



Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Nouvelles Technologies
De l'Information et de la Communication



Département d'Informatique et des Technologies de
L'Information

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel en Informatique

Domaine : Informatique et Technologie de l'Information

Spécialité : Administration et sécurité des réseaux

Présenté par : BEN CHEIKH asma

Etude comparative du protocole de routage basé sur la position pour
Les réseaux multi-UAV(FANET)
(GPSR, DSDV)

Mr. NAMLI okba

Président

UKM Ouargla

Mr. CHERADID Abdellatif

Encadreur

UKM Ouargla

Mr. GHARIB.T

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2021-2022

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, monsieur Abdellatif Cheradid. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leur s'écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs, et mes frères, pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie mes amis, qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

(ملخص / Abstract / Résume)

ملخص

تعتبر FANET مجموعة فرعية من MANET ، ومع ذلك، نظرًا للتنقل العالي والتغيرات الهيكلية السريعة في FANET ، فإن تطبيق بروتوكولات التوجيه في FANET يمثل تحديًا كبيرًا. في هذا المشروع، قمنا بتقييم بعض بروتوكولات التوجيه الجغرافي Ad-Hoc الحالية مثل GPSR لـ FANET. تم تقييم أداء هذه البروتوكولات باستخدام محاكي شبكة OMNET وأطر عمل INET. قارنا البروتوكولات باستخدام معدل فقدان الحزمة، والتأخير من طرف إلى طرف، واستهلاك الطاقة، في نماذج تنقل مختلفة (خطية، دائرية). في نتائجنا، يمكن أن نستنتج أن DSDV يعمل بشكل جيد مقارنة بـ GPSR في جميع المقاييس المحددة.

الكلمة الرئيسية: FANET، التوجيه الجغرافي، توجيه البروتوكول: DSDV وGPSR، جهاز محاكاة OMNET++.

Abstract

FANET is considered as a subset of MANET, however, due to high mobility and rapid topology changes in FANET, the application of routing protocols in FANET is a great challenge. In this project, we evaluated some existing Ad-Hoc geographic routing protocol such as GPSR for FANET. The performance of these protocols was evaluated using an OMNET network simulator and INET Frameworks. We compared protocols using packet loss rate, end-to-end delay, power consumption, in different mobility models (linear, circular). In our results, it can be concluded that DSDV performs well compared to GPSR in all the given metrics.

Key Word : FANET, geographic routing, Protocol Routing : DSDV and GPSR, OMNET++ simulator.

Résume

FANET est considéré comme un sous-ensemble de MANET, cependant, en raison de la grande mobilité et des changements rapides de topologie dans FANET, l'application de protocoles de routage dans FANET est un grand défi. Dans ce projet, nous avons évalué quelque protocole de routage géographique Ad-Hoc existants tels que GPSR pour FANET et protocole proactive DSDV. Les performances de ces protocoles ont été évaluées à l'aide d'un simulateur de réseau OMNET et des Framework INET. Nous avons comparé les protocoles en utilisant le taux de perte de paquets, le délai de bout en bout, consommation d'énergie, dans différents modèles de mobilité (linéaire, circulaire). Dans nos résultats, on peut conclure que DSDV accompli une bonne performance par rapport au GPSR dans tous les métriques données.

Mot clé : FANET, routage géographique, Protocol Routage : DSDV et GPSR, simulateur OMNET++.

Table des matières

Introduction général.....	1
1. Introduction.....	3
2. Véhicule aérien sans pilote (UAV)	3
2.1. Définition.....	3
2.2. Classification	3
2.2.1 Classification selon la taille	4
2.2.2 Classification selon l'endurance et la portée.....	5
2.2.3 Classification selon l'altitude maximale.....	6
2.2.4 Classification selon la charge alaire.....	6
2.2.5 Classement à la demande	6
3. Système d'aéronef sans pilote (UAS).....	7
3.1 Définition :.....	7
3.2 Composants	7
4. Flying Ad-Hoc Networks (FANET)	8
4.1 Caractéristiques des Fanets	9
4.2 Architectures et communications	10
4.1.1 Communication directe par drone.....	11
4.1.2 Communication UAV via réseaux satellites.....	11
4.1.3 Communication UAV via réseaux cellulaires.....	11
4.1.4 Communication drone via réseaux ad hoc.....	11
4.1.5 La communication UAV à UAV ET la communication UAV à GCS.....	11
5. Protocole de routage dans Fanets	12
5.1. Les protocoles de routage statique	12
5.2. Protocole de routage proactif (PRP).....	13
5.3. Protocole de routage réactif	13
5.4. Les protocoles de routage hybrides	13
5.5. Protocole de routage géographique.....	13
5.6. Protocoles de routage hiérarchique	13
5.7. Routage basé sur l'intelligence en essaim (intelligence distribuée)	13
5.8. Protocoles hétérogènes.....	13
6. Applications FANET.....	13
7. Modèles de mobilité	14

Table des matières

7.1	Point de passage aléatoire (RWP).....	15
7.2	Modèle à base de phéromones (PBM)	15
7.3	Gauss Markov (GM)	15
8.	Conclusion.....	16
1.	Introduction.....	18
2.	Protocoles de routage de réseau sans tolérance de délai (non DTN).....	18
3.	Protocoles de routage réactifs.....	18
3.1.	RGR (Reactive-Greedy-Reactive protocol).....	18
3.2.	MUDOR (MULTipath Doppler Routing).....	19
3.3.	ARPAM (Ad hoc Routing Protocol for Aeronautical MANETs).....	20
4.	Protocoles de routage basés sur la gourmandise (Greedy-based routing protocols).....	21
4.1.	GPMOR (Geographic Position Mobility Oriented Routing)	21
4.2.	MPGR(Mobility Prediction based Geographic Routing).....	22
4.3.	GLSR(Geographic Load Share Routing).....	22
5.	Protocoles de routage de réseau à tolérance de retard (DTN - Delay tolerant network routing protocols).....	23
5.1.	LAROD (Location Aware Routing for Opportunistic Delay Tolerant).....	23
5.2.	AeroRP(Aeronautical Routing Protocol).....	24
5.3.	GRAA(Geographic Routing protocol for Aircraft Ad hoc Network).....	25
6.	Routage hétérogène.....	26
6.1.	CRUV(Connectivity-based Traffic Density Aware Routing using UAVs for VANETs)	26
6.2.	P-OLSR(Predictive-Optimized Link-State Routing).....	27
.6.3	Cross-layer Link quality and Geographical-aware beaconless opportunistic routing protocol (XLinGo).....	28
7.	Conclusion.....	30
1.	Introduction.....	32
2.	Simulateur OMNET++.....	32
3.	INET FRAMEWORK.....	33
	Conçu pour l'expérimentation :	33
	Certaines fonctionnalités:.....	34
4.	Description des protocoles GPSR et DSDV	34
4.1.	Le protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless routing protocol)	34
4.1.2.	Principe	34
4.1.3.	Fonctionnement du protocole	35
4.2.	Le protocole DSDV (Dynamic destination Sequenced Distance Vector).....	37
4.2.1.	Définition.....	37
4.2.2.	Fonctionnement du protocole.....	38

Table des matières

5. Métriques de la simulation	38
6. Etude de performances des deux protocoles.....	39
6.1. Packet Delivery Ratio (PDR)	39
6.2. End-to-End Delay (EED)	41
6.3. Consommation d'énergie (Energie Balance).....	42
7. Conclusion	43
Conclusion général.....	44
Bibliographie.....	45

Liste des figures

Figure 1: UAV Classification.....	4
Figure 2: Exemple de très petits drones.....	4
Figure 3: Exemple de petits drones.....	5
Figure 4: Exemple de grand UAV.....	5
Figure 5: Exemple de la surveillance avec des drones collaboratifs.....	7
Figure 6: Composants Système d'aéronef sans pilote (UAS).....	8
Figure 7: MANET, VANET and FANET.....	9
Figure 8: Architectures de communication FANETS de base.....	10
Figure 9: Taxonomie des protocoles de routage FANET.....	12
Figure 10:FANET Application Domaines.....	14
Figure 11:Modèles de mobilité.....	15
Figure 12:mode de fonctionnement du protocole RGR.....	19
Figure 13:mode de fonctionnement du protocole MUDOR.....	20
Figure 14: fonctionnement du protocole ARPAM.....	20
Figure 15:fonctionnement du protocole GPMOR.....	21
Figure 16:fonctionnement du protocole MPGR.....	22
Figure 17:fonctionnement du protocole le GLSR.....	23
Figure 18:mode de livraison de paquets de données pour le protocole LAROD.....	24
Figure 19:fonctionnement du protocole AeroRP.....	25
Figure 20:La sélection next-hop du GRAA.....	26
Figure 21:mode de fonctionnement du protocole CRUV.....	27
Figure 22:Format du paquet Hello modifié du protocole Predictive-OLSR.....	28
Figure 23:Fonctionnement du protocole XlinGO.....	29
Figure 24:y est le voisin de x le plus proche de la destination D.....	35
Figure 25:Passage au mode PR.....	36
Figure 26:Pour que $\{u,v\} \in GG$, il faut qu'il n'existe aucun nœud dans le disque.....	36
Figure 27:Packet Delivery Ratio vs. La vitesse (Linear Mobility).....	40
Figure 28:Packet Delivery Ratio vs. Nombres de nœuds (Circle Mobility).....	40
Figure 29:End-to-End Delay vs. La vitesse (Linear Mobility).....	41
Figure 30:End-to-End Delay vs. Nombres de nœuds (Circle Mobility).....	41
Figure 31:Consommation d'énergie vs. La vitesse (Linear Mobility).....	42
Figure 32:Consommation d'énergie vs. Nombres de nœuds (Circle Mobility).....	42

Introduction général

FANET est un réseau ad hoc créé entre des nœuds volants (véhicules aériens sans pilote) tels des drones ou des aéronefs pouvant piloter à distance ou préprogrammés. Les Fanets sont utilisé dans la plupart des applications militaires et civiles en raison de ses avantages flexibles, hautement mobiles et efficaces par rapport à un seul UAV.

Les protocoles de routage dans FANET tiennent compte de la nature des applications et des services utilisés pour lesquels les drones sont déployés et tiennent compte des modèles de mobilité. Cependant, la conception de protocoles de routage pour FANET n'est pas une tâche facile compte tenu de la topologie hautement dynamique de FANET et des contraintes de vol auxquelles il est soumis. Ainsi, le problème de conception le plus important pour un système multi-UAV est de choisir le bon protocole de routage.

L'objet principal de cette étude est d'analyser et de comparer les performances de différents protocoles (protocoles GPSR et DSDV) sous différents scénarios de réseau FANET en se basant sur différentes métriques de réseau afin de voir l'efficacité de chaque protocole de routage et d'aider les futures études de développement.

Mon travail est organisé comme suit. Au début Aéronefs sans Pilote (drones) et Flying Ad-hoc network ensuit Routage Géographique dans les Réseaux Fanet à la fin Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANET's

Chapitre 1 :

**Aéronefs sans Pilote (drones) ET
Flying Ad-hoc network**

1. Introduction

Les progrès récents de la technologie sans fil ont été observés dans notre vie quotidienne, notamment en raison de la grande disponibilité d'interfaces radio WI-FI à faible coût et d'autres appareils comme les GPS, les capteurs, les ordinateurs micro-embarqués, etc. Tous ces appareils innovants ont pavé la voie pour le développement de petits véhicules volants intelligents, par exemple, les véhicules aériens sans pilote (UAVS), conduisant à la création d'un nouveau type de réseau appelé réseau ad hoc volant (FANET). Depuis l'introduction de FANET, différents types d'applications civiles et militaires ont vu le jour, telles que la coordination des équipes de secours sur le terrain, la surveillance des frontières et le suivi autonome. En outre, il existe également de nombreuses applications civiles telles que la surveillance de l'agriculture et des chantiers, la découverte de champs pétrolifères et la réalisation de films.

2. Véhicule aérien sans pilote (UAV)

2.1. Définition

Les UAV (Unmanned Aerial Vehicle) sont aussi appelés RPV (Remotely Piloted Véhicule), sont des nœuds de réseaux ad hoc de vol (FANET), communément appelés avion ou drone sans pilote humain à bord. Son vol est télécommandé par un pilote au sol, ou préprogrammé par un ordinateur de bord. Ils ont été utilisés pour certaines applications militaires, publiques et civiles en raison de leur grande mobilité, flexibilité, faible coût. Des exemples de ces applications sont la lutte contre les incendies, la surveillance des frontières, la circulation surveillée, livraison Internet... etc. Il existe une variété de tailles de drones (grands et petits drones). Les grands UAV peuvent être utilisés séparément dans les missions tandis que les petits UAV peuvent être utilisés en essaim. Dans les applications civiles, les gros drones sont plus utiles que les petits en raison de leurs avantages : facile à entretenir, coûtent moins cher que les gros drones. [1]

2.2. Classification

Les drones peuvent être classés selon un grand nombre de caractéristiques de performance, qu'il n'y a pas de classification standard des UAS. Les drones classés selon leur taille, la portée et l'endurance, la vitesse et la charge alaire sont des spécifications importantes, qui distinguent différents types de drones et donnent lieu à une classification utile des systèmes [2].

