

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications

Par : Walid Yassine MEDJATI

Sujet

Exploitation des UAVs dans l'optimisation des réseaux de Télécommunications

Soutenu publiquement, le 18 / 06 /2017, devant le jury composé de :

M. Noureddine BOUKLI HACENE	Pr.	Univ. Tlemcen	Président
M. Riad BORSALI	MCA.	Univ. Tlemcen	Examineur
M. Mohammed M'HAMED	MAA	L'ESSA. Tlemcen	Examineur
M. Hicham MEGNAFI	MCA	L'ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Allah le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Ce travail est le fruit d'une année mouvementée passée au sein de la faculté de technologie de l'université de Tlemcen sous la direction de monsieur Hicham MEGNAFI que je remercie infiniment de m'avoir encadré, et surtout de m'avoir guidé, soutenu et encouragé tout au long de la thèse ainsi que pour toutes les longues heures de travail durant lesquelles il était en ma compagnie. Hicham, avec ces compétences, son humilité et son sens de l'éthique, m'a non seulement facilité de nombreuses tâches mais m'a aussi permis de surmonter beaucoup d'obstacles rencontrés durant l'achèvement de cette thèse.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury Mr. Noureddine BOUKLI-HACENE, Mr. Mohammed M'HAMEDDI et Mr. Riadh BORSALI pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

La vie nous fait rencontrer souvent par le pur des hasards des gens, qui deviennent déterminant pour la poursuite de nos projets, ils sont là, ils nous inspirent, nous soutiennent et sont toujours prêts à nous conseiller et nous rendre service tels je peux citer Mme. Jamila MANSOURI, Mr. Amazigh Fouad Riadh DIB, Mr. Samir BOUABDALLAH et Mr. Ahmed ABDULRAHUMAN.

J'adresse mes sincères remerciements à Mr. Othmane BENTALEB qui croyant fort en mon projet m'a permis d'acquérir le matériel nécessaire à la réalisation de ce travail en prenant en charge son financement,

Je remercie mes très chères parents, qui ont toujours été là pour moi, « vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier ».

Et enfin je remercie Mlle. Nour El Houda BEKKARA pour les efforts, les idées et l'inspiration qu'elle a apportée tout au long de l'achèvement de cette thèse. Merci « *Noor* » pour ce que tu es. Je te transmets toute ma reconnaissance.

Résumé

L'optimisation Radio permet d'assurer la gestion, la vérification et l'amélioration de la performance du réseau après son déploiement et sa mise en service afin de résoudre les différents problèmes rencontrés, avec l'objectif d'offrir aux abonnés une qualité de communication optimale.

De ce fait différentes techniques d'optimisation radio sont utilisées pour améliorer la capacité, la couverture et la qualité de service du réseau vue la fluctuation de la liaison radio.

Avec l'émergence de l'exploitation des UAVs qui connaît un essor mondiale et un intérêt certain de la part de multiples industries tel que l'aéronautique, l'agriculture et le bâtiment , il suffirait d'un peu de créativité pour l'intégrer et l'exploiter dans n'importe quel autre industrie qui demande de grands moyens logistiques tel que l'industrie des télécommunications.

Car voyez-vous de nombreuses opérations d'optimisation, de maintenance et de mise en place d'infrastructures de télécommunications pourraient être optimisés et facilités par le fait d'introduire l'exploitation d'UAVs. L'objectif de ce travail est d'introduire l'exploitation de la technologie des UAVs dans l'optimisation radio.

Mots clés : Audit, Couverture, Drones, GSM, Inspection, Liaison radio, MapInfo, Optimisation radio, Paramètre radio, QoS, Quadrotors, Réseaux Cellulaires, Temps Investigation, UAV.

Abstract

Radio optimization allow us to manage, monitor and ameliorate the network's performance after it's deployment in order to solve the multiple problems faced, with the objective of providing subscribers an optimal communications quality.

Different optimization techniques are used to increase the capacity, coverage and Quality of Service (QoS) of the network due to the fluctuation of the radio link.

With the emergence of the commercial UAVs (drones) market and their application in a large array of industries such as agriculture, building and real-estate, it would take only a bit of creativity to integrate and exploit them in any other industry which requires big logistic means such as the telecommunications industry.

Numerous operations of optimization, maintenance and infrastructures deployment could be facilitated by introducing the use of drones. The objective of our work is to introduce the exploitation of drones in the radio link optimization.

Key words: Audit, Autonomous systems, Cellular Networks, Coverage, Drones, GSM, Inspection, MapInfo, Networks, Optimization, QoS, Quadrotors, Radio Link, Radio Optimization, Radio Parameters, TEMS Investigation, UAV.

ملخص

التحسين الراديو يضمن إدارة وتدقيق وتحسين أداء الشبكة بعد النشر والتشغيل من أجل حل مختلف المشاكل التي تواجهها بهدف تقديم المشتركين جودة التواصل الأمثل.

ولذلك يتم استخدام تقنيات التحسين الراديو المختلفة لتحسين القدرة والتغطية وجودة الخدمة في الشبكة لتذبذب الصلة اللاسلكية.

مع ظهور استخدام الطائرات بدون طيار الذي يعرف نمواعالمي وبعض الاهتمام من العديد من الصناعات مثل الطيران والزراعة والبناء، فإنه يتطلب سوى القليل من الإبداع لدمجها في أي صناعة أخرى تتطلب موارد لوجستية كبيرة مثل صناعة الاتصالات السلكية واللاسلكية.

الكثير من التحسين، و الصيانة وتطوير البنية التحتية للاتصالات يمكن أن يكون أسهل من خلال إدخال الطائرات بدون طيار. والهدف من هذا العمل هو تقديم عمل تكنولوجيا الطائرات بدون طيار في تحسين الراديو

الكلمات الرئيسية: تغطية، الطائرات بدون طيار، GSM، التفتيش، وصلة الراديو، برنامج MapInfo، جودة الخدمة، quadrotors، الشبكات الخلوية، TEMS Investigation، UAV

Abréviations

1G	1ère Génération
2G	2ème Génération
3G	3ème Génération
4G	4ème Génération
5G	5ème Génération
3GPP	3rd Generation Partnership Project
AUC	Authentication Center
BER	Bit Error Rate
BSIC	Base Station Identity Code
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CCW	Counter Clockwise
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	the European Conference of Postal and Telecommunications
CI	Cell Identity
CW	Clockwise
DT	Drive Test
ESC	Electronic Speed Controller
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HLR	Home Location Register
IMU	Inertia Measurement Unit
IP	Internet Protocol
IPS	Image par Seconde
KPI	Key Performance Indicator
LAI	Location Area Identity
LiPo	Lithium Polymer
LTE	Long Term Evolution

MSC	Mobile Switching Center
NSS	Network Switching Subsystem
OSS	Operation Support System
PLMN	Public Land Mobile Network
QoS	Quality of Service
RC	Radio Control
RPM	Revolutions per Minute
RTC	Réseau Téléphonique Commuté
SDCCH	Standalone Dedicated Control Channel
SMS	Short Message Service
TCH	Traffic Channel
TDMA	Time Division Multiple Access
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Service
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access
VLR	Visitor Location Register
VTOL	Vertical Take-off and Landing

*Ce n'est pas parce que les choses sont
difficiles que nous n'osons pas, c'est
parce que nous n'osons pas qu'elles sont
difficiles.*

Sénèque

Table des matières

Remerciements

Résumé

Abréviations

Table des matières

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Introduction Générale

Chapitre 1 Introduction aux réseaux cellulaires

1.1	Introduction	5
1.2	Evolution des systèmes Cellulaires	5
1.3	Les différentes normes de communications mobiles	7
1.3.1	La première génération (1G)	7
1.3.2	La deuxième génération (2G)	7
1.3.2.1	Les caractéristiques du réseau GSM	7
1.3.2.2	Architecture du réseau GSM.....	8
1.3.2.2.1	Sous-système radio (BSS).....	9
1.3.2.2.2	Sous-système réseau (NSS)	10
1.3.2.2.3	Sous-système de maintenance.....	11
1.3.3	Le GPRS (2.5G)	12
1.3.4	La troisième Génération (3G).....	12
1.3.5	La quatrième génération (4G).....	13
1.4	Conclusion.....	13

Chapitre 2 Introduction aux UAVs

2.1.	Introduction	15
2.2.	Historique	15
2.2.1.	Ohemichen (1920)	15
2.2.2.	Hélicoptère de Bothezat.....	16
2.2.3.	Quadrotor Model A de Concertawings (1956)	17
2.2.4.	Curtiss-Wright VZ-7 (1958).....	17

2.3.	Etat de l’art	18
2.4.	Concept.....	20
2.5.	Principe de fonctionnement.....	21
2.6.	Les composants	23
2.6.1.	Microcontrôleur	23
2.6.2.	Moteurs	23
2.6.3.	Hélices	24
2.6.4.	Contrôleur électronique de vitesse	25
2.6.5.	Batterie.....	25
2.6.6.	Télécommande radio	26
2.7.	Conclusion.....	26

Chapitre 3 Inspection des infrastructures de Télécommunications

3.1.	Problématique.....	28
3.2.	Problèmes rencontrés	28
3.3.	Objectifs de l’audit	29
3.4.	Exploitation des drones	30
3.4.1.	Design et construction du châssis	30
3.4.1.1.	Les composants	30
3.4.2.	Méthodologie d’assemblage	33
3.4.2.1.	Outils utilisés pour l’assemblage	33
3.4.2.2.	Assemblage hors-châssis	34
3.4.2.3.	Assemblage complet avec les composants électroniques	35
3.4.2.4.	Installation et configuration de la station de base	38
3.5.	Vols d’essais	40
3.7.	Conclusion.....	41

Chapitre 4 Illustration d’une intervention en cas réel

4.1.	Introduction	44
4.2.	L’optimisation radio	44
4.3.	Concept de l’optimisation radio	45
4.4.	Processus d’optimisation radio du réseau	45
4.4.1.	Pré-analyse.....	45
4.4.2.	Analyse des plaintes des abonnés	45
4.4.3.	Collecte / analyse des statistiques OMC-R ou bien analyse des KPIs	46
4.4.4.	Collecte / analyse des mesures de drive test.....	46

4.4.5.	Proposition / implémentation du changement	46
4.5.	Evaluation de la performance.....	47
4.6.	Opération d'optimisation radio	48
4.6.1.	Déclenchement du drive test.....	48
4.6.2.	Analyse du drive test	51
4.6.3.	Déclenchement de l'opération d'audit.....	52
4.6.4.	Diagnostic de l'opération d'audit	54
4.7.	Conclusion.....	54

Conclusion Générale

Bibliographie

Liste des Tableaux

Tableau 1.1: Caractéristiques techniques

Tableau 1.2: Comparaison des paramètres LTE/LTE-Advanced

Liste des Figures

Figure 1.1: Architecture du réseau GSM

Figure 1.2: Architecture BSS du réseau GSM

Figure 1.3: Architecture NSS du réseau GSM

Figure 2.1: (1920) Oehmichen

Figure 2.2: Hélicoptère De Bothezat. (1923)

Figure 2.3: Convertawings Model AQuadrotor 1958

Figure 2.4: Curtiss-Wright VZ-7 (1958)

Figure 2.5: Stanford "Mesicopter"

Figure 2.6: MD4-200

Figure 2.7: DJI Phantom

Figure 2.8: Schéma d'assemblage d'un UAV

Figure 2.9: Effets gyroscopiques

Figure 2.10: Microcontrôleur

Figure 2.11: Moteur Brushless

Figure 2.12: Hélices (CW / CCW)

Figure 2.13: (ESC) Contrôleur électronique de vitesse

Figure 2.14: Batterie (LiPo)

Figure 2.15: Télécommande de contrôle Radio

Figure 3.1: Châssis du quadrotor SK450

Figure 3.2: Moteur TurnigyMultistar 980Kv

Figure 3.3: Contrôleur de vol pixhawk

Figure 3.4: Radio commande Turnigy 9X

Figure 3.5: Hélices en fibre de carbones 12 pouces

Figure 3.6: Batterie Lithium 2200 mAh

Figure 3.7: Contrôleur électronique de vitesse QBrain 25A

Figure 3.8: Outils d'assemblage

Figure 3.9: Châssis du quadrotor 450 mm

Figure 3.10: Montage de l'ESC

Figure 3.11: Montage du module de puissance

Figure 3.12: Montage du contrôleur de vol Pixhawk Mini

Figure 3.13: Montage du module GPS et de la télémétrie

Figure 3.13: Implémentation du firmware autopilote

Figure 3.14: Calibrage des capteurs

Figure 3.15: Calibrage du récepteur radio

Figure 3.16: Configuration des modes de vol

Figure 4.1: Route de drive test

Figure 4.2: Puissance du signal reçu sur la route

Figure 4.3: Distribution d'échantillon

Figure 4.4: Qualité du signal reçu sur la route

Figure 4.5: Distribution d'échantillon Rx_Quality

Figure 4.6: Timing Advance sur la route

Figure 4.7: Distribution d'échantillon TA

Figure 4.8: C/I sur la route

Figure 4.9: Distribution d'échantillon C/I

Figure 4.10: Vue générale de la tour.

Figure 4.11: Vue du secteur

Figure 4.12: Vue sur le câblage

Figure 4.13: Vue aérienne panoramique du secteur

Figure 4.14: Vue sur les trois secteurs (Antennes)

Figure 4.15: Vue sur les trois secteurs

Introduction Générale

Introduction Générale

Les systèmes de communication mobiles de seconde génération (2G) ont permis au trafic de la voix d'être transmis sans fils. Et encore plus important, cependant, sont les standardisations, compatibilités et transparences internationales qui l'ont accompagnés et qui n'étaient simplement pas disponibles pour les équipements de télécommunications des générations précédentes. Ces caractéristiques ont aidés les systèmes 2G à se répandre rapidement autour du monde, avec un taux de pénétration de téléphones cellulaires très important dans plusieurs pays. Les réseaux cellulaires ont permis à certains types de communication de prendre place à grande échelle et qui étaient auparavant impossible ou bien très limités. Dans le domaine de l'établissement et de l'expansion des réseaux, les avancées les plus importantes ont été faites dans la planification de la partie radio et transmission du réseau et dans l'optimisation des processus et activités nécessaires pour maintenir les réseaux opérationnels existants. [1]

Nommés officiellement Véhicules Aériens Sans Pilote (UAV), les drones deviennent un phénomène commun à travers le monde et sont un moyen pour amorcer les nouveaux services, ainsi plusieurs secteurs industrielles embrassent les bénéfices que les drones apportent comme les livraisons rapides en logistique. Nous avons imaginés un nouveau cas d'utilisation pouvant être déployé dans un premier temps à petite échelle et qui est spécifique à l'opération d'audit des différentes infrastructures de télécommunications. L'impact de l'introduction de cette technique va influencer directement sur le processus d'optimisation radio en éliminant les trois principaux problèmes rencontrés durant ce dernier à savoir – sécurité, coût, efficacité -.

Ce travail s'appuie sur l'étude des différentes techniques relatives à l'exploitation des UAVs (drones) et leurs applications dans le domaine des télécommunications. Ceci nous permet de créer un nouveau processus d'optimisation et d'audit de l'interface radio et des infrastructures de télécommunications.

Cette étude s'articule autour de quatre parties distinctes.

Dans un premier temps, nous avons fourni une description détaillée de la planification et de l'optimisation radio des réseaux nG en prenant comme base les réseaux GSM (2G).

La deuxième partie décrit de façon détaillée les systèmes aériens guidée et autonomes ainsi que leurs historique et leurs avancées.

Dans le troisième chapitre, nous avons traité la procédure d'audit des infrastructures de télécommunications ainsi que les moyens d'éliminer les problèmes rencontrés dans de telles opérations.

Introduction Générale

Au cours du dernier chapitre, nous avons présenté brièvement le concept d'optimisation et nous nous sommes intéressés à l'introduction de notre nouvelle technique s'appuyant sur les UAVs en prenant comme exemple un cas réel.

Le véhicule réalisé permet d'effectuer une opération complète d'audit des infrastructures de télécommunications (Tours, antennes, mâts, etc.) de façon autonome ou bien guidée, il présente une grande ergonomie pour son utilisateur grâce à son contrôle via une interface graphique intuitive.

