



## System with Multi Antennas to Reorient a Target

D'Acremont Antoine  
Cotten Guillaume  
Legay Kevin  
Kennan Aya  
Shehade Mohammed  
Rigaud Michaël

---

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>1</b>
<b>Remerciements</b>	<b>3</b>
<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I Etat de l'art (Semestre 3)</b>	<b>5</b>
<b>1 Présentation du contexte</b>	<b>6</b>
1.1 Acoustique . . . . .	6
1.2 Optique . . . . .	7
1.3 Radar . . . . .	7
1.4 Radiogoniométrie . . . . .	8
1.5 Synthèse . . . . .	8
<b>2 Analyse fonctionnelle</b>	<b>9</b>
2.1 Interview . . . . .	9
2.2 Tableau des spécifications . . . . .	9
2.3 Diagramme pieuvre . . . . .	11
2.4 SADT . . . . .	12
2.5 FAST . . . . .	13
2.6 Diagramme 3 axes . . . . .	14
2.7 Fonctionnement de notre système . . . . .	14
<b>3 Radio-goniométrie</b>	<b>16</b>
3.1 Type de goniométrie . . . . .	17
3.2 Selection de la technologie . . . . .	18
<b>4 Choix des composants</b>	<b>20</b>
4.1 Antennes . . . . .	20
<b>5 Le Montréal 3V2</b>	<b>22</b>
5.1 Évolution du Montréal . . . . .	22
5.2 Avantages du Montréal 3v2 . . . . .	23
5.3 Caractéristiques . . . . .	23
5.4 Fonctionnement . . . . .	23
5.5 Schéma bloc . . . . .	25
5.6 Liste des composants . . . . .	25

5.7 Modification à apporter . . . . .	26
<b>II Conception de Smart (Semestre 4)</b>	<b>27</b>
<b>6 Choix technologique</b>	<b>28</b>
6.1 Rappel de notre projet . . . . .	28
<b>7 Tests unitaires</b>	<b>30</b>
7.1 Raspberry Pi . . . . .	30
7.2 PIC . . . . .	32
7.3 Filtre passe bande . . . . .	34
7.4 VCO . . . . .	36
7.5 Down converter . . . . .	37
<b>8 Radiogoniometre</b>	<b>39</b>
<b>9 Interface Web</b>	<b>41</b>
9.1 Analyse . . . . .	41
9.2 Conception . . . . .	42
<b>10 Réalisation</b>	<b>46</b>
10.1 Radiogoniomètre Doppler . . . . .	46
10.2 Application Android : S.M.A.R.T Comm Center . . . . .	46
<b>Conclusion</b>	<b>48</b>
<b>A Drone</b>	<b>50</b>
A.1 Définition . . . . .	50
A.2 Type des drones . . . . .	50
A.3 Fréquence . . . . .	51
A.4 Types de modulations . . . . .	51
A.5 Législations . . . . .	53
<b>B Organisation du travail</b>	<b>54</b>
B.1 Méthode de travail . . . . .	54
B.2 Outils utilisés . . . . .	54
<b>C Correspondance</b>	<b>56</b>
<b>D Documentation Technique du Raspberry Pi B+</b>	<b>59</b>
<b>E Documentation Technique à Raspbian</b>	<b>61</b>
<b>Table des figures</b>	<b>62</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>64</b>

---

# Remerciements

Avant de commencer la présentation de notre travail, nous profitons de l'occasion pour adresser nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements pour notre respectueux professeur, M. Mansour Ali, d'avoir accepté de nous encadrer, suivre notre travail, nous diriger, afin que nous puissions mener ce projet à terme, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement.

Nos remerciements vont aussi à M. Le Chenadec Gilles , qui nous a accompagné de près durant tout ce travail, pour sa disponibilité, pour la confiance qu'il a su nous accorder et les conseils précieux qu'il nous a prodigués tout au long de la réalisation de ce projet.

Nos remerciements vont aussi à tous les professeurs, enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance. Nous souhaitons que le travail réalisé soit à la hauteur de leurs espérances ainsi qu'aux attentes de notre encadrant.

A handwritten cursive signature of the word "Merci" is written in black ink. A graphic of a black pen tip is positioned at the end of the "i", pointing upwards and to the right.

---

# **Introduction**

**Première partie**

**Etat de l'art  
(Semestre 3)**

---

# Présentation du contexte

L'actualité récente a montré que l'intrusion de drones dans des sites sécurisés représentaient un risque de sécurité majeur. Des gouvernements et entreprises privées se sont lancés dans la mise au point de systèmes de détection et de neutralisation de ces drones. Une recherche bibliographique nous a permis de mettre en évidence plusieurs méthodes de détection, pouvant être classées selon trois types principaux : acoustiques, optiques et électromagnétiques. Les paragraphes qui suivent détailleront les différents avantages et inconvénients que ces systèmes possèdent.

## 1.1 Acoustique

Plusieurs entreprises proposent des outils de détection acoustique des drones. Ces derniers se présentent sous forme de boîtiers reliés à des micros, positionnés en hauteur : c'est par les sons qu'ils génèrent, principalement ceux de leurs hélices, que les drones sont repérés et cela dans un rayon d'une centaine de mètres. Certains systèmes utilisent une analyse fréquentielle poussée du signal afin de détecter les moteurs en fonction de leurs fréquences de fonctionnement. Une alerte est alors envoyée à l'utilisateur du dispositif, sur un ordinateur ou par un SMS. L'avantage principal du système est qu'il peut détecter les drones n'émettant aucun rayonnement électromagnétique comme les systèmes autopilotés. Au-delà de cet aspect, il présente un avantage et des plus importants, son coût. En effet, un tel système est très économique à produire. Actuellement diverses solutions actives comme passives sont déjà présentes sur le marché et la démocratisation de ce type de système tend à faire baisser leur prix.

Toutefois ces appareils présentent certains défauts qui peuvent affecter leur fiabilité. Leur efficacité est en effet dépendante du bruit de fond qui doit être inférieur à un certain seuil pour que le système puisse détecter un drone. D'autres phénomènes acoustiques comme la réverbération du son et la présence d'échos peuvent aussi perturber son fonctionnement. Cela rend l'utilisation de telles solutions difficile en milieu urbain. Enfin, il est nécessaire de disposer préalablement d'une base de données des signatures acoustiques des différents drones qui peuvent émettre sur un domaine de fréquences acoustiques larges. Il est assez simple pour un drone de parer ce système de détection. Par la simple émission d'une onde sonore couvrant sa propre signature acoustique, un drone passerait totalement inaperçu.

Ces solutions sont orientées vers une utilisation domestique et non professionnelle pour les raisons évoquées précédemment. Leur prix se situe aux alentours de 100 dollars pour un modèle simple.

## 1.2 Optique

Une caméra normale a besoin de lumière pour produire une image, une caméra thermique (ou infrarouge) peut capter de très faibles différences de température et les convertir en une excellente image thermique sur laquelle les plus petits détails sont visibles. Contrairement à d'autres technologies, comme l'amplification de lumière qui nécessite une petite quantité de lumière pour produire une image, l'imagerie thermique permet de voir dans l'obscurité totale. Elle ne nécessite aucune source de lumière.

Depuis qu'il est possible de produire une image lisible dans l'obscurité totale, la technologie de l'imagerie thermique permet de voir et de cibler les forces ennemis dans la nuit la plus noire. Les caméras thermiques voient à travers la brume, la pluie et la neige. Elles voient aussi à travers la fumée, ce qui était particulièrement intéressant pour l'armée.[5]

En mode passif, des caméras thermiques d'observation savent repérer un drone de 50 cm d'envergure à une distance d'environ 1 km, de jour comme de nuit. Lorsqu'un drone entre dans son champ de vision, des algorithmes identifient son image. La forme, la couleur et la géométrie de l'objet permettent de distinguer le drone d'éventuels oiseaux et lancer une alerte, à condition qu'il n'y ait pas d'obstacle entre la caméra et lui.

En mode actif, on peut éclairer une scène à 360° avec un laser. Les photons, les particules de lumière, se réfléchissent sur l'appareil, le signal est récupéré et analysé. D'une portée similaire à celle de la caméra, le laser a l'avantage de décamoufler (observation à travers brouillard, pluie ou filet de camouflage), de livrer la distance précise de l'objet, et de le reconstituer en imagerie 3D. Une fois le drone suffisamment proche, une caméra classique avec un opérateur humain peuvent prendre le relai pour vérifier visuellement la nature de l'intrus et éventuellement passer à la phase de neutralisation.

L'utilisation d'un caméra optique simple pourrait aussi convenir à condition d'utiliser un traitement d'image adapté. La complexité de ce traitement associé au nombres de formes de drones pouvant être acheté dans le commerce rend cette technique difficilement exploitable.

## 1.3 Radar

Le radar (de l'anglais RAdio Detection And Ranging) est un système qui utilise les ondes électromagnétiques pour détecter la présence d'objets. Le radar émet des ondes, elles rebondissent sur les objets rencontrés et il est possible de mesurer leur distance, la direction, l'altitude ainsi que la vitesse en analysant le signal renvoyé. Les modèles Doppler peuvent ainsi détecter les objets en mouvement : avion, hélicoptère et certains modèles de drones, même « légers ». C'est le cas du radar Squire de Thales Air Systems.



FIGURE 1.1 – Le radar portable Squire de Thales Air Systems

Il existe néanmoins certains drones construits en carbone pouvant être perméables à certaines ondes radars et ainsi indétectables par cette technologie. Cependant le "radar passif", radar exploitant les variations d'ondes électromagnétiques en milieu urbain, telles que les ondes de la TNT, pourrait être exploité en milieu urbain.

## 1.4 Radiogoniométrie

Parmi les moyens existants pour détecter un drone on peut citer la radiogoniométrie. Le principe de la radiogoniométrie est de mesurer la direction d'arrivée d'une onde électromagnétique polarisée incidente sur un réseau de capteur, par rapport à une direction de référence. Les radio-goniomètres sont donc des détecteurs passifs.

La radiogoniométrie possède de nombreuses applications. Cependant, en interception, la radiogoniométrie permet de localiser un émetteur inconnu soit en employant plusieurs récepteurs en des positions différentes, soit par calcul en fonction de la cinématique propre du récepteur.

On distingue deux types de goniomètres : les goniomètres à une dimension qui n'estiment que le gisement ou l'azimut, et les goniomètres à deux dimensions qui estiment le gisement ou azimut ainsi que l'élévation.

Dans le cas d'une détection de drones, le radio-goniomètre réalise une écoute de l'environnement avec un balayage de fréquences. Lorsque le drone émettra avec la personne qui le guide on pourra ainsi le localiser précisément.

L'avantage principal de la radiogoniométrie est qu'il s'agit d'une méthode de détection passive. Elle est donc difficilement décelable et cela fait d'elle une technique fréquemment utilisée en guerre électronique.

Seulement, la radiogoniométrie a des failles. En effet, il existe sur le marché des drones auto-pilotés qui n'émettent pas car ils chargent avant le début de leur vol leurs trajectoires. Ainsi il n'y a pas de communication avec un quelconque utilisateur, et donc il n'y a aucun signal émis. Il est donc impossible de les localiser à l'aide de cette technique.

## 1.5 Synthèse

Une solution technique idéale couplerait l'ensemble des méthodes décrites ci-dessus pour pouvoir parer à toute éventualité. Une analyse des solutions présentes sur le marché ou en développement montre que les configurations les plus performantes associent au moins deux des modes de détection cités. On peut notamment citer le cas du système drone-detector [11].

Néanmoins nous avons choisi pour ce projet de nous concentrer, dans un premier temps, sur une détection uniquement à base de radiogoniométrie.

Les raisons de ce choix sont les suivantes : Dans un premier temps, pour pouvoir réaliser un prototype fonctionnel il est plus aisé de se baser sur la radiogoniométrie compte tenu du matériel à notre disposition. Dans un second temps, notre équipe a choisi de se concentrer sur la détection de drones de loisir disponibles dans le commerce. Selon la réglementation ces drones doivent maintenir un lien radio avec un pilote qui doit être en mesure de reprendre le contrôle du drone à tout instant. Il y a donc une liaison permanente qui peut être exploitée par le système.

---

# Analyse fonctionnelle

## 2.1 Interview

Après notre interview avec notre encadrant Ali Mansour, nous avons réalisé un tableau des spécifications suivantes :

Synthèse exigences première interview	
Demande principale	déetecter un drone utiliser la radiogoniométrie comme technologie détection
Demande secondaire	travailler sur un domaine de fréquence à définir une interface homme/machine pourra être réalisée
Spécifications techniques	Le budget est de 300€ Aucun matériel n'est préalablement disponible pour la réalisation du démonstrateur

## 2.2 Tableau des spécifications

En prenant en compte les recommandations de notre encadrant, et les recherches que nous avons réalisées, nous avons établi les contraintes et les spécifications suivantes :

Tableau des Exigences du SMART					
Client			Concepteur/Réalisateur		
Numéro	Désignation	Critère	Niveau	Niveau de flexibilité	Classe
FS1	Détecter des drones à porté de réception par les antennes dans un domaine de fréquence prédéfini	Puissance du signal, fréquence	WIFI 2.4 GHz ( 2400 - 2483,5 MHz )	Tolérance faible	0
FS2 a.	Retourner la position du drone à l'utilisateur en temps réel	Clareté, temps de réponse	Mise à jour des données dans un tableau d'information	Tolérance faible	1
FS2 b.	Avoir une précision de l'ordre du mètre	Précision	Entre 0 et 2 mètres	Tolérance faible	0
FS3	Suivre les déplacements du drone en temps réel	Fiabilité	Projection de la position sur une représentation de la zone géographique	Tolérance moyenne	2
FS4	Alerter l'utilisateur en cas de nouvelle détection par un message dans la console du PC	Temps de réponse	Entre 0 et 2s	Tolérance moyenne	2
FS4 b.	Alerter l'utilisateur en cas de nouvelle détection par un message via application Android	Temps de réponse	Entre 0 et 2s	Tolérance élevée	3
FS5	Analyser et retourner la vitesse de déplacement du drone	Clareté, temps de réponse	Mise à jour des données dans un tableau d'information	Tolérance moyenne	2
FS6	Retourner la trajectoire du drone à l'utilisateur	Fiabilité, temps de réponse	Projection de la trajectoire sur la carte permettant de visualiser la position u drone	Tolérance moyenne	2
C1	Utiliser la radiogoniométrie pour réaliser la localisation	Critère client	Radiogoniométrie multi-antenne	Tolérance faible	0
C2	le système doit posséder au minimum deux goniomètres pour la réception	Critère client	Antennes disposées en treillis pour optimiser la localisation	Tolérance faible	0
C3	Etre alimenté uniquement par le réseau électrique	Simplification des sources d'alimentation	230V	Tolérance faible	0
C4	Etre paramétrable par l'utilisateur	Souplesse d'utilisation	Configurer l'IHM selon ses envies	Tolérance moyenne	1
C5	Respecter les normes environnementales	Juridique	Normes minimales environnementales	Tolérance faible	0
C6	Respecter un budget restreint	Budget proposé	300 €	Tolérance faible	0
C7	Résister aux contraintes météorologiques	Réalité du terrain	Etre résistant à l'eau et au vent de faible puissance	Tolérance moyenne	0
C8	Tenir un délai de réalisation	Planning	7 mois comprenant l'analyse et la réalisation du projet	Tolérance faible	0

