



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Kasdi Merbah, Ouargla
Faculté des nouvelles technologies de l'information et de la communication
Département d'informatique et de technologie de l'information



En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Option : Administration et sécurité du réseau

**Etudes et simulation des protocoles de routages
dans les réseaux FANETs**

Présenté par : Belhadj Nour Elhouda et Chetioui Leila

La comitée du jury :

Dr. Kamel Benkaddour

Kasdi Merbah university of Ouargla

Président

Dr. Mohamed Benbeziane

Kasdi Merbah university of Ouargla

Encadreur

Dr. Abdessalem Messiaid

Kasdi Merbah university of Ouargla

Examineur

Année académique : 2022 – 2023



نتقدم بأسمى عبارات الشكر و الإمتنان و التقدير إلى من تعجز ألساننا عن إجاد العبارات المناسبة لشكره إلى من سدّد خطانا و أنار طريقنا إلى واهب الحياة إلى ربي العزة جلا جلاله.

لكل مبدع إنجاز ولكل شكر قصيدة ولكل مقام مقال ولكل نجاح شكر و تقدير فجزيل الشكر نهديكم و ربُّ العرش يحميكم.

إلى الأستاذ الفاضل و المحترم **محمد بن بزيان** الذي نتقدم له بالشكر الوافر و الإمتنان غير المنقطع و الذي لم يبخل علينا بتوجيهاته و نصائحه القيمة و الثمينة طوال مراحل إنجازنا لهذا العمل و كان له الفضل في توفير كل الإمكانيات و المساعدات التي نحتاجها و على كل مجهوداته في توفير كل الإحتياجات و الذي أعطانا من وقته الكثير و الكثير لإتمام هذا العمل و الذي تعلمنا منه الكثير من مبادئ العمل فجزاه الله خيرا و وفقه في رسالته إن شاء الله.

كما أتوجه بأعمق و أسمى عبارات الشكر و العرفان إلى كل أساتذتنا الكرام الذين لهم الفضل في وصولنا إلى هذا المستوى من معلمي الإبتدائي إلى أساتذة الجامعة.

و الشكر إلى كل من ساعدنا من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل من البداية إلى غاية الإنتهاء.

الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

"أشكر الله العلي القدير الذي هدانا لهذا الذي كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله"

صدق الله العظيم

الحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات اذا كان الاهداء يعبر و لو بجزء من الوفاء

اهدي ثمرة جهدي الى من هي في الحياة حياة اليك ينحني الحرف حبا و امتنان انتي الرضا و النور و طهر الحياة و سر نجاحي الى امي ثم امي ثم امي رعاها الله ...

الى من ضحى لنعيش و كافح لتعلم الى نبع العطاء و بلسم الشفاء ستبقى كلماتك نجوم اهتدي بها اليوم و في الغد و الى الابد الى الغالي ابي ادامه الله... الى الذين يطوفون في سمائي و يمنحوني النور الدفاء و السعادة في الحياة إخوتي حفظهم الله...

الى من تحلو بالإخاء وتميزوا بالوفاء الى الذين يتركون بنا اشياء سعيدة تجعلنا نبتسم حين تبدو الحياة كئيبة الى صديقاتي اصدقائي خاصة مريم رفيقة دربي وبسلم جروحي يا نعمة اعوذ بالله من زوالها و الى عائلتها الفاضلة.

الى اهلي واقاربي

الى من وسعهم قلبي ولم تسعهم اسطري وعبارات.....

بلحاج نور الهدى

الإهداء

في خطوة السلم الاهم لنا ... وفي لحظتنا الاخيرة ها أنا اليوم أرفع القبعه أحتراماً لسنين مضت من
الدراسه سهرنا فيها الليالي والايام لتحقيق حلم ثابرننا للوصول اليه وها أنا اليوم أهدي تخرجي
إلى من كان دعائها سر نجاحي الى من حفنتي بتراتيل دعواتها الطاهرة و علمتني الصمود مهما
تبدلت الظروف الى من سهرت الليالي معي إلى أعلى ما في الوجود... (أمي الغالية).
إلى خالد الذكر، الذي وفاته المنية ، وكان خير مثال لرب الأسرة، والذي لم يتهاون يوم في
توفير سبيل الخير والسعادة لي... (أبي الموقر).
إلى كبيرة المقام ذات السيرة العطرة... (جدتي الغالية).
إلى عزتي وعزي وملجأى بعد الله طاب بكم العمر وطبتم لي عمراً...
(إخوتي و أخواتي)
إلى من آثروني على أنفسهم الى الذين وقفوا بجاني وكانوا اول من يساندني والداعم الأول
لي... (خالاتي و اخوالي).
إلى يميني أذ نلصديقة المختلفة إنما أذ نللكنف أمان قلبي ونور عيني وطمأنينة
روحي... (صديقتي).
و إلى كل من ساعدني و وقفوا بجواري وساعدوني بكل ما يملكون معي شكراً من أعماق قلبي.

شتيوي ليلي

Résumé

Le présent mémoire porte sur les réseaux sans fil, en mettant particulièrement l'accent sur les protocoles de routage. Il propose une étude particulière du protocole AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) dans diverses circonstances, tout en tenant compte de l'ajout de bruit.

Dans un premier temps, une introduction générale aux réseaux sans fil est présentée, mettant en évidence leur importance croissante dans notre société connectée. Les réseaux sans fil offrent une flexibilité et une mobilité accrues, mais ils présentent également des défis spécifiques, notamment en matière de routage des données. Ensuite, les protocoles de routage sont abordés, car ils jouent un rôle crucial dans l'acheminement efficace des informations dans un réseau sans fil. Différentes approches sont examinées, notamment les protocoles réactifs, proactifs et hybrides, afin de comprendre les avantages et les inconvénients de chaque approche.

L'étude et l'analyse du protocole AODV dans différentes circonstances constituent le cœur du mémoire. L'ajout de bruit dans le réseau est considéré comme un facteur important à prendre en compte, car il peut avoir un impact significatif sur les performances du protocole. Les différentes circonstances comprennent des environnements avec une variable de nœuds.

Des expérimentations sont menées pour évaluer les performances de l'AODV dans chaque circonstance. Les mesures de performance incluent le délai de routage, le taux de perte de paquets et la consommation d'énergie. Les résultats obtenus sont ensuite analysés et comparés pour tirer des conclusions sur l'efficacité de l'AODV dans les différentes situations étudiées.

Mot clés : FANET, AODV, UAV, Protocole de routage et OMNET.

ملخص

تعالج هذه المذكرة على الشبكات اللاسلكية ، مع التركيز بشكل خاص على بروتوكولات النوجيه. أين قدمنا دراسة خاصة لبروتوكول AODV) نازل المسألة حسب الطلب(ني ظروف مختلطة ، مع مراعاة إضافة التشويش.

أوالاً ، نبدأ بتقديم مقدمة عامة عن الشبكات اللاسلكية ، إبراز أهميتها المتزايدة ني مجتمعنا المتصل. نونر الشبكات اللاسلكية مزيجاً من المرونة والنزول ، ولكنها تمثل أيضاً تحديات محددة ، ال سيما فيما يتعلق بتوجيه البيانات. بعد ذلك ، نبدأ بشبكات بروتوكولات النوجيه ، ألنها تلعب دوراً هاماً في النوجيه الفعال للمعلومات ني شبكة اللاسلكية. نتم مراجعة الأساليب المختلطة بما ني ذلك البروتوكولات المتعددة والمتكيفة والهجينة لهم إيجابيات وسلبيات كل نهج.

تشكل دراسة وتحليل بروتوكول AODV ني ظروف مختلطة جوهر الأطلوحة. نعتبر إضافة التشويش إلى الشبكة عاملاً هاماً لم يجب مراعاته ، حيث يمكن أن يكون لها تأثير كبير على أداء البروتوكول. تشمل الظروف المختلطة بيئات مع عدد متغير من الطائرات بدون طيار.

إجرائياً نتجارب لتقييم أداء AODV ني كل ظرف. نضمّن مؤاييس الأداء نأخير النوجيه ومعدل فقدان الحزمة واسنالك الطاقة. ثم يتم تحليل النتائج التي تم الحصول عليها ومقارنتها بالسبائل الصائجة حول نعالفة AODV ني المواضع المختلطة التي تمت دراستها.

الكلمات المفتاحية: AODV ، FANET ، طائرات بدون طيار ، بروتوكول النوجيه و OMNET.

Abstract

This memory focuses on wireless networks, with particular emphasis on routing protocols. It offers a particular study of the AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) protocol in various circumstances, while taking into account the addition of noise.

First, a general introduction to wireless networks is presented, highlighting their growing importance in our connected society. Wireless networks offer increased flexibility and mobility, but they also present specific challenges, especially in terms of data routing. Next, routing protocols are discussed, as they play a crucial role in the efficient routing of information in a wireless network. Different approaches are reviewed including reactive, proactive, and hybrid protocols to understand the pros and cons of each approach.

The study and analysis of the AODV protocol in different circumstances constitute the core of the thesis. Adding noise to the network is considered an important factor to consider, as it can have a significant impact on protocol performance. The different circumstances include environments with a variable of nodes.

Experiments are carried out to evaluate the performance of the AODV in each circumstance. Performance metrics include routing delay, packet loss rate, and power consumption. The results obtained are then analysed and compared to draw conclusions on the effectiveness of AODV in the different situations studied.

Keywords: FANET, AODV, UAV, Routing Protocol and OMNET.

Tableau des matières

Résumé	I
Tableau des matières	IV
Tableau des figures	VI
Liste des tableaux	VIII
Tableau des abréviations	X
Chapitre I : Introduction générale	
I.1. Introduction	01
I.2. Mobile ad hoc networks (MANET)	01
I.3. Vehicular ad hoc networks (VANET)	04
I.4. Flying ad hoc networks FANET	06
I.4.1 Les applications des réseaux FANET	
I.4.2 Les caractéristiques des réseaux FANET	
I.4.3 Les modèles de mobilité des réseaux FANET	
I.5. Problématique	10
I.6. Objectifs	11
I.7. Structure de mémoire	11
Chapitre II : Les protocoles de routage dans les FANETs	
II.1. Introduction	12
II.2. Modèles de réseau FANET	12
II.2.1 Protocoles de routage statique	
II.2.2 Protocoles de routage proactifs	
II.2.3 Protocoles de routage réactif	
II.2.4 Protocoles de routage hybride	
II.3. Problèmes ouverts et défis	17
II.4. Conclusion et perspectives	19
Chapitre III : Analyse expérimentale	
III.1. Simulateur de l'aspect comportemental (OMNet++)	20
III.2. Environnement de simulation	28
III.3. Métriques de la simulation	29
III.4. Résultats et discussion	31
Conclusion générale	41
Références bibliographiques	42

Liste des figures

Figure 01 : MANET architecture.	02
Figure 02 : VANET architecture.	04
Figure 03 : FANET architecture.	06
Figure 04 : Applications réseau FANET.	09
Figure 05 : Protocoles de routage dans FANET.	13
Figure 06 : Transport de charge et routage de livraison.	13
Figure 07 : AODV vs AODV avec bruit en termes de PDR, cas de 20 nœuds.	31
Figure 08 : AODV vs AODV avec bruit en termes de PDR, cas de 50 nœuds.	32
Figure 09 : AODV vs AODV avec bruit en termes de PDR, cas de 100 nœuds.	32
Figure 10 : AODV vs AODV avec bruit en termes d'END to END delay, cas de 20 nœuds.	34
Figure 11 : AODV vs AODV avec bruit en termes d'END to END delay, cas de 50 nœuds.	35
Figure 12 : AODV vs AODV avec bruit en termes d'END to END delay, cas de 100 nœuds.	35
Figure 13 : AODV vs AODV avec bruit en termes de La consommation d'énergie, cas de 20 nœuds.	37
Figure 14 : AODV vs AODV avec bruit en termes de La consommation d'énergie, cas de 50 nœuds.	38
Figure 15 : AODV vs AODV avec bruit en termes de La consommation d'énergie, cas de 100 nœuds.	39

Liste des tableaux

Tableau 01 : Enivrement de simulation.

Tableau des abréviations

UAVs	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
FANET	Flying Ad-Hoc Network
MANET	Mobile Ad hoc Network
VANET	Vehicular Ad-Hoc Network
LCDR	Load Carry and Delivery Routing
OLSR	Optimized Link State Routing
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
AODV	Ad-hoc On-demand Distance Vector
HRP	Hybrid Routing Protocol
PRP	Proactive Routing Protocols
SRP	Static Routing Protocols
ZRP	Zone Routing Protocol
TORA	Temporarily ordered routing algorithm
DAG	Directed Acyclic Graph
GIG	Global Information Grid
OMNeT++	Objective Modular Network Tested in C++
PDR	Package Delivery Rate
SB	Station de Base
TCP	Transmission Control Protocol
WRN	Wireless Sensor Network

Chapitre

I Introduction Générale

Contenu

	01
I.1. Introduction	
I.2. Mobile ad hoc networks (MANET)	01
I.3. Vehicular ad hoc networks (VANET)	04
I.4. Flaying ad hoc networks FANET	06
I.4.1 Les applications des réseaux FANET	
I.4.2 Les caractéristiques des réseaux FANET	
I.4.3 Les modèles de mobilité des réseaux FANET	
I.5. Problématique	10
I.6. Objectifs	11
I.7. Structure de du mémoire	11

I.1 Introduction :

Au cours de la dernière décennie, les drones ou véhicules aériens sans pilote (UAVs) ont connu un intérêt croissant pour une variété d'applications et de services. Grâce à leur flexibilité et à leur capacité à voler dans des environnements difficiles d'accès pour les humains, les drones sont de plus en plus utilisés pour effectuer des tâches complexes et dangereuses. Les drones sont souvent utilisés en groupes, organisés en réseaux volants ad hoc (FANET), pour effectuer des missions collaboratives telles que la surveillance d'une zone ou la livraison de colis à plusieurs endroits.

Cependant, l'utilisation de FANET présente également des défis uniques, notamment en matière de communication, de navigation, de contrôle et de sécurité. Les drones doivent être en mesure de communiquer efficacement les uns avec les autres pour coordonner leurs mouvements et éviter les collisions. De plus, la gestion de l'espace aérien et les réglementations en matière de vol de drones doivent être prises en compte pour garantir la sécurité des opérations.

Dans ce contexte, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer les capacités de communication, de navigation et de contrôle des drones dans le cadre de réseaux volants ad hoc. De nouvelles technologies, telles que l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique, peuvent être utilisées pour résoudre les défis liés à la coordination et à la sécurité des FANET. Par conséquent, l'utilisation de drones dans des réseaux volants ad hoc offre un potentiel considérable pour de nombreuses applications futures, tout en présentant des défis importants qui nécessitent une attention continue de la part des chercheurs et des praticiens.

I.2 Mobile ad hoc networks (MANET):

MANET est une entité auto-structurée qui fonctionne sans statique topologie. Dans ce réseau, chaque nœud agit simultanément comme routeur et hôte [1]. Cela permet aux nœuds du réseau d'être équivalents et de rejoindre ou de quitter rapidement le réseau. Les nœuds mobiles à portée radio les uns des autres peuvent communiquer et transférer directement les informations nécessaires [2]. Tous les nœuds du réseau sont dotés d'une interface sans fil pour communiquer avec un autre nœud dans le champ. Ce type de réseau est entièrement distribué et peut fonctionner n'importe où sans l'aide d'une infrastructure fixe comme points d'accès ou stations de base [3]. La **figure 01** donne un exemple de MANET architecture.

