extensomètre demandait de placer chacune des extrémités (pieds) de l'appareil sur un point d'ancrage. Des formes coniques étaient prévues sur la face accessible pour que des encoches spéciales puissent s'y imbriquer automatiquement (voir bas de la figure 2). Les pieds de l'extensomètre comportaient des aimants pour les maintenir aux points d'ancrage.

### 2.1.2 Résultats et améliorations

Au terme du projet ExtensoDrone, tous les sous-systèmes achevés étaient fonctionnels et remplissaient leur rôle. Cependant, lors de l’assemblage final, les éléments interféraient les uns avec les autres. Ceci perturbait le fonctionnement global du système et a probablement été causé par des perturbations électromagnétiques entre les composants, qui étaient tous montés proches les uns des autres dans une boîte restreinte. Pour plus de robustesse, il a été mentionné dans le rapport final qu’une cage de Faraday devrait être réalisée pour isoler les composants sensibles<sup>3</sup>.

Certains éléments restaient inachevés, notamment la transmission vidéo. Le contrôle à distance de la nacelle grâce à la télécommande a été réalisé avec succès. Le point d’ancrage était autonome et capable de rester agrippé à la paroi par ses propres moyens plus de 30 minutes avec une pile 9V. La fixation de l’appareil (ici l’extensomètre) par aimantation, au point d’ancrage, fut jugée prometteuse et le maintien de la colle par une éponge fut présenté comme une bonne solution.

Une discussion avec les collaborateurs a mis en évidence certains défauts du prototype :

- Régulation non fonctionnelle de la structure suspendue (voir figure 3) ;
- Manque d’aspiration de la part de la ventouse, générant problèmes d’accroche du pad d’ancrage sur la roche ;
- Pas de prise en compte de l’angle de la paroi, assumée purement verticale ;
- Poids conséquent du pad d’ancrage mais aussi du système complet ;
- Manette d’utilisation peu commode ;
- Puissance trop faible de la pompe utilisée, qui avait besoin d’un amorçage (presser le pad contre la paroi brièvement) pour soutenir le pad.



FIGURE 3: Vue 3D du drone, avec boîtier (en bleu) et structure suspendue devant tenir les points d’ancrage (voir figure 2)

---

3. Colin CINA et al. *Extensodrone : Installation d’extensomètre par drone*. 2017.

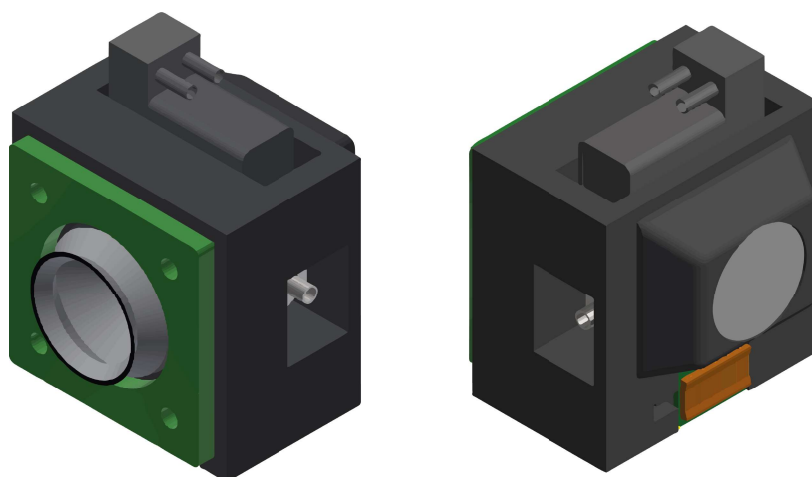


FIGURE 4: Vue 3D du pad d'ancrage, avec pompe (en haut), éponge (en vert), ventouse (gris clair au centre, à gauche) et forme conique pour insertion (à droite)

De plus, le scénario d'installation présentait également des défauts :

- Il est très difficile de trouver une pompe de taille et de poids comparables, avec une puissance d'aspiration accrue ; dès lors le concept du point d'ancrage autonome est à revoir car il est peu probable de pallier le manque d'aspiration cité plus haut.
- Les coûts de production d'un tel pad avec de l'électronique embarquée sont non négligeables. Les composants électroniques n'étant pas récupérés, cela a un impact négatif sur les coûts d'une installation effectuée selon cette méthode.
- D'un point de vue écologique, embarquer de l'électronique dans le pad augmente les risques de pollution, notamment le fait que la pile 9V soit laissée en pleine nature.
- Le centre de gravité du pad étant éloigné de la paroi, cela empêche le pad d'y être fixé perpendiculairement (voir schéma ci-dessous).

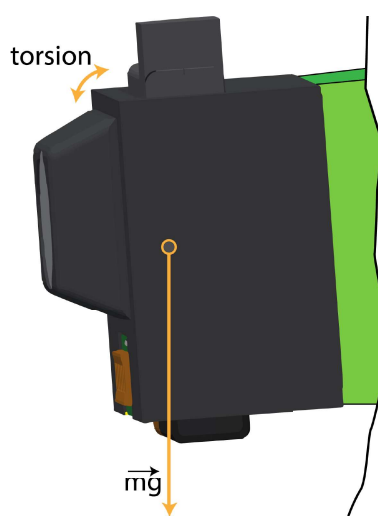


FIGURE 5: Problème de fixation de l'ancien pad

### 3 Cahier des charges et planning

Le projet réalisé en PGa et décrit précédemment n'était pas assez abouti pour prévoir un essai en conditions réelles avec un drone. Il était dès lors plus judicieux de reprendre le concept en se basant sur les résultats du prototype précédent et d'en garder les éléments positifs tout en comblant les lacunes. Dans un premier temps, le concept d'installation est ramené à un seul pad d'accroche. Ce système, s'il est concluant, pourra donner suite à des versions plus complexes, à plusieurs pads d'accroche. Les points suivants seront réalisés, dans la mesure du possible et du temps imparti :

- Révision du concept d'installation ;
- Réalisation d'un nouveau prototype ;
- Réalisation d'un instrument de démonstration ;
- Réalisation d'une transmission sans fil entre la HEVs et l'instrument de démonstration, qui sera à terme installé contre une paroi. Celle-ci sera unidirectionnelle (instrument vers HEVs), pour commencer (voir plus bas) ;
- Création d'un moyen d'orientation motorisé des pads d'ancrage ;
- Automatisation de cette orientation au moyen de capteurs.

À titre informatif, les enjeux des futures versions du prototype sont aussi abordés, notamment :

- Développement d'une transmission bidirectionnelle entre la HEVs et l'instrument.
- Développement d'un moyen de reprogrammer à distance l'instrument depuis la HEVs.

Ces derniers objectifs seront pris en compte dans le choix des composants, afin qu'il soit possible de les atteindre ultérieurement sans devoir modifier en profondeur les systèmes concernés par ces améliorations.

Un planning a été réalisé (voir annexe [A](#)) afin d'organiser le travail au mieux, selon les délais de livraison et de fabrication des pièces mécaniques.

## 4 Révision du concept d'installation

La procédure d'installation globale se présente en 3 étapes, concrétisées par 3 vols :

1. Vol de reconnaissance ;
2. Vol d'installation du point d'ancrage ;
3. Vol d'installation de l'instrument sur le point d'ancrage.

### 4.1 Reconnaissance

Un vol de reconnaissance est prévu afin de repérer les lieux avant l'installation du point d'ancrage dans la paroi. Ce vol permettra de vérifier que :

- Le lieu de l'installation est atteignable sans trop de difficultés,
- Les conditions de vol sont bonnes,
- La paroi présente une surface suffisamment plane pour accueillir le point d'ancrage.

Plusieurs actions peuvent être effectuées en sus :

- Marquage de la surface trouvée, avec de la peinture p.ex.
- Enregistrement des coordonnées GPS du lieu d'installation par le drone, afin d'y revenir facilement.
- Vérification de la géométrie de la paroi d'installation avec un LiDAR (coupes parallèles au sol).

## 4.2 Installation du point d'ancrage

L'installation du point d'ancrage doit répondre à plusieurs enjeux, mis en évidence par la précédente version. Pour rappel, celui-ci était prévu comme autonome, avec une pompe miniature, une ventouse ainsi qu'une pile 9V pour le maintenir contre la paroi durant la phase de séchage de la colle.

A la fin de l'installation, les composants étaient laissés sur les lieux, amenant les limites écologiques et économiques décrites précédemment. La conservation de l'ancien scénario d'installation et de l'ancien point d'ancrage ne permettant pas de répondre à ces limites, une nouvelle version a été développée.

Étant donné que dans le point d'ancrage, la seule partie utile au 3ème vol est le support mécanique qu'offrent la colle, l'éponge et le point lui-même, il a été décidé de développer un scénario permettant de récupérer les autres éléments, à savoir la pompe et la ventouse. Cela implique que ces dernières doivent être solidaires du drone. Cette approche permet également de se passer de la pile 9V, puisque la pompe peut désormais fonctionner à bord du drone, avec une plus grosse batterie.

Le point d'ancrage a donc été repensé, afin de le rendre aussi minimaliste que possible, tout en conservant les éléments essentiels que sont la colle et l'éponge. La manière de l'installer a donc aussi été modifiée.

La figure 6 montre le nouveau concept. La partie collée à la roche est formée d'un "anneau" d'aluminium visible sur la gauche. Sur un côté est fixée une éponge (en vert), et sur l'autre huit rondelles en matériau ferromagnétique, p.ex. de l'acier. En son centre se situe une extrusion octogonale, suffisamment large pour faire passer la ventouse (en gris clair) au travers. Sur la droite de la figure, on voit une plaque, sur laquelle sont fixés 4 électroaimants axiaux (en gris foncé). Ceux-ci permettent de tenir le pad, à l'aide des rondelles ferromagnétiques (en gris) qui y sont encastrées. Sur la droite figurent plusieurs éléments raccordant la ventouse à un tuyau.

Cette nouvelle version demande un changement essentiel dans le scénario. Comme l'anneau qui reste sur la paroi n'est plus capable de se maintenir lui-même avant que la colle ne sèche, il faut désormais effectuer un vol stationnaire avec le drone, le temps que la colle sèche suffisamment. Un séchage total n'est pas requis, car dépassé un certain stade, la colle devient de plus en plus visqueuse, et permet de maintenir le tout. Le temps nécessaire pour atteindre ce point de viscosité est crucial dans le choix de la colle à utiliser. En effet, un drone ne peut rester éternellement en vol stationnaire, dont la durée variera selon l'autonomie du modèle. La colle doit donc être suffisamment liquide pour se répartir et adhérer à la roche au moment du premier contact, mais doit aussi sécher rapidement pour éviter un trop long vol stationnaire. Après tests en laboratoire, la colle déjà choisie lors du dernier projet<sup>4</sup>, à savoir l'Araldite Ultra 5min, a montré de bons résultats à plusieurs reprises pour les critères susmentionnés.

---

4. Colin CINA et al. *Extensodrone : Installation d'extensomètre par drone*. 2017.

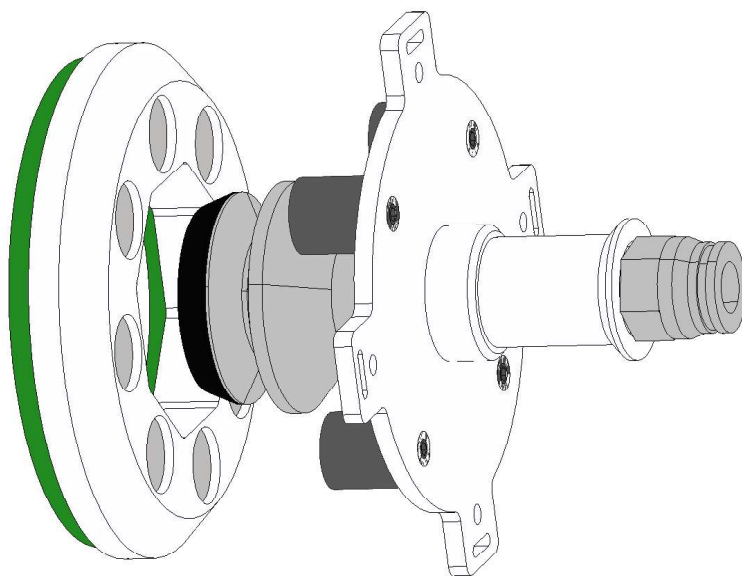


FIGURE 6: Nouveau concept d'installation du point d'ancrage

### 4.3 Installation de l'instrument

L'instrument est fixé à la paroi à l'aide d'un pied qui s'insère dans l'extrusion octogonale du pad d'ancrage et reste maintenu à l'aide d'aimants permanents. Ces aimants génèrent une force axiale en attirant les rondelles ferromagnétiques du pad d'ancrage.

