



UNIVERSITE KASDI MERBAH
OUARGLA



Faculté des Nouvelles Technologies de
l'Information et de la Communication

Département d'Informatique et des Technologies de l'Information

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Informatique et Technologie de l'Information

Spécialité : Administration et sécurité des réseaux

Présenté par : Djenidi Nabil

Analyse de la sélection dynamique des chefs de cluster pour FANET

Encadré par : Pr. CHERADID Abdellatif

Examineur : Dr.NEMLI O

Examineur : Dr.GHARIB T

Année universitaire : 2021-2022

Remerciements

D'abord nous remercions le bon dieu de nous avoir donnée santé, courage, volonté et fois pour mener ce travail.

Au terme de la rédaction de ce mémoire, nous tenons à remercier notre encadreur Pr. CHERADID ABDELLATIF pour suivi et Précieux conseils.

On n'oublier pas de remercier nos parents, nos frères et sœurs pour leur soutien moral et physique, pour les merveilleux moments qu'on a passés ensemble, et à tous amis sans exception.

ملخص

طائرة بدون طيار أو مركبة جوية بدون طيار (UAV) هي طائرة بدون راكب أو طيار يمكنها الطيران بشكل مستقل أو التحكم فيها عن بعد من الأرض. يمكن أن يتراوح حجم الطائرة بدون طيار من بضع سنتيمترات للنماذج المصغرة إلى عدة أمتار للطائرات المتخصصة بدون طيار (المراقبة والاستخبارات والقتال والنقل والترفيه). تتراوح استقلالية الطيران من بضع دقائق إلى أكثر من 40 ساعة للطائرات بدون طيار طويلة التحمل. في السنوات الأخيرة، تطورت وظائف وأدوار المركبات الجوية بدون طيار (UAVs) بسرعة مع تطور تقنيات مثل شبكات الاتصالات وأجهزة الاستشعار والأنظمة الروبوتيك. بالإضافة إلى ذلك، تعمل (FANET) Flying Ad hoc Networks، وهي شبكات مخصصة لأنظمة الطائرات بدون طيار (UAS)، على زيادة التغطية والقدرة على إرسال / استقبال البيانات عبر نطاق ممتد. لهذه الأسباب، تعد UAS مجالات تطبيق جديدة لمهام عسكرية ومحددة، مثل عمليات البحث والإنقاذ، واكتشاف الهدف والهجمات. ومع ذلك، نظرًا للحركة ثلاثية الأبعاد عالية السرعة والتغير الديناميكي للطائرات بدون طيار في الهواء، فإن الاتصال المستقر بين الطائرات بدون طيار ومحطة التحكم الأرضية (GCS) لتبادل البيانات في الوضع المخصص هو أحد أكبر مشكلات FANET. يعد استهلاك الطاقة أيضًا مسألة مهمة، مما يضمن وقت طيران الطائرات بدون طيار لأداء المهام المعينة من GCS. الهدف، من خلال هذه الأطروحة، هو تقديم خوارزميات اختيار رأس العنقود لـ FANET للحصول على اتصال ثابت لأنظمة الطائرات بدون طيار وتقليل استهلاك الطاقة. أخيرًا، تتم مناقشة تقنيات اختيار قائد المجموعة المناسبة لبيئات FANET الموجهة نحو المهام.

الكلمات المفتاحية: شبكة طيران مخصصة، طائرة بدون طيار، تجمع

Abstract

A drone or Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is an aircraft without a passenger or a pilot that can fly autonomously or be controlled remotely from the ground. The size of an aerial drone can range from a few centimeters for miniature models to several meters for specialized drones (surveillance, intelligence, combat, transport, leisure). Flight autonomy ranges from a few minutes to over 40 hours for long-endurance drones. In recent years, the functions and roles of drone aerial vehicles (UAVs) have developed rapidly with the development of technologies such as communication and sensor networks and robotic systems. Additionally, Flying Ad hoc Networks (FANET), ad hoc networks for Unmanned Aircraft Systems (UAS), increase the coverage and ability to transmit/receive data over an extended range. For these reasons, a UAS promises new areas of application for military and specific missions, such as search and rescue operations, target detection and attacks. However, due to the high-speed three-dimensional mobility and dynamic topology change of UAVs in the air, a stable connection between UAV and ground control station (GCS) for data exchange in ad-hoc mode is the one of FANET's biggest problems. Energy consumption is also an important issue, which ensures flight time of UAVs to perform assigned missions from a GCS. The goal, through this thesis, is to introduce cluster head selection algorithms for FANET to obtain a stable connection of UAS and a reduction in energy consumption. Finally, cluster leader selection techniques that are suitable for mission-oriented FANET environments are discussed.

Keywords: Adhoc, FANET, UAV, Clustering.

Résumé

Un drone ou Véhicule aérien sans pilote (UAV) est un aéronef sans passager ni pilote qui peut voler de façon autonome ou être contrôlé à distance depuis le sol. La taille d'un drone aérien peut aller de quelques centimètres pour les modèles miniatures à plusieurs mètres pour les drones spécialisés (surveillance, renseignement, combat, transport, loisirs). L'autonomie en vol va de quelques minutes à plus de 40 heures pour les drones de longue endurance. Ces dernières années, les fonctions et les rôles des drones Les véhicules aériens (UAV) se sont rapidement développés avec l'évolution des technologies telles que la communication et les réseaux capteurs et systèmes robotiques. De plus, Flying Ad hoc Networks (FANET), réseaux ad hoc pour les systèmes d'aéronefs sans pilote (UAS), augmenter la couverture et la capacité de transmettre/recevoir des données dans une gamme étendue. Pour ces raisons, un UAS promet de nouveaux domaines d'application pour les missions militaires et spécifiques, telles que la recherche et les opérations de sauvetage, la détection de cibles et les attaques. Cependant, en raison à la mobilité tridimensionnelle à grande vitesse et dynamique changement de topologie des drones dans les airs, une connexion stable entre UAV et station de contrôle au sol (GCS) pour l'échange de données dans Le mode ad hoc est l'un des plus gros problèmes de FANET. L'énergie la consommation est également un enjeu important, qui assure un temps de vol des UAV pour effectuer les missions assignées à partir d'un GCS. Le but, à travers ce mémoire, est nous introduisons les algorithmes de sélection des têtes de cluster pour FANET pour obtenir une connexion stable des UAS et une réduction des consommations d'énergie. Enfin, les techniques de sélection des chefs de cluster qui conviennent aux environnements FANET orientées missions sont discutées.

Mots clé: Ad hoc, FANET, UAV, Clustering.

Table des matières

ملخص	II
Abstract.....	III
Résumé	IV
Liste des Figures.....	VII
Liste des tableaux	VIII
Acronymes et abréviations.....	IX
Introduction General	1
CHAPITER 1	3
Généralité sur les FANET	3
1. Introduction.....	4
2. Réseau Ad-hoc	5
2.1 Caractéristiques des réseaux Ad Hoc :	5
2.1.1 Description :.....	5
2.1.2 Liens asymétriques :	6
2.1.3 Sécurité limitée :.....	6
2.1.4 Contraintes sur la bande passante :	6
3. Réseau MANET	7
3.1 Caractéristiques de MANET	7
Topologies dynamiques :	7
Liaisons à bande passante limitée et à capacité variable :.....	7
Comportement autonome :.....	7
Fonctionnement limité en énergie :	8
Sécurité limitée :.....	8
Moins d'intervention humaine :	8
2.2. Avantages et inconvénients de MANET :.....	8
2.2.1. Les Avantages :	8
3.2.2. Les inconvénients :	8
4. Définition de FANET.....	8
4.1. Les caractéristiques des FANETS.....	9
4.1.1 Mobilité des nœuds :.....	9
4.1.2 Modèles de mobilité :	9
4.1.3. Densité de nœud	9
4.1.4. Topologie de réseau	9

4.2.	Les modèles de mobilités dans FANET	10
4.3.	Applications des FANETS.....	12
4.4.	Modèles de communication dans FANET	15
4.5.	Comparaison entre FANET, MANET et VANET	16
4.6.	Le routage dans les FANET.....	17
1.	Protocoles de routage basés sur la topologie	18
2.	Protocoles de Routage basés sur Swarm.....	19
3.	Protocoles de routage basés sur la position.....	20
CHAPITER 2		22
1.	Clustering dans les réseaux Ad Hoc.....	23
1.1	Routage base sur le Clustering	23
1.1.1	Protocoles de routage en cluster basés sur le Clustering probabiliste	24
1.1.2	PROTOCOLES DE ROUTAGE BASÉS SUR LE CLUSTERING DÉTERMINISTE	35
2.	Conclusion	41
CHAPITER 3.....		42
1.	Introduction	43
2.	La simulation.....	44
3.	Le choix du logiciel.....	48
3.1	Présentation de MATLAB.....	48
4.	ANALYSE DE PERFORMANCE	49
5.	Simulation, résultats et analyse.....	51
6.	Conclusion	54
Conclusion Générale.....		54

Liste des Figures

Figure 1:Un réseau Ad-hoc.....	5
Figure 2Un réseau MANET.....	7
Figure 3: Un réseau FANET.....	9
Figure 4FANET, MANET et VANET.....	16
Figure 5 Classification des protocoles de routage basés sur les clusters pour les réseaux UAV [16].....	24
Figure 6 Schéma de clustering dynamique dans URP.....	25
Figure 7 Collecte de données UAV basée sur les clusters.....	27
Figure 8 la méthodologie du protocole EALC.....	29
Figure 9 plusieurs formes communes en cours de formation en mouvement.....	30
Figure 10 Modèle basé sur AC pour déterminer le site de recherche de nectar.	33
Figure 11 Collecte de données basée sur les drones dans le réseau de clusters.....	34
Figure 12 le processus de routage du protocole CBLADSR.	36
Figure 13 : Méthode du barycentre pondéré	37
Figure 14 : Méthode du barycentre pondéré.....	37
Figure 15 : Illustration du trafic réseau selon différentes méthodes de routage	39
Figure 16 : Le calcul de la disponibilité des nœuds.....	40
Figure 17 : Type de simulation	45
Figure 18 : Répartition des nœuds sur l'environnement de simulation (50 et 100 nœuds)	51
Figure19 : Consommation moyenne d'énergie par UAV et par transmission.....	51
Figure 20 : La consommation d'énergie par transmission.....	52
Figure 21 : Nombre des nœuds opérationel par transmission.....	52
Figure 22 : Nombre des nœuds opérationnels par tour.....	53

Liste des tableaux

Tableau 1: Faisabilité des modèles de mobilité pour les scénarios d'application FANET	15
Tableau 2: Différences entre FANET, VANET and MANET	17
Tableau 3: Les composants disponibles dans NS-2	48
Tableau 4 : paramater de semilation	50

Acronymes et abréviations

MANET: *mobile ad hoc network*

MG: *Manhattan Grid*

VANET: *vehicular ad hoc network*

FANET : *Flying Ad hoc Network*

CBLADSR : *Cluster-Based Location-Aided Dynamic Source Routing*

GPS : *Global Positioning System*

PPRZM : *Paparazzi Mobility Model*

UAV : *Unmanned Aerial Vehicle*

GCS : *Ground Control Station*

GSM : *Global system for mobile communications*

RWP : *Random Way-Point*

RW : *Random Walk*

RD : *Random Direction*

GM: *Gauss-Markov*

ST : *Smooth Turn*

RPGM: *Reference point group mobility*

SRCM : *Semi-random circular motion*

IoT : *internet of things*

URP : *UAV ROUTING PROTOCOL*

WSNs : *Wireless Sensor Networks*

Introduction General

Introduction

Voler restera l'un des plus grands plaisirs de l'homme. . . Depuis quelques années, le besoin d'être connecté est devenu fondamental pour l'homme. Ce besoin pose de plus en plus de défis pour la technologie moderne l'obligeant à plus d'innovation et de créativité. Ainsi, de nouvelles technologies sont apparues comme les réseaux sans fil et les réseaux Ad-hoc. Les réseaux ad-hoc sont des réseaux sans fil capables de s'organiser sans infrastructure. Dans un contexte de mobilité, ils sont appelés MANETs pour réseaux ad-hoc mobiles. Un réseau ad hoc mobile (MANET) est un système autonome de nœuds mobiles, reliés par des liens sans fils, dont l'union forme un graphe arbitraire. Les nœuds du réseau jouent le rôle de routeurs, ils sont libres de se déplacer aléatoirement et de s'organiser arbitrairement. En conséquence, la topologie du réseau peut changer rapidement et de manière imprévisible. Ce réseau a attiré l'attention des constructeurs et des chercheurs, ce qui a conduit à la naissance des réseaux de communication ad-hoc aériens (FANETs). Les FANET sont des réseaux de type MANET dans laquelle les nœuds sont des UAV.

Réseaux spéciaux de véhicules aériens sans pilote (UAV) dans l'air et l'infrastructure sur le terrain sont des questions difficiles. Les exigences diffèrent des réseaux traditionnels, tels que Réseau mobile ad hoc (MANET) ou véhicule ad hoc Réseau (VANET). En volant Ad hoc Network (FANET) est une infrastructure de réseautage ad hoc qui comprend plusieurs UAV dans les airs et une ou plusieurs stations de contrôle au sol (GCS) sur le terrain. Le développement de technologies liées à l'architecture FANET, comme les communications, systèmes de mise en réseau et robotique, a changé l'évolutivité de UAV de l'utilisation d'un gros UAV à l'utilisation de plusieurs UAV. En raison à la disponibilité de plusieurs UAV, le FANET peut pour atteindre des objectifs de haut niveau. L'un des principaux problèmes de conception sur FANET est la communication entre UAV et GCS ainsi que parmi les UAV. En mission orientée FANET environnement, les UAV communiquent entre eux pour recevoir des informations sur l'affectation de la mission de la GCS ou transmettre les données collectées à la GCS. En outre, en FANET axé sur la mission, chaque UAV effectue sa mission soit de manière autonome ou périodique d'échange de messages. Un autre problème de conception sur la FANET est le problème de la consommation d'énergie des UAV. Dans un environnement multi-UAV, pas seulement nombre de paquets échangés entre eux, mais aussi le distance de transmission augmente. Il s'agit d'un problème

fatal dans la consommation d'énergie des UAV à batterie. Par conséquent, UAV, qui a reçu des missions de GCS, devrait minimiser consommation d'énergie pour assurer suffisamment de temps pour effectuer le missions données et structures de communication appropriées devrait être établi selon l'opération multi-UAV scénarios.

Ce mémoire est organisé comme suite. Dans le premier chapitre, nous présentons une étude bibliographique sur les réseaux ad hoc, les réseaux ad hoc mobile, les réseaux ad hoc des drones ou les FANETs pour (Flying Ad Hoc Network), caractéristiques des réseaux FANET, les protocoles de routage, les modèles de mobilités ...etc. Le chapitre deux présente les notions de base liées à la Regroupement et des protocoles de routage basés sur le Regroupement dans les réseaux FANET. Le dernier chapitre est consacré au modèle de Regroupement où nous avons fait une comparaison entre la quantité d'énergie consommée en utilisant deux méthodes pour choisir le cluster Head soit au hasard ou celui qui a la plus grande quantité énergie résiduelle. La validation et l'évaluation des performances de l'algorithme proposé ont été réalisées sur différentes topologies en utilisant l'outil de simulation Matlab.

CHAPTER 1

Généralité sur les FANET

1.Introduction

Grâce aux progrès technologiques rapides réalisés dans les domaines de l'électronique, des capteurs et des Il est possible de produire des systèmes de véhicules aériens sans pilote (UAV), qui peuvent voler de façon autonome ou être utilisés de façon mobile sans transporter de personnel humain. Parce que de leur polyvalence, de leur flexibilité, de leur facilité d'installation et de leurs dépenses de fonctionnement relativement modestes, l'utilisation des UAV offre de nouvelles possibilités pour les applications militaires et civiles, comme les opérations de recherche et de destruction, la lance de surveillance frontalière, la gestion des feux de forêt, le relais pour les réseaux spéciaux , estimation du vent, surveillance des catastrophes, à distance détection et surveillance du trafic. Bien qu'un seul UAV systèmes sont utilisés depuis des décennies, au lieu de développer et d'exploiter un grand UAV, en utilisant un groupe de petits Les UAV présentent de nombreux avantages. Toutefois, les systèmes multi-UAV ont également des défis uniques et l'un des plus problèmes de conception importants est la communication. Flying Ad-Hoc Network (FANET), qui est essentiellement réseau ad hoc entre les UAV, est sondé comme une nouvelle famille de réseau. Les différences entre Mobile Ad-hoc Réseau (MANET), Réseau spécial de véhicules (VANET) et FANET sont décrits, et le plus important FANET Outre les solutions existantes, les questions de recherche ouverte sont également abordées. Parallèlement aux progrès des systèmes embarqués et tendance de miniaturisation des systèmes micro électromécaniques, il a été possible de produire des petits ou mini-UAV à faible coût. Cependant, la capacité d'un seul petit UAV est limitée. Coordination et collaboration de plusieurs Les UAV peuvent créer un système qui dépasse la capacité un seul UAV.

2. Réseau Ad-hoc

Un réseau ad hoc est un réseau composé de dispositifs individuels communiquant directement entre eux. Le terme implique une construction spontanée ou impromptue, car ces réseaux contournent souvent le matériel de contrôle d'accès ou le point d'accès central tel qu'un routeur. De nombreux réseaux ad hoc sont des réseaux locaux où les ordinateurs ou autres périphériques sont autorisés à s'envoyer directement des données plutôt que de passer par un point d'accès centralisé comme l'illustre la figure 1.