Types d'exigence	
Fonction de service	FS
Contrainte	C

Classe	
Non négociable	0
Peu négociable	1
Négociable	2
Non nécessaire	3

## 2.3 Diagramme pieuvre

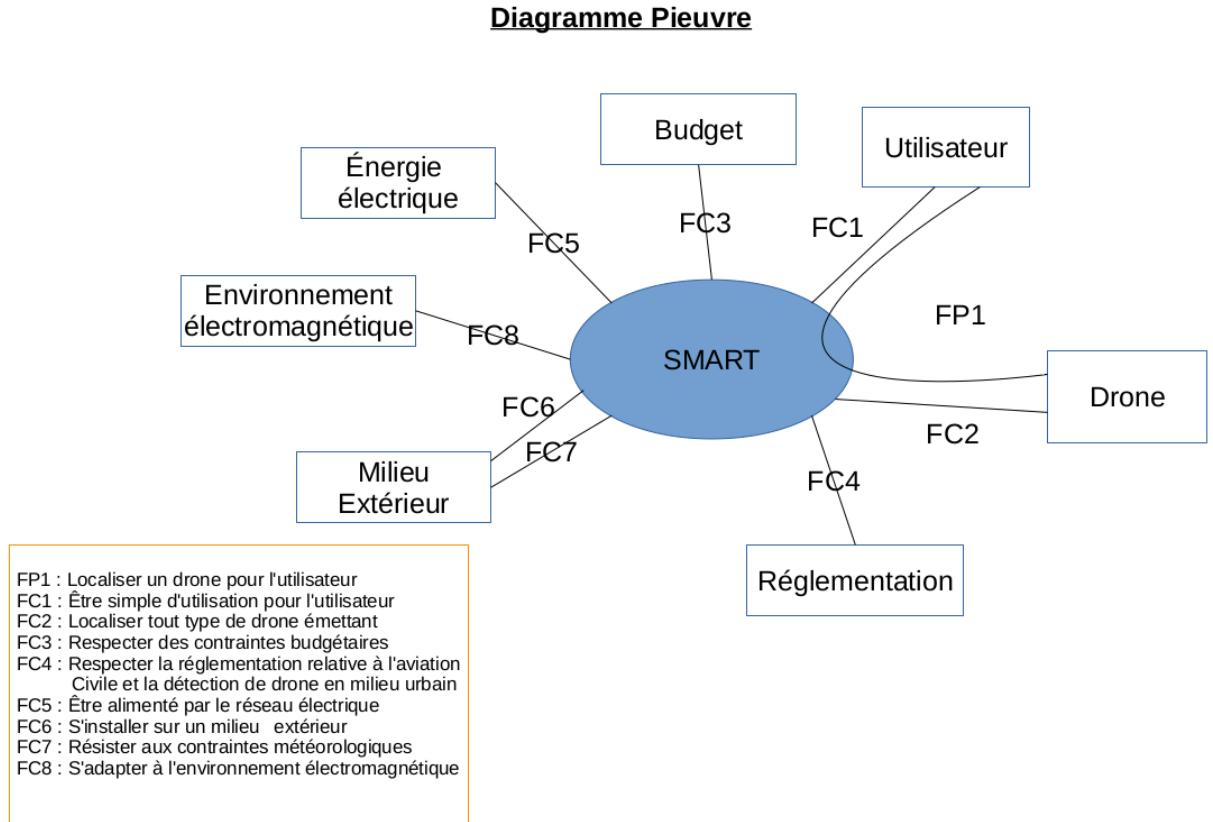


FIGURE 2.1 – Diagramme pieuvre

## 2.4 SADT

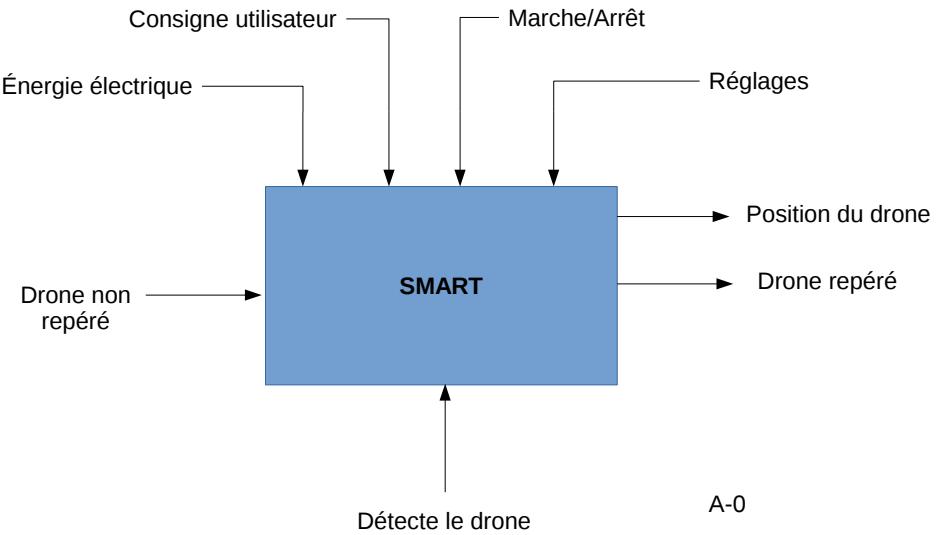


FIGURE 2.2 – SADT A-0

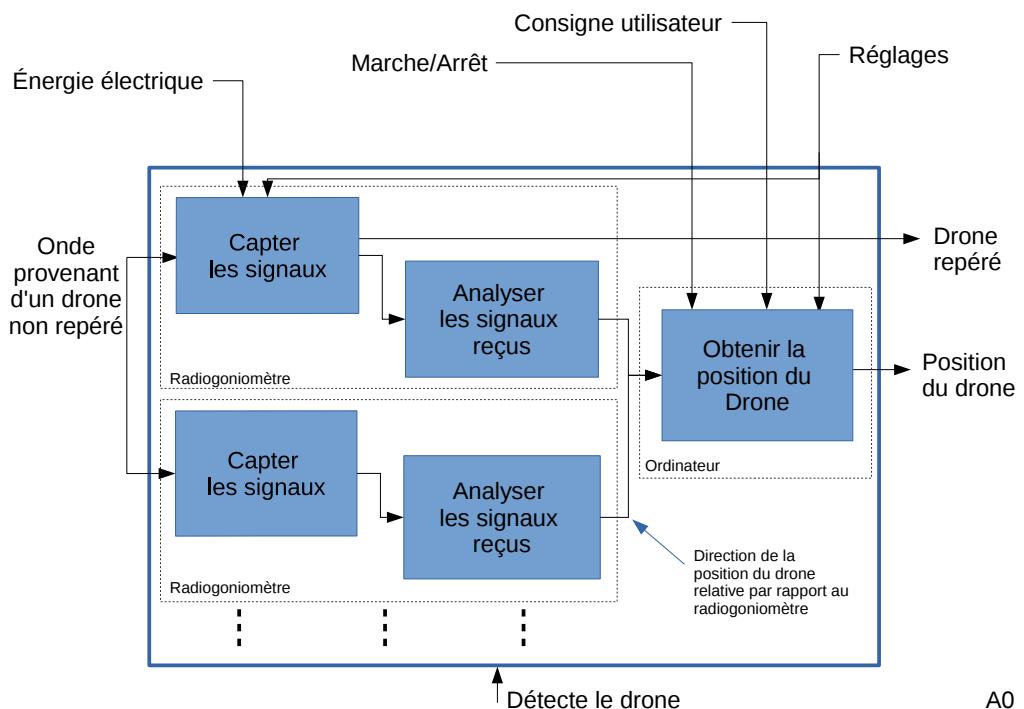


FIGURE 2.3 – SADT A0

Comme on peut le voir sur le SADT A0, nous avons découpé notre objectif en trois parties.

Dans un premier temps il faut capter les signaux. Pour cela il faut réaliser un balayage sur le radiogoniomètre pour détecter les bons signaux.

Ensuite, il faut analyser les signaux reçus pour s'assurer que nous sommes bien en présence d'un drone.

Enfin, il faut récupérer les données des radiogoniomètres pour déterminer la position du drone.

## 2.5 FAST

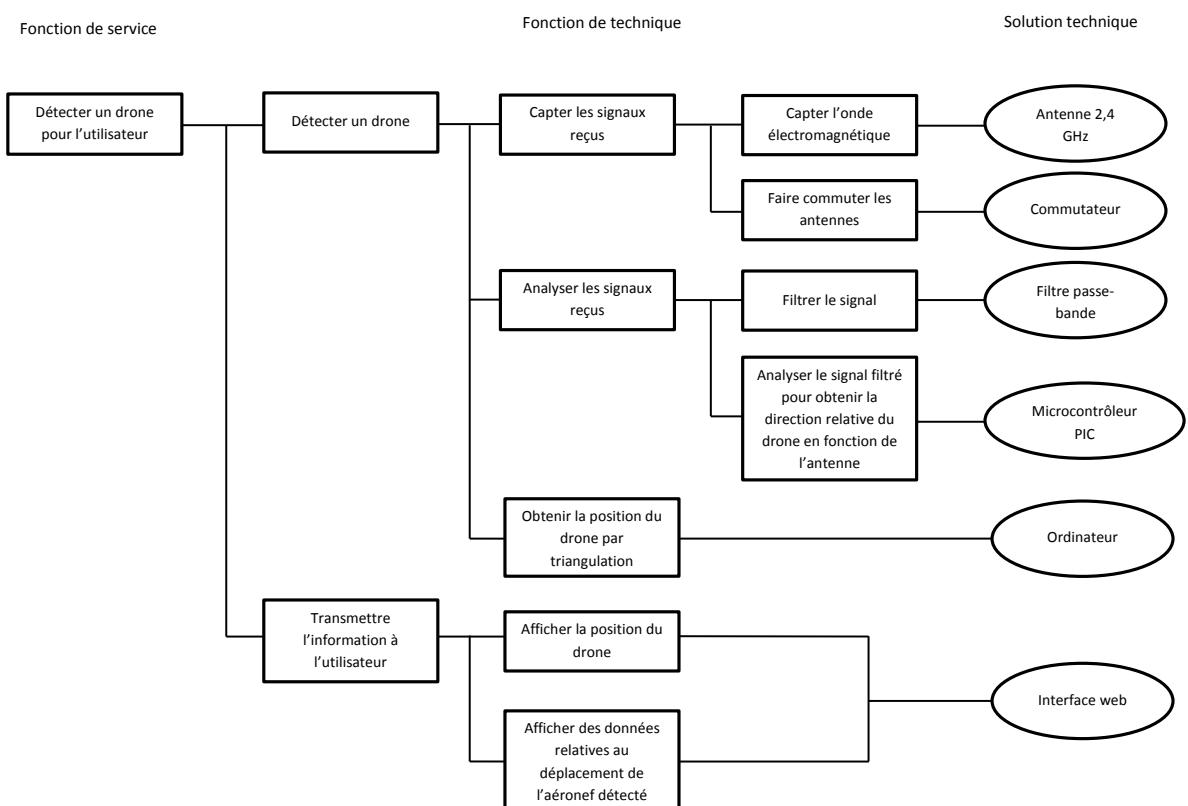


FIGURE 2.4 – Diagramme FAST

## 2.6 Diagramme 3 axes

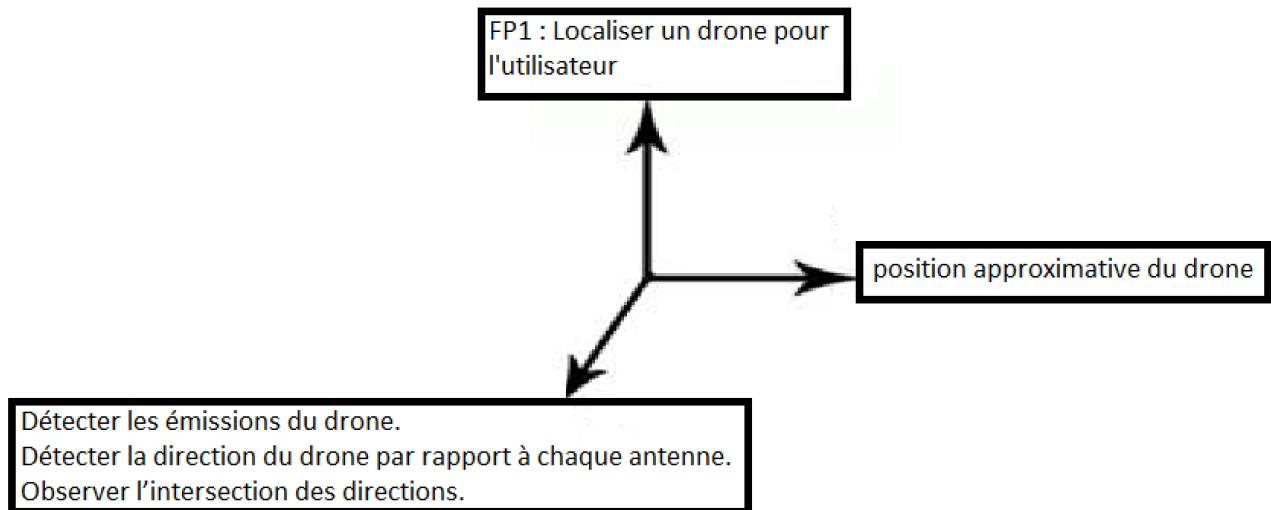


FIGURE 2.5 – Diagramme 3 axes

Le diagramme 3 axes ci-dessus présente les étapes clefs du traitement du problème. En effet, la détection d'un drone nécessite de repérer une perturbation dans la bande de fréquence que l'on écoute, de détecter la direction de laquelle elle provient et enfin de regrouper les données pour, à partir des directions, obtenir la position.

## 2.7 Fonctionnement de notre système

Nous avons donc imaginé positionner plusieurs radiogoniomètres, chaque appareil indiquerait la direction du drone par rapport à sa position. Chacun d'eux serait connecté à un ordinateur central qui analyserait chacune des positions données par les radiogoniomètres et en déduirait la position du drone dans l'espace.

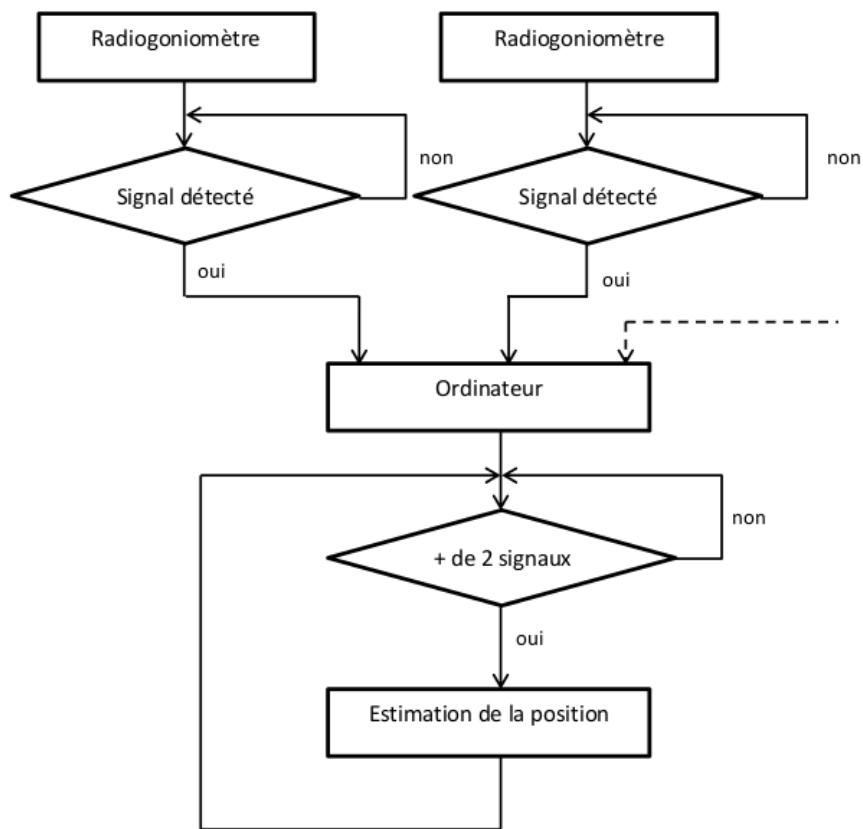


FIGURE 2.6 – Schéma Logique du système

# CHAPITRE 3

---

## Radio-goniométrie

Dans cette partie, nous allons nous attacher à étudier les différents types de goniométrie existant afin de retenir la solution la plus pertinente pour notre système. Cette étude redéfinira dans un premier temps le cadre de l'étude, puis suivra une explication de chaque technologie existante afin de conclure sur le choix que nous aurons retenu.

Généralement, un système de radiogoniométrie est composé de :

- Un réseau de N capteurs avec ou sans processus de mise en forme des signaux d'antennes.
- Un commutateur d'antenne
- Un récepteur à plusieurs voies
- Une unité de traitement du signal

De plus, la composition du système d'acquisition et les techniques de traitement du signal dépendent :

- Des caractéristiques de l'onde à étudier
- Du type d'acquisition de l'information

Dans notre application, le système devra détecter une onde émise dans la gamme de fréquence UHF (2,4 GHz). Bien qu'existant dans le domaine de réalisation des radiogoniomètres, il n'est pas commun qu'un radiogoniomètre travail sur cette gamme de fréquence.

Les caractéristiques principales qui interviennent principalement dans le choix d'un radiogoniomètre sont :

- La précision de mesure angulaire (précision de la position obtenue)
- La sensibilité (portée maximale du système)
- La vitesse de mesure
- Le comportement en présence de plusieurs ondes dans la bande d'analyse
- La susceptibilité du système

La spécificité de notre système est la cible à localiser. En effet, la source peut ne pas émettre en continue et sur de très courtes périodes (inférieure à 1 seconde). Il nous faut donc un radiogoniomètre capable de réaliser la mesure en une fraction de seconde. La gestion de conservation de la donnée mesurée en attendant une valeur ultérieure sera gérée par l'ordinateur.

### 3.1 Type de goniométrie

#### Goniométrie d'amplitude

La mesure se fait par repérage d'un maximum d'amplitude, d'un minimum d'amplitude, ou par comparaison de l'amplitude en sortie de deux diagrammes se recouvrant partiellement. La recherche du minimum d'amplitude à partir d'une antenne à cadre tournante est l'approche la plus ancienne. Un dipôle électrique est utilisé pour lever l'ambiguïté de  $180^\circ$  en formant un diagramme en cardioïde par sommation.

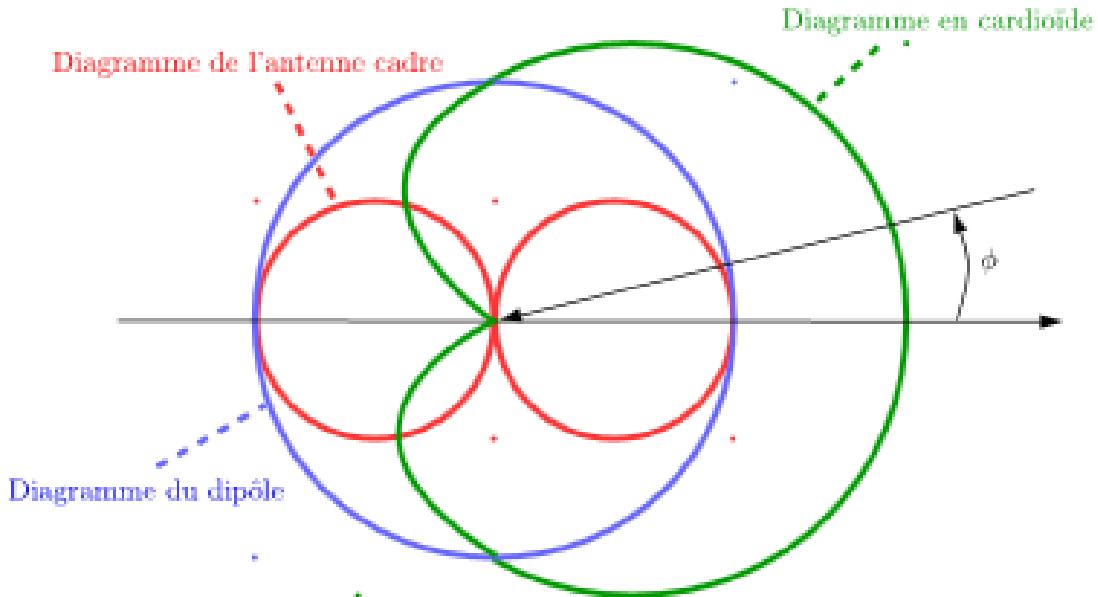


FIGURE 3.1 – diagramme en cardioïde d'une antenne à cadre

La formation de faisceaux est une technique plus récente issue des traitements radar. Elle utilise un ensemble de capteurs spatialement répartis. Les sorties d'antennes sont pondérées en phase puis sommées. Cette pondération est fonction du déphasage progressif d'une antenne à une autre, qui dépend de la direction d'arrivée et de la distance entre capteurs. Les pondérations permettent ainsi de remettre en phase les signaux et d'obtenir un diagramme avec un maximum dans la direction d'arrivée. Cette technologie est la plus ancienne. L'antenne utilisée était une antenne cadre et la gamme de fréquence étudiée était la HF et la VHF.

#### Goniométrie Watson-Watt

Un radiogoniomètre Watson-Watt est un radiogoniomètre automatique. L'onde électromagnétique du système à localiser est reçue par deux antennes perpendiculaires dont le rapport des amplitudes est très proche de  $\tan$  (l'une en sin et l'autre en cos). Les premières antennes utilisées pour cette technique étaient des antennes cadres orthogonales. Depuis, d'autres antennes telles que l'antenne Adcock ont été utilisées.

#### Goniométrie par interférométrie

La goniométrie par interférométrie est considérée comme une technique plus performante comparée à celles citées précédemment. A la différence des deux techniques précédentes, le traitement n'est pas entièrement analogique. Des calculs numériques, plus ou moins complexes, sont nécessaires suivant la topologie de l'antenne utilisée. Elle n'a donc pu être mise en œuvre qu'à partir de l'arrivée des microprocesseurs. L'interférométrie utilise la mesure de la différence de phase de signaux délivrés par deux antennes proches illuminées par la même onde électromagnétique.

## Goniométrie par effet Doppler

Une antenne tournant autour d'un axe est placée dans le champ d'émission d'un émetteur de porteuse pure. A cause du mouvement de l'antenne, le signal reçu subit un effet Doppler qui se traduit par une modulation FM du signal reçu. La fréquence instantanée du signal augmente quand l'antenne se rapproche de la direction d'arrivée du signal et décroît lorsqu'elle s'en éloigne. En effectuant une démodulation FM, on peut détecter la direction de provenance des ondes en comparant la phase du signal obtenu et celle de la rotation angulaire de l'antenne. Afin d'éviter de devoir faire tourner mécaniquement l'antenne, on peut en disposer plusieurs en cercle et les commuter successivement.

