



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Spécialité : Génie Informatique

Par :

BEY Walid
HAMMAZ Abdelhafidh

Sur le thème

Collaboration entre drones pour une meilleure gestion du territoire

Soutenu publiquement le 20 / 10 / 2021 à Tiaret devant le jury composé de :

Mr. SIABDELHADI Ahmed

Grade Université MAA

Président

Mr. ZIOUAL Tahar

Grade Université MAA

Encadreur

Mr. BENAOUA Habib

Grade Université MAA

Examineur

2020-2021

Dédicace

Je dédie cet ouvrage

A mes parents, mes frères et ma sœur qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mon encadreur, mon binôme et mes proches amis Z.Narimane, G.Lena, B.Imene, B.Sihem, S.Fatima, S.Naserddine, M.Ibrahim, M.Abdelhamid, B.Houcine, B.Abdelhafidh, B.Zakaria, B.Mustapha, et ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous les membres de bureau de la région de Tiaret de l'Organisation Nationale des Etudiants Algériens ONEA.

A tous les agents de sécurité et femmes de ménage de l'université Mathématique et Informatique.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

DADI

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne,
son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

Particulièrement à mon père et ma mère et mes sœurs, pour le goût
à l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur.

A mon binôme et mes frères Khaled, Oussama, Houari, Youcef.

A mes collègues Safa, Abdelhafidh, Abdelhamid, Hocine.

A mon amie proche Rania

A mon encadreur qui m'avez toujours soutenu et encouragé
durant ces années d'études.

A tous les agents de sécurité et femmes de ménage d'université
Mathématique et Informatique.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite
plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

H. Abdelhafidh

Remerciement

Tout en premier lieu, nous remercions Allah le tout puissant, le Miséricordieux qui nous a donné la force et la volonté d'achever ce modeste travail.

Nous remercions chaleureusement notre encadreur **Mr ZIOUAL Tahar** pour sa disponibilité, ses encouragements et sa contribution active à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Nos profonds remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre humble travail.

Toute notre gratitude aux enseignants de l'université IBN KHALDOUN qui ont contribué à notre formation, en particulier du département Informatique.

Nous tenons également à remercier nos familles, nos amis et toutes les personnes de près ou de loin qui nous ont apporté leurs aides et leur soutien.

MERCI

Table des matières

Listes des figures	
Listes des tableaux	
Listes des abréviations	
Introduction générale	
<i>Chapitre I Généralités sur les drones et application aux désastres naturelles</i>	
I.1. Introduction	2
I.2. Drone.....	2
I.3. Catégories des drones	2
I.3.1. Drones terrestres	2
I.3.2. Drones maritimes.....	2
I.3.3. Drones aériens	3
I.4. Drone autonome	3
I.4.1. Caractéristique d'un drone autonome	3
I.5. Principes composant d'un drone	4
I.5.1. Le châssis	4
I.5.2. Le système de propulsion	4
I.5.3. Le contrôleur de vol.....	4
I.5.4. L'immersion.....	5
I.6. Flotte de drones	5
I.7. Approche de collaboration entre les drones	5
I.7.1. System Multi-Agent	5
I.7.1.1. Architecture de communication centraliser.....	6
I.7.1.2. Architecture hiérarchique:	6
I.7.1.3. Architecture de communication par satellite :	7
I.7.1.4. Architecture de communication ad hoc.....	8
I.8. Surveillance des désastres naturels par drones.....	8
I.9. Conclusion	10
<i>Chapitre II Détection d'objets et de changements par drones</i>	

II.1. Introduction	12
II.2. Apprentissage automatique (machine Learning) et L'apprentissage en profondeur (Deep learning).....	12
II.3. Les cartes graphiques embarquées sur les drones	13
II.4. Détection des objets	13
II.4.1. Approche en une seule étape	14
II.4.1.1. You Only Look Once (YOLO).....	14
II.4.1.2. YOLOv5	16
II.4.2. Approche en deux étapes (basée sur la région).....	16
II.4.2.1. Region Convolutional Neural Network (R-CNN)	16
II.4.2.2. Rapid R-CNN (Fast R-CNN)	17
II.4.2.3. Faster R-CNN.....	17
II.4.2.3. Mask R-CNN	18
II.5. Conclusion	18
<i>Chapitre III Collaboration entre drones</i>	
III.1. Introduction	20
III.2. Les tremblements de terre	20
III.3. L'intervention des drones.....	20
III.4. Collaboration entre drone.....	21
III.4.1. Approche proposé	22
III.5. Manipulation des drones	23
III.5.1. ArduPilot	23
III.5.2.QGroundControl	24
III.5.3. MAVLink	24
III.6. Détection des dommages	24
III.7. Évitement des obstacles	26
III.8. Surveillance par drones	27
III. 8.1. Division de zone	27
III.8.2. Connectivité.....	27

III.8.3. Détection des dommages	28
III.8.4. Intervention des équipes de secours	29
III.8.5. Soutien entre drones.....	30
III.8.6. Soutien des drones 2	31
III.8.7. Panne de N.C	32
III.9. Conclusion	33
<i>Chapitre IV Simulation</i>	
IV.1. Introduction	35
IV.2. Simulation de vol.....	35
IV.3. Matériel	35
IV.4. ROS (Robot Operating System).....	35
IV.5. GAZEBO	36
IV.6. Création de carte de navigation (MAP)	36
IV.7. Drone.....	37
IV.8. Processus de communication	37
IV.9. La surveillance.....	39
IV.10. Fin de mission.....	43
IV.11. Conclusion.....	44
Conclusion générale.....	
Perspective.....	
Références	

Listes des figures

Figure I.1 : Architecture de communication centraliser. .	6
Figure I.2 : Architecture hiérarchique.	7
Figure I.3 : Architecture de communication par satellite.	7
Figure I.4 : Architecture de communication ad hoc.	8
Figure II.5 YOLO détection d'objet .	15
Figure II.6. R-CNN détection d'objet.	17
Figure III.7 : Approche proposé de collaboration entre drones.	22
Figure III.8 : Diagramme de séquence surveillance d'une zone par drones.	23
Figure III.9 : Division de zone.	27
Figure III.10 : Connectivité.	27
Figure III.11 : Détection des dommages.	28
Figure III.12 : Intervention des équipes de secours.	29
Figure III.13 : Soutien entre drones.	30
Figure III.14 : Soutien entre drones 2.	31
Figure III.15 : Panne de N.C. .	32
Figure III.16 : Panne de N.C 2.	33
Figure IV.17 : Zone de navigation	36
Figure IV.18 : Drone aérien autonomie quadricoptère.	37
Figure IV.19 : Processus de communication entre Ardupilot et QGroundStation.	38
Figure IV.20 : Processus de communication entre Ardupilot et QGroundStation (2).	39
Figure IV.21 : Liste des drones.	39
Figure IV.22 : Zone de navigation sur QGroundControl.	40
Figure IV.23 : Création parcoure des drones.	40
Figure IV.24 : Surveillance d'une zone par drones.	41
Figure IV.25 : Détection des dangers par drone 1 et drone 2.	41
Figure IV.26 : Détection des dangers par drone 3 et drone 4.	42
Figure IV.27 : L'intervention de drone 1.	43
Figure IV.28 : Fin mission.	43

Listes des tableaux

Tableau II.1 Les avantages et les inconvénients de YOLO.	15
Tableau II.2 Comparaison entre YOLO, YOLOv2, YOLOv3.	16
Tableau III.3 Les inconvénients des approches de collaboration entre drones	21
Tableau III.4 Comparaison des résultats obtenus sur images et vidéos entre les algorithmes utilisés : Mask-RCNN et YOLOv3 608.	25

Listes des abréviations

APM	Ardu Pilot Méga.
CNN	Convolutional Neural Network.
CPU	Computer Processing Unit.
CRF	Case Report Form.
DSOD	Deeply Supervised Object Detector.
DSSD	Deconvolutional Single Shot Detector.
FPS	Feet per second.
G-CNN	Grid Convolutional Neural Network.
GCS	Ground Control Station.
GPS	Global Positioning System.
GPU	Graphic Processing Unit.
Mask R-CNN	Mask Region Convolutional Neural Network.
N.C	Nœud central (principale).
N.S	Nœud secondaire.
R-CNN	Region Convolutional Neural Network.
ROS	Robot opération system.
RPN	Réseau Pédagogique Neuchâtelois.
SPP-net	Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks.
SSD	Single Shot Multi-Box Detector.
SVM	Support Vector Machine.
TCP	Transmission Control Protocol.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle.
UDP	User Datagram Protocol.
YOLO	You Only Look Once.

Introduction générale

Au cours des dernières années, nous avons vu une forte augmentation dans l'utilisation des avions sans pilote - ou "drones". Un des domaines d'exploitation des drones consiste à l'évaluation des conséquences des catastrophes naturelles où les équipes de secours sont devenues incapables avec leur équipement de couvrir les lieux de ces catastrophes en peu de temps, ce qui provoque davantage de dégâts dans la zone touchée, notamment du côté humain.

En effet, les drones se sont avérés très utiles dans des endroits inaccessibles aux secouristes, comme les montagnes et les vallées, en particulier lors de catastrophes naturelles tels que les tremblements de terre, les volcans et les tempêtes. Les drones, fournissent des données et des images en haute résolution pour aider les équipes de secours dans leur mission de sauvetage.

Aujourd'hui, les récentes générations de drones sont considérablement évoluées, ceci est dû notamment à l'intégration de l'intelligence artificielle ouvrant la voie à des drones autonomes qui peuvent effectuer des tâches sans avoir besoin d'un opérateur humain.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, on cherche à mettre en œuvre une approche de collaboration entre drone pour une meilleure surveillance du territoire pour fournir aux services d'intervention immédiate les informations précises et en temps réel dont ils ont besoin pour localiser rapidement les endroits affectés par les catastrophes naturelles.

Ce travail est réparti en quatre chapitres ci-dessous :

Chapitre 1 : Généralités sur les drones et application aux désastres naturelles

Le premier chapitre sera dédié à une généralité sur les drones et sur le system multi-agents avec des approches de collaboration entre les drones, puis quelques applications dans les phénomènes naturelles.

Chapitre 2 : Détection d'objets et de changements par drones

Le deuxième chapitre, une description sur la détection des objets et les algorithmes de la détection de mouvement et suivi d'objets.

Chapitre 3 : Collaboration entre drone

Dans le troisième chapitre nous proposons une nouvelle approche de collaboration pour une meilleure gestion de couverture.

Chapitre 4 : Simulation

Le chapitre quatre représente une simulation des drones avec notre approche.

Chapitre I

*Généralités sur les drones et
application aux désastres naturels*

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les principaux traits du drone, on utilisera cinq sections : la première s'intéressera à une description sur les drones, la seconde à l'utilisation des drones pour la couverture des catastrophes naturelles, la troisième section sur la collaboration entre les drones, quatrième pour les approches (les architectures) de collaboration entre drones. Enfin la dernière section une conclusion de chapitre 1.

I.2. Drone [1]

Le terme « drone » est issu de la langue anglaise et signifie « faux bourdon ». Il désigne un système pilotable à distance, capable d'emporter une charge utile, présentant différentes formes selon les besoins et ayant un niveau d'IA (Intelligence Artificielle) plus ou moins évolué suivant les modèles et les applications auxquelles ils sont destinés. Ce niveau d'IA lui permet d'être partiellement ou totalement indépendant d'actions humaines afin de remplir ses tâches.

Le drone est apparu en Angleterre en 1917, puis il a été développé en 1924. Depuis la Première Guerre mondiale, les États-Unis, l'Allemagne et le Royaume-Uni ont été les premiers pays à les utiliser dans leurs armées, puis l'Union soviétique les a rejoints dans les années 1930.

En 2016, les États-Unis ont publié une vidéo de plus de 100 drones au-dessus d'un lac en Californie qui apparaissait dans un format, un ordre et une compétition en tant que volée d'oiseaux dans la nature, et c'était un grand défi pour l'intelligence artificielle, comme les drones échangé des informations entre eux, distribué des tâches entre eux et exécuté avec succès la mission.

I.3. Catégories des drones [1]

Les drones peuvent être regroupés dans trois grandes catégories, déterminant l'environnement dans lequel ils évoluent. En effet, on distingue :

I.3.1. Drones terrestres

Ces drones sont utilisés pour effectuer du déminage, de la reconnaissance de terrain, du transport de fret, de la prévention des risques chimiques, de la lutte anti-incendie, du désherbage dans le monde de l'agriculture...

I.3.2. Drones maritimes

Ils sont principalement utilisés pour effectuer du déminage, de la recherche sous-marine, de la cartographie des fonds, des interventions sur des installations sous-marines (pipelines, forages, câbles sous-marins ...), de la sécurité côtière.

I.3.3. Drones aériens

Ils sont de loin les plus connus et les plus répandus, que ce soit dans le domaine civil ou militaire. Ces drones sont très largement utilisés pour effectuer des tâches extrêmement variées telle que : la surveillance, la destruction de cibles terrestres, des prises de vidéos et de photos, de la reconstitution trois dimensions, de l'inspection du relevé de terrain etc. Leurs caractéristiques sont extrêmement variées, allant du simple drone de 50 centimètres d'envergure et télé piloté à distance, à des drones furtifs totalement autonomes ayant des envergures supérieures de l'ordre de la dizaine de mètres.

I.4. Drone autonome [2]

Drones autonomes et intelligents permettent de voler en toute sécurité

On peut distinguer plusieurs niveaux d'autonomie pour un drone :

- Le niveau télépiloté.
- Le niveau de pilotage-guidage automatique.
- Le niveau de navigation autonome (avec points de passage et évitement d'obstacles).
- Le niveau de décision autonome (avec gestion de la mission et de la charge utile).

I.4.1. Caractéristique d'un drone autonome [2]

Un drone autonome se caractérise aujourd'hui par les cinq éléments détaillés ci-dessous :

Un auto-pilote embarqué : La fusion de données capteurs et de calculs complexes permet au drone de savoir où il est, où aller, de se maintenir stable sur une position et voler vers une nouvelle position automatiquement d'un point A à un point B sans pilote. Même capable de suivre la détection des changements dans la position qu'il vole dessus.