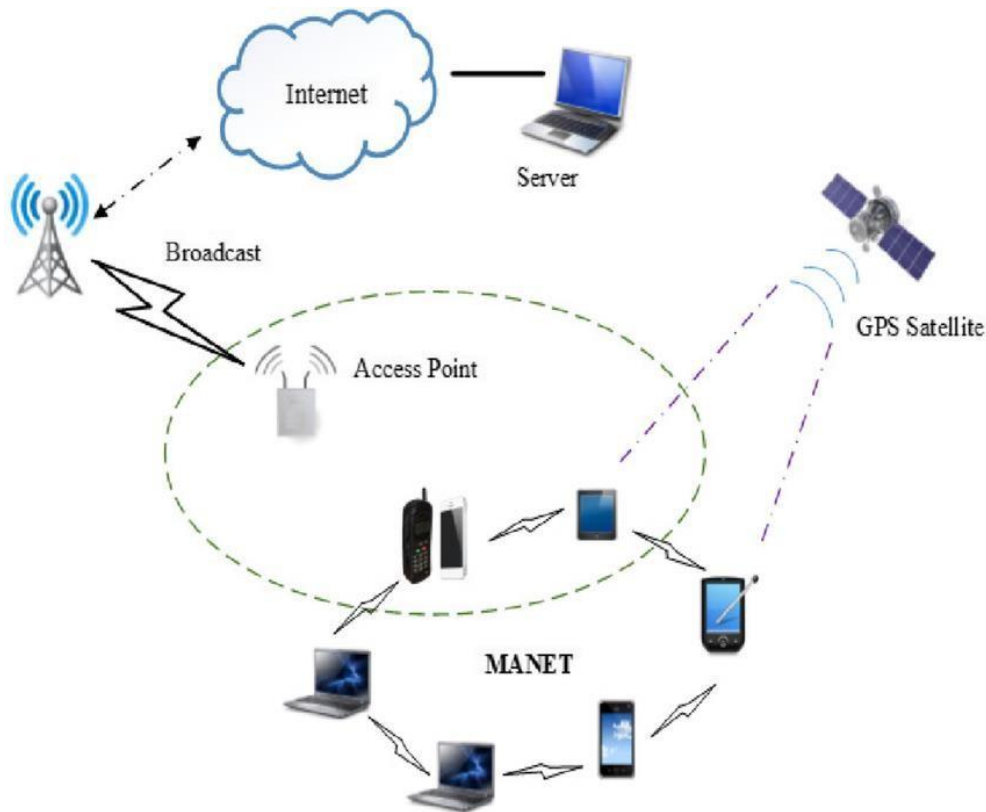


Figure 01 : MANET architecture.

Dans MANET, les autres nœuds participants se déplacent de manière aléatoire au sein du réseau ad hoc sans fil créé. En raison de la nature du lien de communication entre les deux appareils qui change de temps en temps, il n'est pas facile de développer un MANET pour les appareils qui se déplacent dynamiquement dans le réseau [4]. Néanmoins, des efforts actifs se sont concentrés sur le routage, la densité et la mobilité.

Les auteurs de [5] ont utilisé le simulateur de réseau 3 (NS-3) pour évaluer les performances du protocole de routage AODV et étudier l'effet de la vitesse de mobilité et de la densité de nœuds dans les MANET. Les métriques de performance utilisées pour la mesure comprennent le délai de bout en bout, le débit et le taux de livraison des paquets. Les résultats de la simulation montrent que la vitesse de mobilité et la densité des nœuds ont un impact sur l'efficacité de l'AODV dans les MANET.

Dans l'étude [6], les auteurs ont mené une étude basée sur la simulation en utilisant le simulateur QualNet pour évaluer les performances des protocoles de routage OLSR, Bellman-Ford, DSR, ZRP, AODV et DYMO dans l'environnement MANET. Les auteurs ont incorporé un modèle de mobilité de groupe pour montrer l'environnement réaliste du mouvement des nœuds mobiles sous la vitesse de mobilité variable des nœuds et des modèles de trafic CBR. Les performances ont été testées en termes de mesures, à savoir le délai de bout en bout, la

gigue et le débit. Les résultats de cette étude ont montré que la vitesse a un effet négatif sur les performances des protocoles de routage.

Les auteurs de [7] ont présenté une étude basée sur un modèle de mobilité aléatoire de points de cheminement utilisant le simulateur OPNET. Les auteurs mettent l'accent sur l'évaluation des performances des protocoles de routage OLSR, DSR et TORA dans le cadre d'une augmentation de la densité de nœuds dans MANET. Les performances ont été évaluées en fonction du débit, du délai, de la charge du réseau, du trafic de routage envoyé et du trafic de routage reçu. Sur la base des résultats obtenus, les auteurs ont déterminé que l'augmentation de la densité des nœuds affecte l'efficacité de DSR et TORA en termes de délai et de débit par rapport à OLSR.

Les auteurs de [8] ont examiné les impacts de différents modèles de mobilité des protocoles de routage DSDV et DSR dans l'environnement MANET. À cette fin, les auteurs ont incorporé des modèles de points de cheminement aléatoires, de mobilité de groupe, d'autoroute et de Manhattan. L'examen d'exécution a également inclus différentes densités et le nombre de sauts à l'aide du simulateur de réseau 2 (NS-2). Les performances ont été évaluées en fonction du débit avec le trafic UDP. Les auteurs décrivent que la démonstration fluctue selon divers modèles de mobilité et densités.

De plus, dans [9], les auteurs ont montré les performances du protocole OLSR avec deux modèles de mobilité alternatifs : la mobilité aléatoire au point de cheminement et la mobilité basée sur le hasard. La simulation a été réalisée à l'aide du simulateur de réseau 2 (NS-2) avec différents scénarios et nœuds. Les auteurs ont comparé les performances du protocole de routage en termes de taux d'abandon de paquets, de normalisation de la surcharge de routage, de paquets de données livrés, de taux de bits constants, de retard de bout en bout, de taux de livraison de paquets et de taux de débit. Sur la base des résultats, la mobilité aléatoire des points de cheminement a surpassé la mobilité aléatoire dans tous les paramètres testés.

Les lecteurs intéressés par d'autres travaux d'analyse et d'évaluation MANET sont renvoyés à [10 - 14].

I.3 Vehicular ad hoc networks (VANET):

Avec l'implication du nœud véhicule, le réseau pourrait être construit, et il est connu sous le nom de VANET [15][62]. Pour améliorer le confort des usagers de la route ou des conducteurs, diverses applications ont été développées. Les systèmes de transport intelligents (ITS) font partie de ces applications qui se concentrent principalement sur la communication des véhicules [16][61]. Ces communications sont classées en deux formes : communication de véhicule à véhicule (V2V) et de véhicule à infrastructure (V2I). Parmi ceux-ci, V2V nécessite une unité embarquée (OBU) et V2I nécessite une unité routière (RSU) pour fonctionner avec VANET [17]. Un exemple d'architecture VANET applicable est illustré à la **figure 02**.

Bien que VANET ait récemment avancé et permis le déploiement de l'écosystème V2X dans certains pays [18], cela reste un défi majeur. En raison de sa nature dynamique, le manque de modèles réalistes et la capacité de prendre en charge un nombre croissant de véhicules ont été un sujet impératif à découvrir pour de nombreux chercheurs.

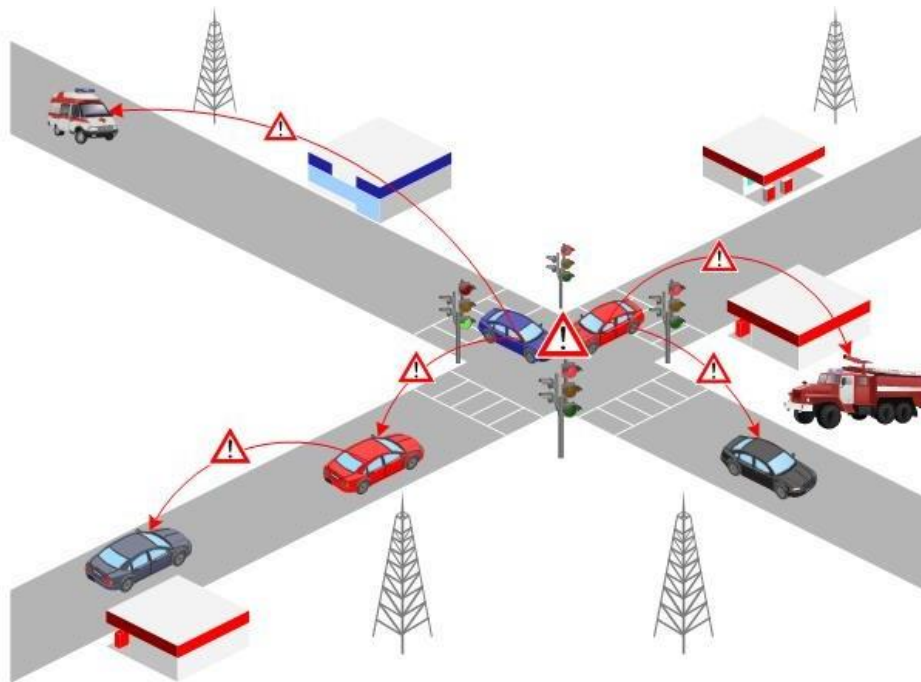


Figure 02 : VANET architecture.

Les auteurs de [19] ont utilisé le protocole GPSR pour étudier les caractéristiques de mobilité de plusieurs modèles de mobilité VANET. Les modèles de mobilité incluent Gauss Markov, un groupe de points de référence, un point de cheminement aléatoire, une direction aléatoire et une grille Manhattan. Le simulateur de réseau 2 (NS-2) a été utilisé pour la simulation et les résultats ont été évalués à l'aide des paramètres suivants : délai de bout en

bout, taux de livraison des paquets, surcharge de routage et débit. Les auteurs ont déterminé que le groupe de points de référence surpasse les autres modèles de mobilité dans tous les paramètres.

Les auteurs [20] ont présenté une étude de simulation sur les protocoles de routage GPSR et AODV dans un environnement VANET utilisant OMNET++ avec SUMO. L'objectif de l'étude était d'impliquer un nombre variable de nœuds avec des scénarios de simulation réalistes. Les performances de simulation ont été observées en fonction du taux de livraison des paquets, du délai de bout en bout, du taux de perte de paquets et du débit. Par rapport à AODV, les résultats ont montré que les performances de GPSR sont moins vulnérables lorsqu'il y a une augmentation du nombre de nœuds et de la vitesse, démontrant sa force pour l'évolutivité et la mobilité.

Dans l'étude [21], le protocole AODV a été pris comme protocole de routage pour créer un scénario pour l'environnement VANET en utilisant le simulateur de réseau 2 (NS-2) et SUMO et MOVE. Les auteurs visent à évaluer divers paramètres de performance par rapport à différentes densités de nœuds. Les paramètres impliqués dans cette étude sont le débit, le débit moyen, le temps de simulation et la perte de paquets. Selon les observations, l'augmentation de la densité de nœuds a un impact sur l'efficacité de l'AODV à la fois en termes de débit et de délai.

Les auteurs de [22] ont discuté de l'objectif de l'infrastructure en milieu urbain et ont comparé les performances des protocoles de routage OLSR, AODV, AOMDV, DSR, ZRP, GPSR et MDART où la mobilité était une restriction. Afin de comparer différents protocoles de routage dans un environnement urbain, le simulateur de réseau 2 (NS-2) a été utilisé avec les autres types de trafic. Les auteurs ont évalué les performances en termes de délai de bout en bout, de coût de routage, de gigue, de taux de livraison des paquets et d'efficacité. Selon les auteurs, la démonstration varie en fonction de l'utilisation du protocole de routage et du type de trafic impliqué.

De plus, les auteurs de [23] ont exploré les protocoles de routage DSR, DSDV et AODV dans l'environnement VANET en utilisant le simulateur de réseau 2 (NS-2) et SUMO. Les auteurs ont défini un nombre croissant de véhicules dans un scénario de mouvement réaliste en utilisant le modèle de mobilité terrestre à deux rayons. Les performances de la simulation sont considérées en termes de délai de bout en bout, de taux de livraison de paquets et de débit. Les auteurs ont déterminé que le protocole de routage AODV est plus approprié pour le mouvement avec un nombre croissant de véhicules que DSR et DSDV.

Les lecteurs intéressés par d'autres publications sur l'analyse et l'évaluation VANET sont dirigés vers [24-28].

I.4 Flying ad hoc networks FANET:

FANET est une classe spéciale de MANET qui ressemble à VANET [29]. En d'autres termes, il y a aussi le point commun de la mobilité dans FANET, comme c'est le cas dans MANET et VANET [30]. FANET est un type de réseau constitué d'agents mobiles appelés micro-véhicules aériens (MAV) [31]. Ces agents volants constituent un groupe de petits MAV connectés de manière ponctuelle pour communiquer aux fins requises. L'existence de ces agents volants entraîne généralement des changements fréquents de la topologie du réseau FANET [32]. La **figure 03** illustre une architecture FANET.

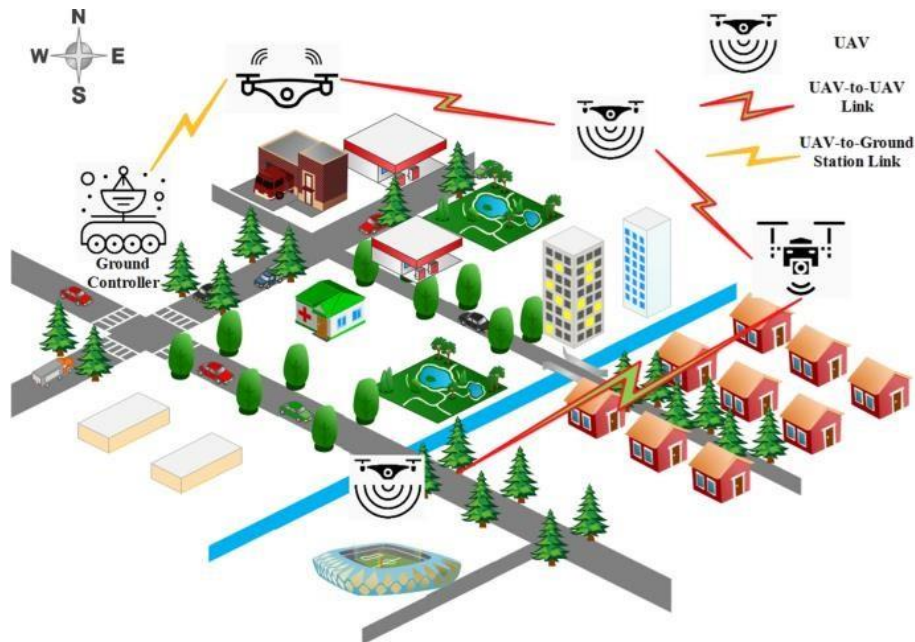


Figure 03 : FANET architecture.

FANET est également connu comme un essaim ou une flotte de véhicules aériens sans pilote (UAV), un groupe de robots aériens ou de drones qui collaborent pour atteindre un objectif commun [33]. Chaque drone d'un essaim peut se voir attribuer une mission spécifique de collecte et de traitement de données, et ces tâches peuvent être effectuées en temps réel. Malgré cela, les chercheurs ont exploré la création de systèmes d'essaims d'UAV puisque la communication est l'un des sujets les plus difficiles à aborder.

Les auteurs de [34] ont utilisé OPNET pour créer un environnement de simulation FANET réaliste dans lequel ils ont comparé les protocoles de routage OLSR, DSR, AODV et GRP sur un modèle de mobilité de point de cheminement aléatoire. Pour comparer les

performances des protocoles, des paramètres tels que le délai de bout en bout, le débit, les données reçues et les données abandonnées ont été mesurés. Les résultats expérimentaux montrent que divers routages peuvent être adaptés à divers scénarios de réseau de communication UAV. Par conséquent, les résultats quantitatifs peuvent servir de référence utile pour sélectionner le protocole de routage approprié dans divers cas.

Les auteurs de [35] ont développé un modèle de mobilité unique basé sur une ligne en spirale (SLMM) utilisant les protocoles de routage DSDV et AODV dans l'environnement FANET en utilisant le simulateur de réseau 2. (NS-2). Les performances de la simulation ont été évaluées en fonction du délai de bout en bout, de la surcharge de routage, du débit et de la perte de paquets. Les résultats ont montré que le protocole de routage AODV fonctionne mieux avec SLMM que le protocole de routage DSDV. Les auteurs pensent que SLMM complète efficacement le modèle de mobilité qui peut fournir une meilleure prise en charge des performances dans l'environnement FANET.

L'étude [36] a utilisé les protocoles de routage DSR, DSDV et AODV dans l'environnement FANET en utilisant le simulateur de réseau 2. (NS-2). Les auteurs ont combiné les modèles de point de cheminement aléatoire et de mobilité de Gauss-Markov pour créer un nouveau modèle intégré de Gauss aléatoire conçu pour fonctionner avec les protocoles de routage. La simulation contient une plage de densités et de vitesses de nœuds. Les performances ont été évaluées en termes de délai de bout en bout, de taux de livraison des paquets, de gigage et de débit. Les auteurs constatent que le modèle intégré random-gauss est supérieur aux deux autres modèles en termes de performances.

