



Université Kasdi Merbah Ouargla  
Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication  
Département d'Informatique et des Technologies de  
L'Information

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de  
Master en Informatique

**Spécialité : Informatique industriel**

**Offre et consommation des services dans les réseaux  
FANETs**

**Présenté par :**

- Asma Bensaid
- Sara Zoumri

**Le membre de jury:**

- |                        |            |                       |
|------------------------|------------|-----------------------|
| • Mohamed Ben bezziane | Enseignant | Université de Ouargla |
| • Wassila Korichi      | Enseignant | Université de Ouargla |
| • Abdelatif Cheradid   | Enseignant | Université de Ouargla |

L'année universitaire 2022 – 2023

## **Remerciements**

*Je tiens de remercier*

*Tout d'abord, **Dieu** qui m'a aidé dans mon parcours d'études et a ouvert toutes les portes fermées, facilitant ainsi les difficultés rencontrées, et je remercie le Tout-Puissant de m'avoir donné le courage, la force et la volonté de mener à bien ce travail.*

*Un grand merci à ma famille, en particulier à mon cher père qui a toujours été là pour moi, me soutenant tout au long de ma vie, et à ma chère maman pour son amour et sa confiance en moi.*

*Je remercie mon encadreur, le **Dr. Mohamed Ben Bezziane**, pour la qualité exceptionnelle de son encadrement, sa patience, son rigueur et sa disponibilité constante à notre égard.*

*À mes chères amies qui ont toujours été présentes et fidèles, je leur suis reconnaissante pour leur aide et leur soutien*

*A mon coupe de cœur mon chat Ringo à ne rien faire que me rende  
Heureuse*

*Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation  
De ce mémoire.*

*Merci énormément*

*Asma.*

## **Remerciements**

*Merci et louanges à Dieu Tout-Puissant tout d'abord pour la bénédiction de la patience et de la capacité d'accomplir ce travail. Que Dieu soit loué pour ces bénédictions.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude envers mon estimé professeur, **le Dr. Ben Bezziane Mohamed**, qui a généreusement supervisé cette recherche et m'a apporté tout son soutien, ses conseils et ses évaluations pour mener à bien ce travail.*

*Je remercie également mes chers parents, en particulier mon père qui est mon idole, pour son dur labeur, ses efforts et son soutien financier et moral. À ma mère, qui est un ange sur terre, elle est le pont qui me guide vers le ciel.*

*Mes remerciements vont aussi à mes frères, sœurs et amis qui m'ont soutenu et encouragé à poursuivre le chemin de la connaissance et de la réussite, et à achever mes études universitaires.*

*Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude envers tous les enseignants qui nous ont guidés tout au long de nos études dans département d'informatique.*

*Sara.*

# Résumé

Au cours des dernières années, il y a eu d'importants progrès dans les domaines de la microélectronique, des communications et des systèmes de petits capteurs. Ces avancées ont conduit à l'émergence d'un nouveau type de réseau sans fil appelé FANET (Flying Ad hoc Network), qui est une variante des réseaux MANET (Mobile Ad hoc Network) où les nœuds sont des UAV (Unmanned Aerial Vehicles), plus communément appelés drones. Ces drones sont capables de communiquer entre eux et de partager des ressources et des services.

Dans ce contexte, l'offre de services, ou le cloud UAV, permet aux drones d'accéder à une multitude de services tels que l'accès à Internet, l'information, le stockage et le calcul en tant que service, et bien d'autres encore. Cependant, en raison de la grande mobilité aléatoire des drones, il est essentiel que les drones clients puissent découvrir les fournisseurs de services qui peuvent le satisfaire avant de pouvoir consommer les services nécessaires.

Dans ce travail, notre attention se porte sur l'offre de données et la consommation de services dans les réseaux FANET. Pour cela, nous proposons une nouvelle approche appelée SC-SF, qui vise à améliorer la découverte et la sélection des meilleurs services pour les drones clients en temps réel. Nous avons également réalisé des expérimentations pour évaluer les performances de notre proposition en utilisant la plateforme de simulation OMNeT++.

**Mots clés :** FANET (Flying Ad hoc Network), Le cloud UAV, L'offre de services, Consommer, Drone, SC-SF, OMNeT++.

# Abstrat

In recent years, significant progress has been made in the fields of microelectronics, communications, and small sensor systems. These advancements have led to the emergence of a new type of wireless network called FANET (Flying Ad hoc Network), which is a variant of Mobile Ad hoc Networks (MANETs) where the nodes are Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), more commonly known as drones. These drones are capable of communicating with each other and sharing resources and services.

In this context, the service offering, or UAV cloud, enables drones to access a multitude of services such as internet access, information, storage, and computing as a service, among others. However, due to the high random mobility of drones, it is essential for client drones to discover service providers that can fulfill their needs before they can consume the required services.

In this work, our focus is on data provisioning and service consumption in FANETs. To address this, we propose a new approach called SC-SF, which aims to improve the real-time discovery and selection of the best services for client drones. We have also conducted experiments to evaluate the performance of our proposal using the OMNeT++ simulation platform.

**Keywords:** FANET (Flying Ad hoc Network), Le cloud UAV, offering, consuming,,Drone,,SC-SF, OMNeT++.

## ملخص

في السنوات الأخيرة، شهدنا تقدماً كبيراً في مجالات الالكترونيات الدقيقة والاتصالات وأنظمة الاستشعار الصغيرة. وقد أدت هذه التقدّمات إلى ظهور نوع جديد من الشبكات اللاسلكية يُسمى FANET (الشبكة المخصصة للمركبات الطائرة) وهو نوع من شبكات MANET (الشبكة المخصصة للجوال) حيث تكون العقد هي طائرات بدون طيار (UAV) أو ما يعرف بالدرونز. وتتمكّن هذه الطائرات من التواصل مع بعضها البعض ومشاركة الموارد و الخدمات.

في هذا السياق، يُمكن للدرونز الوصول إلى مجموعة متنوعة من الخدمات من خلال السحابة الالكترونية للطائرات (UAV Cloud) مثل الوصول إلى الإنترنت والمعلومات والتخزين والحساب كخدمة وغيرها الكثير. ومع ذلك، نظرًا للتنقل العشوائي الكبير للدرونز، فإنه من الضروري أن يتمكّن العملاء من اكتشاف مزودي الخدمات الذين يمكنهم تلبية احتياجاتهم قبل أن يتمكّنوا من استهلاك الخدمات اللازمة.

في هذا العمل، يتركز اهتمامنا على عرض البيانات واستهلاك الخدمات في شبكات FANET لذا، نقترح نهجاً جديداً يُسمى SC-SF يهدف إلى تحسين اكتشاف واختيار أفضل الخدمات للعملاء الدرونز في الوقت الحقيقي. ولقد قمنا أيضاً بإجراء تجارب لتقييم أداء اقتراحنا باستخدام منصة المحاكاة OMNeT++ .

**الكلمات المفتاحية:** الشبكات المخصصة للمركبات الطائرة, الدرونز, السحابة الالكترونية

# Table de matière

---

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralité sur les FANETs</b>	
<b>I.1 Introduction</b>	<b>3</b>
<b>I.2 Flying Ad-Hoc Networks (FANET)</b>	<b>3</b>
<b>I.3 Les caractéristiques des FANET</b>	<b>4</b>
I.3.1 Topologie du réseau	4
I.3.3 Modèle de mobilité	4
I.3.4 Densité de nœuds	4
I.3.5 Modèle de propagation radio	5
I.3.6 Localisation	5
I.3.7 Consommation d'énergie et durée de vie	5
<b>I.4 Les applications des FANETs</b>	<b>5</b>
I.4.1 Application militaire	5
I.4.2 Application scientifique	6
I.4.3 Application commerciale	6
I.4.4 Application personnelle	6
I.4.5 Application humanitaire	6
<b>I.5 Architecture des FANETs</b>	<b>6</b>
I.5.1 FANET centralisé	7
I.5.2 FANET décentralisé	7
I.5.3 FANET hybride	8
I.5.4 FANET hiérarchique	9
<b>I.6 FANET basé sur cluster</b>	<b>9</b>
I.6.1 FANET basé sur le réseau mobile ad hoc (MANET)	10
<b>I.7 Les composants des FANET</b>	<b>11</b>
<b>I.8 Modèle de mobilité</b>	<b>12</b>

I.8.1	Point de passage aléatoire (RWP)	13
I.8.2	Modèle à base de phéromones (PMB)	14
I.8.3	Circulaire semi-aléatoire (CSA)	15
I.8.4	Gauss Markov (GM)	16
I.8.5	Plan de mission (MPB)	16
I.8.6	Le modèle de Paparazzi (PPRZM)	17
I.8.7	Le modèle de Masse (MM)	18
I.9	Conclusion	18
 <b>Chapitre II : Revue de littérature</b>		
II.1	Introuction	19
II.2	Les services dans le cloud computing	20
II.2.1	Définition du cloud computing	<b>20</b>
II.2.2	Cloud computing véhiculaire :	<b>20</b>
II.2.2.1	Les types des services dans le Cloud Computing :	21
II.3	Sélection des services	21
II.3.1	Schéma neutre pour sélection de service	<b>22</b>
II.3.1.1	Exemple	23
II.3.2	Théorie des jeux	<b>23</b>
II.3.2.1	Exemples de jeux	24
II.3.2.2	Types de jeux	26
II.3.2.3	Équilibre de Nash	26
II.4	Offre et consommation dans les réseaux FANET SC-SF	27
II.4.1	Paquets échangés dans SC-SF	<b>28</b>
II.5	La sélection des services par la théorie des jeux dans SC-SF	30
II.5.1	Matrice des gains	<b>31</b>
II.5.2	Combinaison de stratégies (Offre & Consommer)	<b>32</b>
II.5.2.1	Combinaison de stratégies (Offre & Ne pas consommer)	33
II.5.2.2	Combinaison de stratégies (ne pas offrir et consommer)	33
II.5.2.3	Combinaison de stratégies (Ne pas offrir et Ne pas consommer)	33