Un drone sécurisé et sous contrôle dans toutes les situations : Un drone autonome qui ne défaille pas, où tous les cas d'incidents potentiels sont couverts. Il saura toujours se comporter de manière sécurisée.

Un système d'évitement d'obstacles : De nombreuses techniques de fusion de données de capteurs embarqués ont été développées afin de détecter les obstacles et permettre au drone de les éviter aussi bien en intérieur qu'en extérieur.

Un drone qui reconnaît : utilise des algorithmes de reconnaissance basés sur l'apprentissage profond (deep learning) qui permettent de détecter et identifier des objets ou personnes et ainsi de prendre des décisions de comportement.

Une intelligence artificielle embarquée : Les processeurs actuels ont une capacité de calcul qui permet désormais de tirer profit des capteurs pour le drone se déplacer seul ou détecter une image. Aussi lui permet de prendre des décisions basées sur des informations.

I.5. Principes composant d'un drone [3]

I.5.1. Le châssis

Le châssis c'est la base ou le squelette du drone, il est appelé frame par les connaisseurs. On distingue notamment les différents châssis par leurs nombres de bras :

- Le tricoptère (x3 bras).
- Le quadricoptère (x4 bras).
- L'hexacoptère (x6 bras).
- Le modèle Y6 (x3 bras doubles).
- L'octocoptère (x8 bras).
- Le modèle X8 (x4 bras doubles).

I.5.2. Le système de propulsion

Le système de propulsion est composé :

- **De moteurs (rotors) :** ils influent sur la charge maximale supportée et sur le temps de vol.
- **D'hélices :** elles produisent de la poussée.
- **De contrôleurs de vitesses électroniques (ESC) :** ils gèrent la vitesse, la direction et la rotation des drones.
- **D'une batterie :** elle fournit l'énergie nécessaire aux autres composants électriques et est majoritairement au lithium polymère. À savoir : la tension de la batterie doit correspondre aux moteurs.

I.5.3. Le contrôleur de vol

Pour effectuer la communication entre le pilote et le drone, il est également nécessaire d'utiliser une radiocommande d'aéromodélisme (RC) avec émetteur et récepteur portatif. La radiocommande et ses canaux permettront d'effectuer de nombreuses actions :

- Le tangage (mouvement d'avant en arrière).
- L'élévation (prendre ou perdre de l'altitude).
- Le lacet (pour la rotation).
- Le roulis (mouvement latéral).

La radiocommande pourra également être configurée afin d'effectuer des zooms, d'armer ou de désarmer les moteurs, etc.

I.5.4. L'immersion

Pour voir ce que votre drone filme en temps réel, il doit donc être composé d'une mini caméra avec émetteur vidéo.

I.6. Flotte de drones

Une flotte de drones peut être définie comme un ensemble de drones coopératifs qui partage les tâches entre les drones de la flotte pour réaliser des missions complexes (par exemple, dans le but d'étendre la portée de la communication en relayant les données entre les drones).

La collaboration de plusieurs drones est une solution qui offre plusieurs avantages :

- **Coût** : le coût d'acquisition et de maintenance des mini-drones mis en jeu dans une flotte de drones peut être moindre que l'utilisation d'un seul drone de grande taille.
- **Mise à l'échelle** : l'usage d'un seul drone ne permet de couvrir qu'une zone limitée. En effet, l'étendue de la mission dépend de la batterie et de la présence d'obstacles (par exemple : une montagne). Avec une flotte de drones, il est possible de créer un relais de drones pour contourner les éventuels obstacles et agrandir la zone de couverture de l'opération.
- **Survie de la mission** : la mission peut être interrompue en cas de panne d'un élément physique ou logiciel du système UAS. Toutefois, avec une flotte de drones, l'opération peut se poursuivre en cas de panne d'un des drones ou en cas d'épuisement de la batterie en reconfigurant les ressources de la flotte.
- **Latence** la densité de nœuds est proportionnelle au temps d'exécution de la mission. Plus le nombre de nœuds dans le réseau est élevé, plus le temps d'exécution de la mission est optimisé.

I.7. Approche de collaboration entre les drones [4]

I.7.1. System Multi-Agent

Un système multi-agents (MAS) est un réseau faiblement couplé d'agents logiciels qui interagissent pour résoudre des problèmes qui dépassent les capacités individuelles ou les connaissances de chaque agent logiciel.

Le Système Multi-Agent dépend plusieurs architectures parmi ces architectures :

I.7.1.1. Architecture de communication centraliser

Une architecture de communication centralisée de flotte de drones [Figure I.1] est caractérisée par un lien sans fil direct entre un nœud centralisé (par exemple, le centre de contrôle) et les drones aux alentours. Dans cette architecture, chaque drone est directement connecté au centre de contrôle pour transmettre les informations de chaque zone et pour recevoir le flux de commande et de contrôle. Les drones ne sont pas directement connectés entre eux, ce qui nécessite d'envoyer les informations entre drones voisins en passant par le centre de contrôle. Dans ce cas, le centre de contrôle agit comme un nœud relais.

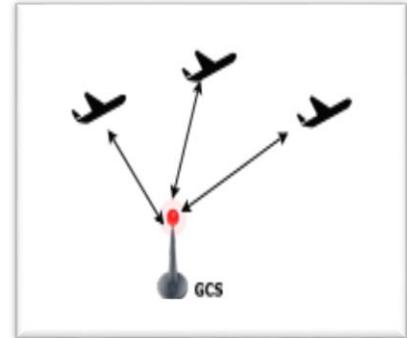


Figure I.1 : Architecture de communication centralisée [4].

Cette architecture comporte plusieurs inconvénients :

- En cas de présence d'un obstacle entre un drone et la station sol (montagne ou bâtiment, par exemple), le signal peut être bloqué et empêcher.
- La latence de transfert d'un paquet de données entre deux drones voisins peut être longue en raison du relais obligé par la station sol.

I.7.1.2. Architecture hiérarchique :

Les conceptions hiérarchiques [Figure I.2] présentent une architecture en couches dans laquelle les couches supérieures sont affectées à la prise de décision, les couches intermédiaires traitent de la supervision et du contrôle, et les méthodes récurrentes telles que le contrôle de l'opérateur sont traitées par les couches inférieures.

L'ingénierie hiérarchique de commande et de contrôle est appliquée de sorte que l'agent principal analyse la situation globale en fonction des entrées fournies par les agents au niveau de l'unité lorsqu'ils naviguent dans l'environnement. Sur la base de l'aperçu de la situation.

Le chef répartit les tâches et dirige les clients pour rendre l'ensemble du processus de mission (recherche et de secours) plus efficace.



Figure I.2 : Architecture hiérarchique[4].

I.7.1.3. Architecture de communication par satellite :

Dans cette configuration, le satellite fonctionne comme un relais de communication [Figure I.3]. Ses antennes de réception reçoivent les signaux émis depuis la station sol ; ces signaux sont par la suite transposés en fréquence et amplifiés avant d'être retransmis vers les drones.

L'utilisation des satellites présente l'avantage d'assurer une couverture plus efficace que celle d'une communication centralisée. Mais, en présence d'obstacles autour de la station sol (un immeuble, par exemple), la communication vers le satellite peut être partiellement atténuée ou complètement bloquée.

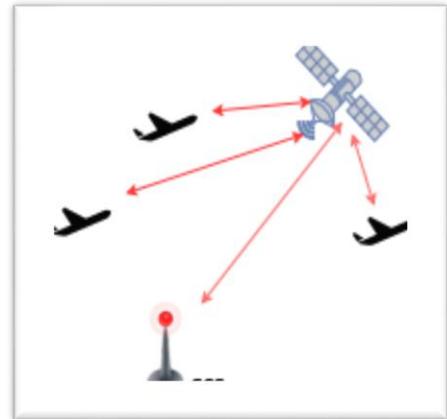


Figure I.3 : Architecture de communication par satellite[4].

I.7.1.4. Architecture de communication ad hoc

Un réseau ad hoc sans fil [Figure I.4] est caractérisé par un ensemble d'entités potentiellement mobiles possédant une ou plusieurs interfaces radio qui mettent en place un réseau de communication de courte durée selon les besoins de l'application. Ces nœuds peuvent être amenés à entrer ou sortir du réseau à tout moment. Le réseau ad hoc sans fil est décentralisé et capable de s'auto-organiser sans la nécessité d'une infrastructure fixe. Si un émetteur n'est pas à portée directe de la machine destination, les informations sont

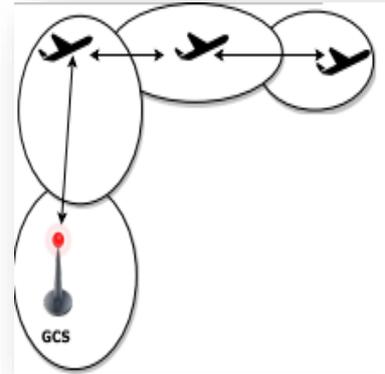


Figure I.4 : Architecture de communication ad hoc [4]

transmises de proche en proche, le long d'un chemin établi et maintenu par le réseau en cas de modification de la topologie. Contrairement au réseau sans fil traditionnel, la zone de service du réseau est la zone géographique dans laquelle les nœuds sont distribués.

Le réseau ad hoc sans fil permet la communication entre deux nœuds qui sont hors de portée directe l'un de l'autre.

Les avantages de l'architecture ad hoc par rapport aux autres types d'architecture pour une flotte de drones :

- La non-nécessité d'une infrastructure dédiée : les réseaux ad hoc sans fil se distinguent des autres types de réseaux par l'absence d'infrastructure centralisée. Les nœuds du réseau sont responsables de l'établissement et du maintien de la connectivité du réseau.
- La mise à l'échelle et la reconfiguration agile de la mission exécutée par la flotte de drones : avec l'utilisation d'un système à infrastructure centrale ou par satellite, la zone d'opération sera limitée par la zone de couverture de communication du relais. De plus, en cas de présence d'obstacles, la communication entre les drones peut être bloquée. Grâce à l'architecture ad hoc, il est possible de former une chaîne de drones, qui viendrait contourner l'obstacle.

I.8. Surveillance des désastres naturels par drones

Les drones sont exploités dans divers domaines sociaux et économiques, tels que la surveillance d'évènement, dans le domaine agricole ... etc. Dans notre travail nous nous intéressons particulièrement à l'utilisation de drones dans la surveillance des désastres naturels.

Selon les rapports des Nations Unies, au cours des 20 dernières années, les catastrophes naturelles ont causé 1,3 million de morts et ont fait 4,4 milliards de blessés, sans-abri, déplacés ou nécessitant une aide d'urgence [5].

Face à ces chiffres terrifiants, il est devenu urgent de développer de nouvelles solutions pour atténuer les dommages causés par les catastrophes. De telles solutions devraient aider les autorités de gestion des catastrophes à agir de la manière la plus efficace en prévision d'une catastrophe ou lors de la planification des opérations de sauvetage pendant ou après la catastrophe. Selon le type de catastrophe encouru, incendie, inondation, tremblement de terre. Les équipes de sauvetage doivent obtenir des réponses à ces questions :

- Quelle est l'étendue des dommages ?
- Quels sont les endroits les plus touchés ?
- Quelles sont les routes carrossables restantes ?
- Quels sont les abris possibles pour l'évacuation ?
- etc.

La réponse aux questions ci-dessus peut être répondue par une surveillance complète de la zone touchée. Les outils de surveillance les plus efficaces pour cette surveillance sont les drones. En effet les drones sont faciles et rapides à déployer et peuvent embarquer un ensemble de capteurs et de caméras qui fournissent des données en temps quasi-réel sur l'état et l'impact du désastre dans la zone sinistrée.

Les récentes percées de la technologie d'apprentissage automatique dans la reconnaissance d'images et la détection d'objets ont créé une vague d'opportunités pour développer de nouvelles solutions dans différents domaines. Suite à ce succès, des méthodes d'apprentissage sont aussi appliquées dans les missions des drones pour effectuer des tâches civiles telles que la surveillance des catastrophes et le sauvetage. Un panorama de travaux a été réalisé dans ce sens [6] :

Les travaux réalisés dans [7] combinent des informations collectées sur les réseaux sociaux avec des images satellites et des images de drones pour proposer une solution alimentée par le crowdsourcing et l'apprentissage automatique pour identifier rapidement des objets d'intérêt telles que les abris endommagés et les routes bloquées.

Dans [8], les auteurs abordent les catastrophes liées aux inondations, les auteurs ont utilisé un classificateur de forêt aléatoire et une analyse de texture d'images aériennes pour cartographier et extraire les zones urbaines inondées.

Les recherches fournies dans [9] portent sur les catastrophes liées aux tremblements de terre. Ils proposent de repérer les bâtiments légèrement touchés qui risquent de s'effondrer. Il s'agit d'une méthode non supervisée basée sur le modèle CRF pour reconnaître les « trous de toit » sur les maisons rurales. Ils introduisent une nouvelle approche de détection de changement avec une carte RVB-D générée par reconstruction 3D, cette solution peut être appliquée à toutes sortes de catastrophes, en particulier lors d'un tremblement de terre pour repérer rapidement les bâtiments effondrés. Deux ensembles d'images aériennes d'entrée à différentes périodes sont utilisés, puis une carte RVB-D orthogonale est générée et les bâtiments ayant subi un changement sont repérées par classification forestière aléatoire [9].

Le travail dans [10], les auteurs utilisent une technique de vision par ordinateur basée sur l'apprentissage approfondi 'deep learning' intégrée à un petit drone pour détecter les fissures sur les bâtiments afin de prévenir leur effondrement. La technique d'apprentissage approfondi proposée est le réseau de neurones à convolution profonde DCNN, qui a pu atteindre une précision de 90 % dans la détection des fissures dans les bâtiments.

Les travaux dans [11], proposent une détection de changement en temps réel pour détecter les dégâts sur la ville étudiée. Le drone utilise un apprentissage en profondeur pour localiser, comparer et identifier les changements entre une image de référence et une image capturée en temps réel. La solution fournie une haute performance de 98,3 %.