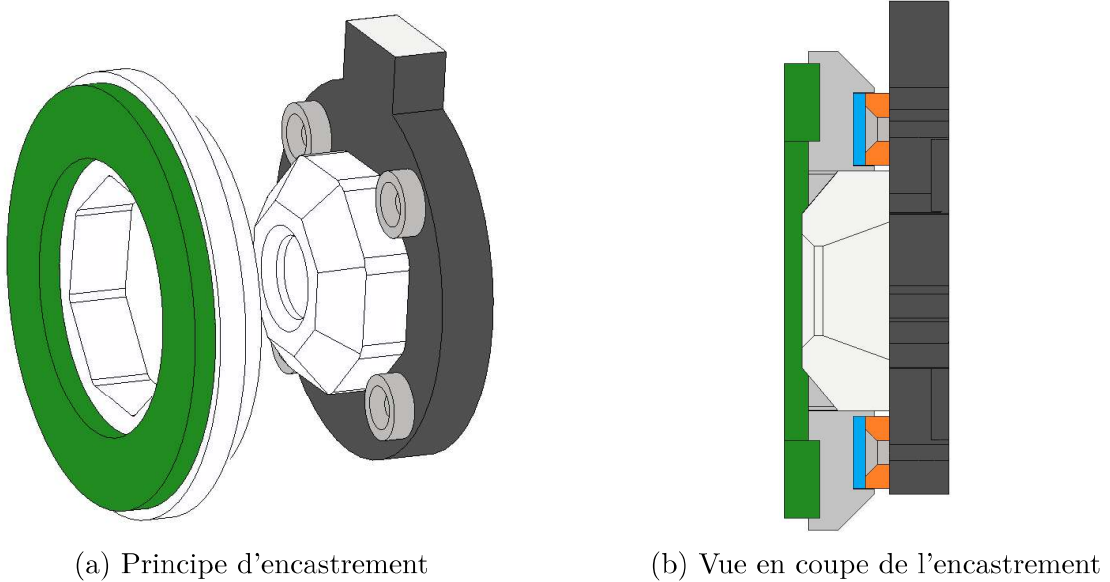


FIGURE 7: Encastrement du pied de l'instrument

Sur la figure (a) ci-dessus, on distingue la pièce mâle, octogonale, s'encastrant dans l'extrusion octogonale du pad. Les 4 aimants permanents (en gris) sont vissés sur le pied de l'instrument (en gris foncé). La pièce mâle est biseautée pour faciliter son insertion. La plupart des efforts sont repris par la pièce encastree, qui est ajustée afin d'avoir le moins de jeu possible. Hormis le jeu mécanique précité, le mouvement axial est le seul degré de liberté de l'encastrement. Avec ce système, la force exercée par les aimants n'a pas besoin d'être importante, dans le cas d'une installation dans une paroi verticale. La figure (b) montre la vue de coupe de l'encastrement. Pour plus de clarté, les aimants ont été coloriés en orange, les rondelles ferromagnétiques en bleu.

## 5 Architecture du système

A partir du concept d'installation et du cahier des charges, découle une architecture système qui répond aux besoins du prototype.

Installodrone sera composé de 6 parties :

1. Un système embarqué sous le drone (gris foncé) ;
2. Une télécommande pour contrôler les actions du système embarqué (gris foncé) ;
3. Un instrument de démonstration (rouge) ;
4. Un relais de télécommunication faisant le lien entre l'instrument et la HEVs (rouge) ;
5. Un serveur à la HEVs (rouge) ;
6. Un système de transmission vidéo drone/sol (gris clair).

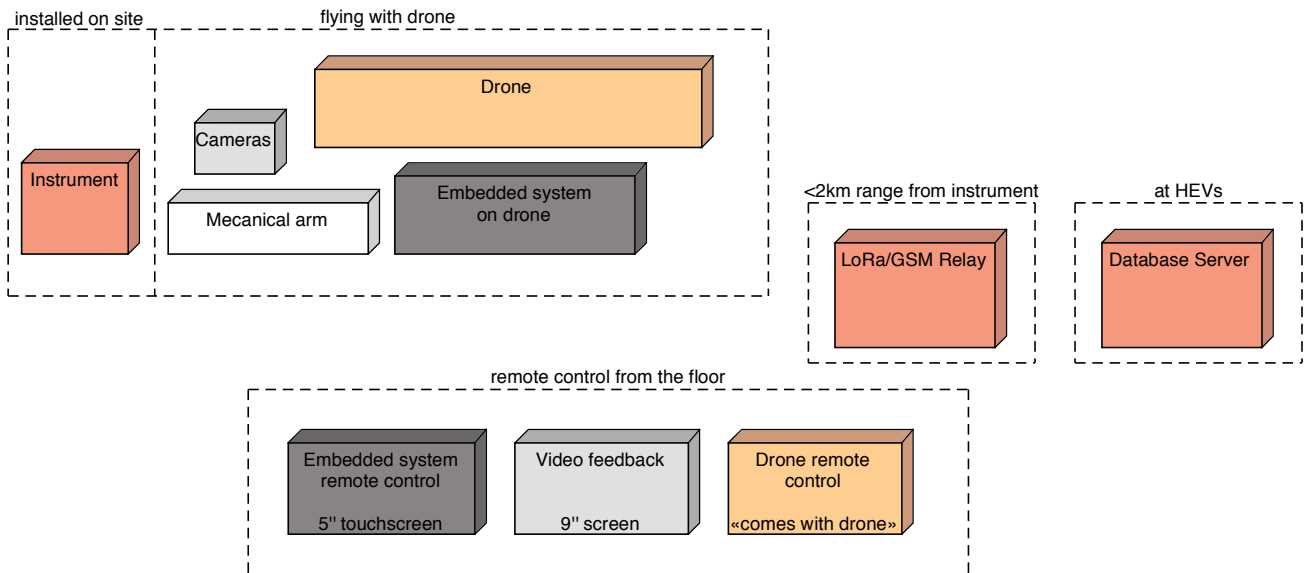


FIGURE 8: Schéma bloc de déploiement

## 5.1 À propos des cartes de développement Feather

Des cartes de développement de type Feather M0 du fabricant Adafruit<sup>5</sup> ont été choisies. La gamme Feather dispose de beaucoup de déclinaisons de sa carte phare, la Feather M0, contenant un processeur ARM Cortex M0. Ces déclinaisons contiennent des composants supplémentaires, comme des modules radio (utiles à ce projet), des lecteurs de carte SD, des interface de pilotage pour moteurs, écrans, etc. Ces cartes de développement fonctionnent avec la couche logicielle Arduino, permettant leur déploiement rapide pour des applications diverses allant de la domotique à l'informatique embarquée comme sur ce projet.

## 5.2 À propos du code et des librairies

Dans le monde informatique, il est courant de se servir de librairies open-source pour développer ses projets. Les librairies utilisées dans ce projet sont toujours mentionnées et citées dans le code qui les utilise. Dès lors il n'a pas été jugé nécessaire de les inclure dans la bibliographie de ce rapport.

Un code informatique peut être vaste et vite devenir impossible à imprimer. Aujourd'hui il existe des plateformes spécialisées dans l'écriture et l'entretien de code comme GitHub ou BitBucket. Pour faciliter la révision et l'accès du code (tant pour l'auteur que pour le lecteur), tous les fichiers informatiques de programmation sont disponibles en ligne, sur une plateforme Git, à cet url :

<https://bitbucket.org/account/user/installodrone/projects/DRON>

---

5. ADAFRUIT. *Feather - A complete line of development boards [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://www.adafruit.com/feather>.

## 6 Système embarqué sous le drone

Le système embarqué doit être capable d'effectuer une installation de manière autonome et indépendante du drone porteur. Le but est de pouvoir utiliser le système facilement indépendamment du moyen de transport. Il est décidé de réaliser une structure fixée directement sous le drone, composée d'un boîtier traversé par un long tube rigide. Aux extrémités de ce tube, se trouvent la tête d'installation et un contrepoids. C'est au niveau du boîtier que cette structure sera fixée au drone.

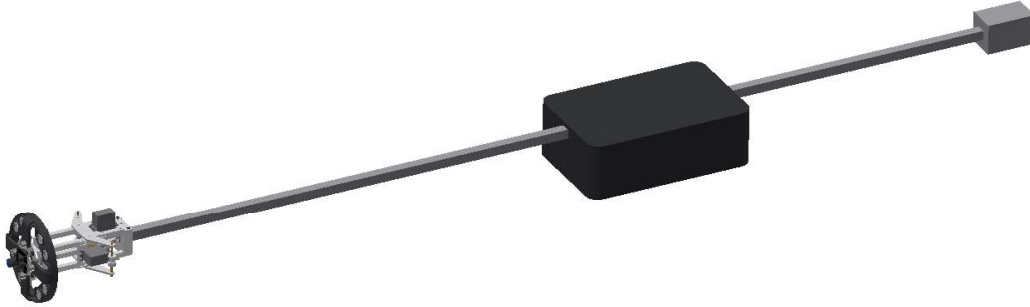


FIGURE 9: Vue 3D du système embarqué

Le boîtier contiendra tous les éléments pouvant être installés près du centre de gravité du drone, c'est à dire l'ensemble des composants, excepté les caméras, le LiDAR et la tête d'installation, cette dernière devant être placée plus loin que les hélices afin de pouvoir installer l'instrument sans encombres. La figure 10 montre le schéma bloc du système embarqué.

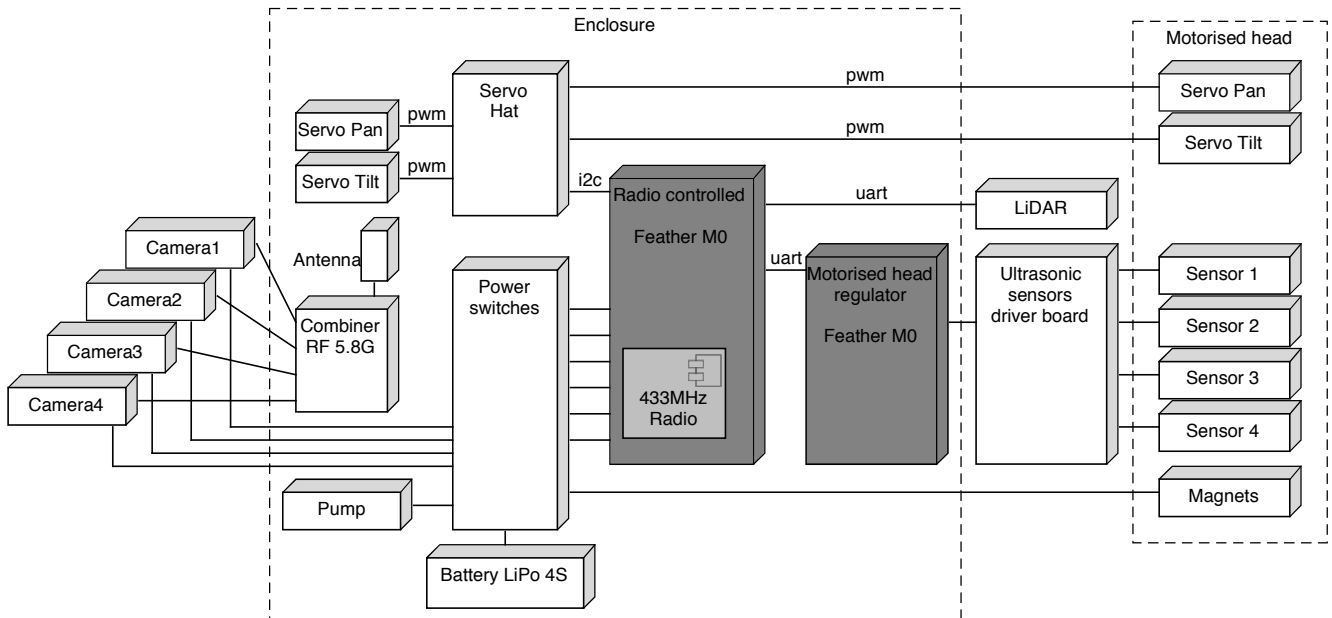


FIGURE 10: Schéma bloc de déploiement du système embarqué

## 6.1 Tête d'installation

La tête d'installation comporte dans sa structure 2 servomoteurs et un système de courroies pour orienter le pad d'accroche lors de la phase d'approche. Grâce à des capteurs à ultrasons, il est possible de mesurer la distance entre la paroi et le pad/instrument. En utilisant 3 capteurs ou plus, on peut déduire l'angle entre la tête et la paroi. Pour plus de fiabilité et pour détecter d'éventuelles erreurs de mesure, un quatrième capteur est ajouté. Il est également possible d'automatiser le système pour que les 2 surfaces (paroi et pad) soient parallèles en tout temps.