Les auteurs de [37] ont examiné la faisabilité du modèle de mobilité 3D dans l'environnement FANET à l'aide du simulateur de réseau 2 (NS-2). La simulation comprend les protocoles de routage OLSR, DSDV, AODV et GPSR avec trafic CBR. De plus, la simulation intègre différents nombres de nœuds et de vitesses. Les performances ont été évaluées à l'aide de paramètres tels que le taux de livraison des paquets et le délai de bout en bout. Les résultats de la simulation révèlent que le protocole de routage AODV surpasse les trois autres protocoles.

De plus, en utilisant le simulateur de réseau 2 (NS-2), les auteurs de [38] ont étudié les protocoles de routage OLSR, AODV, DSDV, DSR, FSR et TORA dans l'environnement FANET. Les auteurs incluent le modèle de mobilité aléatoire des points de cheminement et le trafic CBR. La simulation a été évaluée en termes de délai de bout en bout, de perte de paquets et de débit. Selon les résultats, FSR avait des performances prometteuses par rapport

aux autres protocoles de routage. Plus de recherches sur l'analyse et l'évaluation FANET peuvent être trouvées à [39-43].

I.4.1 Applications réseau FANET :

Le réseau FANET (Flying Ad Hoc Network) est un type de réseau ad hoc sans fil composé de drones ou d'autres appareils volants. Il offre diverses applications potentielles, notamment :

1. Livraison de colis : Les drones peuvent être utilisés pour la livraison de colis dans des zones urbaines ou rurales. Ils peuvent contourner les embouteillages et les infrastructures limitées pour fournir rapidement des colis légers à des destinations spécifiques. Plusieurs entreprises explorant cette possibilité ont déjà commencé à tester des systèmes de livraison par drone.

2. Surveillance agricole : Les drones peuvent être utilisés pour surveiller les cultures agricoles, détecter les maladies des plantes, évaluer les conditions du sol et fournir des informations précieuses aux agriculteurs pour une gestion plus efficace des terres. Cela permet une utilisation plus ciblée des pesticides, de l'eau et des autres ressources agricoles.

3. Cartographie et surveillance environnementale : Les drones peuvent être utilisés pour la cartographie 3D, la surveillance de la faune, l'évaluation des zones écologiquement sensibles, la surveillance de la pollution et d'autres activités liées à l'environnement. Ils permettent de collecter des données précises sur des régions difficiles d'accès ou vastes, aidant ainsi à la recherche et à la gestion des ressources naturelles.

Il convient de noter que le déploiement commercial de certaines applications FANET peut être limité par des réglementations et des restrictions locales en matière de vol de drones.

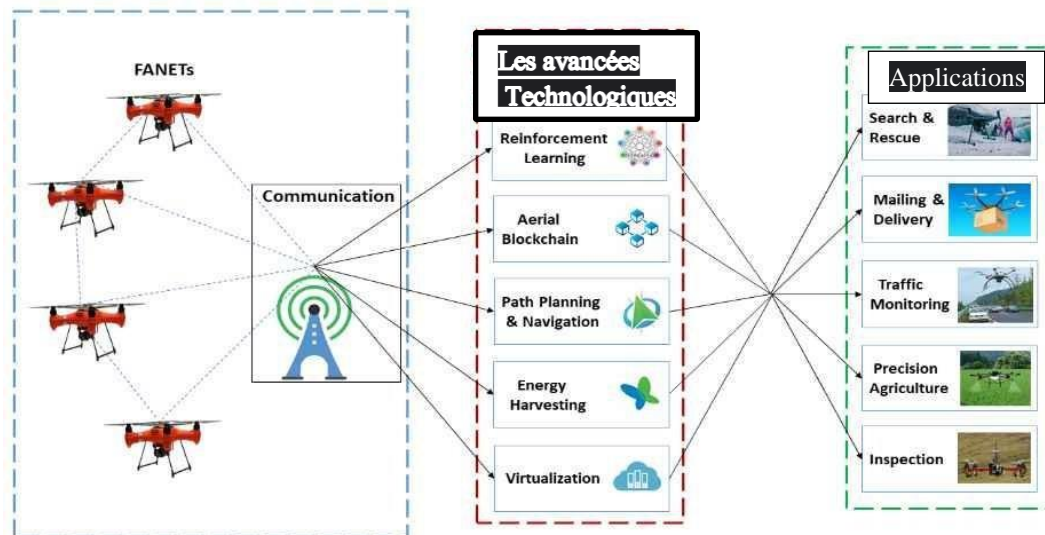


Figure 04 : Applications réseau FANET.

I.4.2 Caractéristiques de réseau FANET :

Le réseau FANET (Flying Ad Hoc Network) est un type de réseau ad hoc sans fil spécifiquement conçu pour les communications entre véhicules aériens sans pilote (UAV), également appelés drones. Il présente certaines caractéristiques distinctives, telles que :

- **Mobilité** : Les UAV dans un réseau FANET sont constamment en mouvement, ce qui nécessite des mécanismes de routage et de gestion de la mobilité efficaces pour maintenir la connectivité entre les nœuds.
- **Auto-organisation** : Les UAV dans un réseau FANET doivent être capables de s'autoorganiser et de former un réseau de manière dynamique sans dépendre d'une infrastructure de communication préexistante. Cela permet une mise en place rapide et flexible du réseau.
- **Communication sans fil** : Les communications dans un réseau FANET se font principalement par des liaisons sans fil, généralement en utilisant des technologies telles que le Wi-Fi, les communications par radio ou les communications par satellite. Cela permet aux UAV de communiquer entre eux et d'échanger des informations.
- **Routage adaptatif** : Étant donné que les UAV peuvent se déplacer librement dans l'espace aérien, le routage doit être adaptatif pour prendre en compte les variations de la topologie du réseau. Des protocoles de routage dynamiques sont utilisés pour trouver les chemins optimaux entre les nœuds en fonction de leur position et des contraintes de connectivité.

I.4.3 Modèles de mobilité des réseaux FANET :

Il existe plusieurs modèles de mobilité couramment utilisés pour simuler les réseaux FANET. Voici quelques-uns des modèles de mobilité populaires :

- **Modèle de mobilité aléatoire :** Dans ce modèle, les drones se déplacent de manière aléatoire dans l'espace. Les directions et les vitesses des drones sont généralement déterminées selon des distributions aléatoires. Ce modèle est simple à mettre en œuvre, mais il ne tient pas compte des caractéristiques spécifiques des drones ou des contraintes du vol.
- **Modèle de mobilité basé sur la trajectoire :** Dans ce modèle, les drones suivent des trajectoires prédéfinies. Les trajectoires peuvent être déterminées en fonction de scénarios réels, tels que des itinéraires de vol préprogrammés ou des modèles de mouvement basés sur des données historiques. Ce modèle permet de mieux capturer les comportements réels des drones, mais il peut être plus complexe à mettre en œuvre.
- **Modèle de mobilité basé sur le comportement :** Dans ce modèle, le mouvement des drones est basé sur des comportements spécifiques, tels que la recherche de cibles, la formation de formations ou la coopération. Ces comportements peuvent être modélisés à l'aide d'algorithmes intelligents, tels que l'apprentissage par renforcement ou les systèmes multi-agents. Ce modèle permet de simuler des scénarios plus réalistes et complexes, mais il nécessite une modélisation détaillée des comportements des drones.

I.5 Problématique :

Les protocoles de routage jouent un rôle crucial dans les réseaux ad hoc de drones (FANET), en permettant une communication efficace, une adaptabilité dynamique et une utilisation optimale des ressources. Cependant, ils doivent relever des défis uniques liés à la mobilité des drones, à la consommation d'énergie limitée et à la sécurité des données. La recherche continue dans le domaine des protocoles de routage sur les FANET est essentielle pour améliorer les performances et résoudre les défis existants. Des solutions innovantes, telles que l'utilisation de l'intelligence artificielle et du machine learning, peuvent contribuer à

l'amélioration des protocoles de routage en prenant en compte la dynamique du réseau et en optimisant les décisions de routage.

I.6 Objectifs :

L'objet de ce mémoire est de présenter une vue générale sur les réseaux sans fil (WSN Wireless Sensors Networks), ainsi les modèles de mobilité qui existent déjà dans la littérature. De plus, nous allons étudier théoriquement les différentes catégories de protocoles de routage dans les réseaux FANET. Notre contribution pratique est de procéder à une analyse et de comparer la performance du protocole AODV sous différents scénarios dans les réseaux FANET en se basant sur différentes métriques d'évaluation afin de voir son efficacité et d'aider les futures études de développement sur ce créneau.

I.7 Structure de mémoire :

Ce mémoire a été organisée comme suit :

- Dans le premier chapitre, une étude bibliographique est présentée sur les Réseau Ad hoc Mobile (MANET), les Réseau Ad hoc Véhiculaire (VANET) et les Réseau Ad hoc Flying (FANET), caractéristiques des réseaux FANET, les modèles de mobilités du FANET...etc.
- Dans le deuxième chapitre tudiera théoriquement le fonctionnement des différents protocoles de routage dans les réseaux FANET.
- Dans le troisième chapitre, nous décrivons les différents scénarios qui ont été simulés en concentrant sur le principe de fonctionnement de l'OMNET. Enfin, les analyses des résultats couvrent le troisième chapitre.
- Conclusion générale.

Chapitre

II Les protocoles de routage dans les FANETs

Contenu

II.1. Introduction	12
II.2. Modèles de réseau FANET	12
II.2.1 Protocoles de routage statique	
II.2.2 Protocoles de routage proactifs	
II.2.3 Protocoles de routage réactif	
II.2.4 Protocoles de routage hybride	
II.3. Problèmes ouverts et défis	17
II.4. Conclusion et perspectives	19

II.1 Introduction :

Il existe de nombreux protocoles de routage dans l'environnement sans fil et ad hoc et tous ces protocoles ne conviennent pas au FANET. Par conséquent, pour adopter le nouveau modèle de mise en réseau, certains protocoles spécifiques ont été implémentés dans la littérature et certains des précédents sont modifiés dans la littérature.

II.2 Modèles de réseau FANET :

Les protocoles FANET peuvent être classés en quatre classes principales :

- **Les protocoles statiques** ont des tables de routage statiques, il n'est pas nécessaire d'actualiser ces tables.
- **Les protocoles proactifs**, également connus sous le nom de protocoles basés sur des tables, sont des tables de routage périodiquement actualisées.
- **Les protocoles réactifs**, également appelés protocoles à la demande, découvrent les chemins des messages à la demande.
- **Les protocoles hybrides** utilisent à la fois des protocoles proactifs et réactifs.

II.2.1 Protocoles de routage statique :

Dans le protocole de routage statique (Static Routing Protocols : SRP), une table de routage est calculée et chargée sur les nœuds UAV avant une mission, et ne peut pas être mise à jour pendant le fonctionnement ; par conséquent, il est statique. Dans ce type de modèle de réseau, les drones ont généralement une topologie fixe. Chaque nœud peut communiquer avec un petit nombre de drones ou de stations au sol, et il ne stocke que leurs informations. En cas de panne (d'un drone ou d'une station au sol), pour la mise à jour des tables, il faut attendre la fin de la mission. Par conséquent, ils ne tolèrent pas les pannes et conviennent aux environnements dynamiques.

- **Load Carry and Delivery Routing (LCDR):**

Transport de charge et routage de livraison (LCDR) est l'un des premiers modèles de routage dans FANET. Dans ce modèle, un UAV charge des données à partir d'un nœud terrestre (ou obtient une image vidéo de son chemin) ; après cela, il transporte ces précieuses données vers la destination en volant ; et enfin, il transmet les données à un nœud terrestre de destination (tel qu'une équipe militaire ou une station de contrôle au sol), comme illustré à la fig.1

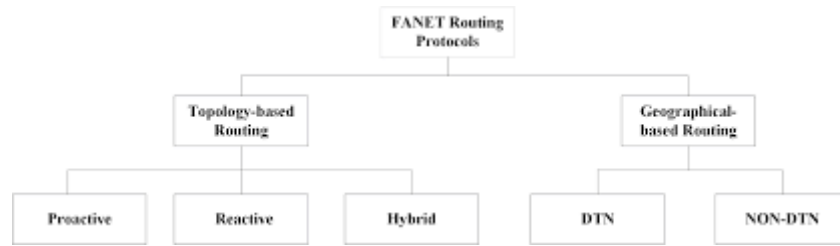


Figure 05 : Protocoles de routage dans FANET.

• **Routage hiérarchique à plusieurs niveaux :**

Les réseaux de drones organisés de manière hiérarchique se composent d'un certain nombre de clusters pour opérer dans différentes zones de mission. Chaque cluster a un cluster Head (CH), qui représente l'ensemble du cluster, et il est possible d'attribuer différentes fonctionnalités à chaque cluster. Chaque CH est en relation directe ou indirecte avec les couches supérieures/inférieures (stations au sol, drones, satellites, etc.).

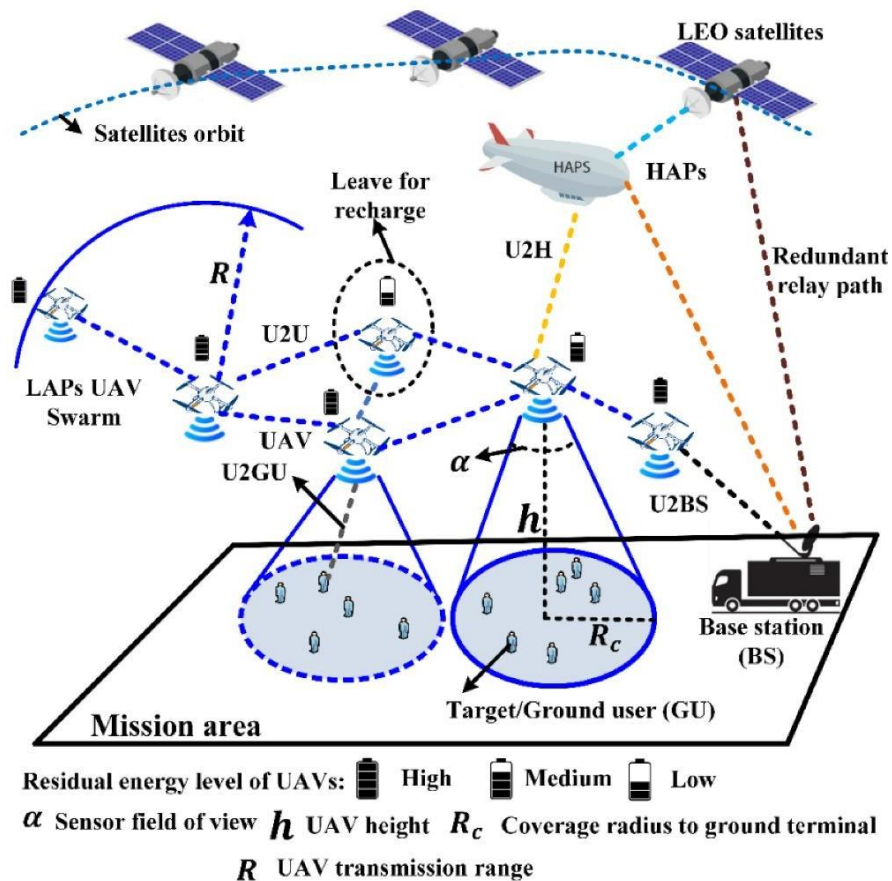


Figure 06 : Transport de charge et routage de livraison.

• **Routage centré sur les données :**

Le routage centré sur les données est un paradigme prometteur de mécanisme de routage et peut être adapté pour FANET. Dans ce modèle, le nœud consommateur (peut être un nœud terrestre ou un UAV) diffuse des requêtes sous forme de message d'abonnement afin de collecter des données spécifiques à partir d'une zone spécifique. Le nœud producteur décide des informations à publier et lance la diffusion des données. Lorsque les données publiées atteignent un UAV (en tant que nœud relais), il vérifie les messages d'abonnement sur celui-ci et transmet ces données en conséquence. Le routage se fait par rapport au contenu des données ; et si nécessaire, des algorithmes d'agrégation de données peuvent être utilisés pour une diffusion des données économe en énergie.