1.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fourni une vue globale sur les drones et les étapes de développement, ainsi leur utilisation dans plusieurs domaines notamment la surveillance des désastres et quelques approches de collaboration entre drones.

Du prochain chapitre, nous introduisons les approches et technologies utilisées par les drones pour détecter les dommages causés par les désastres tels que les fissures sur les routes et les bâtiments en risque d'effondrement.

Chapitre II

*Détection d'objets et de
changements par drones*

II.1. Introduction

Les drones équipés de techniques de vision sont devenus très populaires ces dernières années grâce à leur large utilisation dans une large gamme d'applications.

Les opérations de recherche et de sauvetage pourraient grandement bénéficier de l'utilisation de drones pour les missions de recherche en raison de leur capacité à couvrir plus rapidement une vaste et large zone géographique et à fournir des images de haute qualité. Néanmoins, afin d'exploiter pleinement leur potentiel, il est important d'utiliser correctement les informations fournies par la caméra embarquée. À cette fin, une détection d'objets efficace des images aériennes pourrait améliorer considérablement le résultat des opérations recherche et sauvetage.

Dans ce chapitre, nous proposons une revue des frameworks de détection d'objets basés sur l'apprentissage en profondeur. Notre revue commence par une définition de l'apprentissage automatique (machine Learning) et de l'apprentissage profond (Deep learning).

Ensuite, nous nous concentrons sur les architectures de détection d'objets et quelques modifications apportées à celles-ci pour améliorer les performances de détection.

II.2. Apprentissage automatique (machine Learning) et L'apprentissage en profondeur (Deep learning) [12]

Machine Learning est une technologie d'intelligence artificielle permettant aux ordinateurs d'apprendre sans avoir été programmés explicitement à cet effet. Pour apprendre et se développer, les ordinateurs ont toutefois besoin de données à analyser et sur lesquelles s'entraîner. De fait, le Big Data est l'essence du Machine Learning, et c'est la technologie qui permet d'exploiter pleinement le potentiel du Big Data.

L'apprentissage automatique est un type de programmation complètement différent. Au lieu d'une approche procédurale, nous enseignons ou formons l'ordinateur à la correspondance de modèles. Des milliers d'images sont utilisées pour indiquer à l'ordinateur de reconnaître les dégâts. Alors plus tard, quand la caméra du drone survole par exemple une route cassée, l'ordinateur dira : "Attends, j'ai déjà vu ça, c'est un dégât".

L'apprentissage en profondeur est un sous-domaine de l'apprentissage automatique. Bien que les deux entrent dans la grande catégorie de l'intelligence artificielle, l'apprentissage en profondeur est ce qui alimente la plupart de l'intelligence artificielle humaine.

L'apprentissage profond structure les algorithmes en couches pour créer un «réseau neuronal artificiel» capable d'apprendre et de prendre des décisions intelligentes par lui-même.

II.3. Les cartes graphiques embarquées sur les drones [13]

Les drones et les robots s'équipent de vision par ordinateur à l'appui de caméras haute résolution et d'Intelligence Artificielle. Mais la pièce clé du dispositif reste la carte graphique embarquée, qui permet de reconnaître objets et images captées par ces machines.

Jetson TX1 de Nvidia permet de développer des fonctionnalités d'auto-navigation et par exemple d'éviter les collisions, détection des changements...

Les enjeux de ce type de matériel et logiciel sont de pouvoir traiter des flux d'images en direct pour permettre aux outils logiciels l'analyse instantanée. L'idée est d'assurer plus de fiabilité aux drones et aux robots. Mais ces outils peuvent également être utilisés dans les domaines de l'imagerie médicale et des systèmes de surveillance. Par exemple, une caméra de surveillance équipée de la carte TX1 peut reconnaître des visages dans une foule, identifier des objets ou encore compter le nombre de personnes présentes à l'écran.

La carte TX1 est équipée d'un CPU quad-core 64-bit ARM et d'un GPU 256-core (architecture Maxwell). Une puissance suffisante pour faire tourner algorithmes et analyse embarquée. La carte s'appuie également sur un nouveau moteur d'apprentissage machine nommé TensorRT, chargé d'analyser les pixels pour fournir des éléments de contexte.

Les ordinateurs peuvent être entraînés à reconnaître des images ou des contenus vocaux via des systèmes de deep-learning.

Les modèles et jeux de données utilisés pour l'entraînement des machines sont principalement créés aujourd'hui sur des fermes de serveurs abritant d'énormes puissances informatiques. La puissance des processeurs embarqués dans les drones et les robots est donc bien en deçà de cette capacité. Néanmoins, ce matériel permet d'obtenir des réponses moins précises mais suffisamment utiles pour l'analyse en déplacement.

II.4. Détection des objets [14]

La détection d'objets est un domaine très actif de la recherche fournit des informations précieuses pour la compréhension sémantique des images et des vidéos, et est liée à de nombreuses applications, y compris la classification d'images, l'analyse du comportement humain, la reconnaissance faciale et la conduite autonome.

La détection d'objets vise à localiser et à classer les objets existants dans n'importe quelle image, et à les étiqueter avec des cadres de délimitation rectangulaires pour montrer les confidences de l'existence. Les cadres des méthodes génériques de détection d'objets peuvent principalement être classés en deux types. L'un suit le pipeline de détection d'objets traditionnel, générant d'abord des propositions de région, puis classant chaque proposition en différentes catégories d'objets. L'autre considère la détection d'objets comme un problème de régression ou de classification, adoptant un cadre unifié pour obtenir directement les résultats finaux (catégories et emplacements). Les méthodes basées

sur la proposition de région comprennent principalement R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN et Mask R-CNN, dont certains sont corrélés entre eux (par exemple, SPP-net modifie RCNN avec une couche SPP). La régression sont des méthodes basées sur la classification comprend principalement MultiBox AttentionNet, G-CNN, YOLO, SSD, YOLOv2, DSSD et DSOD. Les corrélations entre ces deux pipelines sont comblées par les ancrages introduits dans Faster RCNN.

L'objectif principal de ces conceptions est d'améliorer la mesure de la précision de détection en termes de mAP et la complexité de calcul de leurs modèles afin qu'ils puissent atteindre des performances en temps réel pour les plates-formes embarquées et mobiles. Ces modèles de détection peuvent être divisés en deux catégories en fonction de leur architecture de haut niveau :

- l'approche en une seule étape
- l'approche en deux étapes (basée sur la région).

II.4.1. Approche en une seule étape

Les détecteurs à pas unique sont des modèles simples et rapides avec une précision raisonnable par rapport aux réseaux régionaux. Ils sont similaires aux réseaux RPN, mais au lieu de prédire des objets / non-objets, ils prédisent directement les classes d'objets et coordonnent les décalages. Certains des détecteurs à une seule étape sont YOLO.

II.4.1.1. You Only Look Once (YOLO) [15]

YOLO est une nouvelle approche pour faire la détection d'objets. Les travaux antérieurs sur la détection d'objets réutilisent les classificateurs pour effectuer la détection. Au lieu de cela, YOLO utilise la détection d'objets comme un problème de régression vers des boîtes englobantes spatialement séparées et des probabilités de classe associées. Un seul réseau neuronal prédit les boîtes englobantes et les probabilités de classe directement à partir d'images complètes en une seule évaluation. Étant donné que l'ensemble du pipeline de détection est un réseau unique, il peut être optimisé de bout en bout directement sur les performances de détection.

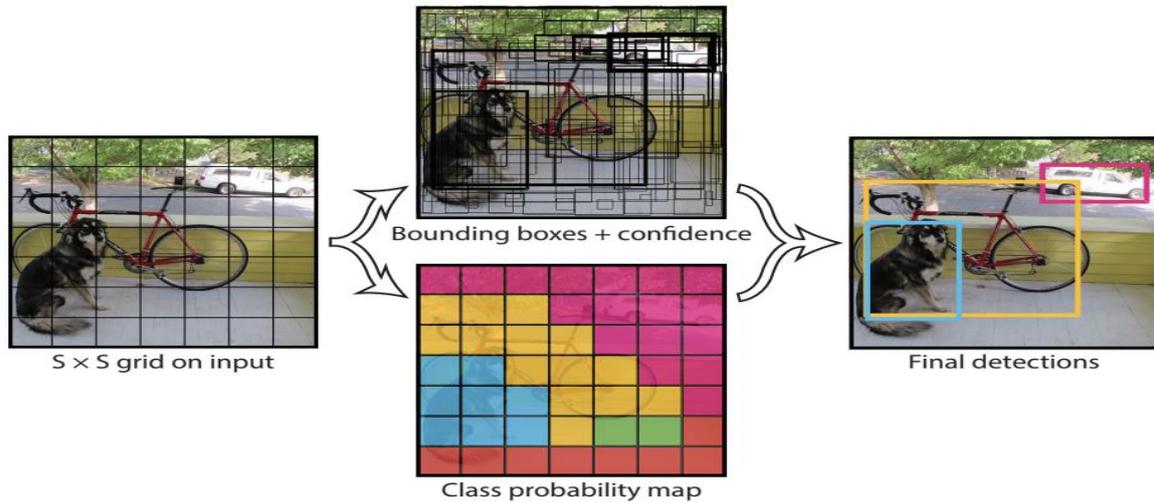


Figure II.5. YOLO détection d'objet [8].

L'entraînement de YOLO est basé sur une fonction de perte qui correspond directement aux performances de détection et entraîne conjointement l'ensemble du modèle. Bien que YOLO soit proche du temps réel, il a des limitations spatiales sur les prédictions de boîte englobante car chaque cellule de la grille ne prédit que deux boîtes englobantes et ne peut avoir qu'une seule catégorie. Ainsi, il ne fonctionne pas bien sur les petits objets et ceux qui apparaissent en groupes. Il est également confronté à un problème de déséquilibre de classe important pendant la formation.

Le tableaux suivant représente les avantages et désavantage de YOLO :

Avantages de YOLO	Désavantage de YOLO :
<ul style="list-style-type: none"> • Le taux de fausse détection d'arrière-plan est faible. • Rapide et simple. • YOLO est également applicable à la détection d'objets dans les œuvres artistiques. Son taux de détection d'objets d'image non naturels est beaucoup plus élevé que celui des méthodes de détection des séries RCNN. 	<ul style="list-style-type: none"> • Étant donné que la couche de sortie est une couche entièrement connectée, le modèle d'apprentissage YOLO ne prend en charge que la même résolution d'entrée que l'image d'apprentissage lors de la détection. • chaque grille ne peut prédire qu'au plus un objet. Lorsque l'objet occupe une petite partie de l'écran, comme une image contenant des troupeaux ou des oiseaux, chaque grille contient plusieurs objets, mais un seul d'entre eux peut être détecté. C'est un défaut de la méthode YOLO.

Tableau II.1 Les avantages et les inconvénients de YOLO

Ainsi, YOLO a été plus développé pour résoudre plusieurs problèmes à partir des séries YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5

Le tableau suivant montre la référence entre les versions 1, 2 et 3

	YOLO	YOLOv2	YOLOv3
Taille d'entrée	224 x 224	448 x 448	
Framework	Darknet trained on ImageNet—1,000.	Darknet-19 19 couches de convolution et 5 couches max pool.	Darknet-53 53 couches convolutives. Pour la détection, 53 couches supplémentaires sont ajoutées, ce qui donne un total de 106 couches.
Détection de petite taille	Il ne peut pas trouver de petites images	Mieux que YOLO pour détecter les petites images.	Mieux que YOLO v2 pour la détection de petites images

Tableau II.2 Comparaison entre YOLO, YOLOv2, YOLOv3

II.4.1.2. YOLOv5

YOLOv5 est le dernier modèle de détection d'objets développé par ultralytics.

La taille de YOLOv5 n'est que de 27 Mo, et YOLOv4 utilisant une architecture darknet a 244 Mo. Cela montre que YOLOv5 est vraiment petit, près de 90% plus petit que YOLOv4. En termes d'indicateurs de précision, YOLOv5 est équivalent à YOLOv4.

YOLOv5 prétend être très rapide, a une taille de modèle très légère et équivaut à la référence YOLOv4 en termes de précision.

II.4.2. Approche en deux étapes (basée sur la région)

Les détecteurs basés sur la région divisent la détection d'objets en deux étapes. La première étape génère un ensemble de régions de l'image qui ont une forte probabilité d'être un objet. La deuxième étape effectue ensuite la détection finale et la classification des objets en prenant ces régions en entrée. Certains des détecteurs basés sur la région sont R-CNN, Fast R CNN, Faster R-CNN, Mask R-CNN.

II.4.2.1. Region Convolutional Neural Network (R-CNN) [16]

Le modèle R-CNN était un modèle très influent qui a façonné la structure des détecteurs d'objets modernes. C'était le premier détecteur qui proposait l'approche en deux étapes. Il a un modèle de proposition de région qui propose des taches ou des régions dans l'image qui ont une probabilité plus élevée d'être des objets. R-CNN génère ces propositions de régions à l'aide d'un algorithme appelé Recherche sélective. La recherche sélective traite l'image à travers des fenêtres coulissantes de

différentes tailles, et pour chaque taille essaie de regrouper les pixels adjacents par couleur, intensité ou texture pour identifier les objets.

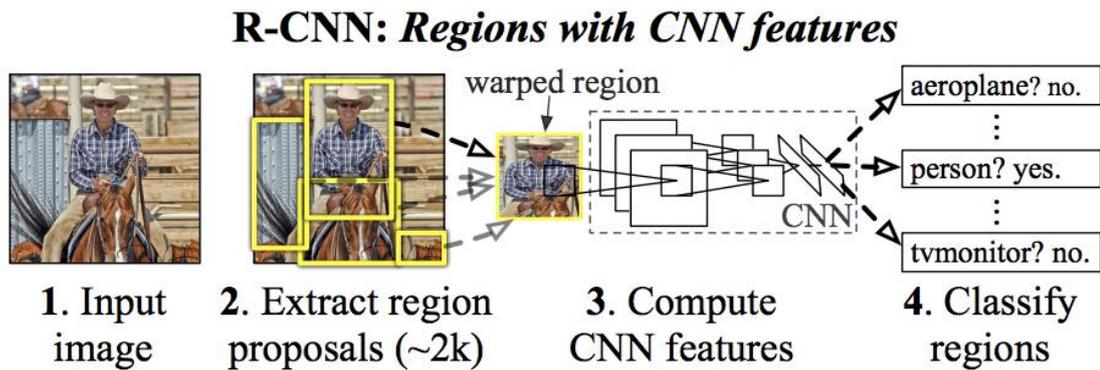


Figure II.6. R-CNN détection d'objet [9].