Pour réaliser cette régulation, un microcontrôleur effectue continuellement des mesures de distance sur les 4 capteurs à ultrasons.

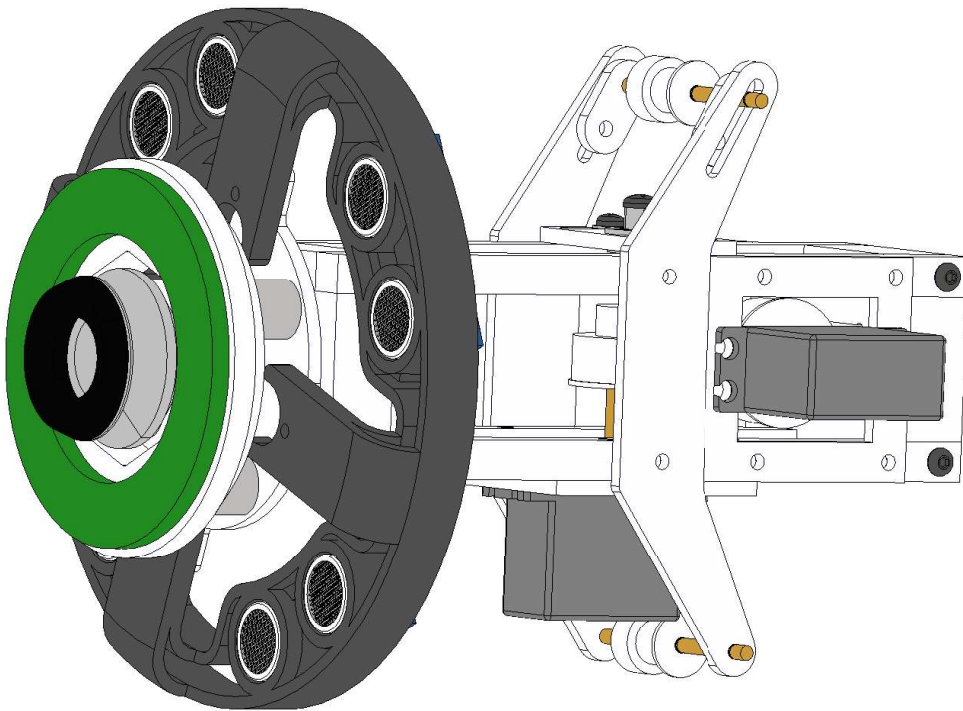


FIGURE 11: Vue 3D de la tête d'installation, sans les courroies

### 6.1.1 Capteurs à ultrasons

Les capteurs à ultrasons HC-SR04 fonctionnent sur un principe de Trigger/Echo. Un signal sonore est émis par le capteur, est retourné par les obstacles qu'il rencontre, puis est à nouveau reçu par le capteur. En connaissant la vitesse de propagation des ondes sonores, il est possible de déterminer la distance parcourue par le signal à partir du temps écoulé entre l'envoi (Trigger) et la réception (Echo). Ces capteurs étant du même type, les mesures ne peuvent être effectuées en même temps, car l'envoi d'un seul pourrait être reçu par plusieurs. Le processeur effectue donc une rotation des mesures, pour éviter qu'elles ne s'influencent entre elles.

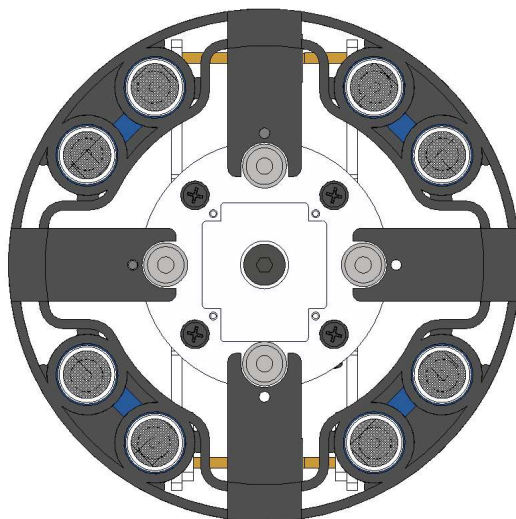


FIGURE 12: Vue des capteurs à ultrasons

Ces capteurs permettent de mesurer des distances entre 2cm et 4m<sup>6</sup>, avec une résolution de mesure de 3mm. Ce genre de module est plutôt

destiné à la détection d'obstacles qu'à la mesure de distance. Leur utilisation dans une plage de quelques centimètres reste donc délicate, car sujette à des écarts de mesures significatifs<sup>7</sup>.

Le cas d'utilisation standard, au centre de la figure 13, montre le parcours de l'onde sonore lorsqu'elle ricoche contre une surface. La vitesse du son  $c$  peut être estimée à 343m/s, pour une propagation dans l'air à 20°C<sup>8</sup>. La distance mesurée correspond au temps du parcours total, c'est à dire les 2 longs côtés du triangle gris. La distance réelle  $l_R$  avec la surface, illustrée par le trait vert, vaut :

$$l_R = \sqrt{\frac{l_M}{2} - \frac{d}{2}} - \text{offset}, \text{ avec } l_M = c \cdot t = 343 \cdot t^9$$

La droite de la figure 13 illustre le cas limite d'utilisation de ces capteurs : sur une surface parfaitement lisse, suffisamment inclinée, aucun signal sonore ne retourne au capteur. En revanche, lorsque la surface est rugueuse, les aspérités présentes à sa surface renvoient l'onde sonore, en faible quantité. Si le signal retourné est trop faible, le capteur est incapable de réaliser une mesure. Ainsi, des mesures erronées peuvent survenir lorsque la surface est trop inclinée par rapport au capteur. Cette inclinaison varie beaucoup selon la rugosité et le matériau de la surface. Ainsi, sur des surfaces très lisses, le signal sera plus facilement perdu qu'avec des surfaces rugueuses. D'autres facteurs peuvent également influencer sur la qualité de la mesure, comme p. ex. la taille de la surface mesurée, les variations de température, de pression ou encore les réflexions.

6. *Ultrasonic Ranging Module HC-SR04*. HC-SR04. ElecFreaks. Mai 2011. URL : <https://www.mouser.com/ds/2/813/HCSR04-1022824.pdf>.

7. D'après observations effectuées en laboratoire

8. Richard TAILLET, Loïc VILLAIN et Pascal FEBVRE. *Dictionnaire de physique*. De Boeck, 2013.

9. cf. Théorème de Pythagore

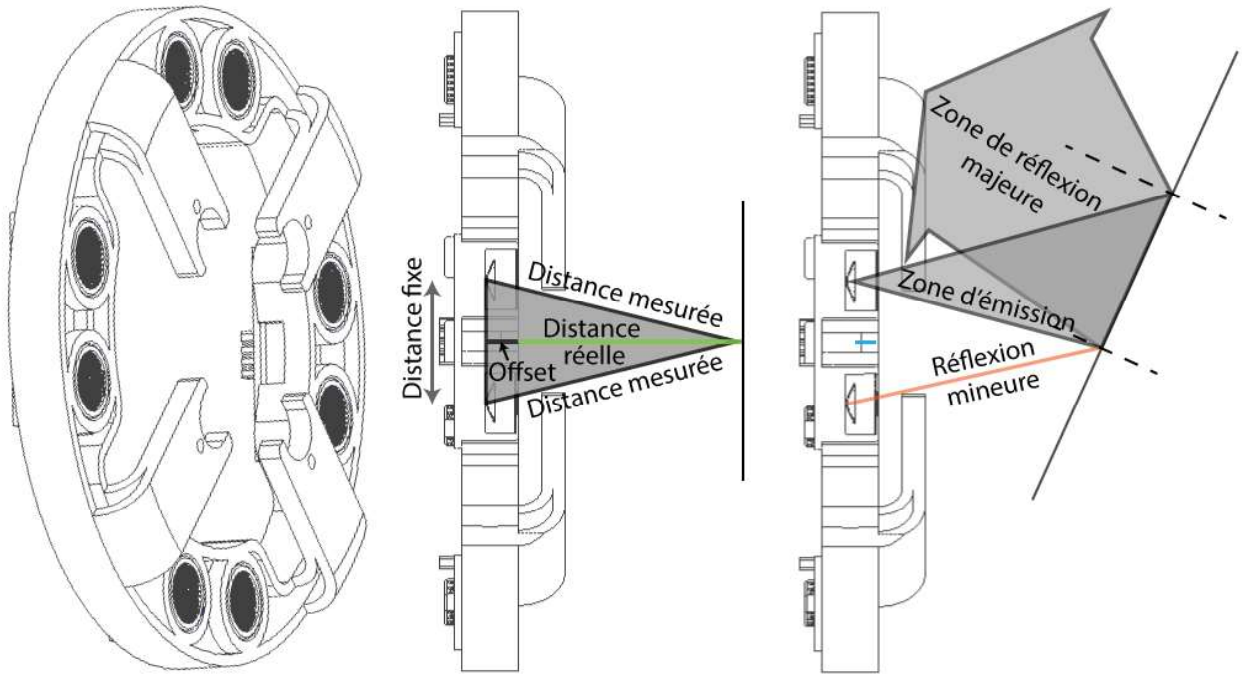


FIGURE 13: Géométrie de mesure des capteurs à ultrasons

### 6.1.2 Calcul de l'angle

Les mesures effectuées par les capteurs permettent d'estimer l'angle entre le plan moyen de la paroi, et le plan de la tête d'installation (voir figure 14). En considérant que les 4 distances mesurées par les capteurs sont perpendiculaires à leur plan, on peut en tirer 4 points, tous situés sur le rocher. Pour définir un plan mathématiquement, seulement 3 points sont nécessaires. Comme 4 points sont mesurés, il est possible d'éliminer les erreurs en calculant non pas un, mais quatre plans différents (voir figure 14) :

1. Plan ABC ;
2. Plan ABD ;
3. Plan ACD ;
4. Plan BCD.

Un plan moyen est obtenu par la combinaison des 4 autres et considéré comme le plan de la paroi.

La géométrie permet de trouver aisément le vecteur normal  $n_1$  à l'aide de l'équation du plan. En projetant le vecteur  $n_1$  sur un plan perpendiculaire aux capteurs, on obtient un angle  $\alpha$  entre les vecteurs  $n_2$  et  $n_1$  (voir figure 14, à droite).  $\alpha_y$  correspond à l'angle entre la paroi et la tête d'installation, projeté sur le plan YZ. L'angle  $\alpha_x$  est retrouvé de manière analogue.

Le but de la tête d'installation est de rester parallèle avec la paroi, et ce même si le drone venait à changer sa position. Les angles  $\alpha_x$  et  $\alpha_y$  donnent donc l'erreur d'orientation de la tête par rapport à la paroi.

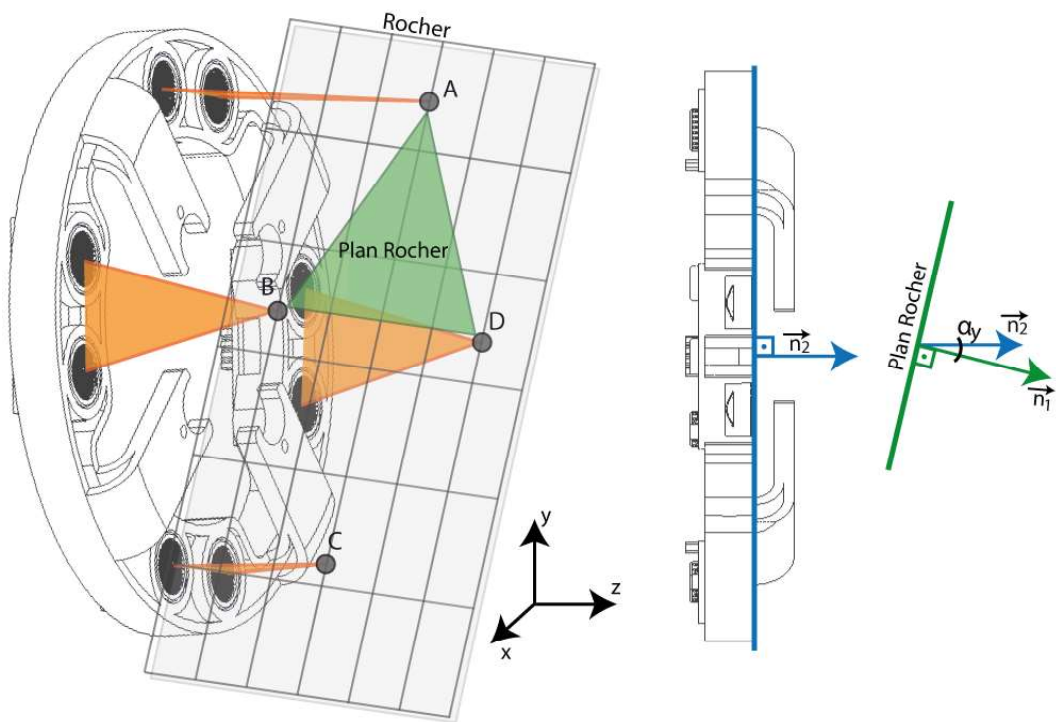


FIGURE 14: Géométrie permettant de trouver l'angle avec la paroi

### 6.1.3 Motorisation

2 servomoteurs, entraînant 2 courroies, permettent d'incliner la tête de  $15^\circ$  autour de l'axe Z. Sur la figure 15, les courroies sont représentées en beige, les servomoteurs en gris.