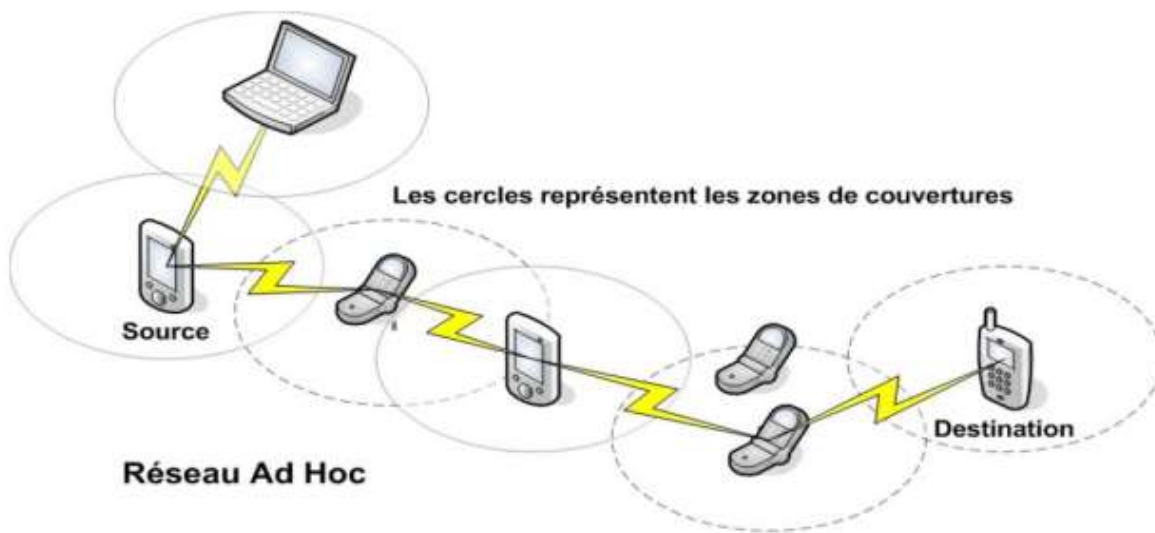


Figure 1: Un réseau Ad-hoc.

2.1 Caractéristiques des réseaux Ad Hoc :

2.1.1 Description :

Un réseau ad-hoc est donc constitué d'entités, mobiles, qui communiquent entre elles. Chaque entité communique directement avec sa voisine. Pour communiquer avec d'autres entités, il lui est nécessaire de faire passer ses données par d'autres qui se chargeront de les acheminer. Ainsi, le fonctionnement d'un réseau ad-hoc le différencie notablement d'un réseau comme le réseau GSM (Système mondial de communications mobiles).

2.1.2 Liens asymétriques :

En théorie, les liens sont symétriques, car on a un affaiblissement du signal inversement proportionnel à la distance entre l'émetteur et le récepteur. Mais en pratiques, ils sont asymétriques. On peut noter un déphasage dû aux multiples réflexions du signal sur différents obstacles. De plus, la route inverse n'est pas forcément la même que la route directe. [1]

2.1.3 Sécurité limitée :

Vu les contraintes précédentes, les méthodes de sécurité (cryptage, etc.) sont réduites ce qui augmente le risque d'attaques ou de piratage. En effet, les réseaux mobiles Ad-Hoc sont considérés comme étant très fragiles en matière d'attaques en tout genre. Lorsqu'une station émet des données, toute unité équipée d'un dispositif d'écoute (ici les cartes Wifi) a la possibilité d'intercepter ces données. Les pirates informatiques peuvent donc intercepter les données d'une manière directe en utilisant des antennes pirates (car les données circulent par voie hertzienne) ou bien obliger une station à consommer une bonne partie de ses ressources d'énergie en l'inondant de toutes sortes de requêtes inutiles.

2.1.4 Contraintes sur la bande passante :

Les réseaux sans fil se basant sur le partage des médiums de communication, alors la bande passante réservée à un hôte sera relativement modeste. Ceci implique des liens sans fil à capacité variable. Pour les réseaux ad-hoc, les messages vont être cryptés. Nous avons également des clés « de groupe ». Nous savons que seules les stations en possession de clé peuvent décrypter les messages. Les mécanismes mis en place doivent permettre aux stations qui se sont déconnectée de pouvoir récupérer la ou les clés permettant les décryptages lors de leur reconnexion. [1]

3. Réseau MANET

Le réseau mobile ad-hoc (MANET) est un ensemble de nœuds sans fil interconnectés et configurés de manière dynamique en tout lieu ou à tout moment, à l'exclusion du transport préexistant (figure 2). Les MANET ont de nombreux domaines d'application tels que les secours en cas de Catastrophe, la communication, réunions d'affaires urgentes, etc. Le principal avantage des MANET est leur portabilité ou leur mobilité. [2]

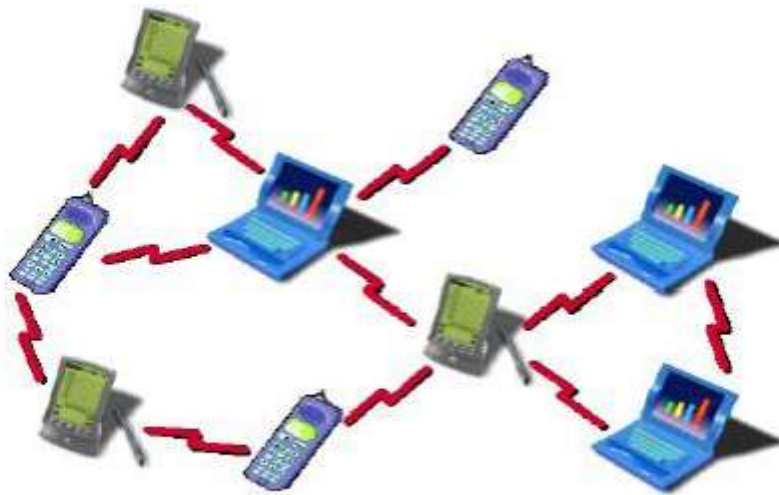


Figure 2 Un réseau MANET.

3.1 Caractéristiques de MANET

Topologies dynamiques :

La topologie du réseau qui est généralement multi-sauts, peut changer de manière aléatoire et rapide avec le temps, elle peut former des liens unidirectionnels ou bidirectionnels.

Liaisons à bande passante limitée et à capacité variable :

Les liaisons Sans fil ont généralement une fiabilité, une efficacité, une stabilité et une capacité inférieures à celles d'un réseau filaire

Comportement autonome :

Chaque nœud peut agir en tant qu'hôte et routeur, ce qui montre son comportement autonome.

Fonctionnement limité en énergie :

Comme certains ou tous les nœuds dépendent de batteries ou d'autres moyens épuisables pour leur énergie. Les nœuds mobiles se caractérisent par moins de mémoire, de puissance et de fonctionnalités légères.

Sécurité limitée :

Les réseaux sans fil sont plus sujets aux menaces de sécurité. Un pare-feu centralisé est absent en raison de la nature distribuée de l'opération pour la sécurité, le routage et la configuration de l'hôte.

Moins d'intervention humaine :

Ils nécessitent une intervention humaine minimale pour configurer le réseau, ils sont donc de nature dynamiquement autonome

2.2. Avantages et inconvénients de MANET :

2.2.1. Les Avantages :

1. Séparation de l'administration centrale du réseau.
2. Chaque nœud peut jouer les deux rôles, c'est-à-dire. Du routeur et de l'hôte montrant la nature autonome.
3. Les nœuds d'auto-configuration et d'autoréparation ne nécessitent pas d'intervention humaine.

3.2.2. Les inconvénients :

1. Les ressources sont limitées en raison de diverses contraintes comme le bruit, les conditions d'interférence, etc.
2. Manque de facilités d'autorisation.
3. Plus sujet aux attaques en raison d'une sécurité physique limitée. [3]

4. Définition de FANET

FANET est une forme d'UAV (Unmanned Ariel Vehicle) volant dans le ciel. Petit groupe de UAV forme des réseaux appelés réseaux ad hoc. Les FANETs sont l'extension d'un réseau ad hoc mobile (MANET) ou d'un réseau ad hoc véhiculaire (VANET) avec des capteurs intégrés, des caméras, des émetteurs, des récepteurs, etc. [4]

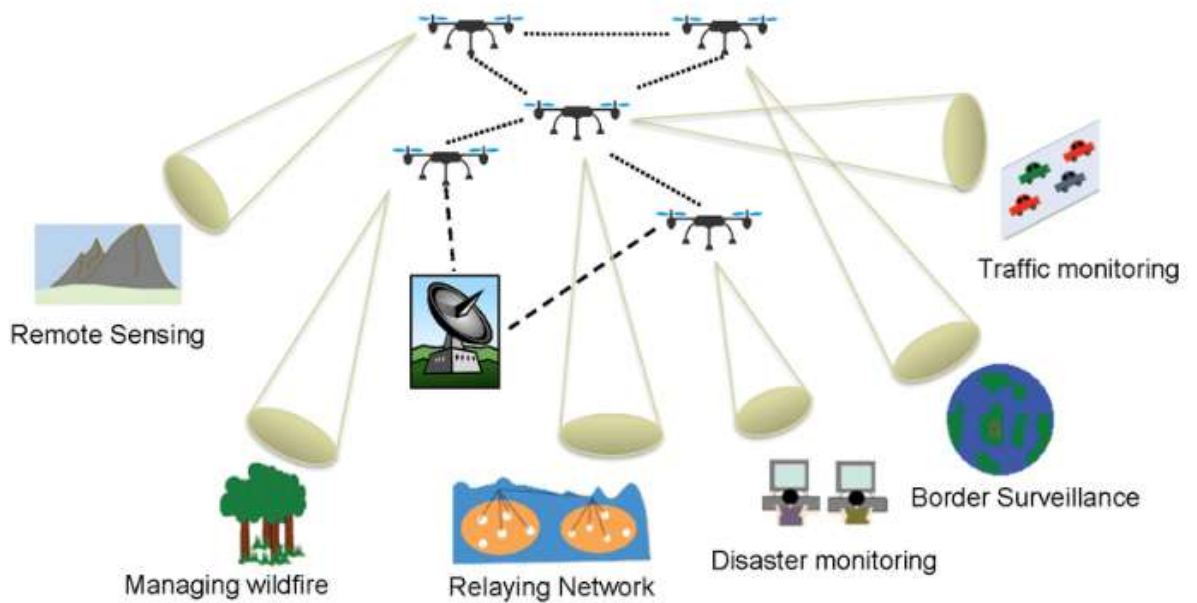


Figure 3: Un réseau FANET

4.1. Les caractéristiques des FANETs

En tant que classe spéciale de MANET, FANET est différenciée par ses propriétés uniques qui caractérisent les nœuds et l'environnement environnant. Diverses caractéristiques principales peuvent être utilisées pour caractériser FANET : densité d'UAV, modèle de propagation, topologie, évolutivité et localisation. D'autres caractéristiques sont également distinguées dans ce type de réseaux, qui sont décrits et discutés comme suit :

4.1.1 Mobilité des nœuds :

Dans la mobilité des nœuds, le degré est supérieur à MANET et VANET. L'UAV a une vitesse de 30-460 km / h, et cette vitesse cause le problème de communication entre les UAV.

4.1.2 Modèles de mobilité :

Dans de nombreux modèles de mobilité, le plan de vol est prédéterminé et à chaque étape, il y a un changement, un nouveau calcul pour la carte à lieu. D'autres modèles utilisent des vitesses et des directions aléatoires pour les UAV. [5]

4.1.3. Densité de nœud

Le nombre moyen d'UAV dans certaines zones s'appelle densité de nœud. Dans les FANET, il doit s'agir d'une densité clairsemée, séparées par de grandes distances en fonction de la nature du vol.

4.1.4. Topologie de réseau

En termes de topologie, FANET est un réseau distribué, Peer to Peer et à connexion multiple. Les nœuds se connectent "à la volée" selon le principe "les uns avec les autres". Cette topologie permet d'élargir la zone d'achèvement des tâches par la diffusion de données en continu (jusqu'à

24 heures sur 24) en remplaçant successivement ou progressivement des UAV. Par ailleurs, lorsqu'un ou plusieurs UAV sont désactivés intentionnellement ou non, FANET permet une amélioration de la survie du réseau en réorganisant automatiquement la topologie du réseau. [5]

4.1.5. Modèle de propagation radio :

Les différences entre FANET et les autres environnements d'exploitation de réseau ad hoc affectent les caractéristiques de propagation radio. Les nœuds MANET et VANET sont près du sol et, dans de nombreux cas, il n'y a aucune ligne directe entre l'émetteur et le destinataire. Par conséquent, les signaux radio sont principalement affectés par la structure géographique du terrain. Toutefois, les nœuds FANET peuvent être éloignés du sol et, dans la plupart des cas, il existe une ligne directe entre les UAV.

4.1.6. Consommation électrique et durée de vie du réseau :

La durée de vie du réseau est une question importante pour le réseau, qui consiste en des dispositifs informatiques alimentés par batterie. Le matériel de communication utilisé dans les FANET est alimenté par la source d'énergie UAV elle-même. Dans ce cas, les conceptions FANET peuvent ne pas être sensibles à la puissance, contrairement aux applications MANET. Mais cela reste un problème dans les mini-UAV. Localisation La localisation signifie la localisation de chaque UAV. En raison de la vitesse élevée et des changements fréquents de lieu, il est nécessaire de disposer d'informations de localisation élevées avec de faibles intervalles de temps. En utilisant le GPS, les informations sur les nouveaux emplacements seront transmises au réseau toutes les secondes, ce qui est insuffisant. Par conséquent, chaque UAV doit contenir un GPS et une unité de mesure initiale pour diffuser son emplacement à tous les UAV du réseau à tout moment. [6]

4.2. Les modèles de mobilités dans FANET

4.2.1. Modèles de mobilité randomisés.

Les modèles de mobilité randomisés sont les modèles simples pour la recherche en réseau. Ils représentent plusieurs nœuds mobiles dont les actions sont complètement indépendantes les uns des autres et des actions passées. Les exemples sont Marche aléatoire (Random Walk) (RW), Point de passage aléatoire (RandomWay-Point) (RWP) et Random Direction (RD). Dans ces modèles de mobilité, chaque nœud choisit aléatoirement une direction (ou un way point) et une vitesse déménager pendant un certain temps. Un autre modèle de mobilité aléatoire est Grille

de Manhattan (Manhattan Grid) (MG), qui utilise une topologie de route en grille qui contraint le nœud à se déplacer dans le sens horizontal ou vertical sur une carte urbaine. [7]

4.2.2. Modèles de mobilité dépendant du temps/de l'espace.

Cette catégorie de modèles de mobilité essaie d'éviter les changements de vitesse et de direction brusques. Le changement en douceur de mouvement peut être effectué en utilisant différentes équations mathématiques. Des exemples sont Zone de simulation illimitée (BSA) et Gauss-Markov (GM), qui utilisent une relation entre la direction précédente et la vitesse et les actuels pour mettre à jour les nouvelles valeurs à chaque étape. Le modèle de mobilité Smoothie Turne (ST) permet nœuds mobiles pour se déplacer dans des trajectoires courbes, en choisissant un point dans l'espace, puis tournant autour de lui jusqu'à ce que le drone sélectionne un autre point de virage. [8]

4.2.3. Modèles de mobilité planifiés.

Ces mobilités les modèles fournissent un schéma de chemin avec une forme prédéfinie. Les UAV suivent un schéma spécifique jusqu'à ce qu'ils arrivent aux fins de celui-ci, et passer au hasard à un autre motif ou répéter le même. Le mouvement circulaire semi-aléatoire (SRCM) est un exemple de modèle de mobilité conçu pour les scénarios de mouvement incurvé des drones et adapté à la simulation de drones tournant autour d'un poste spécifique. Modèle de mobilité paparazzi (PPRZM) est un exemple de modèle de mobilité stochastique qui est basé sur une machine à états contenant six mouvements États du modèle : Stay-At, Eight, Oval, Scan et Point de passage. Chaque UAV choisit l'un de ces modèles et de vitesse aléatoire. [9]

4.2.4. Modèles de mobilité de groupe.

Ces modèles comprennent une contrainte spatiale entre tous les nœuds mobiles. Le Modèle de mobilité du groupe de points de référence (RPGM) simule un mouvement aléatoire de nœuds mobiles autour d'un point de référence qui se déplace sur la zone avec un modèle RWP simple. Des cas particuliers de RPGM sont définis dans : en colonne (CLMN) chaque nœud mobile se déplace autour d'un point de référence placé sur une ligne donnée, qui se déplace vers l'avant ; La communauté nomade (NC) déplace aléatoirement un nœud mobile autour d'un point qui, à son tour, se déplace au hasard ; Poursuivre (PRS) est similaire à Nomadic, mais les nœuds mobiles tentent de suivre une cible particulière, sans simple hasard mouvement autour de lui. [10]

4.2.5. Modèles de mobilité basés sur le contrôle de la topologie.

Lorsque certaines contraintes de réseau ou de mission doivent être satisfaites en permanence, le modèle de mobilité a besoin d'un contrôle en temps réel de la topologie des nœuds mobiles. Un classique exemple est le Distribue Phéromone Repel (DPR) modèle de mobilité pour les missions de reconnaissance et de recherche. Dans ce modèle, chaque nœud mobile maintient une propre carte de phéromones. Il déploie un ensemble de drones sur une zone sinistrée afin de créer une infrastructure de communication qui les victimes de la catastrophe peuvent utiliser. Le but de chaque UAV doit couvrir le nombre maximum de personnes sur le terrain en maintenant un lien avec les autres UAV. [11]

4.3.Applications des FANETs

Chercher et sauver

Un modèle typique pour les opérations de recherche et de sauvetage est un schéma de balayage simple dérivé de PPRZM, lorsqu'une zone de recherche rectangulaire est bien définie. Cependant, PPRZM n'a pas une connectivité ou un contrôle de collision. La SRCM peut également restreint les drones à tourner autour d'une cible fixe comme potentiel

Rechercher l'emplacement cible. Lorsqu'un schéma de recherche aléatoire est requis, BSA, GM ou ST peut reproduire une tâche de recherche dans une zone bien définie, même ici avec un manque de connectivité et de sensibilisation aux collisions. BSA a la fonction de téléportation irréaliste lorsqu'un UAV sort de la zone. Pour résoudre ce problème, lorsque le drone sort de la zone, chaque drone doit retarder le temps de rentrer. Dans les scénarios de recherche d'urgence, nous avons besoin d'une livraison garantie et tolérance de retard maximale ; dans ce cas, les modèles de mobilité randomisés ne sont pas adéquats. Un modèle de mobilité plus robuste pour les scénarios de recherche et de sauvetage est le modèle de mobilité DPR, dans lequel les mouvements dépendent des zones visitées par les drones. Dans ce cas, afin de garantir une certaine coordination, les drones ont besoin d'une forte connectivité. SDPC est le modèle de mobilité le plus utile spécifiquement conçu pour les scénarios de catastrophe, car il permet UAV pour atteindre les victimes en tenant compte de leur connectivité.