II.2.2 **Protocoles de routage proactifs :**

Les protocoles de routage proactifs (Proactive Routing Protocols : PRP) utilisent des tables pour stocker toutes les informations de routage du nœud ou des nœuds d'une région spécifique du réseau. Divers protocoles pilotés par table peuvent être utilisés dans FANET, et ils diffèrent par le mécanisme de mise à jour de la table de routage lorsque la topologie change. Le principal avantage du routage proactif est qu'il contient les dernières informations sur les routes ; par conséquent, il est facile de sélectionner un chemin de l'expéditeur au destinataire, et il n'est pas nécessaire d'attendre. Cependant, il existe certains inconvénients explicites. Premièrement, en raison de la nécessité d'un grand nombre d'échanges de messages entre les nœuds, les PRP ne peuvent pas utiliser efficacement la bande passante, qui est une ressource de communication limitée de FANET ; par conséquent, les PRP ne conviennent pas aux réseaux hautement mobiles et/ou plus grands. Deuxièmement, il montre une réaction lente, lorsque la topologie est modifiée ou qu'une panne se produit. Deux protocoles principaux sont largement utilisés dans les VANET : les protocoles OLSR (Optimized Link State Routing) et DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector).

• **Optimized Link State Routing (OLSR):**

Routage optimisé de l'état des liens est un protocole de routage à état de liens proactif, qui utilise deux types de messages (messages de bonjour et de contrôle de la topologie) pour découvrir les voisins. Les messages de bonjour sont utilisés pour détecter les nœuds voisins dans la plage de communication directe. Ce message contient la liste des voisins

connus et est périodiquement diffusé aux voisins à un saut. D'autre part, les messages de contrôle de topologie sont utilisés pour maintenir les informations topologiques du système. Ces messages sont utilisés périodiquement pour actualiser les informations de topologie ; par conséquent, chaque nœud peut recalculer les itinéraires vers tous les nœuds du système. Cette nature d'inondation périodique du protocole entraîne une grande quantité de temps système. Par conséquent, pour réduire cette surcharge, un mécanisme de relais multipoint (MPR) est utilisé.

- **Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) :**

Vecteur de distance séquentiel de destination est un protocole de routage proactif piloté par table. Dans DSDV, chaque nœud maintient une table de routage (avec numéro de séquence) pour tous les autres nœuds, pas seulement pour les nœuds voisins. Chaque fois que la topologie du réseau change, ces changements sont diffusés par le mécanisme de mise à jour du protocole. Le principal avantage de DSDV est à la fois la simplicité de l'algorithme et l'utilisation des numéros de séquence qui garantissent que le protocole est sans boucle.

II.2.3 Protocoles de routage réactif (RRP) :

Il est connu sous le nom de protocole de routage à la demande, ce qui signifie que s'il n'y a aucune communication entre les nœuds, il n'est pas nécessaire de stocker la route entre les deux. Il existe deux types de messages différents : le message Route Request et le message Route Reply. Les messages de demande de route sont produits par le nœud source et les messages de réponse de route sont produits par le nœud de destination.

- **Dynamic Source Routing (DSR) :**

Le routage source dynamique (DSR) est un RRP simple et efficace, conçu principalement pour les sauts multiples pour les réseaux maillés sans fil. Dans DSR, le nœud source diffuse un message de demande d'itinéraire à ses nœuds voisins, qui se trouvent dans la plage de transmission sans fil. Dans l'ensemble du processus de communication, il peut y avoir de nombreux messages de demande de route. Dans DSR, chaque nœud peut stocker plusieurs entrées dans sa table de routage pour chaque destination. Une autre différence avec DSR provient du fait que les paquets de données DSR transportent le chemin complet entre les nœuds source et destination. Par conséquent, pour éviter toute confusion, le nœud source ajoute un numéro d'identification de demande unique au message produit. DSR est un protocole de routage exigeant la source et le nœud

source stocke l'intégralité de la route saut par saut du nœud de destination. Si le nœud source est incapable d'utiliser sa route actuelle, en raison de changements dans la topologie du réseau, alors le mécanisme de maintenance de route est activé. Dans ce cas, le nœud source doit utiliser une autre route vers la destination ; s'il n'y en a pas, une nouvelle phase de découverte de route est lancée.

- **Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV):**

Le vecteur de distance à la demande ad hoc (AODV) est un protocole réactif, qui a les mêmes caractéristiques à la demande que DSR avec différents mécanismes de maintenance de la table de routage. Dans AODV, chaque nœud stocke une table de routage, qui contient un seul enregistrement pour chaque destination ; Dans AODV, le nœud source (ainsi que d'autres nœuds relais) stocke les informations de saut suivant correspondant à chaque transmission de données.

II.2.4 Protocoles de routage hybride :

Le protocole de routage hybride (Hybrid routing protocol : HRP) est une combinaison des protocoles précédents et est présenté pour surmonter leurs lacunes. En utilisant HRP, la grande latence du processus de découverte de route initial dans les protocoles de routage réactifs peut être réduite et la surcharge des messages de contrôle dans les protocoles de routage proactifs peut être réduite.

- **Protocole de routage de zone :**

Le protocole de routage de zone (Zone Routing Protocol : ZRP) est basé sur le concept de zones [37]. Dans ce protocole, chaque nœud a une zone différente, qui est définie comme l'ensemble des nœuds. Le routage à l'intérieur de la zone est appelé routage intra-zone, et il utilise une approche proactive pour maintenir les routes. Si les nœuds source et destination se trouvent dans la même zone, le nœud source peut commencer immédiatement la transmission des données. Le routage inter-zone est responsable de l'envoi des paquets de données à l'extérieur de la zone. Il utilise une approche réactive pour maintenir les routes.

- **Algorithme de routage temporairement ordonné :**

L'algorithme de routage temporairement ordonné (Temporarily ordered routing algorithm : **TORA**) est un protocole de routage distribué hybride pour les réseaux multi-sauts, dans lequel les routeurs ne conservent que les informations sur les routeurs

adjacents. Son objectif est de limiter la propagation des messages de contrôle dans l'environnement informatique mobile hautement dynamique, en minimisant la réaction aux changements topologiques. Bien qu'il utilise principalement un protocole de routage réactif, il est également amélioré avec certaines approches proactives. Il construit et maintient un graphe acyclique dirigé (Directed Acyclic Graph DAG) du nœud source à la destination. Il existe plusieurs routes entre ces nœuds dans DAG. Il est privilégié pour trouver rapidement de nouveaux itinéraires en cas de liaisons rompues et pour augmenter l'adaptabilité. TORA n'utilise pas de solution de chemin le plus court et des itinéraires plus longs sont souvent utilisés pour réduire la surcharge du réseau.

II.3 Problèmes ouverts et défis :

Un FANET est quelque peu différent des MANET et VANET traditionnels ; cependant, l'idée fondamentale est la même : avoir des nœuds mobiles et une mise en réseau de manière ad hoc. Ainsi, dans un FANET, certains défis sont valables comme dans un VANET tout en faisant face à des défis supplémentaires. Bien que de nombreuses recherches aient été effectuées pour augmenter l'efficacité du réseau avec des nœuds volants, il reste encore de nombreux problèmes non résolus, qui devraient être explorés dans de futurs travaux :

- a) **Réglementations nationales** : les drones sont de plus en plus utilisés dans de nombreux domaines d'application, et ils trouvent leur place dans l'ère moderne de l'information. Alors que les UAV font de plus en plus partie du système d'espace aérien national de chaque pays, la plupart des réglementations aériennes actuelles des pays n'autorisent pas les opérations contrôlées d'UAV dans l'espace aérien civil. Cela peut être considéré comme le plus grand obstacle actuel au développement des UAS dans les zones civiles. Par conséquent, il existe un besoin sérieux de définir des règles et des réglementations distinctes pour intégrer les vols d'UAV dans l'espace aérien national.
- b) **Routage** : dans un FANET, en raison du mouvement rapide des UAV, la topologie du réseau peut changer rapidement. Le routage des données entre les UAV est confronté à un sérieux défi, qui est différent de l'environnement à faible mobilité. Les protocoles de routage doivent être capables de mettre à jour dynamiquement les tables de routage en fonction des changements de topologie. La plupart des algorithmes de routage précédents dans MANET échouent en partie à fournir une communication fiable entre les drones. Par conséquent, il est nécessaire de

développer de nouveaux algorithmes de routage et un modèle de réseau pour construire un modèle d'intégration flexible et réactif.

- c) **Planification de trajectoire** : dans une zone de mission à grande échelle et une opération multi-UAV, la coopération et la coordination entre les UAV sont non seulement souhaitables, mais également essentielles pour accroître l'efficacité. Dans le théâtre d'opérations, il peut y avoir des changements dynamiques comme l'ajout/la suppression d'UAV, des obstacles physiques statiques, des menaces dynamiques (telles que des radars mobiles), etc. Dans de tels cas, chaque UAV doit changer son chemin précédent, et de nouveaux doivent être recalculé dynamiquement. Ainsi, de nouveaux algorithmes/méthodes dans la planification dynamique des trajectoires sont nécessaires pour coordonner les flottes de drones. Gigue, perte de paquets, etc. La définition d'un cadre complet pour le middleware compatible QoS est un défi crucial qui doit être surmonté en raison de la structure hautement mobile et dynamique de FANET.
- d) **Intégration avec un réseau mondial d'informations (Global Information Grid : GIG)** : GIG est un réseau mondial de surveillance et un système informatique destiné à fournir une capacité de type Internet qui permet à toute personne connectée au système de collaborer avec d'autres utilisateurs et d'obtenir, de traiter et de transmettre des informations à tout moment et n'importe où dans le monde. Un FANET devrait se connecter aux futures grilles d'information en tant que l'une des principales plates-formes d'information pour augmenter l'efficacité d'un UAS en utilisant les packages de communication, les suites d'équipements, les capteurs, etc. d'un UAV.
- e) **Coordination des UAV et des aéronefs avec équipage** : Il est inévitable qu'à l'avenir, les vols d'UAV avec d'autres aéronefs avec équipage soient susceptibles d'augmenter. Cette coordination permettra la destruction des avions ennemis avec un minimum de pertes. Dans le même temps, ces drones peuvent être utilisés comme brouilleurs électroniques et pour la reconnaissance vidéo en temps réel dans les zones ennemies. Par conséquent, la collaboration des drones et des aéronefs pilotés devrait se faire dans un environnement en réseau.

II.4 Conclusion et perspectives :

Le rôle des drones augmente dans presque tous les domaines et ils joueront un rôle de premier plan dans une vaste zone d'opérations. Les drones doivent coopérer les uns avec les autres afin d'accomplir leur tâche, en particulier dans les zones inaccessibles depuis le sol.

Ainsi, les drones coopérants forment un système multi-drones. Ce qui vise également à diminuer le temps de réalisation des missions et à augmenter la fiabilité du système. Dans la littérature, il existe de nombreux protocoles de routage dans FANET et nombre d'entre eux ne sont donc pas directement applicables à FANET. Pour les travaux futurs, un nouveau protocole de routage est nécessaire pour implémenter et mettre à jour les protocoles existants.

Chapitre

III Analyse expérimentale

Contenu

III.1. Simulateur de l'aspect comportemental (OMNet++)	20
III.2. Enivrement de simulation	28
III.3. Métriques de la simulation	29
III.4. Résultats et discussion	31

III.1 Simulateur de l'aspect comportemental (OMNeT++) :

OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++) est un environnement de simulation événementielle destiné à la modélisation, la conception et la simulation de réseaux de communication complexes. Il est utilisé principalement dans le domaine des réseaux de communication et des systèmes informatiques distribués.

OMNeT++ permet aux développeurs de créer des modèles de réseaux en utilisant un langage de description de modèle puissant et flexible. Il fournit une infrastructure de simulation qui prend en charge la simulation événementielle discrète, où les événements sont planifiés et exécutés dans l'ordre chronologique.

L'environnement OMNeT++ offre également des bibliothèques et des modules prédéfinis pour simuler différents types de réseaux, y compris les réseaux filaires, les réseaux sans fil, les réseaux de capteurs et les réseaux de communication par satellite. Il permet aux utilisateurs de spécifier des modèles de protocole personnalisés et de simuler des scénarios complexes pour évaluer les performances, la fiabilité et d'autres aspects des réseaux.

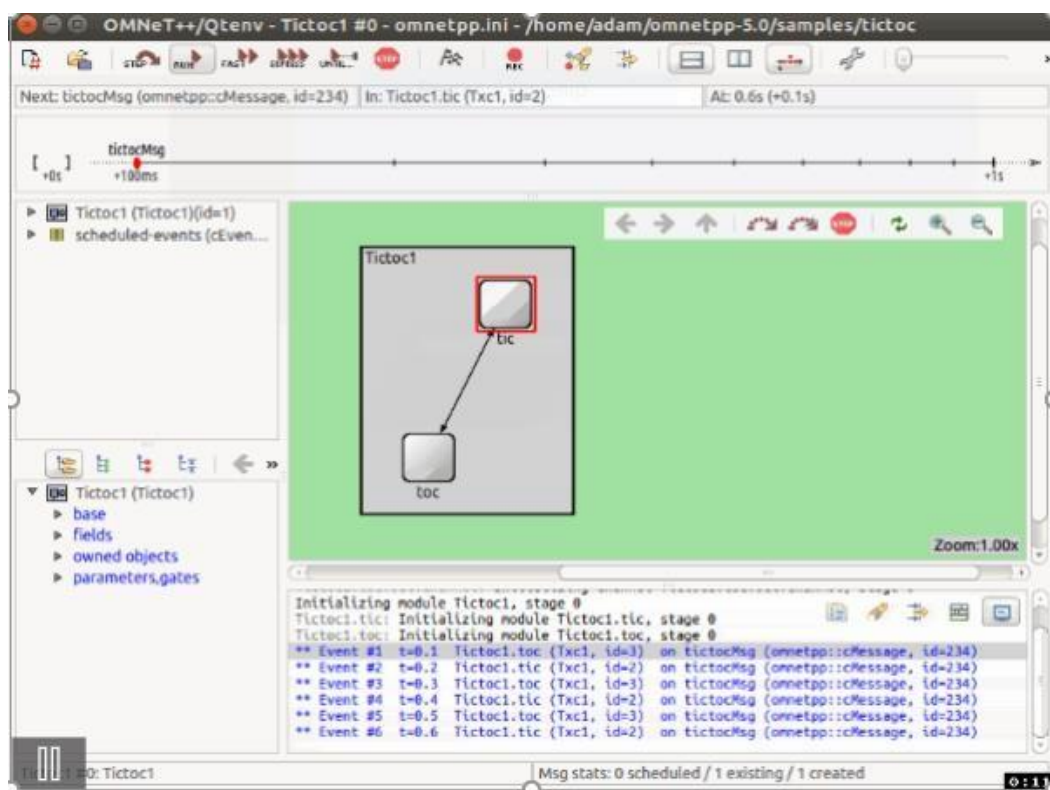
OMNeT++ est largement utilisé dans la recherche et le développement de réseaux, ainsi que dans l'enseignement et la formation en réseaux. Il fournit un environnement de simulation flexible et extensible, qui permet aux utilisateurs de tester et d'évaluer différents scénarios de réseau avant de les déployer dans des environnements réels.

Tutorial TicToc :

TicToc est souvent utilisé comme exemple de base pour apprendre à utiliser OMNeT++. C'est un exemple simple de réseau de communication constitué de deux modules : un émetteur (Tic) et un récepteur (Toc). Le module Tic envoie des messages au module Toc, qui les reçoit et les renvoie à Tic. L'exemple TicToc est utilisé pour illustrer les concepts fondamentaux d'OMNeT++, tels que la création de modules, la définition de messages, la planification des événements et l'échange de messages entre les modules. Le tutoriel "TicToc OMNeT++" vous guider à travers les étapes de création d'un modèle TicToc simple dans OMNeT++. Il peut expliquer comment configurer les modules Tic et Toc, comment définir les messages qu'ils échangent, comment définir le comportement des modules lorsqu'ils reçoivent des messages, et comment exécuter et analyser la simulation.