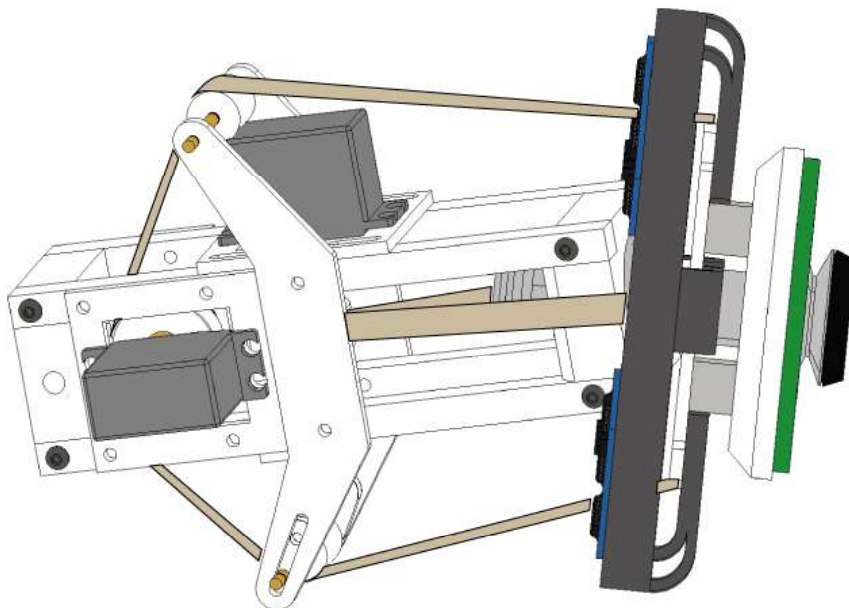


FIGURE 15: Tête d'installation, avec courroies et moteurs

Dans d'autres systèmes, les courroies sont normalement bouclées sur elles-mêmes, en forme de 'O'. Ici, elles sont coupées et leurs 2 extrémités sont raccordées à la partie mobile de la tête d'installation, ce qui forme un 'U' (droite de la figure 15). La partie mobile de la tête est couplée au reste de la structure via une rotule libre (en orange), (figure 16).

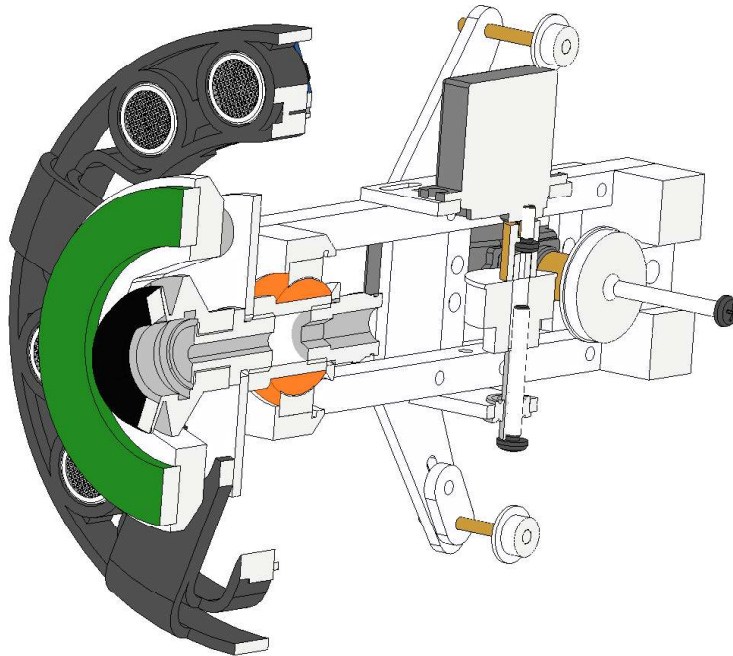


FIGURE 16: Vue en coupe de la tête d'installation, montrant la rotule libre

La droite de la figure 16 montre la structure fixe au drone, comprenant les moteurs et leurs axes. La partie mobile est formée d'une plaque à laquelle sont rattachées les extrémités des courroies. Sur cette plaque, sont installés 4 électroaimants (voir chapitre 4.2) et la ventouse. Cette dernière utilise le trou présent dans la rotule pour faire passer l'aspiration. De l'autre côté de la rotule est raccordé un tuyau reliant la pompe à la ventouse (voir figure 17).

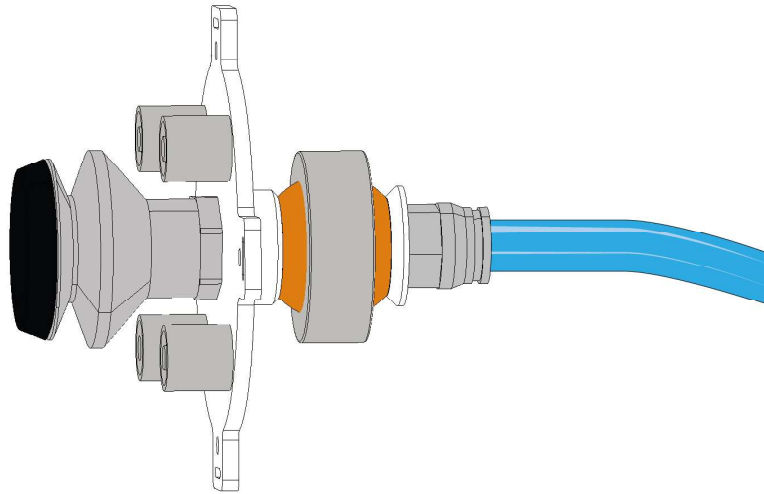


FIGURE 17: Partie mobile de la tête d'installation, avec tuyau

#### 6.1.4 Processeur de régulation

Pour réaliser une orientation automatisée de la tête d'installation, une boucle de régulation est mise en place (figure 18).

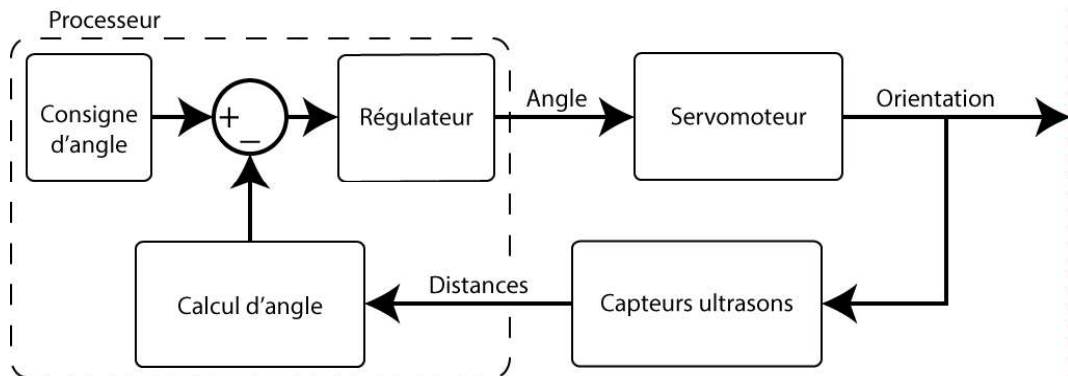


FIGURE 18: Schéma de principe de la régulation par processeur

Un processeur Cortex-M0 est utilisé pour effectuer la régulation. Une simple boucle logicielle calcule les 2 angles d'écart ( $\alpha_x$  et  $\alpha_y$ , voir chapitre 6.1.2), les compare à la consigne<sup>10</sup>, puis applique une commande d'angle aux servomoteurs pour qu'ils corrigent l'écart du mieux possible. Le régulateur employé est de type PID. Les coefficients ont été réglés par tâtonnement.

10. Pour l'utilisation actuelle, la consigne d'angle à atteindre est toujours zéro (objectif de parallélisme).

## 6.2 Boîtier

Le boîtier contient les éléments embarqués pouvant être délocalisés de la tête d'installation.

### 6.2.1 Pompe

Afin de pouvoir créer une aspiration jusqu'à la ventouse, une pompe est installée dans le boîtier. Elle est reliée à la ventouse via un tuyau flexible (voir figure 17). Le retrait de la contrainte de poids (voir chapitre 2.1.2), qui forçait l'ancienne pompe à être petite et légère, permet de ne plus se soucier d'une aspiration insuffisante. La pompe utilisée est donc bien plus puissante que l'ancienne, et permet d'assurer une forte adhérence à la paroi, lorsque la ventouse fait contact.

### 6.2.2 Transmission vidéo

Afin de pouvoir commander le drone et de vérifier le bon déroulement des opérations, 4 caméras sont prévues à bord. Elles sont placées librement avant le décollage, selon les besoins, afin d'offrir une aide aux installateurs.

Deux systèmes d'orientation des caméras par de petits servomoteurs sont également prévus. En fixant une caméra sur l'un de ces systèmes, il est possible de modifier son angle de vue en la faisant tourner sur 2 axes, "pan" (gauche-droite) et "tilt" (haut-bas) <sup>11</sup>.

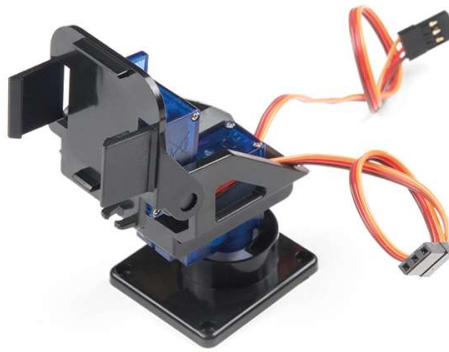


FIGURE 19: Systèmes pan/tilt utilisés pour mouvoir les caméras

Les caméras doivent transmettre leur signal au sol. Pour cela, des systèmes développés pour le vol FPV <sup>12</sup> sont utilisés. Ils se composent d'une caméra, d'un émetteur et d'un récepteur, avec deux antennes (émission et réception).

---

11. SPARKFUN. *Pan/Tilt Bracket Kit* [en ligne]. Août 2018. URL : <https://www.sparkfun.com/products/14391>.

12. L'abréviation FPV désigne "First Person View" et concerne le pilotage en immersion de modèles radiocommandés, par le biais de lunettes vidéo et de caméras embarquées.

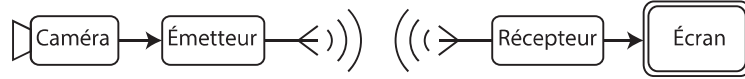


FIGURE 20: Transmission utilisée dans le domaine FPV

Pour embarquer plusieurs caméras fonctionnant selon le même système, il n'est pas possible de simplement multiplier les composants. En effet, plusieurs antennes placées à proximité ne peuvent émettre correctement sans se perturber mutuellement. Pour pouvoir régler ce problème, un Splitter/Combiner a été développé lors de la première itération du projet. Ceci permet de n'avoir recours qu'à une seule antenne pour plusieurs signaux de même fréquence. La figure 21 illustre l'utilisation d'un Splitter/Combiner.