II.5.3 Équilibre de Nash	<b>34</b>
II.6 Conclusion	<b>35</b>
<b>Chapitre III : Analyse expérimental</b>	
III.1 Introduction	<b>36</b>
III.2.1 Génération de réseaux	37
III.2.2 Génération de trafic	37
III.2.3 OMNeT++	38
III.2.4 INET	39
III.2.5 AVENS	39
III.3 Configuration de la simulation	<b>40</b>
III.3.1 Configuration globale de SC-SF	40
III.3.2 Les paramètres de simulation	<b>44</b>
III.3.3 Résultats et discussion	45
III.4 Conclusion	50
<b>Conclusion générale</b>	<b>51</b>
<b>La bibliothèque</b>	<b>53</b>

## Liste des figures

---

<b>Figure 01</b> : Flying Ad hoc Network (FANET)	<b>4</b>
<b>Figure 02</b> : FANET architecture centralisé	<b>8</b>
<b>Figure 03</b> : FANET architecture décentralisé	<b>9</b>
<b>Figure 04</b> : Architecture hybride	<b>9</b>
<b>Figure 05</b> : Architecture hiérarchique	<b>10</b>
<b>Figure 06</b> : Architecture basé sur cluster	<b>11</b>
<b>Figure 07</b> : Architecture basée sur MANET	<b>11</b>
<b>Figure 08</b> : Le modèle de point de passage aléatoire	<b>13</b>
<b>Figure 09</b> : Le modèle à base de phéromones	<b>14</b>
<b>Figure 10</b> : Le modèle de circulaire semi-aléatoire	<b>15</b>
<b>Figure 11</b> : Le modèle de Gauss Markov	<b>15</b>
<b>Figure 12</b> : Le modèle de plan de mission	<b>16</b>
<b>Figure 13</b> : Le modèle de Papparazzi	<b>17</b>
<b>Figure 14</b> : Le modèle de Masse	<b>18</b>
<b>Figure 15</b> : l'architecture de SC-SF	<b>27</b>
<b>Figure 16</b> : Diagramme de SC-SF	<b>29</b>
<b>Figure 17</b> : le module réseau "Scenario"	<b>41</b>
<b>Figure 18</b> : Convergence de probabilité q dans la période de temps Off-Peak	<b>46</b>
<b>Figure 19</b> : Convergence de probabilité q dans la période de temps Mid-Peak	<b>46</b>
<b>Figure 20</b> : Convergence de probabilité q dans la période de temps On-Peak	<b>47</b>
<b>Figure 21</b> : Convergence de probabilité p dans la période de temps Off-Peak	<b>47</b>
<b>Figure 22</b> : Convergence de probabilité p dans la période de temps Mid-Peak	<b>48</b>
<b>Figure 23</b> : Convergence de probabilité p dans la période de temps On-Peak	<b>48</b>

## Liste des Tableaux

---

<b>Tableau 01:</b> Le dilemme du prisonnier	<b>24</b>
<b>Tableau 02 :</b> La chasse au cerf	<b>25</b>
<b>Tableau 03 :</b> Feux de signalisation	<b>25</b>
<b>Tableau 04 :</b> Matrice des gains	<b>32</b>
<b>Tableau 05 :</b> Paramètre de simulation	<b>44</b>
<b>Tableau 06 :</b> Les tops quatre fournisseurs sélectionnés	<b>45</b>

## Liste d'abréviation

---

<b>Fanet</b>	Flying Ad-Hoc Network
<b>Manet</b>	Mobile Ad-Hoc Network
<b>Vanet</b>	Vehicular Ad-Hoc Network
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity.
<b>LTE</b>	Long-Term EvolutionPoint de passage aléatoire (RWP
<b>PMB</b>	Modèle à base de phéromones
<b>CSA</b>	Circulaire semi-aléatoire
<b>GM</b>	Gauss Markov
<b>MPB</b>	Plan de mission
<b>PPRZM</b>	Le modèle de Papparazzi
<b>MM</b>	modèle de Masse
<b>VCC</b>	Vehicular Cloud Computing
<b>UC</b>	UAV Cloud
<b>SC-SF</b>	Supply and Consumption of Services in Fanet
<b>MCC</b>	computing, le cloud mobile
<b>RaaS</b>	réseau en tant que Service
<b>SaaS</b>	Stockage en tant que Service
<b>DaaS</b>	Données en tant que Service
<b>QoS</b>	qualité de service
<b>TG</b>	La théorie des jeux
<b>NE</b>	l'équilibre de Nash
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>RGP</b>	paquet d'enregistrement
<b>RQP</b>	paquet de demande
<b>TT</b>	temps d'attente

<b>RP</b>	paquet de réponse
<b>RSP</b>	paquet de réponse de service
<b>NACK</b>	réception négatif
<b>ID</b>	identification
<b>PD</b>	Provider drone
<b>CD</b>	Consumer drone
<b>qET</b>	Qualitty of execution time
<b>qEE</b>	Qualitty of execution energy
<b>qEP</b>	Qualitty of execution Price
<b>qQOS</b>	Qualitty of quality of service
<b>Omnet</b>	Network Simulation Framework
<b>Inet</b>	Internet Extension for Omnet
<b>Avens</b>	Aerial vehicle network simulator
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network

---

# Introduction générale

---

## **Nous avons des yeux dans le ciel...**

Au fil des années, l'humanité a cherché à étendre sa surveillance et sa collecte d'informations sur une vaste étendue de terre, y compris dans l'espace, ainsi qu'à faciliter la communication dans des endroits difficiles d'accès et dans des conditions météorologiques extrêmes. Cette évolution a présenté de nombreux défis pour la technologie moderne, qui a dû faire preuve d'innovation et de créativité. Cela a conduit à l'émergence de nouvelles technologies telles que les réseaux sans fil et les réseaux ad-hoc.

Les réseaux ad-hoc sont des réseaux sans fil décentralisés composés de deux nœuds ou plus qui peuvent communiquer entre eux. En termes de mobilité, ils sont appelés MANETs (réseaux ad-hoc mobiles). Dans un MANET, les nœuds sont libres de se déplacer de manière aléatoire, car la topologie du réseau change fréquemment. Chaque nœud joue le rôle d'un routeur en transférant le trafic vers d'autres nœuds spécifiés dans le réseau. Lorsqu'il s'agit de véhicules, ces réseaux sont appelés VANETs (réseaux ad-hoc véhiculaires). Les VANETs sont considérés comme un type spécifique de MANET avec une mobilité particulière. Dans les VANETs, les véhicules se déplacent selon un schéma prédéfini basé sur des routes, des bâtiments et des intersections [1].

Cependant, ces approches ne suffisent pas, car il existe des zones difficiles d'accès et des situations catastrophiques où la topologie du réseau change

rapidement et de manière imprévisible. C'est pourquoi a été introduit le concept de FANET en 2013 [2].

Les FANETs (réseaux ad-hoc aériens) sont une forme de MANET dans laquelle les nœuds sont des véhicules aériens sans pilote (UAV). Depuis leur apparition, ils ont été utilisés dans divers domaines, tels que les applications militaires et civiles ...etc.

Dans le réseau FANET, il existe deux modes de communication entre les nœuds : UAV vers UAV et UAV vers une station de base. Pour transmettre des informations d'un nœud à un autre au sein de ce réseau, il est essentiel d'assurer un routage rapide et efficace des informations.

Dans ce contexte, notre principal objectif de recherche est d'étudier et de modéliser les techniques de l'offre et de consommation de services dans les réseaux FANETs.