Trafic et surveillance urbaine

Pour une infrastructure de surveillance à la croisée des chemins, les drones peuvent être positionnés fixe comme des caméras fixes à chaque carrefour surveiller certains événements. Si nous avons besoin de drones mobiles pour faire le tour de la zone urbaine, un modèle de mobilité MG pourrait être adapté à cet effet, mais avec l'inconvénient du manque de garantie de connectivité. Un autre scénario peut présenter des événements particuliers, comme une voiture accident. Un groupe d'UAV peut atteindre la zone avant l'aide arrive, afin de vérifier l'état des victimes et les éventuelles situations de danger. SRCM peut convenir à ce type de scénario. [12]

Reconnaissance et patrouille

Lorsque les UAV doivent patrouiller périodiquement autour d'une cible (bases, bâtiments, personnes ou véhicules terrestres), un SRCM peut être utilisé. Lorsque ces cibles se déplacent également, un modèle de mobilité de groupe (CLMN, NC ou PRS selon le comportement de la cible) peut satisfaire un tel contexte zone, puis sort pour retourner à la station de base. BSA ou GM sont de bons modèles de mobilité pour cette application, puisqu'ils produisent des chemins aléatoires imprévisibles par les ennemis. Pour les missions dans lesquelles une certaine coopération entre drones est nécessaire, le modèle de mobilité DPR comprend une carte des points d'attraction qui peuvent représenter des zones sensibles (concentration de personnes, zones animées, zones à risques, etc.).

Gestion agricole

En règle générale, les scénarios agricoles nécessitent un mouvement ponctuel. Pour les drones à actionneur (effectuant l'irrigation ou la lutte antiparasitaire tâches de contrôle) PPRZM (scan pattern) peut suffire, puisque la nature rectangulaire des zones d'exploitation comme cultivées des champs. Un modèle de mobilité CLMN peut être approprié pour vérifier les conditions de la zone de terrain.

Détection environnementale

Les UAV en tant que nœuds de capteurs sont placés à l'arrêt sur la zone pour être détecté, en envoyant périodiquement des informations environnementales à la station de base. Les applications pour les réseaux de capteurs sont généralement effectuées par des DTN, qui n'ont pas besoin d'une communication en temps réel ou d'une connectivité réseau continue. Un seul UAV peut se déplacer avec un schéma de trajectoire prédéfini dans lequel chaque point de

cheminement est un capteur UAV statique ; le déplacement Les drones captent les données de chaque capteur de drone (via une connexion) puis revenez à la station de base [13]

Réseau relais

Le besoin d'une infrastructure de communication où il y a aucune connectivité ne peut être effectuée en déployant statiquement un ensemble de drones, qui agissent comme une chaîne de relais entre les drones, ou même dans un scénario hétérogène impliquant des drones, des véhicules, piétons, etc. Dans les scénarios urbains, les drones peuvent être utilisés comme routeurs pour le V2V connectivité, permettant aux véhicules dans les rues de communiquer avec l'un l'autre ; une simple MG peut représenter un tel scénario.

Tableau 1: Faisabilité des modèles de mobilité pour les scénarios d'application FANET

Application	Modèle de mobilité	Description
Operations de recherche et de sauvetage	BSA, GM, ST PPRZ M SRCM DPR SDPC	Recherché aléatoire sur une zone cible spécifiée. Chaque UAV sélectionne le modèle de balayage dans une position aléatoire. Numérisation dans une zone circulaire. Numérisation d'une zone par vérifications répétées. Atteindre les victimes sur une zone sinistrée.
Surveillance de la circulation et urbaine	Statice M G SR C M	Les drones comme caméras fixes aux carrefours. Surveillance des rues de la ville. Patrouille d'un accident avant l'arrivée de l'équipe de secours.
Reconnaissance et patrouille	Statice SRC M BSA, GM DPR	Première ligne de défense et de patrouille statique. Surveillance d'une cible. Missions sans prédiction de chemin par les adversaires. Missions en temps réel avec connaissance de Zones critiques.
Gestion agricole	CLMN PPRZM	Vérification de l'état du terrain Actions d'UAV (par exemple, irrigation) sur des champs cultivés.
Détection environnementale	Statice	UAV en tant que nœuds de capteurs fixes.
Réseau relais	Statice MG	Infrastructure de communication UAV statique. Connectivité V2V entre véhicules urbains.

4.4. Modèles de communication dans FANET

UAV To UAV

Les informations sont échangées entre les UAV directement en utilisant les différents algorithmes de routage. Puisque le changement de topologie FANET en raison du retrait ou de l'ajout de nouveaux UAV est fréquent, le maintien de la communication entre les UAV entraîne plusieurs directions de recherche

UAV To infrastructure

La communication entre drones et infrastructure est formulée par un sous-groupe d'UAV communiquant avec l'infrastructure, c'est-à-dire une station satellite ou terrestre. Ce type de communication transmet les informations sur les tâches prévues sur une plus grande échelle et nécessite l'échange de données plus lourdes.

4.5. Comparaison entre FANET, MANET et VANET

Les différences les plus certaines entre les FANET et les autres réseaux ad hoc (MANET et VANET), est la topologie dynamique du réseau, la vitesse des nœuds et la mobilité des nœuds. De plus, FANET diffère de MANET et VANET par la connexion, la qualité de service, les fonctionnalités de mouvement de nœud et livraison de données. La comparaison entre MANET, VANET et FANET avec différents critères est donnée dans Tableau 2. Les nœuds FANET (UAV) sont utilisés pour collecter des données à partir de l'Internet des objets (IOT) en tant que collecteurs mobiles [dix]. En effet, chaque UAV dans FANET peut jouer un rôle majeur sur les IoT, qui se composent d'appareils avec un petit capteur de capacité de batterie. Ces appareils ne peuvent généralement pas être distribués sur de longues distances, en raison de la limitation énergétique des appareils IOT. Ainsi, le drone se déplacera dynamiquement vers les appareils IOT, collectera des données et transfèrez-le à d'autres UAV du réseau FANET qui se trouvent en dehors des plages de communication des appareils IOT.

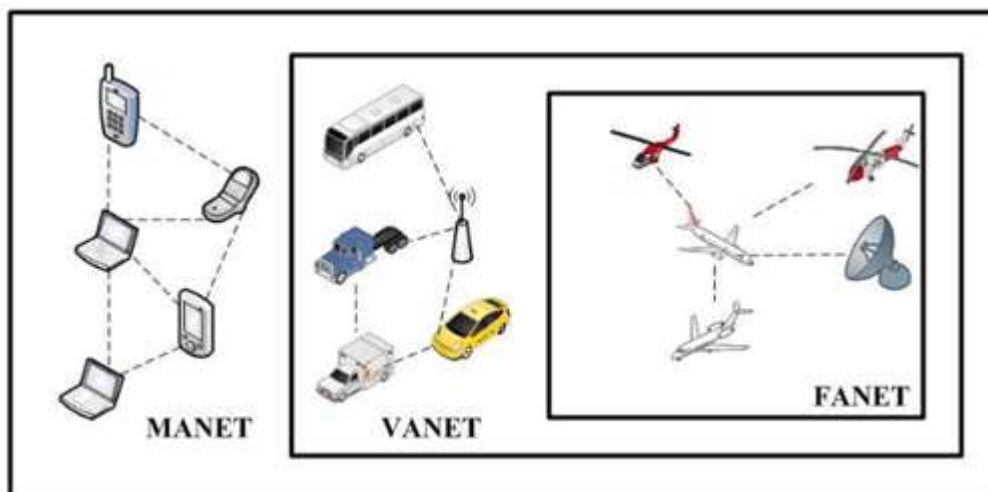


Figure 4 FANET, MANET et VANET

Tableau 2: Différences entre FANET, VANET and MANET

Critère	MANET	VANET	FANET
Mobilité des nœuds	Bas	Haut	Très haut
Modèle de mobilité	Arbitraire	Constant	Modèles de mobilité généralement prédéterminés, mais spéciaux pour les systèmes multi-UAV indépendants
Densité de nœuds	Bas	Moyen	Très haut
Changement de topologie	Slow	Moyen	Rapide
Modèle de propagation radio	Très proche du sol, Los n'est pas accessible dans tous les cas	Proche du sol, Los n'est pas accessible dans tous les cas	Haut au-dessus du niveau du sol, la ligne de mire est accessible dans la plupart des cas
Consommation électrique et durée de vie du réseau	Besoin de protocoles d'efficacité énergétique	Pas besoin	Nécessaire pour les mini UAV, mais maintenant nécessaire pour les petits UAV
Puissance de calcul	Limité	Moyen	Très grand
Localisation	GPS	GPS, AGPS, DGPS	GPS, AGPS, DGPS, IMU

4.6. Le routage dans les FANET

Il existe une large gamme de protocoles de routage pour les FANET. Tous ces protocoles sont destinés à améliorer le taux de livraison des paquets et à réduire les délais et les pertes de paquets. De plus, toutes les caractéristiques FANET, et en particulier la grande mobilité des nœuds, doivent être prises en compte. Considération

Les protocoles de routage FANET peuvent être classés en trois catégories principales selon la technique suivie et l'idée derrière chaque protocole : (i) protocoles de routage basés sur la topologie, (ii) protocoles de routage basés sur l'essaim, et (iii) protocoles de routage basés sur la position. Les sous-sections ci-dessous examinent les protocoles de routage les plus pertinents. Nous notons que les protocoles de routage basés sur la topologie sont partiellement étudiés.

Les objectifs de routage dans les FANET

Il existe trois principaux objectifs de routage dans les FANET :

- Amélioration de la stabilité de l'itinéraire. Dans les FANET, la stabilité et la durée de vie de la route sont plus faibles car a) la topologie du réseau est très dynamique en raison du degré de mobilité élevé et b) la distance entre les nœuds dans les FANET est relativement longue. Par conséquent, une découverte et une maintenance fréquentes des routes sont nécessaires pour rétablir les routes. De plus, la stabilité de l'itinéraire augmente avec la densité des nœuds et l'énergie résiduelle.
- Amélioration de la couverture du réseau. Dans les FANET, la densité de nœuds est plus faible, de sorte qu'une large plage de transmission et une couverture réseau sont nécessaires pour réduire les effets des déconnexions de liaison et des partitions de réseau afin d'améliorer la connectivité du réseau. De plus, la couverture du réseau augmente avec la densité des nœuds dans le scénario multi-UAV.
- Amélioration des performances de routage et de la qualité de service. Étant donné que la stabilité des routes est plus faible dans les FANET, les performances de routage diminuent en raison de l'augmentation de la découverte et de la maintenance des routes. Par conséquent, des routes appropriées (par exemple, des routes qui offrent une stabilité de route et une durée de vie de route élevées, et des routes avec un nombre de sauts moindre qui réduisent la latence de diffusion des données de manière ad hoc) sont identifiées et sélectionnées. De plus, la QoS augmente avec la densité des nœuds et la portée de transmission, ce qui augmente la connectivité du réseau.

En général, la stabilité de la route est plus élevée, la couverture du réseau est plus élevée et les performances de routage s'améliorent :

- Qualité de service plus élevée (par exemple, un débit plus élevé, ainsi qu'une latence et une perte de paquets plus faibles) ;
- Coût de routage inférieur ;
- Durée de vie de route plus longue ;
- Réduire la latence de la diffusion des données de manière ad hoc.

1. Protocoles de routage basés sur la topologie

Cette catégorie de protocoles de routage exploite les adresses IP pour définir les nœuds et utilise le lien existant informations dans le réseau pour transmettre les paquets par le chemin approprié.

Les protocoles sont classifiés routage proactif, routage réactif et routage hybride.

1.1. Protocoles de routage proactifs

Dans ce type de protocoles de routage, les tables de routage sont mises à jour et partagées périodiquement entre les nœuds entraînant la disponibilité de chemins de routage entre chaque paire de nœuds dans le réseau. Toutefois, le routage proactif n'est pas adéquat pour les FANETs en raison de sa faible réaction au changement fréquent de la topologie entraînant de nombreux échecs de connexion. Les protocoles de routage proactif les plus populaires proposés ou adaptés à FANET dans la littérature sont OLSR, D-OLSR, M-OLSR, CE-OLSR, et DSDV. [14]

1.2. Protocoles de routage réactifs

Afin de limiter l'abus de la consommation de bande passante dans le routage proactif, le routage réactif utilise un processus de découverte à la demande lorsqu'il n'y a pas de route entre deux nœuds communicants. Ce type de routage peut être la solution appropriée pour les réseaux très dynamiques tels que FANET. Néanmoins, une latence élevée peut être distinguée en raison du temps important pris par le processus de découverte et l'absence de sécurité dans ce type de routage. Plusieurs protocoles de routage réactifs ont été proposés au cours de la dernière décennie : AODV, AODV-SEC, AODV à fente temporelle, M-AODV, APAR et DSR.

1.3. Protocoles de routage hybrides

Pour surmonter le problème des protocoles proactifs et de la latence élevée des protocoles réactifs, le routage hybride est introduit. En effet, le réseau est divisé en zones et à l'intérieur de chaque zone, un le routage est adopté et la communication entre les zones est basée sur un routage réactif. Protocoles de routage adaptés aux FANETs, citons HWMP, ZRP, SHARP, HRPO et TORA. [15]

2. Protocoles de Routage basés sur Swarm

Le Swarm intelligence (SI) est un système auto-organisé. Il a d'abord été utilisé pour le système robotique cellulaire. Le SI peut être considéré comme un algorithme d'optimisation en théorie de l'intelligence. La mise en œuvre d'un tel système repose sur des algorithmes en essaim. Pour réaliser ce type d'algorithmes, les comportements sociaux des oiseaux ou poissons en troupes ou d'insectes sur essaim sont modélisés. Celles-ci peuvent constituer la solution adaptée aux problèmes d'optimisation complexes. Ces algorithmes visent à trouver une solution quasi

optimale pour la mission visée. En tant que protocoles de routage basés sur des essaims, dédiés aux FANET, nous distinguons Bee Ad hoc et APAR [15]

3. Protocoles de routage basés sur la position

Cette classe de protocoles de routage repose sur la connaissance des positions géographiques que chaque nœud est capable de la définir. Nous notons que pour calculer la position de la destination, le nœud peut utiliser un service de localisation tel que le service de localisation réactive (RLS), le service de localisation réseau (GLS), le service de localisation hiérarchique (HLS) ou le Système de positionnement global (GPS). Ce type de routage est le plus approprié pour les réseaux très dynamiques tels que les FANET. Les protocoles peuvent être classés en trois catégories : (i) protocoles de routage non-DTN, (ii) protocoles de routage DTN et (iii) protocoles de routage hétérogènes [15].

3.1 Protocoles de routage de réseau non tolérant (non-DTN)

Les protocoles Non Tolérant aux retards (Non-DTN) fonctionnent plus efficacement sur des réseaux bien connectés où la densité de nœuds est relativement élevée, car il ne tient pas compte du problème de la déconnexion. L'objectif principal de ces protocoles est de transmettre le plus rapidement possible les paquets de données au destinataire en utilisant la technique du saut multiple via les nœuds dans le cas où le destinataire ne se trouve pas dans la plage de transmission de l'expéditeur. Deux catégories sont distinguées : (i) routage à base réactive et (ii) routage à base de glouton. La première catégorie doit avoir le chemin complet vers la destination cible sur la base de chemins de routage préalablement établis à la demande. Cependant, la remise des données peut échouer en cas de déconnexion si le réseau devient mal connecté. Par conséquent, les protocoles réactifs doivent appliquer leurs stratégies de récupération pour remédier à ces défaillances

3.2 Les protocoles Tolérant aux retards (DTN)

Sont destinées à traiter les problèmes techniques des réseaux souffrant de déconnexions récurrentes, telles que les FANET, en raison du degré élevé de mobilité des nœuds. Cela entraîne une distorsion des chemins de routage construits progressivement vers la destination cible. Dans la plupart des cas, cette catégorie de protocoles utilise la technique de stockage différé lorsqu'ils perdent la connectivité avec d'autres nœuds afin de transmettre les paquets vers la destination cible. Cette technique bien connue permet aux nœuds de stocker les paquets de données pour une distance jusqu'à ce qu'ils rencontrent d'autres nœuds, et de transmettre les paquets en se basant sur certaines métriques aux nœuds voisins. Cette technique diminue considérablement les frais généraux car elle n'utilise pas de paquets de contrôle. Chapitre 2 :

Le Routage FANET 20 Cependant, cela augmente le délai de transmission puisque les paquets de données transitent en fonction des mouvements des nœuds

3.3 Les protocole de Routage Hétérogènes

Maintiennent l'interaction au sol entre les UAV et différents types de nœuds, qu'ils soient fixes ou mobiles. De nombreux avantages sont fournis par l'utilisation de cette architecture. Dans un premier temps, il peut étendre la couverture du sous-réseau situé au sol. De plus, les nœuds fixes au sol peuvent fournir un réseau fédérateur fiable et une bande passante supérieure pour permettre la distinguée selon que les informations sont partagées entre les nœuds et l'objectif de l'échange de données. Par exemple, dans les réseaux VANET, les drones peuvent aider les nœuds au sol à améliorer la robustesse et la fiabilité de la transmission des données. De plus, les UAV peuvent être utilisés en une seule équipe pour accomplir certaines tâches ou être utilisés en tant que capteurs pour différentes applications. Selon la technique utilisée pour le transfert, on peut distinguer les protocoles FANET basé sur la prédiction et ceux basés sur le Gloutonne. Il existe plusieurs formes de techniques de prévision pour la fourniture de données utilisées dans les FANET. Le plus populaire, le premier, est la prédiction basée sur la localisation géographique, la direction et la vitesse, pour prédire la position future d'un nœud donné. Tous ces paramètres peuvent donner des informations précises sur le prochain emplacement du nœud relais ce qui diminue considérablement les pertes de paquets et parfois même le délai de bout en bout entre deux nœuds en communication. La figure 13 représente une technique de prévision basée sur la future localisation géographique d'un prochain nœud relais

En tant que stratégie de transmission dans un protocole de routage classique basé sur la position FANET, la technique Gloutonne est fréquemment utilisée pour la livraison de paquets de données. Cette technique vise à minimiser le nombre de sauts jusqu'à la destination cible et, par conséquent, le retard de livraison et la distance parcourue.