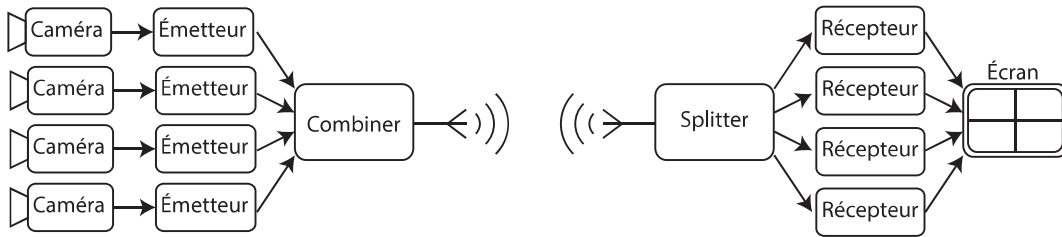


FIGURE 21: Transmission vidéo utilisant un Splitter/Combiner

### 6.2.3 Driver pour servomoteurs

Afin de piloter facilement les 6 servomoteurs utilisés<sup>13</sup>, une carte électronique a été achetée. Elle s'occupe de générer les signaux PWM<sup>14</sup> nécessaires au pilotage des servomoteurs. Cette carte est connectée au processeur via un bus I2C. Le processeur envoie les valeurs de PWM à la carte en remplissant des registres<sup>15</sup>.

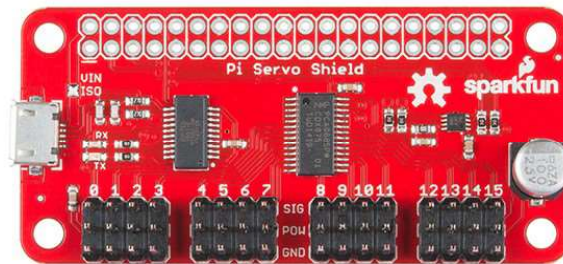


FIGURE 22: Photo du driver pour servomoteurs

13. 2 systèmes pan/tilt à 2 servomoteurs, et 2 autres servomoteurs plus grands pour la tête d'installation

14. Pour *Pulse Width Modulation* (modulation de largeur d'impulsions), technique couramment utilisée pour synthétiser des signaux pseudo analogiques à l'aide de circuits à fonctionnement tout ou rien (Wikipédia, 2012)

15. SPARKFUN. *SparkFun Pi Servo HAT* [en ligne]. Août 2018. URL : <https://www.sparkfun.com/products/14328>.

### 6.2.4 Processeur de contrôle

Afin d'actionner/enclencher les différents éléments présents à bord du drone, un processeur dédié est installé dans le boîtier. En activant ses entrées/sorties, le processeur commande la carte d'alimentation qui fournit la puissance aux composants, à la demande du processeur. Ainsi, les composants pouvant être (dés)activés ont chacun un signal d'activation spécifique. La carte utilisée est du type Feather M0, comme toutes les autres cartes processeur de ce projet (voir chapitre 5.1).

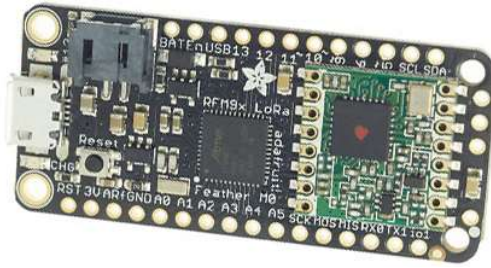


FIGURE 23: Photo de la carte processeur avec module radio (en vert)<sup>16</sup>

### 6.2.5 Alimentation

La carte d'alimentation a été développée spécifiquement et sur-mesure pour ce projet. Le PCB a été fabriqué à la HES-SO. Ses rôles sont multiples :

1. Raccordement de la batterie ;
2. Régulateurs de tension 5V et 3V3 ;
3. Drivers MOSFETs pour (dés)activer les éléments ;
4. Connecteurs de terrain pour connecter facilement les éléments.

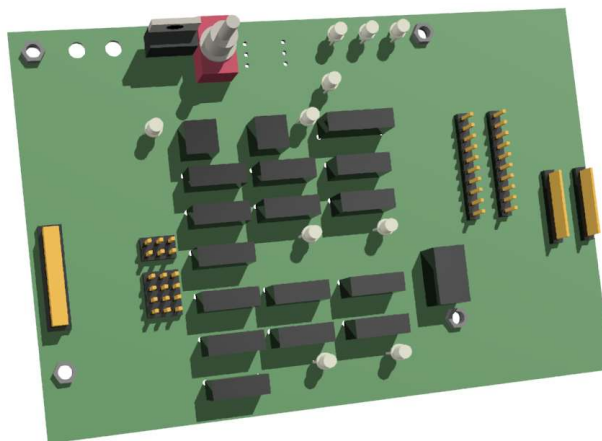


FIGURE 24: Vue 3D de la carte d'alimentation

Pour plus de compacité, cette carte contient des connecteurs mezzanine pour insérer les 2 processeurs ainsi que le driver pour servomoteurs susmentionnés.

### 6.2.6 Batterie et autonomie

La batterie utilisée est la même que pour l'ancienne version, à savoir 4 cellules Lithium Polymère (abrégié 4S LiPo), d'une capacité de 4500mAh (soit environ 66 Wh). Un tableau des consommations et des temps d'activation typiques a été réalisé, pour avoir une idée de l'autonomie d'une telle batterie en conditions de vol. D'après la table 1, l'autonomie du système embarqué devrait dépasser 1h de vol, ce qui correspond à une installation complète comprenant 3 vols d'environ 20min chacun.

	Tension [V]	Courant [A]	Nombre	Puissance [W]	Utilisation [%]	Puissance moy. [W]
Caméras	14,8	0,15	4	8,88	100	8,88
Pompe	14,8	0,2	1	2,96	50	1,48
Electroaimants	14,8	0,1	4	5,92	80	4,736
TX 5.8GHz	14,8	0,5	4	29,6	100	29,6
Feather M0	5	0,3	1	1,5	100	1,5
LiDAR	5	0,6	1	3	50	1,5
Driver servos	5	0,02	1	0,1	60	0,06
Servos Pan/Tilt	5	0,1	4	2	10	0,2
Servos tête	5	0,2	2	2	50	1
Total						48,956
Autonomie [h]						1,360405262

TABLE 1: Table des consommations du système embarqué

L'autonomie des drones actuels ne dépassant que rarement les 20 minutes (avec une charge à porter), la batterie reste tout à fait adaptée à l'utilisation.

## 7 Télécommande

La télécommande permet de contrôler à distance les éléments embarqués sur le drone. Elle contient un écran tactile avec des boutons et contrôles. Elle a entièrement été développée pendant ce projet, pour renouveler l'ancienne version jugée trop peu pratique.



FIGURE 25: Vue 3D de la télécommande

Elle utilise une carte électronique spécifique pour piloter l'écran, qui permet au processeur de garder sa puissance de calcul pour les autres tâches. Le driver d'écran est basé sur le circuit RA8875 et des librairies sont disponibles pour l'utiliser.

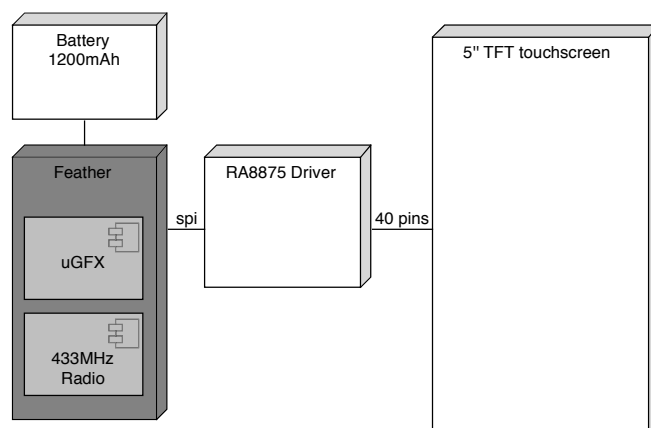


FIGURE 26: Schéma bloc de la télécommande

L'interface graphique de la télécommande contient des boutons et barres de progressions. Certaines de ces barres font office de timer : leur progression est automatique, et donne à l'utilisateur un aperçu direct du temps écoulé, par exemple la durée du vol en cours où le décompte pour le collage en vol stationnaire.

La télécommande contient une batterie rechargeable Lithium Polymère de 1200mAh, permettant de l'utiliser pendant quelques heures avant de la recharger. Un port Micro USB permet de charger facilement la manette de la même manière qu'un téléphone portable.

Pour allumer ou éteindre la manette, un bouton physique est placé au dos, accessible avec l'index. Ce bouton doit être maintenus quelques secondes pour allumer la télécommande, ou pour l'éteindre. Pour cela, une carte électronique spécifique a été développée et fabriquée à la HES-SO. Elle contient également des connecteurs pour raccorder facilement les différents éléments qui composent la télécommande.

Le boîtier de la télécommande a été étudié pour être ergonomique et s'adapter parfaitement aux composants qu'il contient. Il se présente en 3 parties qui s'empilent les unes aux autres comme un sandwich. Tous les composants sont fixés à la partie centrale, puis le couvercle de la manette et le fond viennent enfermer les éléments (voir figure 27).

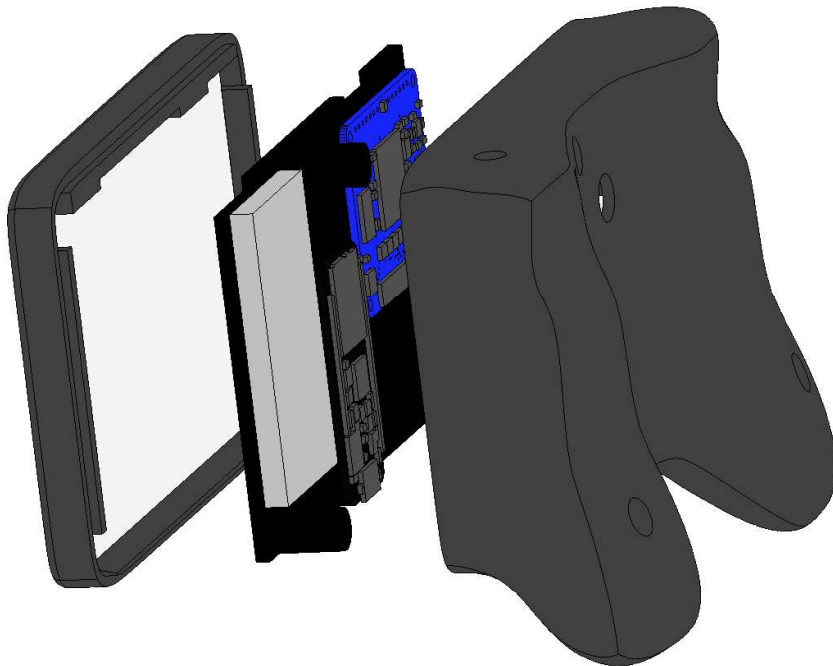


FIGURE 27: Vue éclatée de la télécommande

## 7.1 Contrôle à distance

Le contrôle à distance du système embarqué a été conçu de manière à assurer une transmission robuste entre la télécommande et le drone. On peut qualifier la communication de *Master-Slave*. La télécommande joue le rôle de *Master* et le système embarqué est le *Slave*. Cette communication *Master-Slave* est caractérisée par l'absence de décisions provenant du *Slave*. C'est toujours le *Master* qui envoie ou demande l'envoi d'informations. En pratique, la télécommande transmet plusieurs fois par seconde l'état du système tel que l'opérateur le demande sur l'écran tactile. Ainsi, si un envoi n'est pas réceptionné par le système embarqué, les conséquences sont moindres puisque toutes les transmissions contiennent la totalité des informations nécessaires au système embarqué. De plus, la fréquence d'envoi élevée permet de conserver des temps de latence courts (temps compté entre l'appui d'un bouton sur la télécommande et son effet à bord du drone). La période d'envoi a été fixée à 50ms, soit 20 envois par seconde. Cette période est facilement modifiable dans le code de la télécommande.

Le paquet envoyé par la télécommande contient les informations suivantes :

1. État de tous les composants (activés ou non)
2. Angles des servomoteurs des caméras
3. Éventuelles demandes d'informations en provenance du drone

La télécommande peut demander au système embarqué sous le drone d'obtenir des informations, comme la distance avec la paroi (mesurée avec les capteurs à ultrasons), ou l'angle de la tête d'installation. Un envoi des données du scanner LiDAR pourrait également être envisagé <sup>17</sup>.

---

17. Pas implémenté pour l'instant

## 8 Capteurs et chaîne de communication

Les capteurs installés doivent être capables de réaliser des mesures et de les envoyer à une institution pour les analyser. Afin de tester le concept d'installation présenté plus haut dans ce rapport, une chaîne de transmission comprenant un instrument, un relais et un serveur a été réalisée.