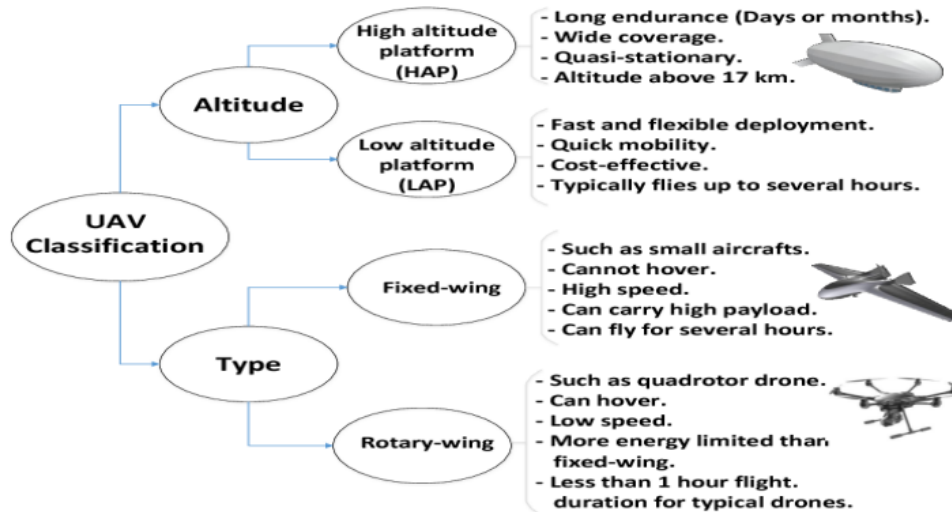


Figure 1: UAV Classification

2.2.1 Classification selon la taille

Pour la classification selon la taille, on peut proposer les sous-classes suivantes :

· **Très petits drones (micro ou nano drones)** : sont de petite taille, allant de la taille d'un gros insecte à 30 à 50 cm de long et sont légers. À voilure battante ou tournante. Par exemple, ils l'ont utilisé pour l'espionnage. Un exemple de très petits drones (figure 2)

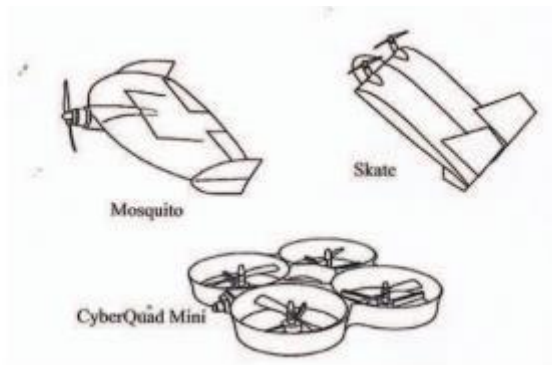


Figure 2: Exemple de très petits drones

Petits UAV (ou mini-UAV) : sont des UAV de dimension supérieure à 50 cm et ne dépassant pas 2 mètres. Dans cette classe, les drones basés sur le modèle à voilure fixe, et la plupart sont lancés à la main en les lançant en l'air. Un exemple de petits drones

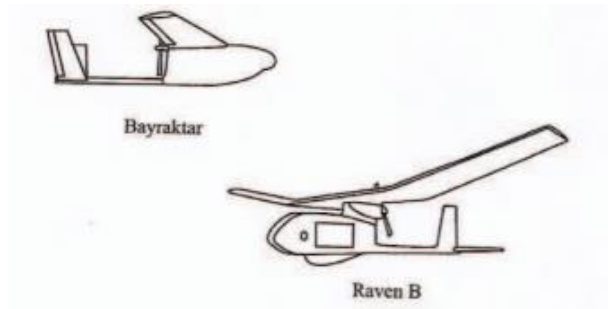


Figure 3: Exemple de petits drones

UAV moyens :

Les UAV ont une envergure d'environ 5 à 10 m et peuvent transporter charges utiles de 100 à 200 kg. Ils sont trop lourds pour être portés par une seule personne. Un exemple de drones moyens (figure 4)

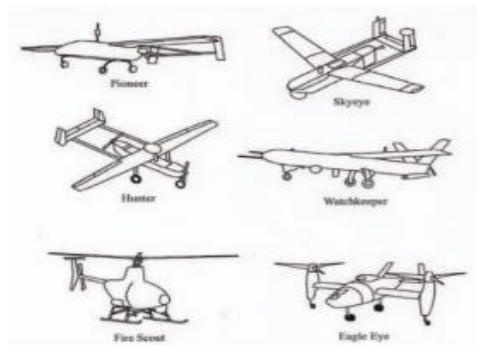


Figure 4: Exemple de grand UAV

2.2.2 Classification selon l'endurance et la portée

Dans cette classification basée sur deux paramètres importants, qui sont l'endurance et l'intervalle. Le concepteur d'UAV prend en compte l'endurance et la portée pour construire un UAV dépendant de la mission. Trois classes sont proposées qui sont longues, endurance/portée moyenne et courtes.

- Les drones à longue endurance sont ceux qui peuvent rester en vol pendant 24 heures ou plus. La portée de ces drones est également élevée, à partir de 1500 km jusqu'à 22000 km pour le Global Hawk.

- Les drones d'endurance moyenne présentent ceux dont l'autonomie est comprise entre 5 et 24 heures. Ceux-ci incluent l'ombre 600 jusqu'au Predator. C'est le type de drone le plus courant.

- Les drones à faible endurance qui ont moins de 5 heures d'autonomie. Ceux-ci sont utilisés pour des missions courtes.

2.2.3 Classification selon l'altitude maximale

Les drones classés à différentes altitudes dépendent de leurs besoins. Par exemple, certains drones dans des situations militaires doivent avoir une faible visibilité pour éviter d'être détectés et détruits par l'ennemi. Voici les trois classes proposées pour les UAV par altitude maximale.

- ✚ Basse altitude : c'est tout UAV qui vole jusqu'à 1000m. Ces drones sont le micro une fois. Ces drones n'ont pas beaucoup d'utilité à ce stade et sont principalement expérimentaux.
- ✚ Moyenne altitude : c'est la catégorie des drones dont l'altitude maximale est comprise entre 1000m et 10000m. La majorité des drones entrent dans cette catégorie.
- ✚ Haute altitude : ce sont tous les drones qui peuvent voler à plus de 10000m.

2.2.4 Classification selon la charge alaire

Une autre méthode pour classer les UAV est l'utilisation de leur capacité de charge alaire. Afin de calculer la charge alaire d'un UAV, le poids total de l'UAV a été divisé par la surface alaire. Par conséquent, pour classer ces drones à l'aide de leurs valeurs de charge alaire, nous avons créé trois classes :

- ✚ Les drones qui ont une charge alaire supérieure à 100 kg/m² sont classés comme étant à charge élevée.
- ✚ La deuxième classe est la charge moyenne pour les drones qui ont une charge alaire inférieure à 100kg/m² mais supérieure à 50kg/m².
- ✚ Alors que les drones restants avec une charge alaire inférieure à 50 kg/m² seront classés comme à faible charge.

2.2.5 Classement à la demande

Les drones ont de nombreuses applications dans différents domaines, par exemple [3] :

- Services publics et collectivités (Assistance police, Enquête écologique...)
- Agriculture (Surveillance des zones agricoles, Analyse des cultures...)
- Cartographie (géomètre expert, Analyse numérique des terrains, reconstitution 3D...)
- Architectures et urbanisme (Etude de chantier ou de grands ouvrages sur des angles de vue permettant une meilleure implantation).
- Intervention en sécurité civile (Intervention dans des situations d'urgence afin d'apporter un soutien aux autorités locales pour la surveillance de zones sinistrée).
- Tourisme et suivi d'évènements (Films et photos touristiques avec des angles de vue ne peuvent être effectués avec du matériel standard).
- Missions dangereuses (détection de gaz toxiques, radiations).
- Surveillance :

→ Surveillance de territoire réglementée (chasse, pêche...)

Surveillance de chantiers routiers, ferroviaires, bâtiments et travaux publics...)

Chapitre 1 : Aéronefs sans Pilote (drones) ET Flying Ad-hoc network

- Surveillance des frontières
- Surveillance du trafic routier et du transport de matières dangereuses. Surveillance de chantiers routiers, ferroviaires, bâtiments et travaux publics...)
- Surveillance des frontières
- Surveillance du trafic routier et du transport de matières dangereuses.
- Industrie :
 - Contrôles de zones à risques
 - Surveillance d'installations (panneaux solaires, éoliennes, antennes, etc.).



(a) La surveillance routière

(b) La surveillance des feux de forêts

Figure 5: Exemple de la surveillance avec des drones collaboratifs

3. Système d'aéronef sans pilote (UAS)

3.1 Définition :

(Unmanned Aerial System) est une nouvelle technologie utilisée à la fois dans des applications militaires et civiles. Il s'agit d'un système qui comprend les composants nécessaires pour contrôler les UAV, c'est un système complet qui comprend un véhicule aérien (aéronef), une station de contrôle au sol et un système de commande, de contrôle et de communication [2] .

3.2 Composants

Les éléments suivants sont les principaux composants détaillés du système d'aéronef sans pilote :

- UAV :

Chapitre 1 : Aéronefs sans Pilote (drones) ET Flying Ad-hoc network

Le drone est le composant le plus crucial. Ainsi, la capacité, les performances et le théâtre d'opération de l'UAS affectent directement ses capacités, telles que la charge utile, l'altitude, la portée, l'endurance, etc.

- **Charges utiles :**

Les équipements ajoutés au drone pour la réalisation de différentes missions opérationnelles (i.e. capteurs, armes non létales, létales, etc.).

- **Systèmes de commandement et de contrôle :**

Stations de contrôle au sol statiques/portables, station de contrôle du trafic aérien ou terminaux de données au sol, etc. qui facilitent l'interaction entre l'homme et les drones.

- **Matériel d'assistance :**

Lanceur qui donne à un UAV sa vitesse de vol dans une distance et un temps extrêmement courts.

- **Liaisons de contrôle et de transmission de données :**

Sont utilisés pour définir comment les informations sont envoyées et reçues depuis et vers les UAV et GCS.



Figure 6: Composants Système d'aéronef sans pilote (UAS)

4. Flying Ad-Hoc Networks (FANET)

Est une structure de réseau ad hoc qui est formée par un ensemble de drones et au moins l'un d'entre eux doit être connecté à la station de contrôle au sol GCS ou au satellite. FANET diffère des réseaux ad hoc existants, mais il peut être considéré comme une forme spéciale de MANET ou VANET. Cependant, il existe certaines différences entre eux en termes de considérations de conception. Le réseau UAVS a ses propres caractéristiques, dans le point suivant, certaines caractéristiques FANET sont détaillées. Figure 7 montre différentes classes des réseaux ad hoc MANET, VANET et FANET.

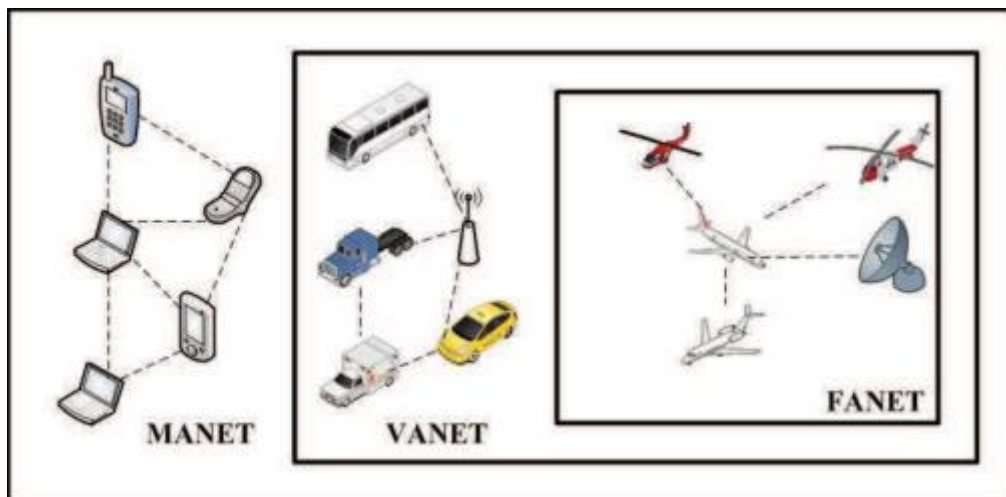


Figure 7: MANET, VANET and FANET

4.1 Caractéristiques des Fanets

comme dans MANETS, l'architecture FANET est un réseau sans infrastructure, utilisant plusieurs nœuds pour transmettre des paquets de données. les autres caractéristiques sont les capacités auto-organisées, les données auto-gérées de manière distribuée, les nœuds de communication et de coopération qui sont utilisés pour délivrer les données. FANETS, cependant, ont également des caractéristiques spécifiques qui les différencient de MANET et VANET [4].

- **Véhicules aériens sans pilote (UAV):**

dans FANET, les nœuds volent dans le ciel à haute altitude avec des mouvements libres. Ces nœuds peuvent être des drones ou des UAV et voler sans interaction humaine. En conséquence, la topologie FANET change de manière dynamique. Cela peut entraîner des défaillances dans les liens entre les nœuds.

- **Topologie du réseau :**

dans FANET, le degré de mobilité des nœuds est plus élevé, ce qui entraîne une modification fréquente et aléatoire de la topologie du réseau.

- **Nœuds de mobilité :**

il existe deux types de mode de mobilité. Le premier mode est que le plan de vol est prédéfini et la carte est calculée après chaque changement. Cependant, le second mode est aléatoire. Mobilité des nœuds : le degré de mobilité est beaucoup plus élevé que les autres réseaux ad hoc. Les nœuds dans FANET changent de place en peu de temps, ce qui peut créer un problème de communication entre les nœuds.

- **Densité de nœud :**

la densité de nœuds peut être définie comme la moyenne des nœuds dans une unité de surface. Dans FANET, les nœuds volant dans le ciel sont séparés par une grande distance, de sorte que la densité est faible dans FANET.

Chapitre 1 : Aéronefs sans Pilote (drones) ET Flying Ad-hoc network

- **Modèle de propagation radio :**

Les nœuds FANET sont éloignés du sol, qu'ils peuvent être contrôlés à distance, ils utilisent donc la ligne de mire entre eux ou entre un nœud et une station au sol.

- **Localisation:**

FANET a besoin d'une mise à jour sur la localisation dans un court intervalle de temps car ses nœuds changent rapidement de localisation. Chaque drone doit être équipé d'un GPS et d'une mesure inertielle (IMU) pour proposer la position aux autres drones à tout moment.

- **Consommation d'énergie:**

Les nœuds de FANET alimentent le matériel de communication par leur source d'énergie. Ainsi, FANET n'a pas de problème de source d'alimentation tel que MANET.

- **Couverture:**

FANET sont des réseaux appropriés pour couvrir une grande surface comme dans les scénarios de cartographie ou de surveillance. Des drones basés sur différentes techniques de positionnement pour avoir une couverture efficace.

4.2 Architectures et communications

L'architecture de communication détermine le mécanisme et les règles utilisées pour échanger des informations dans les réseaux entre leurs nœuds (UAV) ou entre la station de contrôle au sol (GCS) et différents UAV. Il existe quatre architectures de communication conçues pour la communication des UAV : la communication directe UAV, la communication UAV via des réseaux satellitaires, la communication UAV via des réseaux cellulaires et la communication UAV via des réseaux ad hoc[5].

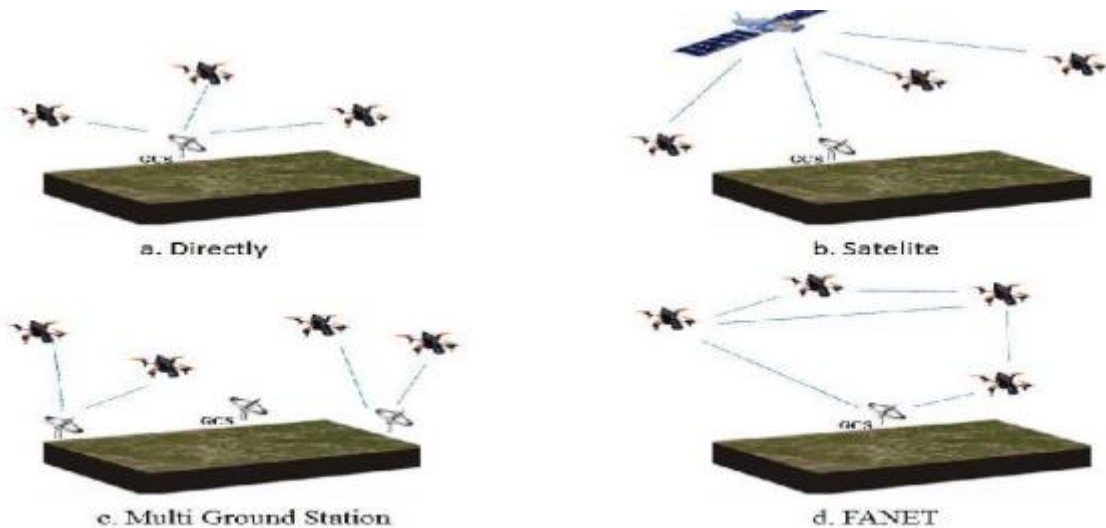


Figure 8: Architectures de communication FANETS de base

4.1.1 Communication directe par drone

Le schéma de cette architecture est centralisé, c'est l'architecture la plus simple, dans laquelle le GCS agit comme un nœud central auquel tous les drones sont connectés. Le GCS représente la vulnérabilité de FANET, par exemple si le GCS rencontre des problèmes, l'ensemble du réseau UAV échouera.