---

Chapitre

**I**

**Généralité sur les FANET**

---



## I.1 Introduction

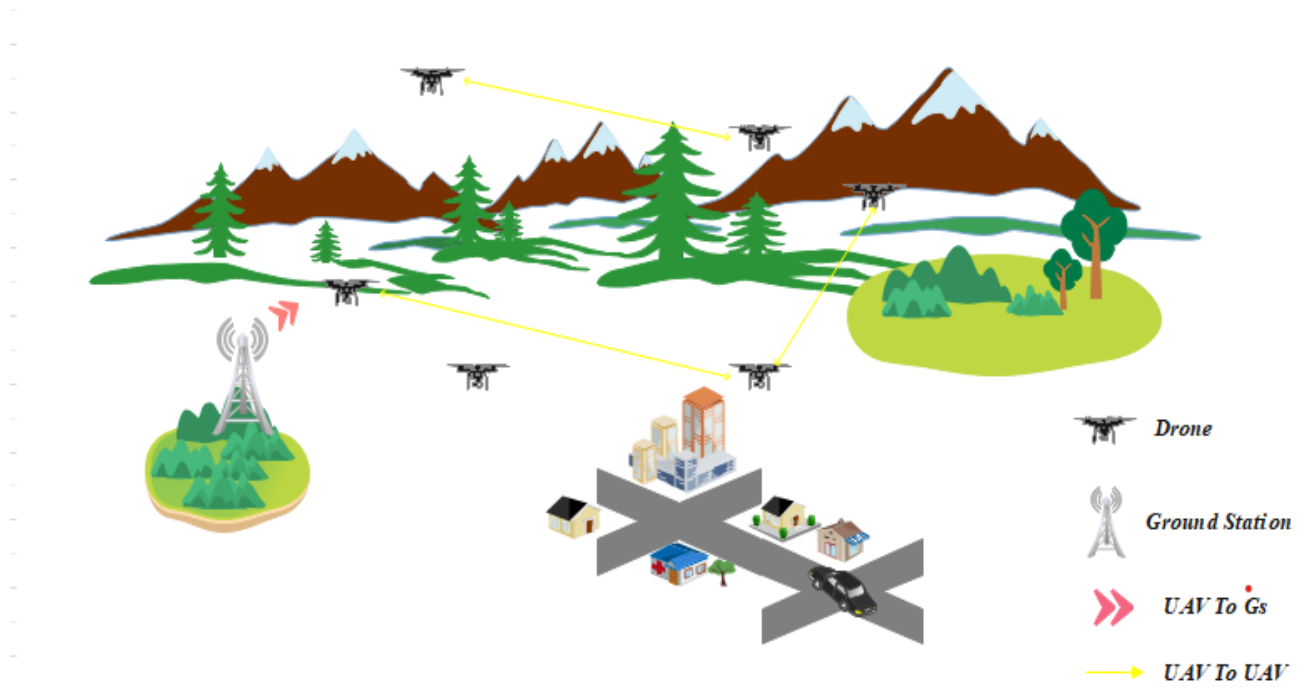
Ces dernières années, des avancements remarquables ont été achevé dans les technologies des réseaux sans fils en particulier les réseaux ad-hoc. Pour des raisons de couvrir autant de surface possible de terre et même dans l'espace. L'apparition des systèmes airien sans pilote (Unmanned Aerial Vehicles UAV) spécialement Flying Ad hoc Networks (FANET) ont parmi de surveiller, collecte d'informations, communiquer dans des endroits très difficiles et ainsi dans les pires conditions météorologiques. Cependant, des défis en termes d'échange d'information, de communication et de service ont été soulevés. Pour cela, des nouvelles architectures et protocoles sont apparues pour résoudre ce genre de problème.

Dans ce chapitre, nous allons présenter un aperçu général sur l'utilité et l'importance des réseaux FANET. Là où nous avons commencé notre travail avec une définition en indiquant les éventuelles caractéristiques, applications et environnement de déploiement...etc.

## I.2 Flying Ad-Hoc Networks (FANET):

Flying Ad-Hoc Networks (FANET) est une structure de sous-ensemble de réseau ad hoc, qui peut être défini comme une nouvelle et spéciale forme de mobile Network Ad hoc (MANET). Indéniablement, FANET a été développé en faisant combiner la notion des réseaux MANET avec la technologie des UAVs. FANET fait référence à un réseau auto-organisé et auto-configurable de drones qui communiquent entre eux pour atteindre un objectif commun. Les FANET s'appuient sur des technologies de communication sans fil telles que Wi-Fi, Zigbee ou LTE pour établir des liens de communication entre les drones. Un drone est défini comme un avion sans pilote qui peut naviguer de manière autonome en utilisant un système embarqué ou à l'aide d'un système de commande à distance [3]. Dans le réseau des FANETs il existe deux modes de

communication tels que la communication entre les drones (UAV to UAV) et la communication entre les drones et la base de station (UAV to GROUND STATION). De nombreuses circonstances ont été mentionnées dans la littérature, telles qu'une mobilité élevée, une évolutivité pour différentes applications et une robustesse pour faire face à d'éventuelles pannes de communication. Cependant, il reste plusieurs contraintes telles que le temps de vol limité des drones et les protocoles de routage capables de supporter la dynamique du réseau. Il est noté que la transmission des informations, d'une manière efficace et rapide, d'un nœud à un autre sur un réseau FANET nécessite un ensemble de mécanismes et de protocoles.



**Figure 01:** Flying Ad hoc Network (FANET)

### I.3 Les caractéristiques des FANET :

Les FANET ont des caractéristiques uniques qui sont déférentes de celles des MANET, et des VANET les principales caractéristiques sont les suivantes :

#### I.3.1 Topologie du réseau :

Les FANETs est un réseau distribué peer to peer , ses nœuds volent dans le0 ciel avec des mouvements libres et mobilité très élèves , c'est ce conduit a le changement fréquent et aléatoire de **topologie** de réseau Lorsqu'un UAV échoue, les liaisons dans lesquelles l'UAV a été impliqué échouent également, ce qui entraîne une mise à jour de la topologie [4]

#### I.3.2 Mobilité des nœuds :

La mobilité des nœuds peut être considérée comme un élément distinctif entre les réseaux FANET et d'autres types de réseaux sans fil. Un UAV a une vitesse de 30 à 460 km/h [2]. Les vitesses **les plus élevées** peuvent provoquer plusieurs problèmes de communication, pannes de liaison et plusieurs problèmes de routage.

#### I.3.3 Modèle de mobilité :

Dans la plupart modèle de mobilité, le plan de vol est prédéterminé est à chaque changement il y a un nouveau calcul pour la carte. Les modèles doivent être dynamique et chaque modèle à ses avantage et inconvénients.

#### I.3.4 Densité de nœuds :

La densité des nœuds d'un réseau peut signifier comme le nombre des nœuds dans certaines zones. Ainsi que les nœuds de FANET sont des drones volent dans le ciel, et sont séparés dans une grande distance c'est ce conséquence une densité très **faible**.

### **I.3.5 Modèle de propagation radio :**

Les différences entre FANET et les autres environnements d'exploitation de réseau ad hoc affectent les caractéristiques de propagation radio. Les nœuds MANET et VANET ont près du sol et, dans de nombreux cas, il n'y a aucune ligne directe entre l'émetteur et le destinataire. Par conséquent, les signaux radio sont principalement affectés par la structure géographique du terrain. Toutefois, les nœuds FANET peuvent être éloignés du sol et dans la plupart des cas, il existe une ligne directe entre les UAV [2].

### **I.3.6 Localisation :**

A cause de degré élevé de mobilité des drones et le changement fréquent de lieu, il est nécessaire de mise à jour de localisation, donc chaque drone doit être équipé par un GPS et une unité de mesure initiale.

### **I.3.7 Consommation d'énergie et durée de vie :**

Pour tout le réseau la durée de vie parmi les enjeux critique qui consiste les dispositifs informatiques qui sont alimentés par la batterie. Dans les FANETs ses nœuds alimentent le matériel de communication avec leur source d'énergie donc il n'y a pas un problème de source d'alimentation tels que les MANETs.

## **I.4 Les applications des FANETs :**

Les FANETs ont un large intervalle des domaines d'utilisation surtout dans environnements dangereux, dans ce papier on peut diviser dans cinq classes :

### **I.4.1 Application militaire :**

- Observation des flottes ennemies.
- Désignation et suivi des cibles.
- Élimination des bombes qui ne sont pas explosées.

- Leurre de missiles par émission de signatures artificielles.

#### **I.4.2 Application scientifique :**

- Lutte contre l'incendie et détection d'incendie forestier.
- Études de pollution et surveillance.
- Recherche de pétrole et de gaz.
- Sauvetage en mer.

#### **I.4.3 Application commerciale :**

- Livraison de colis et les commandes.
- Vidéos et photos marketing.

#### **I.4.4 Application personnelle :**

- Prendre les photos et les vidéos.
- Jouer.
- Agriculture ...etc

#### **I.4.5 Application humanitaire :**

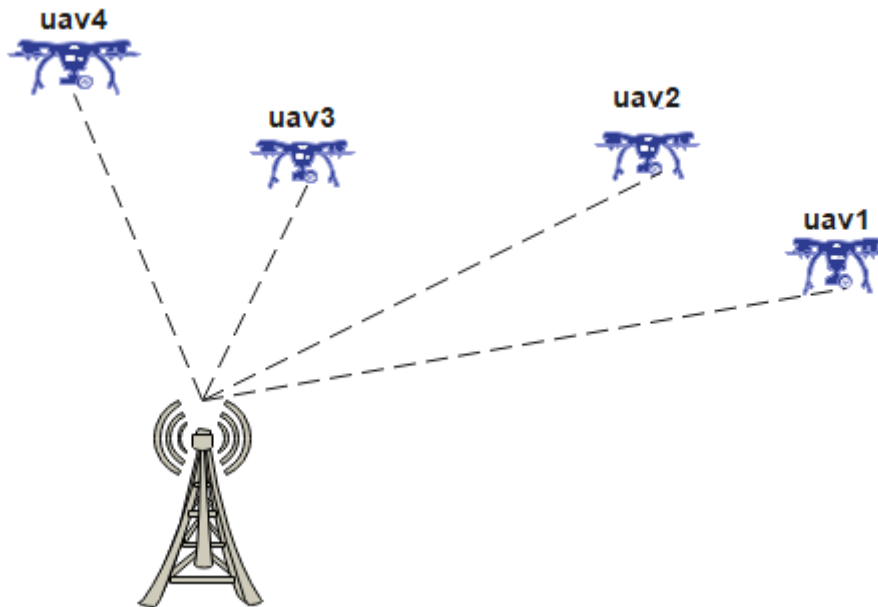
- Chercher et sauver les victimes.
- Surveillance.
- Créer des cartographies de crise

### **I.5 Architecture des FANETs :**

Dans l'architecture FANET, les UAV rendent la communication en temps réel de manière ad hoc qui peut abolir la nécessité de l'infrastructure et corrige la contrainte de la gamme de communication .Plusieurs architectures de communication différentes sont proposées pour multi-UAV systèmes lesquels :

### I.5.1 FANET centralisé :

Dans cette architecture, un nœud central, tel qu'une station de base ou un concentrateur, est responsable de la gestion du réseau et du routage du trafic entre les nœuds.