CHAPITER 2

Analyse de la sélection dynamique des chefs de cluster pour Axé sur la mission

1. Clustering dans les réseaux Ad Hoc

Le Clustering dans les réseaux Ad Hoc Mobile est un moyen efficace de structurer le réseau. Son but est d'identifier un sous-ensemble de nœuds dans le réseau et de lui attribuer un chef (un cluster-Head). Celui-ci sera en charge de tâches spécifiques comme l'agrégation de données. L'exécution de ces tâches additionnelles entraîne une augmentation de la consommation énergétique et une diminution de la durée de vie du nœud.

Le Clustering est un schéma de gestion de réseau efficace qui peut améliorer les performances globales du réseau de drones ad hoc en divisant le réseau complexe en nombre de clusters. Le regroupement dans le réseau UAV offre plusieurs avantages tels que la fiabilité, l'évolutivité, la tolérance aux pannes, l'efficacité énergétique, la minimisation de la latence, la maximisation de la couverture et une connectivité stable

1.1 Routage basé sur le Clustering

Le routage hiérarchique est le routage qui est principalement basé sur la topologie basée sur les clusters. L'un des problèmes majeurs du routage hiérarchique est la formation du cluster. La littérature des algorithmes de Clustering existants est principalement classée en deux catégories : (i) Clustering probabiliste et (ii) Clustering déterministe. L'objectif principal de l'algorithme de cluster probabiliste est de trouver la meilleure route de routage en allongeant la durée de vie du réseau. Les algorithmes de Clustering probabiliste peuvent en outre être classés en trois catégories : (i) Clustering dynamique, (ii) Clustering bio-inspiré et (iii) Clustering hybride.

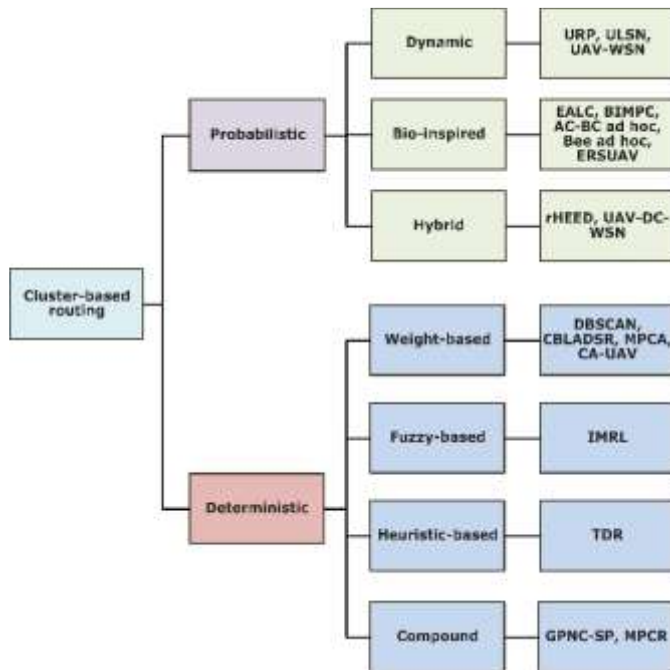


Figure 5 Classification des protocoles de routage basés sur les clusters pour les réseaux UAV [16].

1.1.1 Protocoles de routage en cluster basés sur le Clustering probabiliste

L'objectif majeur du routage probabiliste basé sur les clusters est de prolonger la durée de vie du réseau. Dans certains des protocoles de routage basés sur des clusters probabilistes, le CH est sélectionné au hasard. Dans cette section, les protocoles de routage basés sur des clusters probabilistes sont étudiés en détail.

URP (*UAV ROUTING PROTOCOL*) est un protocole de routage dynamique basé sur un cluster qui vise à collecter des données à partir d'une zone sélectionnée. Uddin et al [17] dans leur étude, un nœud de puits mobile basé sur un UAV collecte des données à partir de nœuds dispersés sur la base d'une marche aléatoire ou d'un chemin prédéfini. Un UAV envoie un message de balise pour activer tous les nœuds de capteurs résidant chez ses voisins, et il crée un cluster en tenant compte du chemin et du type de données.

Dans URP, les tâches de formation de cluster et d'élection de CH sont conduites dynamiquement. Chaque nœud participe au processus de sélection CH en fonction de sa probabilité calculée à l'aide d'un classificateur bayésien. Le schéma de clustering dynamique dans URP est illustré à la figure 4. Les nœuds de cluster de routage sont regroupés en trois types, à savoir les membres de cluster (CM), les clusters candidats (CC) et les CH candidats

(CCH). Les CCH et les UAV participent au processus d'élection du CH pour désigner un nœud comme CH. Un classificateur bayésien est utilisé pour calculer le processus de la sélection CH.

- Avantages : L'URP peut être utilisé efficacement dans un réseau UAV déployé rapidement sans aucune infrastructure existante. La durée de vie du réseau est considérablement améliorée grâce à l'utilisation du clustering dynamique.
- Limitations : URP est conçu uniquement pour les WSN assistés par un seul UAV pour la surveillance de la santé des cultures.
- Application potentielle : l'URP peut être utilisé pour la technologie de l'Internet des objets (IoT) basée sur les drones pour l'agriculture afin de prendre soin de la santé des cultures.
- Améliorations futures possibles : Des améliorations futures de l'URP peuvent être possibles de plusieurs manières. Au lieu d'un seul UAV, plusieurs UAV peuvent être utilisés de manière coordonnée. Une transmission à saut unique dans URP peut être étendue à un schéma de transmission à sauts multiples.

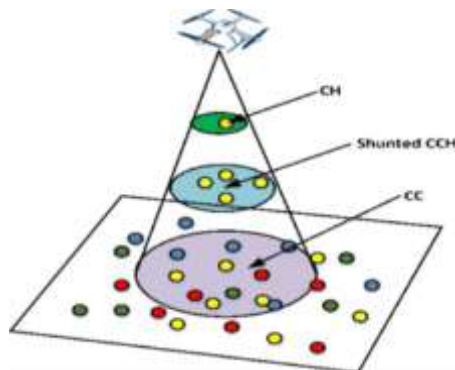


Figure 6 Schéma de clustering dynamique dans URP.

ULSN (UAV-BASED LINEAR SENSOR ROUTING PROTOCOL) : dans [18] Jawhar et al. Ont présenté un protocole de routage de capteur linéaire basé sur un cluster appelé ULSN. ULSN vise à réduire la consommation d'énergie utilisée dans la transmission de données et à prolonger la durée de vie du réseau. Dans le ULSN, quatre types de nœuds sont utilisés : les nœuds capteurs (SN), les nœuds relais (RN), un seul UAV et les puits. SN utilise une communication multi-sauts pour transmettre des données au RN le plus proche. RN agit comme un CH pour ses RN environnants. Au cours du processus, le nœud UAV effectue des allers-retours et collecte des données auprès des RN.

Le drone contient des informations GPS, qui sont utilisées pour la synchronisation et la localisation des RN et SN. L'UAV se déplace vers les RN avec une vitesse constante dans la direction vers l'avant, et il transmet les données au puits secondaire dans la direction opposée. À vitesse constante, les retards de message maximum et moyen du drone sont calculés comme suit :

$$T_{max}^{CSU} = \frac{(n+1)d}{s} \quad \text{et} \quad T_{avg}^{CSU} = \frac{(n+1)d}{2s},$$

Où n est le nombre de RN, d est la distance entre deux RN, s est la vitesse de l'UAV et CSU est la vitesse constante de l'UAV. Pour le délai maximum, un message dans l'UAV doit traverser tout le segment pour aller au puits cible. Le délai minimum se produit lorsque le message est collecté à partir du dernier nœud juste avant que l'UAV n'arrive au nœud cible.

Lorsque l'UAV est à portée de RN, RN est capable d'échanger des données avant que l'UAV ne quitte la zone. La hauteur de l'UAV à partir du sol, h , pour l'échange de données entre l'UAV et la RN est exprimée comme suit :

$$h = 2R_c \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = 2R_c \cos(\alpha),$$

Où R_c est la portée de communication d'un RN, et α est l'angle entre la ligne verticale et le point d'intersection du point de communication du cercle de portée de communication de RN. Lorsque l'UAV se trouve dans la portée de communication du RN, il demande la taille actuelle de la mémoire tampon du RN en transmettant un message de contrôle au RN. L'UAV prend la décision en fonction du quota de retard alloué de la RN. Si le délai d'attribution est suffisant pour télécharger toutes les données, le drone règle la vitesse de manière à faciliter le téléchargement de toutes les données. Si le quota de retard est inférieur ou égal au retard requis pour télécharger l'intégralité du bugger, la vitesse de l'UAV est définie comme la distance à portée (d) divisée par le devis de retard du nœud RN.

- Avantages : ULSN peut réduire efficacement les besoins en ressources tels que la mémoire tampon, le traitement, le délai de livraison des données de bout en bout, la fiabilité et la tolérance aux pannes. Si un segment tombe en panne en raison d'une défaillance du SN, du RN, du drone ou du puits, les autres segments du réseau fonctionneront bien.

- Limitations : le routage ULSN est conçu uniquement pour la collecte de données dans les WSN avec un seul UAV. Un retard important de bout en bout peut se produire parce que l'UAV se déplace lentement en dehors de la zone de communication des capteurs.
- Application potentielle : le cadre ULSN peut être utilisé pour collecter des données et les transmettre des capteurs au nœud récepteur.
- Améliorations futures possibles : Il peut être possible d'étendre les autres types de réseaux de capteurs. Les travaux futurs peuvent être axés sur l'utilisation de plusieurs UAV par segment et fournir des algorithmes efficaces pour des itinéraires UAV optimaux.

Dans [19], les auteurs présentent un protocole de routage basé sur les clusters appelé UAV-WSN. UAV-WSN contient deux comportements coopératifs principaux : les résultats opérationnels du WSN sont utilisés pour mettre à jour le plan de vol UAV, et le chemin de routage UAV dépend de l'opération WSN pour améliorer les performances de localisation des données. Les auteurs ont utilisé une coopération dynamique entre WSN et UAV pour la collecte de données. Le protocole de routage UAV-WSN vise à obtenir de meilleures performances en termes de durée de vie du réseau et d'efficacité énergétique par rapport au routage WSN non coopératif assisté par UAV. Dans UAV-WSN, les nœuds WSN sont formés en clusters à l'aide d'un algorithme de cluster distribué. Le schéma de routage UAV-WSN est illustré à la Figure suivante.

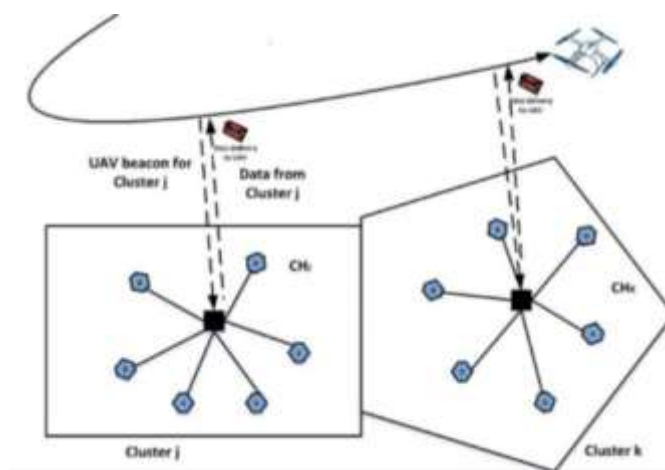


Figure 7 Collecte de données UAV basée sur les clusters.

Il existe deux types de nœuds : CH et CM. Le CM rassemble les données des capteurs et les transmet périodiquement au CH. Après avoir reçu la balise du seul UAV, CH envoie les données. Tous les nœuds CM surveillent l'activité du CH. Au bout d'un certain temps, si le nœud i ne détecte aucune activité de son CH, alors il se propose comme CH. Pour la collecte des données, la localisation des CH détermine les zones. L'UAV établit un plan de vol basé sur les informations de zone. L'attribution des zones de collecte WSN pour les UAV est calculée comme suit :

$$(i, n) = \arg \min_{(j,m)} \{c_{it} (UAV_m, WZ_j) + C_{it} (UAV_m)\},$$

Où i, j, m et n représentent les zones UAV, WZ_j est l'allocation pour UAV_m , $C_{it} (UAV_m)$ représente le coût du trajet UAV_m , qui est calculé comme la somme de la distance euclidienne entre les centres de collecte WSN zones allouées aux drones, et C_{it}

UAV_m ; WZ_j représente la distance euclidienne entre les centres de WZ_j et la zone de collecte de données WSN précédente allouée pour UAV_m . Pour le nouveau CH, il envoie des informations à la station centrale sur la rotation du CH.

- Avantages : dans le routage UAV-WSN, les nœuds CH et non CH dorment pendant les périodes d'inactivité. Tous les nœuds utilisent un récepteur radio de réveil. Pour la rotation CH, le routage UAV-WSN trouve un meilleur candidat à élire comme prochain CH.
- Limitations : UAV-WSN est conçu uniquement pour le routage basé sur un cluster à saut unique. Il n'est pas adapté à la collecte de données dans les grands WSN.
- Application potentielle : le routage UAV-WSN peut être utilisé pour collecter des données à partir de nœuds de capteurs.
- Améliorations futures possibles : pour l'amélioration future de l'UAV-WSN, il peut être possible d'étendre le cluster multi-sauts. Les clusters multi-sauts peuvent réduire le nombre de clusters et simplifier le routage des drones au détriment de l'augmentation de la consommation d'énergie des nœuds.

Adil et al. [20] ont proposé le protocole de routage EALC (ENERGY-AWARE LINK-BASED CLUSTERING) pour FANET. Ce protocole de routage vise à résoudre deux problèmes majeurs dans les routages UAV tels que la durée de vie et le routage inefficace.

Dans le processus d'élection des CH, EALC utilise une variante de l'algorithme de densité K-means. L'algorithme conventionnel de densité K-means utilise un paramètre pour le degré de voisinage, mais EALC utilise deux paramètres, à savoir le niveau d'énergie et la distance aux voisins pour l'élection d'un CH optimal. EALC vise à améliorer la durée de vie du cluster, à améliorer la consommation d'énergie et à économiser l'énergie des nœuds en sélectionnant efficacement la puissance de transmission des nœuds.

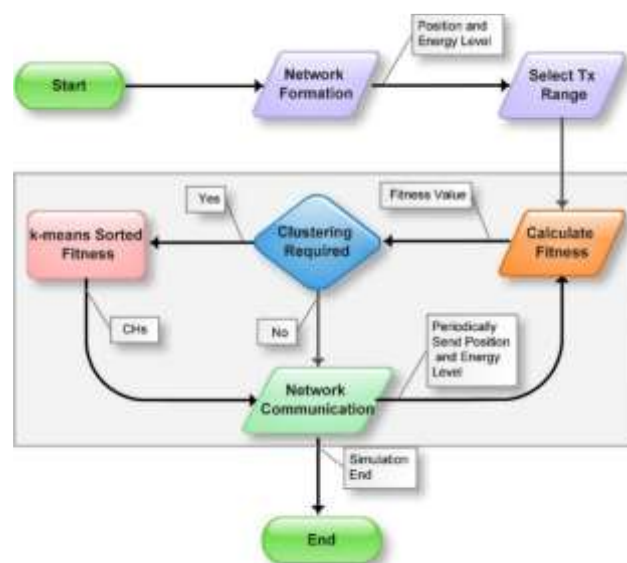


Figure 8 la méthodologie du protocole EALC.

Dans EALC, les nœuds sont regroupés dans un cluster à l'aide de l'algorithme K-means shorted fitness et établissent une communication via les CH. Les nœuds UAV diffusent périodiquement le niveau d'énergie et la position des CH. Si le CH fitness tombe en dessous du seuil de 20 %, alors tous les nœuds de ce cluster peuvent être considérés comme des nœuds non clustérisés. Lorsque 20 % de tous les nœuds sont désagrégés, un nouveau CH peut être appelé. Après avoir obtenu les informations de position et la portée de transmission, chaque nœud calcule sa valeur de précision et la transmet aux nœuds voisins. La valeur de fitness est calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$Fitness = \frac{w1 \times Energy_{Res}}{(w2 \times avg_{dis}) (w3 \times \Delta_{diff})}$$

Où $Energy_{Res}$ est le niveau d'énergie résiduelle du nœud, avg_{dis} représente la distance moyenne aux nœuds voisins et $delta_{diff}$ est la différence delta. Pour calculer les facteurs d'équilibrage de charge de différence delta, w_1 , w_2 et w_3 sont des métriques de pondération pour l'énergie, la distance moyenne et la différence delta, respectivement. La différence delta est l'écart du degré de nœud du voisinage par rapport au degré idéal.