### 3.2 Selection de la technologie

Après étude des différentes technologies existantes, nous nous baserons sur une étude comparative menée par le site F1LVT [4].

	Très grande distance (Point haut)	Grande dist. (En voiture de loin)	Moyenne dist. (En voiture sur zone)	Courte dist. (A pied)	Démod.	Possibilité radiogonio 406 MHz
Directive grand gain + Att + RX	Très bien adapté	Bien adapté	Peut convenir	Mal adapté		Pas du tout adapté
Directive faible gain + Att + RX						
Homing intégré (L-Per, GHO)					AM	
Homing (tte bande, 4Q)					AM	
Doppler + RX			Très bien adapté	Mal adapté	FM	Bien adapté
TDOA + RX					FM	
Ant racc. + Att + RX (ABC)						

FIGURE 3.2 – Radiogoniométrie VHF-UHF pour les bandes aviation et les bandes RA

Ce tableau compare plusieurs technologies ainsi que leurs caractéristiques. Dans le cadre d'un système devant opérer en extérieur sur zone (environnements de zone industrielle ou de central électrique) nous retenons le goniomètre Doppler.

Il reste ensuite à déterminer le modèle précis de radiogoniomètre à effet Doppler pouvant être utilisé pour notre démonstrateur. Ce modèle devra correspondre aux exigences énoncées précédemment ou, à défaut, être modifiable ou adaptable à notre problématique.

Cependant il apparaît très rapidement que les radiogoniomètres en vente sur le marché ne correspondent pas à notre domaine de fréquence, sont beaucoup trop chers, ou appartiennent au marché de la défense et ne sont donc pas en vente au public. Malgré tout, de nombreux sites proposent des plans de montages, des tutoriels et des solutions techniques pour réaliser soit même son radiogoniomètre pour un prix raisonnable. Le site F1LVT, site sur lequel est parue l'étude comparative précédente, publie d'ailleurs un article pour construire le radiogoniomètre Montréal 3v2 correspondant à bon nombre de

nos critères et adaptable à notre gamme de fréquence pour un prix raisonnable estimé à 50€. Nous partirons donc sur ce modèle dont une étude approfondie est proposée par la suite<sup>1</sup>. De plus, la correspondance avec l'auteur de la documentation sur le Montréal 3v2<sup>2</sup> nous conforte dans cette voie.

---

1. voir page 22  
2. correspondance mis en annexe à la page 56

# Choix des composants

## 4.1 Antennes

### Principes généraux

Les goniomètres utilisent les ondes radioélectriques pour pouvoir localiser la direction d'une source d'émission. Chaque type de goniomètre utilisera une ou plusieurs antennes pour pouvoir analyser les caractéristiques de l'onde reçue. Le fonctionnement de ces antennes est décrit par les lois de l'électromagnétisme. Chaque onde électromagnétique possède une composante électrique et une composante magnétique. La composante ou champ électrique de cette onde fera apparaître des variations de potentiel dans l'antenne dont l'amplitude et la fréquence seront directement liés à l'onde qui les a générées. Leur analyse permettra de récupérer les caractéristiques de l'onde reçue et d'en extraire les informations pertinentes pour le système équipé de l'antenne.

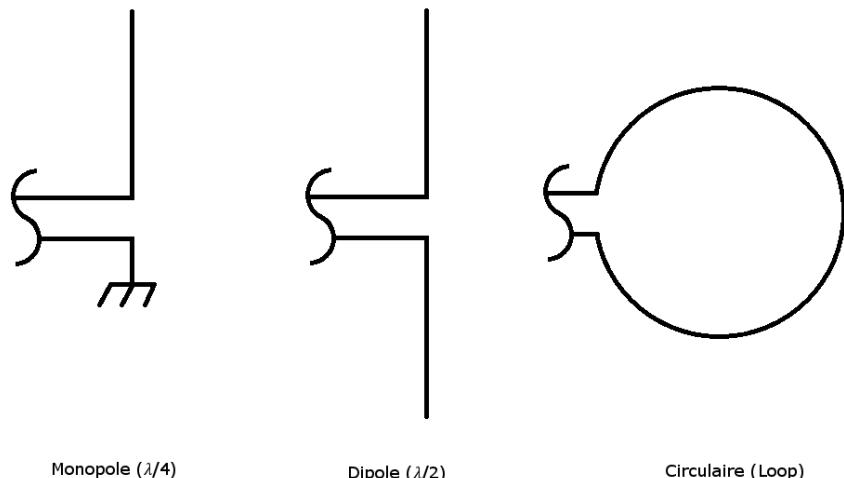


FIGURE 4.1 – Type d'antennes

### Antennes en Radiogoniométrie

En radiogoniométrie il est possible de travailler avec plusieurs types d'antennes. La méthode la plus simple pour déterminer la direction d'une onde sera d'utiliser une antenne à ouverture dite faible et de la faire pivoter pour pouvoir déterminer la direction du maximum d'émission. Une antenne circulaire ou rectangulaire pourra convenir. Parfois le type de goniomètre utilisé déterminera le choix de l'antenne. Par exemple dans le cas d'un radiogoniomètre de type Watson-Watt<sup>1</sup> plusieurs solutions

1. principe décrit en 3.1 à la page 17

sont envisageables :

- l'utilisation de deux antennes circulaires ou rectangulaires.
- L'utilisation d'une antenne dite "Adcock" qui est une combinaison d'antennes monopoles ou dipolaires.

Dans le cadre de notre projet, nos recherches nous ont conduit à choisir un goniomètre Doppler. Ce type de goniomètre utilise au minimum quatres antennes monopoles ou dipolaires disposées en croix autour d'une antenne de référence omnidirectionnelle (une antenne monopole est souvent utilisée). Pour un nombre d'antennes supérieur celles-ci seront disposées en cercle à intervalle régulier autour de l'antenne de référence.

En théorie deux antennes pourraient suffire. Si on parvenait à mettre en rotation une antenne omnidirectionnelle autour de l'antenne de référence suffisamment rapidement le goniomètre Doppler fonctionnerait. Il est toutefois beaucoup plus simple d'utiliser un ensemble d'antennes disposées en cercle et "d'écouter" successivement chaque antenne à l'aide d'un commutateur pour simuler cette rotation.

## Système d'antennes retenue

Le goniomètre Montréal possède cinq antennes, quatre disposées en croix et une antenne centrale connectée au système électronique de traitement. Les antennes sont reliées à un commutateur permettant de sélectionner successivement les antennes de la croix. Le système est dimensionné autour de trois critères :

- La bande de fréquence surveillée par les antennes : On utilisera ici des antennes monopoles (quart d'onde) adaptées au 2,4GHz
- Le rayon d'écartement des antennes (distance entre les quatres antennes de la croix et l'antenne de référence) : Si ce rayon est trop faible les écarts de fréquence seront plus difficiles à remarquer et le bruit électromagnétique peut être plus gênant lors de la mesure.
- La vitesse de commutation des antennes.

Deux des paramètres sont fixés à l'installation du dispositif. Les formules suivantes permettent de déterminer le paramètre manquant.

$$dF = \frac{w * r * f_c}{c} \quad (4.1)$$

avec

dF = la variation maximale de fréquence par effet Doppler(Hz)  
w = la vitesse angulaire(2\*pi\*fréquence de rotation)(m/s)  
r = Rayon de l'antenne (mètre)  
fc = fréquence de la porteuse(Hz)  
c = vitesse de la lumière

et

$$f_r = \frac{dF * 1879.8}{R * f_c} \quad (4.2)$$

avec :

fr = la fréquence du signal reçu (MHz)  
R = le rayon du système d'antennes (pouces)  
fc = fréquence de la porteuse(mégahertz)

Les antennes utilisées pour le montage pourront être celles utilisées dans l'aéromodélisme et sur les drones amateurs qui utilisent dans leur grande majorité la bande des 2,4 GHz.

Les modèles d'antennes suivants pourraient convenir :

- FrSky 2.4G V8 Series 5db module Antenna
- Orange 2.4G Antenna 2db (Extended wire)

Il est aussi possible de les concevoir nous même en respectant les dimensions ( 3,125 cm pour une monopole, 6.25 cm pour une dipôle)

# CHAPITRE 5

## Le Montréal 3V2

Nous allons ici présenter la solution sur laquelle nous nous appuyons pour réaliser notre propre radiogoniomètre à effet Doppler, le Montréal 3V2. Pour réaliser cette documentation nous nous sommes appuyés sur la documentation trouvée sur le site f1lvt [4]

### 5.1 Évolution du Montréal

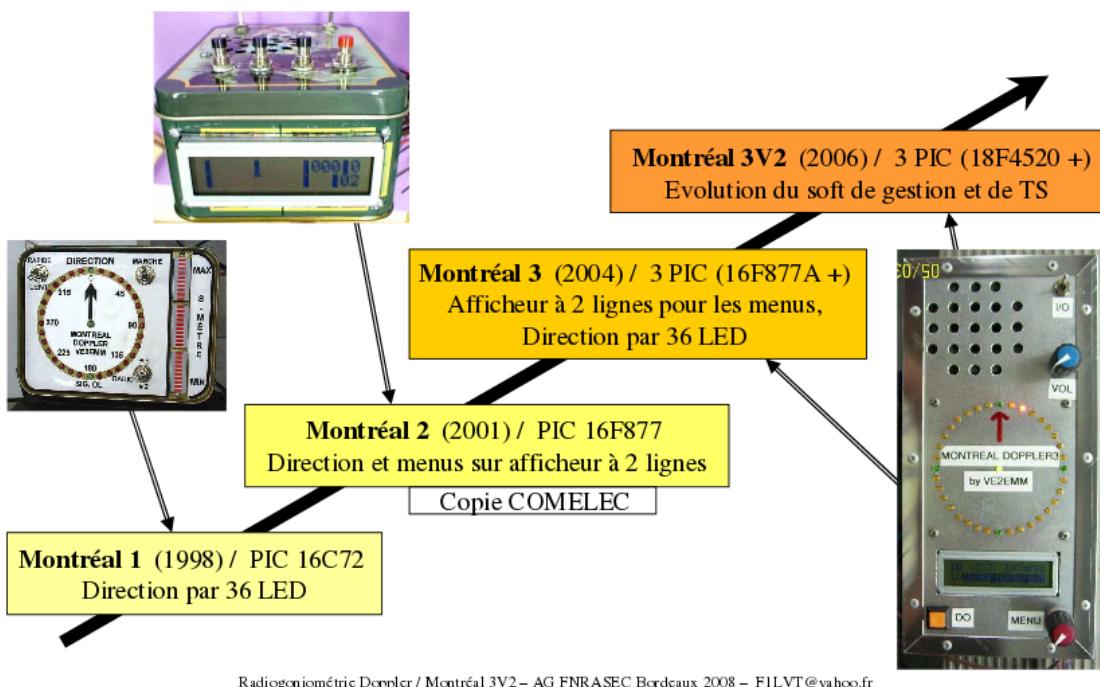


FIGURE 5.1 – Evolution du Montréal

## 5.2 Avantages du Montréal 3v2



FIGURE 5.2 – Photographie prise du Montréal 3v2

Le Montréal 3v2 sert principalement à l’FNRASEC<sup>1</sup> et aux chasseurs d’onde amateurs. Ce radiogoniomètre est utilisé pour la détection de balise de détresse de 406MHz.

Un des intérêts majeurs du Montréal 3-V2, c'est sa capacité de localiser des signaux très courts, son prix de revient est très raisonnable, son traitement très rapide et la mise en mémoire automatique du dernier relevé. On peut aussi noter qu'il est simple d'utilisation grâce à son affichage à 36 LEDs disposées en cercle et qui indiquent la direction. De plus une LED centrale indique le fonctionnement ; verte la direction affichée est bonne, rouge le signal est insuffisant, la direction reste alors figée dans la dernière bonne direction reçue.

## 5.3 Caractéristiques

Le Montréal 3v2 est un radiogoniomètre à effet Doppler, il possède donc toutes les caractéristiques associés à ce type de radiogoniomètre.

Fréquences	distance	moyenne portée
	gamme	50MHz-1.3GHz
	démodulation	FM
Affichage	LED	36LEDs
	écran	LCD en 2 lignes
Filtre	capa	très faible largeur de bande (0.5Hz)
Coût		estimé à 50€

## 5.4 Fonctionnement

La partie centrale contient les circuits d'amplification et de commutation. Les 4 brins verticaux (les brins actifs) se fixent par BNC.

Les antennes sont alimentées de façon séquentielle pour imiter une antenne en rotation. Une fois que les antennes ont capté les ondes provenant du drone, il faut faire une démodulation et enlever tous les bruits.

Un système à LED permet de visualiser la composante continue qui passe dans les antennes. A partir du boîtier Doppler et de son menu de test, on peut ainsi vérifier

1. Fédération Nationale des Radioamateurs au service de la Sécurité Civile, agréé de sécurité civile

individuellement chaque antenne. Ceci permet soit de faire fonctionner le système Doppler avec une antenne sur 4 , soit avec 3 antennes sur 4.

Trois micro-contrôleurs Pics sont utilisés un 16F628A pour l'affichage, un 16F877A pour le circuit principal et un 12F675 comme diviseur de fréquence.

Ce Doppler est la version la plus récente et la plus performante de la série. Il commute les antennes et il affiche la direction mesurée sur la boussole à 36 LEDs.

Une présentation plus détaillée du fonctionnement interne des PIC est fournie dans la figure suivante :

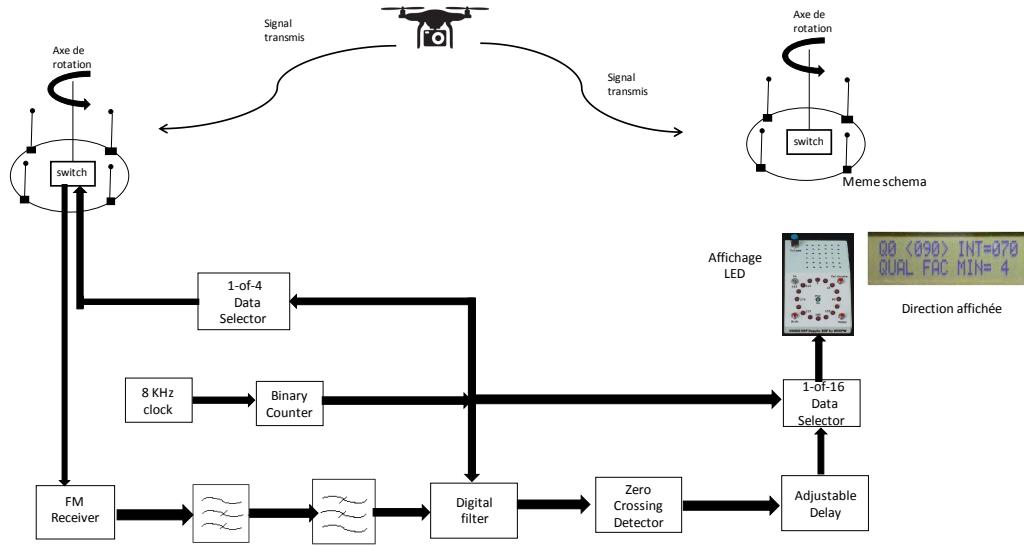
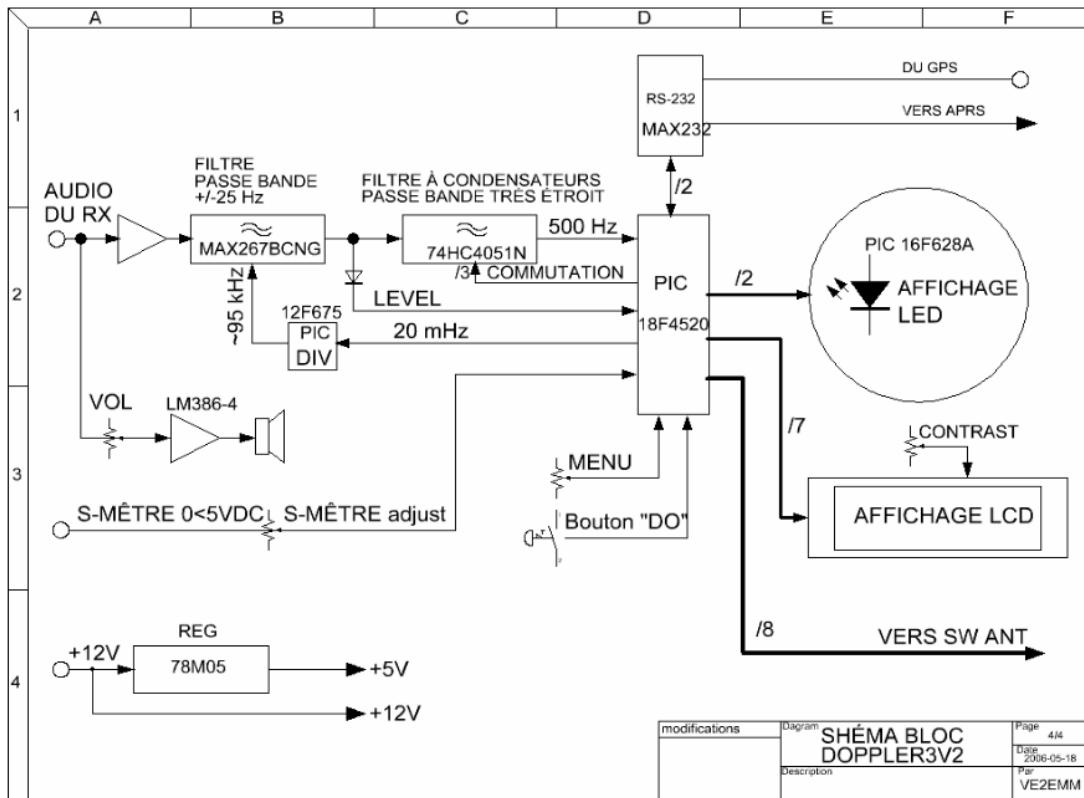


FIGURE 5.3 – Présentation détaillée du système

## 5.5 Schéma bloc



Radiogoniométrie Doppler / Montréal 3V2 – AG FNRASEC Bordeaux 2008 – FILVT@yahoo.fr

FIGURE 5.4 – Schéma bloc du Montréal 3v2

## 5.6 Liste des composants

Voici la liste des composants pour la construction du Montréal 3v2 :

IC30	LM386N-4	Ampli BF
IC50	MAX267BCNG	Filtre
IC51	PIC 12F675-I/P	PIC
IC52	74HC4051N	Filtre
IC53	MAX492CPA	Ampli Op
IC70	PIC 18F4520-I/P	PIC
VR20	7805 TO-220	Régulateur
X70	20 MHz HC49	Quartz
D50	1N5819	Diode Schottky
LCD20	LCD 2X16,	Afficheur 2 lignes de 16 car.
IC1	PIC16F628A-I/P	PIC
LED1 - LED36	ø3mm, Rouge et/ou Vert	
LED37	3 ou 5mm Bicolore Rouge/Verte	
FB1 - FB8	Ferrites <sup>2</sup>	
IC100	= MAX232ACPE	en option
Q100	= 2N2222 TO-92	

FIGURE 5.5 – Liste des composants

## 5.7 Modification à apporter

Le Montréal ne correspond qu'en partie à nos critères. Il est donc impératif de le modifier. Le premier problème concerne la gamme de fréquence du système. En effet, notre démonstrateur doit pouvoir localiser un drone émettant en 2,4 Ghz. Il faut donc à la fois modifier le bloc antenne mais également la partie de comutation d'antenne permettant de réaliser l'effet Doppler. L'étude des antennes a déjà été réalisée ci-dessus.