*Figure02:* FANET architecture centralisé

### I.5.2 FANET décentralisé :

Cette architecture permet aux nœuds de communiquer directement entre eux, sans dépendre d'un nœud central. Les nœuds eux-mêmes sont responsables du routage du trafic et de la maintenance du réseau.

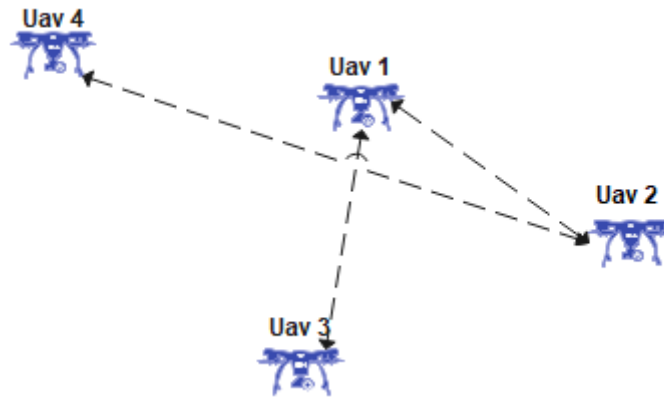


Figure 03: FANET architecture décentralisé

### I.5.3 FANET hybride :

Une combinaison d'architectures centralisées et décentralisées, où certains nœuds agissent comme des hubs tandis que d'autres communiquent directement entre eux.

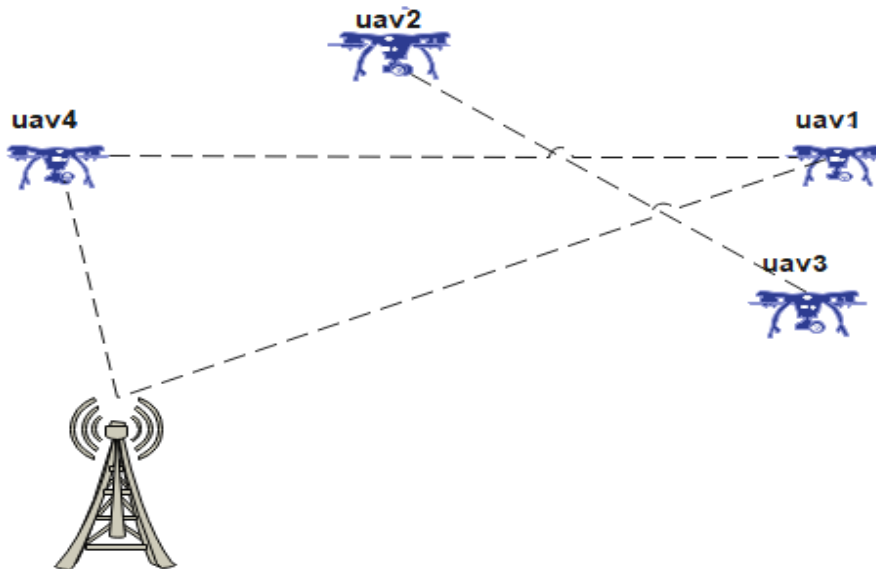
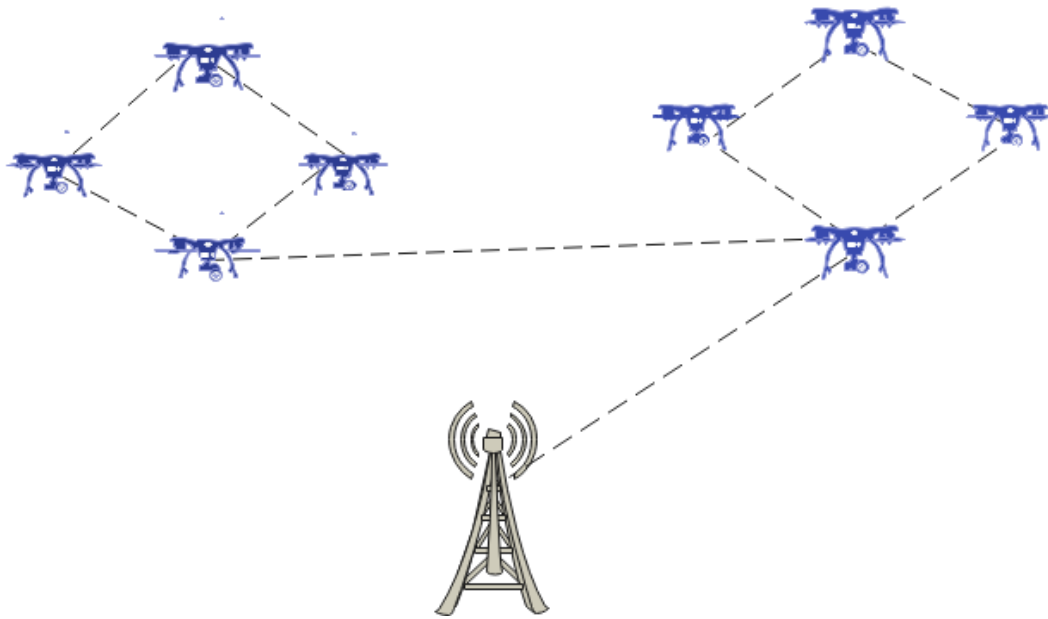


Figure04: Architecture hybride

### I.5.4 FANET hiérarchique :

Dans cette architecture, le réseau est organisé en plusieurs couches, chaque couche ayant un rôle et un niveau de responsabilité différents. La couche supérieure agit en tant que coordinateur, tandis que les couches inférieures gèrent la transmission et le routage des données.

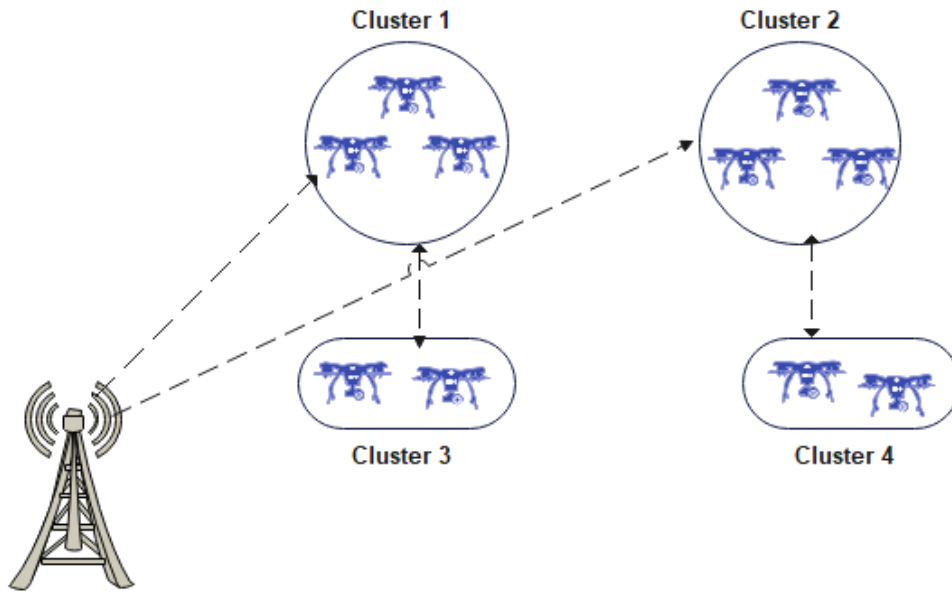


*Figure 05:* Architecture hiérarchique

### I.6 FANET basé sur cluster :

Dans cette architecture, le réseau est divisé en clusters, chaque cluster ayant un nœud principal responsable de la gestion du cluster et du routage du trafic entre les nœuds.

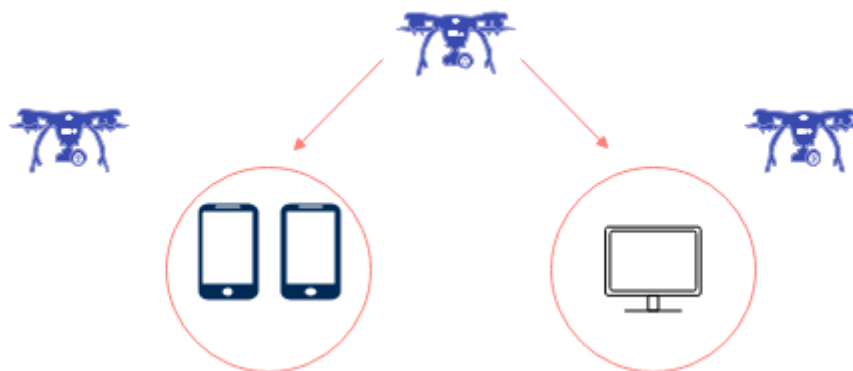




*Figure 06:* Architecture basé sur cluster

### I.6.1 FANET basé sur le réseau mobile ad hoc (MANET) :

Dans cette architecture, le FANET est construit au-dessus d'un MANET standard, en utilisant les protocoles de routage et de mise en réseau existants pour la communication entre les nœuds.



*Figure 07:* Architecture basée sur MANET

Le choix de l'architecture dépend de divers facteurs, notamment la taille et la complexité du réseau, les exigences de l'application et les ressources disponibles sur les nœuds.