- Avantages : Dans EALC, l'élection de CH n'est pas basée sur un calcul de poids statique ; il nécessite de l'énergie et une portée de transmission pour obtenir le bon CH. Un CH long rend le réseau plus stable et augmente la durée de vie du réseau. EALC optimise le calcul du routage et économise l'énergie des drones en contrôlant la portée de transmission et en regroupant efficacement le réseau.
- Limitations : le protocole de routage EALC ne prend en compte que les nœuds UAV à mobilité modérée.
- Application potentielle : EALC peut être utilisé pour les communications UAV peer-to-peer.
- Améliorations futures possibles : il sera peut-être possible d'effectuer un routage efficace avec des nœuds à très haute mobilité à l'avenir.

BIMPC est un protocole pour les réseaux de drones ad hoc [21]. BIMPC vise à résoudre le problème de la haute mobilité et du changement rapide de la topologie du réseau dans les réseaux UAV. Le protocole de routage BIMPC combine le caractère de mobilité des drones et transpose le modèle de recherche de nourriture de *Physarum polycephalum* dans le domaine des réseaux ad hoc.

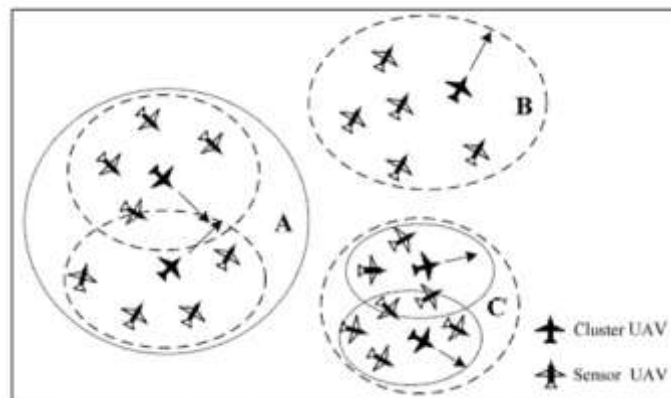


Figure 9 plusieurs formes communes en cours de formation en mouvement

BIMPC comprend la formation et la maintenance des clusters. On suppose que l'UAV actuel peut calculer la somme de la valeur des voisins à un saut et de la stabilité du cluster établi ; tous les UAV voisins à un saut ne sont pas dans la portée de communication de l'UAV actuel. Pour devenir un CH, tous les nœuds UAV doivent calculer la valeur des nœuds voisins. Le processus de calcul est le suivant :

$$CHP_i(t) = \sum_{j \in N} \frac{d}{dt} \Delta P_{ij}(t),$$

Où i et j sont des nœuds UAV, ΔP_{ij} désigne le flux à travers le tube de Pitot, $CHP_i(t)$ représente la probabilité que l'UAV actuel i devienne un CH, et N est l'ensemble des UAV voisins à un saut du nœud UAV actuel i . Dans le processus de formation du cluster, tous les UAV diffusent les paquets Hello à leurs voisins et établissent une liste de voisins. Lorsque l'UAV actuel reçoit deux messages Hello successifs de ses UAV voisins, alors, l'UAV actuel calcule la probabilité de subsistance de la liaison et le mouvement des UAV actuels et voisins.

- Avantages : Le routage BIMPC montre une meilleure performance dans la formation de clusters et le maintien d'un clustering hautement dynamique dans les réseaux UAV à grande échelle. La structure de cluster BIMPC est plus stable et nécessite moins de surcharge dans le routage.
- Limitations : Le protocole de routage BIMPC ne considère que les nœuds UAV à mobilité modérée.
- Application potentielle : le routage BIMPC peut être utilisé pour les réseaux de drones ad hoc à grande échelle hautement dynamiques.
- Améliorations futures possibles : Une amélioration future de BIMPC consiste à considérer les nœuds UAV à grande vitesse.

AC-BC AD HOC (ant colony-bee colony ad hoc) [22] est un protocole de routage bio-inspiré basé sur des colonies de fourmis et d'abeilles pour FANET, qui utilise une technique probabiliste et un routage basé sur des méta-heuristiques, il vise à résoudre les problèmes courants des drones tels que la mobilité, le contrôle de la topologie et le mouvement dans l'espace 3D. Dans AC-BC ad hoc, l'ACO est abordée comme la modélisation du comportement des fourmis pour trouver le chemin le plus court de la fourmilière à la source de nourriture.

On suppose qu'à la première itération ($l = 1$), n_r agents éclaireurs se répartissent aléatoirement dans l'espace de recherche. La génération aléatoire dans différents sites est exprimée par $R = \{r_s \mid s = 1 ; 2 ; \dots n_r\}$, où r_s définit le site de base, s est l'espace de recherche et n_r est le nombre initial d'agents scouts. La recherche d'une solution au problème est définie comme $Z = \{z_k \mid k = 1 ; 2 ; \dots l\}$, où chaque fourmi z_k construit sa propre solution de problème, et k est le nombre de solutions de problème spécifiques. A chaque étape de t , l'agent applique une règle probabiliste pour son prochain sommet. La probabilité du sommet P_{ik} est calculée comme suit :

$$P_{ik} = \frac{f_{ik}}{\sum_i f_{ik}},$$

Où i est le numéro du sommet, et f_{ik} est mesuré, les paramètres étant le niveau total de la phéromone du graphe G arête reliant x_i au sommet $e_k(t)$. Supposons que $e_k(t)$ soit le dernier sommet de $D_k(t)$. Dans la deuxième étape, la route construite D_k est définie comme :

$$\Delta\tau_k(l) = \frac{Q}{F_k(l)},$$

Où Q est une constante, qui est définie comme étant la longueur du plus court chemin estimé avec une méthode heuristique, l est le nombre d'itérations, $\Delta\tau_k(l)$ est déposé par la fourmi Z_k sur chaque arête de la route construite D_k , et $F_k(l)$ est la fonction cible de la solution obtenue par Z_k . Le modèle de détermination du site de recherche de nectar est illustré à la figure suivante. La principale différence entre les algorithmes de colonie de fourmis et d'abeilles est que, dans la colonie de fourmis (AC), les nœuds intermédiaires ne prennent aucune décision sur le routage, car toutes les décisions proviennent du nœud source.

- Avantages : Le protocole de routage ad hoc AC-BC fonctionne bien en termes de délai de bout en bout, de débit et de surcharge de routage par rapport aux protocoles de routage conventionnels. Il s'agit d'un routage stable lorsque la topologie du réseau UAV change.
- Limitations : dans le routage ad hoc AC-BC, le drone peut se déplacer de manière aléatoire dans la zone de communication et prendre les séquences d'une décision aléatoire et la distribution de probabilité change par itération.
- Application potentielle : L'AC-BC ad hoc convient à la communication UAV peer-to-peer hautement dynamique et à la surveillance du trafic.

- Améliorations futures possibles : à l'avenir, la mise en œuvre d'un routage hybride basé sur un cluster pourrait être possible grâce à une combinaison d'algorithmes de routage de colonies de fourmis et d'abeilles.

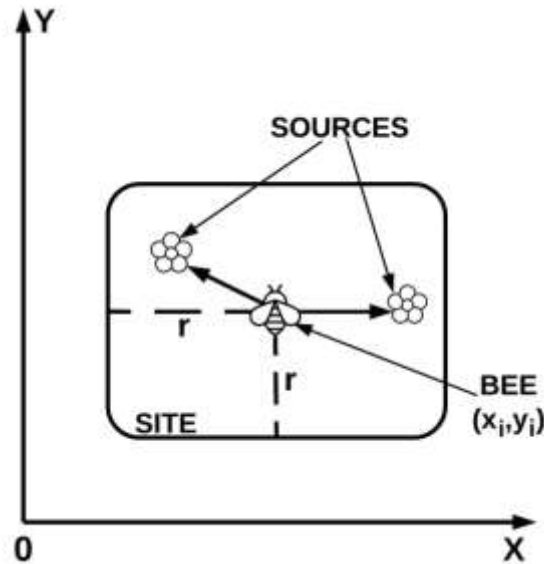


Figure 10 Modèle basé sur AC pour déterminer le site de recherche de nectar.

UAV-DC-WSN est un protocole de routage UAV tolérant au retard basé sur le clustering proposé par Jawhar et al [23]. UAV-DC-WSN (UAV-BASED DATA COMMUNICATION FOR WSNs) vise à se concentrer sur l'utilisation d'un UAV pour la collecte de données dans des réseaux à grande grappe. Dans ce modèle de routage, le drone se déplace au-dessus de la zone du nœud capteur. Une fois que l'UAV est dans la portée du capteur RN, RN commence à transférer des données vers l'UAV, et l'UAV stocke les données dans la mémoire tampon de l'UAV. Pour le transfert de données de RN à UAV, les deux nœuds doivent satisfaire aux conditions suivantes :

$$h = 2R_c \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = 2R_c \cos(\alpha) \quad \text{and} \quad d_c = 2\sqrt{R_c^2 - h^2},$$

Où R_c est la portée de communication d'un RN, α est l'angle entre la ligne verticale et le point d'intersection du point de communication du cercle de portée de communication du RN, d_c est la distance parcourue par le drone en passant au-dessus d'un RN lorsqu'il est en communication portée, et h est la hauteur du drone depuis la station au sol.

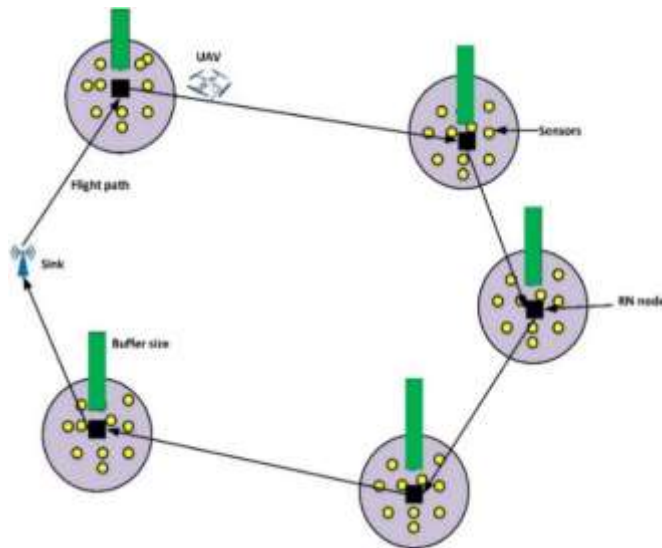


Figure 11 Collecte de données basée sur les drones dans le réseau de clusters.

- Avantages : Le protocole de routage UAV-DC-WSN est un routage de cluster multi-chemins, qui peut assurer la fiabilité du réseau en cas de panne de nœud et peut tolérer de longs délais.
- Limitations : Le temps de contact entre le nœud UAV et RN est fixe si RN a une énorme mémoire tampon, mais le UAV ne peut pas prendre toutes les données en même temps en raison de la limite de temps. RN doit attendre le cycle suivant, ce qui entraîne un retard supplémentaire dans le réseau.
- Application potentielle : le modèle de routage UAV-DC-WSN peut être utilisé pour des applications où les données peuvent tolérer des retards plus importants.
- Améliorations futures possibles : Le protocole de routage UAV-DC-WSN est conçu pour la collecte de données dans les WSN avec un seul UAV. À l'avenir, l'utilisation de plusieurs drones pourrait augmenter le débit du réseau et réduire considérablement le délai de routage.

1.1.2 PROTOCOLES DE ROUTAGE BASÉS SUR LE CLUSTERING DÉTERMINISTE

Dans les protocoles de routage basés sur des clusters déterministes, des métriques plus fiables sont utilisées pour élire un CH. Les mesures les plus courantes sont l'énergie résiduelle, la centralisation, la proximité et le degré de nœud. Les nœuds obtiennent des informations des nœuds voisins en écoutant et en échangeant des messages.

Shi et Luo [23] ont proposé un protocole routage basé sur les clusters assistés par localisation appelé CBLADSR (CLUSTER-BASED LOCATION-AIDED DYNAMIC SOURCE ROUTING), qui est un protocole de routage heuristique basé sur le poids des nœuds. Dans le processus de clustering, un algorithme heuristique de poids de nœud est utilisé pour élire le CH et la formation de cluster. Le processus CBLADSR est une combinaison de routage intra-cluster et de routage inter-cluster, qui représentent respectivement des communications à courte et longue portée. CBLADSR vise à fournir un succès significatif dans le taux de livraison des paquets et à réduire le délai de bout en bout.

L'élection CH est basée sur un algorithme heuristique de poids de nœud, où les poids de nœud sont évalués en fonction de certains facteurs. Certains facteurs de pondération tels que la pertinence de l'action du nœud en tant que CH, le degré de connectivité, la vitesse relative du nœud et l'énergie résiduelle doivent être pris en compte lors de la création d'un CH. Dans le processus de routage, les CM fonctionnent uniquement dans la communication intra-cluster, et les CH fonctionnent pour la communication inter-cluster. On suppose que tous les nœuds sont équipés de GPS. Le GPS fournit les informations de localisation des nœuds et les informations de position GPS doivent prendre une décision de distribution des nœuds dans le réseau. L'heuristique de poids de nœud attribue le poids du nœud comme

$$W_i = w_{i,1}C_i + w_{i,2}S_i + w_{i,3}E_i + w_{i,4}T_i,$$

Où C_i , S_i , E_i et T_i représentent respectivement le degré de connectivité, la vitesse relative, l'énergie résiduelle et la valeur tactique dépendante de l'équipement du nœud i , et $w_{i,1}$; $w_{i,2}$; $w_{i,3}$ et $w_{i,4}$ sont des facteurs de pondération déterminés par les scénarios d'application, qui satisfont la formule normalisée de $w_1+w_2+w_3+w_4=1$.

Tous les CM du réseau participent au processus d'élection du CH. Si un nœud CM satisfait le seuil d'énergie résiduelle, le CM porte un grand facteur de pondération et devient un CH. CM dispose d'informations sur tous les nœuds voisins dans la table des voisins. La table

voisine contient la table d'état, la table CM, la table CH et la table temporaire. Lorsqu'un nœud doit transmettre des données à un autre nœud du même cluster, il suit la table des voisins. La table de voisinage contient les informations d'emplacement de nœud.

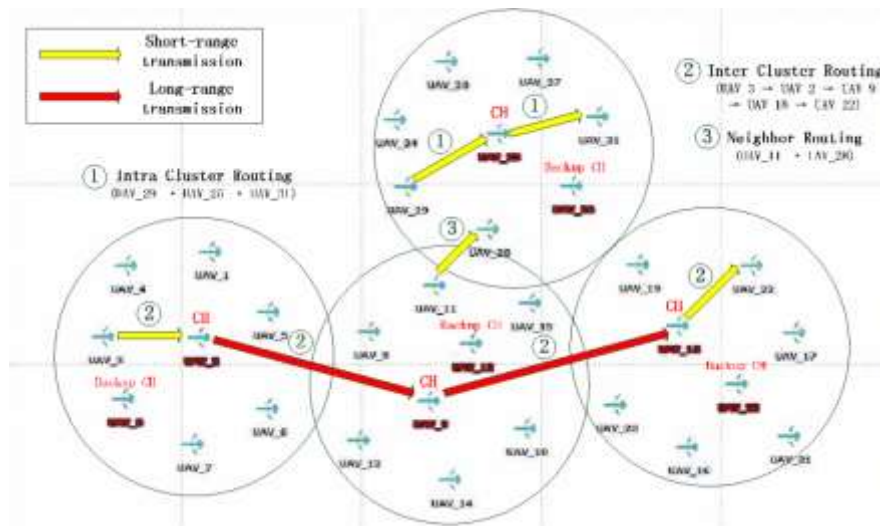


Figure 12 le processus de routage du protocole CBLADSR.

- Avantages : Le routage sensible à la localisation est une approche
- Prometteuse dans les réseaux UAV. CBLADSR fonction
- Ne bien dans les communications à longue portée et à courte distance.
- Limitations : Dans CBLADSR, le facteur d'énergie résiduelle est considéré comme une valeur de poids supérieure, mais pour le CH de secours, le deuxième facteur de poids le plus important n'est pas très clair. Dans le processus de découverte de route, un long délai peut se produire.
- Application potentielle : CBLADSR peut être utilisé pour les communications UAV longue portée.
- Améliorations futures possibles : à l'avenir, DBSCAN pourra être étendu avec une plus grande précision de localisation pour le transfert de paquets.

LOCALISATION MULTI-HOP HIERARCHICAL ROUTING est un algorithme de routage de cluster à base floue appelé IMRL proposé par Khelifi et al dans [24] qui est plus efficace que les solutions existantes en termes d'efficacité énergétique, de précision de localisation et de transmission de données. Le routage IMRL repose sur une méthode de

localisation centroïde pondérée, où les positions des nœuds UAV sont calculées à l'aide d'une inférence de logique floue en fonction des valeurs RSSI (Received Signal Strength Indicator).