4.1.2 Communication UAV via réseaux satellites

Afin de communiquer deux points très éloignés, situés dans des régions où il est impossible d'avoir une infrastructure fixe, les communications par satellite sont la meilleure solution, les vulnérabilités de cette architecture sont la latence élevée de transmission et le coût de location du satellite. De plus, les UAV doivent être en visibilité directe avec GCS ; et la construction ou les arbres peuvent restreindre le signal échangé dans ce réseau. De plus, les performances des systèmes satellitaires sont liées à la puissance d'émission du sol, dont la communication par UAV via l'architecture satellitaire ne peut pas convenir aux mini ou micro UAV en raison de leur faible capacité.

4.1.3 Communication UAV via réseaux cellulaires

Il est basé sur une topologie centralisée, où cette topologie contient une zone divisée en zones (cellules). Chaque cellule a une station de base (point central) pour acheminer toutes les communications vers leur destination. Contrairement aux réseaux satellitaires, les réseaux cellulaires utilisent des émetteurs de faible puissance, qui peuvent être utilisés comme solution pour communiquer par drone via une infrastructure d'opérateur téléphonique existante afin de réduire les contraintes de mobilité et de portée. Mais il est difficile de couvrir toute la zone et de garder cette infrastructure à l'abri des catastrophes naturelles.

4.1.4 Communication drone via réseaux ad hoc

Les UAV en essaim créent un FANET que chaque nœud considère comme un système final ainsi que GCS. Tous les drones sont amenés à collaborer et doivent donc s'organiser pour relayer l'information. L'architecture Ad-Hoc s'adapte bien à la topologie en constante évolution des réseaux de drones, qui résulte de la grande mobilité des drones. Dans FANET, le GCS agit également comme un nœud d'extrémité régulier qui peut avoir une allocation géographique fixe ou variable. Il communique avec le drone le plus proche qui agit comme une passerelle. Par conséquent, il existe deux types de communication à prendre en compte dans FANET:

4.1.5 La communication UAV à UAV ET la communication UAV à GCS

- **UAV à UAV:**

Ce type de communication peut être direct ou multi saut. Les UAV peuvent avoir une portée de communication courte ou longue entre eux, ce qui peut augmenter l'efficacité de FANET en termes de portée de communication et de débit de données.

- **UAV vers GCS:**

Chapitre 1 : Aéronefs sans Pilote (drones) ET Flying Ad-hoc network

Dans ce type de communication, les drones communiquent avec une infrastructure fixe (station au sol, navire de guerre, infrastructure cellulaire ou satellite) pour fournir des services d'information aux autres utilisateurs du réseau mondial.

5. Protocol de routage dans Fanets

Afin d'acheminer une information entre deux drones distants, un ou plusieurs nœuds intermédiaires dans le réseau coopèrent entre eux par la retransmission des données jusqu'à leurs destinations. En effet, les protocoles de routage sont responsables de choisir la meilleure route vers la destination qui minimise les collisions, les interférences, ou encore le délai. La nature hautement mobile des drones finit par entraîner des changements fréquents de topologie, ce qui entraîne des problèmes de connectivité pour une communication efficace. Cette mobilité implique donc une instabilité des routes qui doivent être recalculées plus ou moins souvent en fonction de la dynamique du réseau. Au cours des dernières années, plusieurs recherches ont été proposées pour résoudre les problèmes de routage dans les FANETs.

Nous présentons ici les plus courantes accompagnées de quelques exemples représentatifs.

Ces protocoles de routage sont classés en six grandes catégories (Protocoles de routage statique, Protocoles de routage proactifs, Protocoles de routage réactifs, Protocoles de routage hybride, Protocoles de routage basés sur la géographie/la position, Protocoles de routage hiérarchique.) [5]

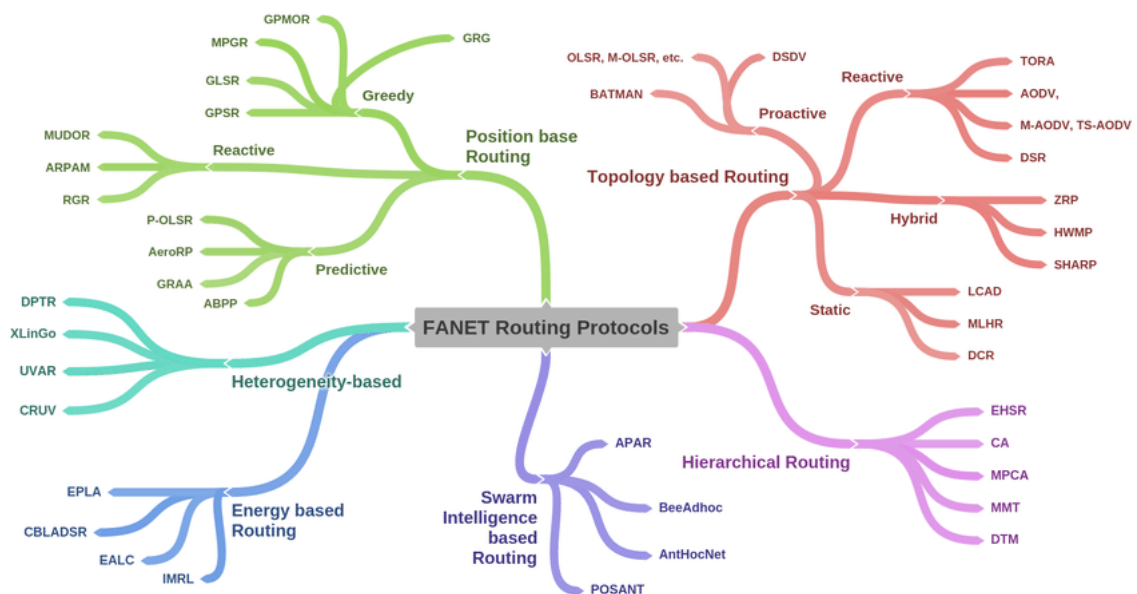


Figure 9: Taxonomie des protocoles de routage FANET.

5.1. Les protocoles de routage statique

Dans les protocoles de routage statique, chaque drone a une table de routage qui n'est pas mise à jour pendant la mission. Protocoles de routage statique sont applicables dans les cas où la topologie du réseau ne change pas et où les choix de sélection d'itinéraire sont limités. Ici, chaque UAV

Chapitre 1 : Aéronefs sans Pilote (drones) ET Flying Ad-hoc network

communiquent avec les autres UAV ou la station au sol et ne stockent que leurs informations. Cela conduit à réduire le nombre de liens de communication. Cependant, au cas où d'un échec de mise à jour de la table de routage, il est obligatoire d'attendre que la mission soit terminée. En conséquence, il existe des protocoles ne sont pas tolérants aux pannes.

5.2. Protocole de routage proactif (PRP)

La PRP utilise une table de routage pour stocker tous les routages dans le réseau de communication. Ces tables de routage sont mises à jour et partagées périodiquement entre les nœuds. Lorsque la topologie change, les tables doivent être mises à jour. Le principal avantage du PRP est qu'il contient toujours les informations les plus récentes.

5.3. Protocole de routage réactif

Pour les protocoles de routage réactifs - également appelés protocole de routage à la demande la table de routage est mise à jour lorsqu'il y a des données à envoyer, sinon il n'est pas nécessaire de calculer une route entre les nœuds. Deux types de messages sont échangés qui sont Route Request et Route Reply.

5.4. Les protocoles de routage hybrides

En prenant les meilleures fonctionnalités et en dépassant les limites des protocoles réactifs et proactifs, de ce principe est née l'idée de protocoles hybrides. Les protocoles hybrides sont particulièrement adaptés aux grands réseaux et sont basés sur les concepts de zones.

5.5. Protocole de routage géographique

Les protocoles de routage basés sur la position supposent que la connaissance des informations de position géographique des UAV permet un routage efficace. Pour ce type de protocole, le nœud source connaît la position physique du destinataire et envoie un message sans trouver de route.

5.6. Protocoles de routage hiérarchique

Dans les protocoles de routage hiérarchique, la possibilité de choisir proactif et de routage réactif s'appuient sur le niveau hiérarchique du réseau dans lequel un UAV réside. Ce routage spécifique est principalement déterminé avec des itinéraires planifiés proactifs et aide ensuite la demande des nœuds déclenchés via réactif protocole aux niveaux inférieurs. Le principal inconvénient de ce protocole inclure la complexité et le schéma d'adressage de quelle réponse à la demande de trafic et, par conséquent, il draine le facteur interconnecté.

5.7. Routage basé sur l'intelligence en essaim (intelligence distribuée)

L'intelligence en essaim (SI) ou l'intelligence distribuée est un système auto organisé et a d'abord été utilisé pour le système robotique cellulaire.

5.8. Protocoles hétérogènes

Les protocoles de routage FANET hétérogènes maintiennent l'interaction entre les UAV et les différents types de nœuds au sol, que les nœuds soient fixes ou mobiles

6. Applications FANET

FANET est utilisé dans de nombreux domaines, leurs applications couvrent différents domaines de l'agriculture, de l'armée et de l'éducation. [2]



Figure 10:FANET Application Domaines

7. Modèles de mobilité

Les modèles de mobilité sont utilisés pour simuler le mouvement de nœuds mobiles réels (UAV) et pour imiter l'environnement FANET réaliste. Ils représentent le mouvement du nœud des drones et comment leur position, leur accélération et leur vitesse varient dans le temps. Ces modèles sont utilisés pour vérifier si un protocole donné (par exemple un protocole de routage) est utile dans une situation particulière [2].

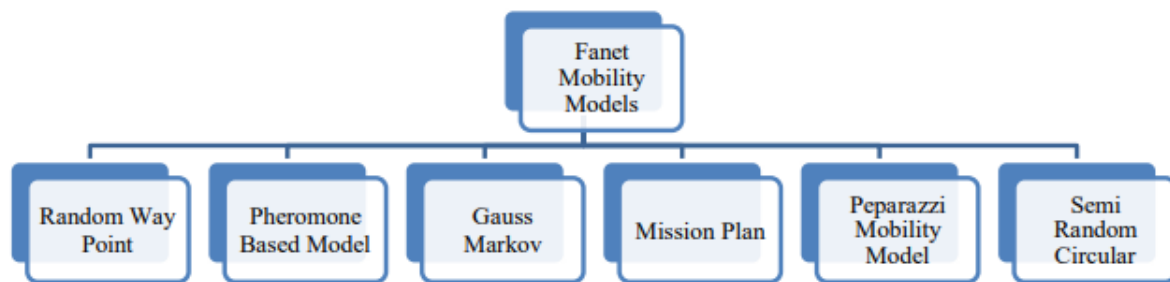


Figure 11: Modèles de mobilité

7.1 Point de passage aléatoire (RWP)

Le modèle de mobilité est basé sur trois actions, tourner à droite, tourner à gauche et aller tout droit. Chaque nœud choisit aléatoirement les mouvements de destination avec une vitesse et un temps de pause aléatoires. Lorsque le temps de pause expire, les drones sélectionnent un autre emplacement aléatoire et se déplacent avec une autre valeur de vitesse aléatoire. Les nœuds volants décident de leurs déplacements selon des probabilités fixes. Le RWP est le modèle de mobilité le plus utilisé dans les scénarios de simulation. Mais malheureusement, ce modèle ne peut pas convenir aux réseaux FANET, principalement parce que les drones ne changent pas rapidement de vitesse et de direction en une seule fois et ne peuvent pas rester un instant à la même position.

7.2 Modèle à base de phéromones (PBM)

Le modèle est proposé sur la base de la carte des phéromones. Il prend en considération la zone spécifiée pour chaque nœud volant et les développements des nœuds de guidage des phéromones. Chaque nœud marque la zone qu'il vérifie sur la carte, et la partage en diffusant ses nœuds. La carte des phéromones est utilisée pour guider les nœuds. Les drones échangent des informations sur leur zone scannée, et selon ce qu'ils décident, ils tournent à droite, à gauche ou vont tout droit. Afin d'étendre la couverture, les nœuds UAV préfèrent se déplacer dans la zone à faible odeur de phéromone.

7.3 Gauss Markov (GM)

Le modèle de mobilité utilise un paramètre de réglage pour modifier le degré de caractère aléatoire. Initialement, chaque UAV est réglé sur une direction et une vitesse spécifiques. Après cela, à chaque période de temps, l'action actualisera la direction et la vitesse des nœuds. La direction et la vitesse sont données en fonction de la dernière position.

8. Conclusion

Nous avons essayé à travers ce chapitre de nous concentrer sur ce que sont les Flying Ad-Hoc Networks, leurs caractéristiques et leur protocole de routage, les modèles de mobilité et les topologies de communication.

Chapitre2 :

Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

1. Introduction

Cette classe de protocoles de routage est basée sur la connaissance des positions géographiques, que chaque nœud est capable de définir à l'aide du GPS. Notons que pour calculer la position de la destination, le nœud peut utiliser un service de localisation tel que le Reactive Location Service (RLS), le Grid Location Service (GLS), ou le Hierarchical Location Service (HLS). Ce type de routage est le plus adapté aux réseaux hautement dynamiques tels que les FANET. Ci-dessous, nous étudions en détail les protocoles de routage les plus pertinents appartenant à cette catégorie. 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.