## I.7 Les composants des FANET :

FANET (Flying Ad Hoc Networks) est un type de réseau ad hoc mobile spécialement conçu pour les véhicules aériens sans pilote (UAV) ou les drones. Il fait référence à un réseau auto-organisé et auto-configurable de drones qui communiquent entre eux pour atteindre un objectif commun. Les FANET s'appuient sur des technologies de communication sans fil telles que Wi-Fi, Zigbee ou LTE pour établir des liens de communication entre les drones. L'architecture des FANET comprend généralement les composants suivants :

- **Nœuds** : Les UAV ou drones qui agissent comme des nœuds de réseau et peuvent transmettre et recevoir des données.
- **Protocoles de routage** : algorithmes utilisés pour déterminer le chemin de transmission des données entre les nœuds.
- **Modèles de mobilité** : modèles qui décrivent le mouvement des nœuds dans le réseau.
- **Gestion du réseau** : mécanismes d'organisation et de maintenance du réseau, y compris la sécurité, la qualité de service et la gestion de l'énergie.
- **Couche de liaison de données** : couche responsable de la transmission fiable des données entre les nœuds.
- **Couche physique** : couche chargée de fournir un canal de communication entre les nœuds.

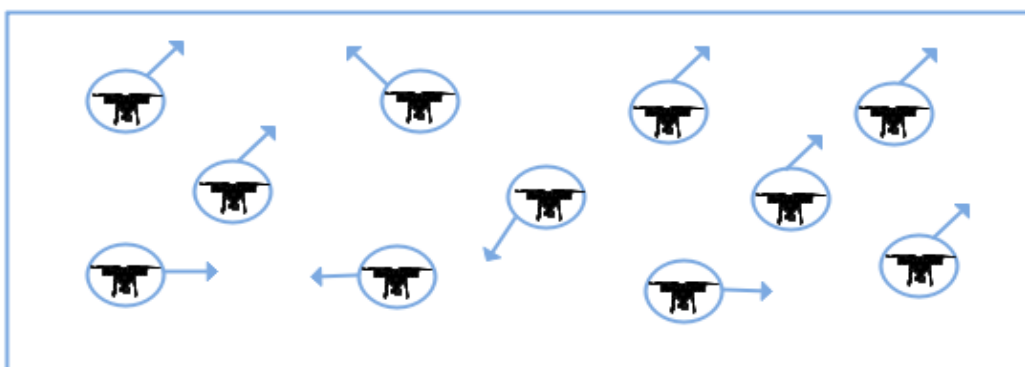
Dans l'ensemble, l'architecture des FANET doit être hautement adaptative et efficace, compte tenu de la nature dynamique et décentralisée des réseaux de drones.

## I.8 Modèle de mobilité :

Modèles de mobilité Représentent le mouvement du nœud et comment leur emplacement, leur vitesse et leur accélération changent au fil du temps. Des modèles de mobilité sont utilisés pour créer un environnement de simulation réaliste. Il a montré comment la performance d'un ad hoc protocole peut varier considérablement en utilisant différents modèles de mobilité [5]. Dans le réseau de FANET on peut définir ces modèles :

### I.8.1 Point de passage aléatoire (RWP) :

Le modèle de mobilité aléatoire des points de cheminement utilisé par Johnson [6] et Lee [7], dans ce modèle les UAVs déplace de maniéré aléatoire et de vitesse de pause aléatoire aussi dans une zone donné il sont libres de se déplacer dans la simulation indépendamment de tout autre UAV de la zone .et quand le temps de pause expire , les drones sélectionnent un emplacement et autre vitesse aléatoire . RWP c'est le modèle le plus utilisé dans les scénarios de simulation mais ne peut pas convenir au réseau FANET.

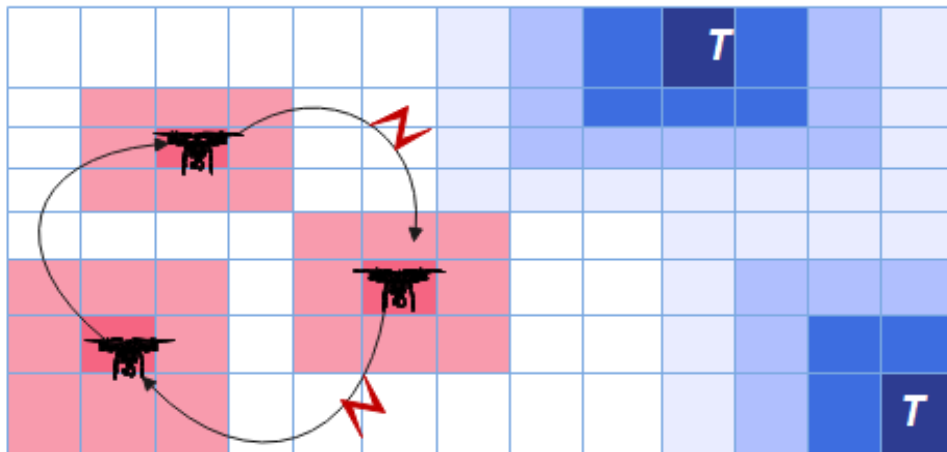


*Figure08:*Le modèle de point de passage aléatoire

### I.8.2 Modèle à base de phéromones (PMB):

Le modèle de phéromone prend en compte la zone spécifiée pour chaque UAV et les phéromones guident les développements des UAV. Chaque drone marque la zone qu'il vérifie sur le guide, et transmet le guide de phéromones à

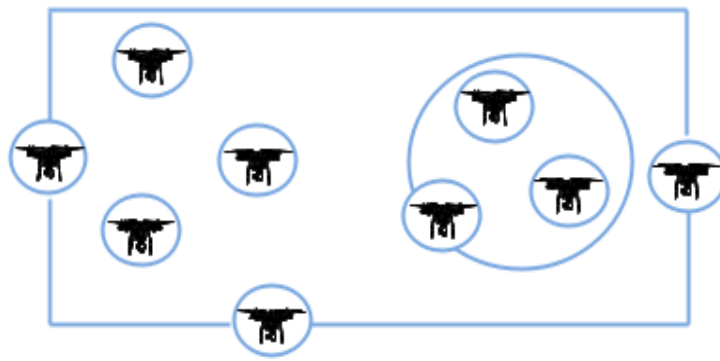
d'autres drones. Afin d'élargir la portée, les drones s'inclinent vers le développement à travers la zone avec qui ne découvre pas encore [8]. C'était démontré que l'utilisation d'un MANET ordinaire le modèle de polyvalence peut entraîner une manière indésirable d'obtenir prêt pour des applications UAV utiles, il a également été surveillé que le modèle irrégulier est étonnamment simple ; toutefois il invite le résultat commun [9].



*Figure 09:*Le modèle à base de phéromones

### **I.8.3 Circulaire semi-aléatoire (CSA) :**

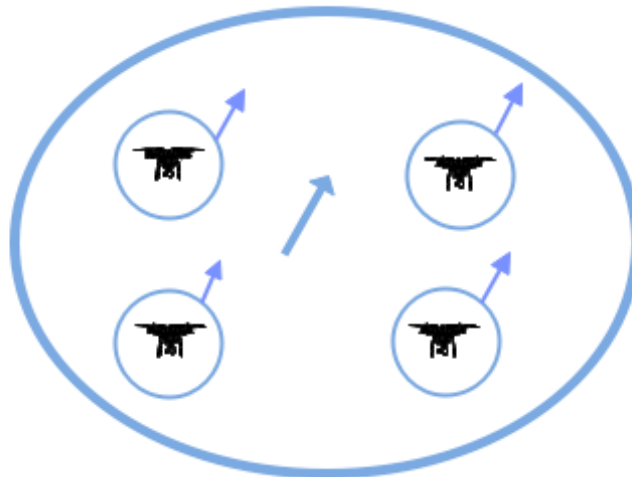
Ce modèle est développé pour les UAV dont les mouvements sont incurvés [10] dans ce modèle à chaque instant chaque UAV chercher à un différent endroit où il a choisi l'objet souhaité dans un espace carré.



*Figure 10:* Le modèle de circulaire semi-aléatoire

#### **I.8.4 Gauss Markov (GM) :**

Ce modèle de mobilité utilise un paramétré de réglage pour modifier le degré de variable aléatoire. Chaque nœud est défini initialement sur une vitesse et une direction spécifique ; puis chaque période de temps, le mouvement actualisera la direction et la vitesse des UAVs. La vitesse et la direction sont calculées en fonction de la dernière de position.

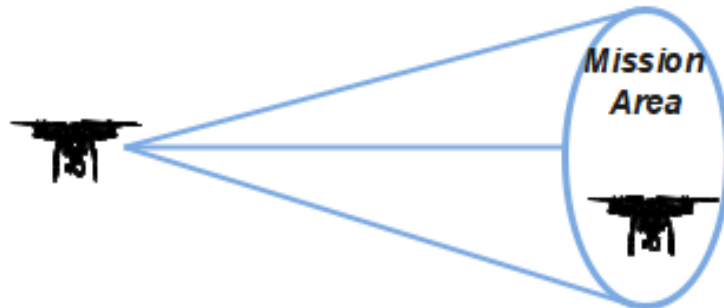


*Figure 11:* Le modèle de Gauss Markov

#### **I.8.5 Plan de mission (MPB) :**

Dans le modèle MPB, les informations de plan de vol sont prédéfinies et l'avion peut poursuivre avec ce plan. Cela implique que l'avion se déplace le

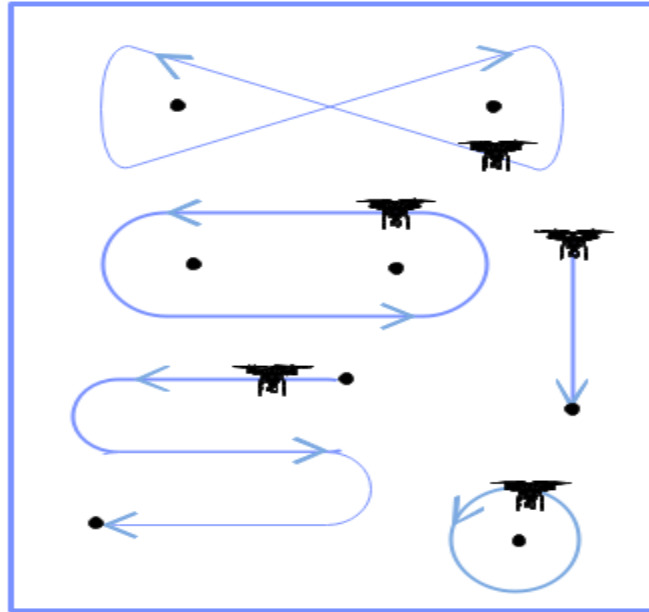
long du trajet prévu chaque fois qu'il peut atteindre la zone de la mission et que les données de localisation potentielle de la cible sont accessibles [5].