La méthode de routage des données proposée est basée sur la localisation des nœuds à l'aide de la localisation centroïde pondérée. Les valeurs RSSI entre les nœuds pour calculer leurs emplacements et la mesure du débit via un canal sans fil sont utilisées pour déterminer la distance entre l'UAV et le nœud UAV d'ancrage. Dans le routage IMRL, les auteurs ont principalement utilisé l'emplacement des nœuds pour élire le CH du saut suivant. En raison de l'utilisation d'une transmission efficace des données, la consommation d'énergie est finalement réduite et la durée de vie du réseau est améliorée. Dans le processus d'algorithme de localisation basé sur le flou, à la première étape, les auteurs ont proposé une méthode de localisation de drone sans portée basée sur une interface floue. La valeur RSSI est utilisée pour obtenir les positions inconnues des nœuds UAV. Une fois le cluster formé, les UAV suivent des chemins prédéfinis pour balayer la zone et recevoir des signaux d'autres UAV. Après avoir obtenu tous les signaux RSSI, la distance est calculée à l'aide des valeurs RSSI et du modèle de propagation du signal. En raison du bruit du RSSI, il est difficile de déterminer la position précise du drone.

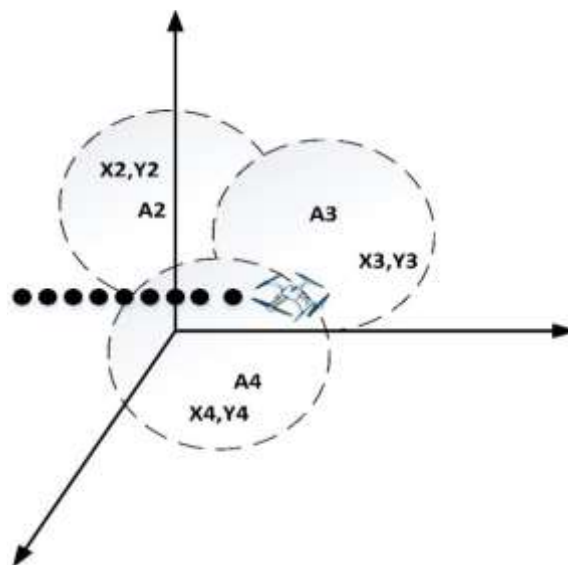


Figure 14 : Méthode du barycentre pondéré

Pour augmenter la précision de l'emplacement, les auteurs ont proposé d'estimer l'emplacement de l'UAV à l'aide d'une estimation du poids des bords, qui est illustrée à la figure 11. Après avoir estimé l'emplacement du nœud par l'algorithme de localisation, l'étape suivante consiste à élire le prochain saut CH pour transmettre efficacement les données. Lors de l'élection CH, l'énergie excédentaire la plus importante est prise en compte. L'objectif principal

est de partager la dissipation d'énergie entre tous les CM. Le CH est responsable du transfert des données des CM vers la station de base à l'aide d'une transmission à sauts multiples. La rotation CH est basée sur une fonction de pondération.

- Avantages : le routage IMRL peut être utilisé efficacement par mauvais temps lorsque le signal GPS peut être totalement absent ou insuffisant en raison d'un évanouissement et d'un brouillage multi-trajets.
- Limitations : La latence élevée de transmission et le coût de lancement du satellite sont les inconvénients majeurs du routage IMRL.
- Application potentielle : le routage IMRL convient aux communications dynamiques spatiales et terrestres.
- Améliorations futures possibles : le routage IMRL est conçu uniquement pour le scénario extérieur. À l'avenir, l'IMRL pourra être réalisée sur des scénarios intérieurs, où les signaux radio souffrent de réflexions multiples et d'un rembourrage par trajets multiples.

Le ROUTAGE DIFFÉRENCIÉ DU TRAFIC (TDR) [24] est un routage de cluster centralisé et différencié du trafic, qui vise à traiter les services sensibles aux retards et à fiabilité requise. Un nouveau modèle de prédiction de la fiabilité de la transmission est introduit dans TDR, qui tient compte à la fois de la disponibilité de la liaison et de la capacité de transfert du nœud.

Dans le protocole TDR, tous les drones sont regroupés en plusieurs clusters, et un drone stationnaire supérieur contrôle chacun des clusters. On suppose que tous les nœuds UAV connaissent leurs positions et leurs vitesses grâce à un GPS interne. Le contrôleur peut réaliser des interactions avec tous les drones du cluster, et il peut obtenir la position et la vitesse du drone via les messages Hello et ECHO. Pour la prédiction de la disponibilité de la liaison, on suppose que la portée de transmission maximale de tous les nœuds UAV a été connue précédemment et que l'emplacement de chaque nœud est connu par le GPS. Il existe deux nœuds UAV, n_i et n_j , et les deux nœuds ont une portée de transmission radio égale d_{\max} . Les positions t_0 de n_i et n_j sont notées (x_i, y_i, z_i) et (x_j, y_j, z_j) , respectivement. Les vitesses de n_i et n_j sont représentées par (v_{xi}, v_{yi}, v_{zi}) et (v_{xj}, v_{yj}, v_{zj}) , respectivement. La distance peut être obtenue comme :

$$d_{ij}(t_0) = [(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2]$$

Sans changement de vitesse, après une certaine période t , la distance entre n_i et n_j est définie comme :

$$d_{ij}(t_0 + t) = \{[(x_j + v_{xj}t) - (x_i + v_{xi}t)]^2 + [(y_j + v_{yj}t) - (y_i + v_{yi}t)]^2 + [(z_j + v_{zj}t) - (z_i + v_{zi}t)]^2\}^{\frac{1}{2}}.$$

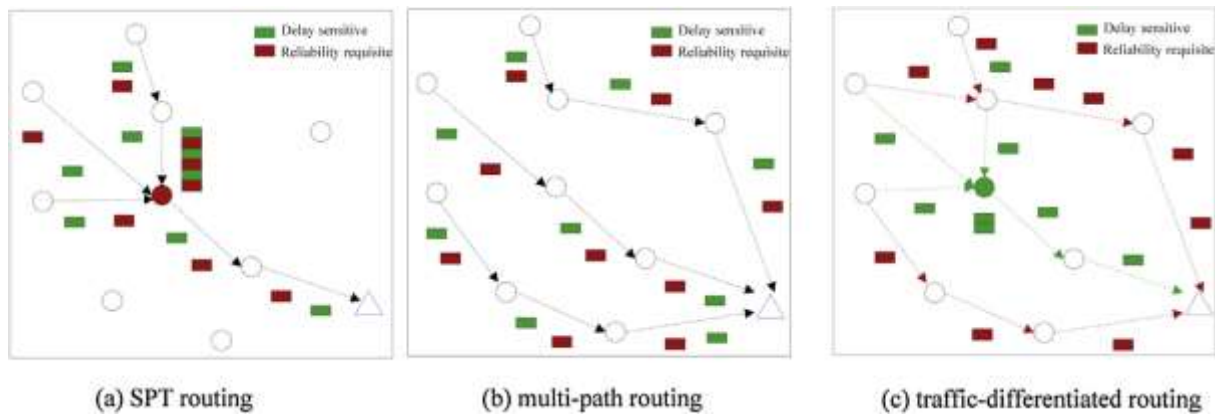


Figure 15 : Illustration du trafic réseau selon différentes méthodes de routage

- Avantages : le routage TDR fonctionne bien en termes de délai de bout en bout, de taux d'abandon de paquets inférieur et de débit réseau. TDR introduit la prédiction de fiabilité de transmission.
- Limitations : dans le routage TDR, les chemins sélectionnés peuvent ne pas être optimaux tant que les performances globales ne sont pas complètes. Pour le transfert de données, l'égoïsme des nœuds malveillants n'est pas pris en compte et la charge du réseau peut augmenter si de nombreux paquets de sonde doivent être envoyés dans l'estimation des paramètres.
- Application potentielle : le routage TDR peut être utilisé pour les applications sensibles aux délais.
- Améliorations futures possibles : le routage TDR peut être amélioré en contrôlant le coût du trafic pour résoudre les frais généraux et la consommation d'énergie, et l'égoïsme des nœuds malveillants doit être contrôlé pour minimiser le problème d'échec de transfert de nœud.

Le schéma de routage de cluster basé sur la prédiction de mobilité pour les UAV qui est MPCR pour (MOBILITY PREDICTION CLUSTER ROUTING) [25] est un protocole de routage de cluster dans lequel le transport de messages est introduit avec un mécanisme de report de stockage (SCF). MPCR élit le CH qui a la plus grande connectivité, par conséquent,

cette méthode réduit les changements de CH. Pour le nœud déconnecté, MPCR introduit des nœuds de ferry, qui transmettent le message de la source à la destination. MPCR vise à réduire les délais de communication et à augmenter le taux de livraison des paquets dans les réseaux UAV.

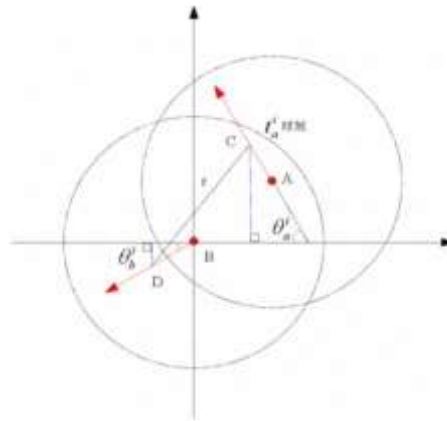


Figure 16 : Le calcul de la disponibilité des nœuds

Dans le processus de formation du cluster, le nœud qui a la probabilité de connectivité la plus élevée est élu comme CH. Le CH maintient une table de grappes, qui contient tous les enregistrements de ses grappes voisines. La probabilité de connectivité entre deux nœuds est calculée comme suit :

$$P = \sum_{i=1}^n p_{ni}$$

Où n est le nombre de nœuds voisins, i représente un nœud et p_{ni} représente la probabilité de disponibilité du nœud. MPCR contrôle le transfert de données de plusieurs copies pendant le transport des données. La transmission des messages est classée en trois catégories : DD, relais et ferry. Dans DD, le nœud source envoie des données à la destination mais si la destination est le voisin du nœud source, le message est reconnu comme un DD. En relais, si le nœud source et le nœud destination sont dans le même cluster, on parle de relais. Stocker et transporter un message pendant un certain temps et le transmettre finalement à la destination est identifié comme un ferry. Dans MPCR, le mécanisme SCF est utilisé pour relayer les données de la source à la destination. La distance entre les nœuds et la vitesse des nœuds sont considérées comme des facteurs clés dans MPCR.

- Avantages : MPCR fonctionne bien en termes de taux de livraison de paquets et de délai de bout en bout.
- Limitations : dans MPCR, la probabilité de la connectivité la plus élevée d'un nœud est prise en compte lors de l'élection du CH. Cependant, dans un réseau hautement dynamique, seule la connectivité des nœuds a un effet sur la durée de vie du CH.
- Application potentielle : MPCR convient aux applications de réseau tolérantes aux délais.
- Améliorations futures possibles : à l'avenir, MPCR pourrait être étendu pour fusionner les clusters déconnectés dans les réseaux UAV.

2. Conclusion

Dans les réseaux UAV, le routage joue un rôle clé dans les opérations de réseau coopératif et collaboratif. Au cours des dernières années, de nombreux protocoles de routage basés sur des clusters pour les réseaux UAV ont été rapportés dans la littérature. Dans ce chapitre, nous avons étudié les protocoles de routage basés sur les clusters pour les réseaux UAV et extraire qualitativement en termes de fonctionnalités exceptionnelles, de caractéristiques, d'avantages concurrentiels et de limites.

CHAPTER 3

Simulations et interprétations

1. Introduction

Notre modèle du FANET orienté mission proposée est composé de drones de mission en service dans les airs et d'un GCS qui attribue des tâches aux drones au sol. Chaque UAV se déplace vers le hub de mission où il effectuera la mission qui lui est assignée. Ensuite, le drone de mission accomplit sa tâche lorsqu'il arrive à un hub de mission. Lorsqu'un UAV termine sa mission ou reçoit une nouvelle mission de GCS, il se déplace vers un hub donné pour effectuer la nouvelle mission. Si le niveau d'énergie d'une batterie d'un UAV chute à un certain niveau, l'UAV informe GCS de ses informations d'état et revient. Dans le FANET proposé, axé sur la mission, les drones se déplacent avec certains objectifs et sont soumis à des restrictions géographiques. Ainsi, nous supposons que la mobilité des UAV dans le FANET orienté mission proposée est le modèle de mobilité SOLAR, qui est un modèle de mouvement partiellement déterministe autour des hubs. Le modèle de mobilité SOLAR est approprié pour généraliser le mouvement des drones opérant dans une zone de mission réelle. Le modèle SOLAR permet de créer un certain nombre de hubs (zone de mission) dans le terrain de simulation pour tous les UAV. Ces hubs sont situés à des endroits aléatoires dans le terrain, et chaque hub est considéré comme une sphère dans un terrain tridimensionnel. De plus, un temps de séjour dans un hub est le temps qu'un UAV passe dans chaque hub, c'est-à-dire le temps qu'un UAV accomplit sa mission dans un certain hub. Dans le modèle SOLAR, le modèle de mobilité de chaque UAV comprend deux parties, le mouvement intra-hub et le mouvement inter-hub. Le mouvement intra-hub suit le modèle Random Waypoint Mobilité (RWP). Pour le mouvement inter-hub, le modèle linéaire point à point (linéaire P2P) est supposé.

Les drones qui sont équipés d'une batterie dans le FANET, orienté mission, devra consommer de l'énergie pour faire fonctionner les modules de vol et radio. L'énergie des drones étant une contrainte majeure, l'accent est mis sur une configuration de clustering économe en énergie. Dans les environnements FANET en cluster, les UAV sont organisés en groupes appelés clusters et un UAV est sélectionné comme chef de cluster (CH), ce qui permet ensuite à d'autres UAV de le rejoindre en tant que membres du cluster (CM) pour former le cluster. Le CH collecte les données de tous ses CM et après leur agrégation les transmet au GCS. Pour les systèmes multi-UAV, la mise en réseau en cluster est très bénéfique. Le réseau en cluster réduit considérablement la quantité de trafic de paquets, ce qui se traduit par une réduction de la congestion et des économies d'énergie pour les drones. De plus, les communications peuvent être conduites plus efficacement car les drones d'un même cluster peuvent communiquer sur la base d'une topologie d'accès multiple coordonnée identique. Par conséquent, en raison de ces

avantages, la formation de clusters pour la maximisation de la durée de vie de FANET est nécessaire.

Dans le FANET proposé, orienté mission, l'énergie consommée en vol et en détection de données est supposée constante quelle que soit la vitesse de l'UAV, et le modèle de consommation d'énergie suit le modèle radio utilisé. L'énergie de transmission (E_T) et l'énergie consommée dans la réception (E_R) d'un message de 1 bit sont fournies en (1) et (2) respectivement, où la quantité d'énergie de consommation électronique (E_{elec}) dépend du codage numérique, de la modulation, du filtrage et du traitement du signal.

$$\begin{aligned} E_T &= lE_{elec} + l\epsilon d^\alpha \\ E_R &= lE_{elec} \end{aligned}$$

2. La simulation

La simulation est un processus qui consiste à concevoir un modèle du système (réel) étudié, mener des expérimentations sur ce modèle (et non pas des calculs), Interpréter les observations fournies par le déroulement du modèle et formuler des décisions relatives au système. Le but peut être de comprendre le comportement dynamique du système, de comparer des configurations, d'évaluer différentes stratégies de pilotage, d'évaluer et d'optimiser des performances.

On distingue deux catégories de simulation sur ordinateur, simulations discrètes et simulations continues. Dans les simulations continues, les quantités sont représentées par des variables continues, alors que dans les systèmes des simulations discrètes les quantités d'intérêt sont représentées par des valeurs à des variables discrètes.

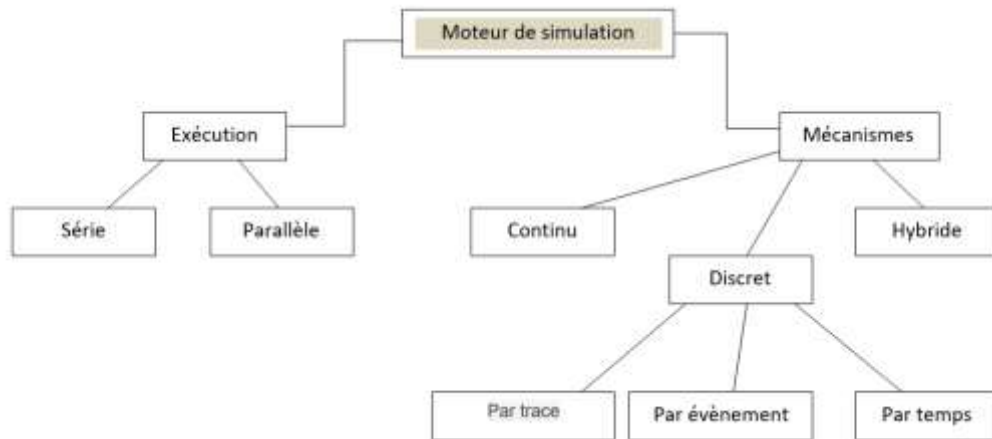


Figure 17 : Type de simulation

Les simulateurs de réseaux couramment utilisés soutiennent multiples protocoles et fournissent donc des avantages considérables tels que :

- une meilleure validation des protocoles existants
- une infrastructure pour le développement de nouveaux protocoles
- la comparaison plus facile des résultats

GloMoSim (Global Mobile Simulator) est un environnement de simulation à grande échelle pour les réseaux sans fil et filaires. Il a été conçu en utilisant la capacité de la simulation parallèle fournie par PARSEC (Parallel Simulation Environment for Complex Systems). GloMoSim est construit en utilisant une approche basée sur les couches qui est semblable à l'architecture à sept couches de la norme OSI.

QualNet est un outil de simulation qui simule réseaux filaires et sans fil en mode paquet de communication. QualNet est un produit commercial qui dérive de GloMoSim publié en 2000 par SNT (Scalable Network Technologies).