Le modèle R-CNN prend 47 secondes pour détecter les objets dans une seule image car il dispose d'un pipeline de formation complexe en plusieurs étapes qui nécessite un ajustement minutieux des paramètres.

II.4.2.2. Rapid R-CNN (Fast R-CNN)

Fast R-CNN est une amélioration de R-CNN qui se compose d'une tête convolutive et de deux têtes SVM (le SVM était le programme qui obtenait le meilleur score en termes de détection et de classification) pour la classification et la régression. Le Fast RCNN vise à exécuter la base convolutive une seule fois sur toute l'image pour générer une carte de caractéristiques. Il recadre les régions à partir de cette carte de caractéristiques générée au lieu de l'image d'entrée entière, réduisant ainsi à la fois le temps et l'espace. La procédure de recadrage est effectuée par un algorithme appelé ROI pooling qui prend les coordonnées des régions obtenues via la recherche sélective et les rogne directement à partir de la carte des caractéristiques de l'image d'origine. De plus, Fast RCNN a introduit un pipeline de formation en une seule étape et une perte multitâche, permettant aux chefs de classification et de régression d'être formés simultanément.

Fast R-CNN est plus rapide et plus efficace en mémoire par rapport au RCNN.

II.4.2.3. Faster R-CNN

Même si Fast RCNN s'est beaucoup amélioré en termes de vitesse et d'empreinte mémoire, il souffre toujours d'une surcharge de l'étape de proposition de région effectuée par un algorithme de recherche sélective, prenant beaucoup de temps pour générer des propositions. Le RCNN plus rapide a introduit le Réseau de proposition de région (RPN) pour remplacer la recherche sélective, qui a la capacité de prédire des régions d'échelles et de rapports d'aspect multiples à travers l'image à l'aide d'un concept appelé ancres. Les ancres sont des cultures rectangulaires d'images couvrant toutes les formes et tailles

de régions. Le RCNN plus rapide dispose d'un pipeline d'apprentissage en profondeur de bout en bout et a atteint un temps d'inférence de 198 ms par image.

Invariance d'échelle l'un des problèmes non traités par Faster RCNN. Où le modèle devrait être capable de détecter l'objet de près et aussi de loin.

II.4.2.3. Mask R-CNN

Le modèle Mask R-CNN est une extension du modèle Faster R-CNN, comme les modèles précédents, permet de détecter des objets et de les classifier. Sa particularité est d'ajouter à cette tâche de détection la segmentation d'instance, c'est à dire que chaque pixel de l'image sera classé. Ainsi, ce double "compétence" représente un avantage par rapport à des modèles de détection, elle vient affiner le résultat proposé. De plus, contrairement à la segmentation sémantique, qui permet d'associer à chaque pixel un label, la segmentation d'instance associe un masque et un label à chaque objet, même si ces objets appartiennent à la même classe.

Il est rapide, relativement simple à implémenter et flexible quant aux tâches pouvant lui être incombées

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné les Frameworks de détection d'objets basés sur l'apprentissage profond. Nous avons également abordé les modifications apportées au R-CNN pour améliorer la performance, aussi le fonctionnement de YOLO et ses avantages.

Nous déterminerons dans le chapitre suivant le Framework utilise au niveau des drones pour la détection des dommages en temps réel et le type de désastre à surveiller.

Chapitre III

Collaboration entre drones

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous décrivons les problèmes auxquels les équipes d'intervention sont confrontées en cas de séisme.

Pour que les drones constituent une solution efficace sur le terrain, et effectuent leur mission de détection des dommages de manière fiable, il est nécessaire que notre solution tolère la panne du drone que ce soit du côté matériel ou du côté de la couverture. Pour cela, on propose un protocole de collaboration entre drones pour une meilleure surveillance de territoire

III.2. Les tremblements de terre

Les catastrophes naturelles les plus coûteuses de 2020 ont presque atteint les 150 milliards de dollars de dommages assurés, un chiffre plus important qu'en 2019 qui reflète l'impact grandissant du réchauffement climatique, Ces catastrophes ont fait également 3.500 morts et ont déplacé plus de 13,5 millions de personnes [17].

Les tremblements de terre comptent parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes sur terre. Ils représentent un grave danger parce qu'ils sont généralement imprévisibles. Bien qu'un tremblement de terre ne dure souvent que quelques secondes, ses conséquences sont considérables. Les vibrations, dévastatrices, tuent souvent des milliers de personnes, aussi les dégâts matériels avec des maisons endommagées ou même détruites, coupures de routes .Les infrastructures sont souvent touchées comme par exemple les sources d'eau [17].

Parfois, les équipes de secours rencontrent des routes coupées, ce qui les oblige à rechercher un chemin qui n'a pas été endommagé par le séisme pour atteindre l'objectif souhaité.

Plus, le nombre de fournitures des équipes d'intervention peut être insuffisant pour couvrir le site sinistré, ce qui nécessite une demande d'accompagnement, donc une perte de temps et une augmentation des dégâts.

C'est ce qui nous a poussés à trouver une solution efficace et garantie pour fournir aux services d'intervention immédiate les informations précises et en temps réel.

III.3. L'intervention des drones

Les drones sont utilisés afin d'estimer les pertes et les dommages que causent les tremblements de terre.

Ce genre d'opération est crucial afin d'identifier les endroits où une aide doit être apportée d'urgence, où Les drones détectent les routes, les ponts, les infrastructures sensibles, les habitations et les entreprises ainsi les personnes qui ont été blessés.

Aussi, les drones ont la capacité d'éviter les obstacles pour atteindre l'objectif sans aucun retard.

Donc les drones sont nécessaires pour estimer les dommages et pour fournir aux services d'intervention immédiate les informations précises et en temps réel pour localiser rapidement les victimes de catastrophes naturelles, et les secourir.

Pour tirer pleinement parti du potentiel des drones, leur utilisation doit être soutenue par un système d'exploitation efficace et structuré. Celui-ci doit être capable de traiter les données en temps réel et de fournir des informations objectives pour permettre la prise de décisions critiques.

III.4. Collaboration entre drone

On a vu dans le Chapitre I des architectures de collaboration entre drones déjà proposés.

Mais les inconvénients de chaque approche nous a obligés à trouver une nouvelle approche plus efficace pour obtenir des résultats satisfaisants en temps réel sans perdre aucune information.

Approches	Inconvénients
Centralisée/Satellite.	<ul style="list-style-type: none"> • Le signal peut être bloqué dans la présence des obstacles.
Ad-hoc.	<ul style="list-style-type: none"> • Communication intermittente. • non-contrôle de l'entrée et de la sortie des nœuds.
Hiérarchique.	<ul style="list-style-type: none"> • Panne de l'agent principal.

Tableau III.3 Les inconvénients des approches de collaboration entre drones

Aussi ces approches ont été basés sur un seul nœud centralisé (Control center) qui subit beaucoup de charge pendant les tâches assignées aux drones (la reconnaissance des dégâts, la géolocalisation, la coordination entre les drones), ce qui peut conduire à un chevauchement d'informations et en cas de défaut dans le nœud, le résultat sera insatisfaisant avec échec des tâches.

En plus, ils étaient basés sur la division de la zone en parties, puis un drone est envoyé à chaque partie pour surveiller les événements sans prendre en compte les problèmes qui peuvent survenir à ce drone (problème de contrôle, problème de batterie, problème de caméra.).

III.4.1. Approche proposée

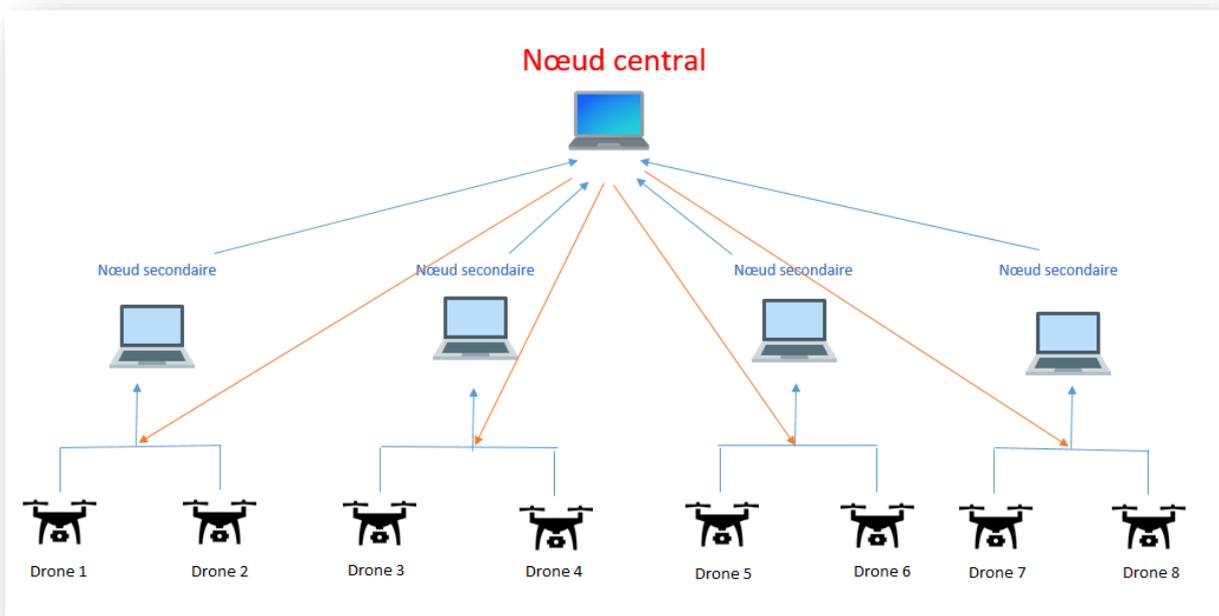


Figure III.7 : Approche proposé de collaboration entre drones

Dans la figure III.7 : nous présentons notre approche :

- Plusieurs nœuds doivent être exploités. Chaque nœud a ses propres tâches, où il a un nœud principal (central) et plusieurs nœuds secondaires.

N.B : Les nœuds sont des pc de très haute performance.

- Quant aux nœuds secondaires, chaque nœud est chargé de récupérer les informations concernant les dommages, puis d'envoyer les statistiques au nœud principal.
- Le nœud principal dont les tâches consistent à coordonner les drones et à les diriger vers les endroits touchés qui nécessitent une plus grande couverture.
- Si le nœud principal il a un défaut de fonctionnement, l'un des nœuds secondaires agira comme nœud principal et secondaire au même temps jusqu'à la réparation de nœud central.
- Possibilité de couvrir la zone en cas de panne d'un drone.
- Pour aider les drones dans les endroits les plus touchés, en déplaçant l'un des drones là-bas et le deuxième reste en place et donc sans laisser aucune partie de zone sans surveillance.

On traduit notre approche dans le diagramme de séquence suivant :

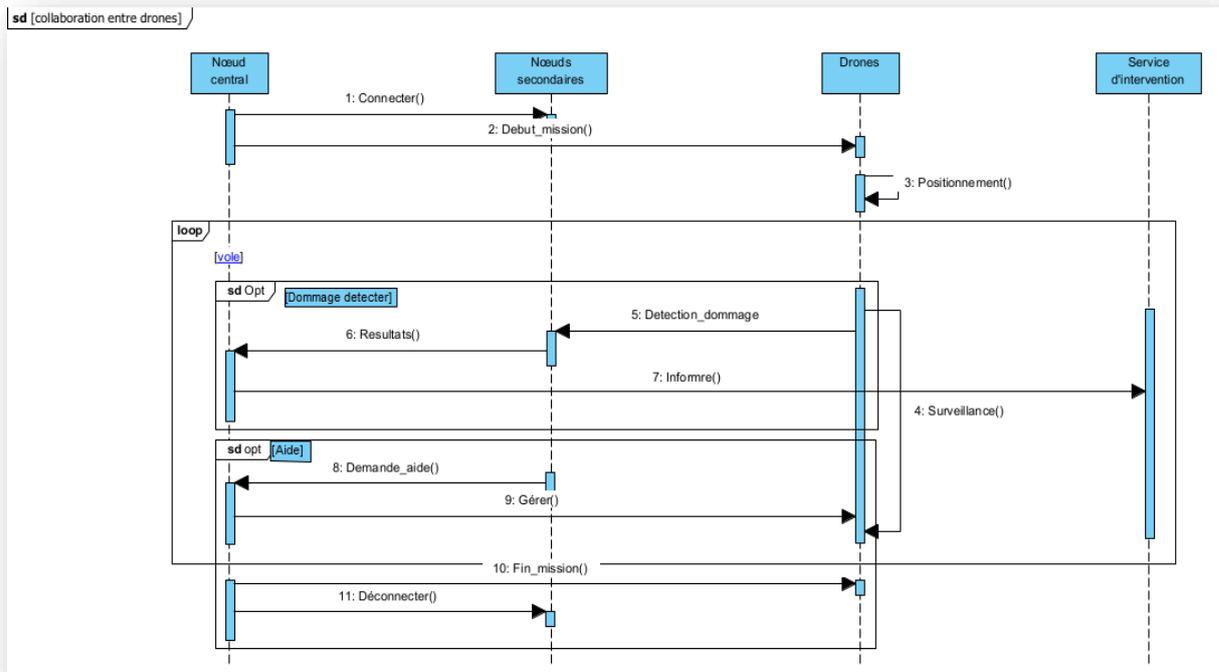


Figure III.8 : Diagramme de séquence surveillance d'une zone par drones

La Figure III.8 montre un diagramme de séquence pour une surveillance d'une zone par drones.