De plus, pour pouvoir réaliser la localisation de la cible, il faut pouvoir réaliser le relevé de mesure en sortie du système afin d'en interpréter l'azimut de la cible par rapport au radiogoniomètre.

**Deuxième partie**

**Conception de Smart**

**(Semestre 4)**

# CHAPITRE 6

## Choix technologique

### 6.1 Rappel de notre projet

Suite à notre état de l'art, nous avons décidé de réaliser notre système de détection en installant un maillage de capteur qui se baseront sur le système du Montréal 3V2. Chaque capteur sera connecté à un Raspberry Pi 2<sup>1</sup>. De plus, chaque Raspberry Pi communiquera avec un ordinateur central qui traitera les données pour les afficher sur une interface graphique. Les données qui seront transmises sont : le numéro du Raspberry Pi , la position du capteur, et le gisement du drone par rapport au capteur. Enfin, l'ordinateur central communiquera avec une application android qui notifiera le client de la présence d'un drone.

L'architecture physique du système est présenté à la figure 6.1.

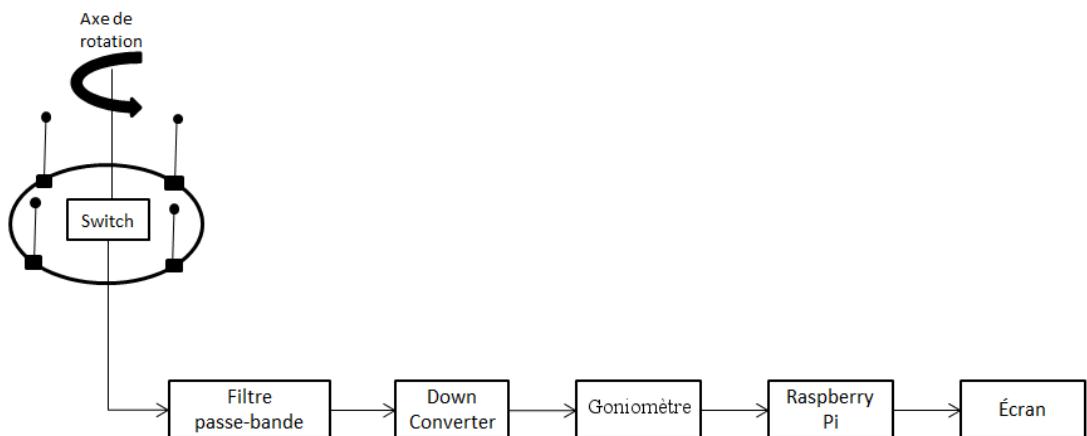


FIGURE 6.1 – Architecture Physique

1. La documentation technique du Raspberry PI est situé en annexe à la page 59

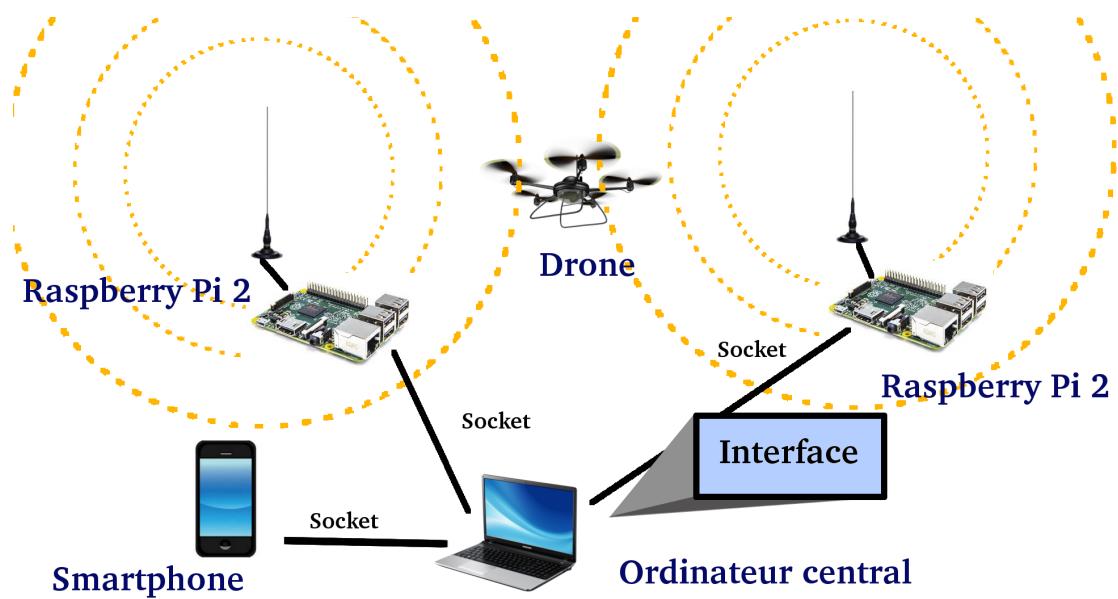


FIGURE 6.2 – Installation de Smart

# Tests unitaires

Suite au choix que nous avons réalisé dans la partie précédente, nous avons commandé notre matériel. Dès la réception de celui-ci nous avons effectué des tests unitaires pour vérifier leur bon fonctionnement.

## 7.1 Raspberry Pi

La documentation technique lié a notre Raspberry Pi es situé en annexe à la page 59

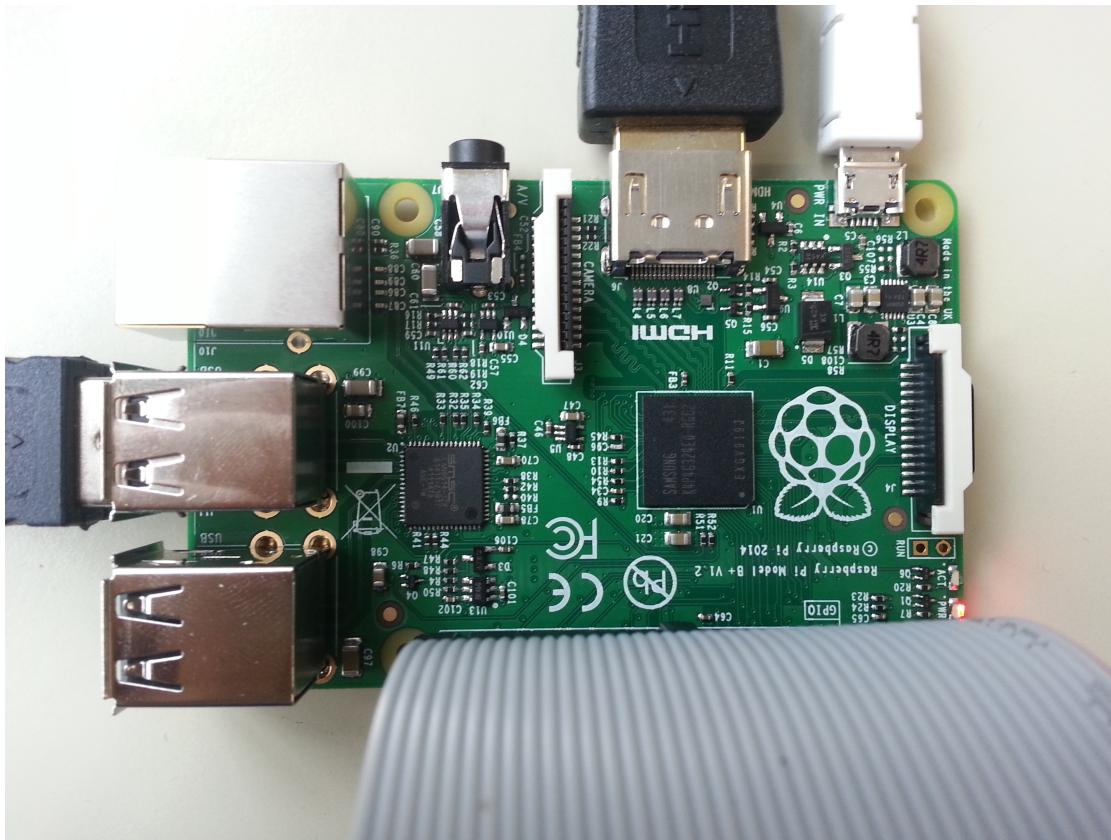


FIGURE 7.1 – Notre Raspberry Pi B+

Pour s'assurer que notre Raspberry Pi répond aux spécifications fonctionnelles et qu'il fonctionne correctement en toutes circonstances pour notre projet, nous y avons réalisé des tests unitaires.

Après avoir enfin installé le système d'exploitation Raspbian<sup>1</sup> sur notre Raspberry Pi B+, nous avons tenté de tester les ports GPIO. Pour cela, dans un premier temps, nous avons allumé des LED grâce à un script python à travers différents ports GPIO. Sur la figure 7.2, on peut observer que nous avons allumé une LED grâce au port 22.

Dans notre projet le Raspberry Pi sera placé entre le radio-goniomètre à effet Doppler et l'utilisateur. Il aura deux tâches, corrélérer les données entre tous les dispositifs pour obtenir la position du drone et afficher le résultat à l'utilisateur. Pour cela il doit récupérer la direction qui est donné par le Montréal 3v2. Cette position est donnée à travers des LED (voir figure 7.3). Nous allons donc placer le Raspberry Pi au niveau des LED pour obtenir les informations délivré par le Montréal 3v2.

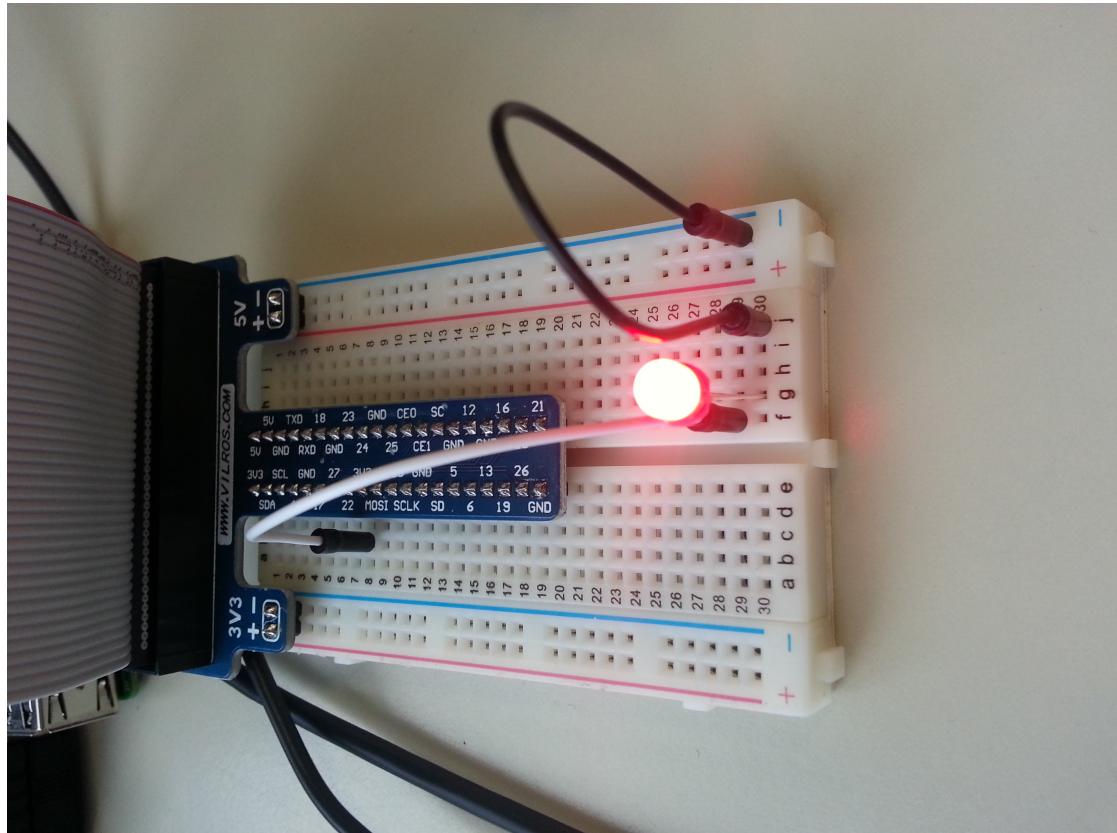


FIGURE 7.2 – Allumage d'une LED par Raspberry Pi

La sortie du Montréal 3v2 est décrite à la figure 7.3. On constate que le pic qui permet l'affichage à 12 sorties qui lui permet de gérer 24 LED. Pour connaître quelle LED est allumé, il faut savoir laquelle des entrées A1,A0,B7,B6,B5,B4 à un front montant et laquelle des entrées B0,B1,B2,B3,A3,A2 à un front descendant.

Pour modéliser une LED en entrée du Raspberry Pi, nous avons positionné 2 boutons poussoirs (voir figure 7.4). Le premier permet de réaliser le front montant et le second le front descendant. Ainsi en positionnant ces boutons au bon endroit par rapport au port GPIO du raspberry il est possible de connaître quelle LED on a simulé.

Nous avons réalisé un script python qui lie les entrées du raspberry avec les sorties du pic. Puis nous avons tester en simulant une LED comme décrit précédemment.

On peut constater que l'expérience est un succès car le raspberry pi nous renvoie bien le numéro de la LED que nous voulions tester.

---

1. La documentation lié à Raspbian est située en annexe à la page 61

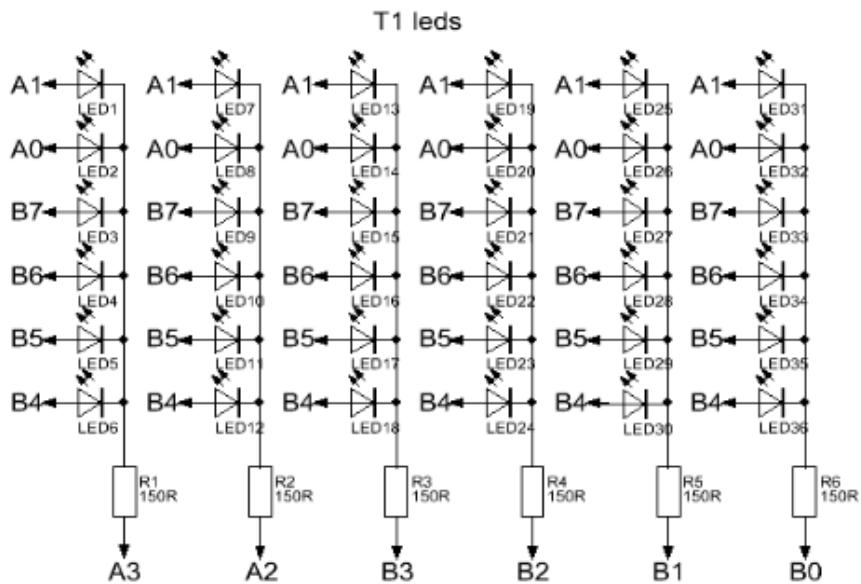


FIGURE 7.3 – Méthode de connexion des leds dans le Montréal

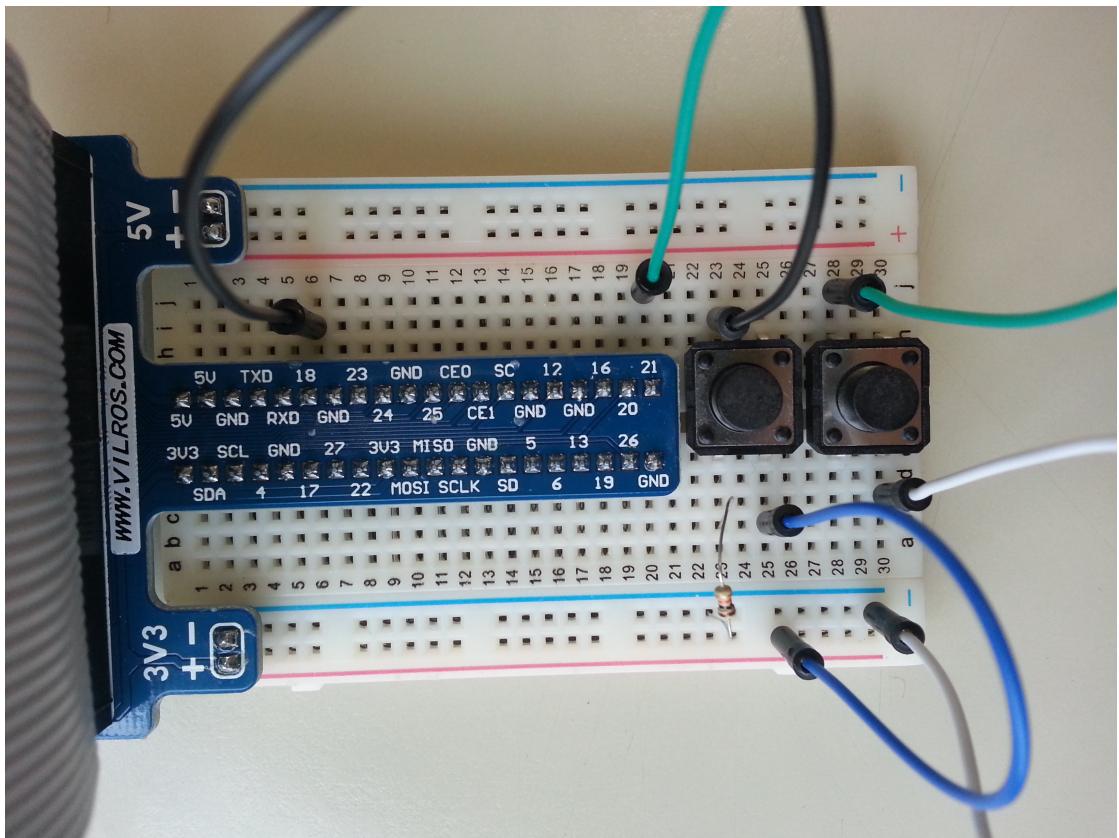


FIGURE 7.4 – Système modélisant une LED

## 7.2 PIC

Dans le schéma du Montréal 3v2 nous avons pu constater qu'il y avait 3 PIC programmés. Nous avons commandé les PIC programmés au près de l'entreprise F1LVT [4].