2. Protocoles de routage de réseau sans tolérance de délai (non DTN)

Ce type de protocole fonctionne plus efficacement sur des réseaux bien connectés où la densité de nœuds est relativement élevée car il ne prend pas en compte le problème de déconnectivité. L'objectif principal de ces protocoles est de transmettre des paquets de données au récepteur le plus rapidement possible en utilisant la technique multi-sauts à travers les nœuds dans le cas où le récepteur n'est pas dans la portée de transmission de l'expéditeur. Deux catégories sont distinguées : (i) le routage basé sur le réactif et (ii) le routage basé sur le gourmand. La première catégorie doit avoir le chemin complet vers la destination cible en fonction des chemins de routage établis à la demande au préalable. Cependant, la livraison des données peut échouer en cas de déconnexion si le réseau devient faiblement connecté. Par conséquent, les protocoles réactifs doivent appliquer leurs stratégies de récupération pour faire face à de telles défaillances. Dans la deuxième catégorie, les expéditeurs transmettent des paquets de données aux voisins les plus proches de la destination cible, mais dans le cas où il n'y a que le transitaire lui-même et qu'aucun voisin n'existe, la livraison des données échouera et une stratégie de récupération devra avoir lieu. Par conséquent, de nombreux protocoles de routage proposés dans les FANET ont tendance à gérer ces défaillances par différentes méthodes.

3. Protocoles de routage réactifs

La technique réactive est la technique la plus utilisée dans les protocoles de routage FANET. En effet, lorsqu'il n'y a pas de route vers la destination cible, le nœud source doit établir un chemin à la demande afin de démarrer une communication avec la destination cible. De nombreux protocoles de routage réactif sont proposés pour les FANET.

3.1. RGR (Reactive-Greedy-Reactive protocol)

RGR est un protocole de routage réactif basé sur la combinaison d'un protocole de routage basé sur la topologie pour créer des chemins à la demande en utilisant le protocole réactif bien connu AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector), et une technique de livraison classique basée essentiellement sur l'Expédition Géographique Gourmand (GGF). Malgré la nature topologique du protocole RGR qui a été observée, les positions géographiques sont toujours exploitées à la fois dans la livraison des données pour obtenir l'emplacement de la destination et dans le cas de

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

déconnexions entre les nœuds pour sélectionner les prochains transitaires. Par conséquent, RGR peut être considéré comme un protocole de routage réactif, qui doit utiliser des positions géographiques lors de la stratégie de récupération.

Dans la phase d'établissement d'itinéraire de RGR, non seulement un itinéraire réactif est mis en place, mais l'emplacement géographique de la destination est également obtenu par la source. Les paquets de données utilisent d'abord la route réactive pour transmettre les données. En cas de rupture d'une route, un basculement vers GGF se produit. Il existe quatre types différents de messages de contrôle dans RGR : les demandes de routage (RREQ), les réponses de routage (RREP), les erreurs de routage (RERR) et les messages hello. La fonctionnalité et la propagation de chacun de ces messages dans RGR sont similaires à AODV, à l'exception du fait que les messages RREQ, RREP et hello transportent des informations de localisation. La commutation vers GGF peut avoir lieu dans des nœuds intermédiaires lorsque la route réactive vers une destination est interrompue. Comme le montre l'algorithme 1, lorsqu'un paquet de données arrive, le nœud vérifie s'il existe un chemin réactif dans sa table de routage. Si la route est déjà interrompue (en raison de mouvements de voisins), RGR exécute une autre sous-fonction dans laquelle le nœud tente de transmettre géographiquement le paquet à la destination. Les informations d'emplacement des nœuds de destination et voisins sont respectivement extraites de la table de routage et de la table de voisinage. [6]

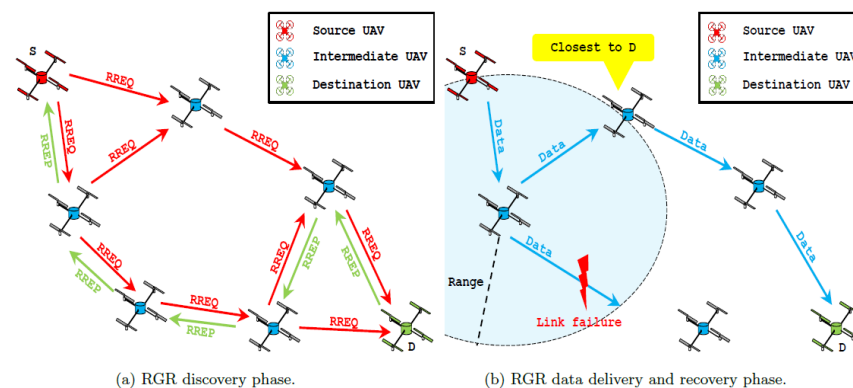


Figure 12: mode de fonctionnement du protocole RGR

3.2. MUDOR (Multipath Doppler Routing)

Est un protocole de routage réactif inspiré du Dynamic Source Routing (DSR) et conçu pour les réseaux ad hoc hautement mobiles comme les FANET. MUDOR est basé sur la sélection du chemin le plus stable avec la plus longue durée de vie. Pour trouver le meilleur chemin, MUDOR mesure le décalage de fréquence dû à l'effet Doppler des paquets reçus. Cela détermine la vitesse relative entre la source et le véhicule aérien de destination. Ensuite, nous pouvons estimer la durée de vie du lien. Avant de commencer la livraison des données, MUDOR utilise l'inondation de RREQ pour découvrir des routes vers la destination cible. La première fois qu'un nœud reçoit le paquet RREQ ; il rediffuse ce paquet après avoir ajouté son identifiant et la valeur Doppler du nœud précédent. A la fin, la destination répondra par un paquet RREP via le chemin ayant la durée de vie la plus longue en considérant toutes les valeurs Doppler calculées [7].

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

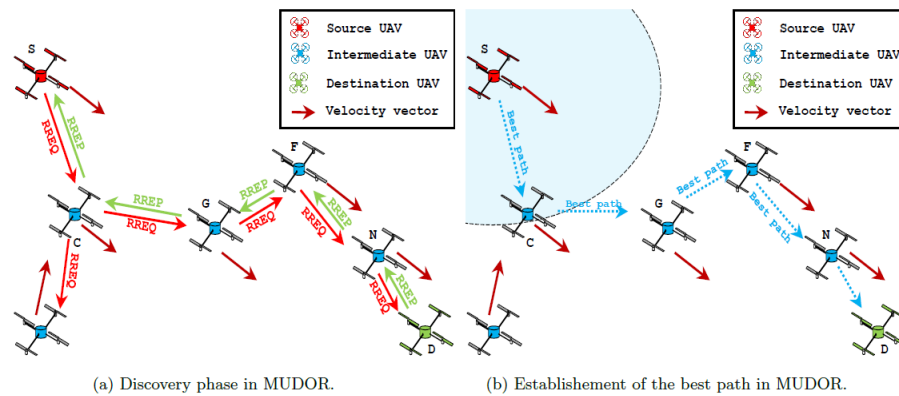


Figure 13: mode de fonctionnement du protocole MUDOR

3.3. ARPAM (Ad hoc Routing Protocol for Aeronautical MANETs)

ARPAM est un protocole de routage basé sur des positions géographiques. ARPAM a le même principe que dans AODV, et par conséquent, est en partie réactif. ARPAM utilise les positions géographiques des UAV dans le réseau pour sélectionner le chemin le plus court entre l'UAV source et l'UAV de destination. Comme pour le protocole AODV, lorsqu'un UAV source veut envoyer des paquets de données et qu'il n'y a pas de chemin vers l'UAV de destination, un paquet RREQ est inondé sur le réseau. Le RREQ contient le vecteur vitesse et la position de la source. Ces informations sont utilisées par les UAV intermédiaires pour estimer la position actuelle de l'UAV source, qui change rapidement en raison de la vitesse élevée des UAV. En outre, les informations de position géographique et de vecteur de vitesse peuvent être utilisées pour fournir la distance parcourue par le paquet, qui peut être utilisée comme métrique lors de la décision de chemin de routage. Lorsque la destination reçoit le paquet RREQ, elle répond par un paquet RREP qui est envoyé en monodiffusion au nœud source. ARPAM repose également sur un mécanisme de maintenance de chemin à la demande, qui vise à maintenir des tables de routage lorsque cela est nécessaire, et notamment, pour certaines applications telles que la voix sur IP (VoIP) ou la vidéo à la demande (VoD), qui nécessitent des temps de réponse faibles de le réseau. Par conséquent, ARPAM est un protocole de routage réactif qui peut être proactif à la demande [8].

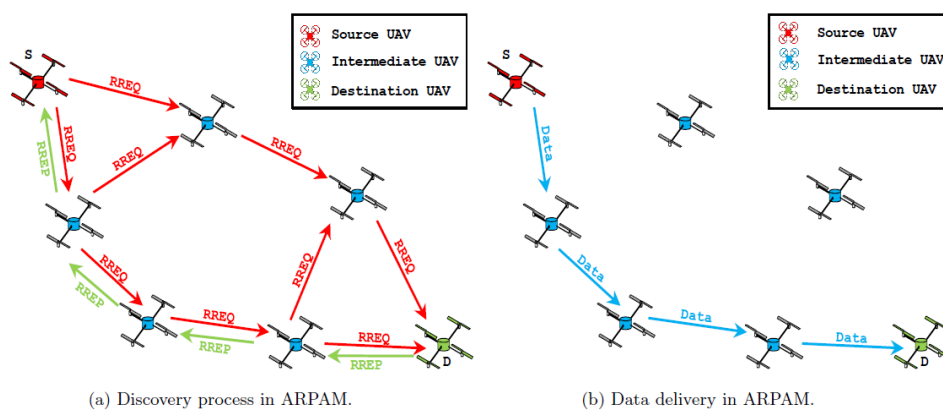


Figure 14: fonctionnement du protocole ARPAM

4. Protocoles de routage basés sur la gourmandise (Greedy-based routing protocols)

En tant que stratégie de transfert dans un protocole de routage basé sur la position FANET classique, la technique de transfert glouton est fréquemment utilisée pour la livraison des paquets de données. Cette technique vise à minimiser le nombre de sauts vers la destination cible, et par conséquent, le délai de livraison et la distance parcourue. Certaines des approches bien connues proposées pour les FANET sont présentées dans cette section.

4.1. GPMOR (Geographic Position Mobility Oriented Routing)

GPMOR est un de protocole de routage dédié à FANET. GPMOR utilise la prédiction de mobilité des drones en mouvement basée sur le modèle de mobilité de Gauss-Markov. En effet, chaque drone a la connaissance de sa propre position géographique à l'aide du GPS. Chaque UAV échange périodiquement sa position avec ses voisins directs en essayant de prédire le mouvement de ses nœuds voisins et de définir leurs nouvelles positions pendant un intervalle de temps. Par conséquent, il est possible de sélectionner le transitaire optimal vers le drone de destination qui peut lui-même changer de position occasionnellement.

GPMOR peut effectuer la meilleure sélection de transitaire en fonction de la méthode de prédiction adoptée. Par exemple, l'UAV S sélectionne l'UAV F comme expéditeur du paquet de données parce que c'est l'UAV le plus approprié selon son mouvement futur, qui est vers l'UAV de destination D. Cependant, l'UAV B ne peut pas être sélectionné comme saut suivant. Car peut s'éloigner de la portée de transmission du drone S, ce qui peut entraîner la perte de paquets de données en raison de la grande mobilité des nœuds. Une fois que la destination D se trouve dans la portée de communication du drone F, le paquet de données est livré à sa destination correspondante [9].

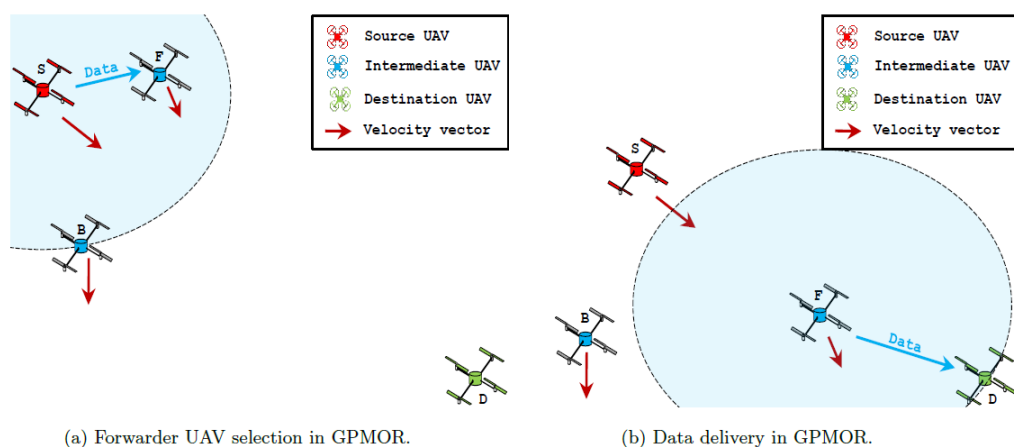


Figure 15: fonctionnement du protocole GPMOR

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

4.2. MPGR(Mobility Prediction based Geographic Routing)

MPGR est un protocole de routage basé sur les positions géographiques pour les communications inter-UAV. Le même principe dans GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) est utilisé dans MPGR. De plus, MPGR utilise une méthode de prédiction de la mobilité basée sur la fonction de distribution gaussienne afin de réduire l'impact de la forte mobilité des drones avec un surcoût de communication acceptable. La nouveauté dans MPGR est lorsqu'un UAV source veut envoyer un paquet de données, tout d'abord, il doit diffuser un paquet de découverte de voisin (ND) pour connaître les prochains UAV de transfert disponibles et sélectionner celui qui convient en fonction des informations incluses dans le paquet de réponse. (RP). Cependant, le nœud de transfert suivant sélectionné peut sortir de la plage de transmission source, entraînant la perte du paquet de données en raison de l'interruption de la liaison. Dans ce cas, MPGR utilise la prédiction de mobilité pour prédire l'emplacement géographique précis des UAV à l'instant t_n sur la base de la caractéristique de mobilité et de la position à t_{n-1} . La position estimée permet l'analyse de la connexion persistante des nœuds voisins. Ainsi, nous pouvons effectuer la sélection du nœud de transfert suivant avec plus de précision [10].