L'instrument de démonstration doit illustrer un appareil qui serait installé par le drone. Cet appareil doit être capable, s'il s'agit d'un capteur, de transmettre ses données vers une institution capable de les interpréter. En effet d'autres types d'appareils, comme des éclairages, n'auraient pas besoin de communiquer avec l'extérieur. D'après le scénario d'installation, cet instrument devrait rester ancré sur la paroi indéfiniment. Dans le cas d'un capteur, il doit être autonome en énergie, et comporte donc un panneau solaire pour son alimentation. Un des principaux enjeux de cet appareil est justement sa consommation énergétique, qui devra être la plus basse possible pour éviter de décharger la batterie plus vite que le panneau ne la charge.

Par cette contrainte de consommation, un moyen de transmission peu énergivore doit être choisi. Une transmission sans fil employant la technologie LoRa est sélectionnée (voir chapitre 8.1 plus bas) . Cette technologie a une portée limitée, si bien que la transmission vers l'institution demandeuse des données doit passer par un relais.

Le relais permet de passer d'une transmission peu énergivore (utile pour le capteur) mais également à faible portée vers une transmission à portée beaucoup plus large mais plus gourmande en énergie, le réseau mobile. Cette topologie possède de nombreux avantages :

1. Le positionnement du capteur est libre.
2. Le positionnement du relais n'est pas fixe ; tant que le relais reçoit les informations du capteur et qu'il peut établir une connexion au réseau mobile, la chaîne peut fonctionner.
3. La consommation du capteur est faible, dès lors un petit panneau solaire est suffisant, réduisant l'impact de ce dernier sur le poids du système.
4. La consommation du relais est plus élevée, mais il n'y a aucune contrainte de taille ou de poids pour lui. Un panneau solaire et une batterie plus imposants peuvent donc être prévus pour le relais.

Le relais établit une connexion 3G vers le réseau mobile et envoie ses données vers le web. Pour les capteurs embarqués, il est courant d'utiliser un *broker* MQTT (voir chapitre 8.3 plus bas).

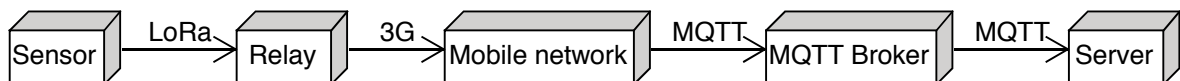


FIGURE 28: Aperçu de la chaîne de communication

## 8.1 Technologie LoRa

LoRa<sup>18</sup> est une technologie sans fil permettant à des appareils peu puissants de transmettre des données dans un rayon de quelques kilomètres<sup>19</sup>. Ce mode de communication est destiné à des messages courts, et non pas à une transmission continue comme le streaming. Il s'agit d'envois sporadiques de petites quantités de données. Cette technologie convient parfaitement à des systèmes de mesure, qui envoient leur données régulièrement à un récepteur central, appelé gateway. La technologie LoRa est souvent utilisée avec la topologie LoRaWAN, de type étoile, c'est-à-dire que plusieurs capteurs envoient leurs données à une gateway, mais ne discutent pas les uns aux autres. Pour ce projet, la topologie de réseau LoRaWAN n'a pas besoin d'être implémentée, seule compte la technologie de transmission LoRa permettant la transmission des données à une bonne portée et une consommation basse.

Des cartes de développement de type Feather M0 sont également disponibles avec un modem radio LoRa. Ce sont donc ces cartes qui sont utilisées dans l'instrument et dans le relais. Le relais joue le rôle de gateway.

## 8.2 Sauvegarde des données

La transmission LoRa n'a pas de moyen permettant de s'assurer qu'une mesure a correctement reçue par le relais. Dans le cas où des mesures peuvent être ratées, certaines applications ne seraient pas fiables, notamment des pertes de données dans les relevés de l'accéléromètre seraient problématiques. Afin d'éviter de perdre des données importantes, il a été choisi de sauvegarder toutes les données dans l'appareil, dans une carte SD. Ainsi, les risques de perte de données sont considérablement réduits.

Le relais également possède une carte SD, pour sauvegarder les données en cas d'absence de réseau mobile et éviter les pertes. Cet élément de sauvegarde est apporté par une carte d'extension FeatherWing Adalogger<sup>20</sup>

Il serait intéressant pour plus tard de mettre en place un système de contrôle des paquets, à la manière de TCP, dans la chaîne de transmission. Ainsi, les données correctement reçues pourraient être effacées de la carte SD. De plus, un renvoi des trames mal reçues pourrait être mis en place via une nouvelle demande du récepteur.

---

18. Pour Long Range Radio

19. LORA ALLIANCE. *About LoRaWAN* [en ligne]. Août 2018. URL : <https://lora-alliance.org/about-lorawan>.

20. DISTRELEC. *Adalogger FeatherWing* [en ligne]. Août 2018. URL : [https://www.distrelec.ch/Web/WebShopImages/landscape\\_large/7-/01/Adafruit-2922-30091207-01.jpg](https://www.distrelec.ch/Web/WebShopImages/landscape_large/7-/01/Adafruit-2922-30091207-01.jpg).

### 8.3 Protocole MQTT

Le protocole MQTT est utilisé principalement dans les nouvelles applications IoT<sup>21</sup>. Il s'agit d'un protocole basé sur l'échange rapide de données, moyennant l'emploi d'un serveur central, appelé broker. Ce serveur reçoit tous les messages et les distribue aux clients. Les clients sont des capteurs (qui envoient des données), des applications mobiles (qui les affichent, p.ex.), ou d'autres appareils ayant besoin d'échanger des données. Chaque client peut décider d'envoyer ses données sur un ou plusieurs *topics*.

Les topics peuvent être comparés à des dossiers informatiques. Chaque dossier peut être contenu dans un dossier plus grand, et/ou contenir d'autres dossiers. Exemples de topics : "maison/rez/bureau/humidité", ou encore "installodrone/sion/hesso/température". Les éléments les plus vagues sont les premiers à apparaître puis, au fil des sous-dossiers, le sujet se précise de plus en plus. Ainsi, une application désireuse d'afficher la température de la HES-SO doit s'inscrire au sujet "installodrone/sion/hesso/température". Lorsqu'un capteur de température publie, par exemple, 22°C, sur ce même topic, le message parvient d'abord au broker, puis ce dernier se charge d'envoyer la valeur à tous les clients inscrits au topic, entre autres l'application précitée. Un broker gratuit hébergé sur internet a été choisi, à savoir

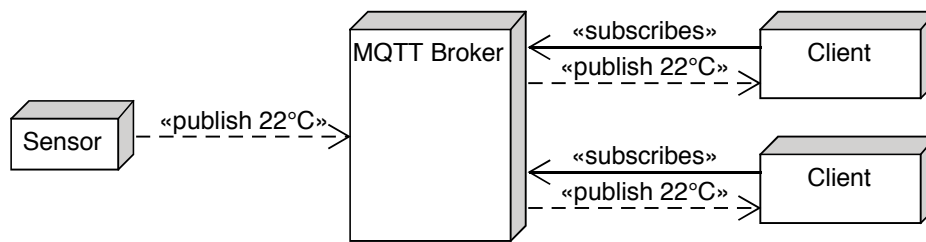


FIGURE 29: Schéma de principe de MQTT

l'offre gratuite "Cute Cat" de CloudMQTT, qui permet de gérer jusqu'à 5 clients simultanés. Cette version est largement suffisante pour l'application actuelle qui ne compte que 2 clients au maximum (relais et serveur).

---

21. Internet of Things, désigne la nouvelle génération d'objets connectés qui arrivent sur le marché (serveurs, montres, baskets, ... et même des pots de fleurs !)

## 8.4 Instrument de démonstration

Le prototype d'instrument contient une batterie, un panneau solaire, une carte électronique pour convertir la tension du panneau et un processeur avec modem radio LoRa. Le carte processeur reçoit une carte d'extension permettant l'emploi d'une horloge RTC<sup>22</sup> et d'une carte SD. La carte SD permet de sauvegarder durablement les mesures, dans le cas où la connexion LoRa avec le relais serait perdue. L'horloge RTC permet quant à elle de dater les mesures, pour pouvoir les trier facilement lors de l'analyse. Un autre avantage au RTC, c'est qu'il offre un moyen de mettre en veille le processeur jusqu'à une alarme programmée à une date et heure précise. Ceci permet de réduire considérablement la consommation comme évoqué plus haut.

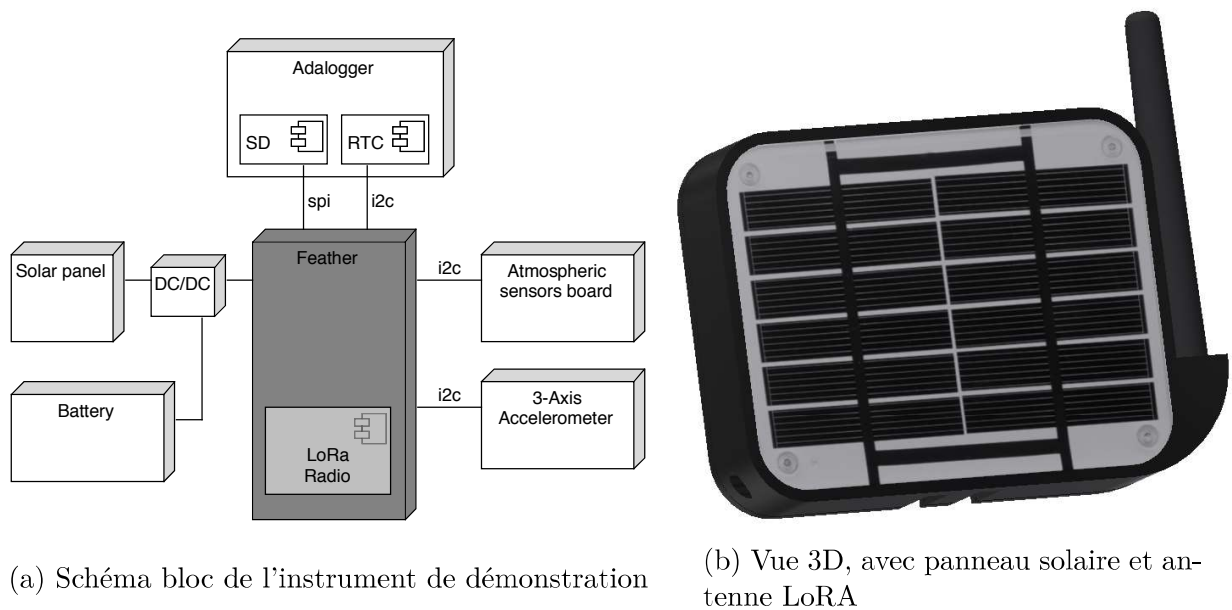


FIGURE 30: Schéma bloc et vue 3D de l'instrument

Afin de simuler plusieurs types de données, l'instrument contient 2 capteurs :

1. un capteur de données atmosphériques (température, humidité, pression et qualité de l'air)
2. un accéléromètre 3 axes

Le capteur atmosphérique est un capteur Bosch BME680. Il est capable de mesurer la température, l'humidité, la pression et la qualité de l'air. Le processeur peut l'interroger via un port I2C.

L'accéléromètre 3 axes est un ADXL355Z. Il s'agit là aussi d'un capteur accédé en I2C, mais celui-là renvoie les valeurs d'accélérations x, y, et z.

---

22. Pour Real Time Clock, ou horloge temps réel en français. Il s'agit d'un circuit intégré pouvant mesurer le temps avec précision, pour donner l'heure et la date. Ces circuits sont généralement associés à une pile de secours pour ne pas perdre l'heure si l'alimentation principale venait à manquer.

## 8.5 Relais

Le relais est installé dans un rayon de 1 à 2 km au maximum de l'instrument. L'emplacement doit être choisi de manière à ce que le relais puisse être alimenté, soit par le réseau électrique, soit par le panneau solaire prévu à cet effet. Dans ce dernier cas, la position doit être suffisamment ensoleillée. Le système est conçu, comme pour l'instrument, de manière à consommer le moins possible afin d'économiser la batterie et d'éviter que le panneau solaire ne soit pas assez puissant. Le système doit aussi pouvoir tenir quelques jours sans soleil, en cas de périodes de précipitations importantes. L'autonomie maximale n'a pas été mesurée, car le logiciel n'est pas encore optimisé pour la consommation énergétique (voir chapitres 8.7 et 10). Un éventuel recouvrement du panneau par de la neige reste plausible, et il n'est malheureusement pas évitable dans certaines situations. Dans de tels cas, le relais cessera de fonctionner après que sa batterie soit vide. Un alarme de batterie faible pourrait être implémentée, pour signaler à un opérateur qu'il doit aller contrôler l'appareil.