Nous avons ensuite imaginé et réalisé des tests unitaires sur chacun des PIC pour

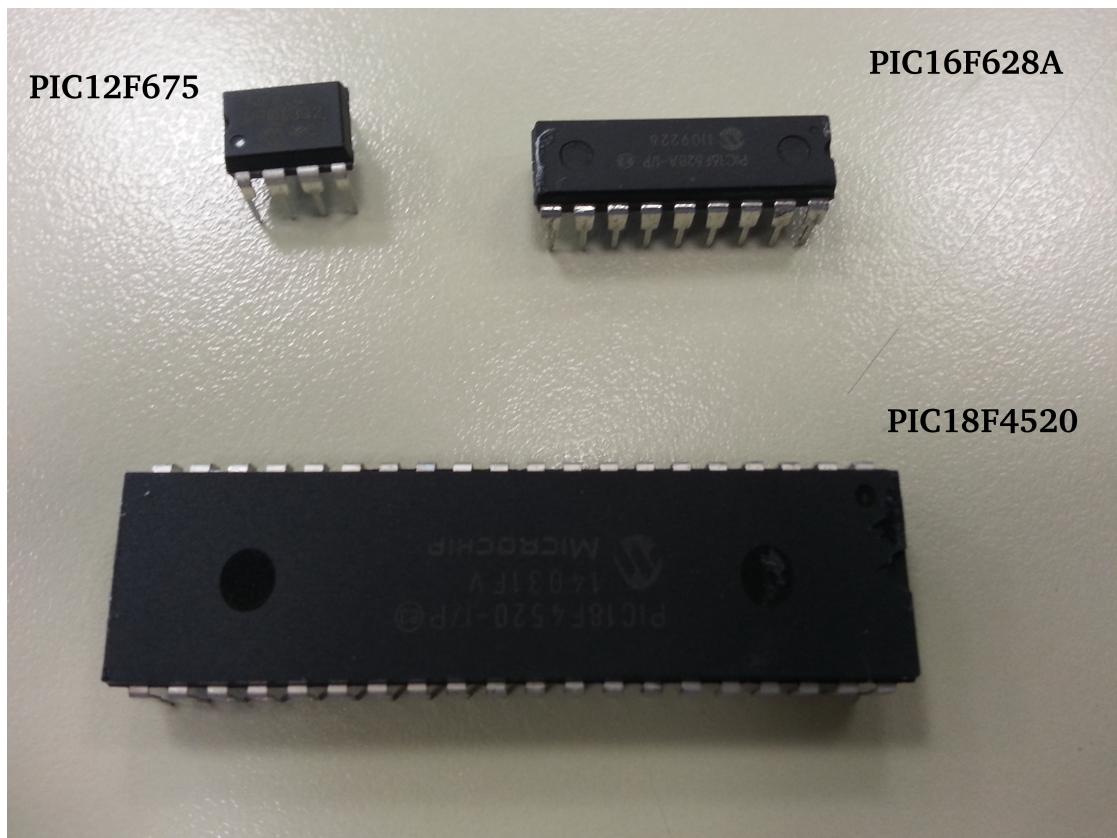


FIGURE 7.5 – 3 PIC programmés

vérifier qu'ils ont bien été programmés et qu'aucune erreur n'est apparue sur ce système de décision critique pour le système.

#### **PIC16F628A**

Ce PIC sert à réaliser l'affichage sur les LED. Pour tester ce PIC, nous avons réalisé le montage de la figure 7.6. On peut voir à la figure 7.7 le schéma de montage du PIC sur le Montréal 3v2.

Pour tester ce composant, nous avons donc choisi de monter une partie des LED situés en sorti, de configurer le « clock » sur un signal carré de fréquence 1 MHz, et de faire varier la fréquence de l'entrée « data ».

Malheureusement nous n'avons pas pu observer de LED s'allumer pendant notre expérience.

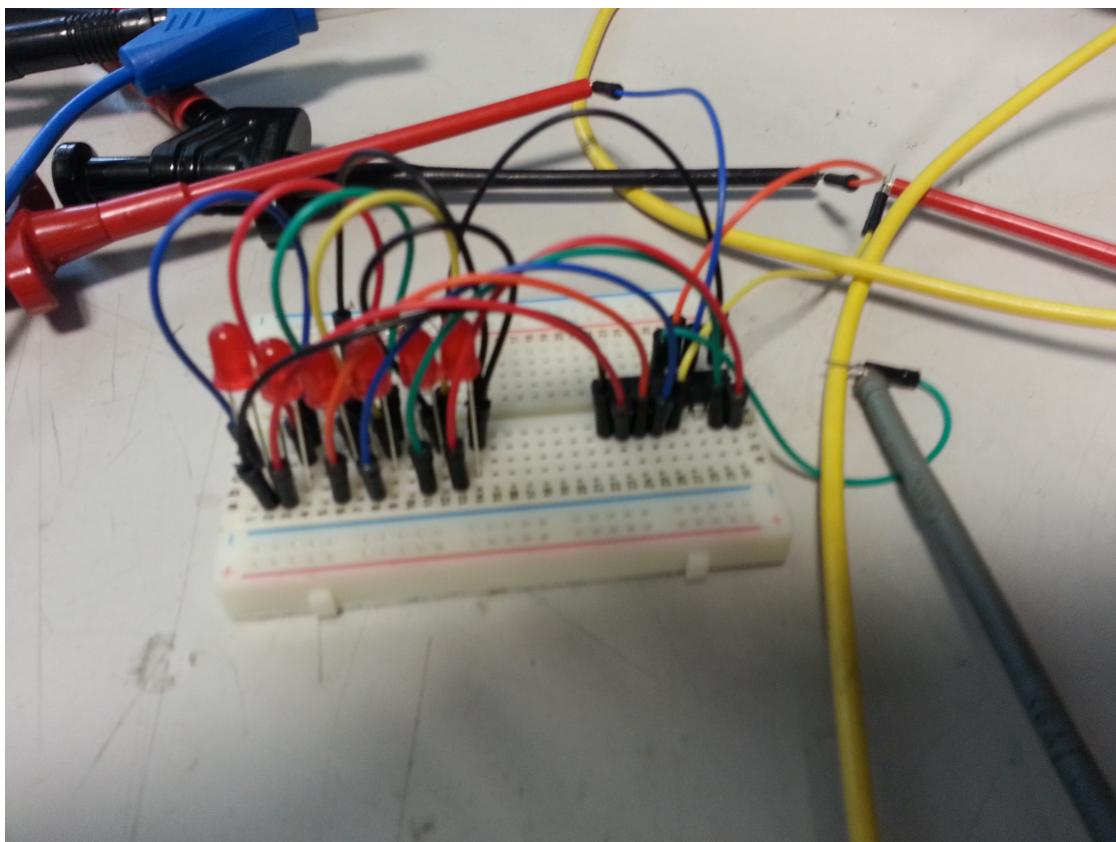


FIGURE 7.6 – Schéma électrique du test unitaire

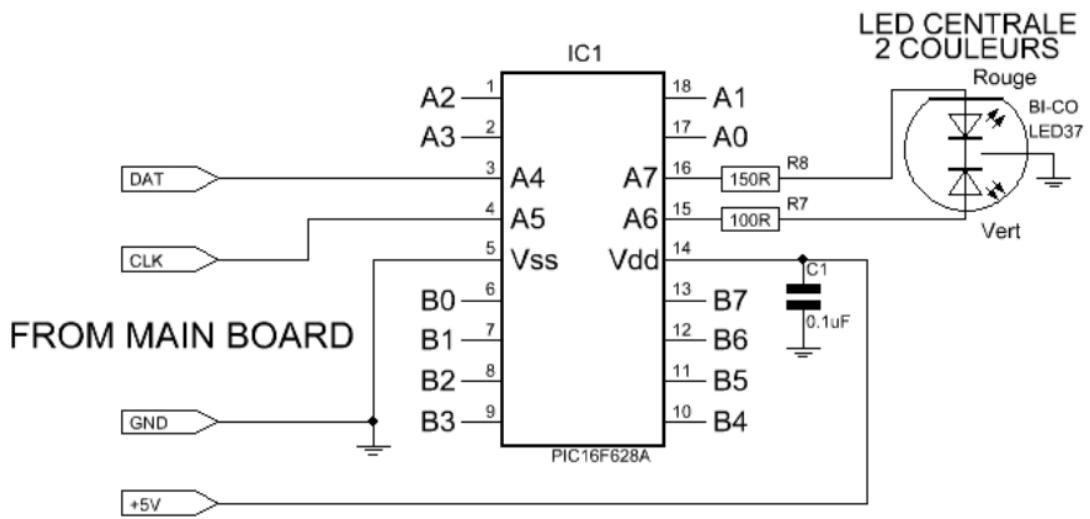


FIGURE 7.7 – Schéma de montage du pic sur le Montréal 3v2

**PIC12F675**

**PIC18F4520**

### 7.3 Filtre passe bande

Pour le filtre passe bande, nous souhaitions un filtre qui couperait tout ce qui se trouve en dehors de notre bande, au final <sup>34</sup> le filtre réagit plutôt bien quand le montage

qui y est lié est adapté, ce qui est le cas, le circuit fonctionne bien à 50 Ohm.

Le test unitaire était simple on a branché le filtre sur un analyseur que envoyais un signal et recevait ce même message. Il est alors simple d'obtenir le comportement du filtre. Nous avons obtenu que le filtre diminuait très bien ce que ce trouve avant 2.4GHz mais plutôt mal ce qui vient après. Mais ceci n'est pas gênant car les bandes entre 205Ghz et 5 GHz ne sont pas ou peu utilisées en France.

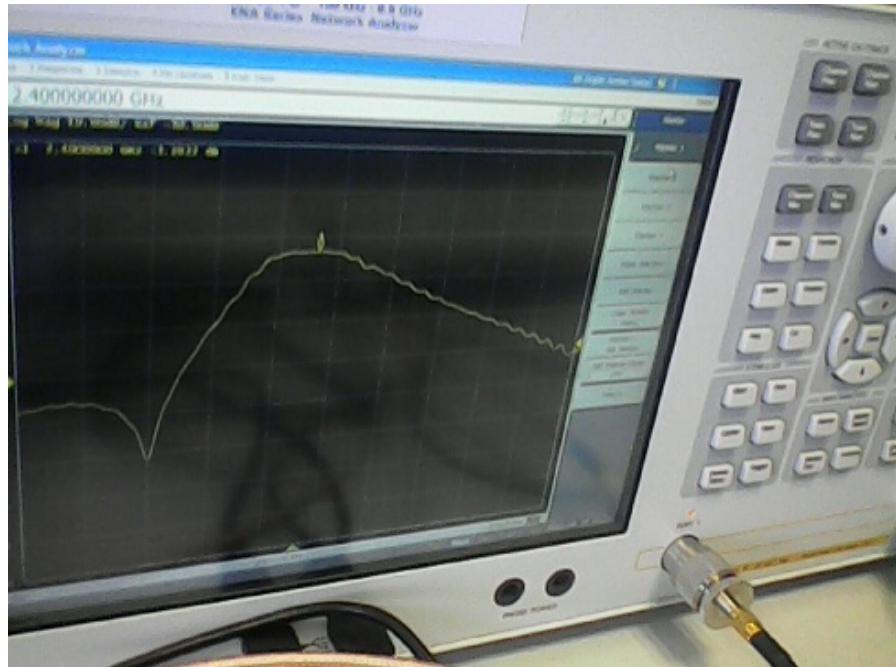


FIGURE 7.8 – Comportement du filtre

Sur la photo le curseur sur la courbe est à 2.45GHz et le plat est un peu plus grand que la bande.

Nous avons mesuré deux paramètres supplémentaires, Le S11 et le S21 qui sont des paramètres permettant de mesurer la perte d'amplitude. Le S11 est le coefficient de réflexion à l'entrée lorsque la sortie est adaptée. Dans l'idéal il vaut 0, il n'y a alors aucune réflexion et tout l'amplitude du signal sort du filtre, on obtient le S11 de la photo suivante.

On peut voir ici que le log du S11 est très faible entre 2.4 et 2.5 GHz ce qui est bon pour le filtre.

Les deux plus grands pics vers le bas correspondent aux limites de la bande 2.4-2.5GHz.

Le S21 est le coefficient de transmission direct lorsque la sortie est adaptée, pour celui-ci le but est d'avoir ce nombre le plus proche de 1 et donc son logarithme le plus proche de zéro possible.

Lors du test, nous avions une perte d'environ 2dBm dans la bande de fréquence 2.4-2.5GHz, ce qui est peu, le filtre ne risque donc pas d'occulté ce que l'on souhaite voir.

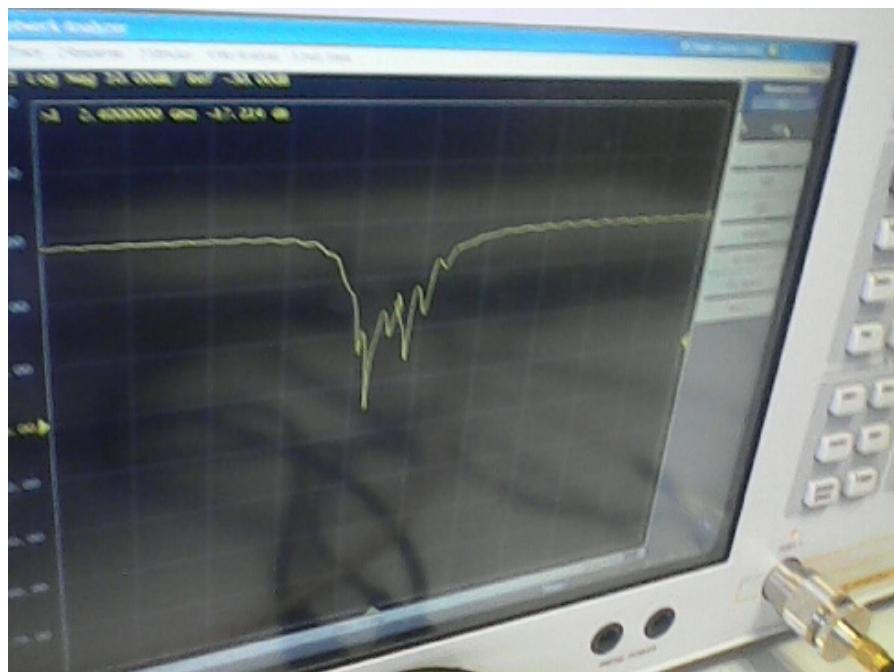


FIGURE 7.9 – S11 du filtre passe bande

## 7.4 VCO

Le test du VCO est simple mais doit être bien fait car sans lui impossible d'obtenir la bonne fréquence à la fin.

Nous avons commencé par mesurer la fréquence libre, c'est-à-dire la fréquence renvoyée par le VCO s'il est juste alimenté et que la tension d'entrée est nulle. La fréquence libre qui était de 1.35 GHz était plus grande que la fréquence indiquée par le constructeur (1.31Ghz) ensuite nous avons mesuré la tension pour laquelle nous obtenions 1.9Ghz et nous avons obtenu environ 8V ce qui nous a permis de choisir le bon régulateur de tension pour la suite. Les régulateurs sont calibrés, il est donc difficile d'en trouver un qui corresponde parfaitement mais on a pu obtenir un régulateur à 8.1V ce qui après test donnait 1.91GHz. La bande de fréquence à transférer étant de 100 MHz nous n'étions pas à 10 MHz près et il aurait été difficile et coûteux de trouver un meilleur moyen de le faire.

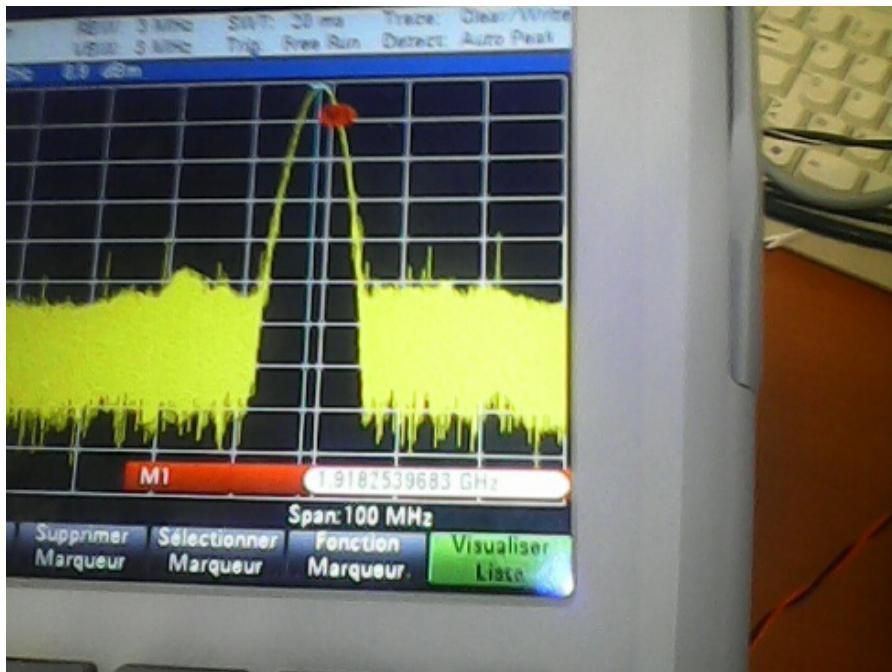


FIGURE 7.10 – Fréquences générées par le VCO alimenté à 8.1V centrée autour de 1.9GHz d'une largeur d'environ 10MHz

## 7.5 Down converter

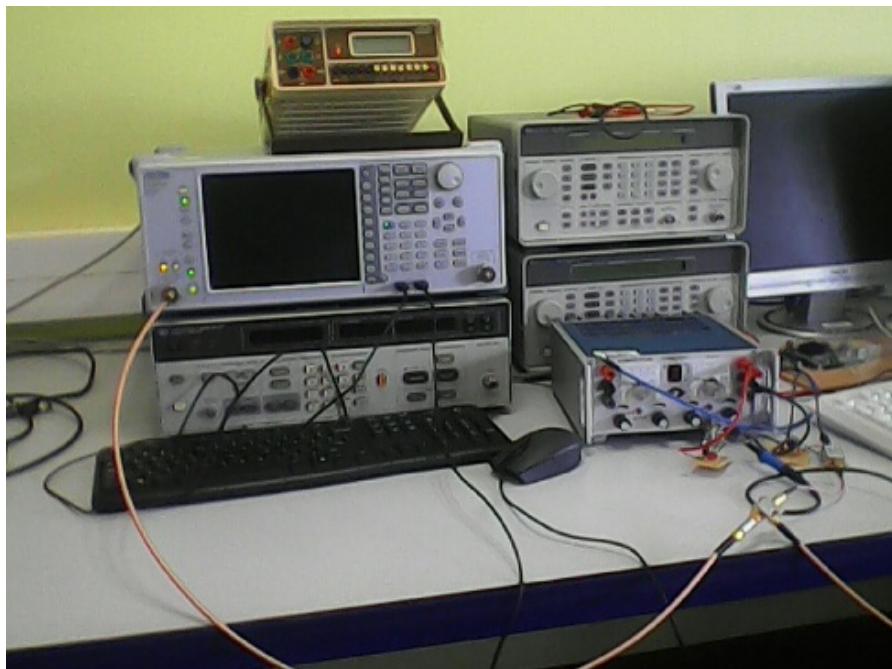


FIGURE 7.11 – Montage de test de l'adaptateur

Le test du down convertisseur a posé certain problème. En effet le seul moyen de le tester est de le tester dans son cas d'utilisation pratique. Il est, en effet, nécessaire de l'alimenter et ceci ne peut se faire sans le VCO, de même le bruit risque de gêner l'observation, il faut donc utiliser le filtre.