Chapitre 1

Introduction

aux réseaux

cellulaires

1.1 Introduction

Les communications mobiles sont devenues une commodité quotidienne. Durant les dernières décennies elles se sont transformées et évoluées en étant en premier lieu une technologie très couteuse ciblée pour quelques individus privilégiés et devenant ensuite ce qu'elles sont aujourd'hui, des systèmes omniprésents utilisés par la majorité de la population mondiale. Depuis la première expérimentation de la communication par Guglielmo Marconi dans les années 1890, le chemin vers la vraie communication radio mobile a été très long. Afin de comprendre les systèmes de communication mobile complexes d'aujourd'hui, il est impératif de comprendre comment ils sont nés et comment les systèmes cellulaires ont évolués. La tâche du développement des technologies mobiles a aussi changée, étant une préoccupation nationale ou régionale et devenant une tâche de plus en plus complexe prise en charge par des organisations mondiales de développement de standards comme la *3GPP (Third Generation Partnership Project)* impliquant des milliers d'individus [1].

Les technologies de communication mobile sont divisées en générations avec la 1G étant le système de radio mobile analogique des années 1980, la 2G le premier système mobile digitale, la 3G le premier système prenant en charge les données à haut débit et la 4G qui permet un très haut débit et une moindre latence [2].

Ce chapitre décrit le développement des générations des communications cellulaires en termes d'évènements, d'activités, d'organisations et d'autres facteurs qui ont joués un rôle important.

1.2 Evolution des systèmes Cellulaires

La *FCC (US Federal Communications Commission)* a approuvée la première utilisation commerciale du service de téléphonie en 1946, opérée par la compagnie AT&T. En 1947, AT&T a aussi introduit le concept cellulaire de réutilisation des fréquences radio, qui est devenu fondamentale à tous les systèmes de communication mobile subséquents [2].

Des systèmes similaires ont été utilisés par de nombreuses administrations de téléphonie et d'opérateurs de réseaux filaires durant les années 1950 et 1960, exploitant des équipements volumineux et fournissant des services pour un nombre très limité d'utilisateurs.

Le grand envol du nombre d'abonnés et d'utilisateurs a commencé lorsque les communications mobiles sont devenues une préoccupation internationale impliquant de nombreuses parties d'intérêts [3].

En Europe, le projet **GSM** (originellement *Groupe Spéciale Mobile* et ultérieurement *Global System for Mobile Communications*) pour développer un système de téléphonie mobile pan-Européen a été initié au milieu des années 1980 par l'Administration des télécommunications au CEPT [3] et à continuer au sein de la nouvelle *European Telecommunication Standards Institute (ETSI)*. Le standard GSM a été basé sur la technique d'accès *Time Division Multiple Access (TDMA)* comme a été le standard US-TDMA (Américain) et le standard PDC (Japonais) qui ont été introduit dans la même période. Un développement ultérieur d'un standard *Code Division Multiple Access (CDMA)* appelé IS-95 a été établi aux USA en 1993 [4].

Tous ces standards étaient à bande étroite dans le sens où ils ciblaient les services à faible bande passante comme la voix. Avec les communications mobiles digitales de seconde génération est apparu aussi l'opportunité de fournir des services de données sur les réseaux de communication mobile. Le service de données primaire introduit dans la 2G a été le message texte (*Short Message Service, SMS*) et le service de données à commutation de circuit mettant en marche l'email et d'autres applications de données, initialement a un modeste débit de données de 9.6 kbits/s. de plus hauts débits de données ont été introduit plus tard dans les systèmes 2G plus évolués en assignant de multiples time slots a l'utilisateur et a travers des schémas de codage modifiés [4].

Les paquets de données sur les systèmes cellulaires sont devenus une réalité durant la deuxième moitié des années 1990, avec l'introduction du *General Packet Radio Services (GPRS)* dans le GSM et les paquets de données ont été aussi ajoutée à d'autres technologies cellulaires comme le standard Japonais PDC. Ces technologies sont souvent appelées 2.5G.

Avec l'avènement de la 3G possédant une interface radio de plus grande bande passante *UTRA (Universal Terrestrial Radio Access)* sont apparues les possibilités pour une nouvelle gamme de services auxquelles on faisait seulement allusion avec la 2G et la 2.5G. Le développement de l'accès radio 3G est aujourd'hui pris en charge par l'organisme 3GPP. Toutefois, les premiers pas de la 3G ont été faits au début des années 1990, longtemps avant la formation de la 3GPP [1].

Ce qui a aussi préparé le terrain pour la 3G a été l'internationalisation des standards cellulaires. Le GSM était un projet pan-Européen, mais il a rapidement attiré l'intérêt mondial quand il a été déployé dans de nombreux pays en dehors de l'Europe. Des gains mondiaux de standard dans l'économie d'échelle, ont été générés depuis que le marché pour les produits est

devenu plus grand. Ceci a conduit à une plus solide coopération internationale autour des technologies cellulaires 3G que pour les générations antérieures.

1.3 Les différentes normes de communications mobiles

Avant de décrire l'état de la norme GSM qu'on a pris comme base pour notre travail d'optimisation des réseaux, il nous est indispensable d'étaler l'évolution de celui-ci et ce que sont devenus les réseaux à l'heure actuelle.

1.3.1 La première génération (1G)

La première génération de communications mobiles est apparue dans les années 1980 en offrant un service de communications mobiles coûteux et de mauvaise qualité. La 1G avait beaucoup de contraintes comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (écoute des appels) et l'absence de roaming vers l'international [1].

1.3.2 La deuxième génération (2G)

Le GSM est apparu dans les années 1990. Il s'agit de la norme 2G. Elle se base sur la transmission des appels téléphoniques, en s'appuyant sur les transmissions numériques en permettant une sécurisation des données (avec cryptage). Le GSM a connu un grand succès et a fait naître un besoin omniprésent de téléphoner avec la possibilité d'envoyer des messages courts (SMS) [1].

1.3.2.1 Les caractéristiques du réseau GSM

La communication radio mobile par GSM occupe principalement deux bandes de fréquences autour des 900 MHz.

- La bande [890 – 915 MHz] pour la transmission du terminal (MS) vers le réseau
- La bande [935 – 960 MHz] Pour la transmission du réseau vers le terminal (MS)

La largeur de bande de chaque lien est divisée en 124 canaux de 200 KHz de largeur. Ces canaux ne sont pas suffisants dans les grandes villes, donc il s'est avéré indispensable d'attribuer une bande supplémentaire aux alentours des 1800 MHz. C'est le système DCS 1800 dont les caractéristiques sont quasi identiques au GSM en termes de protocoles et de services. Les communications montantes sont alors entre 1710 et 1785 MHz et les communications descendantes entre 1805 et 1880 MHz.

Ainsi afin d'augmenter la capacité du réseau, le GSM utilise deux techniques de multiplexage :

- FDMA *Frequency Division Multiple Access*
- TDMA *Time Division Multiple Access*.

Il utilise aussi une version filtrée de la modulation de phase appelée GMSK (Gaussian Modulation Shift Keying)

Le tableau suivant décrit quelques propriétés du GSM et du DCS 1800

	GSM	DCS 1800
Bande de fréquences		
Uplink	890 – 915 MHz	1710 – 1785 MHz
Downlink	935 – 960 MHz	1805 – 1880 MHz
Ecart Duplex	45 MHz	95 MHz
Rapidité de modulation	271 Kbps	
Débit de la voix	13 Kbps (9.6 Kbps)	
Débit max de données	12 Kbps	
Accès multiple	FDMA et TDMA	
Rayon des cellules	0.3 Km à 30 Km	0.1 à 4 Km
Puissance	2 W (et 8 W)	1 W

Tableau 1.1: Caractéristiques techniques

La norme GSM spécifie tout le système et ne se limite pas à l'interface radio. Cette spécification d'ensemble rend possible l'interconnexion des différents réseaux GSM dans le monde.

Avec le GPRS, le réseau GSM a évolué vers les communications par paquets permettant des débits utilisateurs de plus de 100 Kbps. Il constitue donc une base solide pour les systèmes mobiles universels de 3^{ème} génération.

1.3.2.2 Architecture du réseau GSM

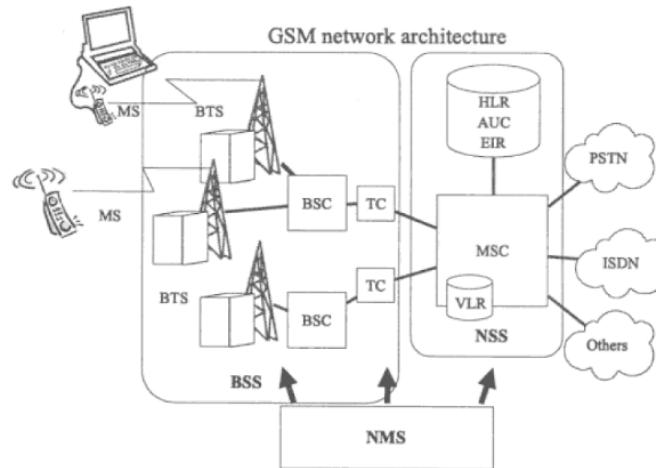


Figure 1.1: Architecture du réseau GSM

Le réseau GSM se compose de 3 sous-ensembles :

- Le sous-système radio appelé BSS (Base Station Sub-System) : C'est le réseau d'accès radio qui assure la transmission radioélectrique et gère la ressource radio.
- Le sous-système d'acheminement appelé NSS ou SMSS (Switching and Management Sub-System) qui comprend l'ensemble des fonctions nécessaires à l'établissement des appels et à la gestion de la mobilité, on peut dire que le NSS est le réseau cœur du GSM.
- Le sous-Système d'exploitation et de maintenance appelée OSS (OperationSub-System) qui permet à l'opérateur d'administrer le réseau (coûts, performances, erreurs, sécurité,...).

1.3.2.2.1 Sous-système radio (BSS)

Le réseau d'accès dans le GSM, aussi appelé BSS (Base Station Subsystem) comprend un contrôleur de station de base *BSC (Base Station Controller)* et une ou plusieurs stations de base *BTS (Base Transceiver Station)*. La fonction primaire du BSS est de communiquer avec les stations mobiles MS dans une certaine zone comme perçu par le cœur du réseau (MSC/VLR). L'équipement Radio du BSS peut couvrir une ou plusieurs cellules.

La BTS fournit des services dans une cellule. Une BTS fonctionne selon les instructions du BSC. Les fonctions importantes de la BTS incluent le codage canal, cryptage/décryptage sur l'interface Radio, le transcodage et l'adaptation du débit.

Comme son nom l'indique, le BSC contrôle une ou plusieurs BTS. La tâche primaire d'un BSC est de contrôler les ressources radio du réseau d'accès GSM. Les fonctions

importantes du BSC incluent la gestion des ressources radio, le contrôle des BTS, le handover intercellulaire et le contrôle de puissance

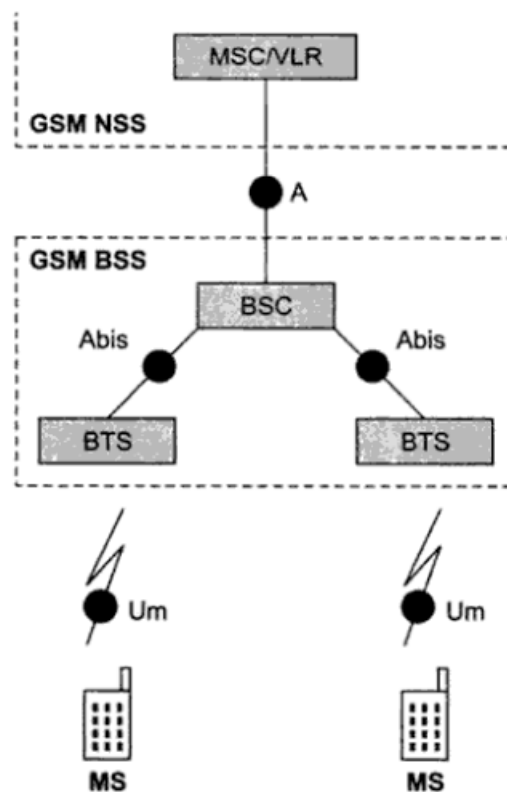


Figure 1.2: Architecture BSS du réseau GSM

1.3.2.2.2 Sous-système réseau (NSS)

Le sous-système de commutation du réseau GSM, est essentiellement le cœur du réseau GSM et opère certaines fonctions clé comme la gestion de la mobilité, la gestion des appels, la gestion des données des abonnés et la commutation.

Excepté ces fonctions, le cœur du réseau opère aussi des fonctions de support comme l'authentification et la validation des équipements. Afin d'opérer ces fonctions, le réseau cœur a deux entités, les bases de données (ou registres) et les commutateurs.

Les bases de données au sein du NSS inclues la base de données permanente appelée *Home Location Register (HLR)*, la base de données temporaire appelée *Visitor Location Register (VLR)*, le *centre d'authentification (AUC)* pour l'authentification des abonnés et le registre d'identité des équipements (EIR) pour la vérification des MS.

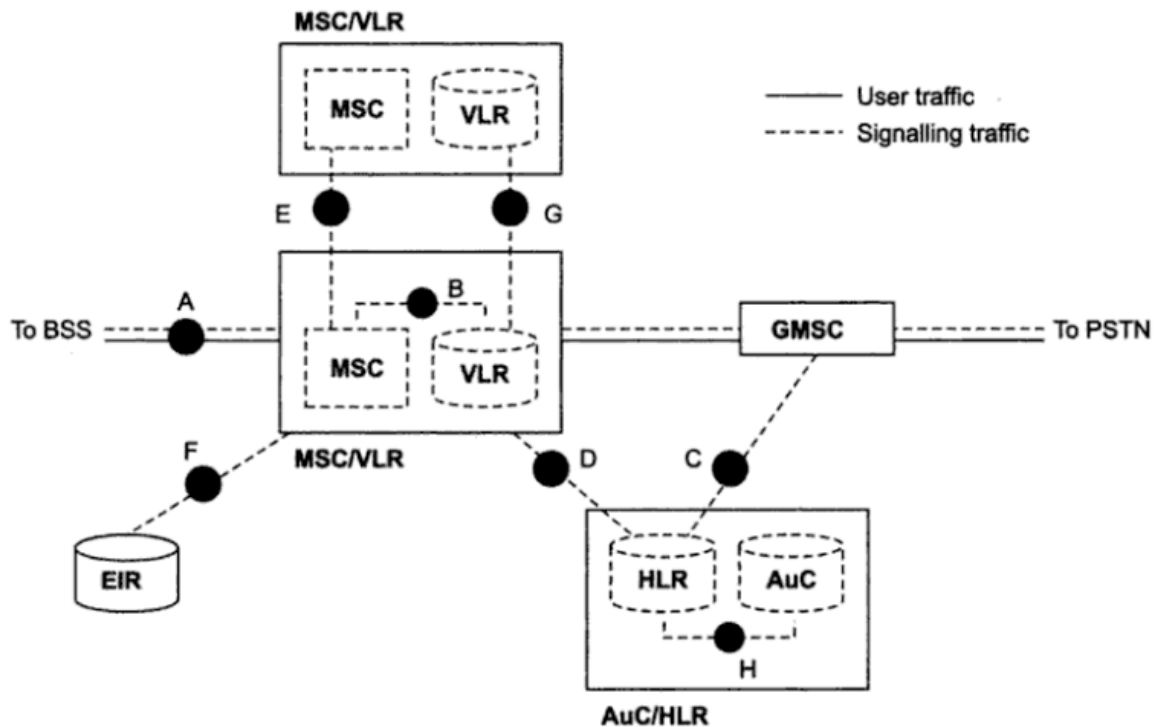


Figure 1.3: Architecture NSS du réseau GSM

Généralement associés aux bases de données VLR, les MSC (*Mobile Switching Center*) sont des centres de commutation. Ils gèrent l'établissement des communications entre un mobile et un autre, la transmission des messages courts et l'exécution du handover. Ils dialoguent avec le VLR pour gérer la mobilité des usagers, ils gèrent aussi l'interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public.

1.3.2.2.3 Sous-système de maintenance

L'OSS permet au PLMN d'administrer son réseau. La mise en place du réseau GSM va permettre à l'opérateur de proposer des services de type « voix » à ses clients en donnant accès à la mobilité tout en conservant l'interfaçage avec le réseau fixe RTC existant.

L'OSS présente deux niveaux :

- Les OMC (Operations and Maintenance Center) qui permettent une supervision locale des équipements (BSC/MSC/VLR) et transmettent au NMC les incidents survenus sur le réseau et sont composés des OMC-R (Radio) et des OMC-S (System)
- Le NMC (Network Management Center) qui permet l'administration générale de l'ensemble du réseau d'un opérateur par un contrôle centralisé.