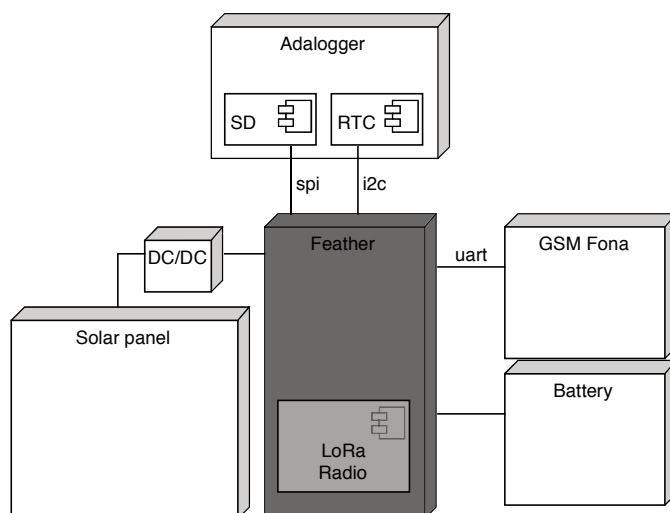


FIGURE 31: Schéma bloc du relais

Le relais est semblable à l'instrument, car il contient la même carte processeur, un panneau solaire et une carte de conversion d'énergie pour mettre en forme la tension du panneau. Le relais contient également la même carte d'extension avec RTC et carte SD. Le relais utilise une carte électronique de développement permettant l'utilisation d'un modem 2G/3G pouvant se connecter au réseau mobile avec une carte SIM. La batterie et le panneau solaire sont plus imposants, compte tenu d'une consommation accrue par rapport à l'instrument de démonstration.

## 8.6 Serveur

Le serveur réceptionne les messages transmis par le relais. Ceux-ci contiendront les derniers points de mesure effectués par l'(les) instrument(s). Sur ce serveur sont installés des outils de traitement des données :

1. InfluxDB, base de données de type *Time Series Database*<sup>23</sup>
2. Grafana, interface de visualisation des données via une page web hébergée sur le serveur.
3. NodeRED, logiciel permettant de relier facilement des éléments matériels, des APIs<sup>24</sup> et des services en ligne.

Le serveur est un Raspberry Pi Zero, utilisant un système d'orientation basé sur Linux. Au démarrage du Raspberry Pi, les outils nécessaires sont lancés automatiquement. Ainsi, le service du serveur est actif sans action requise de la part de l'utilisateur, après quelques minutes. L'utilisateur peut accéder à l'interface Grafana pour visualiser et analyser les données. Un administrateur peut maintenir le serveur via une console SSH<sup>25</sup>.

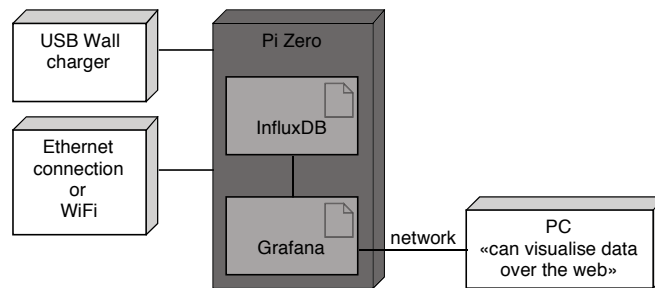


FIGURE 32: Schéma bloc du serveur

---

23. Type de base de données optimisée pour la gestion de données dans le temps, offrant des outils pour regrouper les valeurs chronologiquement.

24. Pour Application Programming Interface (interface de programmation applicative), façade fournie par le développeur d'un service logiciel, contenant des méthodes utilisables par l'utilisateur pour interagir avec le service

25. Pour Secure Shell, protocole sécurisé de commande à distance d'une machine, basé sur TCP.

### 8.6.1 Base de données chronologique (InfluxDB)

Pour stocker et gérer aisément les mesures effectuées par les capteurs, une base de données chronologique a été choisie. Les bases de données chronologiques ajoutent à une valeur stockée le moment exact où elle a été créée. On appelle *timestamp* l'information de temps ajoutée. Le timestamp est défini comme le nombre de millisecondes écoulées depuis le 1er janvier 1970. Ceci permet par exemple de pouvoir ajouter des mesures plus anciennes après des mesures récentes, sans perdre l'ordre réel des données. Ainsi, on peut dessiner des courbes selon l'axe du temps, pour analyser des variations des valeurs dans le temps. Dans le domaine de la météorologie, cela peut s'avérer utile pour prédire l'évolution des conditions, par exemple de récentes baisses de pression peuvent indiquer la venue d'une dépression et amener le mauvais temps.

InfluxDB est un outil open-source qui implémente cette approche temporelle.

### 8.6.2 Visualisation des données (Grafana)

Afin de visualiser facilement les données de la base InfluxDB, une interface web Grafana a été déployée. Celle-ci affiche un tableau de bord facilement personnalisable par l'utilisateur, sur lequel sont représentées les courbes de température, d'humidité, etc.

### 8.6.3 Parcours des données (NodeRED)

Pour lier le broker MQTT à la base de donnée InfluxDB, NodeRED a été utilisé. Il s'agit d'une interface web permettant de facilement établir des liens entre des instances logicielles ou matérielles. Ainsi, il suffit de placer les blocs MQTT et InfluxDB, de les relier par une fonction de décodage et le tour est joué.

Les données envoyées par le relais au broker MQTT sont formatées en JSON<sup>26</sup>, pour envoyer en une fois toutes les mesures d'un même timestamp (voir chapitre 8.6.1). Le capteur joint également sa position, ainsi que son numéro d'identification unique qui lui est attribué, à chaque envoi. Ainsi, seul un topic MQTT est nécessaire pour tout le système.

Le bloc MQTT de NodeRED effectue une inscription auprès du broker sur le topic unique lors du démarrage du serveur. Ensuite, tous les messages envoyés sur le broker sont reçus par NodeRED. Moyennant un format JSON spécial selon les spécification d'InfluxDB, le contenu JSON envoyé par le capteur peut ensuite être directement transmis au bloc InfluxDB, qui interprète tous les champs envoyés pour les stocker correctement.

Grafana peut accéder aisément à la base de données InfluxDB avec une simple configuration. Ensuite, des requêtes vers la base de données sont automatiquement envoyées par Grafana pour récupérer les valeurs et les afficher sur sa page web.

---

26. Pour Javascript Object Notation, désigne le formatage de données selon un schéma précis permettant de sérialiser et dé-sérialiser des objets (de langages orientés objets) informatiques aisément

## 8.7 Réduction de la consommation d'énergie

La clé de la réduction de la consommation d'énergie réside dans la mise en hibernation des processeurs pour les plus longues durées possibles. La carte Feather M0 peut ainsi passer en mode *sleep* et réduire drastiquement sa consommation, en désactivant des parties du processeur non nécessaires. Cette transition implique cependant la suspension des opérations jusqu'à la sortie du mode sleep. Pour le sortir de son hibernation, le RTC est capable d'envoyer un signal d'interruption qui sera utilisé par le processeur pour se réveiller.

Puisque les mesures ne doivent pas être effectuées en continu, il est possible de faire dormir le processeur et les capteurs entre chacune des mesure. Cela permet de considérablement réduire la consommation moyenne du système. De plus, la consommation du module radio lors d'une transmission est importante : compter 130mA lors d'une émission, soit plus de 10 fois la consommation du module lorsqu'il n'émet pas<sup>27</sup>. Il est donc nécessaire de baisser au maximum le nombre de transmissions effectuées par l'instrument et le relais.

Il a été décidé que les 2 appareils auraient l'occasion de se parler une fois par jour, pendant une fenêtre de 5 minutes. Ainsi, chaque instrument (il pourrait y en avoir plusieurs dizaines pour un seul relais) se voit attribuer une heure précise durant laquelle il pourra émettre ses données, pendant 5 minutes. Le relais doit également écouter la bande radio pour recevoir le message de l'instrument. Le relais possède une liste de tous les instruments qui doivent lui transmettre des données, avec l'horaire complet attribué. Alors que l'instrument ne doit émettre qu'une fois par jour, le relais doit donc écouter autant de fois dans la journée qu'il y a de capteurs installés. Un schéma de séquence sur la figure 33 illustre le comportement de l'instrument.

Durant la fenêtre d'envoi, l'instrument effectue plusieurs transmission jusqu'à ce que le relais confirme la réception des données. Une fois la confirmation reçue, l'instrument se remet en veille.

---

27. ADAFRUIT. *Feather M0 LoRa Power Management [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://learn.adafruit.com/adafruit-feather-m0-radio-with-lora-radio-module/power-management>.

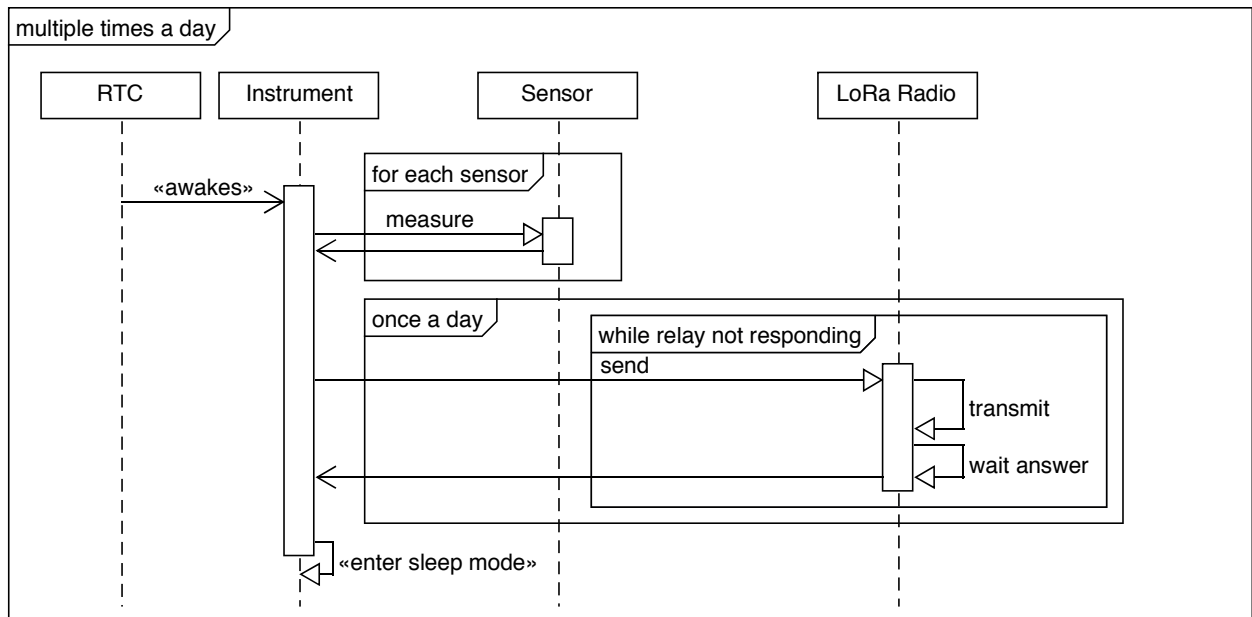


FIGURE 33: Diagramme de séquence UML illustrant le fonctionnement de l'instrument selon la stratégie énergétique

## 9 Récepteur vidéo

Le chapitre 6.2.2 présente le schéma de transmission vidéo .

Afin de recevoir les 4 signaux vidéo envoyés depuis le système embarqué sur le drone, un splitter/combiner est utilisé, puis raccordé à 4 décodeurs vidéo. Chacun des 4 décodeurs isole une fréquence correspondant à une des 4 fréquences d'envoi des émetteurs. Les 4 signaux vidéos sous forme analogique sont ensuite connectés à un écran à 4 entrées. Celui-ci peut afficher simultanément 1, 2, 3, ou 4 sources en divisant son affichage.

Dans un souci de confort, le dispositif de réception demanderait la réalisation d'une électronique pouvant l'alimenter avec une batterie. Une version de la carte électronique a été dessinée, mais pas fabriquée faute de temps. L'écran et les 4 récepteurs doivent pour l'instant être alimentés via un adaptateur secteur 230VAC/12VDC. En annexe ?? est joint le schéma de la carte.