Tout d'abord, le nœud central communique avec les nœuds secondaires via TCP, puis il donne les coordonnées de vol à chaque drone pour prendre sa position et commencer sa mission de surveillance. Si l'un des drones détecte un dommage, la détection s'affiche dans un console de nœud secondaire, et à son tour informe le nœud central d'informer les services d'intervention.

Si la détection des dommages est pire, il y aura une demande d'aide pour que le nœud central dirige l'un des drones vers l'emplacement souhaité.

Enfin, fin de mission, les drones retour à leur station.

III.5. Manipulation des drones

Pour un drone autonome on a besoin d'un Ardu pilot

III.5.1. ArduPilot

Est une suite logicielle de pilote automatique de véhicule sans pilote open source, capable de contrôler de manière autonome : les drones, les hélicoptères, les bateaux...

Il Compose d'une plateforme APM (Ardu Pilot Méga) plus de nombreux capteurs comme Gyroscope & Accéléromètre & Magnétomètre, un capteur pour mesurer la pression et la vitesse du vent et un emplacement de GPS et module sans fil (Wireless Module) [18]

Les caractéristiques les plus importantes de l'APM :

- Ajuster l'équilibre automatiquement, même si vous essayez de le changer délibérément, il ajustera à nouveau l'équilibre automatiquement.
- Possibilité de créer plusieurs waypoints grâce au GPS et d'envoyer le drone selon ces points.
- Contient une fonction de retour au point de départ quand il perd la connexion avec le drone.
- Dispose d'un système de décollage et d'atterrissage en toute sécurité.
- Contient différents systèmes de vol.

III.5.2. QGroundControl

Fournit un contrôle de vol complet et une configuration de véhicule pour les véhicules alimentés par PX4 ou ArduPilot. Il offre une utilisation simple et directe, tout en offrant une prise en charge des fonctionnalités haut de gamme pour les utilisateurs expérimentés [19].

Parmi les avantages de QGroundControl :

- Planification de mission pour le vol autonome.
- Afficher la position du drone, la piste de vol, les points de cheminement et les instruments du drone dans une carte de vol
- se connecter à partir d'un autre appareil sur le même réseau
- Prise en charge de vol pour les véhicules exécutant PX4 et ArduPilot (ou tout autre pilote automatique qui communique à l'aide du protocole MAVLink).

III.5.3. MAVLink

Est un protocole de messagerie très léger pour communiquer avec les drones (et entre les composants embarqués des drones).

Dans notre étude nous installons l'ArduPilot, Mavlink et QGroundStation sur les nœuds secondaires, et QGroundStation seulement est installé dans le nœud central.

III.6. Détection des dommages

Parmi les caractéristiques fonctionnelles des drones autonomes, l'utilisation des algorithmes de reconnaissance basés sur l'apprentissage profond (deep learning) qui permettent de détecter et identifier des objets ou personnes et ainsi de prendre des décisions de comportement.

Le déroulement de l'approche proposée est le suivant. Premièrement, la caméra HD qui est installée sur le drone de surveillance est utilisée pour capturer des images de la zone extérieure désignée. Deuxièmement, les séquences d'images sont collectées et traitées à l'aide des

systèmes embarqués NVIDIA Jason TX1 et Ubuntu comme système de base et d'exploitation respectivement. Enfin, YOLO est utilisé pour s'entraîner à la détection d'objets avec des données personnalisées (détection des dommages).

Notre choix de YOLO remonte à une comparaison des résultats obtenus sur images et vidéos entre les algorithmes utilisés : Mask-RCNN et YOLOv3 608 [20].

Cette comparaison est représentée dans le tableau suivant :

	YOLOv3-608	MASK-RCNN
ARTICLE	20 FPS	5 FPS
ALGORITHME UTILISE	14.09 FPS	3.10 FPS
RAPPORT ALGORITHME/ARTICLE	70%	62%

Tableau III.4 Comparaison des résultats obtenus sur images et vidéos entre les algorithmes utilisés : Mask-RCNN et YOLOv3 608 [20].

À partir du tableau III.4, les principaux avantages de YOLO par rapport aux autres algorithmes de détection d'objets :

- Très rapide (45 images par seconde - mieux que le temps réel).
- Version légère et plus rapide : YOLO dispose d'une version à l'architecture plus petite, appelée Tiny-YOLO, qui peut fonctionner à une fréquence d'images plus élevée (155 images par seconde) avec moins de précision que le modèle réel.
- Le réseau comprend une représentation généralisée des objets, ce qui signifie que la prédiction des images du monde réel et les œuvres d'art sont assez précises.
- La détection d'objets YOLO est gratuite et open source.

Donc cette architecture YOLO obtient les meilleures performances en termes de précision tout en gardant une bonne vitesse d'exécution en utilisant la base de données COCO.

COCO contient un ensemble d'images regroupées en 80 catégories d'objets. Le réseau de neurones de YOLO a donc déjà été entraîné avec COCO et le modèle final a été rendu publique sur le site internet de J. Redmon qui est le concepteur de YOLO ainsi possède un modèle pré-entraîné accessible à tous. Plus on peut faire entraîner YOLO pour la détection d'objets avec des données personnalisées.

Dans notre projet, pour avoir des résultats satisfaisants il faut prendre en considération la distance de la visualisation. Où le drone vole à 40 mètres ou plus de la surface de la terre en raison de la hauteur des bâtiments pour surveiller toute la zone.

Les bases de données de YOLO elles ne contiennent pas des objets pour la détection des dommages donc on va créer une base de donnée personnalisé à partir d'entraînement de YOLO sur les bâtiments et les routes endommagé comme des objets pour déterminer les endroits touchés, afin que les équipes d'intervention puissent atteindre les lieux touchés dans les plus brefs délais.

III.7. Évitement des obstacles [21]

Compte tenu de la connaissance a priori de l'environnement et de la position du but, la navigation d'un drone autonome fait référence à la capacité du déplacement en toute sécurité vers le but en utilisant sa connaissance et les informations sensorielles de l'environnement.

Les algorithmes de The Bug suivent l'approche la plus simple et la plus sensée qui consiste à se déplacer directement vers le but, à moins qu'un obstacle ne soit trouvé, auquel cas l'obstacle est contourné jusqu'à ce que le déplacement vers le but soit à nouveau possible. Dans ces algorithmes, seules les valeurs les plus récentes des données sensorielles sont utilisées.

Les algorithmes Bug, dans leur version originale Bug 1, ou dans leur version améliorée Bug 2, sont des moyens simples de surmonter des obstacles inattendus dans le mouvement du robot depuis un point de départ « s », jusqu'à un point d'arrivée « g ». Le but des algorithmes est de générer un chemin sans collision entre le point « s » et le point « g », le principe sous-jacent étant basé sur le contournement des obstacles détectés. Les deux versions de l'algorithme diffèrent sur les conditions dans lesquelles le comportement de suivi de frontière est commuté en comportement "go-to-goal".

Nous allons programmer nos drones par ces algorithmes pour une transmission garantie et sécurisé.

III.8. Surveillance par drones

Dans les figures suivantes nous allons présenter le déroulement de l'intervention des drones et la collaboration entre eux pendant un tremblement de terre.



Figure III.9 : Division de zone

III. 8.1. Division de zone

La figure III.9 représente la zone touchée par le tremblement de terre est divisée en 4 parties.



Figure III.10 : Connectivité

III.8.2. Connectivité

La figure III.10 montre la connectivité des drones avec les nœuds où :

Drone 1 et 2 relié avec N.S1, 3 et 4 avec N.S2, 5 et 6 avec N.S3 et 7 et 8 avec N.S4.

Puis, la connexion entre le N.C et les N.S. Enfin le N.C dirige chaque deux drones vers une partie de zone.

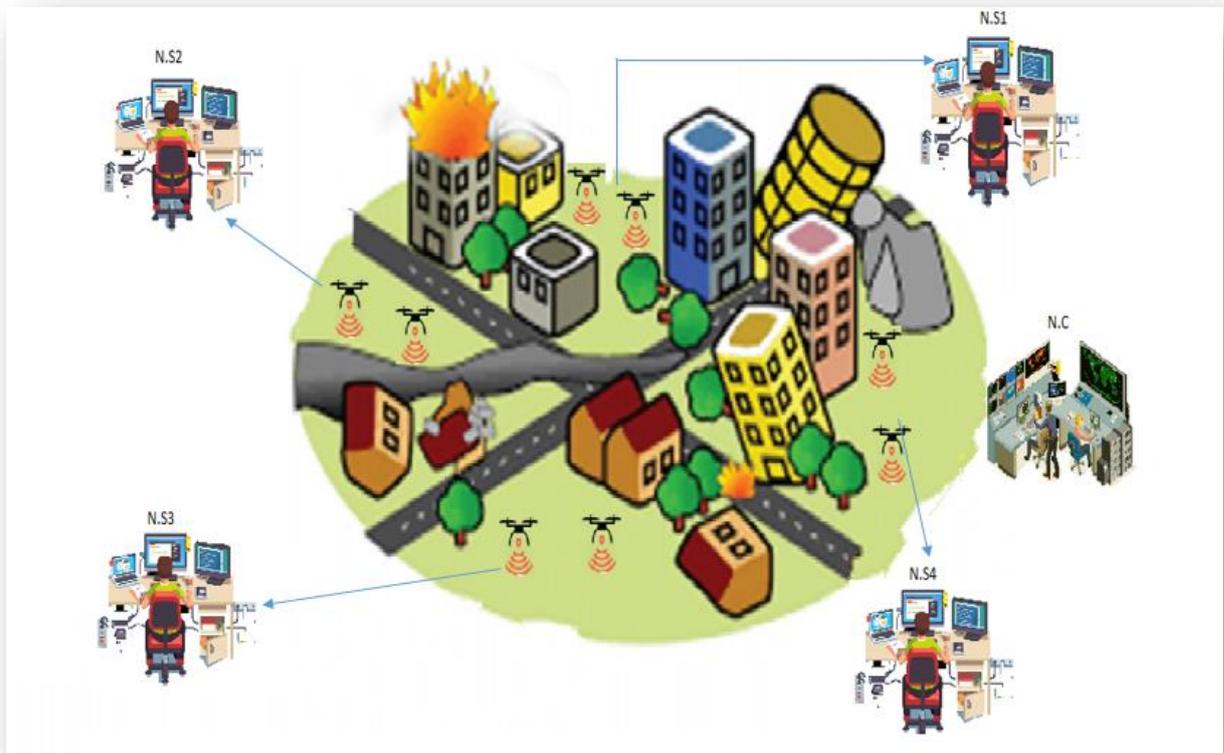


Figure III.11 : Détection des dommages

III.8.3. Détection des dommages

Après chaque détection d'un dommage par un drone, le drone retourne l'information à son propre nœud secondaire [figure III.11].

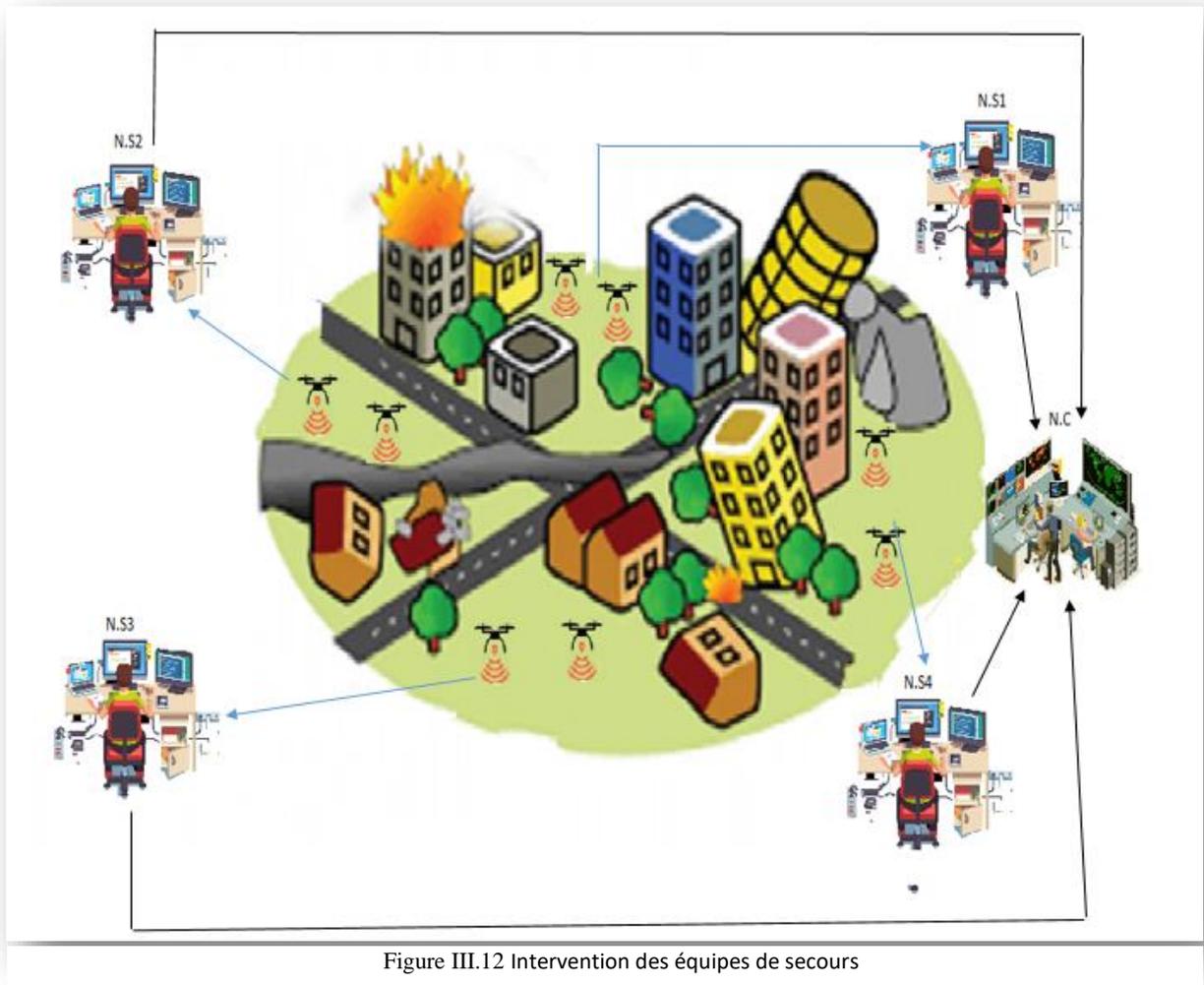


Figure III.12 Intervention des équipes de secours

III.8.4. Intervention des équipes de secours

Dans la figure III.12 les nœuds secondaires envoient des rapports de dommages au nœud centrale qui à son tour informe les équipes d'intervention sur les endroits qui ont besoin de plus de soutien et sur les routes endommagé pour les éviter.