1.3.3 Le GPRS (2.5G)

On parle généralement de la génération 2.5G pour classer le standard GPRS qui représente une évolution majeure de la norme GSM et une transition vers la troisième génération. L'exploitation du mode de transfert des données par paquets et l'augmentation des débits ouvrent la porte aux communications mobiles multimédia. Ce standard est considéré comme un réseau de données à part entière (commutation de paquets) qui dispose d'un accès radio réutilisant une partie du réseau GSM. Le réseau GPRS est relié à différents réseaux de données par l'intermédiaire de l'internet. Les débits théoriques autorisés par cette génération est de 114 kb/s (mais bien plus proche de 40 kb/s en pratique) permettent d'envisager de nombreuses applications tels que la consultation du web, le transfert de fichiers et la transmission de vidéos compressées, etc.

1.3.4 La troisième Génération (3G)

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS du multimédia. Les applications visées étaient la possibilité de regarder youtube, de la visiophonie, etc. outre l'augmentation du débit, un point complexe à résoudre était de passer d'un service de téléphonie vers un service DATA. L'idée était d'ajouter des amplificateurs avant chaque antenne, ce dernier amplifie le signal pour qu'il puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation. Les technologies développées autour de cette norme conduisent à une amélioration significative des services et des vitesses de transfert avec des débits supérieurs à 384 Kb/s et pouvant aller jusqu'à 2Mb/s. Cette amélioration des débits est rendue possible grâce à l'évolution des technologies radio qui autorisent une meilleure efficacité spectrale et l'exploitation de bandes de fréquences supérieures à celles utilisées par la technologie GSM.

Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications vers les réseaux externes. Dans un premier temps le réseau UMTS devait s'appuyer sur le réseau GPRS.

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants GSM et GPRS, qui apportent des fonctionnalités respectives de voix et de données, le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités multimédia.

Le réseau cœur se décompose en deux parties : Le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet.

1.3.5 La quatrième génération (4G)

La 4G est la 4^{ème} génération des standards pour la téléphonie mobile. Elle est le successeur de la 2G et de la 3G. Elle permet « le très haut débit mobile », c'est-à-dire des transmissions de données et des débits supérieurs à 100 Mb/s, voire supérieurs à 1 Gb/s (débit minimum définit par l'UIT pour la 4G+).

Avec la 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations –voix et données- par IP, le même protocole qu'on utilise sur internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins chère à gérer. Ça facilite aussi le développement d'applications multimédias.

La norme LTE-advanced impose des critères de base sur le débit et sur la latence, comme le résume le tableau suivant :

		LTE	LTE-advanced
Débits crêtes maximum	Downlink	300 Mb/s	1 Gb/s
	Uplink	75 Mb/s	500 Mb/s
Bandes de fréquence		1.4 à 20 MHz	100 MHz
Latence	Données	10 ms	10 ms (RTT)
	Session	100 ms	50 ms
Efficacité spectrale DL/UL	Max	5.0/2.5b/s/Hz	30/15b/s/Hz
	Moyen	1.8/0.8b/s/Hz	2.6/0.2b/s/Hz
	En limite	0.04/0.02b/s/Hz	0.009/0.07b/s/Hz

Tableau 1.2: Comparaison des paramètres LTE/LTE-Advanced

1.4 Conclusion

Sur ce chapitre introductif, nous avons présenté d'une façon globale les différentes générations de la téléphonie mobile et les caractéristiques principales d'un réseau cellulaire.

Ainsi, l'établissement du service GPRS implique une évolution matérielle et logiciel s'ajoutant au réseau GSM déjà existants. L'évolution du GSM vers le GPRS est une transition vers les réseaux de troisième génération UMTS. En ce qui concerne l'infrastructure, des modifications doivent être effectuées pour l'intégration du GPRS ou l'UMTS par l'ajout d'autres équipements.

Pour les réseaux 4G, on a présenté un aperçu de ces paramètres et des caractéristiques qui font de lui un réseau qui révolutionne l'industrie des télécommunications et rends les perspectives illimités.

Chapitre 2

Introduction

Aux UAVs

2.1. Introduction

Les UAVs sont définis comme étant des véhicules Aériens contrôlés sans équipage humain à bord, et sont utilisés dans une multitude de missions où l'automatisation des tâches et la protection de l'utilisateur humain est nécessaire. Les applications des UAVs incluent la reconnaissance militaire, le combat militaire, et l'observation des structures. Les UAVs peuvent porter de multiples dispositifs afin d'effectuer ces fonctions comme par exemple des caméras, armes, et des équipements de détection chimiques et biologiques.

Actuellement, le développement des UAVs est devenu le centre d'intérêt de beaucoup de chercheurs qui veulent explorer ces domaines d'application. Il existe en ce moment une large gamme de projets et de sujets de recherche qui émergent dans ce domaine. Les recherches préliminaires ont montrées que l'UAV le plus versatile et le plus mécaniquement facile à construire est l'hélicoptère quadrotor. Ceci est due au fait que le robot aérien quadrotor est un système automatique VTOL (Vertical Take-Off and Landing). Les quadrotors peuvent être contrôlés en variant la vitesse des quatre hélices sans qu'aucun lien mécanique ne soit requis pour faire varier l'angle du pas de lame des hélices comme pour un hélicoptère conventionnel [6].

2.2. Historique

2.2.1. Oehmichen (1920)

Etienne Oehmichen a commencé ces expérimentations avec les avions à hélices dans les années 1920. Parmi les six projets qu'il a essayé de concevoir, son hélicoptère N°.2 avait quatre rotors et huit hélices, tous poussés par un seul moteur. L'Oehmichen N°.2 utilisait un châssis en tube d'acier, avec deux rotors à lames au bout de chaque bras et l'angle de ces lames pouvait être changé par distorsion. Cinq hélices, en rotation horizontale, stabilisaient la machine latéralement et une autre hélice était montée sur le nez de la machine pour le pilotage, quant aux deux hélices restantes elles étaient destinées pour la propulsion avant [7].

L'aéronef a montré un niveau considérable de stabilité et de contrôle pour son temps, et a fait plus d'un millier de vols d'essai durant la moitié des années 1920. En 1923 il pouvait rester aéroporté pendant plusieurs minutes, et le 14 Avril 1924 il a établi le premier record de distance de vol de la FAI (Fédération Aéronautique Internationale) pour les hélicoptères en parcourant 360 mètres. Plus tard il a démontré sa capacité à accomplir une course circulaire complète, et a réussi à achever le premier kilomètre de vol en circuit fermé.

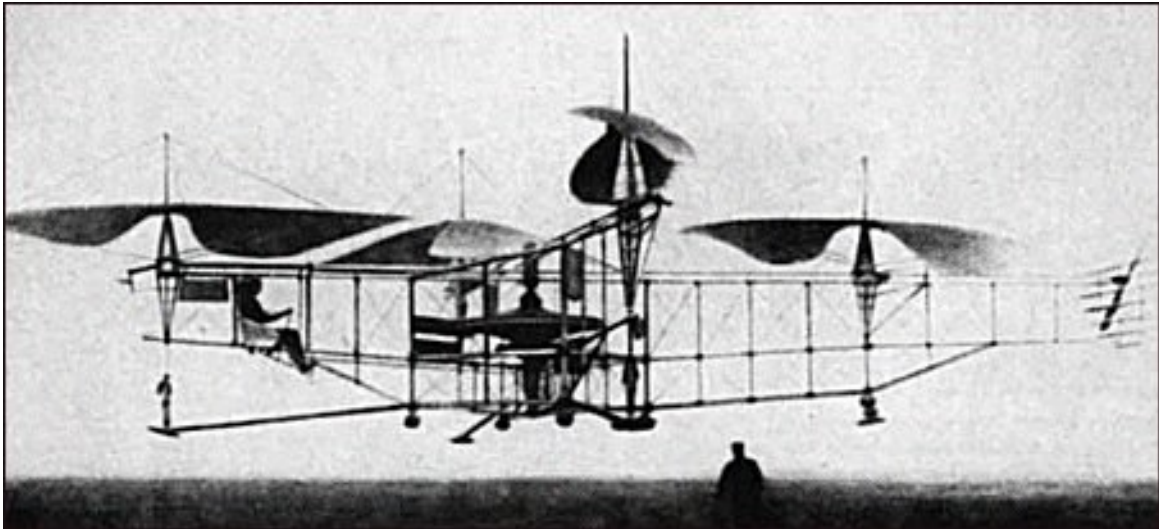


Figure 2.1: (1920) Oehmichen

2.2.2. Hélicoptère de Bothezat

Le Dr. George de Bothezat et Ivan Jerome ont développés cette aeronef avec six rotors à lames au bout de chaque bras d'une structure en forme X. Deux petites hélices avec un pas variable ont été utilisées pour le contrôle de la poussée. Construit par l'armée de l'air américaine, il a accompli son premier vol au mois d'octobre 1922, et presque 100 vols ont été fait à la fin de l'année 1923. La plus haute altitude qu'il a pu atteindre était de 5 mètres. Bien que démontrant sa faisabilité, il n'avait pas suffisamment de puissance, n'était pas réactif, et il était mécaniquement complexe et susceptible à des problèmes de fiabilité.

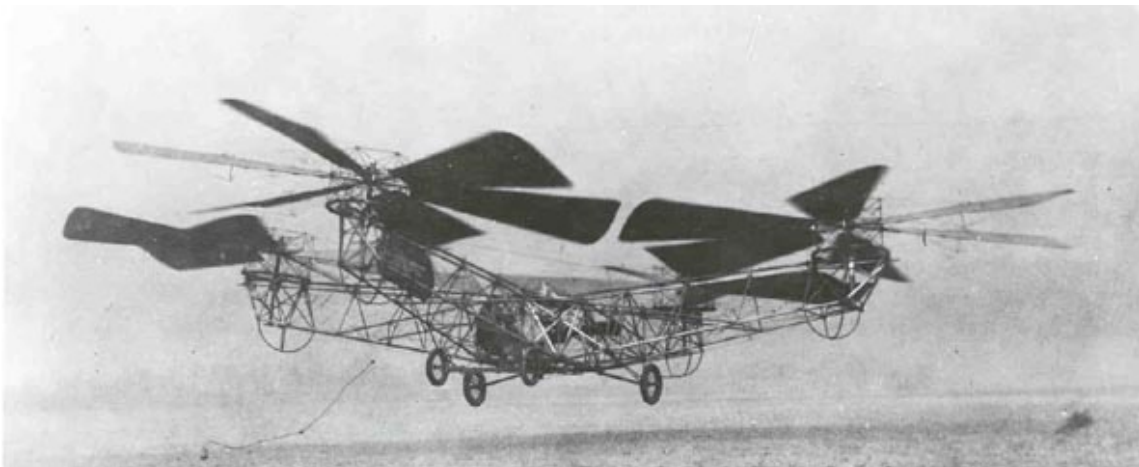


Figure 2.2: Hélicoptère De Bothezat. (1923)

2.2.3. Quadrotor Model A de Concertawings (1956)

Cet hélicoptère unique était destiné à être un prototype pour une ligne d'hélicoptères quadrotors civile et militaire. Son design présentait deux moteurs poussant quatre rotors à travers un système v-belt et son contrôle se faisait en variant la poussée entre les rotors. Volant plusieurs fois avec succès au milieu des années 1950, cet hélicoptère a prouvé le concept du quadrotor et a été le premier hélicoptère à quatre rotors qui a démontré le succès du vol en progression avant, mais due à un manque de commandes pour des versions commerciales ou militaires, le projet à prit fin.

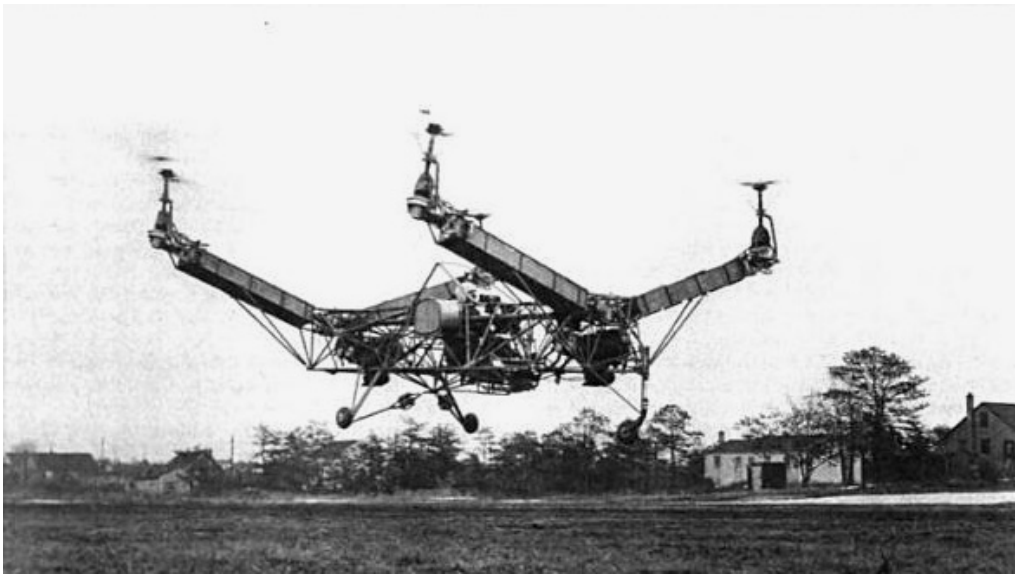


Figure 2.3: Convertawings Model AQuadrotor 1958

2.2.4. Curtiss-Wright VZ-7 (1958)

Le Curtiss-Wright VZ-7 était un aéronef VTOL (Vertical Take-Off Landing) conçu par la compagnie Curtiss-Wright pour l'armée Américaine. Le VZ-7 était contrôlé en changeant la poussée de chacune des quatre hélices.

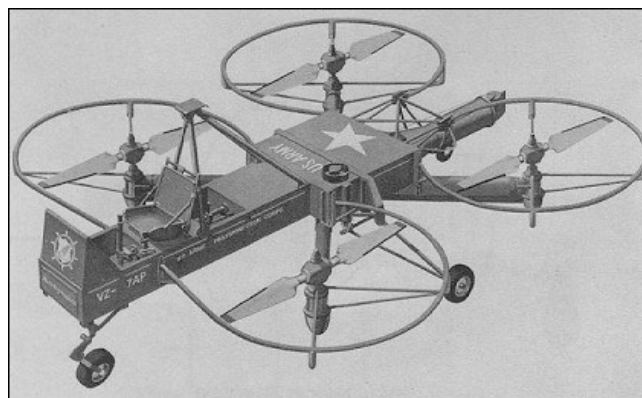


Figure 2.4: Curtiss-Wright VZ-7 (1958)

2.3. Etat de l'art

L'état de l'art dans le contrôle des quadrotors a changé drastiquement durant les années précédentes. Un très grand nombre de projets traitant ce problème ont vu le jour et ont soudainement augmentés. Et on peut maintenant considérer qu'ils sont pour la plupart basés sur des jouets commerciaux modifiés pour avoir plus de capteurs et plus de capacités de communication.

Plusieurs instituts de recherches sont en train d'activement étudier et développer de nouveaux véhicules aériens, réduisant leur taille et leur poids tout en augmentant leur performance, et en leur ajoutant plus de fonctionnalités comme par exemple le Harvard Micro-robotics Laboratory aux USA [6] et le laboratoire des systèmes autonomes à ETH de Zurich en Suisse [7]. Aussi de nombreuses agences et compagnies jouent un rôle important dans la fabrication et le développement des UAVs comme par exemple la DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency) aux USA [8], Proxdynamics en Norvège, et Syma aux USA. On peut citer les plus importants projets de construction de quadrotors comme :

- Stanford « Mesicopter » : Une équipe de l'Université de Stanford a travaillé sur la conception et le design d'un mesicopter à quatre rotors de l'échelle centimétrique en utilisant les techniques de fabrication des micros circuits. Ce travail a été financé par la NASA. La contrainte principale de fabrication d'un aéronef d'une telle taille était qu'à cette échelle l'air devenait un milieu très visqueux, ou comme on le dit par les termes aérodynamiques, un mesicopter avait un nombre de Reynolds très bas. Malheureusement la conception des hélices n'a pas atteint le taux d'efficacité désiré et le Mesicopter n'a jamais pu porter le poids de sa propre source d'énergie.