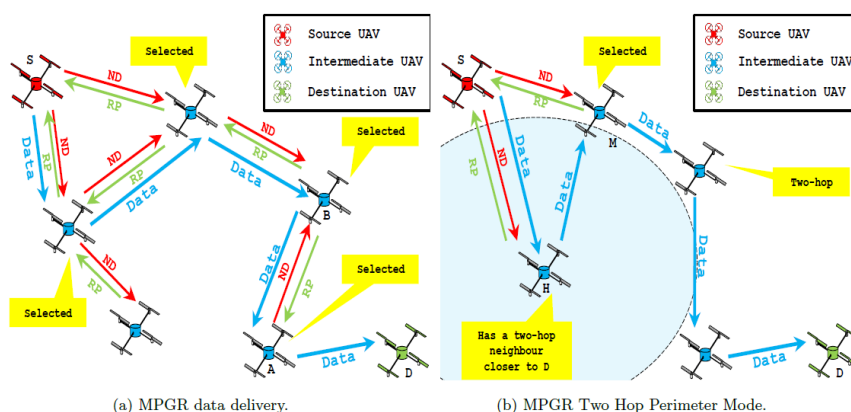


Figure 16: fonctionnement du protocole MPGR

4.3. GLSR(Geographic Load Share Routing)

Est un protocole de routage géographique pour FANET. GLSR est une extension du protocole GPSR, qui exploite les chemins multiples entre source et destination. L'idée derrière GLSR est d'utiliser simultanément plusieurs chemins entre la source et la destination. Le principe clé de GLSR est d'envoyer des paquets de données aux nœuds, ce qui permet de s'approcher de la destination. Pour cela, GLSR définit l'avance de distance (a_k^M) qui permet au drone voisin K d'atteindre la destination M (a_k^M) est calculé sur la base de la différence entre les distances du drone actuel I et du drone voisin K par rapport au drone de destination M comme suit :

$$a_k^M = \delta_{IM} - \delta_{KM}$$

Si a_k^M est positif, le drone voisin K permet de réduire la distance vers le drone destination M. Ensuite, GLSR détermine le meilleur chemin parmi les différents chemins disponibles. Pour cela, chaque nœud dispose de plusieurs files d'attente pour les paquets à envoyer. De plus, il y a une file d'attente pour chaque voisin. GLSR prend en compte le degré de remplissage de ces files d'attente pour déterminer le meilleur chemin. La métrique utilisée pour sélectionner le meilleur

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

voisin est appelée vitesse d'avance v_k^M d'un drone voisin K vers le drone destination M comme suit :

$$v_k^M = \frac{a_k^M}{Q_{1K}.size+1}$$

Où Q_{1K} est la taille de la file d'attente UAV K voisine utilisant la planification de liaison à accès multiple par répartition dans le temps auto-organisée (STDMA). Cela favorise les nœuds qui ont la vitesse d'avance la plus élevée et le délai de mise en file d'attente le plus faible à sélectionner pour livrer les paquets de données vers l'UAV M de destination [11].

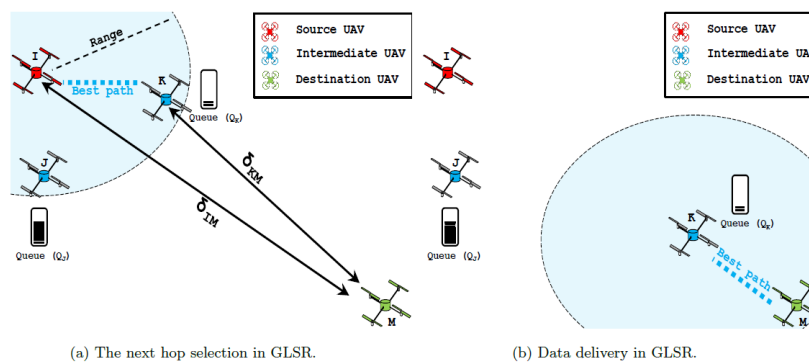


Figure 17: fonctionnement du protocole le GLSR

5. Protocoles de routage de réseau à tolérance de retard (DTN - Delay tolerant network routing protocols)

Ces approches sont destinées à traiter les problématiques techniques des réseaux souffrant de déconnexions récurrentes comme les FANET du fait du haut degré de mobilité des nœuds. Il en résulte une distorsion des chemins de routage de bout en bout construits progressivement vers la destination cible. Dans la plupart des cas, cette catégorie de protocoles utilise la technique de stockage-carry-and-forward lorsqu'ils perdent la connectivité avec d'autres nœuds afin de transmettre des paquets de données vers la destination cible. Cette technique bien connue permet aux nœuds de stocker des paquets de données sur une certaine distance jusqu'à ce qu'ils rencontrent d'autres nœuds, et de transmettre les paquets en fonction de certaines métriques aux nœuds voisins. Cette technique diminue significativement la surcharge puisqu'elle n'utilise aucun paquet de contrôle supplémentaire. Cependant, cela augmente le délai de transmission puisque les paquets de données sont transités en fonction des mouvements des nœuds. Certains protocoles sont présentés dans cette section.

5.1. LAROD (Location Aware Routing for Opportunistic Delay Tolerant)

LAROD est un protocole de routage géographique tolérant au délai basé sur la combinaison des techniques de stockage et de transfert et de transfert glouton en fonction de la situation du réseau. De plus, une stratégie sans balise est utilisée, ce qui réduit considérablement les frais généraux grâce à la gestion du réseau.

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

Pour LAROD lorsqu'un drone source S veut envoyer un paquet de données vers un drone destination D, il le diffuse vers les nœuds voisins. Lorsqu'il est reçu par chacun, les nœuds intermédiaires lancent un temporisateur. Le meilleur nœud de transfert, qui est le premier dont le temporisateur a expiré, transmet le paquet de données de la même manière. L'UAV source S entendra cette transmission et en déduira que le transitaire a bien reçu le paquet de données et l'a diffusé. Si aucune transmission n'est entendue, l'UAV S diffuse périodiquement le paquet de données jusqu'à ce qu'un nœud devienne disponible. Cependant, si le réseau est peu connecté, l'UAV actuel (c'est-à-dire le gardien) utilise la technique de stockage et de transfert en conservant le paquet de données jusqu'à ce qu'il rencontre d'autres UAV à proximité. Dans ce cas, il utilise le transfert glouton pour reprendre la livraison du paquet de données jusqu'à ce qu'il atteigne l'UAV D de destination. Lorsque le paquet de données est reçu avec succès par l'UAV D, un accusé de réception (ACK) est renvoyé à la source [12].

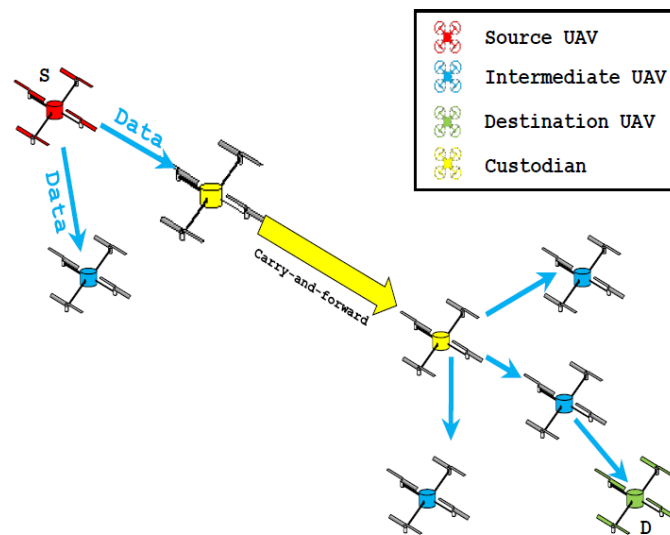


Figure 18: mode de livraison de paquets de données pour le protocole LAROD

5.2. AeroRP (Aeronautical Routing Protocol)

AeroRP est un protocole de routage géographique tolérant au retard conçu pour les réseaux aéronautiques constitués de véhicules aériens rapides (Aircraft). La première phase de la fonctionnalité d'AeroRP consiste à détecter les nœuds voisins en interceptant leurs positions et leurs vitesses. Ces informations sont mises à jour par l'échange périodique de paquets Hello. Sur la base de la table des voisins, chaque nœud calcule pour ses voisins une métrique appelée Time to Intercept (TTI) qui est utilisée pour sélectionner le prochain nœud de transfert. TTI indique quand un voisin potentiel sera dans la portée de communication du nœud actuel. Le TTI est calculé selon la formule suivante :

$$TTI = \frac{\Delta d - R}{S_d}$$

Où R est la portée de transmission de chaque voisin. Δd est la distance entre le voisin spécifique et la destination cible. S_d est la vitesse du voisin spécifique dans lequel il se déplace vers la destination cible.

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

La clé de voûte d'AeroRP est que lorsqu'un véhicule aéroporté source S a un paquet de données à envoyer à la destination D, il doit sélectionner le prochain transitaire ou gardien le plus rapide parmi ses nœuds voisins (C-G-F) se déplaçant vers D. S calcule son propre TTI et ceux de (C-G-F). Le nœud voisin qui a obtenu le TTI le plus bas est sélectionné pour contenir le paquet de données. Cependant, si S obtient le TTI le plus bas de D ou si tous les nœuds s'éloignent, S continue de conserver le paquet de données. Dans la figure suivante, G obtient le TTI le plus bas et il sera sélectionné pour contenir le paquet de données [13].

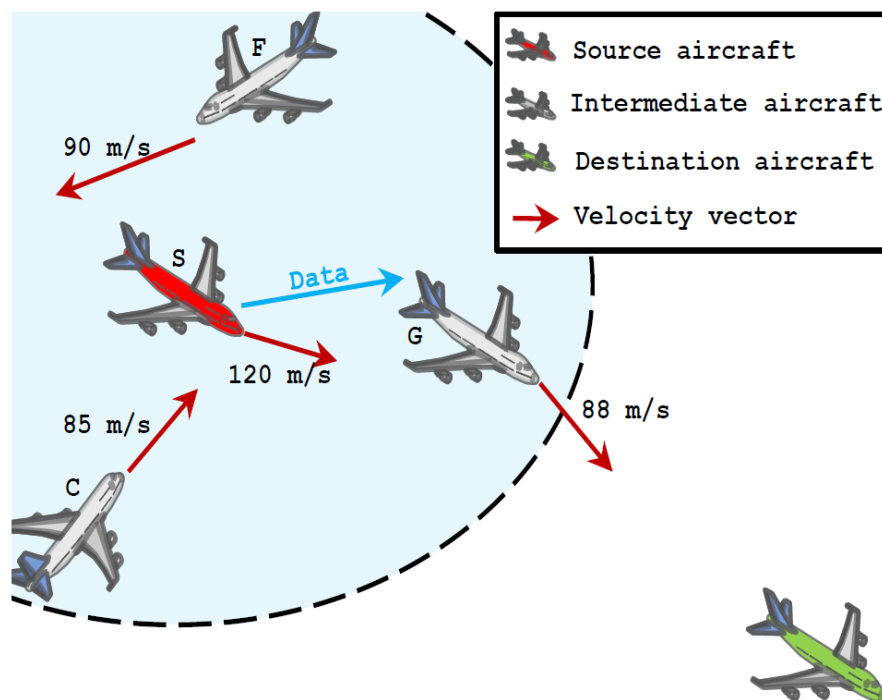


Figure 19: fonctionnement du protocole AeroRP

5.3. GRAA (Geographic Routing protocol for Aircraft Ad hoc Network)

GRAA est un protocole de routage géographique basé sur GPSR. La décision de routage est prise localement à chaque nœud intermédiaire. Pour déterminer le saut suivant, chaque nœud prend en compte la position et la vitesse de ses voisins et la destination. Initialement, le nœud courant calcule la position estimée de la destination après une période de temps t sur la base de sa position et de sa vitesse courantes. Ensuite, il calcule la position estimée de tous ses voisins, selon un même temps t . Le nœud avec la position estimée la plus proche de celle de la destination après le temps t est sélectionné pour le saut suivant. la figure suivante montre un scénario où le nœud source UAV S sélectionne le saut suivant en fonction de la position prédite de ses voisins (UAV J et UAV K) et le nœud destination UAV D estimé après un temps t . Nous voyons clairement que la position prédite du nœud voisin J sera plus proche que le voisin K du drone de destination D après le temps t . Par conséquent, le nœud UAV J sera sélectionné comme prochain saut pour livrer le paquet de données à l'UAV de destination D. Cependant, lorsque le réseau est peu connecté et qu'il n'y a pas de nœuds voisins, l'UAV S continue de conserver le paquet jusqu'à la destination cible. D [14].

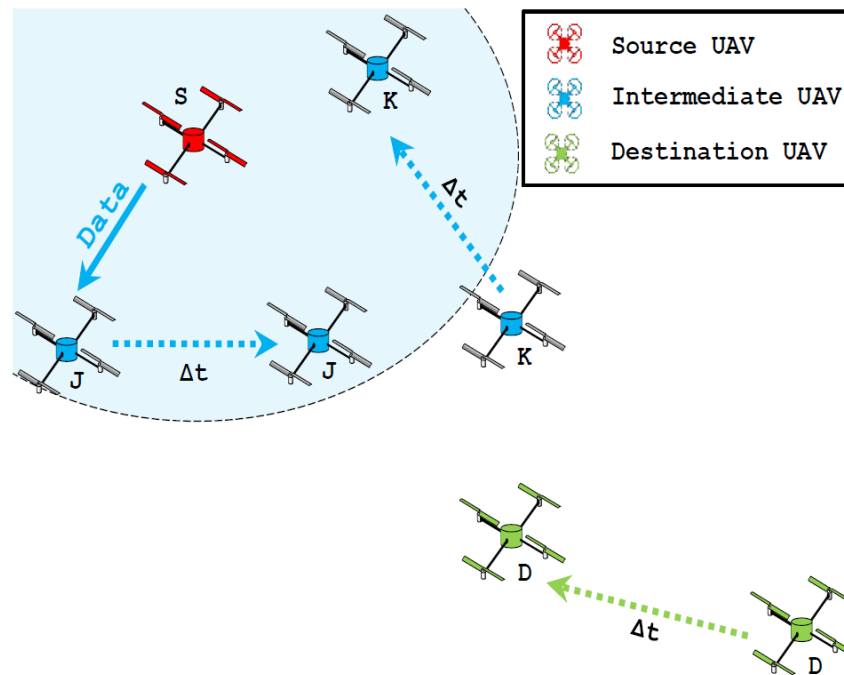


Figure 20: La sélection next-hop du GRAA

6. Routage hétérogène

Comme leurs noms l'indiquent, ces protocoles FANET maintiennent l'interaction entre les drones et différents types de nœuds au sol, que les nœuds soient fixes ou mobiles. De nombreux avantages sont apportés 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 dorsal fiable et une bande passante plus élevée pour permettre la maintenance et mieux contrôler ces nœuds. Différentes applications peuvent être distinguées selon que les informations sont partagées entre les nœuds et le but de l'échange de données. Par exemple, dans les VANET, les nœuds au sol peuvent être assistés par des drones pour améliorer la robustesse et la fiabilité de la livraison des données. De plus, les UAV peuvent être utilisés en équipe pour accomplir certaines tâches (comme mentionné précédemment) ou être utilisés comme capteurs pour différentes applications. Quelques protocoles sont présentés ici.