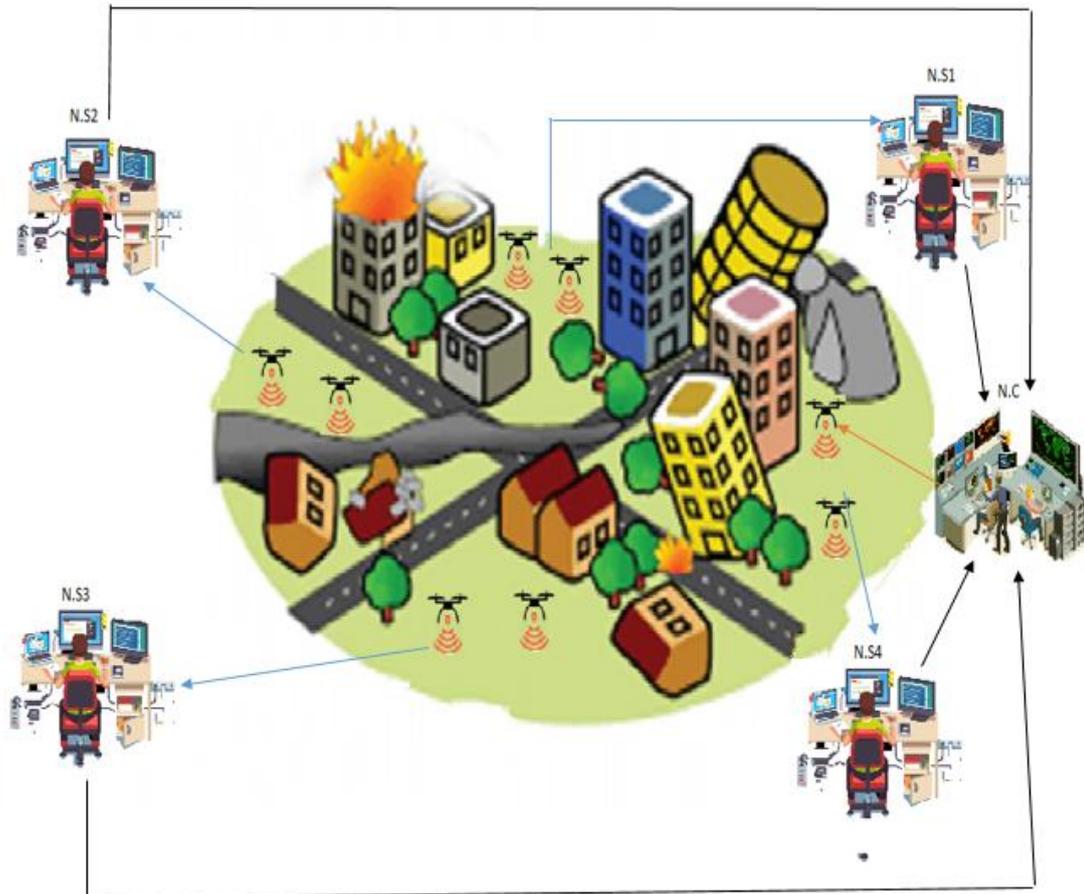


Figure III.13 : Soutien entre drones

III.8.5. Soutien entre drones

Si il y'a un demande d'aide dans une partie de zone, le nœud central dirige un drone avec le moins de dommage dans sa partie de zone à la partie qu'y en a besoin [figure III.13].

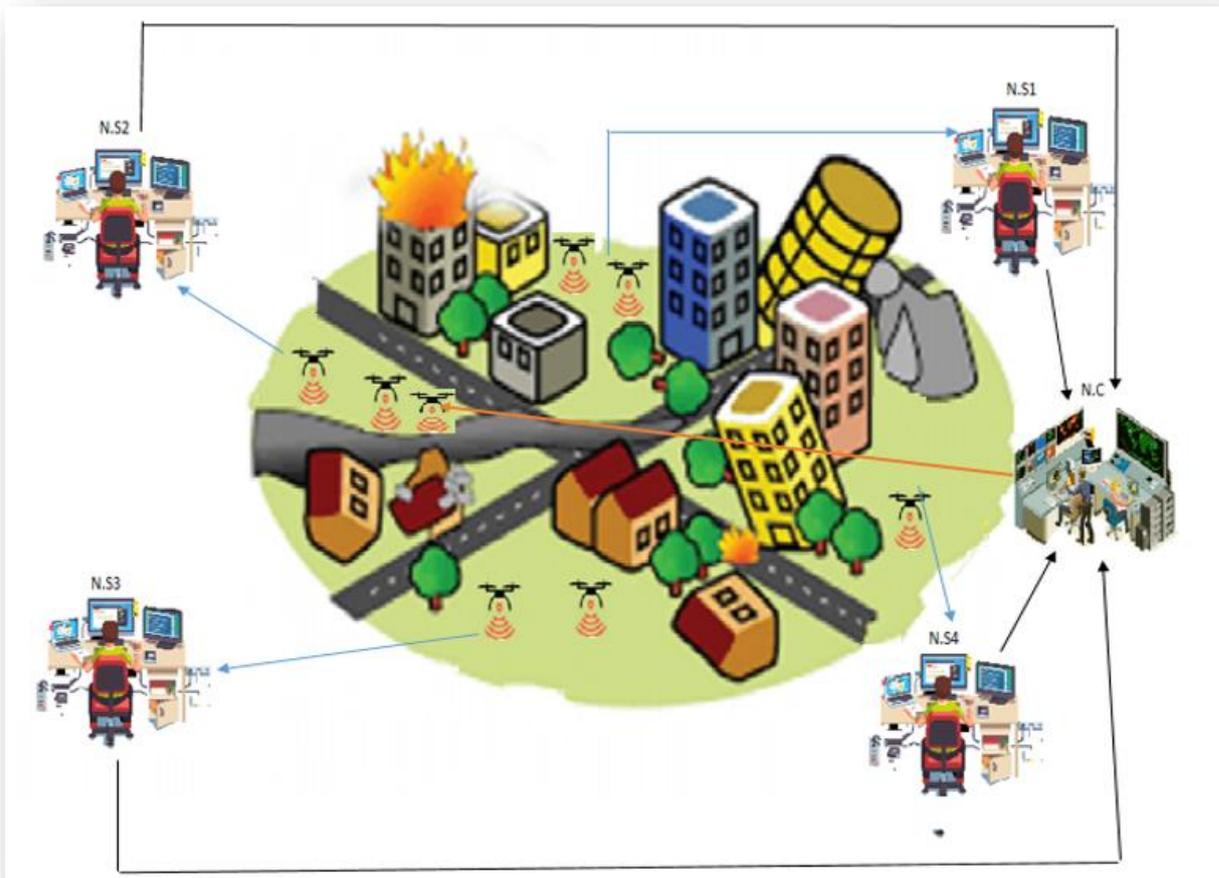


Figure III.14 : Soutien entre drones 2

III.8.6. Soutien des drones 2

Le drone 8 se déplace vers les drones 3 et 4 pour les aider.

III.8.7. Panne de N.C

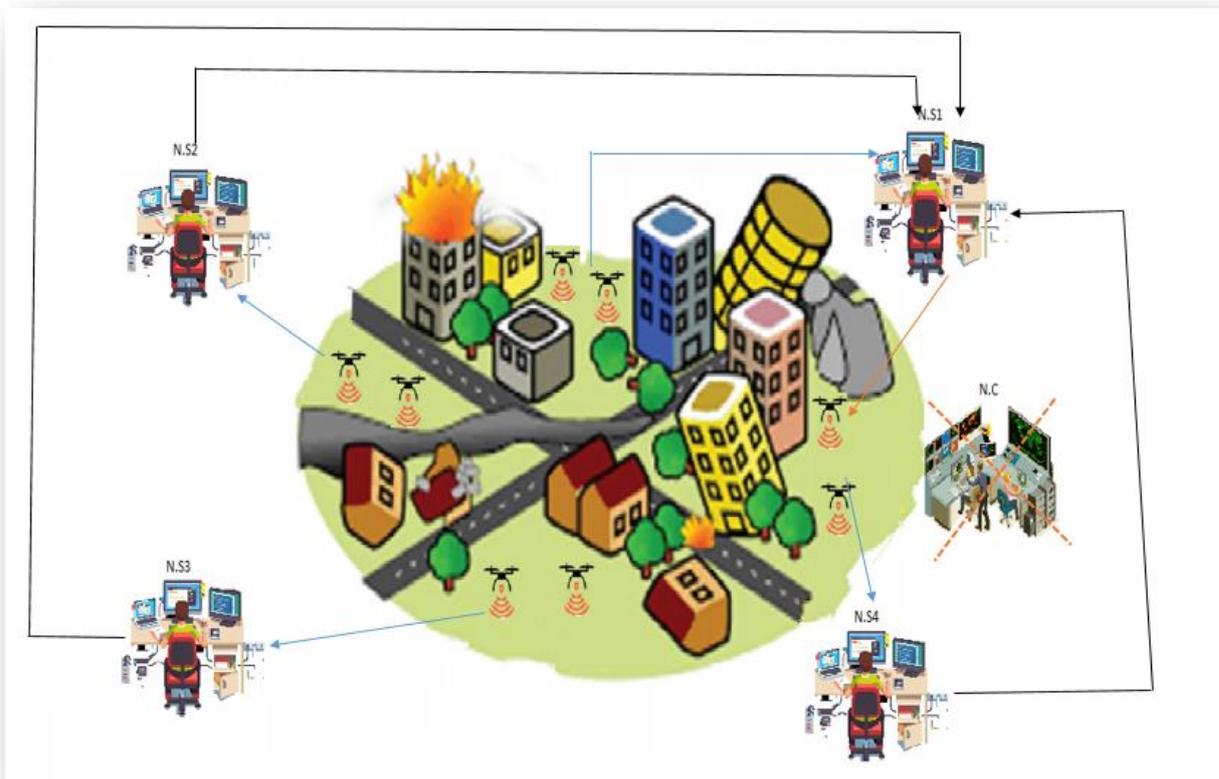


Figure III.15 : Panne de N.C.

Une fois le nœud central connecté à tous les drones, une seconde connexion est établie entre l'un des nœuds secondaires (dans lequel le QGroundControl est installé) et les autres nœuds secondaires afin que la connexion reste en attente.

Si le nœud principal déconnecté et les ports des drones sont ouverts, le nœud secondaire sera automatiquement connecté à tous les drones.

Dans ce cas, le N.C est en panne donc le N.S1 est devenu comme un nœud principal en plus de servir comme un nœud secondaire.

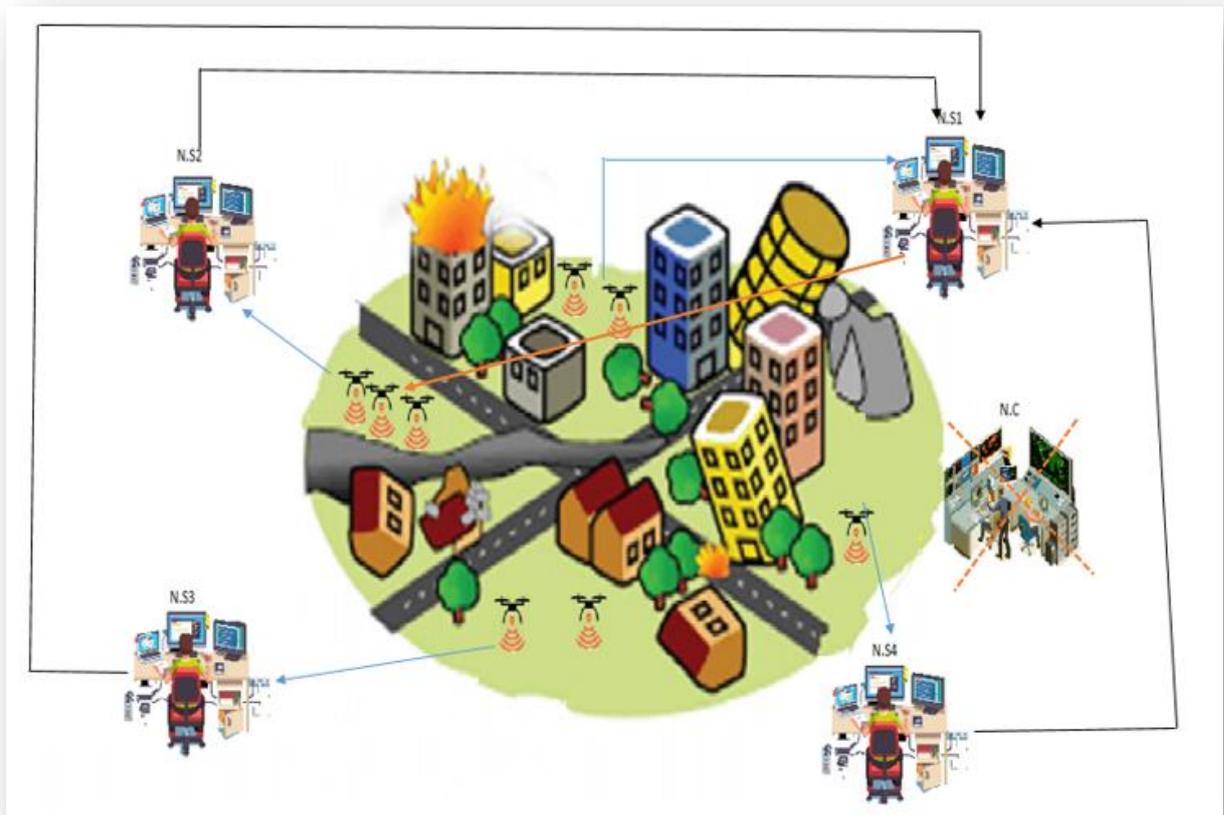


Figure III.16 : Panne de N.C 2.'