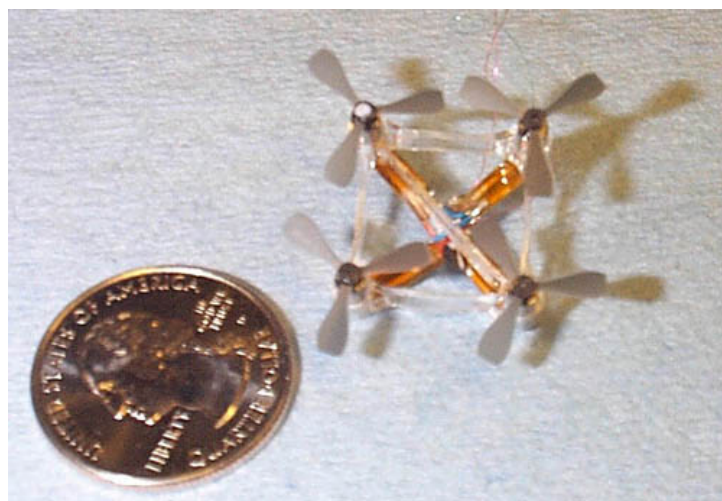


Figure 2.5: Stanford "Mesicopter"

- Le MD4-200 : c'est l'un des meilleurs quadrotors de sa catégorie, par son format compact et la faible vitesse de rotation de ces hélices qui lui confère une grande discrétion. Il pèse moins d'un kilo, bénéficie d'un temps de vol de 30 minutes et peut soulever une charge de 200 grammes. Sa hauteur de fonctionnement atteint les 1000 mètres.



Figure 2.6: MD4-200

Actuellement plusieurs quadrotors sont sur le marché comme le DJI Phantom (Figure 10) et le Parrot AR Drone. Cette nouvelle génération de drones n'est pas chère et très légère.



Figure 2.7: DJI Phantom

Ainsi ces avancées ont été accomplies grâce au travail de chercheurs de renommée internationale comme Pounds et al. Qui ont présentés l'analyse fondamentale de la dynamique

et les approches du contrôle à travers la conception d'un quadrotor de 4 kg capable de porter une charge utile de 1 kg. [9]

Bouabdallah et Siegwart ont obtenus des résultats impressionnants dans le contrôle et l'estimation de l'état avec une plateforme quadcopter et une station de base terrienne. Les images étaient envoyées vers la station terrienne, puis elles étaient traitées et les commandes transmises à nouveau vers le quadrotor à travers un lien de communication radio [10].

De plus récents cas d'usage de quadrotors pour des applications civiles se sont déroulés quand un Tsunami a frappé la centrale nucléaire de Fukushima au Japon le 11 Mars 2011. Due à la situation très dangereuse et aux radiations autour de la centrale, Tokyo Electric Power (TEPCO) a utilisé un micro-drone de fabrication américaine afin de prendre des photos aériennes de la zone touchée [11].

Et actuellement les universités et les centres de recherche ont commencé à utiliser ces quadrotors comme une plateforme expérimentale dans différents projets de recherche comme la surveillance et la navigation autonome [12], l'interaction homme-machine [13], et aussi comme assistance sportive en fournissant aux athlètes une imagerie externe de leurs entraînements [14].

2.4. Concept

Le quadrotor consiste en un châssis principale ayant quatre bras connectés centralement entre eux et de quatre moteurs brushless attachés au bout de chaque bras. Quatre rotor/hélices sont fixés sur chaque moteur. Les quatre rotors avec angle fixe représentent un pas fixe pour générer une force équivalente au bout de chaque bras afin de soulever le poids du châssis et de la charge utile. Tous les moteurs sont rattachés à des contrôleurs électroniques de vitesse afin de contrôler la vitesse de chacun d'eux. Les contrôleurs électroniques de vitesse sont connectés entre eux en parallèle à la carte de distribution de puissance. Une batterie est utilisée comme source d'énergie et la rotation des hélices est contrôlée par la télécommande radio.

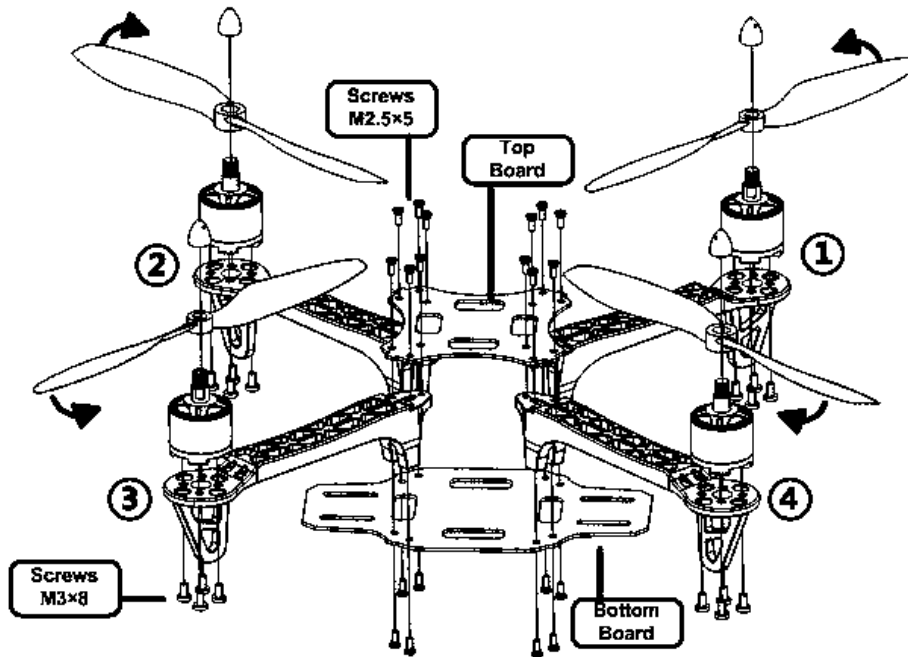


Figure 2.8: Schéma d'assemblage d'un UAV

2.5. Principe de fonctionnement

L'ensemble des moteurs sont connectés en parallèle avec les autres moteurs. La carte de distribution de puissance reçoit l'alimentation de la batterie. Ainsi la carte distribue la puissance de façon égale aux quatre contrôleurs électroniques de vitesse et arrivent finalement sur chaque moteur. Les accéléromètres vont mesurer l'angle du quadrotor sur les axes X, Y, et Z puis ils vont de cette façon ajuster le nombre de rotation par minute (RPM) de chaque moteur afin de se stabiliser.

La stabilité est obtenue en réglant la direction de rotation d'un couple de moteurs de sens opposé au sens des aiguilles d'une montre et l'autre couple au sens inverse des aiguilles d'une montre ce qui va annuler le moment et les effets gyroscopiques.

En utilisant ce principe on pourra ajuster la vitesse de chaque moteur afin d'obtenir le lacet, tangage et roulis désiré. Le nombre de rotation par minute (RPM) de l'arbre moteur est une fonction du voltage fournit au moteur. Le roulis et le tangage peuvent être contrôlés en variant la vitesse du moteur approprié, tandis que le contrôle du lacet se fait en équilibrant correctement les quatre moteurs qui résulte du changement du moment et de la force appliquée pour tourner dans la bonne direction.

Le contrôle du quadrotor implique quatre états différents :

- **Mouvement ascendant (Axe Z) :** la force requise pour ce mouvement est connue en tant que force de levage et est générée par la poussée produite par les quatre hélices qui tournent à la même vitesse.
- **Mouvement de lacet (Axe ψ) :** Ce mouvement est obtenu en augmentant la vitesse d'un ensemble approprié de moteurs. En générant un couple de force de deux moteurs voisins, on peut obtenir le lacet.
- **Mouvement de tangage (Axe θ) :** Ce mouvement peut être obtenu en générant un couple de force d'un ensemble de moteurs dans la direction du mouvement (moteur avant et arrière).
- **Mouvement de roulis (Axe ϕ) :** Ce mouvement peut être obtenu en générant un couple de force d'un ensemble de moteurs dans la direction opposée au mouvement (moteurs du côté droit et gauche)

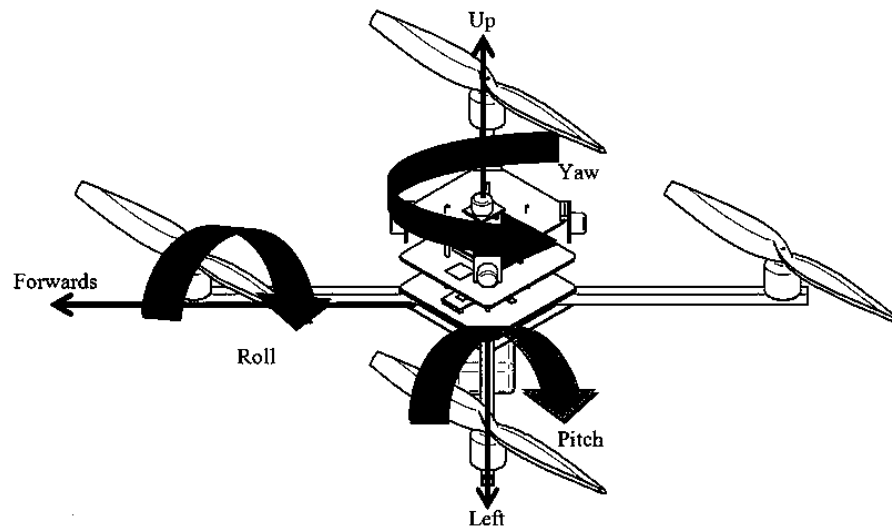


Figure 2.9: Effets gyroscopiques

Le signal d'entrée est généré et transmis par la télécommande radio et reçu par le récepteur sur la carte de contrôle. Les microcontrôleurs décodent les données du signal d'entrée reçu et exécutent les actions appropriées. L'unité de mesure d'inertie (IMU) qui consiste en un accéléromètre et un gyroscope de trois axes stabilise et équilibre le châssis du quadrotor. Selon le signal reçu de la télécommande radio, le processeur contrôle la puissance et le voltage de la batterie pour chaque contrôleur électronique de vitesse via la carte de distribution de puissance. Un mouvement directionnel peut être obtenu en diminuant le voltage du moteur avant et en augmentant le voltage du moteur arrière. Le mouvement de lacet est obtenu par la réduction du voltage du moteur qui tourne vers l'intérieur, et en augmentant le voltage du moteur qui tourne vers l'extérieur.

2.6. Les composants

2.6.1. Microcontrôleur

Le microcontrôleur consiste généralement en un gyroscope et un accéléromètre de trois axes. L'accéléromètre est un dispositif qui mesure les forces d'accélération. Le gyroscope est un dispositif utilisé principalement pour la navigation et la mesure de la vitesse angulaire. Le gyroscope à trois axes est souvent implémenté avec l'accéléromètre à trois axes pour obtenir un système de suivi de mouvement de 6 degrés de liberté (Degree of Freedom).

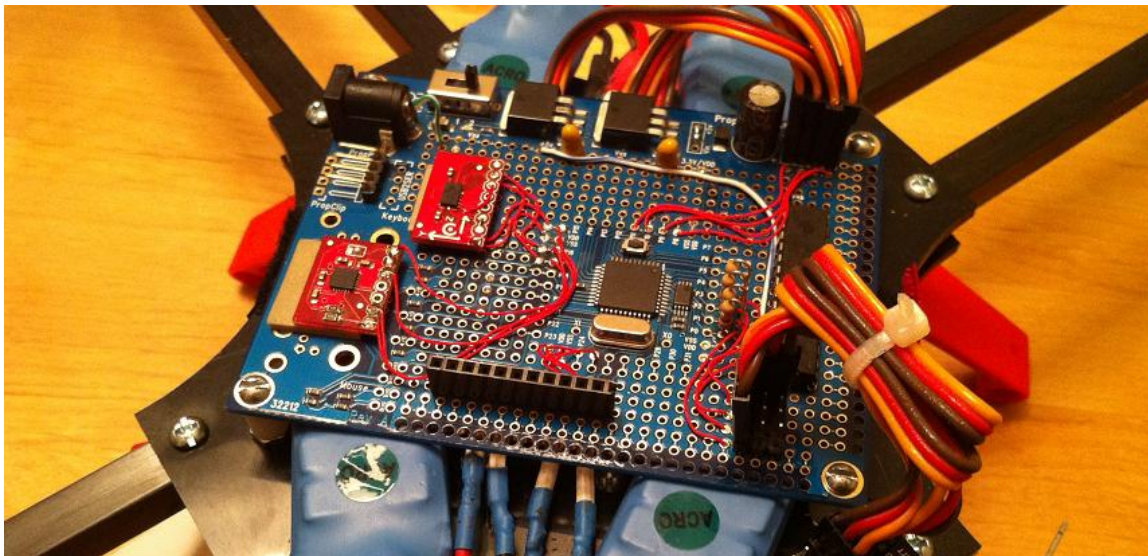


Figure 2.10: Microcontrôleur

2.6.2. Moteurs

Les moteurs brushless sont beaucoup plus avantageux comparés au moteurs brushed, aux moteurs de force et aux servo moteurs car ils sont plus efficaces, plus fiables, ont une plus grande durée de vie, ont plus de puissance, ont un facteur de bruit réduit, ne font pas d'étincelles ionisantes du commutateur, et ont une réduction de l'interface électromagnétique.

Les moteurs utilisés doivent être identiques car même si une paire de moteurs sont de la même marque, du même modèle et de la même production, leur vitesse peut varier légèrement, et c'est là où le contrôleur de vol joue son rôle.

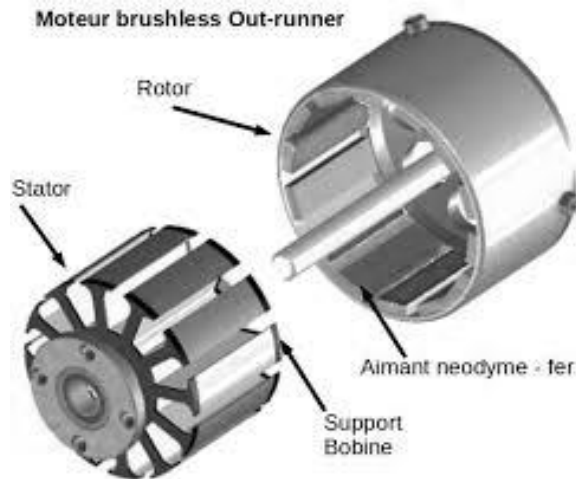


Figure 2.11: Moteur Brushless

2.6.3. Hélices

Les hélices sont utilisées pour générer une force aérodynamique de poussée. Une paire qui tourne au sens des aiguilles d'une montre et une autre paire qui tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre annulent l'effet gyroscopique de chaque moteur.

La poussée générée par une hélice dépend de la densité de l'air, du nombre de rotations par minute (RPM), du diamètre, de la forme et de la surface de la lame et de son pas. L'efficacité d'une hélice dépend de l'angle d'attaque et du ratio de la puissance de sortie sur la puissance d'entrée. La plupart des hélices bien conçues ont une efficacité de plus de 80%. L'angle d'attaque est affecté par la vitesse relative, donc une hélice aura une efficacité différente à une vitesse de moteur différente.



Figure 2.12: Hélices (CW / CCW)

2.6.4. Contrôleur électronique de vitesse

Un contrôleur électronique de vitesse est un circuit électronique utilisé pour varier la vitesse d'un moteur électrique et il sert aussi comme frein dynamique du système. L'ESC contrôle le moteur brushless en convertissant le courant continu provenant de la batterie en un courant triphasé alternatif. L'ESC doit gérer le courant maximum que le moteur peut consommer, et pouvoir l'alimenter au bon voltage.



Figure 2.13: (ESC) Contrôleur électronique de vitesse

2.6.5. Batterie

Les batteries Lithium Polymère (LiPo) sont les plus fréquemment utilisées à cause de leur poids léger, leur densité d'énergie, leur longue autonomie et la possibilité de les recharger. La capacité d'une batterie est mesuré en Ampère-heure (Ah) et varient pour les drones de taille moyenne entre 2 à 3 Ah. Plus grande est la capacité, plus long sera le temps de vol.



Figure 2.14: Batterie (LiPo)

2.6.6. Télécommande radio

Un système de contrôle radio a besoin d'un transmetteur et d'un récepteur. Il est utilisé pour plusieurs raisons comme la régulation du voltage, le pilotage, le décollage et l'atterrissage.