Exemple :

Après avoir construit et lancé avec succès votre simulation, vous devriez voir une nouvelle fenêtre d'interface graphique apparaître, similaire à celle de la capture d'écran ci-dessous. La fenêtre appartient à Qtenv, la principale interface graphique d'exécution de simulation OMNeT++. Vous devriez également voir le réseau contenant tic et toc affiché graphiquement dans la zone principale. Appuyez sur le bouton Exécuter de la barre d'outils pour démarrer la simulation. Ce que vous devriez voir, c'est que tic et toc échangent des messages entre eux.



INET Framework :

INET Framework est une bibliothèque de modèles open source pour l'environnement de simulation OMNeT++. Il fournit des protocoles, des agents et d'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.), les protocoles de couche de liaison filaire et sans fil (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.), la prise en charge de la mobilité, les protocoles MANET, DiffServ, MPLS avec 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 les réseaux de véhicules, les réseaux superposés/peer-to-peer ou LTE

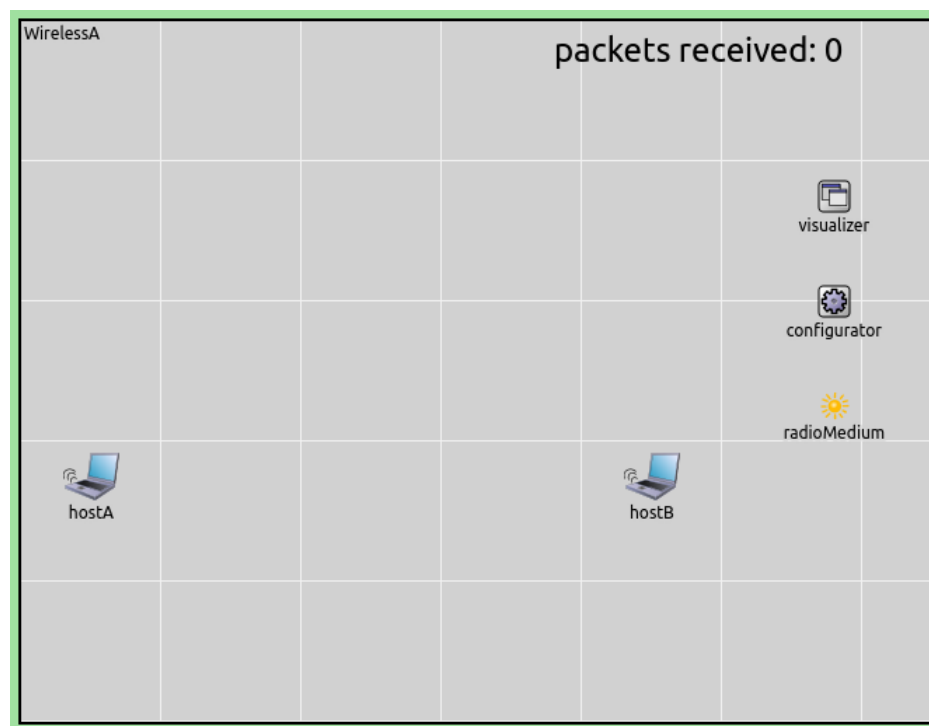
Exemple :

Buts :

Dans la première étape, nous voulons créer un réseau qui contient deux hôtes, un hôte envoyant un flux de données UDP sans fil à l'autre. Notre objectif est de garder les modèles de protocole de couche physique et de couche inférieure aussi simples que possible.

Le modèle :

Dans cette étape, nous utiliserons le modèle décrit ci-dessous.



Voici la source NED du réseau :

```
network WirelessA
{
  parameters:
    @display("bgb=650,500; bgg=100,1,greyscale");
    @figure[title](type=label; pos=0,-1; anchor=sw; color=darkblue);
```

```
@figure[rcvdPkText](type=indicatorText; pos=380,20; anchor=w; font=,18;
textFormat="packets received: %g"; initialValue=0);
```

```
@statistic[packetReceived](source=hostB.app[0].packetReceived;
record=figure(count); targetFigure=rcvdPkText);
```

submodules:

```
visualizer: <default(firstAvailableOrEmpty("IntegratedCanvasVisualizer"))>
like IIntegratedVisualizer if typename != "" {
    @display("p=580,125");
}
configurator: Ipv4NetworkConfigurator {
    @display("p=580,200");
}
radioMedium: <default("UnitDiskRadioMedium")> like IRadioMedium {
    @display("p=580,275");
}
hostA: <default("WirelessHost")> like INetworkNode {
    @display("p=50,325");
}
hostB: <default("WirelessHost")> like INetworkNode {
    @display("p=450,325");
}
}
```

Les hôtes :

Dans INET, les hôtes sont généralement génériques avec le type StandardHost NED, qui est un modèle générique pour les hôtes TCP/IP. Il contient des composants des protocoles tels que TCP, UDP et IP, et des emplacements pour divers modèles d'application et interfaces (NIC). StandardHost quelques variations dans INET, par exemple, WirelessHost, qui est essentiel à StandardHost préconfiguré pour les scénarios sans fil.

Comme vous pouvez le voir, le type d'hôtes est paramétrique dans ce fichier NED (défini via un paramètre `hostType` et l'interface du module `INetworkNode`). Ceci est fait pour que dans les étapes ultérieures, nous puissions remplacer les hôtes par un type NED différent. Le type NED réel ici est `WirelessHost` (indiqué près du haut du fichier NED), et les étapes ultérieures remplaceront ce paramètre en utilisant `omnetpp.ini`.

Attribution d'adresse :

Les adresses IP sont attribuées aux hôtes par un module `Ipv4NetworkConfigurator`, qui apparaît comme le sous-module de configuration dans le réseau. Les hôtes ont également besoin de connaître les adresses MAC des autres pour communiquer, ce qui, dans ce modèle, est le prix en charge en utilisant les modules `GlobalArp` par hôte au lieu d'un véritable ARP.

Modèle de trafic :

Dans le modèle, le A générateur de packages UDP n'est pas compatible avec B. Cette fois, le A est configuré pour contenir le module `UdpBasicApp`, qui génère des messages UDP de 1000 octets à intervalles aléatoires entre eux. L'interval est de 12 ms. Par contrepartie, l'application est un trafic UDP générique de 100 ko/s (800 kbit/s), sans compter la surcharge du protocole. L'hôte B contient une application `UdpSink` qui ne fait que rejeter les packages reçus.

Le modèle affiche également le nombre de paquets reçus par l'hôte B. Le texte est ajouté par la ligne `@figure[rcvdPkText]`, et la ligne suivante organisant la figure à mettre à jour lors de la simulation.

Modélisation de la couche physique :

Concentrons-nous sur le module appelé `radioMedium`. Toutes les simulations sans fil dans INET ont besoin d'un module de support radio. Ce module représente le support physique partagé où la communication a lieu. Il est responsable de la prise en compte de la propagation du signal, de l'atténuation, des interférences et d'autres phénomènes physiques.

INET peut modéliser la couche physique sans fil à différents niveaux de détail, réalisée avec différents modules de support radio. Dans cette étape, nous utilisons `UnitDiskRadioMedium`, qui est le modèle le plus simple. Il implémente une variante de la

radio à disque unitaire, ce qui signifie que les phénomènes physiques tels que l'atténuation du signal sont ignorés et que la portée de communication est simplement spécifiée en mètres. Les transmissions à portée sont toujours correctement reçues, sauf en cas de collision. La modélisation des collisions (transmissions qui se chevauchent provoquant un échec de réception) et de la plage d'interférence (une plage où le signal ne peut pas être reçu correctement, mais entre toujours en collision avec d'autres signaux provoquant l'échec de leur réception) est facultative.

Dans les hôtes, les cartes d'interface réseau sont représentées par des modules NIC. La radio fait partie des modules NIC sans fil. Il existe différents modules radio et il faut toujours en utiliser un compatible avec le module moyen. Dans cette étape, les hôtes contiennent UnitDiskRadio dans le cadre d'AckingWirelessInterface.

Dans ce modèle, nous configurons le modèle de couche physique choisi (UnitDiskRadioMedium et UnitDiskRadio) comme suit. La portée de communication est fixée à 500 m. La modélisation des pertes de paquets dues à la collision (appelée « interférence » dans ce modèle) est désactivée, ce qui entraîne des canaux de communication duplex indépendants par paires. Les débits de données radio sont réglés sur 1 Mbps. Ces valeurs sont définies dans omnetpp.ini avec les paramètres communicationRange, ignoreInterference et bitrate des modules appropriés.

Couche MAC :

Les modules NIC contiennent également un protocole L2 (c'est-à-dire la couche liaison de données). Le protocole MAC dans AckingWirelessInterface est configurable, le choix par défaut étant MultipleAccessMac. MultipleAccessMac implémente une couche MAC triviale qui ne fournit que l'encapsulation/décapsulation mais pas de véritable protocole d'accès au support. Il n'y a pratiquement aucun contrôle d'accès au support : les paquets sont transmis dès que le paquet précédent a terminé sa transmission. MultipleAccessMac contient également un mécanisme d'accusé de réception hors bande facultatif que nous désactivons ici.

La configuration:

```
[Config Wireless01]
```

```
description = Two hosts communicating wirelessly
```



```
network = WirelessA
```

```
sim-time-limit = 20s
```

```
*.host*.ipv4.arp.typename = "GlobalArp"
```

```
*.hostA.numApps = 1
```

```
*.hostA.app[0].typename = "UdpBasicApp"
```

```
*.hostA.app[0].destAddresses = "hostB"
```

```
*.hostA.app[0].destPort = 5000
```

```
*.hostA.app[0].messageLength = 1000B
```

```
*.hostA.app[0].sendInterval = exponential(12ms)
```

```
*.hostA.app[0].packetName = "UDPData"
```

```
*.hostB.numApps = 1
```

```
*.hostB.app[0].typename = "UdpSink"
```

```
*.hostB.app[0].localPort = 5000
```

```
*.host*.wlan[0].typename = "AckingWirelessInterface"
```

```
*.host*.wlan[0].mac.useAck = false
```

```
*.host*.wlan[0].mac.fullDuplex = false
```

```
*.host*.wlan[0].radio.transmitter.communicationRange = 500m
```

```
*.host*.wlan[0].radio.receiver.ignoreInterference = true
```

```
*.host*.wlan[0].mac.headerLength = 23B
```

```
*.host*.*.bitrate = 1Mbps
```

Résultats :

Lorsque nous exécutons la simulation, voici ce qui se passe. UdpBasicApp de l'hôte A général des paquets UDP à intervalles aléatoires. Ces paquets sont envoyés via UDP et IPv4 à l'interface réseau pour transmission. L'interface réseau met les paquets en fichier d'attente et les transmet dès qu'elle le peut. Tant qu'il y a des packages dans le fichier d'attente de transmission de l'interface réseau, les packages sont transmis dos à dos, sans intervalle entre les batchs suivants.

Ces événements peuvent être suivis sur l'interface graphique d'exécution Qtenv d'OMNeT++. L'image suivante a été choisie à partir de Qtenv et montre l'intérieur de l'hôte A pendant la simulation. On peut voir un paquet UDP envoyé depuis le sous-module udpApp, traverser les couches de protocole intermédiaires et être transmis par l'interface wlan.

III.2 Enivrement de simulation :

Dans cette section, nous présentons l'évaluation des performances du protocole AODV en mode sans sensibilité et avec sensitive. Nous avons utilisé le simulateur OMNet [39] pour simuler la communication entre les drones et faire une analyse évaluative en prenant en considération les paramètres suivantes (tableau 01).

Paramètre	Valeur
Système d'exploitation	Windows
Le simulateur	OMNeT++ V 4.6
Porte de transition pour chaque nœud	250 m
Débit	2 Mb/s
Énergie du nœud interne	100 J
Taille de paquet de données	64 octets
Type de modèle de mobilité	MassMobility
La dimension de la topologie	600 m* 600 m * 600 m
La Vitesse	Enter 0.01 m/s et 2 m/s
Nombres de Nœuds	20, 50 et 100.
Application du bruit	-90 dBm

Tableau 01 : Enivrement de simulation.

III.3 Métriques de la simulation :

Nous avons choisi les métriques suivantes pour évaluer le protocole AODV et AODV-sensitive :

- **Le packet delivery ratio (PDR):**

Également connu sous le nom de taux de livraison de paquets, est une mesure utilisée dans les réseaux de communication pour évaluer la fiabilité de la transmission des paquets de données. Il représente le pourcentage de paquets envoyés avec succès du point d'origine au point de destination.

Le PDR est généralement calculé en divisant le nombre de paquets reçus avec succès par le nombre total de paquets envoyés, puis en multipliant le résultat par 100 pour obtenir un pourcentage. Un PDR de 100 % indique que tous les paquets ont été livrés avec succès, tandis qu'un PDR inférieur à 100 % indique une perte de paquets.

Il est souvent utilisé dans le cadre de l'évaluation des performances des protocoles de routage et de transmission des données pour mesurer leur efficacité et leur fiabilité.

Le taux de livraison de paquets (Packet Delivery Ratio : PDR) est calculé à l'aide de la formule ci-dessous :

$$PDR = \frac{\text{Nombre de paquets reçus} \times 100}{\text{Nombre de paquets envoyés}}$$

- **Consommation d'énergie :**

L'énergie des drones dans le réseau FANET est une ressource essentielle car elle détermine la durée de vol et l'autonomie des drones. Elle est principalement utilisée pour alimenter les moteurs, les systèmes de communication, les capteurs et autres équipements embarqués sur les drones.

La gestion de l'énergie dans le réseau FANET est cruciale pour maximiser l'efficacité et l'endurance des drones. Les concepteurs et les opérateurs de ce réseau doivent prendre en compte plusieurs facteurs, tels que la consommation d'énergie des différents composants, la planification de la mission, les contraintes environnementales et les possibilités de recharge ou de remplacement des batteries.

Des techniques d'optimisation de l'énergie sont souvent mises en œuvre, telles que l'utilisation de capteurs intelligents pour ajuster la consommation d'énergie en fonction des besoins, la planification de trajectoires économes en énergie et l'adoption de technologies d'économie d'énergie.

L'énergie est calculée à l'aide de la formule ci-dessous :

Énergie en Joules,

$$\text{Consommation d'énergie} = \text{Énergie initiale} - \text{Énergie restante}$$

- **End-to-end delay**

L'end-to-end delay, également connu sous le nom de délai de bout en bout, est une mesure utilisée dans les réseaux de communication pour évaluer le temps écoulé entre l'envoi d'une donnée d'un point de départ à un point d'arrivée. Il représente la durée totale nécessaire pour que les données traversent tout le réseau, y compris les délais de traitement, de transmission et de propagation.

Le délai de bout en bout peut être influencé par divers facteurs, tels que la congestion du réseau, la qualité de la connexion, la distance géographique entre les points de départ et d'arrivée, ainsi que les performances des équipements réseau utilisés. Il peut avoir un impact significatif sur les applications en temps réel, telles que les appels vidéo, la diffusion en direct et les jeux en ligne, car un délai excessif peut entraîner une expérience utilisateur médiocre.