Nous avons rencontré des problèmes lors du test, premièrement, des problèmes de communication entre membre de l'équipe ont retardé le test d'une semaine, en effet il a fallu créer un montage avec les deux régulateurs de tension, celui pour l'alimentation et

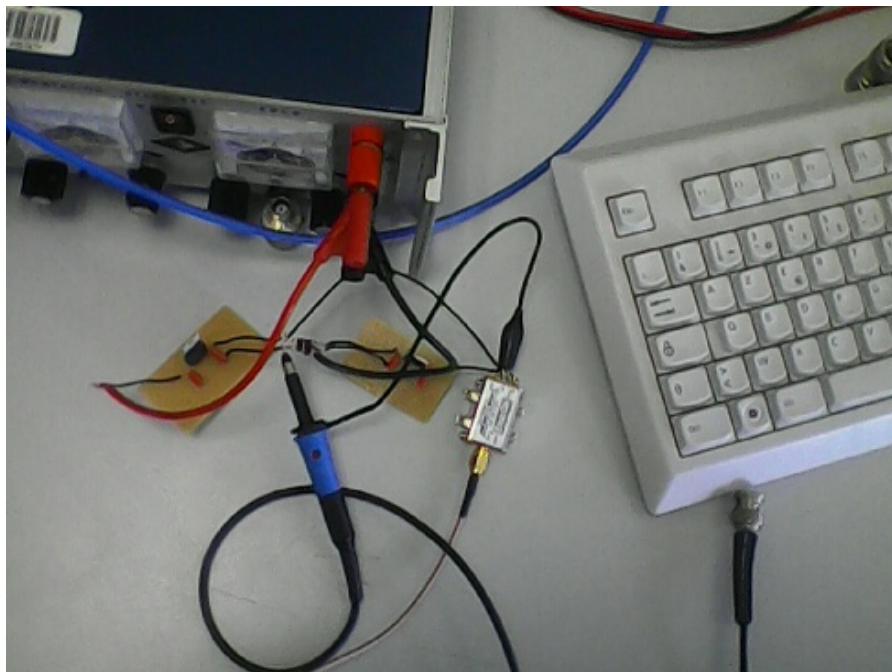


FIGURE 7.12 – Photo du VCO et de son alimentation

celui pour la tension en entrée. Le premier membre de l'équipe a demandé au second de souder le montage mais n'a pas présenté l'ordre dans lequel il devait être placé ce qui a entraîné une inversion. Ceci a retardé la phase de test

Deuxièmement, nous n'avions pas prévue les problèmes dus aux câbles. Il a fallu en effet cherché des câbles en n'étant pas certain que le câblage utilisé ne ferait pas griller le matériel.

Troisièmement, le professeur nous ayant aidé lors de la conception théorique du montage était en déplacement, il n'a donc pas pu nous aider lorsque des hésitations se sont fait sentir, devant le prix du matériel et la possibilité de le griller, nous n'avons pas pu le faire fonctionner.

Enfin, par manque de temps, nous n'avons pas eu l'occasion de refaire ce test.

## Radiogoniometre

Le radiogoniomètre Montréal 3v2 fonctionne à une fréquence de 500Mhz. Il est donc impossible de l'utilisé entre 2.4Ghz et 2.5 GHz, bande de fréquence qu'utilise les drones que nous souhaitons utiliser. Nous avons donc cherché un moyen d'adapter ce radiogoniomètre aux fréquences souhaitées.

Nous avons trouvé une solution applicable à notre système.

D'abord nous avons utilisé un down-converter. Ce composant reçoit deux entrées, le signal dont on veut changer la fréquence(RF) et un signal de fréquence Df(LO). Le down-converter diminue la fréquence du premier signal de celle du second. La sortie(IF) correspond au signal modifié.

Son principe de fonctionnement est le suivant :

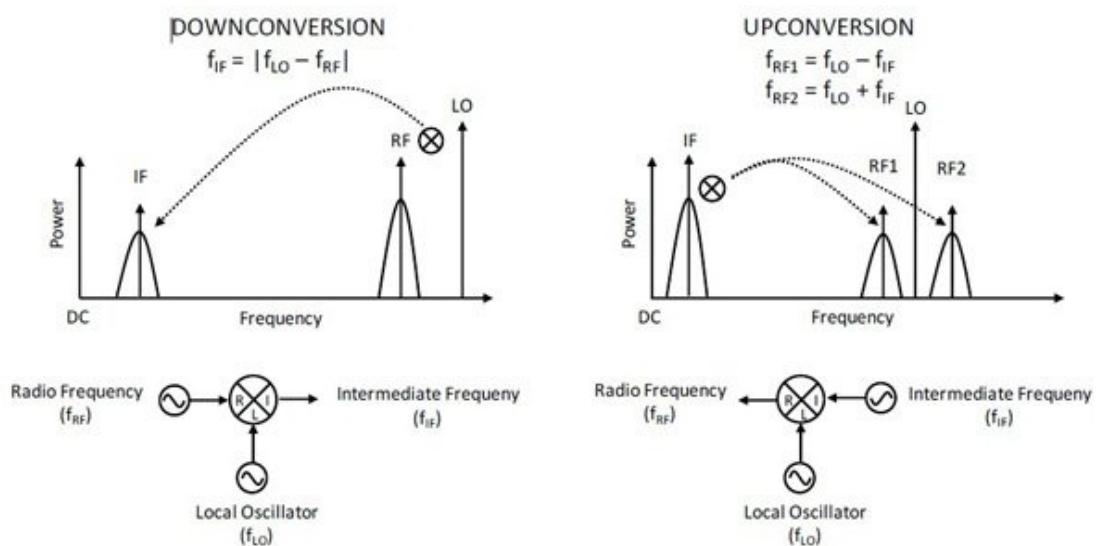


FIGURE 8.2 – principe du fonctionnement d'un mixer

Dans ce cadre on utilise le down-converter pour diminuer la fréquence. La fréquence du signal Df est donnée par un VCO, le VCO reçoit en entrée une tension et donne en sortie une sinusoïdal de fréquence dépendante de la tension d'entrée. Le VCO étant très sensible, il est nécessaire de stabilisé la tension d'entrée et l'alimentation. On utilise donc un régulateur de tension qui amène une entrée stable. Il en a fallu un second pour alimenter le VCO, toujours dans le but d'obtenir une fréquence stable ne variant pas

pendant le processus,

Il est en effet indispensable que cette fréquence reste fixe pour ne pas parasiter l'effet doppler, la combinaison des deux indiquerait une mauvaise position. Le régulateur reçoit une tension V, si V est supérieur à la tension Vmax du régulateur, la tension de sortie devient Vmax.

Après il a fallu gérer du signal d'entrée du down-converter et des problèmes de bruit, on a donc placé un filtre devant le down-converter. Ce filtre est un filtre passe bande qui fonctionne autour de 2.4Ghz-2.5Ghz pour ne garder que ce qui nous intéresse.



FIGURE 8.3 – le down-converter et le filtre passe bande

A l'aide de ce montage on peut abaisser la fréquence du signal d'entrée.

# Interface Web

Pour délivrer à l'utilisateur une interface agréable et lisible, nous avons décidé de réaliser dans un premier temps une interface web.

## 9.1 Analyse

Pour réaliser au mieux cette interface nous avons au préalablement réalisé une phase d'analyse.

Dans la phase d'analyse, on cherche d'abord à bien comprendre et à décrire de façon précise les besoins des utilisateurs ou des clients concernant cette interface. Que souhaitent-ils faire avec le logiciel ? Quelles fonctionnalités veulent-ils ? Pour quel usage ? Comment l'action devrait-elle fonctionner ? C'est ce qu'on appelle « l'analyse des besoins ». Après validation de notre compréhension du besoin, nous imaginons la solution. C'est la partie analyse de la solution.

Dans la phase de conception, on apporte plus de détails à la solution et on cherche à clarifier des aspects techniques, tels que l'installation des différentes parties logicielles à installer sur du matériel. Pour réaliser ces deux phases dans un projet informatique, nous utilisons des méthodes, des conventions et des notations. UML fait partie des notations les plus utilisées aujourd'hui. Pour faciliter à nos clients d'obtenir la direction des drones on a créé une interface web qui répond à leur besoin.

### Uml

Pour décrire au mieux ce besoin, nous avons commencé par réaliser un cas d'utilisation de l'interface (figure 9.1).

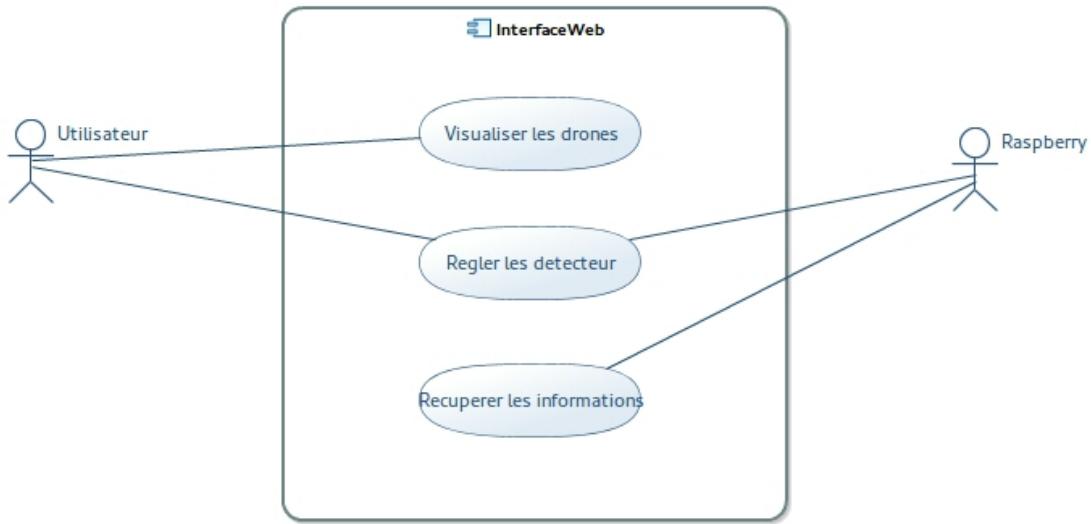


FIGURE 9.1 – Cas d'utilisation de l'interface

Ensuite, nous avons cherché à réaliser un diagramme de classe de notre interface. Pour cela nous avons défini 3 classes principales :

- index.php, qui réalise l'affichage dans un navigateur
- serveur.py, qui récupère les données de chacun des radiogoniomètres
- client.py, installé sur chaque radiogoniomètre il envoie les données des capteurs à travers un socket au serveur.

Le diagrammes de classe de la figure 9.2, montre ce fonctionnement.

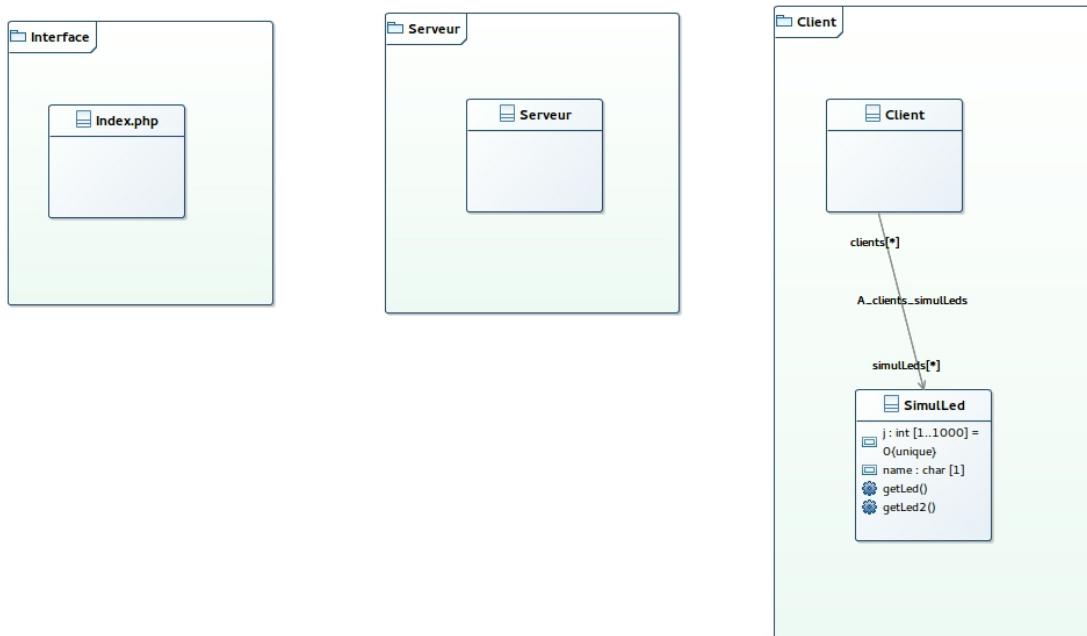


FIGURE 9.2 – Diagramme de classe

## 9.2 Conception

### Client-Serveur

Pour commencer nous avons cherché à

## Web

### Treillis de détection

Pour répondre au besoin de détection et s'assurer d'un correct positionnement de la cible, la mise en place d'une couverture de détection répondant à nos besoins était nécessaire. Les critères retenus pour cette dernière sont les suivants :

- A l'intérieur de la zone de détection, la cible doit être en permanence sous la couverture de détection de 4 radiogoniomètres
- Tenter une optimisation de la couverture afin d'éviter l'installation d'un trop grand nombre de radiogoniomètre

Très peu de sujets similaires ont pu être trouvé bien que le problème soit récurrent dans de nombreux projets.

Cependant, après plusieurs essais, le choix de treillis fut le suivant :

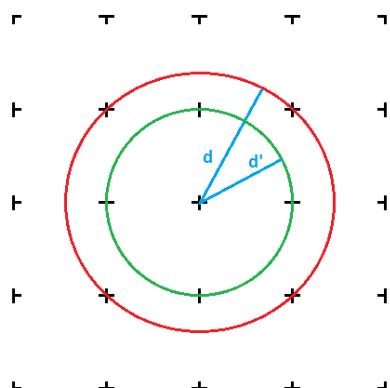


FIGURE 9.3 – Cercle de détection

- Dans les deux cas, les distances  $d$  et  $d'$  représentent la distance de couverture maximale d'une antenne pour une configuration de treillis particulière, distance au-delà de laquelle nous ne sommes pas sûrs d'assurer la détection d'un drone.
- Chaque croix noire représente une antenne. Ces dernières forment ainsi la zone de détection, zone à l'intérieur de laquelle, le drone se doit d'être repéré.

Initialement, nous avions prévu que les antennes radiogoniométrique assureraient la détection jusqu'à son plus proche voisin. Cependant, cette configuration ne permet pas d'assurer qu'un drone traversant la zone soit sous la couverture d'au moins quatre antennes en tout temps. Nous avons donc choisi la configuration représentée par le cercle rouge, c'est-à-dire en rapprochant les antennes les unes des autres. On obtient ainsi la couverture suivante :

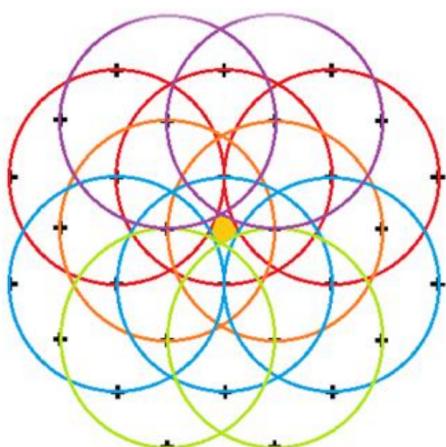


FIGURE 9.4 – Maillage de détection

Dans cette configuration, les zones de plus faible couverture sont situées sur les antennes elles mêmes. En effet, au-dessus de chaque antenne, la couverture n'est assurée que par quatre d'entre elles. En dehors de celle-ci, la couverture est assurée par cinq à six antennes.

## Triangulation

Les différents radiogoniomètres nous donnant un gisement de la détection, nous pouvons donc réaliser une triangulation de la position du drone lorsqu'un nombre suffisant d'antenne détecte le drone. Bien qu'une première estimation de la position peut-être obtenu à partir de deux drones, nous considérons que le drone doit être détecté par au moins quatre senseurs pour que la position soit acceptable.

Cependant, avant de pouvoir réaliser toute triangulation, l'acquisition des points d'intersection entre les droites de détection issue du gisement fourni par les différents radiogoniomètres est nécessaire. Pour se faire, à partir des angles, nous formulons une équation de droite plan, passant par les radiogoniomètres respectifs, et tentons de trouver une solution à chaque système composé de deux droites.

Suite à la résolution de ces différents systèmes, nous obtenons une liste de différentes solutions, solutions ici schématisé avec des points de couleur grise. Nous observons que, du fait de la portée de détection, ainsi que la géométrie de notre treillis, certains points sont incohérents ou très imprécis.

Notre première approche fut donc de positionner le drone à la moyenne de l'ensemble des positions solutions d'un des systèmes précédent. Cependant, après simulation, il s'est avéré que, de par l'imprécision relative des radiogoniomètres (les angles sont donnée à 5° près), la moyenne de donnait qu'une idée toute relative de la position du drone et souvent loin de la vérité, et cela à cause d'intersections multiples entre les droites de détection. Pour corriger cela nous avons fait le choix d'utiliser la médiane afin de supprimer tous les résultats incohérents. A partir de la médiane des résultats, nous appliquons un gabarit circulaire et retenons tous les points d'intersection compris dans ce gabarit. Une moyenne est alors appliquée à l'ensemble de ces résultats nous permettant d'obtenir un résultat plus cohérent et moins sensible aux erreurs.