Les principales différences entre QualNet et GloMoSim sont :

- QualNet est basé sur C++ ; GloMoSim est basé sur PARSEC C (un langage C basée simulation parallèle).
- QualNet est un produit commercial ; GloMoSim est distribué sous une licence open source académique.

- QualNet est maintenu par la SNT ; GloMoSim est maintenu par laboratoire de UCLA ParallelComputing.

OMNet++ est un simulateur d'évènement basé sur le langage C++, destiné principalement à simuler les protocoles réseau et les systèmes distribués. Il est totalement programmable, paramétrable et modulaire. C'est une application open source et sous licence GNU, développée par Andras Varga, chercheur à l'université de Budapest. OMNet++ est destiné avant tout à un usage académique et est l'intermédiaire entre des logiciels de simulation comme NS, destiné principalement à la recherche et OPNET qui est une alternative commerciale de OMNet++. Le fonctionnement d'OMNet++ repose entièrement sur l'utilisation de modules qui communiquent entre eux par le biais de messages. Ces modules sont organisés hiérarchiquement. Les modules de base sont appelés les modules simples. Ceux-ci sont regroupés en modules composés. Ces modules peuvent eux-mêmes être regroupés en modules composés. Le nombre de niveau hiérarchique n'est pas limité. Ils sont codés en C++ et sont des instances du type de base module. L'architecture est construite de telle sorte que les modules simples sont à la fois les émetteurs et destinataires des messages. Les modules composés se contentent de relayer les messages aux module simples de façon transparente. On peut attribuer différents paramètres aux connexions reliant les modules : des délais de propagation, des débits de données, des taux d'erreur, etc.

SSFNet est un modèle open-source en Java pour la simulation des réseaux informatiques. Il comprend des modèles pour plusieurs protocoles (par exemple, IP, TCP, UDP, BGP4, OSPF) et les composants réseau tels que des hôtes, des routeurs et des liens. En outre, plusieurs classes de soutien permettent la modélisation et la simulation réalistes des scénarios multi-Protocole et de multi-Domain d'Internet.

OPNET (Optimum Network Performance) est un outil de simulation de réseaux très puissant et très complet. Basé sur une interface graphique intuitive, son utilisation et sa prise en main est relativement aisée. OPNET dispose de trois niveaux hiérarchiques imbriqués : *le network domain*, *le node domain* et *le process domain*. *Network domain* est le niveau le plus élevé de la hiérarchie d'OPNET. Il permet de définir la topologie du réseau en y installant des routeurs, des hôtes, des équipements tels que des switches, reliés entre eux par des liens. Chaque entité de communication (appelée nœud) est entièrement configurable et est définie par son modèle. *Le Node domain* permet de définir la constitution des nœuds (routeurs, stations de travail, hub, ...). Le modèle est défini à l'aide de blocs appelés modules. C'est au niveau *de process domain* que l'on définit le rôle de chaque module programmable. OPNET fournit des

mécanismes permettant à tous les processus créés à l'intérieur d'un process domain de communiquer entre eux, via un bloc de mémoire partagée, ou l'ordonnancement d'interruptions logicielles. Le rôle d'un module est déterminé par son process model, que l'on décrit sous forme d'une machine à états finis (FSM). Les actions à effectuer sont décrites en langage C, et OPNET fournit une bibliothèque de plus de 400 fonctions propriétaires spécifiques à l'usage des réseaux (création, envoi et réception de paquets, extraction de valeurs contenues dans les différents champs d'un entête...). OPNET permet de gérer deux autres types d'objets relatifs aux réseaux : les liens et les formats de paquets.

NS-2 (Network Simulator 2) [BRA 08] est un outil logiciel de simulation de réseaux informatiques, développé dans le cadre du projet VINT, ce dernier est un projet en cours de développement avec la collaboration de plusieurs acteurs (USC/ISI, Xerox parc, LBNL et UCB) dans l'objectif principal de construire un simulateur multi-protocole pour faciliter l'étude de l'interaction entre les protocoles et le comportement d'un réseau à différentes échelles. Il est principalement bâti avec les idées de la conception par objets, de réutilisabilité du code et de modularité. Il est devenu aujourd'hui un standard de référence en ce domaine. C'est un logiciel dans le domaine public disponible sur l'Internet. Son utilisation est gratuite. Le logiciel est exécutable tant sous Unix que sous Windows.

Le simulateur NS actuel est particulièrement bien adapté aux réseaux à commutation de paquets et à latéralisation de simulations de petite taille. Il contient les fonctionnalités nécessaires à l'étude des algorithmes de routage uni point ou multipoint, des protocoles de transport, de session, de réservation, des services intégrés, des protocoles d'application comme HTTP. De plus le simulateur possède déjà une palette de systèmes de transmission (couche 1 de l'architecture TCP/IP), d'ordonnanceurs et de politiques de gestion de files d'attente pour effectuer des études de contrôle décongestion. La liste des principaux composants actuellement disponibles dans NS par catégorie est :

Tableau 3: Les composants disponibles dans NS-2

Application	Web, ftp, telnet, générateur de trafic (CBR, ...)
Transport	TCP, UDP, RTP, SRM
Routage	Statique, dynamique (vecteur distance) et routage multipoint (DVMRP, PIM)
Gestion de file d'attente	RED, DropTail, Tokenbucket
Discipline de service	CBQ, SFQ, DRR, Fairqueueing
Système de transmission	CSMA/CD, CSMA/CA, lien point à point

NS est devenu l'outil de référence pour les chercheurs du domaine. Ils peuvent ainsi partager leurs efforts et échanger leurs résultats de simulations. Cette façon de faire se concrétise aujourd'hui par l'envoi dans certaines listes de diffusion électronique de scripts de simulations NS pour illustrer les points de vue

3. Le choix du logiciel

Il existe une variété de simulateur ou on a déjà cité : MATLAB, NS2, NS3 etc. est très connu et est très utilisé par la communauté scientifique vu qu'il permet de simuler différents types de réseaux, surtout spécifiques aux réseaux ad hoc .il est simple, mais complet simulateur de réseau mobile sans fil dans Matlab.

MATLAB fournissent une boîte à outils de communication pour créer un système de modèle complet. La procédure de simulation comprend la construction de l'architecture matérielle des nœuds de transmission, la modélisation du canal de communication et l'architecture du nœud de réception.

3.1 Présentation de MATLAB

MATLAB est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple. Avec ses fonctions spécialisées, MATLAB peut aussi être considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques.

MATLAB est un interpréteur : les instructions sont interprétées et exécutées ligne par ligne.

MATLAB fonctionne dans plusieurs environnements tels que X-Windows, Windows, Macintosh.

Il existe deux modes de fonctionnement :

Mode interactif : MATLAB exécute les instructions au fur et à mesure qu'elles sont données par l'utilisateur.

Mode exécutif : MATLAB exécute ligne par ligne un "fichier M" (programme en langage MATLAB).

Fenêtre Commande : Dans cette fenêtre, l'utilisateur donne les instructions et MATLAB retourne les résultats.

Fenêtres Graphiques : MATLAB trace les graphiques dans ces fenêtres.

Fichiers M : Ce sont des programmes en langage MATLAB (écrits par l'usager).

Boîtes à outils : Ce sont des collections de fichiers M développés pour des domaines d'application spécifiques (Signal Processing Toolbox, System Identification Toolbox, Control System Toolbox, u-Synthesis and Analysis Toolbox, Robust Control Toolbox, Optimization Toolbox, Neural Network Toolbox, Spline Toolbox, Boîte à outils de chimométrie, Boîte à outils de logique floue, etc.)

Simulink : C'est l'extension graphique de MATLAB permettant de travailler avec des diagrammes en blocs.

Blocksets : Ce sont des collections de blocs Simulink développés pour des domaines d'application spécifiques (DSP Blockset, Power System Blockset, etc.).

4. ANALYSE DE PERFORMANCE

Dans le FANET proposé, orienté mission, tous les UAV envoient leurs paquets sous forme de message de balise au GCS qui incluent des informations sur leur emplacement et leur énergie résiduelle. Après tout l'information est reçue, le GCS sélectionne l'UAV optimal comme CH. Dans les simulations, trois types de critères de sélection CH sont appliqués : Aléatoire, Énergie résiduelle maximale, Hybride. Dans la sélection aléatoire, lorsqu'un cluster est configuré dans un hub, un drone est sélectionné au hasard comme CH parmi les UAV du hub. Le schéma d'énergie résiduelle maximale sélectionne un UAV avec la plus haute énergie restante (Eresidual) en tant que CH sur la base des informations reçus par le GCS. Le régime hybride,

comme le maximum schéma d'énergie résiduelle, sélectionne un UAV comme CH en fonction des informations reçues par le GCS. La différence avec le régime d'énergie résiduelle maximale est que le régime hybride utilise le niveau d'énergie restant ainsi que la distance jusqu'au GCS comme base pour la sélection CH. C'est parce que la puissance de transmission augmente considérablement à mesure que la transmission la distance augmente. Par conséquent, il est préférable de sélectionner un UAV comme un CH avec la distance la plus courte du GCS en termes de prolonger la durée de vie du réseau. La formule du CH critère de sélection comme la distance minimale du GCS (DGCS) et l'énergie résiduelle est la suivante.

Les performances des deux algorithmes hybrides utilisés dans la méthode proposée sont comparées en termes de consommation d'énergie du réseau et d'analyse du nombre de nœuds actifs. Les deux solutions recommandées Afin de trouver la fonction de fitness, l'étape d'estimation des paramètres UAV est utilisée.

Des analyses de nœuds sont requises.

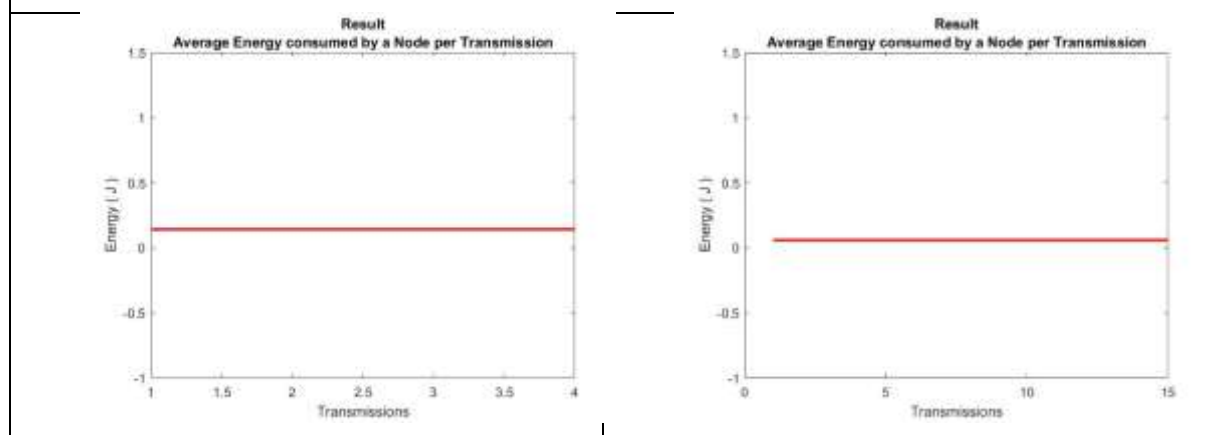
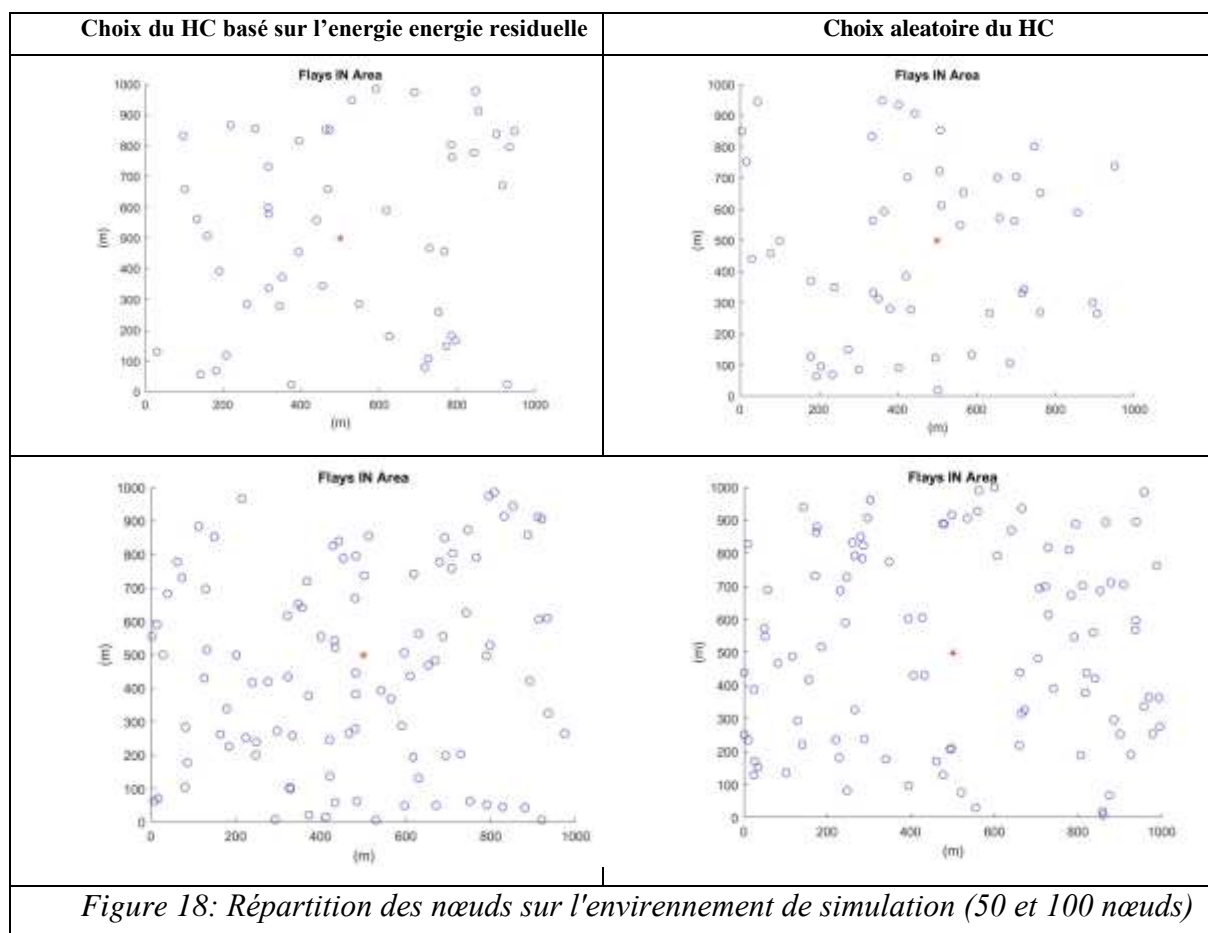
La consommation d'énergie de la méthode proposée est déterminée par les contraintes suivantes : Le contenu de charge de la source d'alimentation du drone et le taux de changement de position du drone ont un coefficient de corrélation.

Tableau 4 : paramater de semilation

Parameters de simulation	
Nombre de drones	20, 40, 60, 80,100
Superficie du réseau	1000*1000
Type de mobilité	Stationnaire, RW, liniere
Cluster head selection	Randam, ER
Energie initial	2J
Vitesse de mobilité	2m/s, 4m/s
Taile de données	4000b

5. Simulation, résultats et analyse

Comme mentionné précédemment, nous avons utilisé MATLAB pour analyser et comparer les différentes approches. Ci-dessous quelques figures montrant les différents résultats obtenus selon les paramètres utilisés