*Figure 12:*Le modèle de plan de mission

### **I.8.6 Le modèle de Paparazzi (PPRZM) :**

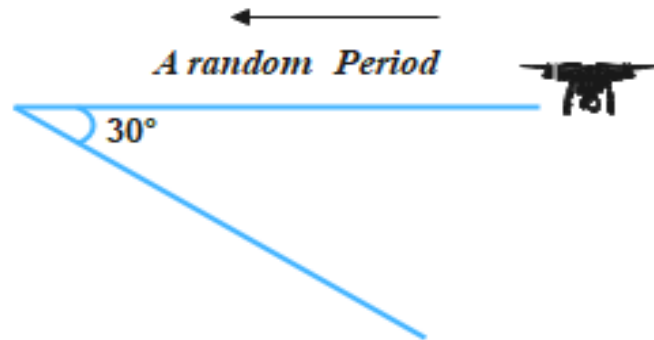
Le modèle de mobilité Paparazzi est un modèle de mobilité stochastique qui limite le comportement des paparazzi UAV basé sur la machine d'état PPRZM se comporte plus près des traces réelles que RWP.PPRZM peut être utilisé pour évaluer toute communication protocole dans le cadre d'un essaim de drones collaboratifs car il propose un scénario de mouvement réaliste [10].



*Figure 13:*Le modèle de Paparazzi

### **I.8.7 Le modèle de Masse (MM) :**

Dans ce modèle le drone se déplace le long d'une ligne droite pendant un certain temps avant d'effectuer un virage. Cette période mobile est un nombre aléatoire, distribué normalement avec une moyenne de 5 secondes et un écart type de 0,1 seconde. Lorsqu'il effectue un virage, la nouvelle direction (angle) dans laquelle il se déplacera est un nombre aléatoire normalement distribué avec une moyenne égale à la direction précédente et un écart type de 30 degrés. Sa vitesse est également un nombre aléatoire normalement distribué, avec une moyenne contrôlée, allant de 0,1 à 0,45 (unité/sec), et un écart type de 0,01 (unité/sec). Un nouveau nombre aléatoire de ce type est choisi comme sa vitesse lorsqu'il effectue un tour. Ce modèle de mobilité est destiné à modéliser le mouvement des nœuds au cours duquel les nœuds ont un élan, et donc ne démarrent pas, ne s'arrêtent pas ou ne tournent pas brusquement [11].



*Figure 14* : Le modèle de Masse

## I.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré le domaine de Flying Ad-Hoc Networks (FANETs) en nous concentrant sur leur définition, leurs caractéristiques et en présentant leurs domaines d'application. De plus, nous avons fourni une description détaillée des différentes architectures des FANETs, en mettant en évidence leurs composantes, ainsi que des modèles de mobilité qui existent dans la littérature.



---

Chapitre

**II**

**Revue de littérature**

---

## II.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons examiné le concept de FANET, un type de réseau ad hoc dans lequel les nœuds sont des véhicules aériens sans pilote (UAV) capables de se déplacer de manière aléatoire ou organisée. Nous avons souligné que ces nœuds communiquent entre eux dans le but d'atteindre un objectif commun. Dans ce contexte, l'offre et la consommation de services jouent un rôle crucial dans la gestion des ressources, notamment en ce qui concerne l'exécution des applications, les échanges d'informations et le partage de la bande passante, entre eux. Afin de fournir ces services de manière sécurisée et en temps réel, les UAV, considérés comme des fournisseurs, ont vu émerger le concept de Vehicular Cloud Computing (VCC).

Le Vehicular Cloud Computing est une notion qui combine les capacités des UAV et du cloud computing pour offrir des services avancés aux UAV clients. Il s'agit d'un modèle dans lequel les UAV fournissent des ressources informatiques, de stockage et de communication aux autres UAV, créant ainsi un environnement de cloud computing distribué et mobile. Cette approche vise à exploiter les capacités de calcul et de communication des UAV pour améliorer les performances et la fiabilité des applications déployées dans un réseau FANET.

L'intégration du VCC dans un réseau FANET présente de nombreux défis techniques et conceptuels. Tout d'abord, il est essentiel de développer des mécanismes de gestion des ressources efficaces pour garantir une allocation optimale des ressources aux UAV clients. Cela implique de prendre en compte les contraintes spécifiques liées aux UAV, telles que leurs capacités de calcul limitées et leurs contraintes énergétiques. Par ailleurs, la qualité de service varie d'un UAV fournisseur à un autre [01] ; ainsi, les véhicules clients tentent de sélectionner les services les plus appropriés

Dans ce chapitre, nous présentons une nouvelle approche, appelée SC-SF, qui vise à améliorer la découverte et la sélection des meilleurs services pour les drones clients dans un environnement de cloud pour UAV (Vehicular Cloud Computing). Inspirée par la notion du VCC, notre approche SC-SF fonctionne en temps réel et repose sur l'utilisation d'un modèle mathématique connu sous le nom de théorie des jeux. L'objectif de SC-SF est de permettre aux drones clients de trouver les services les plus adaptés à leurs besoins parmi ceux disponibles sur le cloud UAV. Pour atteindre cet objectif, nous utilisons la théorie des jeux pour modéliser et résoudre les problèmes de sélection de services. La théorie des jeux offre un cadre mathématique permettant d'analyser les interactions stratégiques entre les différents acteurs impliqués, dans notre cas, les drones clients et les fournisseurs de services.

## **II.2 Les services dans le cloud computing**

### **II.2.1 Définition du cloud computing**

Le cloud computing est un paradigme pour l'hébergement et la fourniture de services [12]; ses fournisseurs de services vendent des ressources informatiques sous forme de centres de données, de serveurs, de stockage de données, de réseaux et d'applications via Internet. Le cloud computing est flexible, évolutif et mesurable pour les clients ; ils paient pour ce qu'ils utilisent. Avec l'avènement de l'edge computing, le cloud mobile (MCC) est une technologie prometteuse qui peut résoudre relativement les problèmes inhérents qui se sont posés avec le nombre croissant d'appareils connectés dans le cloud computing conventionnel [13].

### **II.2.2 Cloud computing véhiculaire :**

Le cloud computing véhiculaire (VCC) est apparu comme un nouveau paradigme expansif du cloud computing, exploitant les ressources sous-utilisées

du véhicule telles que la connectivité réseau, la puissance de calcul, la capacité de stockage et de détection, qui peuvent être partagées.

Ces ressources sont représentées par des capacités telles que le traitement, la communication, le stockage et la détection. Certains véhicules agissent en tant que fournisseurs, tandis que d'autres agissent en tant que consommateur [14].

### **II.2.2.1 Les types des services dans le Cloud Computing :**

Il est noté qu'un fournisseur peut proposer ses ressources aux véhicules voisins selon troistypes fondamentaux de services [15] avec leurs attributs tels que :

**(1) réseau en tant que Service (RaaS) :** il s'agit de fournir une bande passante supplémentaire en termes de internet à d'autres moyennant une certaine redevance.

**(2) Stockage en tant que Service (SaaS) :** il s'agit d'offrir un stockage pour un certain montant.

**(3) Données en tant que Service (DaaS) :** cela signifie offrir des données telles que des livres, des plans de ville et des vidéos fichiers pour une certaine taxe ainsi [1].

## **II.3 Sélection des services**

La sélection des services dans les réseaux de Flaying Ad-hoc (FANET fait référence au processus de choix et de gestion des services proposés aux drones connectés via des infrastructures cloud. Dans les FANET, les drones sont équipés de technologies de communication qui leur permettent d'échanger des informations entre eux. L'utilisation du cloud dans les FANET permet d'étendre les capacités de calcul, de stockage et de traitement des données en exploitant les ressources disponibles dans le cloud.

Lorsqu'il s'agit de la sélection des services dans les FANET, plusieurs aspects doivent être pris en compte :

- **Types de services** : Les services disponibles dans les FANET peuvent être variés, tels que l'internet Stockage, Les données telles que des livres etc. Il est important de définir les types de services recherchés pour répondre aux besoins des utilisateurs et améliorer l'expérience de conduite.
- **Fiabilité et disponibilité** : Les services sélectionnés doivent être fiables et disponibles pour les drones connectés. Cela implique de choisir des fournisseurs de services réputés, avec une infrastructure robuste et une disponibilité élevée pour assurer la continuité des services.
- **Latence et temps de réponse** : Les services doivent être capables de répondre rapidement aux requêtes des drones connectés. Une faible latence est cruciale pour les services en temps réel. Il est donc important de sélectionner des services avec des temps de réponse acceptables.
- **Coûts** : Il est essentiel de prendre en compte les coûts associés à l'utilisation des services pour sélectionner ceux qui correspondent au budget et aux besoins spécifiques.
- **Sécurité et confidentialité** : Les services utilisés dans les FANET doivent garantir la sécurité et la confidentialité des données échangées. Il est crucial de choisir des fournisseurs de services qui mettent en place des mécanismes de sécurité robustes pour protéger les informations des utilisateurs et prévenir les attaques potentielles.