End-to-end delay est calculée à l'aide de la formule ci-dessous :

End-to-end delay en ms

End – to – end delay

$$\begin{aligned} &= \text{Délai de propagation} + \text{Délai de traitement} + \text{Délai d'attente} \\ &+ \text{Délai de transmission} \end{aligned}$$

III.4 Résultats et discussion :

Packet Delivery Ratio (PDR):

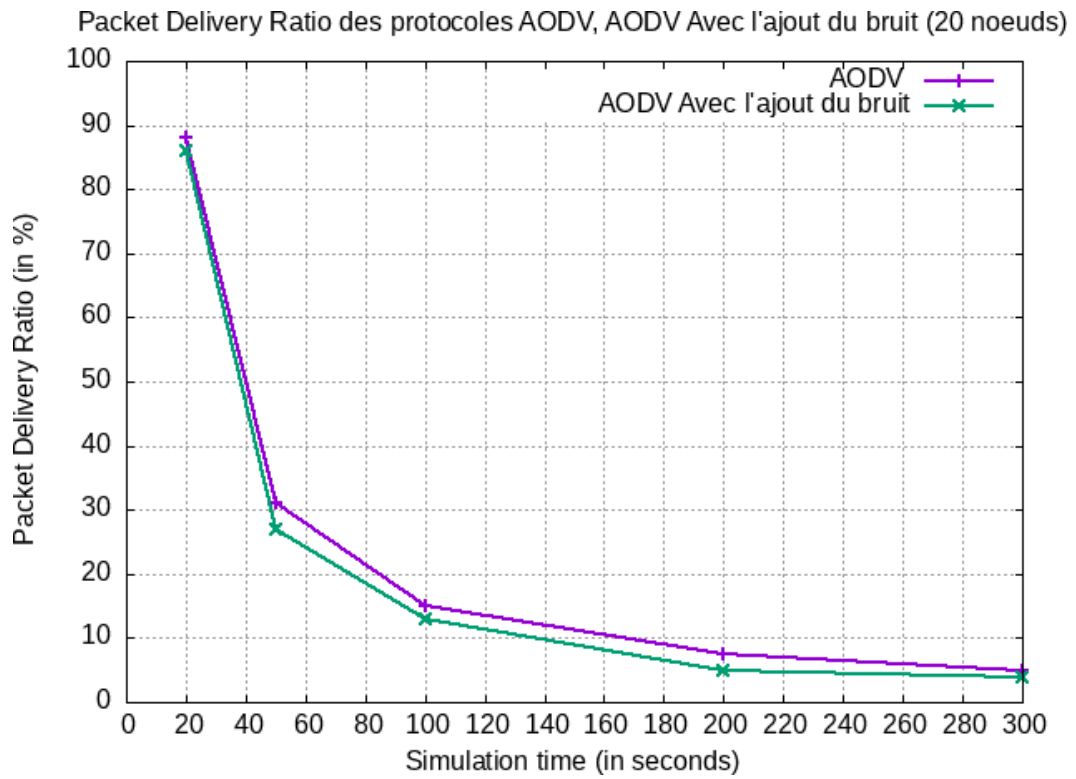


Figure 07 : AODV vs AODV avec bruit en termes de PDR, cas de 20 nœuds.

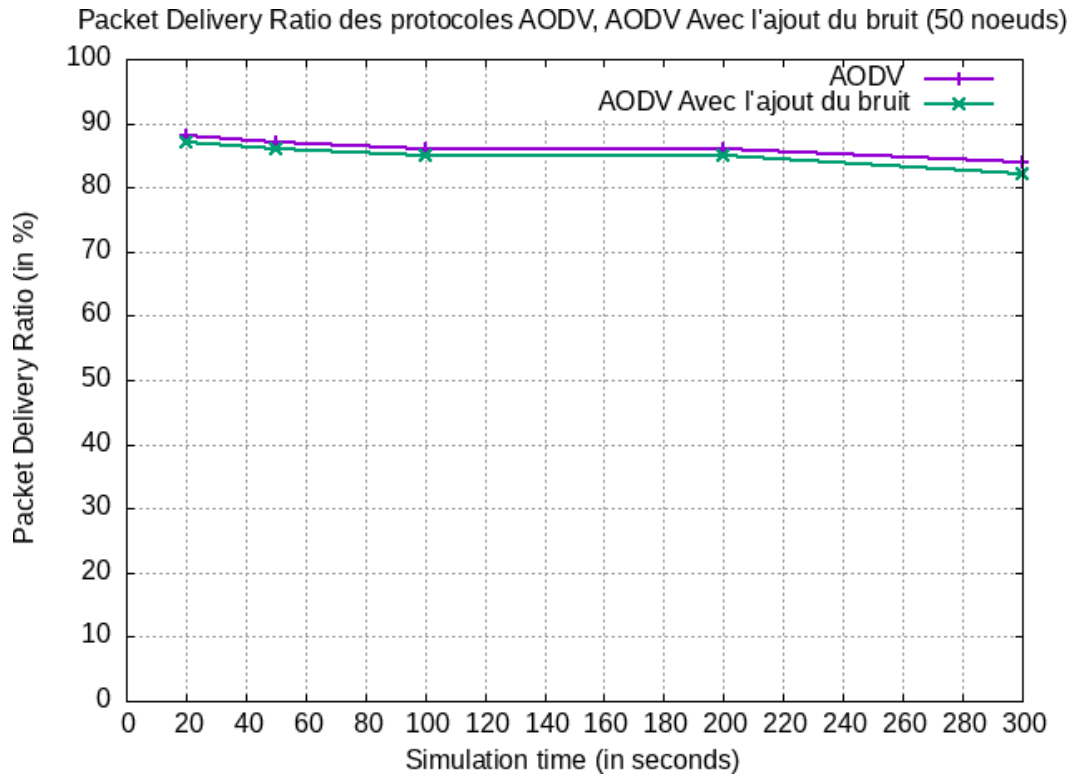


Figure 08 : AODV vs AODV avec bruit en termes de PDR, cas de 50 nœuds.

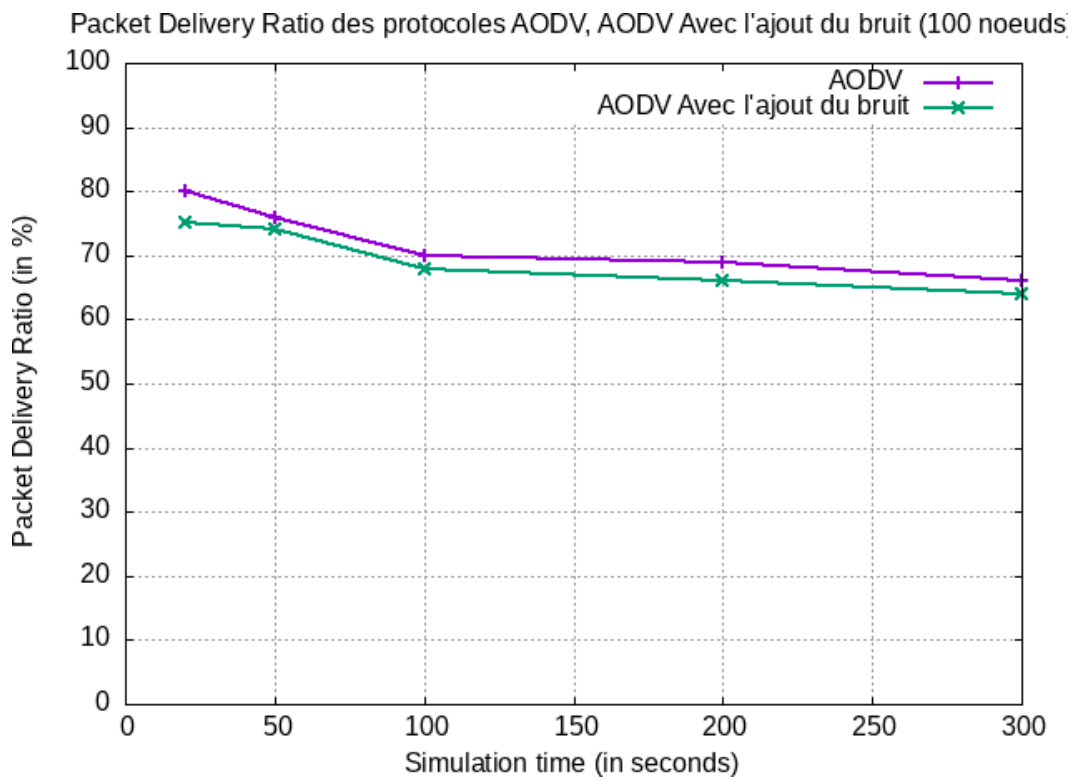


Figure 09 : AODV vs AODV avec bruit en termes de PDR, cas de 100 nœuds.

Dans les figures 01, 02 et 03 où le protocole de routage AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) est utilisé, le bruit peut avoir un impact sur le Packet Delivery Ratio (PDR). Le bruit dans les communications sans fil peut provoquer des interférences et une dégradation de la qualité du signal, entraînant une perte de paquets potentielle ou des erreurs lors de la transmission. Lorsque le bruit affecte le signal reçu, il peut en résulter des paquets corrompus ou affaiblis, ce qui peut entraîner une diminution du taux de livraison des paquets.

Voici comment le bruit peut affecter le PDR dans un FANET basé sur AODV :

Augmentation du taux d'erreur sur les bits (BER) : des niveaux de bruit plus élevés peuvent entraîner un taux d'erreur sur les bits plus élevé, ce qui entraîne une probabilité plus élevée d'erreurs de paquets. Ces erreurs peuvent entraîner une perte de paquets ou la nécessité d'une retransmission, affectant finalement le PDR.

Interférence : le bruit peut également introduire des interférences provenant d'autres sources, telles que des nœuds voisins ou des périphériques externes. Les interférences peuvent perturber la réception des paquets et augmenter les risques de perte de paquets, réduisant ainsi le PDR.

Qualité de la liaison : le bruit peut dégrader la qualité globale de la liaison entre les nœuds. Lorsque la qualité de la liaison tombe en dessous d'un certain seuil, AODV peut initier des processus de découverte de route ou de maintenance de route, ce qui peut introduire une surcharge supplémentaire et potentiellement avoir un impact sur le PDR.

END to END delay:

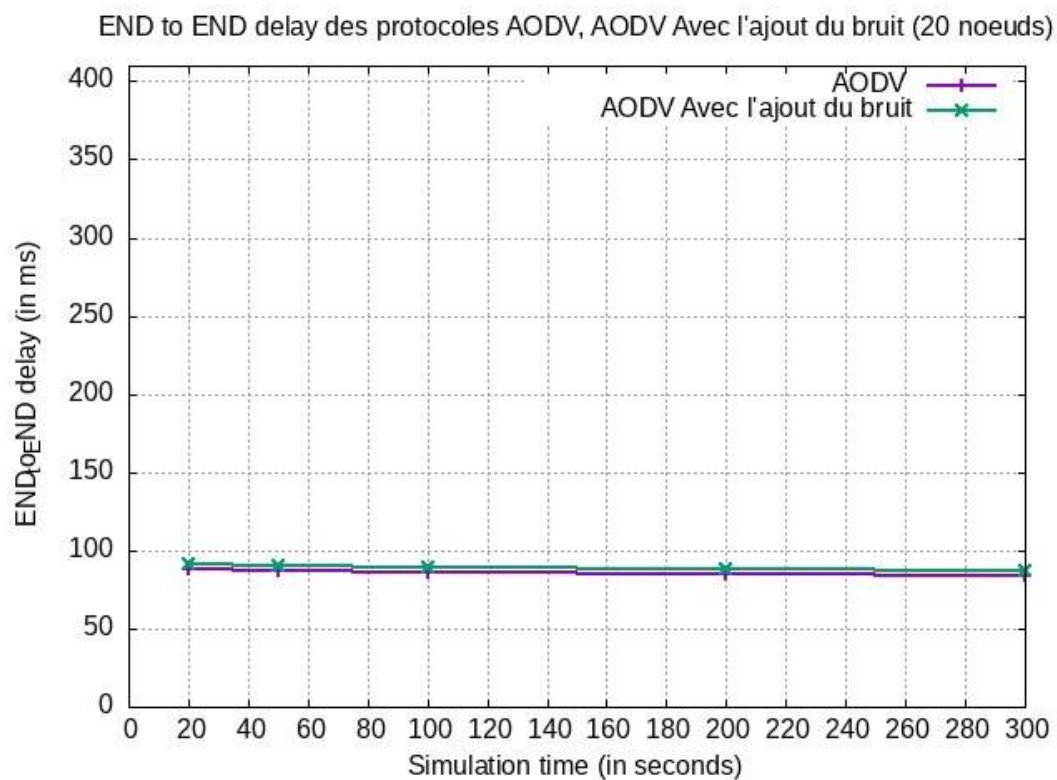


Figure 10 : AODV vs AODV avec bruit en termes d'END to END delay, cas de 20 nœuds.

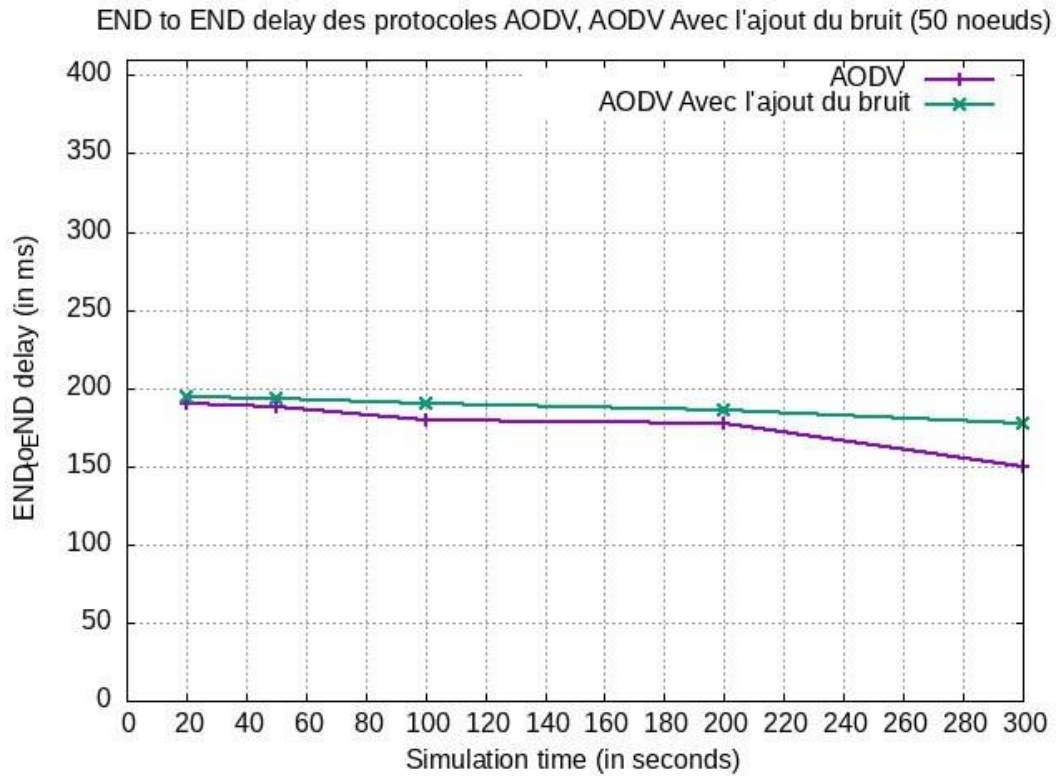


Figure 11 : AODV vs AODV avec bruit en termes d'END to END delay, cas de 50 nœuds.

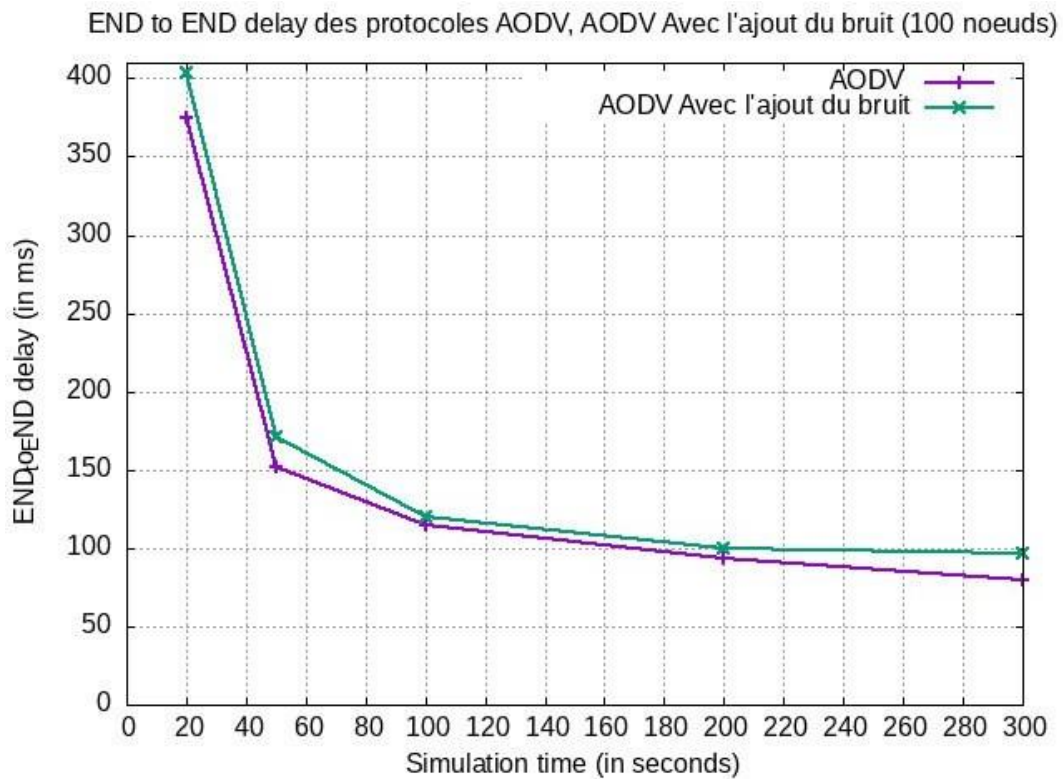


Figure 12 : AODV vs AODV avec bruit en termes d'END to END delay, cas de 100 nœuds.