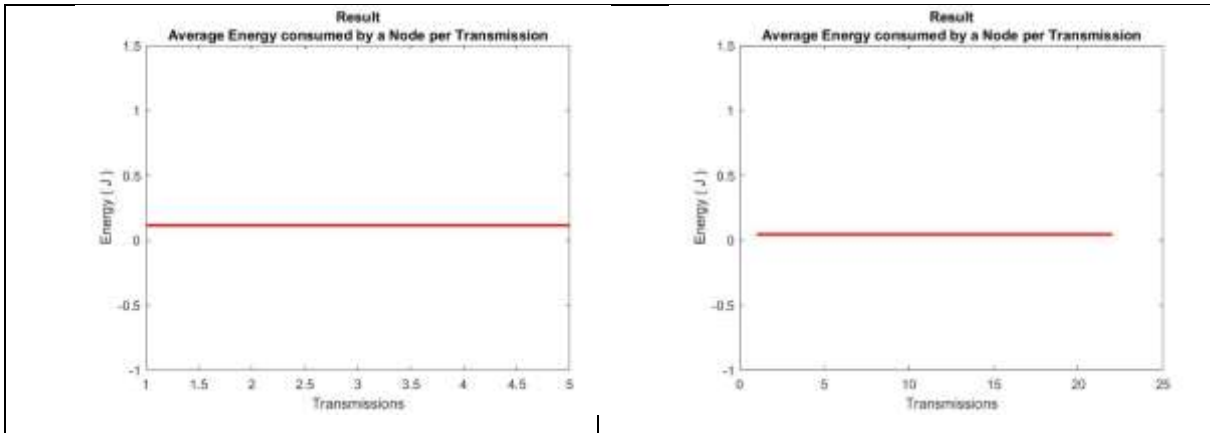


Figure19 : Consommation moyenne d'énergie par UAV et par transmission

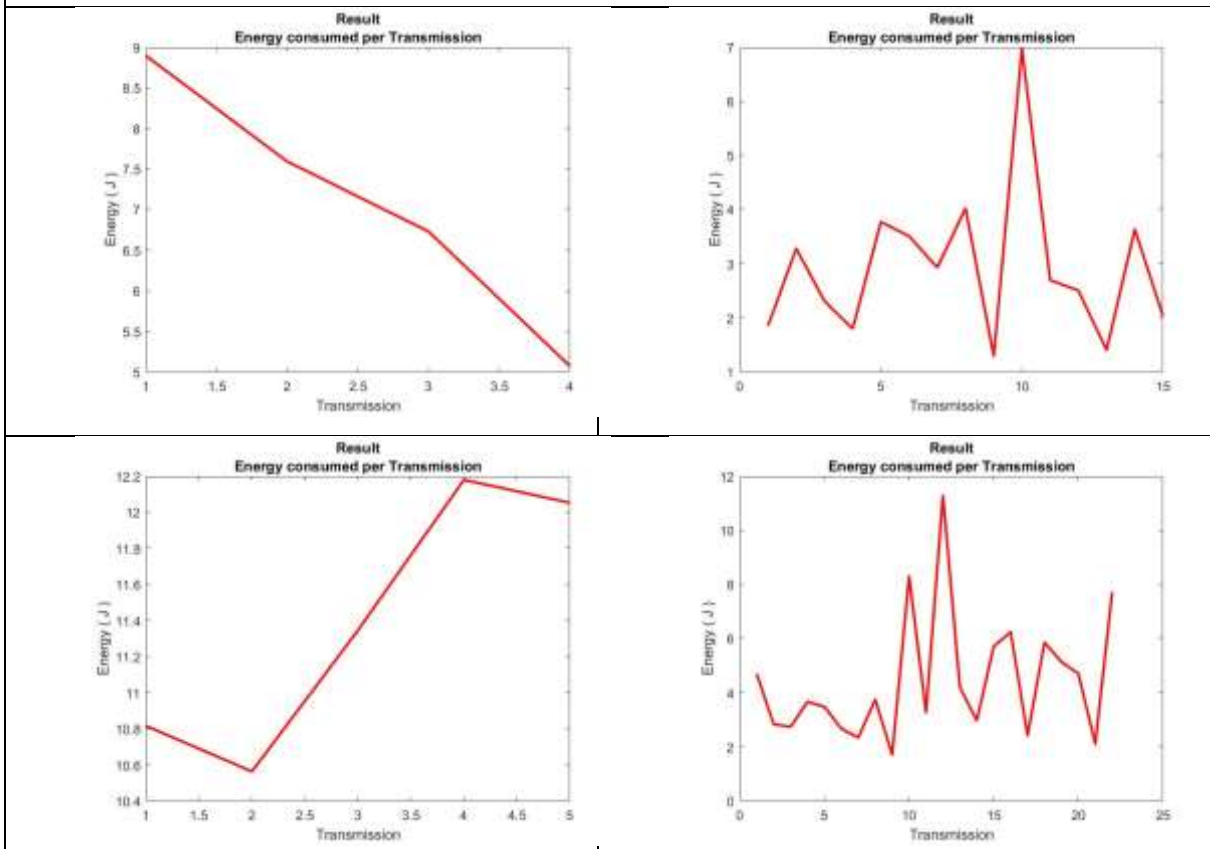
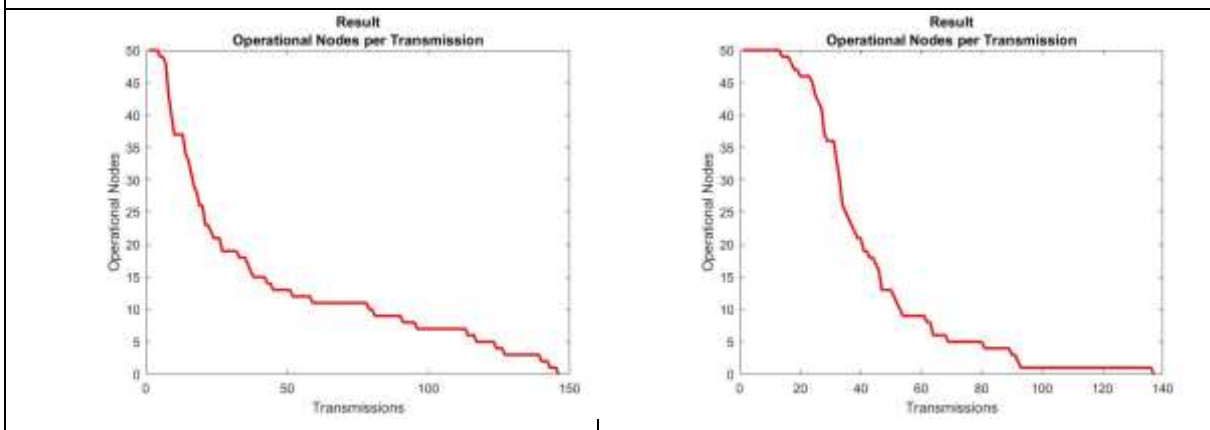


Figure 20 : La consommation d'énergie par transmission



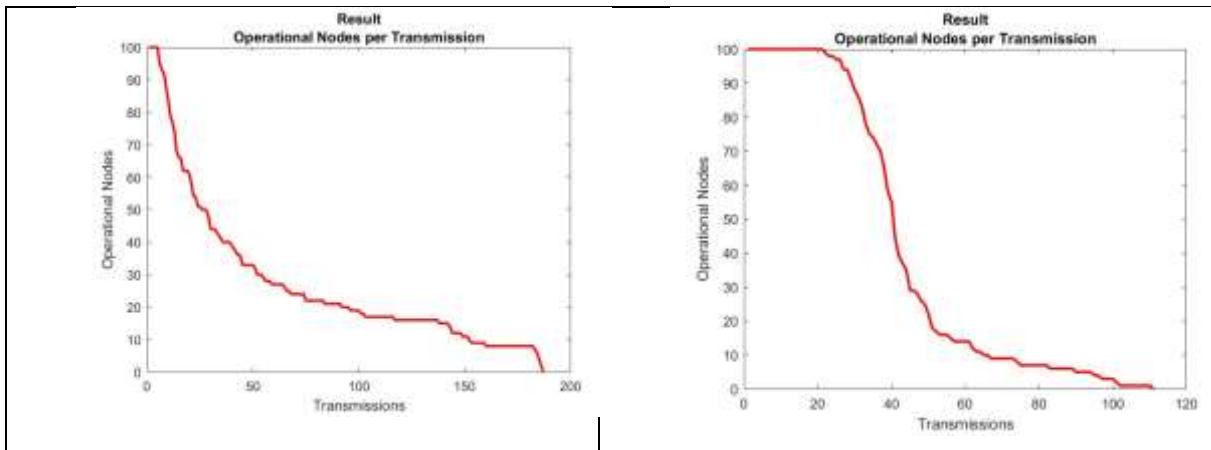


Figure 21 : Nombre des nœuds opérationnel par transmission

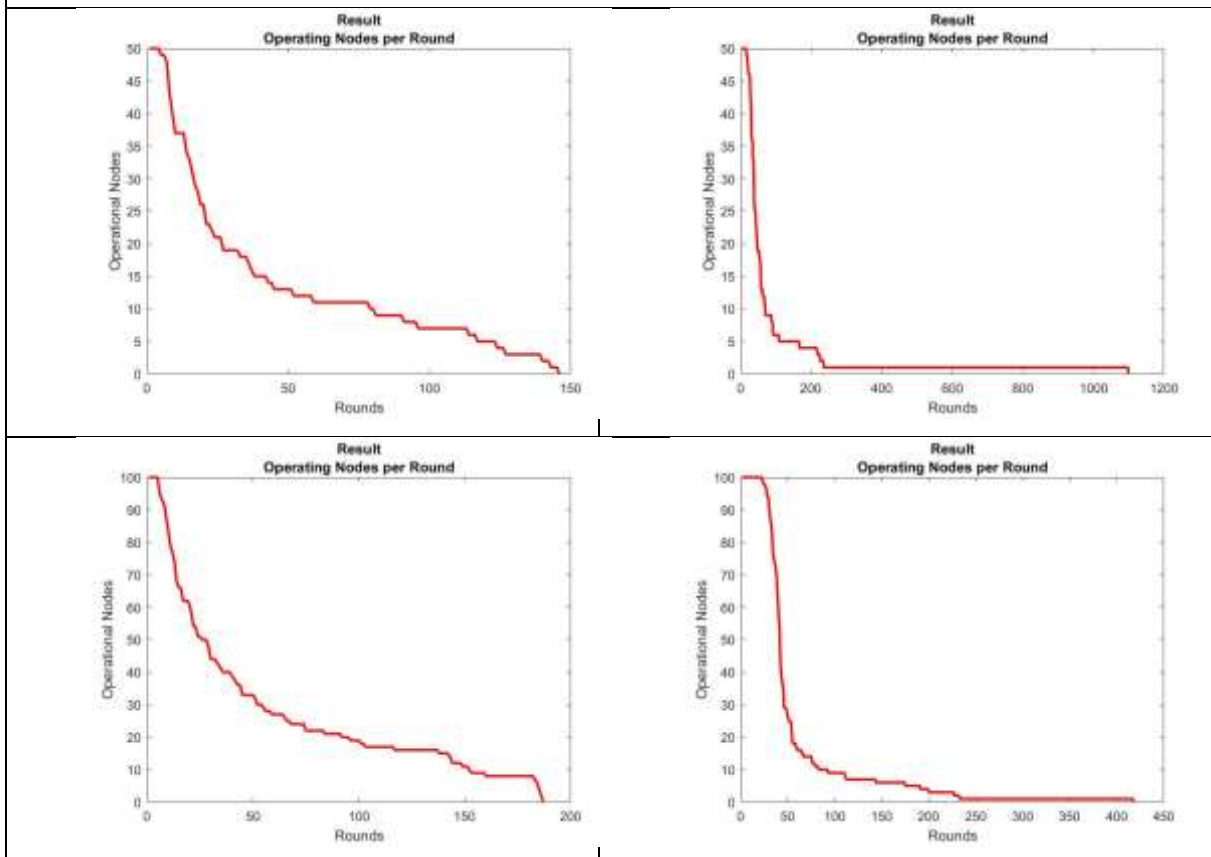


Figure 22 : Nombre des nœuds opérationnel par tour

En analysant les différentes figures, nous pouvons conclure que la consommation moyenne d'énergie par UAVs est un peu élevée pour le choix aléatoire de CH par rapport au choix basé sur l'utilisation d'énergie résiduelle, Cela est dû du nombre de nœuds et toujours fixer à un est nombre proportionnel au nombre total, et c'est la même cause pour la consommation d'énergie par transmission. En ce qui concerne le nombre des nœuds opérationnelle par tour ou par transmission presque le même résultat pour les deux approches

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord étudié en détail la simulation de réseau et les simulateurs, puis nous avons présenté un aperçu sur MATLAB. Enfin, nous avons présenté et simulé deux approches pour la sélection du cluster head dans un réseau FANETs, une approche basée sur le choix aléatoire du CH et une autre approche qui sélectionne les nœuds qui possèdent l'énergie résiduelle la plus élevée et nous avons fait varier les paramètres de simulation, Ceci dans le but de comparer dans chaque cas l'approche la plus performante dans la sens durée de vie du réseau.

Conclusion Générale

L'utilisation des véhicules aériens sans pilote (UAV) augmente de jour en jour. Ces dernières années, les drones sont utilisés dans un nombre croissant d'applications civiles, telles que le maintien de l'ordre, la lutte contre les incendies, etc., en plus des applications militaires. Au lieu d'utiliser un grand UAV, plusieurs UAV sont aujourd'hui utilisés pour une zone de couverture et une précision plus élevée. Par conséquent, des modèles de mise en réseau sont nécessaires pour permettre à deux ou plusieurs nœuds UAV de communiquer directement ou via des nœuds relais. Des réseaux volants ad hoc (FANET) sont formés, qui sont essentiellement un réseau ad hoc pour les drones.

La technique de routage hiérarchique connue sous le nom de clustering est nécessaire pour offrir l'évolutivité, la capacité de survie et répartir la charge utile entre les UAV afin de maintenir les performances. Cette étude a proposé une simple étude sur les protocoles de routage basés sur les clusters (CBRP) en termes de leurs forces, faiblesses, applications spécifiques, méthode, nombre de nœuds et améliorations futures pour servir les FANET.

De plus, 2 approches de sélection de chef de cluster (CH) ont été examinées, une approche basée sur le choix aléatoire du CH et une autre approche qui sélectionne les nœuds qui possèdent l'énergie résiduelle la plus élevée. En outre, les questions ouvertes qui doivent être abordées dans les études futures dans le domaine des protocoles de routage pour les réseaux UAV ont également été débattues.

Enfin nos perspectives est l'extension de nos simulations à des approches hybrides dans un environnement tridimensionnel en tenant compte des différents types de mobilités des réseaux FANET.

Références

- [1] - M. HADDAD R. WAIS Sécurité dans les réseaux Ad Hoc rapport Université Lyon 1
- [2]- A Nadeem, T Alghamdi, A Yawar, A Mehmood, M.S Siddiqui, "A Review and Classification of Flying Ad-Hoc Network (FANET) Routing Strategies'. Basic. Appl. Sci. Res., 8(3)1-8, 2018.
- [3]- AnushkaKhattri , Introduction of Mobile Ad hoc Network (MANET), License: [CCBY-SA,2021](#)
- [4]- O. K. Sahingoz, "Networking models in flying ad-hoc networks (FANETs): Concepts and challenges," Journal of Intelligent & Robotic Systems, vol. 74, no. 1-2, pp. 513-527, 2014.
- [5]- I. Bekmezci, O. Sahingoz, Ş. Temel, "Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey." Ad Hoc Networks 11. No 3 1254-1270, 2013.
- [6]- A. Purohit, F. Mokaya, P. Zhang, "Collaborative indoor sensing with the sensorfly aerial sensor network", in: Proceedings of the 11th International Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN, ACM, New York, NY, USA, pp. 145– 146,2012.
- [7]- D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, vol. 353, pp. 153–181, 1996.
- [8]- V. Tolety, "Load Reduction in Ad Hoc Networks Using Mobile Servers," Master Thesis, Colorado School of Mines, 1999.
- [9]- W. Wang, X. Guan, B. Wang, and Y. Wang, "A novel mobility model based on semi-random circular movement in mobile ad hoc networks," Information Sciences, vol. 180, no. 3, pp. 399–413, 2010.
- [10]- X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C.-C. Chiang, "A group mobility model for ad hoc wireless networks," Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems - MSWiM '99, pp. 53–60, 1999.
- [11]- J. Sanchez-Garcia, J. M. Garcia-Campos, S. L. Toral, D. G. Reina, and F. Barrero, "A Self Organising Aerial Ad Hoc Network Mobility Model for Disaster Scenarios," Proceedings - 2015 International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE 2015, pp. 35–40, 2016.

- [12]-J. Scherer, S. Yahyanejad, S. Hayat, E. Yanmaz, V. Vukadinovic, T. Andre, C. Bettstetter, B. Rinner, A. Khan, and H. Hellwagner, "An autonomous multi-UAV system for search and rescue," *DroNet*
- [13]- Peng Wei, Quanquan Gu, and Dengfeng Sun, "Wireless sensor network data collection by connected cooperative UAVs," in *2013 American Control*
- [14] - Abderrahmane Lakas, Omar Sami Oubbati Une enquête sur les protocoles de routage basés sur la position pour les réseaux volants ad hoc (FANET) Article dans *Communications véhiculaires* · Novembre 2017
- [15] - O. S. Oubbati, A. Lakas, N. Lagraa, M. B. Yagoubi, UVAR : Un protocole de routage VANET assisté par UAV d'intersection, 541250 dans : Actes de la conférence IEEE Wireless Communications and Networking Conférence (WCNC), 2016. doi :10.1109/WCNC.2016.7564747.
- [16]- M.Y. ARAFAT et M.SANGMAN, 'A Survey on Cluster-Based Routing Protocols for Unmanned Aerial Vehicle Networks', *IEEE Access*, 2018.
- [17] -M. A. Uddin, A. Mansour, D. L. Jeune, M. Ayaz, and E. M. Aggoune, 'UAV-assisted dynamic clustering of wireless sensor networks for crop health monitoring,' *Sensors*, 2018.
- [18] -I. Jawhar, N. Mohamed, J. Al-Jaroodi, and S. Zhang, "A framework for using unmanned aerial vehicles for data collection in linear wireless sensor networks," *J. Intell. Robot. Syst.*, 2014.
- [19] -V. Jafarizadeh, A. Keshavarzi, and T. Derikvand, 'Efcient cluster head selection using Naïve Bayes classier for wireless sensor networks', *Wireless Netw.*, 2016.
- [20] -F. Aadil, A. Raza, M. F. Khan, M. Maqsood, I. Mehmood, and S. Rho, 'Energy aware cluster-based routing in ying ad-hoc networks', *Sensors*, 2018.
- [21] -Y. Yu, L. Ru, and K. Fang, 'Bio-inspired mobility prediction clustering algorithm for ad hoc UAV networks' *Eng. Lett.*, 2016.
- [22] -A. V. Leonov, 'Modeling of bio-inspired algorithms AntHocNet and BeeAdHoc for Flying Ad Hoc Networks (FANETS)' in *Proc. 13th Int. Sci.-Tech. Conf.* 2016
- [23] -N. Shi and X. Luo, 'A novel cluster-based location-aided routing protocol for UAV fleet networks' *Int. J. Digit. Content Technol. Appl.*, 2012.

[24] -W. Qi, Q. Song, X. Kong, and L. Guo, 'A traffic-differentiated routing algorithm in Flying Ad Hoc Sensor Networks with SDN cluster controllers' J. Franklin Inst, 2017.

[25] -J. Shu, Y. Ge, L. Liu, and L. Sun, 'Mobility prediction clustering routing in UAVs' in Proc. Int. Conf. Comput. Sci. Netw. Technol., 2011.