### II.3.1 Schéma neutre pour sélection de service :

Dans un schéma neutre de sélection de service, un drone consommateur choisit le premier drone fournisseur disponible sans tenir compte des aspects de qualité de service (QoS). Cela signifie que le drone consommateur sélectionne le

fournisseur uniquement en fonction de sa disponibilité, sans tenir compte de facteurs tels que les performances, la fiabilité ou d'autres paramètres de qualité de service. Bien que cette approche puisse être simple et pratique, elle présente certaines limites. En négligeant les aspects QoS, le drone consommateur peut se retrouver avec un fournisseur qui ne répond pas à ses exigences spécifiques. Le fournisseur choisi peut avoir des performances médiocres, des capacités limitées ou d'autres inconvénients susceptibles d'affecter l'expérience globale du service.

Il est important de noter que le schéma de sélection peut choisi doit correspondre aux besoins et priorités spécifiques.

### **II.3.1.1 Exemple :**

Supposons que vous soyez un client qui souhaite louer les services d'un drone pour effectuer des relevés aériens. Dans ce cas, le schéma neutre de sélection de service impliquerait que vous choisissiez le premier drone disponible, peu importe ses performances ou sa qualité de service.

Imaginons que vous recherchez un drone capable de capturer des images de haute résolution avec une stabilité maximale. Selon le schéma neutre, vous pourriez choisir le premier drone fournisseur disponible, même s'il ne dispose pas de caméras hautes résolution ou d'un système de stabilisation avancé.

### **II.3.3 Théorie des jeux**

La théorie des jeux (TG) est une branche des mathématiques appliquées pour analyser les interactions stratégiques entre plusieurs décideurs (acteurs). Ces décideurs coopèrent ou Prendre de manière compétitive des actions rationnelles qui ont des conséquences contradictoires.

Formellement, un jeu est défini par :

- Un ensemble de joueurs  $N = \{1, \dots, n\}$ .

- Chaque joueur dispose d'un ensemble de stratégies  $S_i = \{s_1, \dots, s_n\}$ .
- Chaque stratégie a sa récompense [19].

### II.3.3.1 Exemples de jeux

**Le dilemme du prisonnier :** Deux suspects sont arrêtés, la police pense qu'ils essaient de cambrioler un magasin mais les flics ont seulement la preuve pour prouver que les suspects ont été intrusion, ainsi, d'établir un lien entre le deux crimes (intrusion et vol) la police avoir besoin de l'un des criminels pour exposer l'autre. Chacun des condamnés seront séquestrés en privé dans un salle d'interrogatoire et propose l'offre suivante

- Si personne n'avoue alors 1 mois pour chacun.
- Si 2 avouent alors 8 mois de prison pour chacun.
- Si l'un avoue alors il sera libre et l'autre condamné à 12 mois de prison.

		<i>joueur 1</i>	
		<i>silence</i>	<i>confesser</i>
<i>joueur 2</i>	<i>silence</i>	-1 , -1	-12 , 0
	<i>confesser</i>	0 , -12	-8 , -8

**Tableau01:** Le dilemme du prisonnier

**Chasse au cerf :** Nous avons deux chasseurs qui partent à la chasse, dans la gamme il y a deux lièvres et un cerf. Les chasseurs ne peuvent apporter que l'équipement nécessaire pour attraper un type d'animal et chacun doit choisir cet équipement sans voir ce que l'autre choisira.

- Les cerfs ont plus de viande que les lièvres combinés, mais les deux chasseurs doivent chasser le cerf pour l'attraper
- Les chasseurs de lièvres peuvent attraper eux-mêmes toutes leurs proies.

		<i>joueur 1</i>	
		<i>cerf</i>	<i>lièvre</i>
<i>joueur 2</i>	<i>cerf</i>	3 , 3	0 , 2
	<i>lièvre</i>	0 , 2	1 , 1

*Tableau 02* : La chasse au cerf.

**Feux de circulation** : Supposons que deux voitures se dirigent l'une vers l'autre depuis des directions perpendiculaires, le feu stop est rouge pendant une d'eux et vert pour l'autre.

		<i>joueur 1</i>	
		<i>Go</i>	<i>Stop</i>
<i>joueur 2</i>	<i>Go</i>	-5, -5	1, 0
	<i>Stop</i>	0, 1	-1, -1

*Tableau 03* : Feux de signalisation

**Répartition des coûts** : Trois communes voisines (A, B et C) sont sous contrat avec une entreprise pour fournir de l'eau fournitures, Le projet coûte 10 millions d'euros pour chaque commune démembrée pour des raisons géographiques. LE fabricant propose des réductions de coûts de 16, 17, 18 pour



contrats communs entre A et B, A et C et B et C, Le contrat impliquant les trois villes a un coût de 24

### II.3.3.2 Types de jeux

En TG, les jeux peuvent être classés selon l'étude en [16] en trois classes principales :

- 1) **Jeux coopératifs et jeux non coopératifs** : A le jeu coopératif permet à certains joueurs de jouer ensemble contre un ou plusieurs joueurs, Par exemple (Le coût allocation). En revanche, dans une société non coopérative modèle de jeu les interactions stratégiques entre différents joueurs qui ne cherchent pas à se coordonner, Par exemple (Le dilemme du prisonnier).
- 2) **Jeux simultanés et jeux séquentiels** : Dans ce cas, les joueurs décident de leurs actions soit en même temps (le dilemme du prisonnier) ou conditionnellement selon ce que les autres joueurs ont joué (Le jeu d'échecs).
- 3) **Jeux à somme nulle et non nulle** : Le jeu à somme nulle est un jeu à deux joueurs dans lequel la victoire de l'un des deux joueurs est exactement le coût de l'autre joueur.

### II.3.3.3 Équilibre de Nash

Un équilibre de nash (NE) est un ensemble de stratégies, une pour chaque joueur afin qu'aucun joueur ne soit incité à modifier son stratégie basée sur ce que font les autres joueurs. En d'autres mots c'est une loi que personne ne voudrait enfreindre l'absence d'une force de police efficace. Par exemple (Trafic feux), après le feu rouge est un équilibre nash, (Le cerf la chasse) à la fois la chasse au cerf ou au lièvre est un équilibre de nash.

### 1) Équilibre de Nash en stratégie pure :

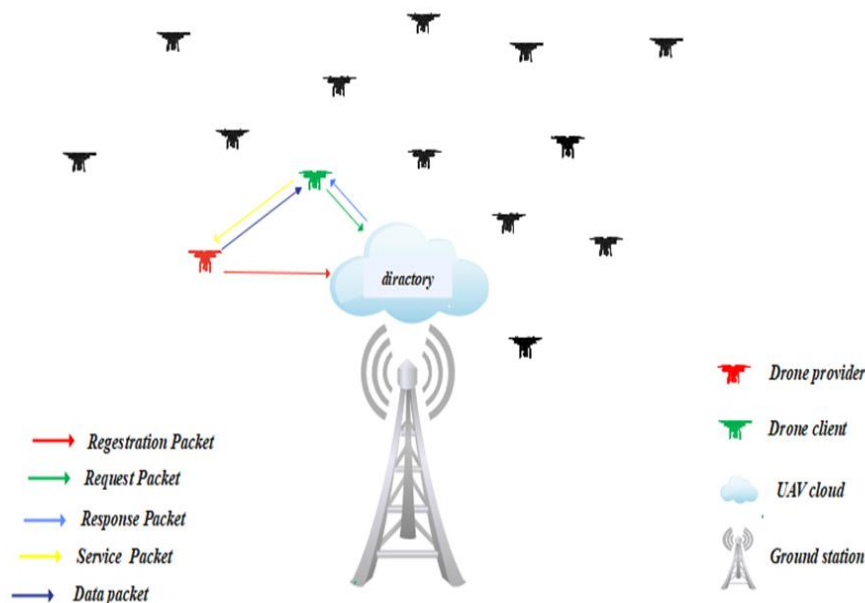
C'est lorsque les joueurs ne randomisent pas entre deux ou plusieurs stratégies.

### 2) Une stratégie d'équilibre de Nash mixte :

C'est une distribution de probabilité sur deux ou plusieurs stratégies.

## II.4 Offre et consommation dans les réseaux FANET SC-SF

Dans ce travail, nous proposons une nouvelle approche nommée SC-SF (Supply and Consumption of Services in Fanet), qui construit le UC (UAV Cloud) en utilisant le répertoire de la station de base comme annuaire pour rendre plus visible les ressources des drones fournisseurs. De plus, l'opération de consommation est réalisée via une méthode de sélection des services, qui est gérée par la station de base qui utilise un modèle mathématique pour sélectionner les meilleurs services en maximisant les gains de tous les drones fournisseur et client. la figure 15 montre l'architecture de SC-SF.



**Figure 15 :** l'architecture de SC-SF

### II.4.1 Paquets échangés dans SC-SF

Dans l'architecture SC-SF, les drones peuvent agir en tant que fournisseurs ou clients et échanger des paquets de données utilisant le protocole UDP (User Datagram Protocol). Le protocole UDP est léger et permet un transfert rapide et efficace de données entre les drones. Les applications UDP permettent aux drones de s'envoyer mutuellement des paquets de données sans établir de connexion préalable.

Lorsqu'un drone fournisseur souhaite offrir ses ressources à d'autres drones, il envoie un paquet d'enregistrement (RGP) à la station de base la plus proche. Ce paquet contient des informations telles que l'ID du drone, la qualité de service (QoS) qu'il souhaite offrir, le prix du service, le temps d'envoi du paquet, le nombre d'envois de paquet et l'énergie résiduelle.