Et comme ça il a la possibilité de manipuler les drones sans aucun problème de perturbation.

III.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit l'architecture générale de notre solution et nous avons choisi YOLO comme framework embarqué dans le drone en raison de ses avantages, puis nous avons proposé une nouvelle approche collaborative entre drones pour surveiller les zones touchées par les tremblements de terre.

Chapitre IV
Simulation

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons une simulation sur la surveillance des drones d'une zone touchée par un tremblement de terre et la collaboration entre eux pour une couverture et une mission réussite.

D'abord, nous découvrirons la plateforme que nous avons utilisée et le langage de programmation ainsi les outils. Puis, les étapes de coordination entre drone.

Enfin, nous paraderons des captures sur la simulation.

IV.2. Simulation de vol

Un simulateur de vol est une application au domaine de l'aéronautique, du pilotage des aéronefs en particulier, des techniques de simulation de phénomènes physiques.

Un simulateur de vol peut être utilisé pour :

- le développement d'aéronefs nouveaux ;
- l'entraînement des équipages aux fonctions de bord : pilotage, navigation ;
- l'enquête suivant un accident.

IV.3. Matériel

On a réalisé la simulation sur trois pcs

- Intel Cor2duo, 4gb ram, Nvidia gt640 2gb vram (N.S).
- Intel core i5, 8gb ram (N.S).
- Intel core i3, 4gb ram (N.C).

N.B :

1-nous ne pouvons pas obtenir un ordinateur à haute performance et c'est ce qu'il faut pour un bon résultat de détection des objets (YOLO).

2-nous utilisons YOLO v2 tiny au lieu YOLO v5 à cause de performance de notre pc.

N.S : c'est un nœud secondaire (centre de contrôle secondaire).

N.C : c'est un nœud principal (centre de contrôle principal).

IV.4. ROS (Robot Operating System)

Est un Framework flexible pour l'écriture de logiciels de robots. Il s'agit d'un ensemble d'outils, de bibliothèques et de conventions qui visent à simplifier la tâche de création d'un comportement de robot complexe et robuste sur une grande variété de plates-formes robotiques[22].

ROS a été conçu dès le départ pour encourager le développement de logiciels de robotique collaborative.

Il supporte le system d'exploitation Ubuntu seulement, chaque version de ROS compatible par une seule version d'Ubuntu.

Dans notre simulation nous avons choisis la version melodic de ROS avec Ubuntu v18.04.

IV.5. GAZEBO

Permet de tester rapidement des algorithmes, de concevoir des robots, d'effectuer des tests de régression et d'entraîner le système d'IA à l'aide de scénarios réalistes. Gazebo offre la possibilité de simuler avec précision et efficacité des populations de robots dans des environnements intérieurs et extérieurs complexes, mieux encore, Gazebo est gratuit avec une communauté dynamique [23].

IV.6. Création de carte de navigation (MAP)

Nous avons construit le terrain de navigation basée sur une forêt, une mer et une zone de population [figure IV.17].



Figure IV.27 : zone de navigation

La zone de population contient des routes, des bâtiments, des magasins, un endroit pour la protection civile et ce sera un endroit qui contient des bâtiments et routes endommagé.

Nous avons entraîné YOLO sur les images de ces bâtiments et routes endommagé comme des objets et les surnommés "Danger".

IV.7. Drone

Des drones de type aériens autonomes quadricoptère, [Figure IV.18] chaque drone a ses propres caractéristiques :

- Un identifiant système unique.
- Port TCP.
- Un identifiant pour la caméra embarquée sur le drone.

Selon notre matériel, on a utilisé quatre drones, chaque N.S relié avec deux drones.



Figure IV.18 : Drone aérien autonomie quadricoptère

IV.8. Processus de communication

Pour la connexion entre les pc N.S et le pc N.C, tout d'abord nous installons l'ardupilot et mavlink sur les pc N.S et QGroundControl sur pc N.C.

La figure IV.19 montre le processus de communication entre le pc N.C et les pc N.S, la figure IV.19 (a) représente l'adresse IP de l'un des pc N.S (pc N.S1).

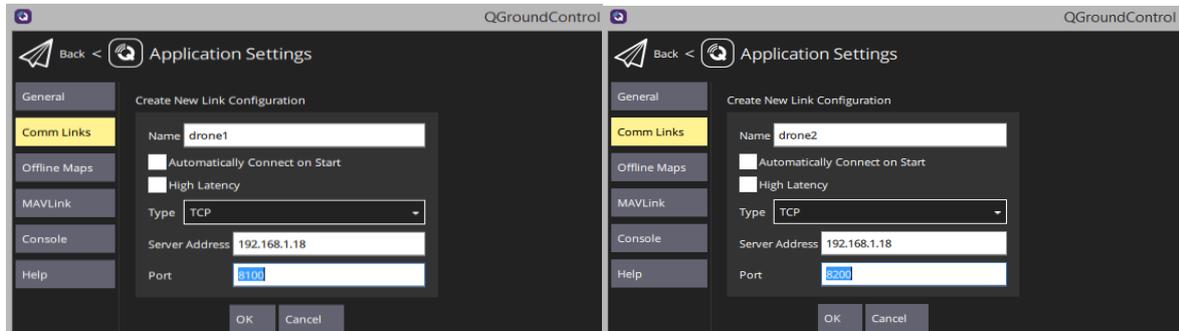


(a)

```
dadi@dadi-Inspiron-5559:~$ sim_vehicle.py -v ArduCopter -f gazebo-drone1 --console -I0 --out=tcpin:0.0.0.0:8100
dadi@dadi-Inspiron-5559:~$ sim_vehicle.py -v ArduCopter -f gazebo-drone2 --console -I1 --out=tcpin:0.0.0.0:8200
```

(b)

Premièrement, il faut lancer les instances ardupilot SITL avec un port TCP d'entrée/sortie unique pour QGroundStation, la figure IV.19 (b) représente le lancement de drone1 et drone2.



(c)

Figure IV.19 : Processus de communication entre Ardupilot et QGroundStation.

Deuxièmement, la configuration de QGroundStation, la figures IV.19 (c) représente comment crée un nouveau lien d'établissement (pc N.S1 (drone 1 et drone 2) avec pc N.C), où nous entrons le nom de drone et sélectionnons le type TCP puis l'adresse IP de N.S1 et enfin le port de drone.

De la même manière pour la connectivité de pc N.C avec le pc N.S2, la figure suivante [figure IV.20] montre les étapes à suivre :



(a)

```
dadi@dadi-G41MT-D3V:~$ sim_vehicle.py -v ArduCopter -f gazebo-drone3 --console -I2 --out=tcpin:0.0.0.0:8300
dadi@dadi-G41MT-D3V:~$ sim_vehicle.py -v ArduCopter -f gazebo-drone4 --console -I3 --out=tcpin:0.0.0.0:8400
```

(b)



(c)

Figure IV.20 : Processus de communication entre Ardupilot et QGroundStation (2).

Finalement, la connexion des drones avec QGroundStation.

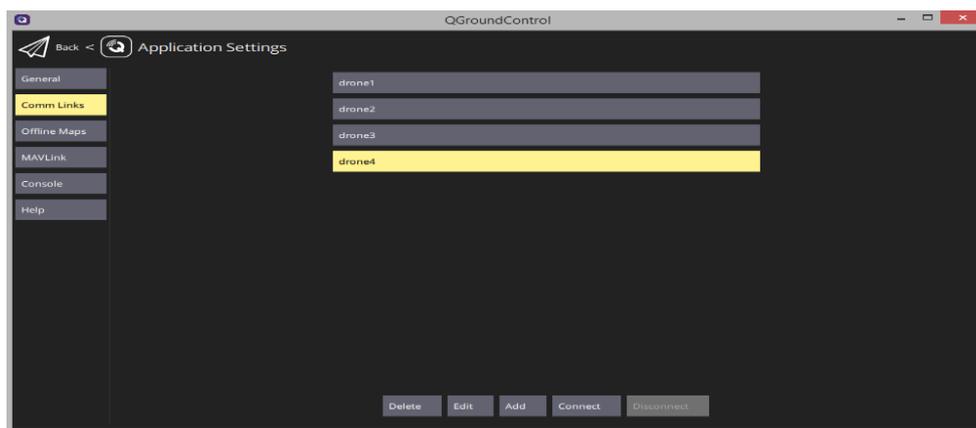


Figure IV.21 : liste des drones

La figure IV.21 représente la liste des drones configurés, après les étapes précédentes il suffit seulement de cliquer sur «Connect » pour les connectées.

IV.9. La surveillance

Tout d’abord, nous désignons les limites de zone de la population sur la carte de navigation QGroundStation.

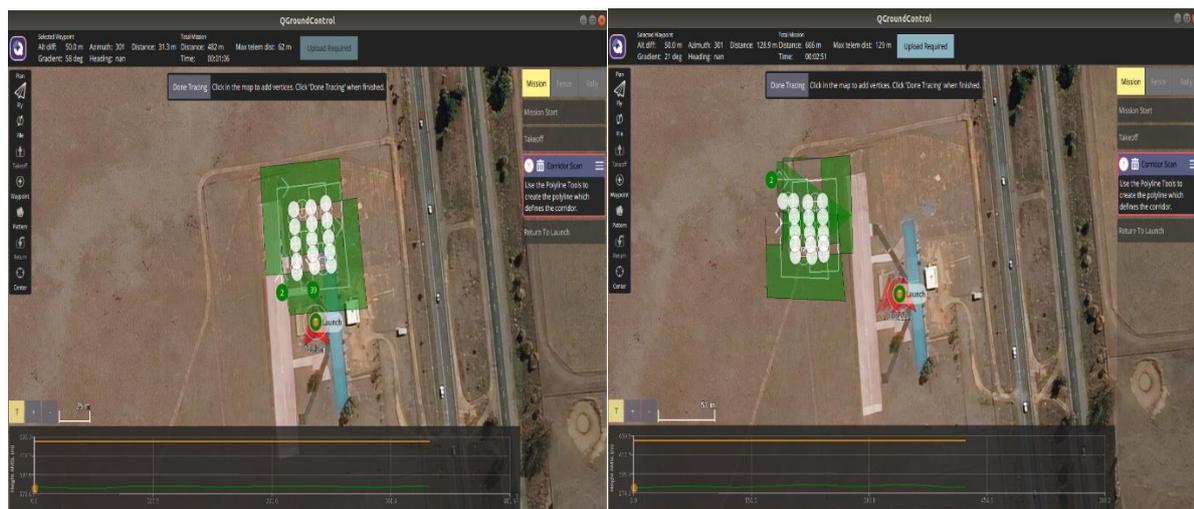


Figure IV.22 : zone de navigation sur QGroundControl

La figure IV.22 représente la localisation des drones dans la carte de navigation, le carré noir détermine les limites de zone de population et le cercle rouge représente la station des drones.

A gauche, on peut sélectionner le plan de vol (mission), en bas les informations de vol (la distance d’ hauteur, la vitesse, la distance parcourue, et à droite les commandes données aux drones.

Ensuite, la création de mission, on a besoin de créer le parcours de surveillance de chaque deux drones, la distance d’ hauteur, la vitesse, le temps de mission et le point de retour.



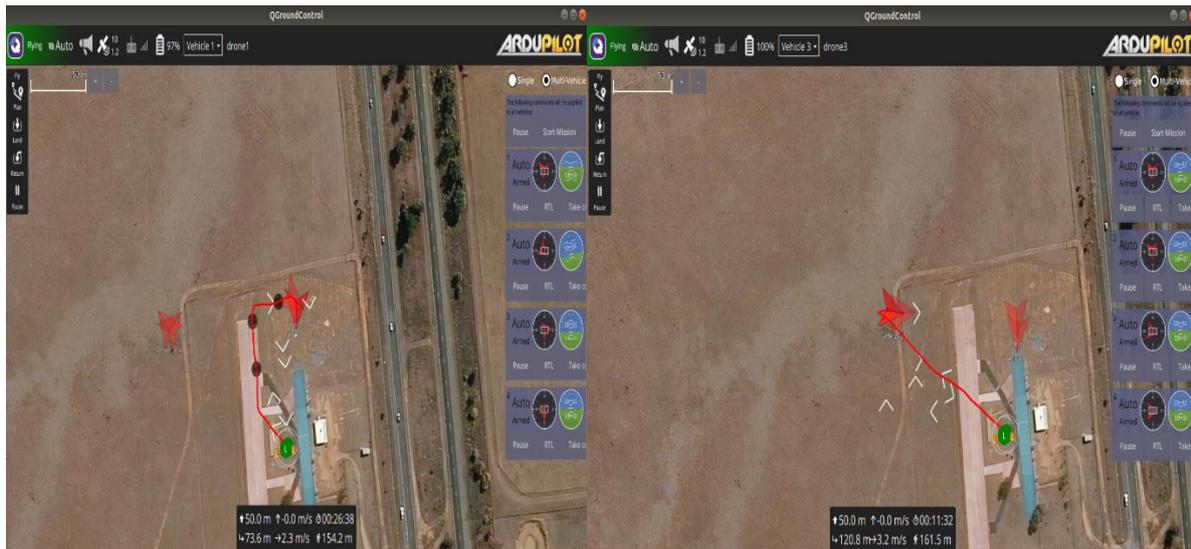
(a)

(b)

Figure IV.23 : création parcours des drones

La figure IV.23 (a) c’est le parcours de drone 1 et drone 2 et la figure IV.23 (b) détermine le parcours de drone 3 et drone 4.

Après avoir créé le parcours, ils prennent chacun leur position et débutera leur mission de surveillance.