Pour un UAV on a besoin au minimum de quatre canaux. Ces canaux sont associés généralement aux mouvements de Lacet, tangage, élévation et roulis.

Le contrôle par Wifi se fait par utilisation d'un routeur, d'un ordinateur ou d'un Smartphone. Le Wifi peut prendre en charge la transmission de données ainsi que la transmission des images, mais il est beaucoup plus difficile de le régler et de l'implémenter. Comme c'est le cas avec tous les appareils Wifi, la portée est limitée par la portée du transmetteur.

Quant avec le contrôle par fréquence radio on peut envoyer des données depuis un ordinateur ou un microcontrôleur vers le drone en utilisant un transmetteur-récepteur.

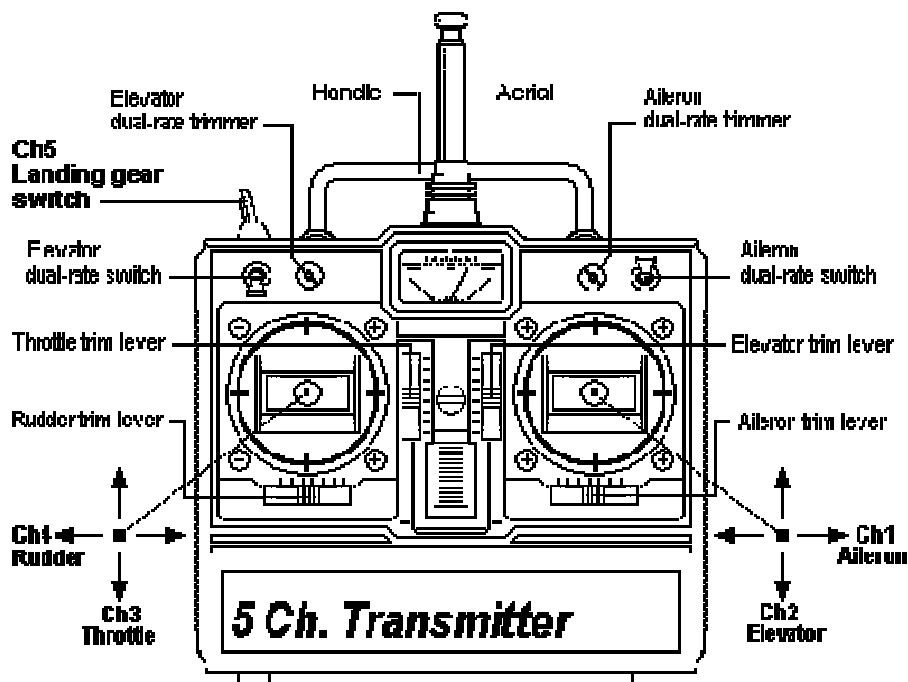


Figure 2.15: Télécommande de contrôle Radio

2.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'historique ainsi que l'état de l'art des systèmes aériens autonomes pour ensuite citer les différents composants standards d'un drone et ses caractéristiques.

Chapitre 3

Inspection des

Infrastructures de

Télécommunications

3.1. Problématique

L'inspection sur terrain des infrastructures réseau est un aspect critique pour l'optimisation et le maintien de la qualité et de l'intégrité des services fournis par un opérateur.

Actuellement, ces inspections sont faites exclusivement par les humains et de telles inspections prennent beaucoup de temps, sont chères, sont potentiellement dangereux, sont sujets à l'erreur humaine, sont perturbants pour le voisinage de l'infrastructure, et manquent de rapidité de réaction en cas de scénario catastrophe.

Alors comment pourrais-t-on éliminer les problèmes rencontrés lors des opérations actuelles d'inspection des infrastructures de télécommunications, et à la fois optimiser ces opérations ?

Notre travail décrit un mécanisme d'inspection pour les infrastructures de télécommunications basé sur l'exploitation de drones autonomes ou bien contrôlés à distances par Radio Commande avec la capacité d'exécuter des opérations d'inspection complexes dans des régions et à des hauteurs difficiles à atteindre.

3.2. Problèmes rencontrés

La gestion des infrastructures du réseau requiert une inspection régulière des aspects physiques comme les tours, les mâts, les transmetteurs, etc. qui se situent sur le terrain. De telles inspections sont des opérations importantes pour le déploiement, l'exploitation, la maintenance et l'expansion des infrastructures du réseau. Les majeures parties de telles inspections sont exécutés par les humains, ce qui relève les problèmes suivants :

- **Opérations lentes et coûteuses** : Les inspections pour identifier les causes principales des pannes requièrent l'utilisation de véhicules ou bien d'hélicoptères dirigés par des équipes composés de plusieurs personnes. Le cout pour déterminer la cause de la panne revient plus cher que la réparation de la panne. La logistique et la coordination requise afin de réparer une panne peut facilement prendre plusieurs heures et couter des milliers d'euros. La réparation des pannes est souvent de nature sensible au temps, et chaque heure d'une panne non réparé causé par le temps de réponse lent de l'être humain peut couter des milliers d'euros et entrainer l'insatisfaction du client. Les pannes qui sont réparées manuellement peuvent aussi accaparer la main d'œuvre disponible et ralentir les opérations de déploiements courantes ce qui entraine des couts de main d'œuvre plus élevés.

- **Risques potentiels** : La hauteur (de 15 à 300 mètres) des tours et les équipements en état de marche qui sont inspectés sont une source de danger pour le personnel. Le taux de mortalité ainsi que les risques de blessures dus aux chutes et aux brûlures est haut. À côté du risque pour le personnel exécutant l'inspection, il y a aussi un risque pour le public environnant.
- **Sujet à une évaluation erronée** : Les opérations d'inspection exécutées par les humains sont sujettes aux erreurs à cause de plusieurs raisons comme les conditions météorologiques (vent, chaleur, froid, neige, etc.) et les structures qui requièrent des inspections rapides et superficielles, etc.
- **Impacte perturbant pour les clients ou les habitants du voisinage de la zone de l'opération** : Hélicoptères, camions, équipes, et barrages routiers ont un significatif impact négatif sur la communauté habitant la zone où l'inspection prend place. L'efficacité ou la fréquence des inspections peut résulter en des visites répétées autour des propriétaires des résidences. Les infrastructures situées sur le toit des habitations requièrent que les ingénieurs se rendent sur le toit. Un tel accès aux infrastructures qui implique de traverser la propriété privée, a besoin d'une coordination entre le propriétaire de la résidence et l'opérateur.

3.3. Objectifs de l'audit

Contrôle de qualité : Durant l'opération, ou avant l'acquisition des informations sur l'état d'une infrastructure, les composants de l'infrastructure tel qu'un mât, une tour, ou un transmetteur sont inspectés par l'opérateur afin de prévenir les éventuels problèmes, accidents et pannes futures.

Identification et réparation des pannes : Les incidents, les désastres, le mauvais temps, et les problèmes d'installation et de maintenance peuvent causer des pannes. Quand un incident survient, l'infrastructure réseau doit être auditée afin de repérer l'endroit exact, l'échelle, et la source de la panne afin de déterminer la solution qui convient.

Prévention proactive des pannes : les inspections de maintenance fréquentes sont importantes afin de prévenir les problèmes qui peuvent causer de grandes pertes financières. Comme détaillé dans les règles de sécurité et dans les standards de l'industrie, les opérateurs exécutent des audits de routines des infrastructures réseau tel que les tours, les mâts, les transmetteurs radio, les câbles aériens, et les antennes attachées aux structures. Les inspections sont nécessaires après des conditions météo extrêmes, comme les vents forts, et

les tempêtes de neige. Des inspections plus fréquentes sont nécessaires pour les infrastructures situées dans les zones côtières où l'environnement est corrosif, et aussi dans les zones sujettes au vandalisme.

Optimisation de l'usage de l'infrastructure : Les opérations d'audit sont exécutées afin d'évaluer, la position, par exemple des transmetteurs ou des antennes, et pour déterminer si des ajustements sont nécessaires pour optimiser la couverture et la qualité de service.

Analyse de la capacité pour l'expansion des installations : L'audit est effectué pour s'assurer que l'ajout de nouveaux équipements à une infrastructure tel qu'un mât ou une tour se fasse de manière sécurisé et optimisé pour la capacité de couverture.

3.4. Exploitation des drones

Notre travail résout les problèmes liés à l'opération d'inspection effectué par l'homme, en déployant, des drones autonomes ou radio contrôlés afin d'atteindre les infrastructures et réaliser l'inspection. Nous allons alors dans ce qui suit décrire les composants qu'on a choisis pour la réalisation de notre drone.

3.4.1. Design et construction du châssis

La première approche pour assembler le châssis est de rattacher chaque bras au point central de croisement pour obtenir des points de montage adéquats et un bon support pour chaque composant du châssis.

Il y a 2 bras de 450 mm attachés perpendiculairement au centre et resserrés par deux plateaux, ces plateaux sont le support de base des contrôleurs, de la batterie et de la carte de distribution de puissance. Les moteurs sont montés au bout de chaque bras.

3.4.1.1. Les composants

- *Châssis Hobbyking SK450* : Ce châssis de 450 mm et de 80 mm de hauteur est fabriqué en fibre de verre résistante, quant aux bras ils sont faits en nylon polyamide.

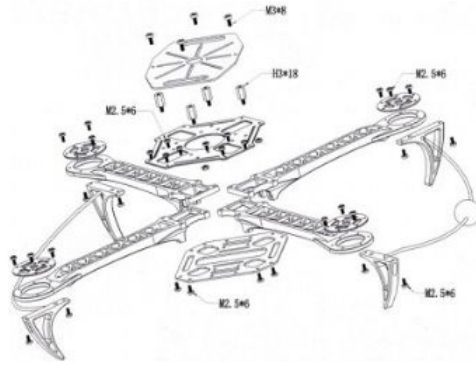


Figure 3.1: Châssis du quadrotor SK450

- **Moteur TurnigyMultistar** : Ce moteur de 980 Kv et 14 pôles à une puissance maximum de 165 Watts et un poids de 58 grammes.



Figure 3.2: Moteur TurnigyMultistar 980Kv

- **Contrôleur de vol Pixhawk** : C'est un contrôleur de vol autopilote fabriqué par l'entreprise 3DR et il inclut des capteurs (Accéléromètre, gyroscope, etc.) améliorés qui assure une plus grande stabilité durant le vol et la navigation. Il inclut aussi un processeur 32 bit ARM Cortex et un module GPS uBlox M8N.



Figure 3.3: Contrôleur de vol pixhawk

- **Emetteur-récepteur radio** : La radio commande Turnigy possède 9 canaux afin de contrôler l'ensemble des mouvements du quadrotor (Lacet, tangage, roulis, etc.)



Figure 3.4: Radio commande Turnigy 9X

- **Hélices (CW / CCW)** : Ces hélices de 12 pouces sont fabriqués en fibre de carbone ce qui garantit une solidité et une légèreté maximal. La première paire d'hélices est au sens des aiguilles d'une montre tandis que l'autre paire est au sens inverse des aiguilles d'une montre



Figure 3.5: Hélices en fibre de carbones 12 pouces

- **Batterie Lithium (LiPo)** : Cette batterie d'une capacité de 2200 mAh a un poids de 187 grammes.



Figure 3.6: Batterie Lithium 2200 mAh

- **Contrôleur électronique de vitesse (QBrain ESC):** Ce contrôleur de vitesse est monté sur le plateau central du quadrotor inversement aux ESCs classiques montés sur chaque bras du quadrotor et il fournit et contrôle la puissance adéquate à chaque moteur



Figure 3.7: Contrôleur électronique de vitesse QBrain 25A

3.4.2. Méthodologie d'assemblage

3.4.2.1. Outils utilisés pour l'assemblage

Les outils suivants ont été utilisés pour l'assemblage de notre drone quadrotor :

- Tournevis hexagonal 2.0 mm.
- Tournevis cruciforme 3.0 mm.
- Dénudeur de fils.
- Fer à souder et etain.

- Pincés de précision.
- Serre-câble en plastique.
- Pincés



Figure 3.8: Outils d'assemblage

3.4.2.2. Assemblage hors-châssis

Dans cette section nous allons montrer comment les composants électroniques sont connectés entre eux et comment le châssis est assemblé sans composants électroniques.

- ***Connexion et câblage des composants électroniques***

Le câblage standard d'un quadrotor pour pixhawk mini utilise une carte de distribution de puissance à quatre sorties afin d'alimenter l'ESC (Le contrôleur de vitesse électronique) et le contrôleur de vol.

- ***Assemblage du châssis seul***

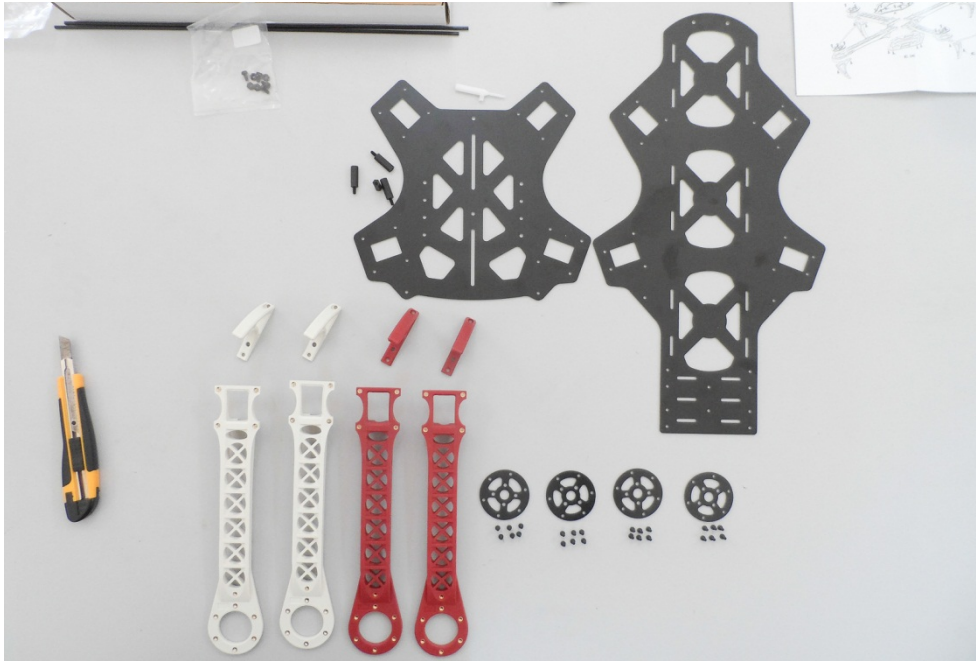


Figure 3.9: Châssis du quadrotor 450 mm

Afin d'assembler le châssis :

- Etape 1 :

Assembler le plateau centrale avec les quatre bras en fibre de verre en utilisant les vis, pour ensuite monter les quatre pieds à chaque bras et enfin les supports moteurs.

- Etape 2 :

Monter le plateau supérieur à l'aide des vis.

3.4.2.3. Assemblage complet avec les composants électroniques

Dans cette section nous allons décrire l'assemblage complet du châssis sk450 en même temps que le contrôleur de vol *Pixhawk Mini*, les moteurs, ainsi que les autres composants électroniques

- Etape 1 : Installation des moteurs.

On doit placer les moteurs selon l'ordre correcte au bout de chaque bras du châssis en les montant sur les supports avant de les fixer et de faire passer les câbles en dessous du châssis. On monte ensuite les moteurs au bout de chaque bras.

- Etape 2 : Montage de l'ESC (Contrôleur électronique de vitesse)

On fixe l'ESC sur le plateau centrale à l'aide de serre câble, puis on rattache chaque sortie vers le moteur correspondant en respectant l'ordre. Le signal provient depuis le contrôleur de vol vers l'ESC qui a son tour contrôle la vitesse des moteurs.