6.1. CRUV(Connectivity-based Traffic Density Aware Routing using UAVs for VANETs)

Est un protocole tolérant aux délais basé sur l'échange périodique de paquets Hello entre véhicules. Cet échange permet aux véhicules au sol de calculer le segment le plus connecté parmi leurs segments voisins. Ensuite, les informations de connectivité sur leurs segments voisins seront partagées avec les drones existants, afin d'avoir une vision globale de tous les segments environnants. Les UAV échangent ces informations avec tous les véhicules situés à chaque intersection, ce qui leur permet de prendre une décision d'itinéraire efficace lorsqu'il y a des paquets de données à livrer. De plus, les UAV peuvent être sélectionnés comme nœuds de transfert dans le cas où le réseau est peu connecté. la figure suivante montre un scénario lorsqu'un véhicule source souhaite envoyer un paquet de données au véhicule de destination en fonction des drones dans le

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

ciel. Le véhicule source sélectionne UAV pour livrer le paquet de données là où il y a un segment connecté. Le drone vérifie s'il y a un segment connecté autour, si oui, ce segment sera sélectionné pour délivrer le paquet de données. Sinon, le paquet de données sera envoyé directement à la destination cible s'il se trouve dans la portée de transmission du drone. Si le nœud actuel n'est pas situé sur une intersection, CRUV essaie d'abord d'obtenir l'intersection la plus proche afin de commencer à calculer les scores des différents segments autour. S'il y a au moins un segment connecté, il sera sélectionné pour transmettre le paquet de données. Sinon, le drone le plus proche à portée sera sélectionné pour transmettre le paquet de données à la destination cible. Dans le cas où aucun transitaire n'est trouvé, le nœud courant va transporter le paquet jusqu'à ce qu'un éventuel voisin soit trouvé afin de lui soumettre le paquet de données transporté [15].

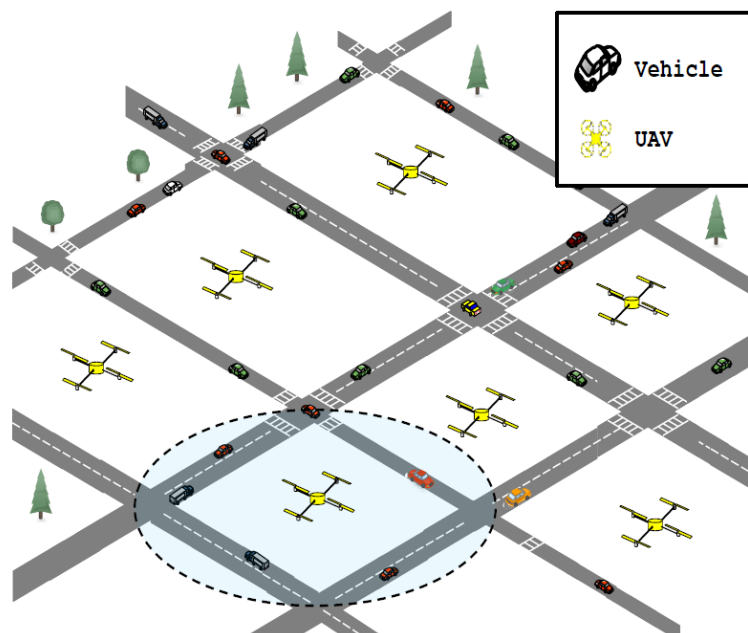


Figure 21: mode de fonctionnement du protocole CRUV.

6.2. P-OLSR(Predictive-Optimized Link-State Routing)

P-OLSR est une nouvelle variante du protocole OLSR pour la prédiction de la qualité de la liaison basée sur les informations GPS pour les FANET. En effet, la version originale d'OLSR est modifiée pour partager les positions géographiques à travers les paquets Hello. En conséquence, chaque nœud connaît la position de ses voisins, ce qui permet de calculer la métrique du nombre de transmissions attendues (ETX) par un facteur qui prend en considération la vitesse relative entre les UAV. ETX peut être calculé comme suit :

$$ETX^{i,j} = \frac{e^{v_l^{i,j}\beta}}{r^f \times r^r}$$

Où β est un paramètre non négatif et $v_l^{i,j,\beta}$ est la vitesse relative entre le nœud i et j . $v_l^{i,j,\beta}$ devient négatif lorsque les UAV i et j se rapprochent l'un de l'autre, et par conséquent, l'ETX sera pondéré par un facteur inférieur à 1. Cependant, si les UAV i et j s'éloignent l'un de l'autre, la vitesse relative est positive, donc le ETX sera pondéré par un facteur supérieur à 1. Par conséquent, un lien entre deux nœuds qui se rapprochent est plus adéquat qu'un lien entre deux drones qui

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

s'éloignent l'un de l'autre, même s'ils ont les mêmes valeurs de r^f et r^r . La meilleure valeur de β dépend de la vitesse de croisière des drones de l'extension de couverture de liaison [16].

0										1										2										3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Reserved										Htime										Willingness																			
Non-link-specific quality data																																							
Link Code										Reserved										Link Message Size																			
Neighbor interface address																																							
Neighbor-specific link-quality data																																							
Neighbor interface address																																							
Neighbor-specific link-quality data																																							
...																																							
Neighbor interface address																																							
Neighbor-specific link-quality data																																							
Neighbor interface address																																							
Neighbor-specific link-quality data																																							
...																																							

Figure 22:Format du paquet Hello modifié du protocole Predictive-OLSR

6.3. Cross-layer Link quality and Geographical-aware beaconless opportunistic routing protocol (XLinGo)

Xlingo améliore la transmission de plusieurs flux vidéo simultanés sur FANET en créant et en maintenant des routes multi-sauts persistantes fiables. Afin de gérer les fréquentes pannes de liaison et la mobilité du nœud, XLinGo combine un ensemble de paramètres humains et inter-couches pour les décisions de routage, tels que l'énergie résiduelle, la longueur de la file d'attente, les emplacements géographiques, la qualité de la liaison et le taux de livraison des paquets. Le concept de Dynamic Forwarding Delay (DFD) est adopté par XLinGo pour sélectionner le prochain transitaire. En effet, lorsque le nœud source diffuse un paquet de données, les relais suivants dans la zone d'acheminement calculent une valeur DFD basée uniquement sur les informations de localisation du nœud courant. Par conséquent, le nœud le plus proche de la destination cible génère le DFD le plus court et transmet le paquet en premier.

A titre d'illustration, nous prenons l'exemple de la figure suivante. Lorsqu'un drone source S veut transmettre un flux vidéo vers un mobile ou un nœud fixe D où sa localisation est connue, il inclut sa propre localisation et celle de la destination dans l'en-tête du paquet et le diffuse à tous ses voisins. Une fois que le paquet sera reçu par les voisins du S, XLinGo doit sélectionner un seul UAV pour transmettre le paquet reçu. Ceci est accompli de manière distribuée par les voisins en calculant différents paramètres tels que DFD, l'énergie nécessaire pour déplacer et transmettre des paquets, et également en limitant la zone (appelée zone de transmission) dans laquelle les drones sont autorisés à transmettre le paquet. Selon les positions géographiques incluses dans l'en-tête du paquet, deux zones d'acheminement peuvent être établies : (i) PPA (Positive Progress Area) et (ii)

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

NPA (Negative Progress Area), qui définit les voisins les plus proches et ceux éloignés de la destination D, respectivement. Chaque voisin au sein du NPA doit abandonner le paquet reçu puisque les nœuds au sein du PPA sont considérés comme les plus adéquats pour être les relais. Dans notre cas, l'UAV E obtient la plus petite valeur DFD et met à jour les informations de localisation de l'UAV S incluses dans l'en-tête du paquet avec sa propre localisation et l'algorithme continue jusqu'à ce que le paquet atteigne l'UAV D. Un accusé de réception est renvoyé à S par E dans afin d'envoyer en monodiffusion les paquets suivants.

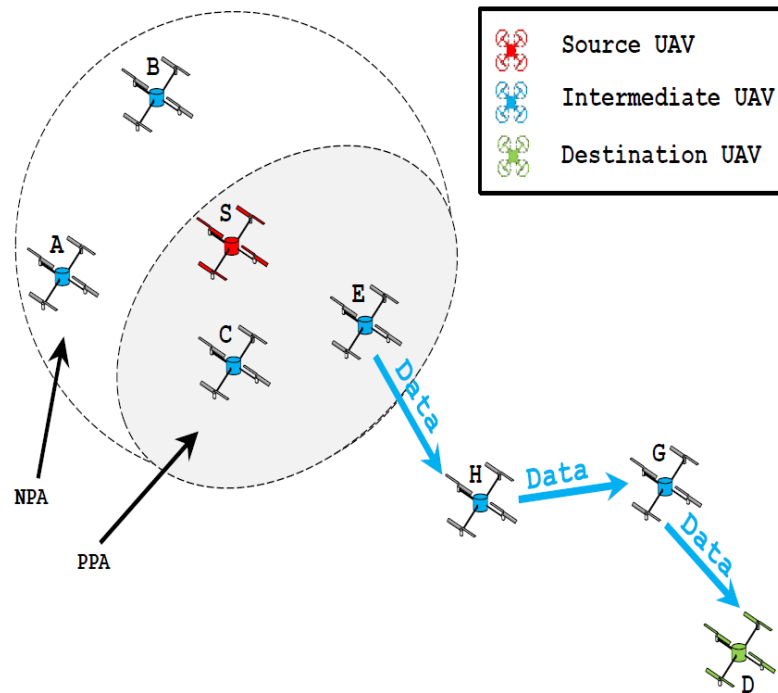


Figure 23: Fonctionnement du protocole XlinGO

Chapitre 2 : Routage Géographique dans les Réseaux Fanet

7. Conclusion

Les protocoles de routage diffèrent les uns des autres par la prise en compte de paramètres spécifiques. Comme indiqué ci-dessus, les protocoles de routage FANET sont classés en fonction des stratégies de livraison utilisées. De plus, tous les protocoles de routage passés en revue supposent l'utilisation du GPS pour définir les positions géographiques des nœuds. Le service de localisation est censé être utilisé par la majorité des protocoles de routage pour calculer la position de chaque nœud du réseau, en particulier les nœuds de destination. Pour la connaissance des nœuds voisins (c'est-à-dire position, vitesse, trajectoire, etc.), des tables de voisins sont maintenues et mises à jour périodiquement notamment par les protocoles utilisant une technique de prédiction. Il est connu, dans certains cas, des nœuds FANET peuvent communiquer avec des infrastructures au sol afin d'obtenir ou de transmettre certaines informations, ce qui est appliqué par des protocoles hétérogènes. Certains protocoles supposent avoir une vision globale de la région, ce qui permet aux protocoles de routage d'éviter certaines contraintes comme les obstructions qui empêchent les communications directes entre les nœuds.

Chapitre3 :

**Analyse des Performances des
Protocoles de Routage
géographique pour les Réseaux
FANETs**

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANETs

1. Introduction

Ce chapitre une vue d'ensemble sur la simulation de réseau et les simulateurs de réseau, le simulateur OMNET++, les paramètres de simulation et les métriques, et enfin il discute des résultats de comparaison de deux différents protocoles.

2. Simulateur OMNET++

OMNET++ est une bibliothèque et un framework de simulation C++ extensible, modulaire et basé sur des composants, principalement pour construire des simulateurs de réseau. « Réseau » est entendu dans un sens plus large qui inclut les réseaux câblés et sans fil. Réseaux de communication, réseaux sur puce, réseaux de file d'attente, etc. Fonctionnalités spécifiques au domaine telles que prise en charge des réseaux de capteurs, des réseaux ad hoc sans fil, des protocoles Internet, de la modélisation des performances, des photoniques réseaux, etc., est fourni par des cadres modèles, développés en tant que projets indépendants. OMNeT++ offre un IDE basé sur Eclipse, un environnement d'exécution graphique et une foule d'autres outils. Il existe des extensions pour le temps réel simulation, émulation de réseau, intégration de base de données, intégration System C et plusieurs autres fonctions. OMNeT++ est distribué sous licence publique académique.

OMNeT++ fournit une architecture de composants pour les modèles. Les composants (modules) sont programmés en C++, puis assemblés en composants et modèles plus grands à l'aide d'un langage de haut niveau (NED). La réutilisation des modèles est gratuite. OMNeT++ dispose d'un support GUI étendu et, grâce à son architecture modulaire, le noyau de simulation (et les modèles) peuvent être facilement intégrés dans vos applications.

- **Composants :**

Les principaux ingrédients d'OMNeT++ sont :

- Bibliothèque du noyau de simulation (C++).
- Le langage de description de la topologie NED.
- IDE de simulation basé sur la plateforme Eclipse.
- Interface graphique d'exécution de simulation interactive (Qtenv).
- Interface en ligne de commande pour l'exécution de la simulation (Cmdenv).
- Utilitaires (outil de création de makefile, etc.).
- Documentation, exemples de simulations, etc.

- **Des modèles**

Au cours des années où OMNeT++ a été disponible, d'innombrables modèles de simulation et cadres de modèles ont été écrites pour lui par des chercheurs dans divers domaines : files

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANETs

d'attente, modélisation des ressources, protocoles Internet, réseaux sans fil, réseaux locaux commutés, réseaux peer-to-peer, diffusion multimédia en continu, réseaux ad hoc mobiles, réseaux maillés, capteur sans fil, réseaux véhiculaires, NoC, réseaux optiques, systèmes HPC, cloud computing, SAN, etc. La plupart de ces cadres de modèle sont open source, développés en tant que projets indépendants et suivent leurs propres cycles de publication.

- **Plateformes**

Le noyau de simulation OMNeT++ est en C++ standard et fonctionne essentiellement sur toutes les plates-formes où un C++ moderne compilateur est disponible. L'IDE de simulation nécessite Windows, Linux ou macOS.

3. INET FRAMEWORK

INET Framework est une bibliothèque de modèles open source pour l'environnement de simulation OMNeT++. Il offre protocoles, agents et autres modèles pour les chercheurs et les étudiants travaillant avec des réseaux de communication. INET est particulièrement utile lors de la conception et de la validation de nouveaux protocoles ou de l'exploration de scénarios nouveaux ou exotiques.

INET contient des modèles pour la pile Internet (TCP, UDP, IPv4, IPv6, OSPF, BGP, etc.), filaire et sans fil protocoles de couche de liaison (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.), prise en charge de la mobilité, protocoles MANET, DiffServ, MPLS avec la signalisation LDP et RSVP-TE, plusieurs modèles d'application et de nombreux autres protocoles et composants.

Plusieurs autres cadres de simulation prennent INET comme base et l'étendent dans des directions spécifiques, telles que réseaux véhiculaires, réseaux superposés/peer-to-peer ou LTE.

Conçu pour l'expérimentation :

INET est construit autour du concept de modules qui communiquent par passage de messages. Les agents et les protocoles réseau sont représentés par des composants, qui peuvent être librement combinés pour former des hôtes, des routeurs, des commutateurs et d'autres périphériques réseau. De nouveaux composants peuvent être programmés par l'utilisateur et les composants existants ont été écrits de manière à être faciles à comprendre et à modifier.

INET bénéficie de l'infrastructure fournie par OMNeT++. Au-delà de l'utilisation des services fournis par le noyau et la bibliothèque de simulation OMNeT++ (modèle de composants, paramétrage, enregistrement des résultats, etc.), cela signifie également que les modèles peuvent être développés, assemblés, paramétrés, exécutés et leurs résultats évalués dans le confort de l'IDE de simulation OMNeT++ ou depuis la ligne de commande.