Comme il est montré dans la figure 04, 05 et 06 Le bruit peut également affecter le délai de bout en bout dans les scénarios que nous avons effectué en utilisant le protocole de routage AODV et cela peut être justifié par la déconnection et les coupures des liaisons entre les nœuds. Le délai de bout en bout est le temps total nécessaire pour qu'un paquet soit transmis du nœud source au nœud de destination, y compris le temps consacré aux délais de transmission, de mise en file d'attente, de propagation et de traitement.

Voici comment le bruit peut avoir un impact sur le délai de bout en bout dans les FANET basés sur AODV :

Retransmissions : en présence de bruit, des erreurs ou des pertes de paquets peuvent se produire, entraînant la nécessité de retransmissions. Les retransmissions introduisent un délai supplémentaire car l'expéditeur doit attendre un accusé de réception ou des délais d'attente avant de renvoyer le paquet. Le délai augmente avec le nombre de retransmissions nécessaires.

Délai de mise en file d'attente : lorsque le bruit affecte la réception des paquets, entraînant une perte de paquets ou des erreurs, les paquets concernés peuvent devoir être retransmis. Cela peut augmenter la longueur de la file d'attente des paquets au niveau des nœuds intermédiaires le long de la route, ce qui entraîne un délai de mise en file d'attente supplémentaire avant que le paquet puisse être transféré.

Retard de découverte/maintenance d'itinéraire : les erreurs induites par le bruit peuvent entraîner des défaillances d'itinéraire, déclenchant des procédures de découverte ou d'entretien d'itinéraire dans AODV. Ces procédures introduisent des retards supplémentaires car le réseau doit trouver et établir de nouvelles routes.

Retard induit par les interférences : le bruit et les interférences peuvent provoquer des collisions ou des interférences avec les transmissions en cours sur le réseau. Cela peut entraîner l'activation de mécanismes de retransmission ou d'interruption, entraînant des retards accrus pour les paquets concernés.

La consommation d'énergie :

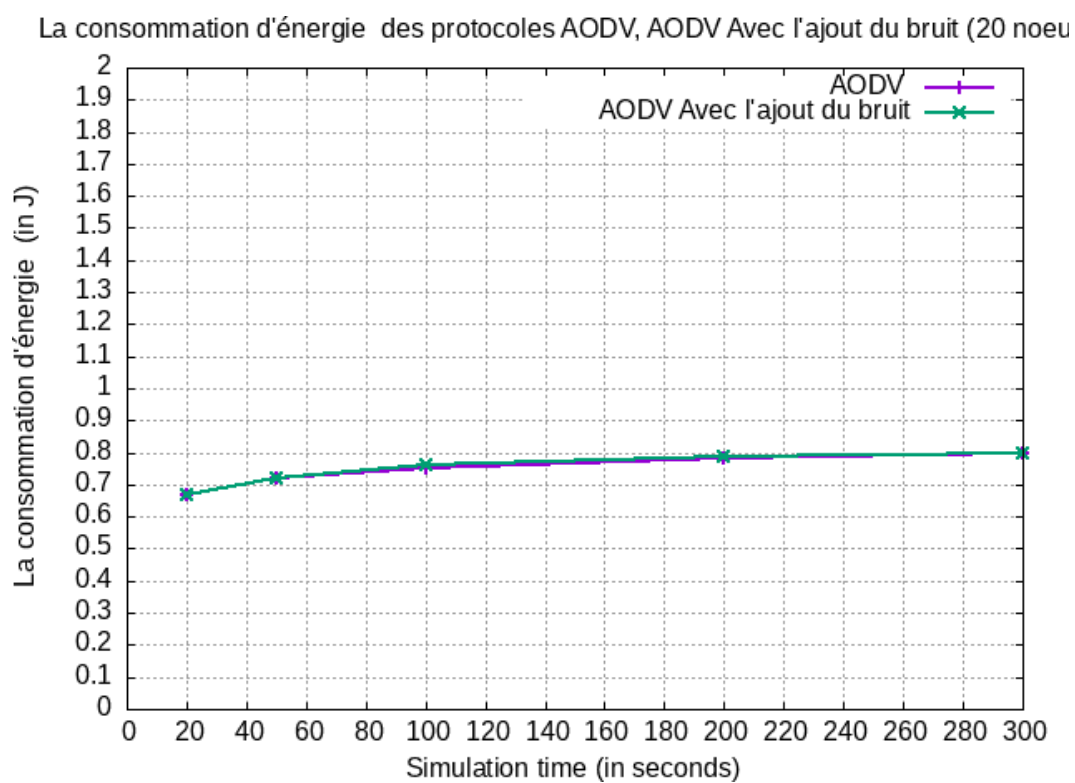


Figure 13 : AODV vs AODV avec bruit en termes de La consommation d'énergie, cas de 20 nœuds.

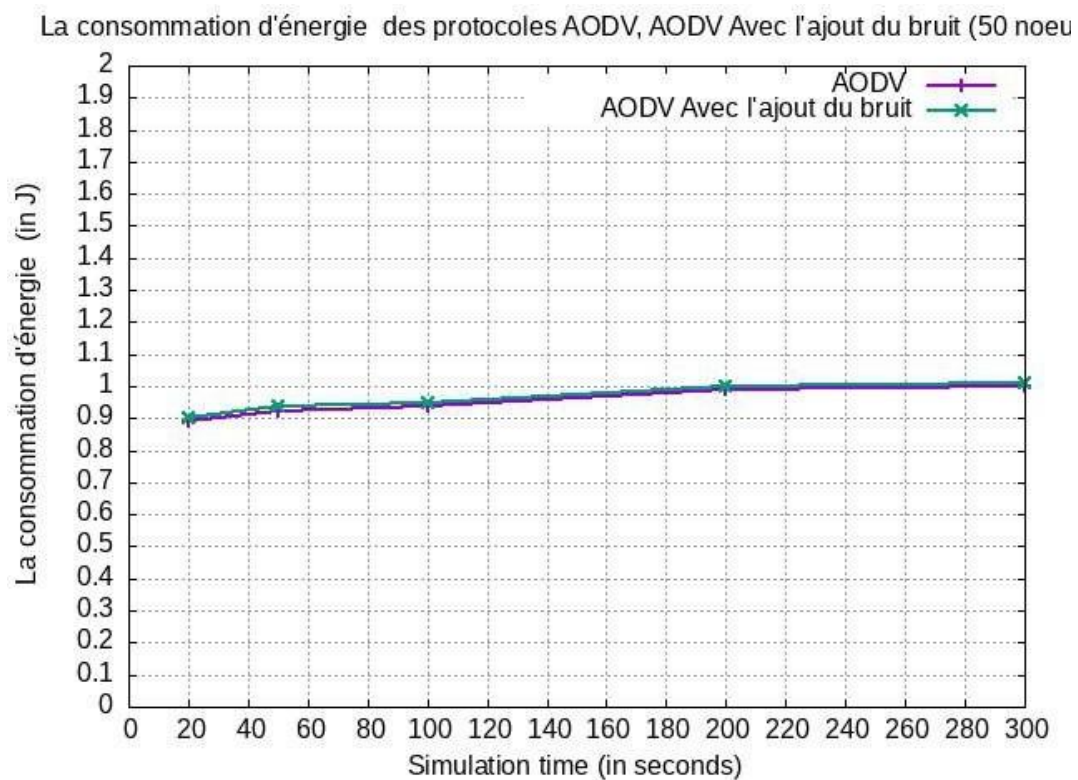


Figure 13 : AODV vs AODV avec bruit en termes de La consommation d'énergie, cas de 50 nœuds.

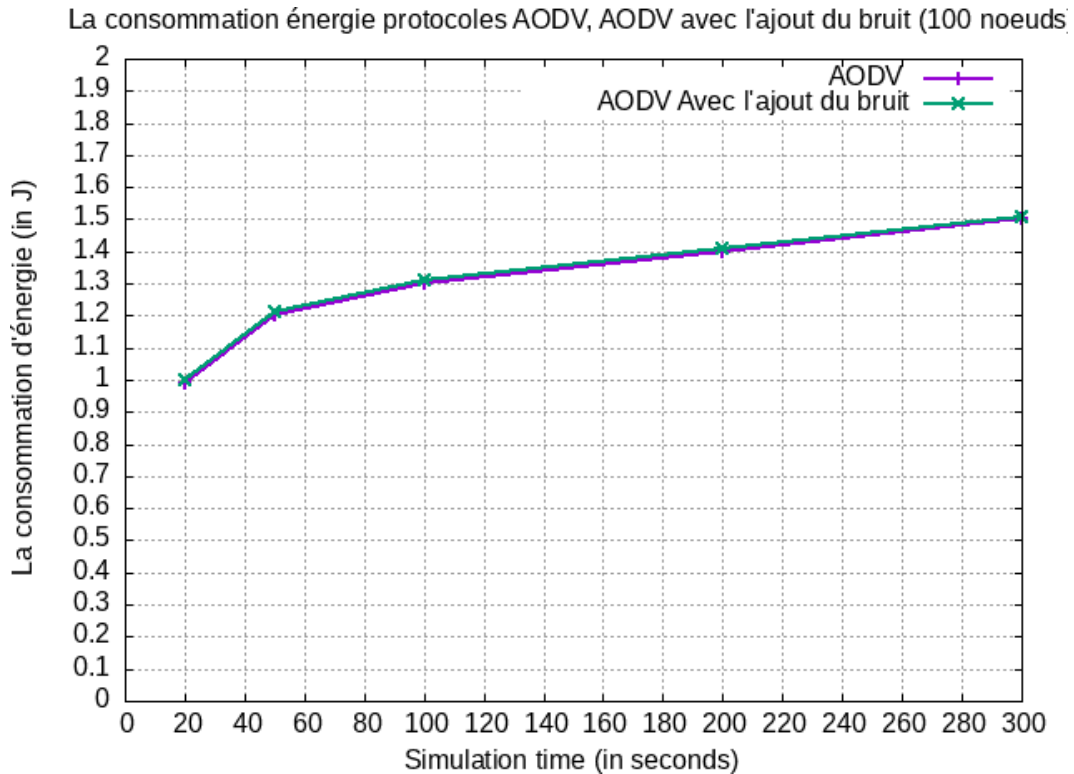


Figure 14 : AODV vs AODV avec bruit en termes de La consommation d'énergie, cas de 100 nœuds.

Dans la figure 07, 08 et 09 Le bruit dans les communications sans fil ce n'est pas un facteur direct qui touche la consommation d'énergie dans les FANET, mais. La principale raison pour laquelle le bruit n'affecte pas directement la consommation d'énergie est que la consommation d'énergie dans les nœuds sans fil est principalement due aux activités de transmission et de réception, plutôt qu'à la présence de bruit lui-même.

Voici quelques raisons pour lesquelles le bruit peut ne pas avoir d'impact direct sur la consommation d'énergie dans les FANET :

Puissance de transmission : dans les communications sans fil, les nœuds ajustent généralement leurs niveaux de puissance de transmission en fonction de la distance au récepteur prévu et de la qualité souhaitée de la liaison. Le bruit, en lui-même, n'affecte pas nécessairement les niveaux de puissance d'émission. Cependant, le bruit peut avoir un impact indirect sur la consommation d'énergie en affectant la qualité du signal reçu, ce qui peut nécessiter une puissance d'émission accrue pour maintenir une qualité de liaison acceptable. Des niveaux de puissance de transmission plus élevés entraînent une consommation d'énergie accrue.

Erreurs de paquets et retransmissions : le bruit peut introduire des erreurs de bits dans les paquets reçus, ce qui nécessite des retransmissions. Les retransmissions consomment de l'énergie supplémentaire en raison du processus de retransmission, y compris le renvoi du paquet et l'exécution d'un traitement supplémentaire. Cependant, il est important de noter que les erreurs de paquets et les retransmissions induites par le bruit sont principalement une conséquence de la dégradation du signal plutôt que du bruit lui-même.

Sensibilité du récepteur : le bruit peut affecter la sensibilité du récepteur, c'est-à-dire la puissance minimale du signal requise pour une réception réussie. Des niveaux de bruit plus élevés peuvent augmenter le seuil de décodage réussi des paquets entrants, entraînant une perte de paquets accrue ou des taux d'erreurs sur les bits plus élevés. Bien que cela puisse avoir un impact indirect sur la consommation d'énergie en raison des retransmissions potentielles, la consommation d'énergie associée à la réception elle-même n'est pas significativement affectée par le bruit seul.

Dans l'ensemble, alors que le bruit peut avoir un impact indirect sur la consommation d'énergie dans les FANET par le biais de facteurs tels que les ajustements de puissance de transmission, les retransmissions et l'écoute au ralenti, son effet direct sur la consommation d'énergie est relativement minime. Les principaux moteurs de la consommation d'énergie dans les nœuds sans fil sont les activités de transmission et de réception réelles, plutôt que la seule présence de bruit.



Conclusion générale

Conclusion générale :

En conclusion générale, nous avons fait une études autours des protocoles de routage ou nous avons implémenter le protocole de routage AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) qui est largement utilisé dans les réseaux ad hoc pour établir des routes dynamiques entre les nœuds. Dans notre travail nous avons étudiier l'influence du bruit sur la réception des données en utilisant AODV. Dans des conditions normales, AODV offre une efficacité raisonnable en termes de Packet Delivery Ratio (PDR) et de délai de bout en bout. Cependant, lorsque le bruit est introduit dans les communications sans fil, il peut avoir un impact significatif sur les performances d'AODV. Le bruit peut entraîner une augmentation du taux d'erreur sur les bits (BER), des interférences, une dégradation de la qualité de la liaison et des retards de transmission. Tous ces facteurs peuvent entraîner une diminution du PDR et une augmentation du délai de bout en bout.

Le bruit peut affecter le PDR en augmentant les erreurs de paquets, en provoquant des interférences et en réduisant la qualité de la liaison. De plus, il peut augmenter le délai de bout en bout en introduisant des retransmissions, des retards de mise en file d'attente et des délais liés à la découverte et à la maintenance des itinéraires. De plus, bien que le bruit n'ait pas d'impact direct sur la consommation d'énergie dans les FANET.

En résumé, AODV peut fournir de bonnes performances dans des conditions normales, mais l'ajout de bruit dans les communications sans fil peut entraîner une dégradation du PDR et du délai de bout en bout. Une gestion efficace du bruit et des interférences est essentielle pour maintenir les performances optimales d'AODV dans un environnement ad hoc.