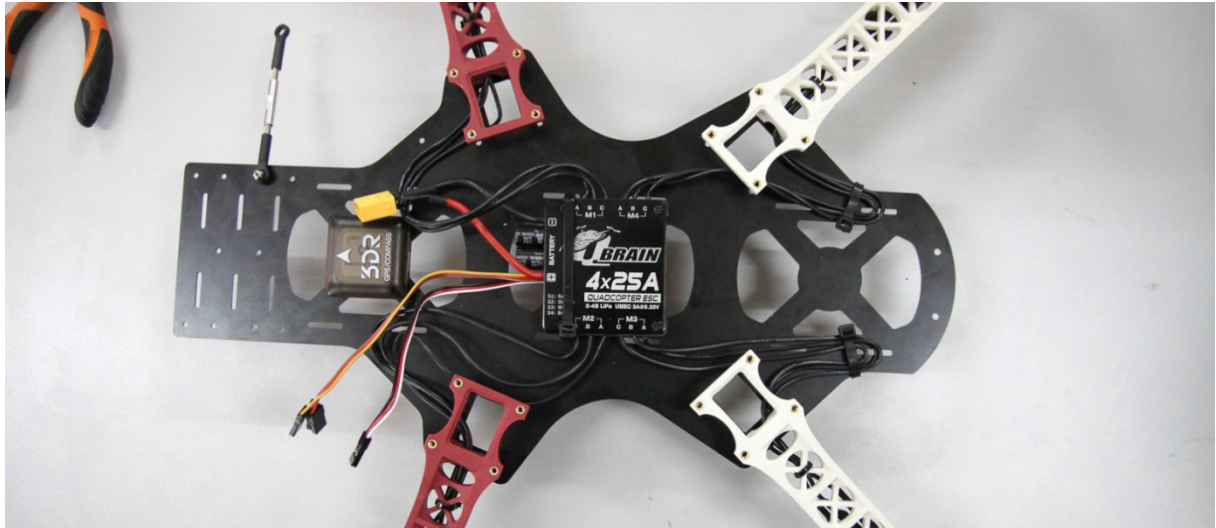


Figure 3.10: Montage de l'ESC

- Etape 3 : Fixer le module de puissance sur le plateau centrale.

On fixe le module de puissance à quatre sorties sur le plateau centrale à l'aide d'un serre câble et on le connecte au contrôleur électronique de vol (ESC).



Figure 3.11: Montage du module de puissance

- Etape 4 : Montage du plateau supérieur et du contrôleur de vol.

Le plateau supérieur doit être fixé sur le châssis à l'aide des vis. Ensuite on va utiliser une mousse autocollante anti-vibration pour fixer le contrôleur de vol *Pixhawk Mini* en faisant en sorte qu'il soit au plus près du centre de gravité du châssis.

La mousse va en effet réduire les vibrations qui peuvent entre autre atténuer la performance du contrôleur de vol. La mousse est adhésive sur les deux faces.

Le contrôleur de vol doit être placé sur le centre de gravité du drone et doit être orienté vers l'avant du châssis.

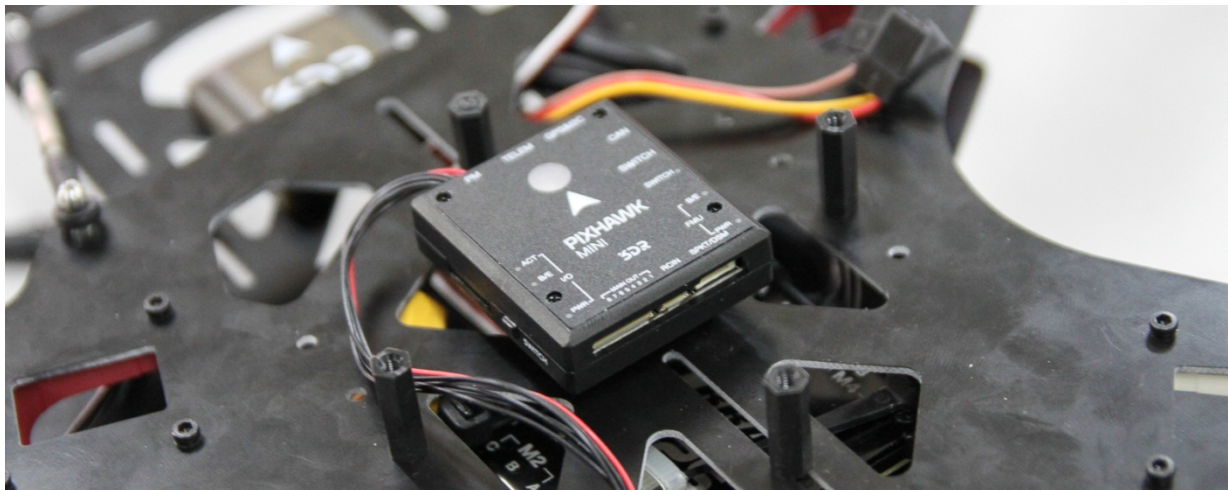


Figure 3.12: Montage du contrôleur de vol Pixhawk Mini

- Etape 5 : Connecter le module de puissance au contrôleur de vol.

En utilisant le câble à 6 pin, on connecte le contrôleur de vol au module de puissance afin d'alimenter ce dernier au moment de brancher la batterie.

- Etape 6 : Monter le module GPS et la télémétrie radio

On monte le module GPS à l'avant du châssis en l'orientant toujours dans la même direction que le contrôleur de vol (vers l'avant). On fixe ensuite le dispositif de télémétrie afin de communiquer avec le véhicule à distance.

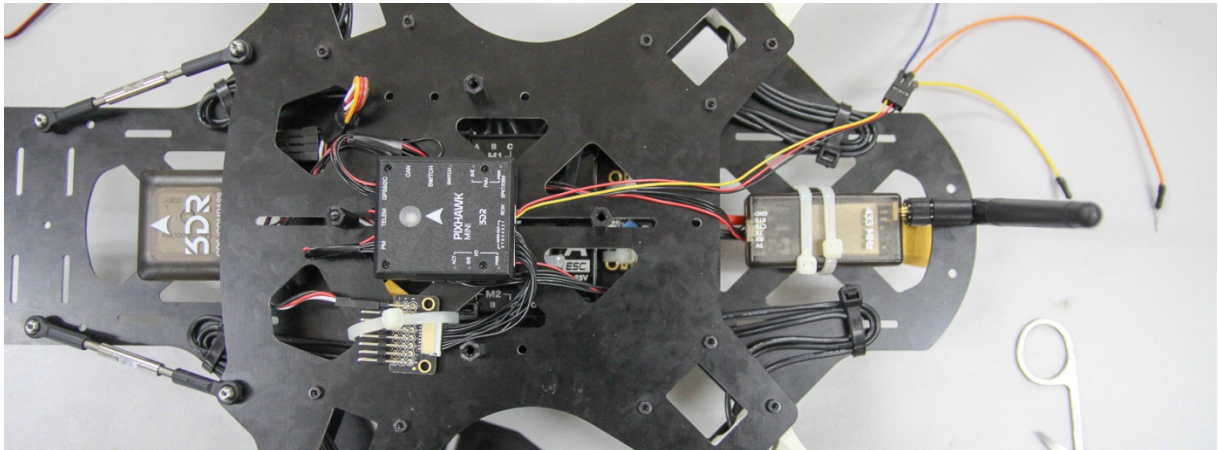


Figure 3.13: Montage du module GPS et de la télémétrie

3.4.2.4. Installation et configuration de la station de base

Dans cette section nous allons montrer comment utiliser l'interface de la station de base *QGroundControl* afin d'installer l'autopilote PX4 et le configurer pour le quadrotor *sk450*.

L'interface *QGroundControl* peut être utilisée afin d'installer et de configurer l'autopilote, mais aussi afin de mettre en place les plans de vol et contrôler le quadrotor.

- Etape 1 : Implementation du firmware PX4

On lance le programme *QGroundControl* après l'avoir téléchargé et installé sur notre ordinateur en sélectionnant « Firmware » sur la barre latérale, puis on connecte le contrôleur de vol à notre ordinateur via un câble USB.

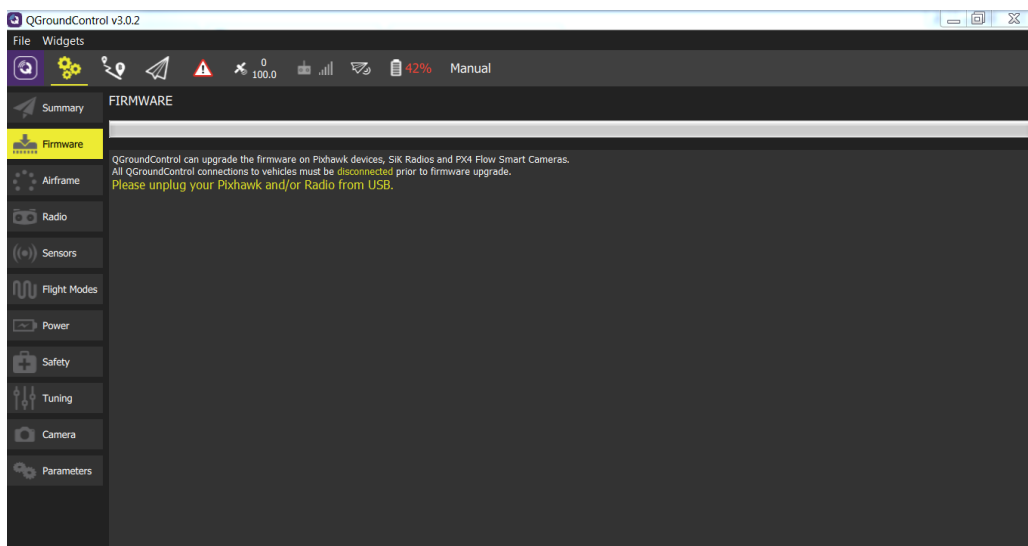


Figure 3.13: implémentation du firmware autopilote

- Etape 2 : Sélection du châssis

On sélectionne le châssis correspondant à notre configuration puis on valide notre choix. Le contrôleur va ensuite redémarrer.

- Etape 3 : Calibrage et configuration du quadrotor

Dans cette partie on doit calibrer les capteurs embarqués sur notre contrôleur de vol et principalement la boussole, l'accéléromètre, le gyroscope, et l'altimètre comme indiqué sur la figure suivante :

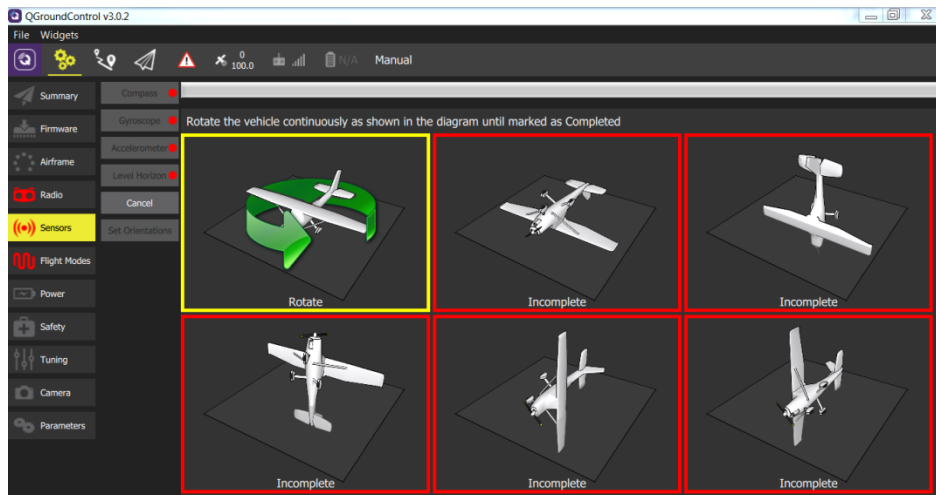


Figure 3.14: Calibrage des capteurs

- Etape 4 : Calibrage du récepteur radio

On commence par allumer notre récepteur radio, puis on sélectionne le mode de notre récepteur. On clique sur calibrer puis on suit les instructions indiqués sur l'interface.

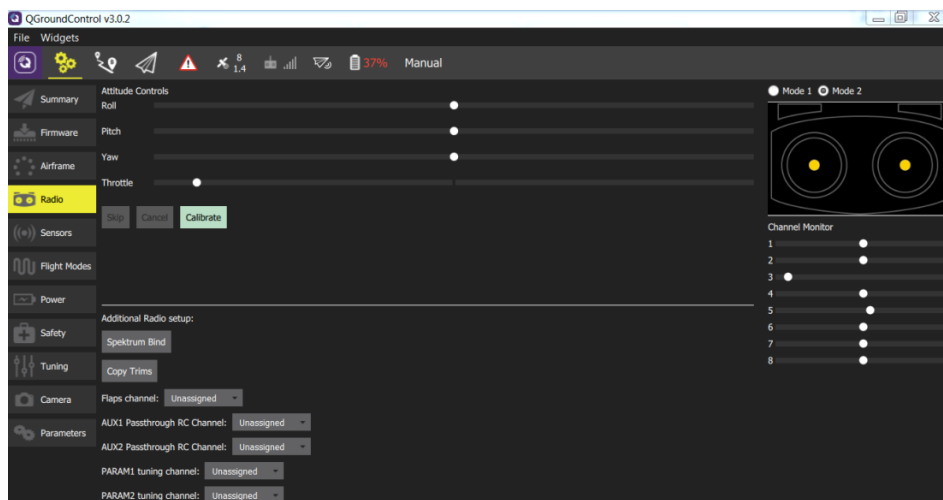


Figure 3.15: Calibrage du récepteur radio

- Etape 5 : Sélection des modes de vol

Les modes de vol nous permettent de faire des vols assistés par autopilote ou bien complètement manuels. On va donc configurer notre récepteur afin de contrôler les trois modes vol suivants :

- Mode stabilisé : Le véhicule tourne difficilement et se stabilise automatiquement quand les commandes sont relâchées.
- Mode altitude : la prise d'altitude et la descente sont contrôlés pour avoir un taux maximal.
- Mode position : Quand les commandes sont relâchées le quadrotor va s'arrêter et prendre une position stationnaire.

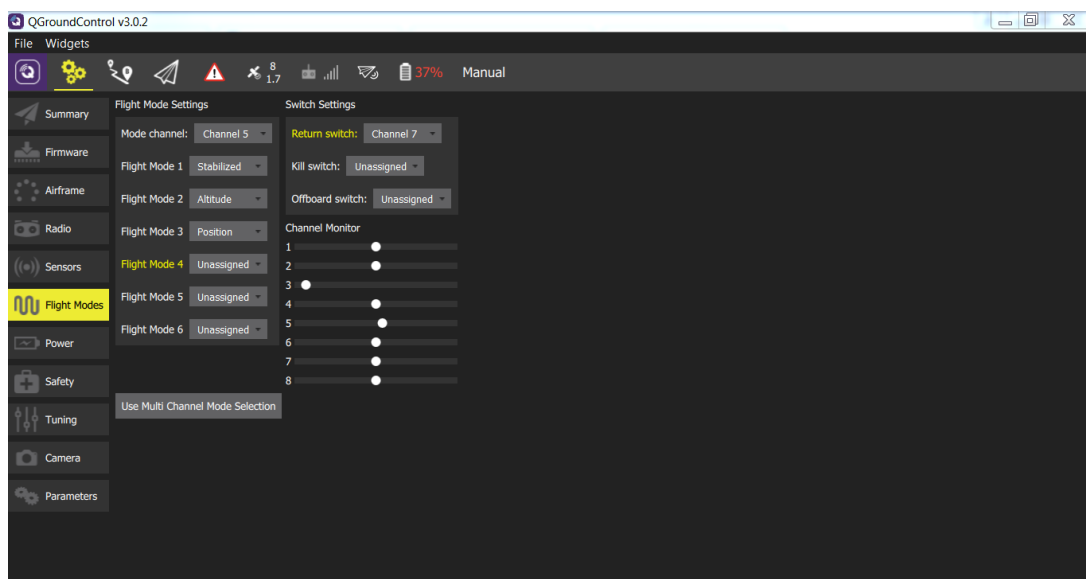


Figure 3.16: Configuration des modes de vol

3.5. Vols d'essais

Au moment de faire voler le drone on doit au préalable s'assurer de respecter certaines règles telles que :

- **Le choix de l'environnement adéquat** : Les essais de vol de notre drone se font dans deux environnements distincts qu'on va détailler plus bas, d'abord l'environnement contrôlé et ensuite l'environnement réel, toutefois ce dernier est sujet aux conditions météorologiques (vent, pluie, etc.) ce qui peut altérer la manipulation du drone.
- **Le voisinage** : Afin de définir le chemin et le plan de vol du drone, on doit prendre note des habitations, objets, arbres et routes environnantes. Cependant il faut éviter de voler près d'un aéroport ou au-dessus des habitations sans obtenir d'autorisations préalables.