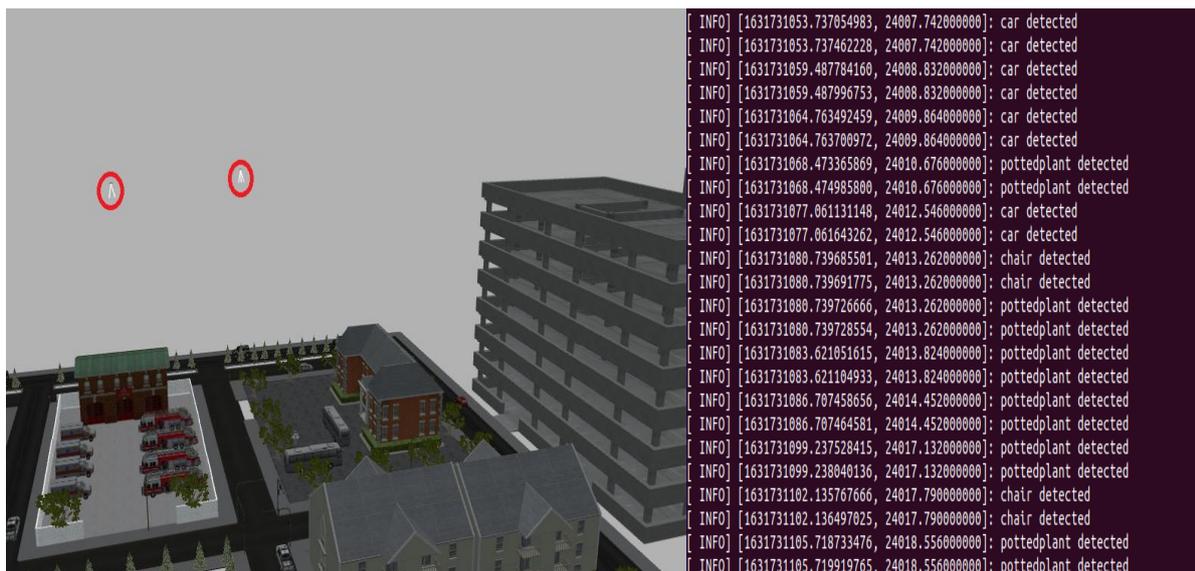


(a)

(b)

Figure IV.24 : surveillance d'une zone par drones

La figure IV.24 montre que chaque drone a son propre parcours de surveillance, après chacun de ces deux drones commencent les détections des objets.



(a)

(b)

Figure IV.25 : détection des dangers par drone 1 et drone 2

La figure IV.25 (a) représente le positionnement de drone 1 et drone 2 (on a dessiné un cercle rouge sur les drones) et la figure IV.25 (b) les résultats des détections des objets s'affiche dans un console (dans ce cas aucun détection de danger).

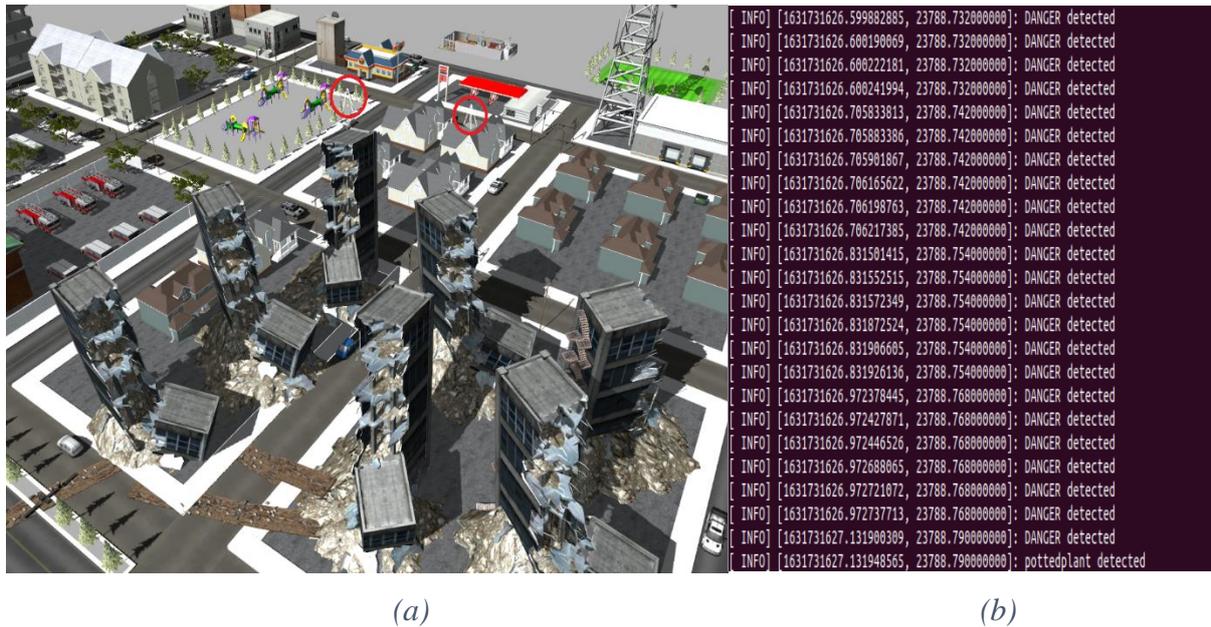


Figure IV.26 : détection des dangers par drone 3 et drone 4

La figure IV.26 (a) représente le positionnement de drone 3 et drone 4 (on a dessiné un cercle rouge sur les drones) et la figure IV.26 (b) les résultats des détections des objets où les bâtiments et les routes endommagés sont détectés comme un danger (DANGER detected).

Après un certain moment les drones 3 et 4 demandent au N.C par radio un aide d'un autre drone pour la surveillance à cause du nombre élevé de dangers détectés, et pour rassembler toutes les informations sur les dommages en temps réel.

Le N.C à son tour choisit l'un des drones (drone 1 ou drone 2) et le programme sur le parcours des drones 3 et 4.

Aussi, il informe les services d'intervention sur l'état des zones surveillées par drone.



(a)

(b)

Figure IV.27 : l'intervention de drone 1

Dans la figure IV.27 nous voyons le nouveau parcours de drone 1 pour aide les drones 3 et 4 dans la surveillance de zone.

IV.10. Fin de mission

Quand les drones terminent leurs missions le pc N.C active le mode RTL pour que les drones retournent à leur station [Figure IV.28].



Figure IV.28 : Fin mission

IV.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appris les outils utilisés pour la programmation des robots en cas général et de drone en particulier, nous avons vu les processus de communication entre l'Ardupilot et QGroundStation.

Ainsi, l'intervention des drones dans la détection des dommages et la collaboration entre eux pour une mission réussite.

Conclusion générale

En raison des désastres naturels qui touchent notre planète et qui se multiplient selon les dernières statistiques de manière alarmante, ce qui cause des pertes humaines et matérielles considérables, Il est devenu nécessaire de trouver une solution pour aider les services d'intervention dans leur mission de secours pour atténuer l'ampleur des dégâts et sauver le plus de vies humaines possible.

Les drones peuvent être facilement et rapidement déployés pour atteindre des zones difficiles d'accès, car ils sont utilisés pour obtenir des données lors d'urgences dangereuses ou impossibles à mettre en œuvre pour les équipes de secours. En plus de gagner du temps, surtout de sauver des vies.

Tout d'abord, nous avons donné un aperçu du drone et quelques-unes des façons de le coordonner. Nous avons également abordé plusieurs recherches menées par des scientifiques concernant la surveillance des catastrophes naturelles.

Ensuite, nous avons vu plusieurs algorithmes utilisés pour la détection des objets, nous avons choisi YOLO qui fournit des résultats bien meilleurs par rapport aux autres algorithmes.

Puis, nous avons donné une solution de collaboration entre drone pour une meilleure gestion de territoires.

Enfin, nous avons réalisé une simulation pour tester et valider notre solution.

Les drones sont une solution efficace dans le domaine de l'intervention et du sauvetage, qui offre plusieurs avantages, grâce auxquels nous pouvons sauver de nombreuses personnes.

Perspective

Compte tenu de la complexité géographique et de la gravité des catastrophes naturelles dans le monde nous souhaitons de mettre en œuvre des drones sur le territoire en cas de catastrophe naturelle pour évaluer les dégâts pour sauver des vies et secourir les personnes sinistrées.

Ainsi qu'une réalisation de notre projet dans la réalité avec des améliorations pour autre désastres naturels comme les incendies et sa mise en service pour les autorités à en bénéficier.

Références

- [1] Rayane Ben Romdan, « Les Drones », Mémoire licence en électronique et informatique industrielle, Institut national des sciences appliquées RENNES, France, 2013.
- [2] www.squadrone-system.com/qu-est-ce-qu-un-drone-autonome, consulté le 21/02/2017.
- [3] www.studiosport.fr/guides/drones/de-quoi-est-compose-un-drone.html.
- [4] Jean Aimé Maxa, « Architecture de communication sécurisée d'une flotte de drones », Thèse Doctorat en informatique, Université de Toulouse, France, 28/06/2017.
- [5] www.fao.org/policy-support/policy-themes/disaster-risk-reduction/fr/
- [6] Guo, Y., Liu, Y., Oerlemans, A., Lao, S., Wu, S., & Lew, M. S. (2016). Deep learning for visual understanding: A review. *Neurocomputing*, 187, 27–48.
- [7] Ofli, F., Meier, P., Imran, M., Castillo, C., Tuia, D., Rey, N., . . . others (2016). Combining human computing and machine learning to make sense of big (aerial) data for disaster response. *Big data*, 4(1), 47–59.
- [8] Feng, Q., Liu, J., & Gong, J. (2015). Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and random forest classifier—a case of yuyao, china. *Water*, 7(4), 1437–1455.
- [9] Li, S., Tang, H., He, S., Shu, Y., Mao, T., Li, J., & Xu, Z. (2015). Unsupervised detection of earthquake-triggered roof-holes from uav images using joint color and shape features. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(9), 1823–1827.
- [9] Chen, B., Chen, Z., Deng, L., Duan, Y., & Zhou, J. (2016). Building change detection with rgb-d map generated from uav images. *Neurocomputing*, 208, 350–364.
- [10] Gopalakrishnan, K., Gholami, H., Vidyadharan, A., Choudhary, A., & Agrawal, A. (2018). Crack damage detection in unmanned aerial vehicle images of civil infrastructure using pre-trained deep learning model. *Int. J. Traffic Transp. Eng*, 8, 1–14.
- [11] Varghese, A., Gubbi, J., Ramaswamy, A., & Balamuralidhar, P. (2018). Changenet: a deep learning architecture for visual change detection. In *Proceedings of the european conference on computer vision (eccv)* (pp. 0–0)
- [12] www.lebigdata.fr/machine-learning-et-big-data, consulté le 20 Jun 2017.
- [13] www.zdnet.fr/actualites/les-cartes-graphiques-embarquent-sur-les-drones-et-les-robots-39841900.htm, consulté le 14 Septembre 2016.
- [14] Eric Nowak. Reconnaissance de catégories d'objets et d'instances d'objets à l'aide de représentations locales. Informatique. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2008.

[15] ichi.pro/fr/protection-ecologique-grace-a-la-detection-d-objets-dans-les-parcs-eoliens-renouvelables-226754316739090

[16] towardsdatascience.com/r-cnn-fast-r-cnn-faster-r-cnn-yolo-object-detection-algorithms-36d53571365e

[17] www.malteser-international.org/fr/nos-themes/catastrophes-naturelles/tremblements-de-terre-consequences-et-mesures-de-secours.html

[18] « Communauté : — Documentation ArduPilot », ardupilot.org, Consulté le 2017-04-30.

[19] docs.qgroundcontrol.com/master/en/index.html

[20]. L.Greffier, « Perchage automatique de drones basé sur la vision artificielle », Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Maîtrise ès sciences appliquées en génie mécanique, Université de Montréal, Canada, 2019.

[21] M-I Ribeiro, « Obstacle Avoidance », Navigation/Collision Avoidance, 2015.

[22] www.ros.org.

[23] Gazebo (gazebosim.org).

ملخص

مجالات استخدام الدرون (الطائرات بدون طيار) باتت تشمل عددًا كبيرًا من القطاعات المدنية، مع تزويدها بمستشعرات وكاميرات عالية الجودة بما في ذلك الإغاثة في حالات الكوارث وهذا بالتقاطها لصور جوية دقيقة ومعالجتها في وقت حقيقي. في مشروعنا هذا اعتمدنا على الدرون الذكي في عملية مراقبة الاماكن المتضررة من الزلازل لمساعدة فرق الانقاذ في تحديد الاماكن الاكثر تضررا والطرق الغير متضررة لتتمكن من الوصول للهدف في اقرب وقت. قمنا بمحاكات سرب من الدرون بنظام تشغيل الروبوت ROS والمحاكي GAZEBO والتنسيق بين الطائرات باستخدام Ardupilot و QGroundStation إضافة الى YOLO مدربة على الكشف عن المباني المتضررة والطرق المغلقة.

Résumé

Les domaines d'utilisation des drones incluent désormais un grand nombre de secteurs civils, avec des capteurs et des caméras de haute qualité, y compris les secours en cas de catastrophe, en capturant des images aériennes précises et en les traitant en temps réel.

Dans notre projet, nous avons appuyés sur des drones autonome dans le processus de surveillance des lieux touchés par les tremblements de terre pour aider les équipes de secours à identifier les endroits et les routes les plus touchés, afin qu'ils puissent atteindre la cible le plus rapidement possible.

Nous avons simulé une flotte de drones avec ROS et le simulateur GAZEBO, et coordonné entre les drones à l'aide d'ArduPilot et de QGroundStation, en plus de YOLO formé pour détecter les bâtiments endommagés et les routes fermées.

Abstract

The areas of use of drones now include a large number of civilian sectors, with high quality sensors and cameras, including disaster relief, capturing accurate aerial images and processing them in time real.

In our project, we relied on autonomous drones in the process of monitoring earthquake-affected locations to help rescue teams identify the most affected locations and routes, so that they could reach the target on the as quickly as possible.

We simulated a swars of drones with ROS and GAZEBO simulator, and coordinated between drones using ArduPilot and QGroundStation, in addition to YOLO trained to detect damaged buildings and closed roads.