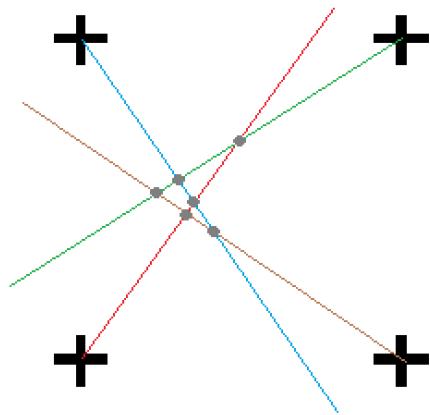


FIGURE 9.5 – triangulation

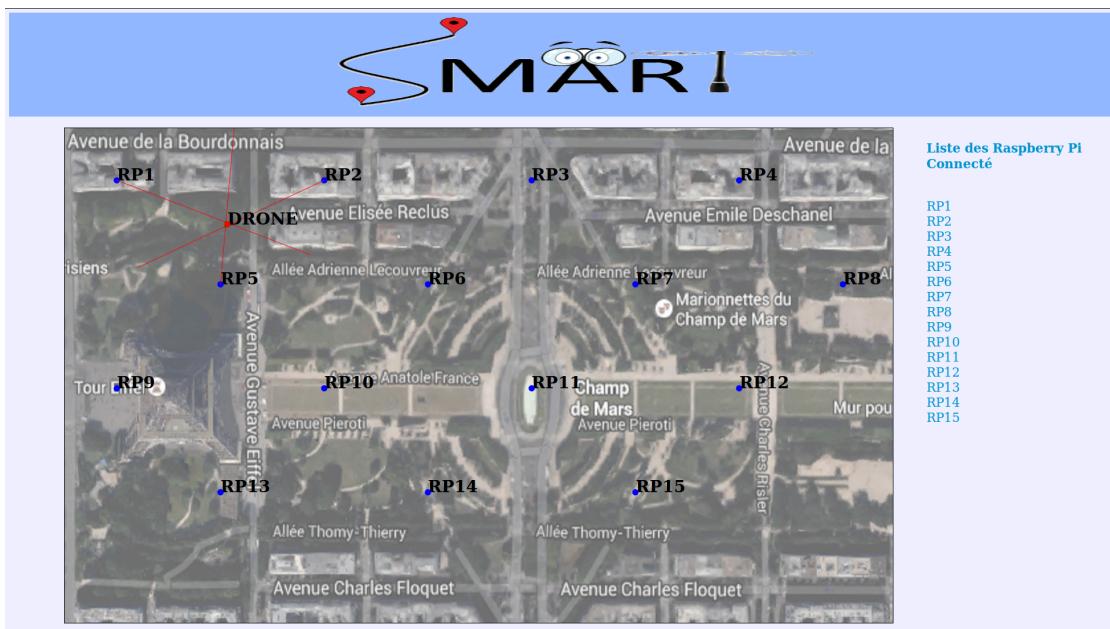


FIGURE 9.6 – Interface Web

# Réalisation

## 10.1 Radiogoniomètre Doppler

## 10.2 Application Android : S.M.A.R.T Comm Center

### Présentation Générale

Le système SMART se base sur un ensemble de capteurs reliés à une station centrale dont les données sont accessibles depuis internet. Cela permet d'accéder aux paramètres du système à distance depuis un autre appareil relié à internet de préférence un ordinateur. Toutefois, le système, étant donné son coût réduit se destine à être utilisé au sein de structures de petites taille ou le personnel en charge de la sécurité du site doit parfois se déplacer en fonction de ses autres obligations et ne peut être constamment en train de surveiller l'état du S.M.A.R.T depuis un ordinateur.

Pour pallier à ce manqueument, il semblait intéressant de proposer une solution sur téléphone mobile qui permettrait d'avertir l'utilisateur final où qu'il se trouve. Deux options existent :

- Une version mobile de l'interface web
- Une application dédiée

Ces deux utiliseraient les APIs des différentes plateformes mobiles existantes (Windows phone, Android, iOS) pour avertir l'utilisateur en utilisant les fonctions vibrer ou la sonnerie du téléphone. Toutefois, les capacités du site mobile sont assez limitées car de nombreux éléments de sécurité peuvent restreindre l'accès à certaines fonctionnalités du téléphone comme l'accès au vibrer ou la possibilité de s'exécuter en tache de fond. De plus ces restrictions varient en fonction de la plateforme mobile visée.

L'application mobile a donc l'avantage d'offrir plus de latitude au développeur et d'implémenter plus facilement différents moyens d'alerte pour l'utilisateur. Il faut cependant garder à l'esprit le fait que ce choix de développement implique de réaliser une application par système d'exploitation mobile existant.

Le choix final pour la version actuelle du système S.M.A.R.T a donc été celui de l'application mobile. Compte tenu des équipements dont nous disposons le système sur lequel l'application a été développé est Android. En effet, une grande partie du code source est sous licence GPL et le codage des application se fait en Java dans sa version 1.7. De plus, ce système d'exploitation mobile représente en Janvier 2016 64 % du parc mobile français.

## Fonctionnement de l'application

### Vue d'ensemble

Le système S.M.A.R.T utilise un serveur web pour gérer l'affichage des données à destination de l'utilisateur final, il est en mesure de créer des connexions vers plusieurs appareils distants. L'application jouera le rôle de client et recevra du serveur les informations de position du drone en cas d'intrusion. Dans l'état actuel la réception des données de position par l'application se fait en mode "pull". Cela signifie que c'est l'utilisateur qui lance la demande d'information et le serveur répond ensuite à la requête.

Un mode automatique, avec un rafraîchissement régulier de l'information, a été codé et implémenté mais n'a pas été utilisé dans la version finale de l'application. Il est aussi possible de passer par un mode "push", où le serveur envoie l'information de lui-même vers le client dès que celle-ci est mise à jour. Les raisons de ces choix technologiques seront détaillées par la suite.

### Choix du niveau d'API

La version actuelle de S.M.A.R.T Comm Center a été développé avec un niveau d'API Android minimum de 19<sup>1</sup>. Le choix d'un niveau aussi élevé d'API a été déterminé par trois éléments importants : la gestion des "threads", des tâches asynchrones et des socket. En effet depuis l'API 19 Google, qui édite et maintient le code d'Android, a modifié la façon dont les connexions réseau étaient gérés sous Android et le fonctionnement actuel qui sera détaillé par la suite nous convenait mieux.

Il faut cependant noter qu'un tel choix limite le nombre de smartphones qui seront en mesure de lancer l'application. L'API 22 par exemple représente seulement 34 % du nombre total d'appareils Android activés. Dans un souci de faciliter la réalisation de l'application nous avons maintenu ce choix, sachant que l'ensemble des téléphones pouvant exécuter du code écrit avec un niveau d'API de 19 représente en Janvier 2016 75.6% du nombre total des téléphones Android activés dans le monde. Ce choix n'est donc pas si restrictif au vu du nombre d'appareils touchés (plus d'un milliard).

### Achitecture du client

Les applications Android se basent sur un système d'"activités" et une activité correspond à une fenêtre visible par l'utilisateur. L'application en possède deux : La fenêtre d'accueil et la fenêtre d'affichage des données de localisation du drone.

- La fenêtre d'accueil ne comprends qu'un bouton permettant de lancer l'activité de localisation et donc le client web et un bouton pour quitter l'application, accompagnés du logo du projet. Un menu déroulant a été implémenté de façon à pouvoir modifier certains paramètres comme l'adresse et le port du serveur visé.
- La fenêtre de localisation est un peu plus complexe. Pour l'utilisateur, les trois éléments clef de l'interface sont : les informations concernant l'état du système, le bouton "rafraîchir" et le bouton "retour". Un indicateur visuel est aussi présent en cas de détection d'intrusion.

### Détails concernant la fenêtre de localisation

---

1. L'API correspond à la version d'Android ciblée et détermine donc les fonctionnalités disponibles pour le développeur. Le niveau 19 correspond à Android 4.4 KitKat.

---

# **Conclusion**

## **Annexe**

---

# Drone

## A.1 Définition

La définition suivante est extraite de futura science [6].

Un drone est un aéronef sans passager ni pilote qui peut voler de façon autonome ou être contrôlé à distance depuis le sol. Le mot « drone » est employé pour désigner des véhicules aériens, terrestres, de surface ou sous-marins, alors que la classification anglo-saxonne distingue chaque type d'appareil.

La taille d'un drone aérien peut aller de quelques centimètres pour les modèles miniatures à plusieurs mètres pour les drones spécialisés (surveillance, renseignement, combat, transport, loisirs). L'autonomie en vol va de quelques minutes à plus de 40 heures pour les drones de longue endurance.

## A.2 Type des drones

On distingue deux types des drones selon leur utilisation et leur taille : militaires et civiles.

### Les drones militaires

Le concept du drone a émergé durant la Première Guerre mondiale. À l'origine, le drone était un avion-cible à vocation militaire. Son développement a suivi le rythme des grands conflits du XXe siècle : Seconde Guerre mondiale, guerre de Corée, du Vietnam, guerre froide, conflits au Moyen-Orient, guerre d'Irak, d'Afghanistan ou encore en ex-Yougoslavie. Les drones sont plus économiques tout en évitant de mettre en jeu la vie des pilotes et de déployer des troupes terrestres notamment pour les missions de reconnaissance, de surveillance et les attaques ciblées. Leur utilisation au sein des armées et forces de police est devenue prépondérante.

Les missions qui leur sont dévolues sont très variées :

1. Écoute des signaux électromagnétiques.
2. Observation et surveillance.
3. Détection de missile balistique grâce à une alerte avancée.
4. Relais de communication.
5. Illumination de cibles.
6. Brouillage.
7. Et pour certains, bombardement.

## Les drones civils

Dans le civil, de nombreux domaines (cinéma, télévision, agriculture, environnement, etc.) ont vu les drones susciter des applications inédites grâce à leur capacité à embarquer des appareils photo, des caméras, des caméras infrarouge ou des capteurs environnementaux. Plusieurs sociétés spécialisées dans le transport (DHL, UPS, Allship, La Poste) ainsi que le géant du e-commerce Amazon travaillent sur des concepts de drones-livreurs. Ce type de service a été introduit en 2015 aux Émirats arabes unis pour la livraison de documents officiels.

Les drones de loisir ont connu un essor important à partir des années 2010 avec l'arrivée d'appareils miniaturisés, abordables et suffisamment maniables pour être accessibles aux novices. En France, l'utilisation des drones est réglementée par le Code de l'aviation civile, le Code des transports et deux arrêtés émis en 2012.

## A.3 Fréquence

Il y a 3 fréquences utilisées pour la communication entre le drone et le télécommande :

- 1,3 GHz
- 2,4 GHz
- 5,8 GHz

Pour une meilleure qualité d'image, mieux vaut utiliser la bande de 5,8 GHz sachant que le 2,4 GHz permet de plus longues distances mais une qualité d'images plus faible.

Afin d'éviter les interférences, mieux vaut éviter d'émettre sur la même bande que votre radiocommande.

Le 2,4 GHz est la même bande que le Wifi, donc à éviter en milieu urbain et en cas d'utilisation évitez d'allumer votre smartphone à côté.

## A.4 Types de modulations

Mais il est impossible d'envoyer un signal numérique tel quel par ondes électromagnétiques. Le signal a besoin d'être modulé, c'est-à-dire transformé d'un signal numérique à un signal analogique. L'opération inverse, la démodulation, se fait par la suite après la réception du signal par la station afin d'obtenir une information exploitable.

Il existe plusieurs types de modulation dont voici les plus connus :

*AM (Amplitude Modulation)* : Pour faire passer de l'information, on modifie l'amplitude du signal au cours du temps.

*FM (Frequency Modulation)* : Pour faire passer de l'information on modifie la fréquence du signal au cours du temps.

*PM (Phase Modulation)* : C'est la technologie la plus utilisés pour les transmissions radio. Ici on fait passer l'information en modifiant la phase du signal. L'amplitude et la fréquence du signal restent donc fixes. Il existe plusieurs types de modulations par phases : BPSK<sup>1</sup>, QPSK<sup>2</sup> ... BPSK est binaire, on peut donc utiliser deux phases différentes et ainsi faire passer deux types d'informations (0 ou 1). QPSK est quadratique c'est-à-dire que l'on peut utiliser quatre phases différentes donc que l'on peut trans-

---

1. Binary Phase Shift keying  
2. Quadratic PSK

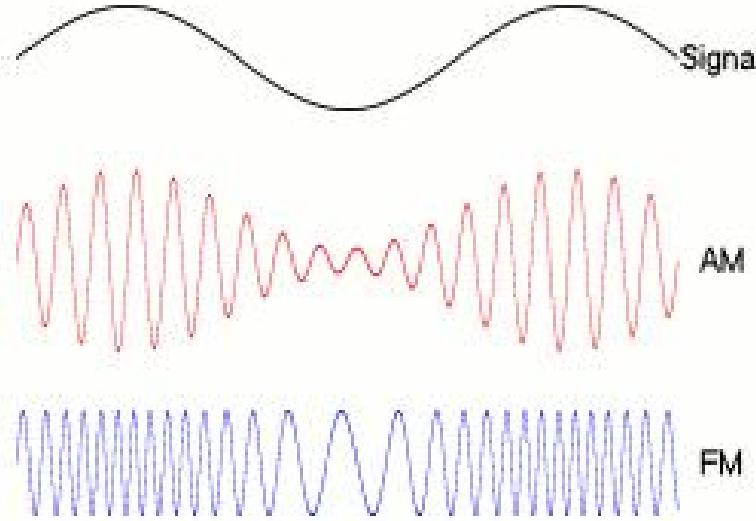


FIGURE A.1 – types de modulations

mettre quatre types d’informations (00, 01, 10, 11). Plus le nombre de phases augmente plus le nombre d’informations pouvant être véhiculé augmente. Mais cela rend le signal plus exposé aux erreurs car les phases sont de plus en plus proches.

Lorsque l’on modifie la phase d’un signal, on « décale » le signal dans le temps. Graphiquement, cela se traduit par une translation de la courbe du signal sur l’axe des abscisses. La modulation de phase s’exprime en degrés ou en radians. Ainsi  $360^\circ$  (ou  $2\pi$  radians) correspond à un décalage d’une période. On dit de deux signaux qu’ils sont en phase lorsqu’ils se superposent.

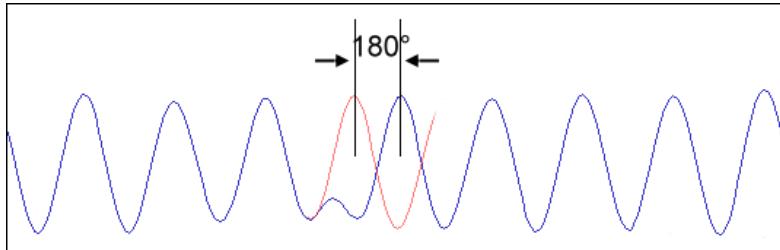


FIGURE A.2 – Exemple d’un signal modulé en phase avec un changement de phase de  $180^\circ$

Une fois que ce signal modulé arrive à destination, on opère l’action inverse : la démodulation. Cela permet d’avoir une information numérique exploitable et d’ensuite pouvoir afficher l’image sur un écran afin que le pilote puisse voir ce que drone « voit ».

La transmission de données par ondes électromagnétiques ne se fait pas sans erreur, surtout lorsque celles-ci traversent plusieurs milliers de kilomètres dont l’atmosphère terrestre. Ces erreurs surviennent cependant en groupe et de façon très localisé. Mais de simples algorithmes de correction d’erreur comme le FEC<sup>3</sup> peuvent assurer de bonnes conditions de transmissions.

---

3. Forward Error Correction

## A.5 Législations

La législation en France impose une puissance d'émission maximale de 25 mW dans la fréquence des 5.8 GHz et 100 mW dans la fréquence 2.4 GHz.

Pour voler en immersion, il faut être 2 avec 2 radiocommandes, un « esclave » et un « maître » pouvant reprendre le contrôle à tout moment si besoin.

Les agents de contrôle peuvent, à tout moment, effectuer des contrôles, tant au niveau des utilisateurs amateurs que professionnels, sur le respect des caractéristiques techniques radios des drones. Une utilisation du spectre est trop dangereuse. En cas de non-respect de celles-ci, le matériel peut être saisi et un procès-verbal dressé.

Cependant, un arrêté sur les conditions d'utilisation et des personnes capables de piloter ces drones a été rédigé en France par les services de l'aviation civile le 10 Décembre 2009. Dans l'article 3, les drones doivent être connus des services de l'aviation civile lorsque les drones ne sont pas pour des activités sportives ou récréatives. Ils doivent être connus lorsqu'ils font partie d'une association d'aéromodélisme mais aussi lorsqu'ils évoluent à plus de 150 mètres d'altitudes (ils doivent fournir des justificatifs prouvant le besoin et disposer de précautions particulières, et surtout les vols de nuit ne sont pas autorisés).

L'utilisation de drones civils est très contraignante. En effet, l'utilisateur doit de demander une autorisation au service de l'aviation civile, pour chaque vol, plusieurs semaines à l'avance ce qui est presque impossible, car les drones dépendent de la météo. De plus, aucune autorisation n'est délivrée à l'heure actuelle pour des survols avec des drones civils dans des zones civiles de zones habitées ou avec un rassemblement de personnes (manifestation). Or, c'est dans ces zones que sont prises la majeure partie des photographies. Il est faux de croire qu'en dessous de 150 mètres d'altitudes il n'y a pas de réglementation et que les avions et hélicoptères avec pilote ne peuvent pas descendre à cette altitude. A cette altitude, il est nécessaire de posséder une autorisation, car sur le territoire français des milliers d'heures de vols se font entre 50 et 150 mètres d'altitudes avec des avions et hélicoptères traditionnels (vols basse altitude d'entrainements militaires, interventions d'hélicoptères de secours). Les aéronefs traditionnels ne peuvent pas éviter les drones à cette altitude à cause de leur faible taille, presque invisible en vol.

# Organisation du travail

## B.1 Méthode de travail

Nous avons cherché au mieux à répartir notre travail. Pour cela nous avons défini 3 grands axes de travail à l'issue de cette étude fonctionnelle.

- Dans un premier temps nous allons réaliser l'état de l'art.
- Dans un deuxième temps nous étudierons la phase de réalisation.
- Enfin nous testerons notre projet dans des conditions réelles.

Tout au long de ce projet nous avons choisi de réaliser notre travail en divisant notre équipe en 3 groupes de travail distincts formés respectivement de D'Acremont - Cotten, Legay - Rigaud, et Kenaan - Shehade. Notamment lors de l'état de l'art, ces groupes vont réaliser des recherches par binômes pour ensuite redistribuer les informations grâce aux outils mis à notre disposition (nous avons détaillé ces outils plus loin).

De plus, nous avons décidé lors de la phase de conception de diviser ce travail en plusieurs sous ensembles que nous définirons plus tard et qui seront chacun d'eux testés indépendamment, à l'image de tests unitaires en programmation.

## B.2 Outils utilisés

Lors de notre projet nous avons choisi d'utiliser plusieurs outils de travail en collaboration.

- Nous utilisons Office 365. Nous avons créé un groupe de travail où nous partageons des fichiers et envoyons des mails de manière centralisée.
- Nous utilisons également L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X pour la rédaction de nos rapports.
- Nous pensons finalement utiliser Git et GitHub lors de notre phase de conception. Nous avons pour cela crée un projet sur GitHub.
- Après plusieurs difficultés, nous avons réussi à utiliser Framaboard du groupe FramaSoft pour gérer notre projet.