- **Etudier les modes de vol :** Différents modes et paramètres peuvent influencer notre vol et notre capacité à contrôler le drone. Avant le vol, on doit paramétrer les réglages du drone selon l'environnement choisit.
- **Vérification de la batterie :** On doit être s'assurer que la batterie est correctement rechargée afin d'éviter les atterrissages d'urgence.

3.6. Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons posé la problématique concernant l'opération d'audit classique des infrastructures de télécommunications ainsi que les contraintes majeures dont souffre cette opération. Par la suite nous avons décrit d'une manière détaillée comment notre système apporte une solution optimale afin de résoudre une grande partie de notre problématique. Et enfin nous avons étalé le processus de configuration et d'assemblage de notre véhicule aérien.

Chapitre 4
Illustration d'une
Intervention
En situation réelle

4.1. Introduction

Depuis les premiers jours de développement du GSM, l'optimisation du réseau de ce dernier a subi des modifications extensives afin de satisfaire la demande croissante des opérateurs et des abonnés souffrant d'insuffisance de couverture et de capacité. La planification et l'optimisation radio est une partie importante dans le processus de design du réseau à cause de sa proximité avec l'abonné. L'optimisation va permettre la gestion, la vérification et l'amélioration de la performance du réseau. Donc afin de fournir aux abonnés une bonne qualité de communication, il est impératif d'assurer le bon fonctionnement du réseau en prenant en compte plusieurs paramètres qui sont variables et qui doivent être adaptés en permanence à la liaison radio.

Dans ce chapitre, nous allons commencer par une brève description du concept d'optimisation radio. Ensuite nous allons prendre comme exemple réel une opération de swap afin de mettre en évidence l'introduction de notre technique qui est l'utilisation d'un UAV durant le processus d'inspection de l'infrastructure et de son environnement, tout en présentant l'application de délivrance automatique de rapport que nous avons réalisé.

4.2. L'optimisation radio

L'opération d'optimisation est un compromis entre qualité, revenus et investissements. Sans paramétrage efficient du réseau, les plaintes des abonnés augmentent et le marketing devient inefficace. L'ensemble des opérateurs rencontrent des problèmes qui sont résolus grâce aux KPIs (Key Performance Indicators) et aux analyses de drive test [15]. L'optimisation radio du réseau veut dire l'amélioration de la performance du réseau en utilisant les ressources existantes [16].

Les étapes principales de l'optimisation sont les suivantes :

- Collecte et vérification des données.
- Analyse des données.
- Ajustement des paramètres radio physiques et logiques.
- Confirmation et rapport des résultats de l'optimisation.

Le but est d'augmenter et d'utiliser les ressources du réseau et de résoudre les problèmes actuels et possibles, en identifiant des solutions pour la planification future du réseau.

4.3. Concept de l'optimisation radio

A cause de la mobilité des abonnés et de la sophistication de la propagation des ondes radio, la raison derrière la plupart des problèmes rencontrés est l'augmentation constante des abonnés et le changement de l'environnement. L'optimisation radio est un processus continu nécessaire au développement du réseau.

Le réseau doit être optimisé si les cas suivants sont rencontrés :

- Nouveau réseau ou bien extension du réseau existant.
- La qualité du réseau devient mauvaise ce qui entraîne des plaintes de la part des abonnés
- Un éventuel évènement survient soudainement qui affecte directement la performance du réseau.
- L'augmentation des abonnés affecte sérieusement la performance du réseau.

4.4. Processus d'optimisation radio du réseau

Le processus d'optimisation radio requiert les étapes suivantes

4.4.1. Pré-analyse

La pré-analyse requiert une inspection générale du réseau en réalisant les tâches suivantes :

- 1) Déterminer la planification originale du réseau.
- 2) Collecte des données du réseau.
- 3) Déterminer les structures fonctionnelles du réseau,
 - Localisation des BTS/BSC, Direction des antennes, Tilts/ Azimuts, etc.
 - Les services utilisés
 - La structure du réseau (Macro cellules, micro cellules, etc.)
 - Déterminer les éléments de configuration du réseau, (Nombre de TRX par cellule, configuration sectorielle/omnidirectionnelle)
- 4) Visite des sites sélectionnés
- 5) Analyse des KPI

4.4.2. Analyse des plaintes des abonnés

Le processus d'analyse des plaintes des abonnés requiert de cibler les critères de qualité qui reposent sur deux faits :

- 1) Les attentes des abonnés sont très simples :

- Disponibilité du service n'importe où et n'importe quand
 - Délai raisonnable de call setup
 - Bonne qualité de voix durant les appels
 - Interruption normal des appels
- 2) Les problèmes de qualité sont indiqués par :
- Niveaux bas du signal
 - Haut taux d'erreur binaire
 - Echech drop calls/ handovers

4.4.3. Collecte / analyse des statistiques OMC-R ou bien analyse des KPIs

Ceci requiert la mesure du taux de quelques données :

- Le trafic pris en charge (congestion sur le canal TCH, SDCCH)
- Appel abandonnés (dropped calls)
- Interférence
- Raison du handover (UL_QUAL, Power budget, distance)

4.4.4. Collecte / analyse des mesures de drive test

Durant le drive test, les données suivantes sont requises pour la liaison descendante (downlink) :

- BER (RXQUAL)
- Serving signal level
- Numéro du canal (Channel number)
- CI and LAI
- Timing Advance
- Messages de la couche 3
- BSICs
- Signaux et niveaux de puissance des cellules adjacentes

4.4.5. Proposition / implémentation du changement

Les modifications suivantes sont requises afin d'améliorer la qualité du réseau :

- Changements requis utilisant les formes standards
- Approbation correcte nécessaire (signature)

- Requête de changement des paramètres physiques (Direction de l'antenne, tilt, HBA, etc.)
- Requêtes de modification des paramètres logiques (changement de fréquence)
- Toutes les parties impliquées doivent être informés

4.5. Evaluation de la performance

Les opérateurs analysent la performance du réseau et évaluent les indicateurs de qualité de service. Ces indicateurs peuvent être utilisés pour les raisons suivantes :

- 1) Afin d'identifier et localiser les erreurs occasionnelles sur les BSS afin d'assurer la disponibilité des ressources physiques
- 2) Afin d'aider les équipes de planification radio à analyser l'état radio, et détecter les problèmes radio du réseau dans une ou plusieurs BTS et finalement décider de la façon d'optimiser le réseau et adopter des actions correctives comme l'allocation de nouvelles fréquences, l'ajustement des tilts d'antennes, et la modification des paramètres dans la base de données OMCR
- 3) Afin de contrôler le comportement du système et les variances en termes de charge de trafic, de congestion, etc.
- 4) Afin de prédire l'évolution future du trafic et son expansion par rapport au nombre croissant des abonnés
- 5) Afin de faire un benchmark du réseau pour attirer plus d'abonnés au cout d'une meilleure qualité

Afin de contrôler les performances du réseau et la charge de trafic, les fabricants de BSS ont implémentés une application logicielle spécifique appelée gestion de la performance qui est intégré à l'OMCR et traduit les compteurs bruts en informations lisible, facilement compréhensible.

Afin d'évaluer la performance, on commence par analyser les statistiques du trafic et les résultats de drive test pour ensuite préparer un plan d'optimisation contenant tous les ajustements, les modifications des paramètres BTS/BSC et si nécessaire les modifications physiques y compris les tilts mécaniques et électriques.

Après la préparation du plan d'optimisation, la prochaine étape est de l'implémenter sur un cluster de cellules pour après mesurer la performance en utilisant le test MS dans une durée de temps spécifique.

Les résultats de l'ajustement sont comparés aux valeurs de référence de seuil, si les résultats sont satisfaisants, alors les changements sont approuvés et l'implémentation finale est faite sur tous le cluster de cellules.

Souvent la performance du réseau est les indicateurs sont très atténués à cause d'une mauvaise intégration du site spécialement du point de vue paramétrage et définition

4.6. Opération d'optimisation radio

Dans cette section et afin de donner un exemple réel de l'opération d'optimisation radio assisté par notre système d'UAV, nous allons prendre comme exemple la résolution d'une plainte client (Customer Complain) au niveau d'une zone qui souffre d'une mauvaise couverture.

La couverture de la zone ce fait grâce à une tour sur laquelle les BTS de l'opérateur sont fixés. Les étapes de notre opération sont détaillées dans ce qui suit :

4.6.1. Déclenchement du drive test

Le Drive Test (DT) est le processus qui montre la situation exacte du signal RF (Radio Fréquence) de l'opérateur au niveau d'une zone spécifique [17]. Le Drive test requiert de tester le réseau dans une zone particulière afin de fournir l'image réel de la performance du réseau dans cette zone grâce à certains outils.

A. Les fonctions du Drive Test sont les suivantes :

- Analyse de la plainte client
- Identifier le problème sur la BTS
- Analyse des résultats du processus d'optimisation

B. Logiciels / Outils utilisés pour le Drive Test :

Il existe plusieurs suites logicielles qui peuvent être utilisés pour le Drive Test en les installant sur un ordinateur. Généralement le logiciel le plus utilisé est TEMS investigation.

C. Equipements de Drive Test :

Les équipements utilisés durant le Drive Test sont les suivants :

- Téléphone mobile
- Câble Data et chargeur
- Ordinateur portable avec logiciel TEMS Investigation installé
- Hub USB
- GPS

D. Les modes de Drive Test :

1) Dédicé / Continue / Long Call Mode :

- Effectuer des appels de manière continue durant le processus de Drive Test
- Lancer un appel avant d'entamer le chemin de Drive test, et l'appel ne se terminera pas jusqu'à la fin de la route.

2) Idle Mode :

- En continuant le processus de Drive Test, la MS est allumée mais aucun appel n'est passé durant cette période.

E. Chemin du Drive Test :

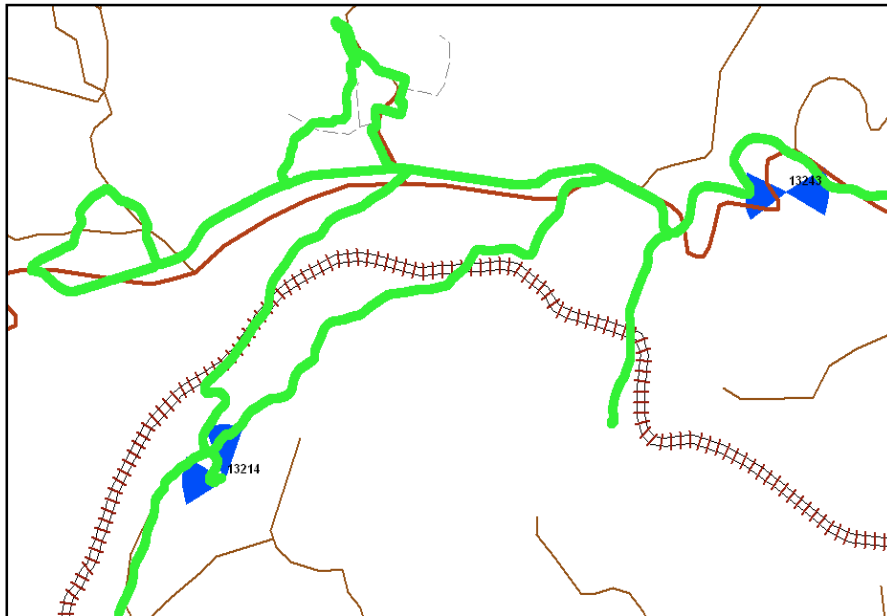


Figure 4.1: Route de drive test

F. Puissance du signal reçu

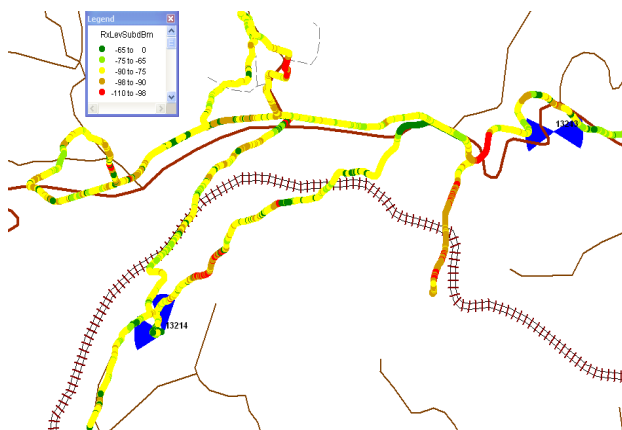


Figure 4.2: Puissance du signal reçu sur la route

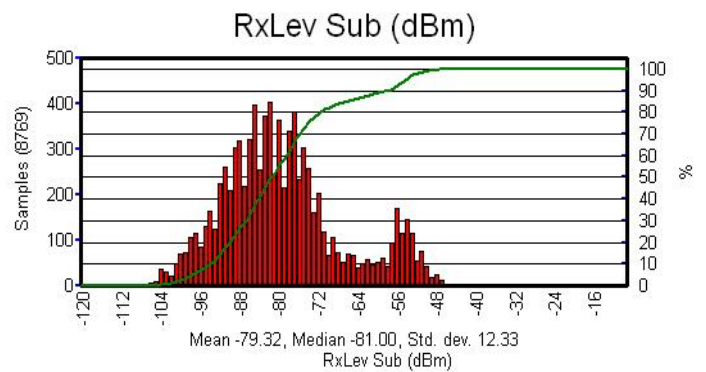


Figure 4.3: Distribution d'échantillon Rx_Lev

G. Qualité du signal

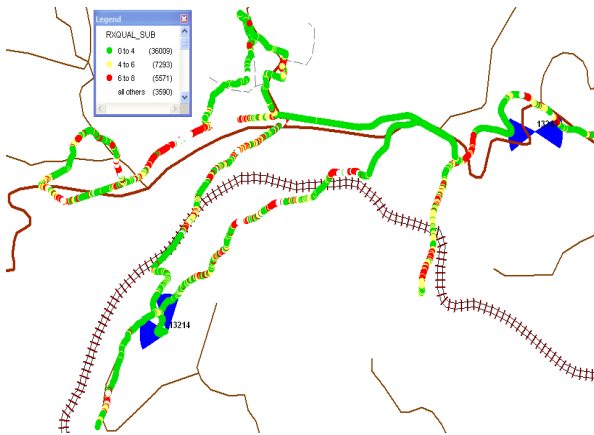


Figure 4.4: Qualité du signal reçu sur la route

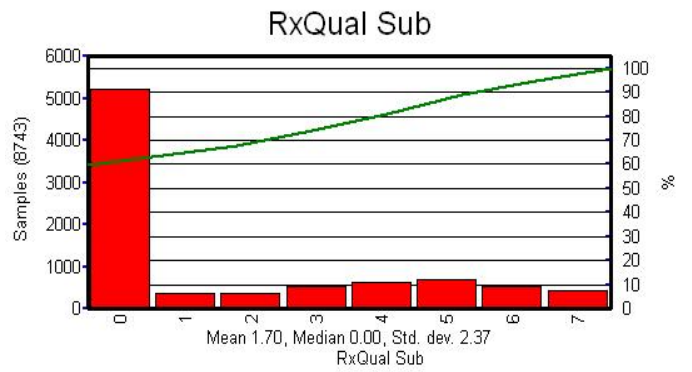


Figure 4.5: Distribution d'échantillon Rx_Qual

H. Timing Advance (TA)

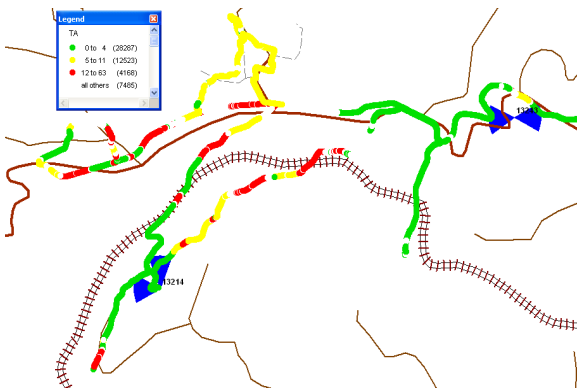


Figure 4.6: Timing Advance sur la route

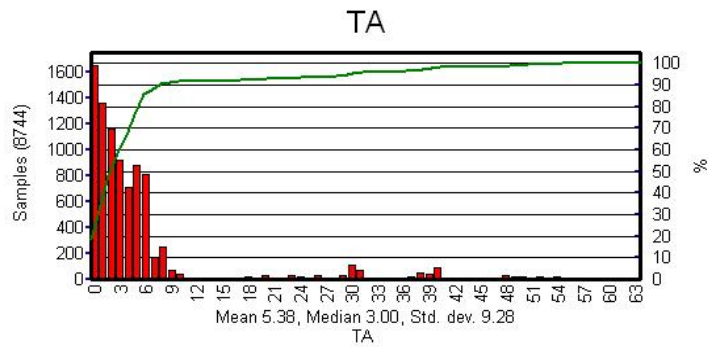


Figure 4.7: Distribution d'échantillon TA

I. C/I Worst

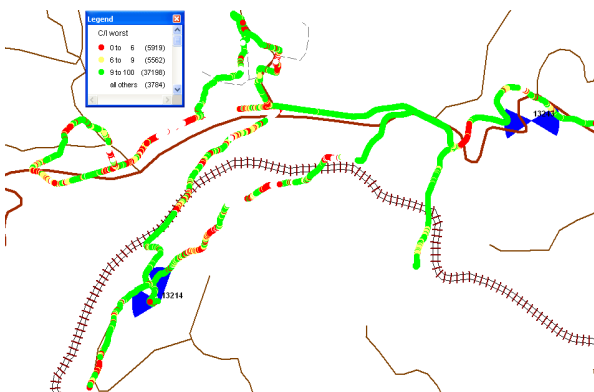


Figure 4.8: C/I sur la route

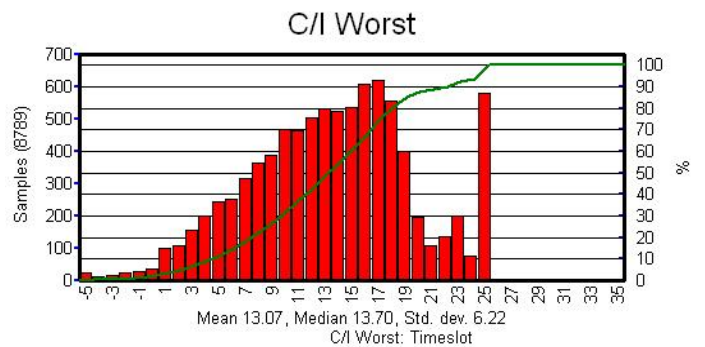


Figure 4.9: Distribution d'échantillon C/I

Ce Drive Test a été effectué afin de vérifier la couverture et la qualité de service (QoS) ; différents problèmes sont rencontrés lors de cette opération parmi lesquelles on cite :