Références :

- 1- Chitra, P., & Ranganayaki, T. (2020). Une étude sur Manet : applications, enjeux et enjeux. *Journal international de la recherche et de la technologie en ingénierie (IJERT)*, 8 (3), 1-4.
- 2- Arabie, NAM, Arshad, MA, Buja, AG, Fadzil, AFA et Saidi, RM (2019). Protocoles de routage de réseau mobile ad hoc (MANET) : une évaluation des performances. Dans *Actes de la troisième conférence internationale sur l'informatique, les mathématiques et les statistiques (iCMS2017) Transcending Boundaries, Embracing Multidisciplinary Diversities* (pp. 53-59). Springer Singapour.
- 3- Kumar, S., Goyal, M., Goyal, D. et Poonia, RC (2017, décembre). Protocoles de routage et problèmes de sécurité dans MANET. En *2017, conférence internationale sur les technologies infocom et les systèmes sans pilote (tendances et orientations futures) (ICTUS)* (pp. 818-824). IEEE.Ali, A. K. S., & Kulkarni, U. (2015). Characteristics, applications and challenges in mobile Ad-Hoc networks (MANET) : overview. *Wireless Networks*, 3(12), 6-12.
- 4- Ching, TW, Aman, AHM, Azamuddin, WMH et Attarbashi, ZS (2021, janvier). Évaluation des performances du protocole de routage AODV dans MANET à l'aide du simulateur NS-3. En *2021, 3e Conférence internationale sur la cyber-résilience (CRC)* (pp. 1-4). IEEE.Upadhyay, R. K., Kumar, S., & Wasim, J. (2021). Performance of MANET Routing Protocols with Varying Mobility Speed and Group Mobility Model. *Vidyabharati International Interdisciplinary Research Journal*, 28-32.
- 5- Raza, N., Amin, A., Ur, H., & Tariq, M. (2020). Effet de la densité de nœuds sur les performances des protocoles de routage DSR, TORA et OLSR de MANET. *Journal international des applications informatiques*, 177 (39), 34-41. Divya, K., & Srinivasan, B. (2021). Impact de la mobilité des nœuds sur les modèles de protocoles de routage MANET. *Journal international de recherche en ingénierie et sciences (IJRES)*, 9 (7), 24-33.
- 6- Hussain, T., Ali, I., Arif, M., Baseer, S., Pervez, F. et Rehman, ZU (2020). Une étude du protocole de routage à état de liens optimisé en termes de performances sur la base de modèles de mobilité. *Journal de mécanique des milieux continus et des sciences mathématiques*, 15 (9), 306-327.Taterh, S., Meena, Y. et Paliwal, G.

Références bibliographiques

- (2020). Analyse des performances du protocole de routage ad hoc à vecteur de distance à la demande pour les réseaux mobiles ad hoc. *Outils d'application de réseau informatique pour la gestion des performances*
- 7- Ahmad, I., Masood, F. et Khan, AWU (2020). Évaluation des performances de QoS à l'aide des protocoles de routage AODV, TORA et ZRP dans MANET. *Mehran University Research Journal Of Engineering & Technology*, 39 (4), 744-750.
 - 8- Kurniawan, A., Kristalina, P. et Hadi, MZS (2020, septembre). Analyse des performances des protocoles de routage AODV, OLSR et DSDV sur MANET en utilisant NS3. En *2020 International Electronics Symposium (IES)* (pp. 199-206). IEEE.
 - 9- Fadhil, MA, Kamiss, NN et Jasim, AD (2019). Évaluation des performances des protocoles de routage réactifs et proactifs en fonction de la mobilité et de la charge offerte. *Journal international de l'informatique et de la technologie de l'ingénierie (IJCSET)*, 9, 34-38.
 - 10- Taterh, S., Meena, Y. et Paliwal, G. (2020). Analyse des performances du protocole de routage ad hoc à vecteur de distance à la demande pour les réseaux mobiles ad hoc. *Outils d'application de réseau informatique pour la gestion des performances*, 235-245.
 - 11- Ahmad, I., Masood, F. et Khan, AWU (2020). Évaluation des performances de QoS à l'aide des protocoles de routage AODV, TORA et ZRP dans MANET. *Mehran University Research Journal Of Engineering & Technologies*, 39 (4), 744-750.
 - 12- Kurniawan, A., Kristalina, P. et Hadi, MZS (2020, septembre). Analyse des performances des protocoles de routage AODV, OLSR et DSDV sur MANET en utilisant NS3. En *2020 International Electronics Symposium (IES)* (pp. 199-206). IEEE.
 - 13- Fadhil, MA, Kamiss, NN et Jasim, AD (2019). Évaluation des performances des protocoles de routage réactifs et proactifs en fonction de la mobilité et de la charge offerte. *Journal international de l'informatique et de la technologie de l'ingénierie (IJCSET)*, 9, 34-38.
 - 14- Hashim, AA, Farhan, MM et Alshybani, S. (2019, décembre). Évaluation des performances des protocoles de routage OLSR et AODV sur les réseaux mobiles ad-hoc. En *2019, première conférence internationale sur l'informatique et l'ingénierie intelligentes (ICOICE)* (pp. 1-8). IEEE.

Références bibliographiques

- 15- Fotros, M., Rezazadeh, J., & Ameri Sianaki, O. (2020). Une enquête sur les protocoles de routage vanets pour les systèmes de transport intelligents iot. Dans *Web, intelligence artificielle et applications de réseau : Actes des ateliers de la 34e Conférence internationale sur les réseaux d'information avancés et les applications (WAINA-2020)* (pp. 1097-1115). Edition internationale Springer.
- 16- Ksouri, C., Jemili, I., Mosbah, M., & Belghith, A. (2020). Enquête sur les protocoles de routage VANET : classifications, méthodes d'optimisation et nouvelles tendances. Dans *Distributed Computing for Emerging Smart Networks: First International Workshop, DiCES-N 2019, Hammamet, Tunisie, 30 octobre 2019, Revised Selected Papers 1* (pp. 3-22). Edition internationale Springer.
- 17- Baras, S., Saeed, I., Tabaza, HA et Elhadef, M. (2018). Systèmes de transport intelligents basés sur les VANET : un aperçu. *Avancées en informatique et informatique ubiquitaire : CSA-CUTE 17*, 265-273.
- 18- Sheikh, MS et Liang, J. (2019). Une enquête complète sur les services de sécurité VANET dans le système de gestion du trafic. *Communications sans fil et informatique mobile, 2019*, 1-23.
- 19- Raheja, K., Mahajan, M. et Goel, A. (2021, août). Implémentation du protocole GPSR avec différents modèles de mobilité dans le scénario VANET. Dans *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1950, No. 1, p. 012080). Édition IOP.
- 20- Aljabry, IA, & Al-Suhail, GA (2021). Une simulation des protocoles de routage AODV et GPSR dans VANET basée sur les multimétries. *Communication*, 7, 9.
- 21- Kumar, S., Kumar, A., Tyagi, V. et Kumar, A. (2020, octobre). Impact de la densité du réseau sur le protocole AODV dans VANET. En *2020 IEEE 5th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA)* (pp. 559-564). IEEE.
- 22- En ligne Smiri, S. (2020). Analyse des performances des protocoles de routage avec infrastructure d'unités routières dans un réseau ad hoc véhiculaire. *Journal international des réseaux informatiques et des communications (IJCNC) Vol, 12*.
- 23- Pande, S., Sadakale, R. et Ramesh, NVK (2021). Analyse des performances du protocole de routage AODV dans VANET à l'aide de NS-2 et SUMO. Dans *WCNC-2021 : Atelier sur les réseaux informatiques et les communications*.

Références bibliographiques

- 24- Raut, C. M., & Devane, S. R. (2020). Performance evaluation of vehicular ad hoc networks in case of road side unit failure. In *Cognitive Informatics and Soft Computing: Proceeding of CISC 2019* (pp. 295-305). Springer Singapore.
- 25- Soumaya, D., Dardouri, S., & Ridha, B. (2020). Évaluation des performances des protocoles de routage pour les réseaux AD-HOC véhiculaires utilisant NS2/SUMO. Dans *Web, intelligence artificielle et applications de réseau : Actes des ateliers de la 34e Conférence internationale sur les réseaux d'information avancés et les applications (WAINA-2020)* (pp. 352-365). Edition internationale Springer.
- 26- Hossain, M. S., Sen, J., Hossain, M. A., Rahman, M. M., & Abdullah, M. I. (2020). Performance Evaluation of Ad Hoc Network over Moving Vehicles in a City. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 20(G2), 21-25.
- 27- Brahmia, H., & Tolba, C. (2019). Étude de l'impact du fading sur les protocoles AODV, OLSR et DSDV dans NS3. Dans *la troisième conférence internationale sur l'informatique et les systèmes de communication sans fil ICCWSC*
- 28- Naim, Z., & Hossain, MI (2019, janvier). Analyse des performances d'AODV, DSDV et DSR dans le réseau Adhoc véhiculaire (VANET). En *2019 Conférence internationale sur la robotique, les techniques électriques et de traitement du signal (ICREST)* (pp. 17-22). IEEE.
- 29- Mukherjee, A., Keshary, V., Pandya, K., Dey, N. et Satapathy, SC (2018). Réseaux ad hoc volants : une étude complète. Dans *Sciences de l'information et de la décision : Actes de la 6e Conférence internationale sur FICTA*
- 30- Chriki, A., Touati, H., Snoussi, H., & Kamoun, F. (2019). FANET : Communication, modèles de mobilité et problèmes de sécurité. *Réseaux informatiques*, 163, 106877.
- 31- Bujari, A., Calafate, C. T., Cano, J. C., Manzoni, P., Palazzi, C. E., & Ronzani, D. (2017). Flying ad-hoc network application scenarios and mobility models. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(10), 1550147717738192.
- 32- Azevedo, M. I. B., Coutinho, C., Toda, E. M., Carvalho, T. C., & Jailton, J. (2020). Wireless communications challenges to flying ad hoc networks (FANET). *Mobile Computing*, 3.
- 33- Guillen-Perez, A., & Cano, M. D. (2018). Flying ad hoc networks : A new domain for network communications. *Sensors*, 18(10), 3571.

- 34- Jain, N., Payal, A., & Jain, A. (2021). Performance analysis of routing protocols on IPv4 and IPv6 addressing networks. *Journal of Web Engineering*, 1327-1366.
- 35- He, D., Sun, W., & Shi, L. (2020). The novel mobility models based on spiral line for aerial backbone networks. *IEEE Access*, 8, 11297-11314.
- 36- Kaur, P., Singh, A., & Gill, S. S. (2020). RGIM: an integrated approach to improve QoS in AODV, DSR and DSDV routing protocols for FANETS using the chain mobility model. *The Computer Journal*, 63(10), 1500-1512.
- 37- Lin, N., Gao, F., Zhao, L., Al-Dubai, A., & Tan, Z. (2019, August). A 3D smooth random walk mobility model for FANETs. En *2019 IEEE 21st International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 17th International Conference on Smart City; IEEE 5th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)* (pp. 460-467). IEEE.
- 38- Hassan, M. A., Ullah, S. I., Khan, I. U., Hussain Shah, S. B., Salam, A., & Ullah Khan, A. W. (2020, November). Unmanned aerial vehicles routing formation using fisheye state routing for flying ad-hoc networks. In *the 4th international conference on futurs networks and distributed systems (ICFNDS)* (pp. 1-7).
- 39- Kaur, P., Singh, A., & Gill, S. S. (2020). RGIM: an integrated approach to improve QoS in AODV, DSR and DSDV routing protocols for FANETS using the chain mobility model. *The Computer Journal*, 63(10), 1500-1512.
- 40- Liu, Q., Wang, H., Sun, Y., & Han, T. (2020, June). A Multi-UAVs communication network simulation platform using OPNET modeler. In *ICC 2020-2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 1-6). IEEE.
- 41- Yang, H., & Liu, Z. (2019). An optimization routing protocol for FANETs. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1), 1-8.
- 42- Leonov, A. V., & Ryabchevsky, V. O. (2018, November). Performance evaluation of AODV and OLSR routing protocols in relaying networks in organization in mini-UAVs based FANET : Simulation-based study. En *2018 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)* (pp. 1-6). IEEE.
- 43- George, J., PB, S. et Sousa, J.B. (2011). Stratégies de recherche pour plusieurs missions de recherche et de destruction d'UAV. *Journal des systèmes intelligents et robotiques*, 61, 355-367.

- 44- Sun, Z., Wang, P., Vuran, M.C., Al-Rodhaan, M.A., Al-Dhelaan, A.M. et Akyildiz, I.F. (2011). BorderSense : Patrouille frontalière via des réseaux de capteurs sans fil avancés. *Réseaux ad hoc*, 9(3), 468-477.
- 45- Barrado, C., Messeguer, R., López, J., Pastor, E., Santamaria, E., & Royo, P. (2010). Surveillance des incendies de forêt à l'aide d'un réseau mobile mixte air-sol. *Informatique omniprésente IEEE*, 9(4), 24-32.
- 46- De Freitas, E.P., Heimfarth, T., Netto, I.F., Lino, C.E., Pereira, C.E., Ferreira, A.M., ... & Larsson, T. (2010, octobre). Réseau de relais UAV pour prendre en charge la connectivité WSN. Au congrès international sur les télécommunications ultra modernes et les systèmes de contrôle (pp. 309-314). IEEE.
- 47- Jiang, F., & Swindlehurst, A. L. (2010, décembre). Positionnement dynamique des relais UAV pour la liaison montante sol-air. Dans les ateliers IEEE globecom de 2010 (pp. 1766-1770). IEEE.
- 48- Cho, A., Kim, J., Lee, S. et Kee, C. (2011). Estimation du vent et étalonnage de la vitesse anémométrique à l'aide d'un UAV avec un récepteur GPS à antenne unique et un tube de Pitot. *Transactions IEEE sur les systèmes aérospatiaux et électroniques*, 47(1), 109-117.
- 49- Maza, I., Caballero, F., Capitán, J., Martínez-de-Dios, J. R., & Ollero, A. (2011). Résultats expérimentaux dans la coordination multi-UAV pour les applications de gestion des catastrophes et de sécurité civile. *Journal des systèmes intelligents et robotiques*, 61, 563-585.
- 50- Xiang, H., & Tian, L. (2011). Développement d'un système de télédétection agricole à faible coût basé sur un véhicule aérien autonome sans pilote (UAV). *Ingénierie des biosystèmes*, 108(2), 174-190.

Références bibliographiques

- 51- Semsch, E., Jakob, M., Pavlicek, D. et Pechoucek, M. (2009, septembre).
Surveillance autonome par drone dans des environnements urbains complexes. En
2009 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and
Intelligent Agent Technology (Vol. 2, pp. 82-85). IEEE.
- 52- Olsson, P.M., Kvarnström, J., Doherty, P., Burdakov, O. et Holmberg, K. (2010,
décembre). Génération de réseaux de communication UAV pour le contrôle et la
surveillance. En 2010 11e conférence internationale sur la robotique et la vision de
l'automatisation du contrôle (pp. 1070-1077). IEEE.
- 53- Samad, T., Bay, J.S. et Godbole, D. (2007). Systèmes centrés sur le réseau pour les
opérations militaires en terrain urbain : le rôle des drones. Actes de l'IEEE, 95(1), 92-
107.
- 54- Bürkle, A., Segor, F., & Kollmann, M. (2011). Vers des essaims de micro drones
autonomes. Journal des systèmes intelligents et robotiques, 61, 339-353.
- 55- Chaumette, S., Laplace, R., Mazel, C., Mirault, R., Dunand, A., Lecoutre, Y., &
Perbet, J. N. (2011, novembre). Carus, une application de redéploiement opérationnel
pour une nuée de drones autonomes : Premier retour d'expérience. En 2011-
MILCOM 2011 Military Communications Conference (pp. 2003-2010). IEEE.
- 56- Ben-Asher, Y., Feldman, S., Gurfil, P. et Feldman, M. (2008). Décision et contrôle
distribués pour les drones coopératifs utilisant une communication ad hoc.
Transactions IEEE sur la technologie des systèmes de contrôle, 16(3), 511-516.
- 57- DJEDIAI, M., & Bellahcene, K. A. M. A. *Evaluation des Performances des Différents
Protocoles de Routage des Réseaux AD HOC pour les Réseaux Multi-UAV (FANET) Etude
Comparative des Protocoles DSDV et AODV* (Doctoral dissertation, UNIVERSITY OF
KASDI MERBAH OUARGLA).

Références bibliographiques

- 58- CHERADID, A. *Etude comparative du protocole de routage basé sur la position pour Les réseaux multi-UAV (FANET) (GPSR, DSDV)* (Doctoral dissertation, UNIVERSITY OF KASDI MERBAH OUARGLA).
- 59- Framework, I. N. E. T. (2015). Inet Framework OMNeT++ Web Site.
- 60- Varga, A. (2011). OMNeT++ User Guide. *Disponible : <http://www.omnetpp.org/documentation>*.
- 61- Ben Bezziane, Mohamed, et al. "RCVC: RSU-Aided Cluster-Based Vehicular Clouds Architecture for Urban Areas." *Electronics* 10.2 (2021): 193.
- 62- Bezziane, Mohamed Ben, et al. "FR-VC: A novel approach to finding resources in the vehicular cloud." *Innovative and Intelligent Technology-Based Services For Smart Environments-Smart Sensing and Artificial Intelligence*. CRC Press, 2021. 149-155.