## 10 Résultats

A la remise de ce rapport, l'ensemble du projet est prometteur. Malheureusement, suite au décalage du planning sur la fin du projet, aucun test avec drone n'a été réalisé. Les tests en laboratoire présentent toutefois de bons résultats. Voici une table récapitulative des travaux et de leur aboutissement :

Concerne		Aspect	Etat actuel	OK ?	Remarques
Concept	Reconnaissance	LiDAR	Pas implémenté	NOK	Manque de temps
		Peinture	Pas implémenté	NOK	Manque de temps
	Installation ancrage	Colle	Testé en laboratoire	OK	Demande des tests réels
		Electroaimants	Testé en laboratoire	OK	Demande des tests réels
		Ventouse	Testé en laboratoire	OK	Excellente succion
	Installation instrument	Insertion	Testé en laboratoire	OK	Coince parfois, ajouter des chanfreins
		Aimants permanents	Testé en laboratoire	OK	Force suffisante
Système embarqué	Tête d'installation	Ultrasons	Testé en laboratoire	OK	Peu précis
		Calcul d'angle	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
		Motorisation	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
		Régulation	Testé en laboratoire	OK	Lent
	Boîtier	Pompe	Testé en laboratoire	OK	Excellente succion
		Pan/Tilt caméras	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
		Commande	Testé en laboratoire	OK	Incomplet
		Alimentation	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
		Télécommande	Hardware	Bouton ON/OFF	Testé en laboratoire
Batterie	Testé en laboratoire			OK	Suffisante
Recharge USB	Testé en laboratoire			OK	Fonctionnel
Software	GUI		Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
	Touchscreen		Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
Capteurs	Chaîne de transmission	LoRa	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
		3G	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel, encore brouillon
		MQTT	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
	Instrument	Énergie	Pas implémenté	NOK	Manque de temps
		Relais	Énergie	Pas implémenté	NOK
	Serveur	InfluxDB	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
		Grafana	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
		NodeRED	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
Transmission vidéo	Hardware	Émission	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
		Réception	Testé en laboratoire	OK	Fonctionnel
	Transmission	Qualité	Testé en laboratoire	NOK	Mauvaise qualité du signal
		Antennes	Testé en laboratoire	NOK	Aucune influence sur la portée

TABLE 2: Table récapitulative des résultats

**Généralités** Les logiciels des processeurs est fonctionnel mais peu robuste. Il serait nécessaire de le restructurer et de l'épurer, pour un entretien facilité. Ces imperfections sont induites par les bibliothèques incomplètes et peu stables fournies par les fabricants, qui ont demandé beaucoup d'investissement dans leur débogage et leur utilisation, réduisant le temps consacré à l'architecture logicielle.

Le système embarqué actuel reste assez massif pour les drones communs. Bien qu'il existe des drones capable de porter de lourdes charges, ils sont généralement très chers à l'achat <sup>28</sup>. Alléger le système permettrait de baisser les coûts du drone porteur. L'utilisation de carbone à la place de l'aluminium, ou l'augmentation du nombre de pièces fabriquées en plastique réduirait considérablement le poids du système. De plus, un système passif à ressorts pourrait compléter voire remplacer la tête d'installation, mais demanderait la collaboration d'un spécialiste en mécanique pour le développer et le dimensionner.

Les tests effectués en laboratoire sont concluants pour la plupart. La ventouse avec le joint en mousse épouse très bien les irrégularités d'une pierre, et la pompe offre une force d'aspiration impressionnante.

**Concept** Le concept révisé permet d'éviter les problèmes liés aux limites amenées par un point d'ancrage autonome contenant de l'électronique. À présent, l'impact écologique a été réduit et il n'y a plus de problèmes concernant la succion de la pompe. Le concept nécessite cependant la validation de la phase de collage, concernant la durée maximale pour le vol, ainsi que la durée minimale du vol stationnaire. Cette validation pourra avoir lieu lors de tests réels du collage. Des points d'ancrages en impression 3D ont été réalisés à cet effet.

Le vol de reconnaissance a été mis de côté, car secondaire. Les 2 vols primordiaux sont les 2 autres vols, à savoir l'installation du point d'ancrage et de l'instrument. Le repérage de la zone demanderait le développement d'un gicleur de peinture, pour marquer la zone repérée et la retrouver facilement. L'acquisition des données du LiDAR pourra être effectuée en utilisant la bibliothèque de pilotage fournie par le fabricant.

**Tête d'installation** La tolérance des capteurs à ultrasons est plus importante qu'annoncée par le fabricant. Les mesures varient sensiblement, ce qui rend la mesure de distance difficile. Cette imprécision demande de multiplier les mesures, pour les moyenner, et demande donc d'augmenter le temps de cycle de la régulation, impactant négativement la réactivité de la tête d'installation pour s'orienter. De plus, les coefficients du régulateur PID ont été réglés afin de limiter la réactivité du régulateur qui, à cause de l'imprécision des capteurs, peut induire un comportement oscillant, ce qui réduit davantage la vitesse d'adaptation de la tête.

L'extrusion octogonale dans le point d'ancrage devrait être chanfreinée pour corriger l'insertion de l'instrument. Il arrive que les 2 pièces crochent si elles ne sont pas parfaitement parallèles. Ce léger changement devrait résoudre le problème.

---

28. Par exemple, le drone Hercules 10 de DroneVolt peut porter 8kg au décollage, pour un prix indicatif de 12'900€ (Source : Batiproduits.com)

Les servomoteurs d'orientation fonctionnent bien et offrent un couple et une réactivité impressionnants pour leur petite taille. Ils sont parfaitement adaptés à la tâche. Dans l'ensemble, la motorisation de la tête est un succès. Attention cependant aux limites géométriques du système : l'angle des servomoteurs est limité, et la courroie se détend légèrement lorsque la tête orientée à l'angle maximal. Cela peut entraîner un dérapage de la courroie si elle n'est pas bien tendue au départ.

**Boîtier** Le boîtier n'est formé pour l'instant que d'une plaque en bois, découpée au laser pour monter les composants. Ceux-ci sont attachés via des pièces imprimées en 3D à leurs dimensions. Il manque au boîtier des attaches pour le drone, ainsi qu'un couvercle pour abriter les composants et fermer le boîtier. Tout le câblage du prototype a été prévu plus long que le tube pour éviter de devoir refaire des câbles si le tube venait à être rallongé.

**Télécommande** Le bouton d'allumage de la télécommande demande à être pressé pour pouvoir la programmer. Il est également nécessaire de presser longuement le bouton pour allumer la télécommande, jusqu'à l'allumage de l'écran. L'allumage peut prendre plus d'une dizaine de secondes.

Le calibrage de l'écran n'est pas encore stocké sur le processeur. Ainsi, le système demande à être calibré à chaque démarrage. Une mise à jour du code permettrait de régler ce léger défaut.

L'interface graphique est soignée, réactive et facile d'utilisation. La prise en main du boîtier est excellente. Il est possible de recharger la télécommande via un chargeur de téléphone portable via la prise Micro USB accessible aisément. Il serait imaginable de "streamer" les données du LiDAR pour les afficher sur la télécommande, lors du vol de reconnaissance.

La commande à distance demande une légère mise à niveau du code pour fonctionner. Ceci sera effectué dans les prochains jours

**Instrument, relais et serveur** La stratégie d'économie d'énergie via la gestion de fenêtres de transmission n'est pas terminée, mais devrait être fonctionnelle prochainement. De plus, l'hibernation du processeur doit être étudiée pour amener sa consommation au minimum.

La communication 3G a été difficile à développer. La documentation du fabricant est difficile à trouver, peu lisible, ne contient que peu d'exemples et diverge selon les versions des fiches techniques. Les exemples sont rares, et il a fallu beaucoup plus de temps que prévu pour faire fonctionner le relais. Le code réalisé fonctionne mais reste brouillon, et une restructuration serait bienvenue.

Malgré le développement ardu, la chaîne de transmission est fonctionnelle. Les données sont sauvegardées sur la carte SD de l'instrument. Le format JSON permet d'effectuer l'envoi de plusieurs mesures en même temps, sur un seul topic MQTT. L'envoi vers le broker MQTT, la réception et le stockage des mesures dans une base de données chronologique fonctionnent parfaitement. L'affichage web Grafana est facile et intuitif à utiliser.

**Transmission vidéo** La transmission vidéo est sujette à quelques problèmes observés durant les tests en laboratoire. En effet, la transmission a été vérifiée, c'est à dire que l'écran est capable d'afficher 4 signaux vidéo en provenance du drone. Cependant, la qualité du signal est faible (perte des couleurs intermittente, coupure du signal). Une recherche de l'origine du problème doit être menée. D'après les premières observations, il se pourrait qu'une altération des signaux vidéo en soit la cause. Une mesure de leur intégrité au fil de la chaîne de transmission doit être effectuée

**Planning** Le planning a été correctement suivi jusqu'au développement du code du relais. À cause de son développement plus long que prévu (mentionné plus haut) celui-ci a retardé le suite. D'autres éléments réalisés ne figuraient pas dans le planning, comme la création d'une alimentation à batterie pour le système de réception vidéo, la création de supports pour les composants du boîtier ou encore la fixation de la tête d'installation au bout du tube.

## 11 Conclusion

L'objectif principal de ce projet était d'étudier la possibilité d'une installation d'appareil au moyen d'un drone. Cette idée novatrice peut donner naissance à de grands projets et ouvrir un nouveau marché, puisqu'actuellement aucun autre produit similaire n'a vu le jour.

On connaît aujourd'hui des drones de transport (drones cargo), de recherche de victimes d'avalanche, de reconnaissance, mais aucun n'est capable d'installer véritablement quelque chose. Tous embarquent des éléments permettant de filmer, de photographier, de mesurer, de sulfater, mais aucun équipement n'effectue de travail mécanique sur une surface. Ainsi il n'existe pas (encore) de drones installateurs, bien que les drones peintres arrivent sur le marché<sup>29</sup>.

Au terme du projet, l'installation d'un appareil avec un drone est devenue plus qu'une simple idée. En partant d'une version peu aboutie que fournissait le projet ExtensoDrone, une révision du concept a été effectuée. Les nouveaux objectifs fixés, tant par la simplification du problème initial que par l'ajout d'autres éléments, ont été atteints par la réalisation d'un prototype de démonstration et d'étude. Cette nouvelle itération permet au projet de continuer sur une base solide pour la suite.

Les résultats du projet sont encourageants. Il devrait bientôt être possible d'effectuer les premiers tests avec un drone, dès que certains problèmes seront corrigés. En effet, la transmission des signaux vidéos provenant du drone est à travailler et certains développements restent à effectuer, principalement améliorer le logiciel et alimenter le récepteur vidéo par batterie.

Du travail reste à accomplir sur différents points, comme l'optimisation du poids du système embarqué sur le drone, la gestion de l'énergie des systèmes autonomes, ou l'étanchéification des boîtiers installés en extérieur. Un développement sur le long terme devrait être envisagé pour aboutir à une version commercialisable.

Les éventuels futurs travaux de recherche sur le sujet doivent se concentrer sur les essais en vol, et la fiabilité du système face aux situations réelles.



---

**Loïc Gillioz**

Sion, le 16 août 2018

---

29. La société Apellix étudie actuellement des drones peintres et des drones nettoyeurs, [www.apellix.com](http://www.apellix.com)

## Références

- [1] ADAFRUIT. *Feather - A complete line of development boards [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://www.adafruit.com/feather>.
- [2] ADAFRUIT. *Feather M0 LoRa Power Management [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://learn.adafruit.com/adafruit-feather-m0-radio-with-lora-radio-module/power-management>.
- [3] CANTON DU VALAIS. *Types de dangers - Glaciers et permafrost/pergélisol [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://www.vs.ch/web/sfcep/types-de-dangers>.
- [4] Colin CINA et al. *Extensodrone : Installation d'extensomètre par drone*. 2017.
- [5] DISTRELEC. *Adalogger FeatherWing [en ligne]*. Août 2018. URL : [https://www.distrelec.ch/Web/WebShopImages/landscape\\_large/7-/01/Adafruit-2922-30091207-01.jpg](https://www.distrelec.ch/Web/WebShopImages/landscape_large/7-/01/Adafruit-2922-30091207-01.jpg).
- [6] LoRA ALLIANCE. *About LoRaWAN [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://lora-alliance.org/about-lorawan>.
- [7] PICCLICK. *Adafruit Feather M0 RFM96 LoRa Radio [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://picclick.co.uk/Adafruit-Feather-M0-RFM96-LoRa-Radio-433MHz-263483533254.html>.
- [8] SPARKFUN. *Pan/Tilt Bracket Kit [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://www.sparkfun.com/products/14391>.
- [9] SPARKFUN. *SparkFun Pi Servo HAT [en ligne]*. Août 2018. URL : <https://www.sparkfun.com/products/14328>.
- [10] Richard TAILLET, Loïc VILLAIN et Pascal FEBVRE. *Dictionnaire de physique*. De Boeck, 2013.
- [11] *Ultrasonic Ranging Module HC-SR04*. HC-SR04. ElecFreaks. Mai 2011. URL : <https://www.mouser.com/ds/2/813/HCSR04-1022824.pdf>.