- Problème de couverture : Trou de couverture, Over Shooting
- Problème de capacité
- Problème d'interférence
- Problème de handover
- Problème call drop

4.6.2. Analyse du drive test

La zone ciblée comporte deux sites se situant dans deux directions opposées. Le premier site est une tour quant au 2^{ème} site, il est sous forme d'une station de base installé sur le toit d'une maison.

Après l'enregistrement du fichier de traçage (logfile) du drive test via le logiciel TEMS Investigation, on doit l'exporter sous le logiciel Mapinfo afin d'obtenir les figures illustrant l'état radio réel du réseau dans la zone selon les paramètres radio sélectionnés (RX_Level, RX_Qual, C/A, C/I).

Les figures obtenues montrent qu'il y a un problème de couverture dans l'une des deux zones couverte par les deux sites. Les figures indiquent clairement un niveau de signal très bas donc une couverture très mauvaise, ce qui requiert une investigation sur deux axes :

- a) Estimation du trafic : La zone couverte est un petit quartier comptant un nombre d'habitants très réduit, donc on a pensé à implanter un nouveau site qui va absorber le trafic dans cette zone, mais toutefois cette solution n'est pas optimale car le retour sur investissement est faible à cause du nombre réduit d'habitants. Quant à la deuxième contrainte, elle s'illustre par le temps d'implémentation du nouveau site qui peut durer jusqu'à une année selon le processus d'achat et de planification de ce dernier. La troisième contrainte rencontrée est l'existence d'autres sites adjacents utilisant les fréquences 900 MHz, ce qui va impliquer un manque de fréquences alloués dans le cas où on exécute un scan de fréquences dans cette zone.
- b) Modification des paramètres physique de l'infrastructure (Site) :

Durant ce processus nous allons modifier les tilts et les azimuts des antennes BTS de telle façon à les orienter d'une zone non peuplée vers la zone d'habitation, mais avant cela nous devons déterminer d'une façon exacte l'emplacement des habitants à couvrir et la

visibilité directe de notre secteur sur la zone de ces derniers, ce qui requiert le déclenchement de l'inspection des deux cites ciblés (site visite).

4.6.3. Déclenchement de l'opération d'audit

L'opération d'audit va nous permettre d'évaluer l'état physique de la tour et la zone de couverture en introduisant notre nouvelle technique qui consiste en l'exploitation d'un drone piloté à distance. Le drone va nous permettre d'acquérir des images de haute qualité de l'ensemble de l'infrastructure en un temps records et en éliminant l'intervention humaine qui consiste en l'escalade de la tour.

La nouvelle opération d'audit va suivre les étapes suivantes :

- A. Accès au site : Afin d'effectuer l'opération d'audit un seul ingénieur est nécessaire. Ce dernier va se rendre au site et va planifier le vol du drone (Chemin, Altitude, Navigation, Coordonnées, etc.) autour de l'infrastructure. Ainsi, comme l'opération se fait de manière aérienne, le problème d'accessibilité au site est éliminé.
- B. Planification du vol : L'ingénieur va devoir planifier le vol grâce au logiciel *QGroundControl* sur lequel il va entrer le plan de vol ainsi que les points stratégiques qu'il doit inspecter. Le logiciel va fournir un ensemble d'informations sur le véhicule (Etat, Autonomie, Coordonnées GPS, Altitude, Azimut, Vitesse, etc.) que l'ingénieur va utiliser afin de contrôler le véhicule en temps réel.
- C. Liste de contrôle Avant-vol : Avant de lancer le vol l'ingénieur doit passer par une liste de vérifications du véhicule afin de s'assurer que toutes les conditions sont favorables à la réussite de l'opération.
- D. Lancement du vol : L'ingénieur arme les moteurs du véhicule et lance le décollage du véhicule en se faisant assister par la Commande Radio. Le véhicule va ensuite se diriger vers l'infrastructure et se rapprocher au maximum en gardant une distance minimale de sécurité. Le véhicule équipé d'une caméra à résolution 4k à 30 images par seconde va donc enregistrer des images en continu durant tout le vol autour de l'infrastructure. Le véhicule va ensuite capturer des images panoramiques à 360° autour de l'infrastructure.

Le véhicule aura pour mission d'acquérir les images suivantes :

- Une vue aérienne générale de l'ensemble de l'infrastructure.
- Une vue des trois secteurs de couverture de l'infrastructure.
- Une vue panoramique en 360° autour de l'infrastructure.

- Une vue panoramique du secteur A (Tilts et Azimuts).
- Une vue panoramique du secteur B (Tilts et Azimuts).
- Une vue panoramique du secteur C (Tilts et Azimuts).
- Une vue de l'état du câblage.
- Une vidéo de tout le vol.

La détermination des azimuts et du HBA se fait grâce à la boussole et l'altimètre intégrés au contrôleur de vol embarqué sur le véhicule. Quant aux coordonnées de la zone ils sont obtenus grâce au GPS embarqué sur le véhicule.

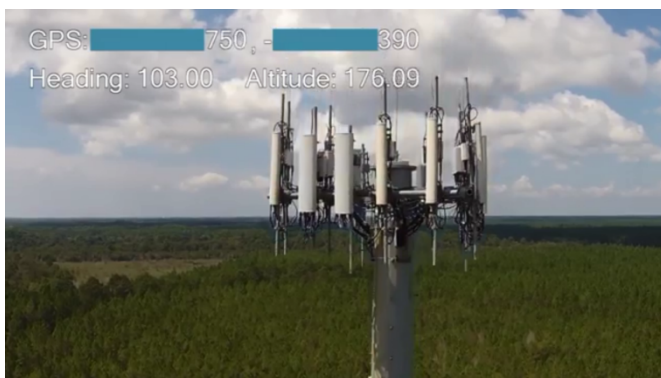


Figure 4.10: Vue générale de la tour.

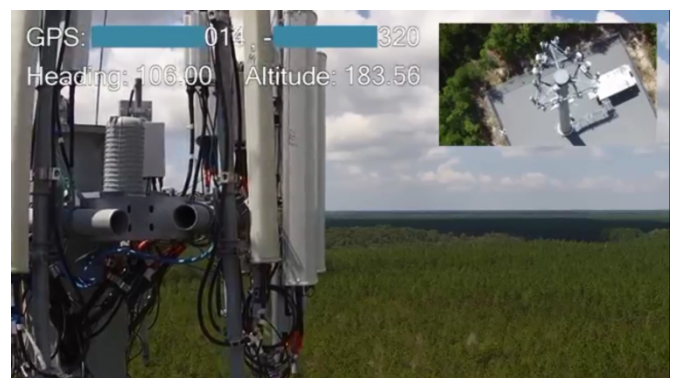


Figure 4.11: Vue du secteur (Tilt)



Figure 4.12: Vue sur le câblage

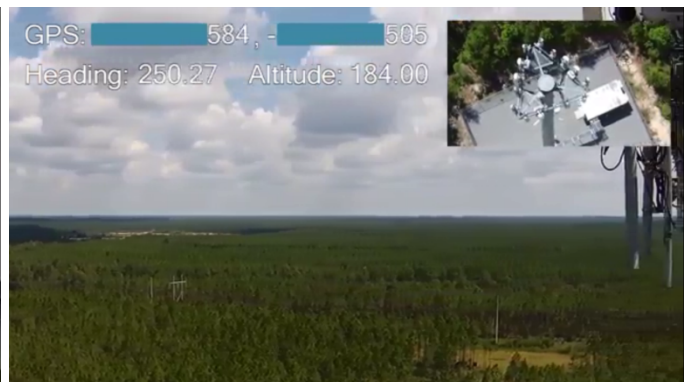


Figure 4.13: Vue aérienne panoramique du secteur

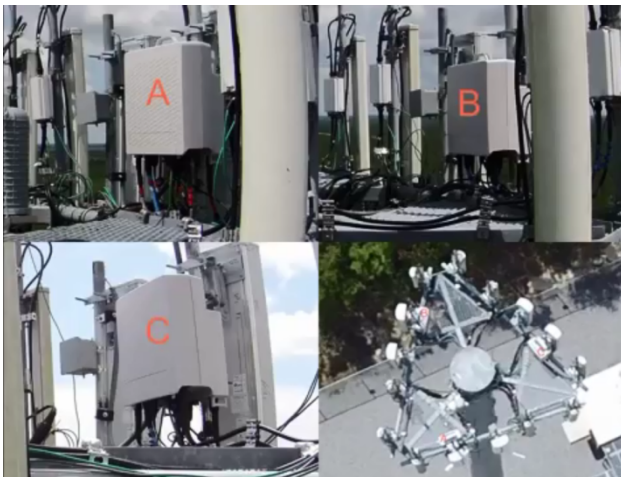


Figure 4.14: Vue sur les trois secteurs (Antennes)



Figure 4.15: Vue sur les trois secteurs (BTS)

E. Fin de l'opération : Le véhicule va automatiquement retourner au point de décollage (Home) en gardant une altitude constante, puis il va ensuite déclencher la procédure d'atterrissage. L'ingénieur va ensuite désarmer les moteurs puis récupérer l'ensemble des données de vol et les images de la caméra afin d'effectuer son analyse.

4.6.4. Diagnostique de l'opération d'audit

Après l'achèvement de l'opération d'inspection on a pu diagnostiquer les problèmes suivants :

- a) Mauvaise planification et intégration du site
- b) Mauvaise orientation / ajustement des paramètres physiques du site
- c) Couverture d'une zone morte avec absence de trafic (montagne)

La solution proposée est l'ajustement des azimuts du site en ciblant le secteur B couvrant la zone morte et qui va être réorienté vers la zone d'habitations.

4.7. Conclusion

Dans ce chapitre on décrit chaque étape du processus de collecte de données, d'analyse et d'implémentation de solutions en introduisant un nouveau processus d'audit de l'infrastructure de télécommunications basé sur l'exploitation d'un drone ayant les capacités et les caractéristiques adaptés spécialement pour ce genre d'interventions. L'opération décrite est enclenché après avoir reçu une plainte d'abonnés et de cette manière notre technique

Illustration d'une Intervention en situation réelle

résout les problèmes rencontrés durant une opération d'audit classique, tel que le coût, le temps, le danger, l'erreur humaine, et le temps de réponse.

Conclusion Générale

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été consacrés à la réalisation du prototype d'UAV permettant d'effectuer les opérations d'inspection des infrastructures de télécommunications. L'utilisateur de cet UAV peut contrôler et planifier l'opération de façon intuitive grâce à son interface de contrôle graphique.

L'inspection des infrastructures de télécommunications est primordiale à la prise de décision concernant l'implémentation des changements sur le réseau. Cette dernière doit s'effectuer de la manière la plus efficace et sécurisée possible même dans les zones difficiles d'accès.

Un opérateur qui fournit un bon service à ses abonnés est celui qui peut parfaitement traiter la liaison radio et qui s'assure de la qualité de ses infrastructures afin de régler correctement les paramètres radio utilisés pour adapter l'ensemble des procédures définies par la norme GSM. La liaison radio subit des fluctuations en permanence, donc l'opérateur surveille en permanence cette liaison ainsi que ces infrastructures et fait les changements nécessaires dans le seuil ou l'état des paramètres diffusés dans les cellules.

En termes de dispositif, notre système aérien réalisé avec précision présente une grande autonomie, fiabilité et efficacité d'exécution

Bibliographie

- [1] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband p.01, 2011
- [2] J. P. Castro, The UMTS Network and Radio access Technology, édition John Wiley & Sons, LTD, 2001.
- [3] EUROPEAN CONFERENCE OF POSTAL AND TELECOMMUNICATIONS ADMINISTRATIONS <http://www.cept.org/cept/>
- [4] J. S. Lee, L. E. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Artech House, Inc. Norwood, MA, USA ©1998, ISBN:0890069905
- [5] GB_000_E1 GSM, GPRS, EDGE Basics ZTE University
- [6] R. J. Wood, S. Avadhanula, E. Steltz et al., An autonomous palm-sized gliding micro air vehicle—design, fabrication, and results of a fully integrated centimeter-scale MAV, IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 14, no. 2, pp. 82–91, 2007.
- [7] S. Bouabdallah, P. Murrieri, and R. Siegwart, Towards autonomous indoor micro VTOL, Autonomous Robots, vol. 18, no. 2, pp. 171–183, 2005.
- [8] T. Hylton, Nano Air Vehicle program, 2010, <http://www.darpa.mil/dso/thrusts/materials/multifunmat/nav/index.htm>.
- [9] P. Pounds, R. Mahony, and P. Corke, Modelling and Control of a Large Quadrotor Robot,” in Control Engineering Practice, vol. 18, pp. 691 – 699, 2010.
- [10] R. Siegwart, S. Bouabdallah, P. Murrieri, Autonomous Robots, vol. 18, Mar 2005.

[11] Honig, Z. (2011), T-Hawk UAV enters Fukushima danger zone, returns with video, 6:48PM April 21, 2011, retrieved on April 22, 2011. <http://www.engadget.com/2011/04/21/t-hawk-uaventers-fukushima-danger-zone-returns-with-video/>.

[12] Faigl, J. Krajnik, T. Vonasek, V. and Preucil, L. (2010) Surveillance planning with localization uncertainty for mobile robots. 3rd Israeli Conference on Robotics

[13] Ng, W.S., and Sharlin, E. (2011) Collocated interaction with flying robots. Technical Report 2011-998-10, Department of Computer Science, University of Calgary, Calgary, Canada (2011)

[14] Higuchi, K., Shimada, T., and Rekimoto, J. (2011) Flying sports assistant: external visual imagery representation for sports training. 2nd Augmented Human International Conference, New York, NY, USA, ACM 7:1-7:4

[15] Amaldi, E., A. Capone, F. Malucelli and F. Signori, "UMTS radioplanning: optimizing base station configuration". In Proceedings of 56th Vehicular Technology Conference. Vol. 2, pp. 768-772.

[16] ERICSSON, GSM System Survey, Ericsson Radio Systems AB.

[17] URL:[http://www.scribd.com/doc/58736089/GSM-RF - Optimization](http://www.scribd.com/doc/58736089/GSM-RF-Optimization)