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANETs

Certaines fonctionnalités:

- Couches OSI implémentées (physique, couche liaison, réseau, transport, application) ;
- Implémentations de protocole enfichables pour différentes couches ;
- Pile réseau IPv4/IPv6 (ou créez votre propre couche réseau) ;
- Protocoles de la couche transport : TCP, UDP, SCTP ;
- Protocoles de routage (ad-hoc et câblé) ;
- Interfaces filaires/sans fil (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.) ;
- Couche physique avec niveau de détail évolutif (radio disque unitaire vers modèles de propagation détaillés, représentation niveau trame vers niveau bit/symbole, etc.) ;
- Large gamme de modèles d'application ;
- Prise en charge de l'émulation réseau ;
- Aide à la mobilité ;
- Prend en charge la modélisation de l'environnement physique (obstacles à la propagation radio, etc.) ;
- Séparation des préoccupations ;
- Prise en charge de la visualisation.

4. Description des protocoles GPSR et DSDV

4.1. Le protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless routing protocol)

4.1.2. Principe

GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) est un protocole de routage réactif et efficace qui a été conçu et adapté pour les réseaux ad hoc mobiles et les réseaux de capteurs. Son modèle de fonctionnement suppose que tous les nœuds se trouvent au niveau d'un même plan. Du fait de la mobilité des nœuds, certains algorithmes de routage qui se basent sur la topologie du réseau, ou lance une phase de découverte de routes pour acheminer des données ne sont pas adaptés à GPSR. De ce fait, il utilise la position géographique des nœuds pour l'acheminement des paquets de données ou de contrôle.

Dans un réseau mobile, les nœuds sont susceptibles de se déplacer. Il faut ainsi un mécanisme permettant à chaque nœud de savoir la position de ses voisins. Afin de signaler leur présence et leur localisation, les nœuds inondent le réseau en envoyant un paquet de signalement (messages « beacon ») contenant la position et un identifiant (par exemple, son adresse IP). Nous proposons d'utiliser les messages « beacon » de contrôle pour renseigner les nœuds voisins sur les directions que peuvent assumer un nœud.

L'échange périodique de ces paquets de contrôle permet aux nœuds de construire leur table de position. La période d'émission des messages « beacon » dépend du taux de mobilité dans le réseau ainsi que de la portée radio des nœuds. En effet, lorsqu'un nœud ne reçoit pas de message « beacon » d'un voisin après un temps T , il considère que le voisin en question n'est plus dans sa zone de couverture et l'efface de sa table de position. Il faut donc adapter le temps d'émission des paquets de contrôle. Un des avantages du BP (Beaconing Protocol) est

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANETs

que chaque nœud n'a besoin que des informations sur ses voisins directs, ce qui nécessite peu de mémoire.

Alternativement, le protocole GPSR permet au nœud d'encapsuler sur quelques bits leur position dans les paquets de données qu'il envoie. Dans ce cas, toutes les interfaces des nœuds doivent être en mode promiscuité afin de recevoir les paquets s'ils se trouvent dans la zone de couverture de l'émetteur.

4.1.3. Fonctionnement du protocole

L'acheminement des paquets par GPSR se fait selon deux modes suivant la densité du réseau : le « Greedy Forwarding » et le « Perimeter Forwarding » (appelés respectivement GF et PF dans la suite).

Greedy Forwarding :

Le GF construit un chemin parcourant les nœuds de la source à la destination où chaque nœud qui reçoit un paquet l'achemine en faisant un saut vers le nœud intermédiaire le plus proche de la destination dans sa zone de couverture. La figure 24 montre un exemple de ce mode d'acheminement.

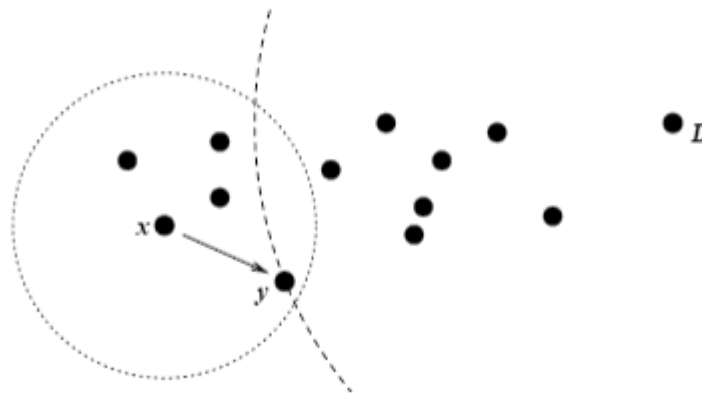


Figure 24: y est le voisin de x le plus proche de la destination D

Cet algorithme d'acheminement offre un taux de réussite assez proche des réseaux filaires dans le cas où la mobilité de la destination n'est très forte. Lorsqu'un paquet de données atteint une région où le GF échoue, alors le PF est utilisé.

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANET's

✚ Perimeter Forwarding

Cet algorithme utilise la règle de la main droite qui est définie comme suit : Lorsqu'un paquet arrive à un nœud x du nœud y , le chemin à suivre est le prochain qui se trouve dans le sens inverse des aiguilles d'une montre en partant de x et par rapport au segment $[xy]$ tout en évitant les « crossing links » (route déjà parcourue). La figure 25 montre un exemple plus précis de ce mode.

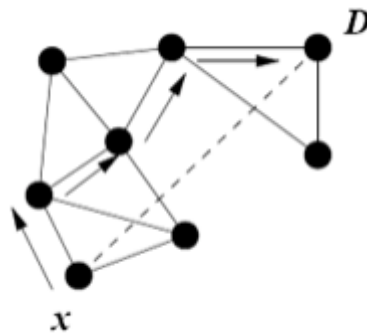


Figure 25: Passage au mode PR

Gabriel Graph

Pour augmenter le taux de réussite d'acheminement des paquets, GPSR utilise les deux algorithmes en fonction de la densité locale du réseau. Chaque nœud construit un graphe du réseau lui permettant de diminuer les possibilités de routage. Ce graphe, le Gabriel Graph (GG) permet de représenter le réseau avec moins de nœuds pour éviter les « crossing links ». Le GG est un ensemble des nœuds $\{W_i, W_{i+1}, \dots, W_{i+n}\}$ tel qu'il existe aucun nœud dans la portion de disque de rayon d (W_i, W_{i+1}) à portée des deux nœuds concernés, avec W_{i+1} étant nœud le plus éloigné dans la zone de couverture de W_i .

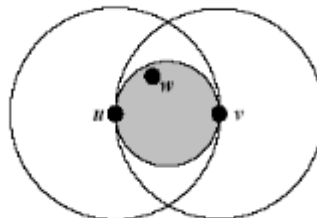


Figure 26: Pour que $\{u,v\} \in GG$, il faut qu'il n'existe aucun nœud dans le disque

Ces éliminations n'introduisent pas de déconnexions dans le cas de réseaux uniformes.

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANETs

Exemple de scénario :

Ce protocole détermine la route à suivre en minimisant les distances entre les noeuds et la destination (c'est le mode Greedy Forwarding), mais un second mécanisme est mis en oeuvre en cas de blocage (c'est le mode Perimeter). Dans ce cas, le noeud n'ayant pas de voisin plus proche (en distance) que lui de la destination passe le relais à ses voisins qui eux peuvent avoir un voisin plus proche de la destination (en distance). Sur la **Figure 27**, le noeud B utilise le mode Perimeter car il n'a pas de voisin plus proche en distance de la destination finale G, ce qui permet de trouver une route passant par le noeud C qui, lui, peut à nouveau utiliser le mode Greedy Forwarding ayant un voisin plus proche de G (en l'occurrence D).

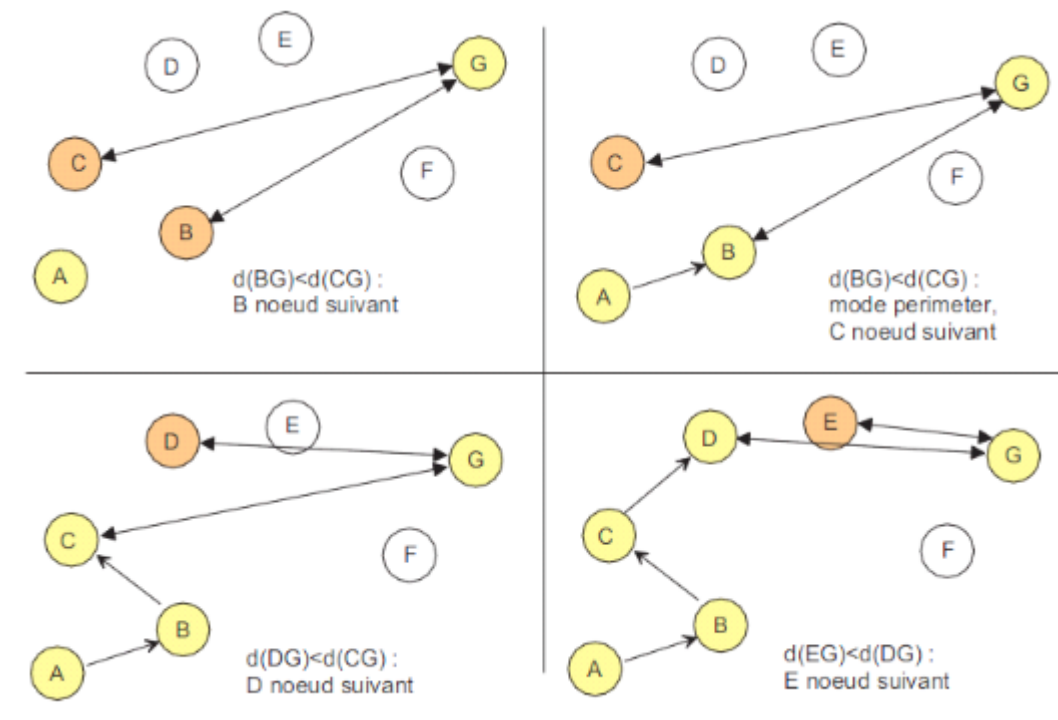


Figure27 : Exemple de scénario

4.2. Le protocole DSDV (Dynamic destination Sequenced Distance Vector)

4.2.1. Définition

Est un protocole proactif, uniforme et orienté destination. Chaque nœud possède en permanence dans sa table de routage le chemin le plus récent découvert vers chaque nœud du réseau. Parmi plusieurs chemins possibles, DSDV privilégie le chemin le plus court. Chaque nœud maintient une table de routage dont les entrées mémorisent pour une destination :

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANETs

- L'identifiant du prochain nœud vers cette destination.
- Le nombre de nœud jusqu'à cette destination (la distance).
- Le plus grand numéro de séquence reçu pour cette destination.

4.2.2. Fonctionnement du protocole

Périodiquement chaque nœud dans le réseau diffuse par inondation un paquet de mise à jour des tables de routage qui inclue les destinations accessibles et le nombre de sauts exigés pour atteindre chaque destination avec le numéro de séquence lié à chaque route. Des paquets de mise à jour sont aussi diffusés immédiatement s'il y a un changement dans la topologie du réseau afin de propager les informations de routage aussi rapidement que possible. A la réception d'un paquet de mise à jour, chaque nœud le compare avec les informations existantes dans sa table de routage. Les routes les plus récentes (qui ont le plus grand numéro de séquence) avec la distance la plus courte sont gardées, les autres sont simplement ignorées. DSDV fournit à tout moment des routes valables vers toutes les destinations du réseau, mais l'inondation des paquets de mise à jour (périodique et en cas de changement de topologie) cause une charge de contrôle importante au réseau.

5. Métriques de la simulation

Les métriques de performance analysées que nous avons choisies pour faire une évaluation de performance pour les protocoles de routage qui ont été inclus dans cette étude sont :

- ✚ **Packet Delivery Ratio (PDR)** : le nombre de paquets qui ont été livrés avec succès à destination. Le rapport entre le nombre de colis provenant des sources CBR «application layer» et le nombre de colis reçus par le puits CBR à la destination finale,

$$\text{PDR} = \frac{\sum \text{Number of packets received}}{\sum \text{number of packets sent}}$$

- ✚ **End-To-End Delay EED** : il est défini comme le temps mis par le paquet pour atteindre la destination. C'est un terme courant dans la surveillance de réseau IP, et diffère du temps d'aller-retour (RTT) en ce que seul le chemin dans une direction de la source à la destination est mesuré.
- ✚ **Consommation d'énergie** : (Energy Balance) c'est une valeur négative qui représente la quantité d'énergie consommée.

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANETs

6. Etude de performances des deux protocoles

Pour notre travail, nous avons utilisé les paramètres de simulation et de configuration suivants :

Paramètres	Spécifications
Système d'exploitation	Windows 11
Le simulateur	OMNeT++ V 5.6.2
Type de modèle de mobilité :	Linear Mobility Circul Mobility
La dimension de la topologie	2000m * 2000m
La Vitesse	Entre(200m/s,300m/s ,400m/s)
Nœuds mobiles	5, 9, et 10

Tableau 1 : Régles des Paramètres de simulation.

Dans cette section, nous avons évalué le résultat des performances du simulateur OMNET ++ étudiées avec les protocoles de routage GPSR, DSDV et comparés en termes de taux de livraison de paquets, de délai moyen de bout en bout et de consommation d'énergie avec des différents modelés de mobilité.

6.1. Packet Delivery Ratio (PDR)

Les figures (27,28) montrent les résultats de PDR avec un nombre variable de nœuds et la vitesse dans le simulateur OMNeT. Ce sont les moyennes arithmétiques des résultats obtenus après avoir essayant dans les trois topologies réalisées en simulation OMNeT. Il a fourni un meilleur PDR pour le protocole de routage DSDV par rapport au protocole de routage GPSR sur les deux modèles de mobilité.