## Framaboard

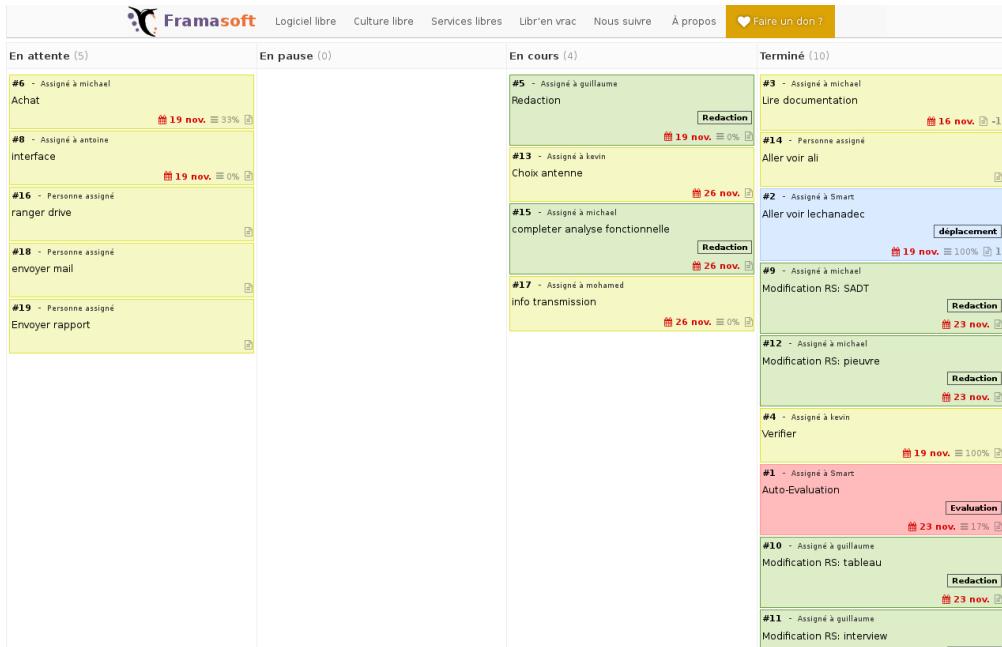


FIGURE B.1 – Impression d’écran de notre Framaboard

Il est possible d’avoir accès en lecture à notre page Framaboard en cliquant *ici*

## GitHub

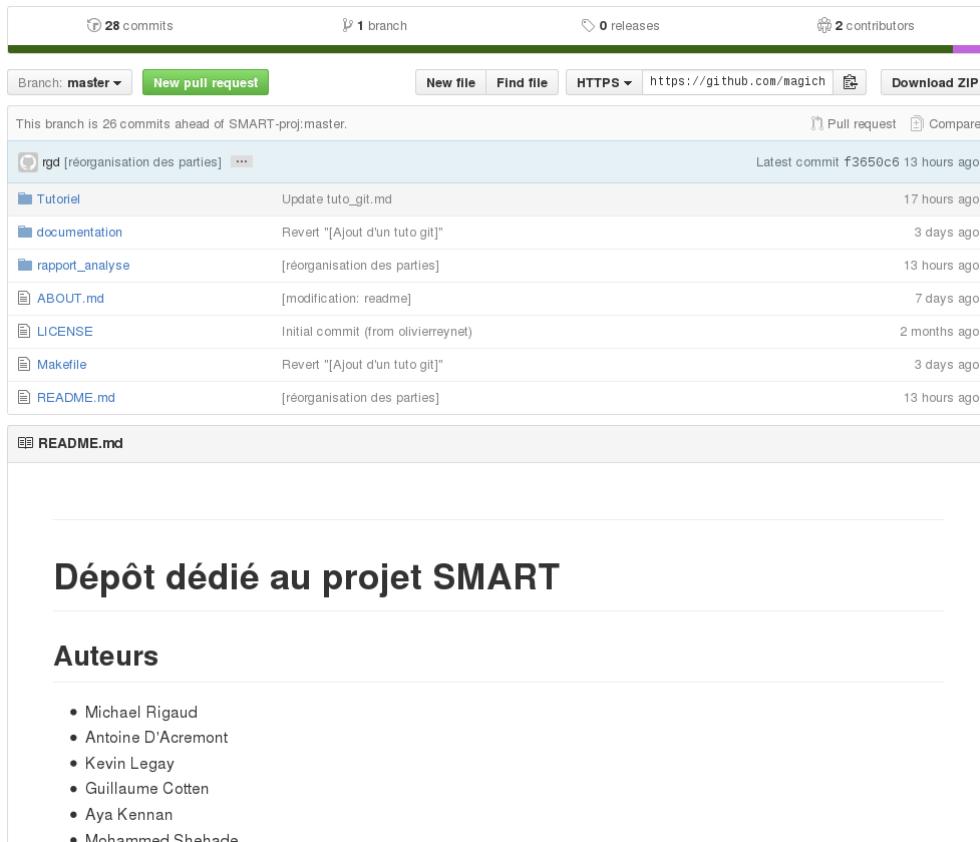


FIGURE B.2 – Impression d’écran de notre GitHub

Il est possible d’avoir accès à notre page GitHub en cliquant *ici*

## Correspondance

---

De : Jean-Paul Yonnet <[Jean-Paul.Yonnet@q2elab.grenoble-inp.fr](mailto:Jean-Paul.Yonnet@q2elab.grenoble-inp.fr)>

Envoyé : mardi 8 décembre 2015 10:07

À : Guillaume COTTEN

Cc : Jean-Paul / F1LVT; Jean Paul Yonnet

Objet : Re: Tr : RE : Montréal 3

Bonjour,

Dans un Doppler, il y a 3 sous-ensembles : une antenne à 4 éléments commutés, un récepteur calé sur la fréquence reçue, et un boîtier qui affiche la direction mesurée.

Dans le Doppler Montréal, les 3 microcontrôleurs ne voient que de la basse fréquence. C'est l'antenne et le récepteur qui voient la haute fréquence. Le boîtier Doppler génère les commutations à 500 Hz et analyse le signal BF du récepteur. Il n'y a donc aucun problème pour travailler à 2,4 GHz (ou toute autre fréquence) pour le boîtier du Doppler Montréal.

Cordialement

Jean-Paul YONNET

--

\*\*\*\*\*

Jean-Paul YONNET

Directeur de Recherche CNRS

Grenoble-INP -- Institut Polytechnique de Grenoble

Laboratoire de Génie Electrique de Grenoble - G2E Lab (UMR CNRS 5269)

Bât. GreEn-ER, 21 rue des Martyrs, CS 90624, 38031 GRENOBLE Cedex,

FRANCE

Tel : 33.(0)4.76.82.62.97

Fax : 33.(0)4.76.82.63.00

<[Jean-Paul.Yonnet@q2elab.grenoble-inp.fr](mailto:Jean-Paul.Yonnet@q2elab.grenoble-inp.fr)>

Coord GPS UTM (WGS84) : 31T - 712.24 - 5009.00

Coord GPS dd.dddd (WGS84) : 45.2027 N - 5.7025 E

\*\*\*\*\*

----- Mail transféré -----

DE : Guillaume COTTEN <[guillaume.cotten@ensta-bretagne.org](mailto:guillaume.cotten@ensta-bretagne.org)>

À : Jean-Paul / F1LVT <[f1lvt@yahoo.fr](mailto:f1lvt@yahoo.fr)>

ENVOYÉ LE : Mardi 8 décembre 2015 9h20

OBJET : RE : Montréal 3

Bonjour,

Merci pour votre réponse rapide. A vrai dire, nous allons acheter les antennes UHF. On interrogera se porte surtout sur la partie électronique et la capacité du microprocesseur à gérer un signal en 2,4 GHz.

Nous avons encore le temps de la réflexion avant de nous lancer dans la réalisation donc nous envisageons toutes les pistes dont le remplacement du microprocesseur par un Arduino mega.

Cordialement

COTTEN Guillaume

Envoyé depuis mon appareil Samsung

----- Message d'origine -----

De : Jean-Paul / F1LVT <[f1lvt@yahoo.fr](mailto:f1lvt@yahoo.fr)>  
Date : 07/12/2015 11:53 (GMT+01:00)  
À : Guillaume COTTEN <[guillaume.cotten@ensta-bretagne.org](mailto:guillaume.cotten@ensta-bretagne.org)>  
Cc : Jean-Paul / F1LVT <[f1lvt@yahoo.fr](mailto:f1lvt@yahoo.fr)>  
Objet : Re: Montréal 3

Bonjour,

Sur le principe, ça doit fonctionner. Le problème, c'est la construction de l'antenne UHF.

En 400 MHz, ça fonctionne très bien. Je n'ai pas testé le Doppler plus haut en fréquence.

Il faudrait le tester en 1200 MHz avant de se lancer dans la construction en 2400 MHz. En 2400 MHz, les 4 brins font 4 cm et sont espacés de 4 cm.

Une solution alternative est d'asservir une antenne directive.

Bien cordialement  
Jean-Paul YONNET

-----  
Jean-Paul / F1LVT  
Adresse mail : [F1LVT@yahoo.fr](mailto:F1LVT@yahoo.fr)  
Site web : [www.F1LVT.com](http://www.F1LVT.com)  
-----

-----  
DE : Guillaume COTTEN <[guillaume.cotten@ensta-bretagne.org](mailto:guillaume.cotten@ensta-bretagne.org)>  
À : ["F1LVT@yahoo.fr"](mailto:F1LVT@yahoo.fr) <[F1LVT@yahoo.fr](mailto:F1LVT@yahoo.fr)>  
ENVOYÉ LE : Lundi 7 décembre 2015 9h35  
OBJET : Montréal 3

Bonjour,

Actuellement en deuxième année d'école d'ingénieur au sein de l'ENSTA Bretagne, je réalise au sein d'une équipe un système de détection de drone émetteur grâce à un positionnement par radiogoniométrie. Le système est simple en soit, positionner une source grâce à deux/trois azimuts relevé par les radiogoniomètre. Le Montréal 3 nous semble une solution convenable à la condition que celui-ci soit adaptable à notre gamme de fréquence. En effet nous souhaitons réaliser un démonstrateur pour des drones émettant en 2.4 GHz.

Pensez-vous que cela soit tout simplement réalisable?

Cordialement

COTTEN Guillaume

# Documentation Technique du Raspberry Pi B+

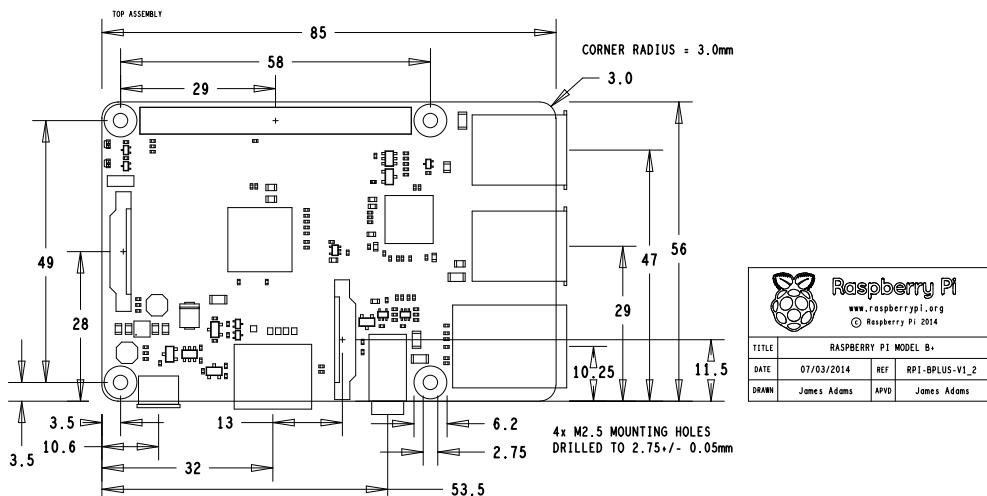


FIGURE D.1 – Dessin mecanique

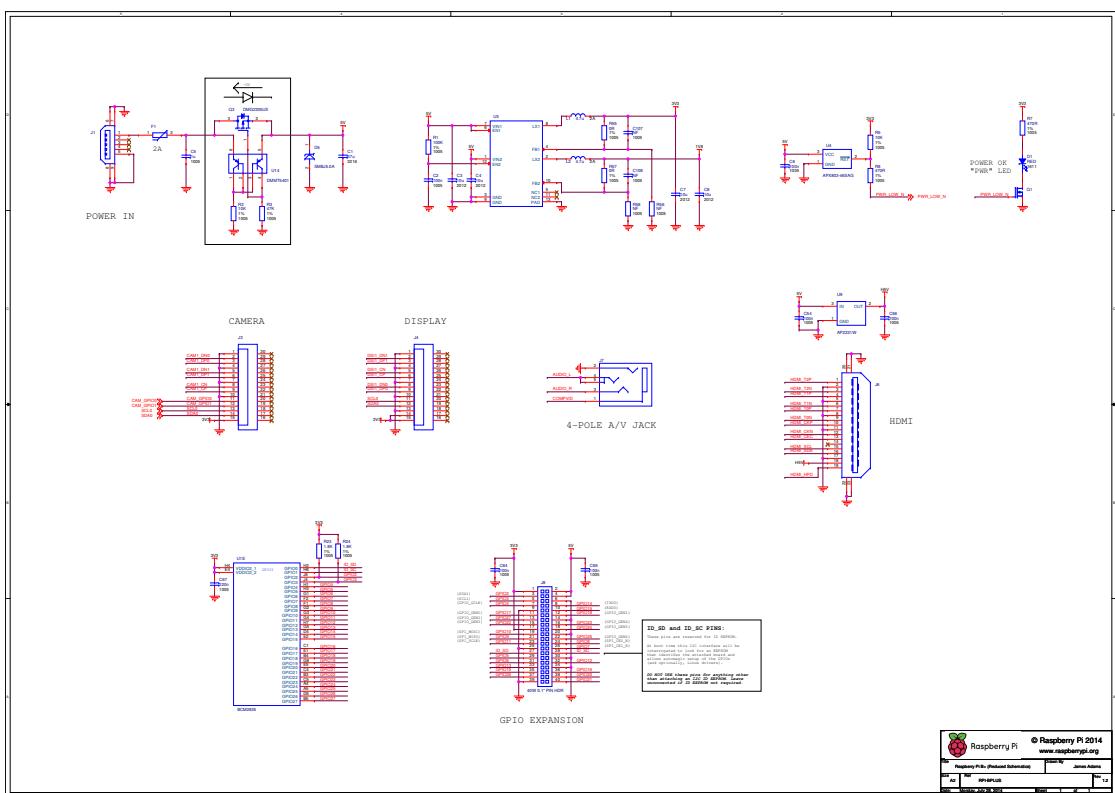


FIGURE D.2 – Schéma technique

---

## **Documentation Technique à Raspbian**

Raspbian (recommended for Raspberry Pi 1) – is maintained independently of the Foundation ; based on the Debian ARM hard-float (armhf) architecture port originally designed for ARMv7 and later processors (with Jazelle RCT/ThumbEE and VFPv3), compiled for the more limited ARMv6 instruction set of the Raspberry Pi 1. A minimum size of 4 GB SD card is required for the Raspbian images provided by the Raspberry Pi Foundation. There is a Pi Store for exchanging programs.

The Raspbian Server Edition is a stripped version with fewer software packages bundled as compared to the usual desktop computer oriented Raspbian.

The Wayland display server protocol enables efficient use of the GPU for hardware accelerated GUI drawing functions.[104] On 16 April 2014, a GUI shell for Weston called Maynard was released.

PiBang Linux – is derived from Raspbian.

Raspbian for Robots – is a fork of Raspbian for robotics projects with Lego, Grove, and Arduino.

---

# Table des figures

1.1	Le radar portable Squire de Thales Air Systems . . . . .	7
2.1	Diagramme pieuvre . . . . .	11
2.2	SADT A-0 . . . . .	12
2.3	SADT A0 . . . . .	12
2.4	Diagramme FAST . . . . .	13
2.5	Diagramme 3 axes . . . . .	14
2.6	Schéma Logique du système . . . . .	15
3.1	diagramme en cardioïde d'une antenne à cadre . . . . .	17
3.2	Radiogoniométrie VHF-UHF pour les bandes aviation et les bandes RA . . . . .	18
4.1	Type d'antennes . . . . .	20
5.1	Evolution du Montréal . . . . .	22
5.2	Photographie prise du Montréal 3v2 . . . . .	23
5.3	Présentation détaillée du système . . . . .	24
5.4	Schéma bloc du Montréal 3v2 . . . . .	25
5.5	Liste des composants . . . . .	25
6.1	Architecture Physique . . . . .	28
6.2	Installation de Smart . . . . .	29
7.1	Notre Raspberry Pi B+ . . . . .	30
7.2	Allumage d'une LED par Raspberry Pi . . . . .	31
7.3	Méthode de connexion des leds dans le Montréal . . . . .	32
7.4	Système modélisant une LED . . . . .	32
7.5	3 PIC programmés . . . . .	33
7.6	Schéma électrique du test unitaire . . . . .	34
7.7	Schéma de montage du pic sur le Montréal 3v2 . . . . .	34
7.8	Comportement du filtre . . . . .	35
7.9	S11 du filtre passe bande . . . . .	36
7.10	Fréquences générées par le VCO alimenté à 8.1V centrée autour de 1.9GHz d'une largeur d'environ 10MHz . . . . .	37
7.11	Montage de test de l'adaptateur . . . . .	37
7.12	Photo du VCO et de son alimentation . . . . .	38
8.1	schéma de fonctionnement d'un mixer . . . . .	39
8.2	principe du fonctionnement d'un mixer . . . . .	39
8.3	le down-converter et le filtre passe bande . . . . .	40

9.1	Cas d'utilisation de l'interface . . . . .	42
9.2	Diagramme de classe . . . . .	42
9.3	Cercle de détection . . . . .	43
9.4	Maillage de détection . . . . .	43
9.5	triangulation . . . . .	44
9.6	Interface Web . . . . .	45
A.1	types de modulations . . . . .	52
A.2	Exemple d'un signal modulé en phase avec un changement de phase de $180^0$	52
B.1	Impression d'écran de notre Framaboard . . . . .	55
B.2	Impression d'écran de notre GitHub . . . . .	55
D.1	Dessin mécanique . . . . .	59
D.2	Schéma technique . . . . .	60

---

# Bibliographie

- [1] James ADAMS. « Raspberry Pi Model B+ ». Technical Report, raspberrypi.org, 2014.
- [2] François DELAVEAU et Yvon LIVRAN. « Radiosurveillance du spectre - Goniométrie et localisation ». *Techniques de l'ingénieur*, 2012. Ref. te6892.
- [3] Juliette DEMEY. « Comment détecter les drones ». *le Journal du Dimanche*, 1 mars 2015.
- [4] F1LVT. « F1LVT : comment créer un radio-goniomètre Doppler le Montréal 3v2 ». <http://f1lvt.com/>.
- [5] Société FLIR. « L'imagerie thermique : Une technologie prête à conquérir le reste du monde ». <http://www.flir.fr/cs/display/?id=51839>.
- [6] futura SCIENCE. « Drone ». *futura science*, 2014.
- [7] Peter HAUSMANN. « UAV Sound Source Localization ». PhD thesis, Technical University of Munich, 2014.
- [8] Jason KOEBLER. « Tiny Device Will Detect Domestic Drones ». *US.news*, 1 mai 2013. <http://www.usnews.com/news/articles/2013/05/01/tiny-device-will-detect-domestic-drones>.
- [9] Philippe MARTIN. « Recepteur gonio (ou indicateur de champ) vhf ». <http://ph-martin.pagesperso-orange.fr/f6eti/realisations/9901rxvhf/index.htm>.
- [10] Gilbert MULTEDO. « Radiosurveillance du spectre ». *Techniques de l'ingénieur*, 1994. Ref. e6890.
- [11] Société ORELIA. « Drone detector ». <http://www.drone-detector.com/fr/>.
- [12] H. Lissek P. MARMAROLI, X. Falourd. « A UAV motor denoising technique to improve localization of surrounding noisy aircrafts : proof of concept for anti-collision systems », 2012.