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANET's

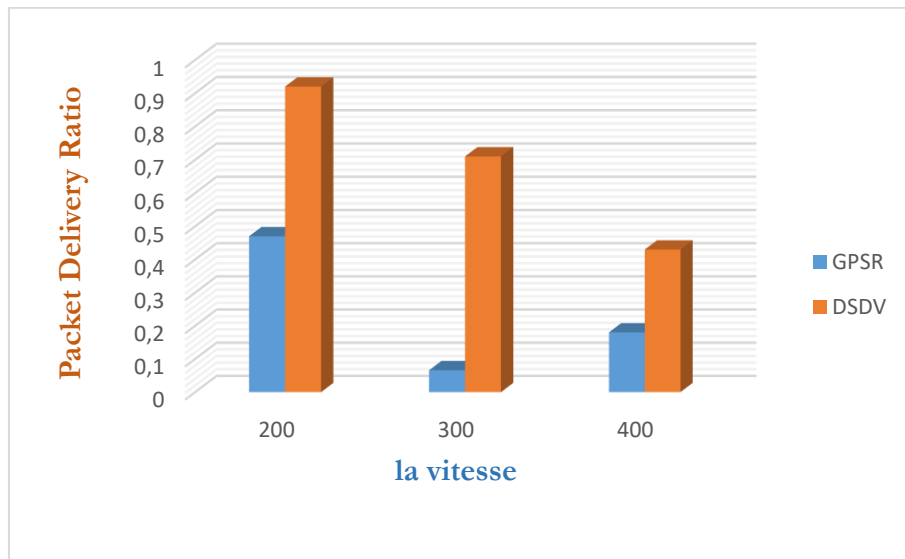


Figure 27:Packet Delivery Ratio vs. La vitesse (Linear Mobility)

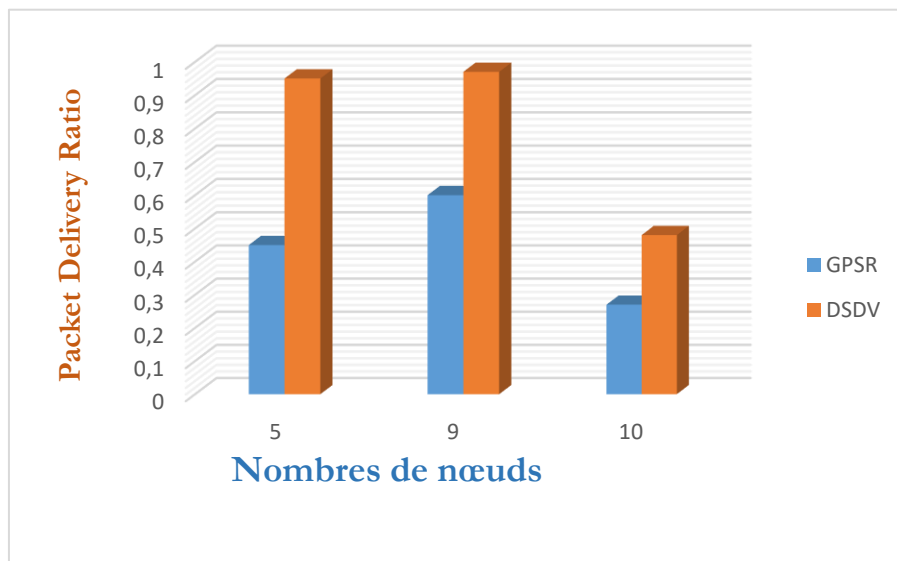


Figure 28:Packet Delivery Ratio vs. Nombres de nœuds (Circle Mobility).

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANET's

6.2. End-to-End Delay (EED)

Les figures (29 ,30) illustrent le EED par différent topologies, Il a fourni un meilleur EED pour le protocole de routage DSDV par rapport au protocole de routage GPSR sur les deux modèles de mobilité.

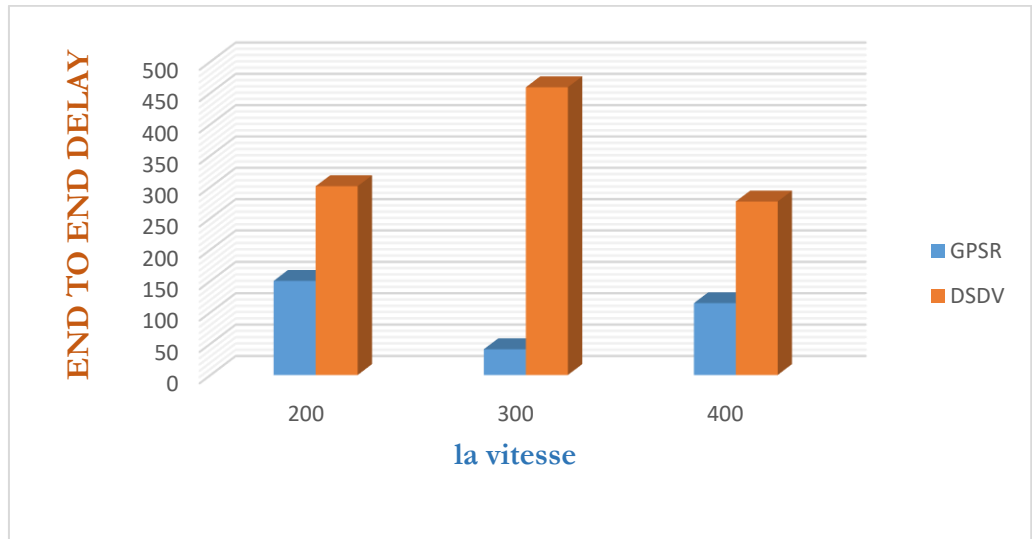


Figure 29:End-to-End Delay vs. La vitesse (Linear Mobility).

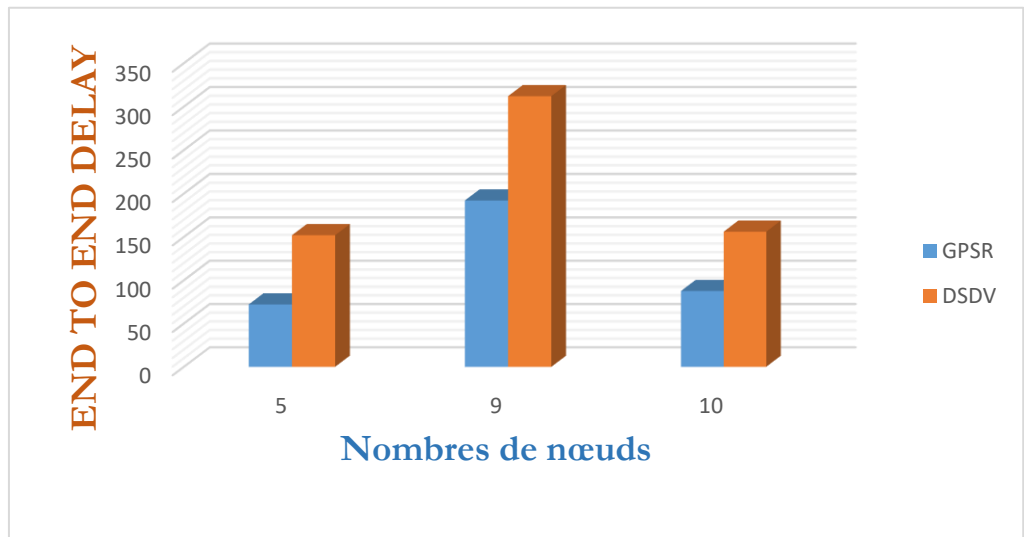


Figure 30:End-to-End Delay vs. Nombres de nœuds (Circle Mobility).

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANET's

6.3. Consommation d'énergie (Energie Balance)

D'après les figures (31,32), on peut observer qu'en général, la consommation d'énergie augmente à mesure que le nombre de nœuds et la vitesse augmente. En détails, on peut remarquer que GPSR dans le type mobilité circulaire donne meilleur résultat. Et le DSDV dans le type mobilité linière donne meilleur résultat.

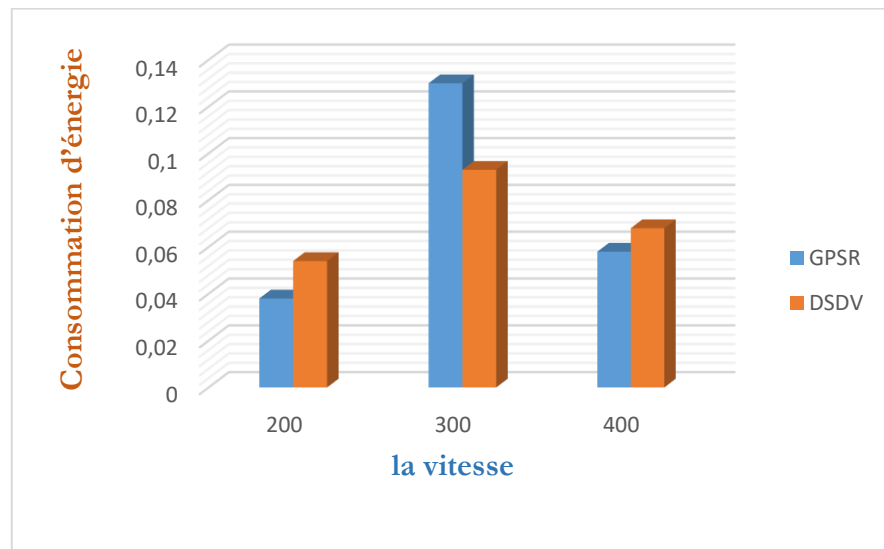


Figure 31: Consommation d'énergie vs. La vitesse (Linear Mobility).

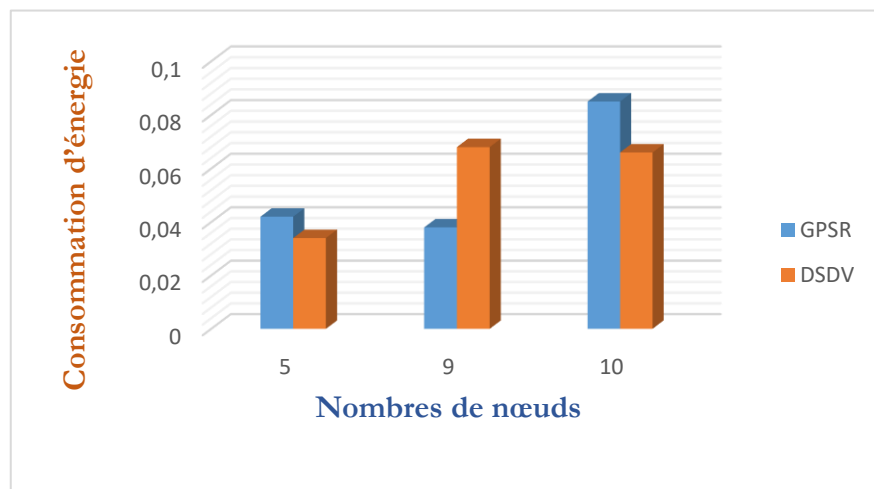


Figure 32: Consommation d'énergie vs. Nombres de nœuds (Circle Mobility).

Chapitre 3 : Analyse des Performances des Protocoles de Routage géographique pour les Réseaux FANETs

7. Conclusion

Dans ce travail actuel, nous avons présenté une performance de deux protocoles de routage, ces protocoles un proactif DSDV et l'autre géographique GPSR. Nous avons utilisé trois métriques qui sont le taux de livraison de paquets (Packet Delivery Ratio PDR), un délai de bout en bout (End-to-End Delay EED) et Consommation d'énergie (Energie Balance) avec différents scénarios pour évaluer la performance de chacun d'eux, individuellement, puis comparée les résultats entre eux. Dans le premier scénario, nous avons utilisé nombre des drones égal à cinq (5) mais dans le quatrième scénario en utilise neuf (9) et dans le cinquième scénario dix (10) drones, les deux protocoles mentionnés sont configurés dans chaque scénario afin de se comparer. Les modèles de mobilité (linear, circulaire) implémenté dans tous scénarios. Après collecte et analyse des résultats nous concluons que : malgré l'échange de mobilité speed qui égal (200 mps et 300 mps et 400mps) DSDV atteint toujours les meilleurs résultats, on peut conclure que DSDV accompli une bonne performance par rapport au GPSR dans toutes les métriques.

Conclusion général

Conclusion général

Au cours de ce mémoire, notre objectif est la comparaison des deux protocoles de routages, le protocole géographique GPSR et le protocole prédictif DSDV dans les réseaux FANET, après avoir définie les réseaux FANET, ainsi leur caractéristique, et d'écrit les types de UAV et les différences entre eux. Et l'architectures et technologie de communication.

Par la suite, on a présente les classes des protocoles de routage existants, le but de ces classes est d'essayer d'adapter aux contraintes imposées par les réseaux ad hoc, et cela par la proposition des méthodes qui soit moindre coût en ressources, et qui garantit la survivabilité du routage en cas de panne de liens ou de nœuds.

Durant ce travail on a concentré sur les deux protocoles qui nous intéressent, pour ceci on a d'écrit en d'détail les mécanismes et le principe de fonctionnement pour qu'ils assurent l'acheminement des données entre un nœud source et un nœud destination dans des différentes conditions pour chacun de ces protocoles.

Pour atteindre notre objectif on a utilisé le simulateur OMNeT++, qui nous présenter des bons résultats de la simulation, afin de comparer entre les deux protocoles dans trois scenarios proposes, et étudiées de performances dès les deux protocoles GPSR et DSDV, comparés en termes de taux de livraison de paquets, de délai moyen de bout en bout et de consommation d'énergie avec des différents modelés de mobilité.

Bibliographie

- [1] Chrik2i, T. S. (2019). FNAT communication, mobility and security issues. *computer Networks*.
- [2] (s.d.). :Chriki, A., Touati, H., Snoussi, H., &Kamoun, F. (2019). *FANET: Communication, Mobilitymodels and Security issues. Computer Networks*, .
- [3] El HoudaBahloul, N. B. (2018). AFlocking-Based on demandRouting protocol for unmannedAerialVehicles. *computer science and technology*.
- [4] IlkerBekmezi, O. S. (2013, january). Flaying Ad-hoc Network (FANET).
- [5] Khan, M. A. (2017). A survey communication architectures, and routing protocols. *first international conference on latest trends of electrical engineering and computing technologies (INTELLECT)*.
- [6] R. Shirani, M. S.-H. (2012). 'On the delay of reactive-greedy-reactive routing in unmanned aeronautical ad-hoc networks'. *Procedia Computer Science*.
- [7] K. Liu, J. Z. (2008). 'The clustering algorithm of UAV networking in near-space'. *(ISAPE)*.
- [8] M. Iordanakis, D. Y. (2006.). 'Ad-hoc routing protocol for aeronautical mobile ad-hoc networks'. *(CSNDSP)*.
- [9] L. Lin, Q. S. (2012). 'A novel geographic position mobility oriented routing strategy for UAVs'. *Journal of Computational Information Systems*.
- [10]L. Lin, Q. S. (2012). 'A geographic mobility prediction routing protocol for ad hoc UAV network'. *IEEE GlobecomWorkshops* .
- [11]D. Medina, F. H. (2012). 'A geographic routing strategy for north atlantic in flight internet access via airborne mesh networking'. *IEEE/ACM Transactions on Networking*.
- [12]E. Kuiper, S. N.-T. (2011). 'Geographical routing with location service in intermittently connected MANETs'. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.
- [13]K. Peters, A. J. (2011). 'A geographical routing protocol for highly-dynamic aeronautical networks'. *(WCNC)*.
- [14]S. Hyeon, K.-I. K. (2010). 'A new geographic routing protocol for aircraft ad hoc networks'. *IEEE Digital Avionics Systems Conference*.
- [15]O. S. Oubbati, A. L. (2015). *(ICCVE)*.
- [16]S. Rosati, K. K. (2013). Speed-aware routing for UAV ad-hoc networks'. *IEEE Globecom Workshops*.

Bibliographie