Lorsqu'un drone client a besoin de consommer des services, il formule un paquet de demande (REQP) et l'envoie à la station de base la plus proche. Ce paquet contient des informations telles que l'ID du drone, la qualité de service (QoS) qu'il souhaite consommer, le prix du service, le temps d'envoi du paquet, le nombre d'envois de paquet et l'énergie résiduelle.

Lorsque la station de base reçoit des paquets d'enregistrement et de demande, elle sauvegarde toutes les ressources dans un répertoire UAV cloud. Si les drones clients et fournisseurs ne reçoivent pas de réponse de la part des stations de base, ils continuent d'envoyer leurs paquets après un certain temps d'attente (TT).

Lorsque la station de base reçoit une demande de service (REQP) d'un drone client, elle sélectionne un drone fournisseur parmi les autres en utilisant un modèle basé sur la théorie des jeux. Elle applique la théorie des jeux entre le drone client et tous les drones fournisseurs un par un. En utilisant une matrice de gains, la station de base prédit le comportement futur des drones fournisseurs et

clients en utilisant l'équilibre de Nash (NE) pour déterminer l'état stable où chaque joueur a intérêt à effectuer la même action. L'équilibre de Nash permet de maximiser le gain pour les deux drones, et le drone fournisseur avec la probabilité la plus élevée est sélectionné. Ensuite, la station de base formule un paquet de réponse (RP) et l'envoie à chaque drone client. Ce paquet contient l'identifiant des drones fournisseurs, l'emplacement du dernier drone fournisseur à partir de la dernière balise, la qualité de service et le prix.

Si le répertoire ne contient pas de drone fournisseur pouvant satisfaire la demande du drone client, ou si les files d'attente des drones clients sont occupées, la station de base répond par un accusé de réception négatif (NACK).

Si un drone client reçoit un paquet de réponse (RP), il envoie un paquet de réponse de service (RSP) contenant son ID et le service demandé. À la réception du paquet de service du drone client, le drone fournisseur répond avec un paquet de données contenant le service demandé ou un NACK paquet si il est occupé.

Ainsi, les drones clients et fournisseurs échangent des paquets de données correspondant aux ressources.

Ce diagramme fournit une meilleure visualisation de toutes les opérations de SC-SF :

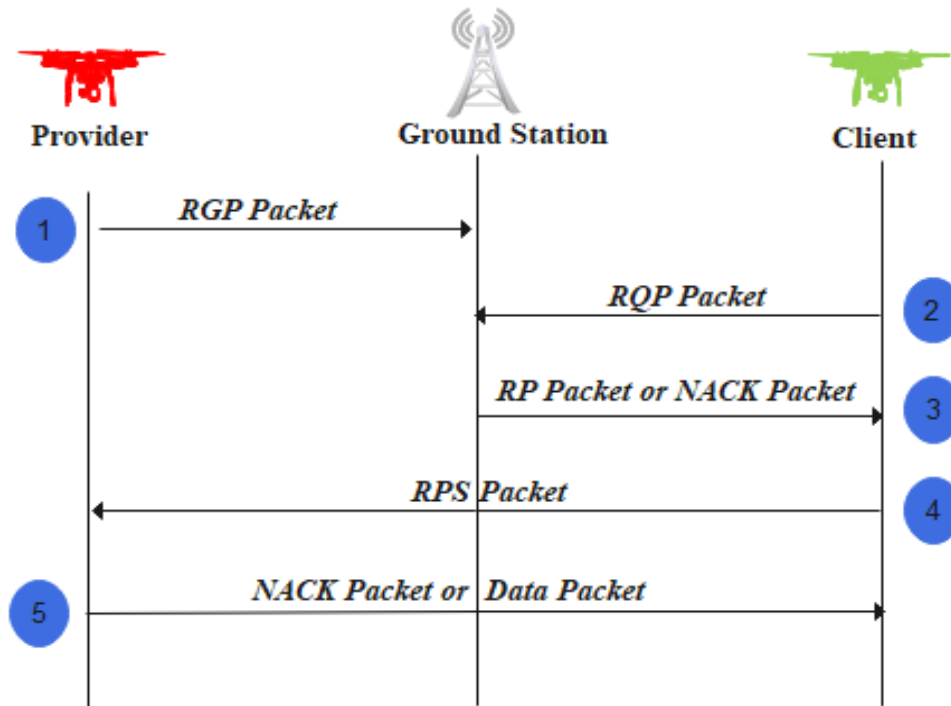


Figure 16 : Diagramme de SC-SF

## II.5 La sélection des services par la théorie des jeux dans SC-SF

Dans le SC-SF, nous considérons deux joueurs représentant les acteurs principaux dans le scénario de sélection de service tels que

$$\text{Joueurs} = \{PD (\text{drone fournisseur}), CD(\text{ drone client } )\}.$$

Le CD peut effectuer deux actions qui consistent à consommer un service du PD ou non, cela dépendra à la fois des QoS et du prix proposé par le PD. De plus, le PD a également deux actions qui consistent à offrir le service au CD ou non. Il est clair que le CD préfère avoir des ressources de bonne qualité à un prix bas tandis que le PD définira le prix en fonction de ses QoS. Par conséquent, le CD et le PD choisiront l'action appropriée afin de maximiser leur gain respectif. Lorsqu'aucun joueur ne peut augmenter son propre gain, il y aura un état stable, atteint avec l'aide d'un équilibre de Nash que nous avons utilisé pour déterminer les comportements futurs des deux joueurs. Dans SC-SF, nous représentons

chaque service par un certain nombre de paquets de données qui doivent être échangés entre un PD et un CD en fonction du type de service.

Dans notre proposition, nous représentons chaque service par un nombre de paquets de données qui doivent être échangés entre un drone fournisseur et un drone client selon le type de service. Nous considérons quatre paramètres de qualité drone fournisseur pour le problème de sélection de service :

- **Qualite de service (qQOS)** : la capacité d'un drone à répondre aux exigences et aux attentes spécifiques d'un client dans SC-SF on a pris le stockage comme la valeur de qQOS.
- **Execution time (qET)** : c'est la durée proposé en vente ou demandée pour un service donné, par un drone fournisseur ou un client, respectivement. Elle est exprimée en heures ( $h$ ).
- **Execution energy(qEE)**: elle correspond à l'énergie consommée lors de l'envoi d'un paquet d'enregistrement ou de la demande d'un drone à la station de base. Elle est calculée en additionnant l'énergie nécessaire pour le traitement et la transmission des données:

$$qEE = E_{processing}(s) + E_{transmission}(s)$$

- **Execution Price (qEP)** : peut faire référence au prix proposé par un drone fournisseur.
- $N$  : c'est le nombre d'envois d'un paquet de demande par un drone client.

### II.5.1 Matrice des gains

Nous présentons la matrice des gains du jeu entre le CD et le PD (TABLEAU I), où  $p$  et  $1 - p$  sont les probabilités avec lesquelles le PD décide une action s'il propose ou non un service. De même,  $q$  et  $1 - q$  sont les probabilités avec lesquelles le lecteur CD décide s'il consomme ou ne consomme pas le service.

<i>DP / DC</i>	<i>Consommer</i>	<i>Ne Consommer pas</i>	
<i>Offrer</i>	$(X_{11}, Y_{11})$	$(X_{12}, Y_{12})$	$p$
<i>Ne Offrer pas</i>	$(X_{21}, Y_{21})$	$(X_{22}, Y_{22})$	$1-p$
	$q$	$1-q$	

**Tableau04** : Matrice des gains

L'équation de gain de chaque joueur est la suivante :

- 1)  $X_{11} = N * qEP * qQOS - (qET + qEE)$
- 2)  $Y_{11} = N - (qEP + qET + qEE)$
- 3)  $X_{12} = -N * (qEP + qEE)$
- 4)  $Y_{12} = -N$
- 5)  $X_{21} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -N * qEP \end{Bmatrix}$
- 6)  $Y_{21} = -qEE$
- 7)  $X_{22} = 0$
- 8)  $Y_{22} = 0$

### II.5.2 Combinaison de stratégies (Offre & Consommer)

Dans ce cas, le drone fournisseur (PD) propose son service et le drone client (CD) décide de le consommer. Le gain du PD, noté  $X_{11}$ , est calculé en multipliant le nombre d'envois de paquets ( $N$ ) par le prix proposé pour le service ( $qEP$ ), puis en soustrayant le coût total qui comprend le temps d'exécution ( $qET$ ) et l'énergie d'exécution ( $qEE$ ). Le gain du PD dépend donc du nombre d'envois, du prix proposé, du temps d'exécution et de l'énergie consommée pour chaque envoi. Le gain du CD, noté  $Y_{11}$ , est influencé par le nombre de paquets de demande envoyés, la somme du temps d'exécution et de l'énergie d'exécution, ainsi que le prix du service.

### **II.5.2.1 Combinaison de stratégies (Offre & Ne pas consommer)**

Dans ce cas, le PD souhaite vendre son service au CD, mais ce dernier décide de ne pas l'acheter (c'est-à-dire ne pas le consommer). Le PD échoue donc à vendre son service au CD, ce qui est représenté par  $X_{12}$ , correspondant au nombre de paquets de demande envoyés multiplié par la somme des prix de chaque service proposé et de l'énergie perdue. Dans ce cas, le CD est pénalisé en soustrayant le nombre de paquets de demande envoyés, représenté par  $Y_{12}$ .

### **II.5.2.2 Combinaison de stratégies (ne pas offrir et consommer)**

Dans ce cas, le CD souhaite consommer un service, mais le PD décide de ne pas l'offrir. Le PD ne livre pas son service car il est occupé (il offre son service à un autre CD, par exemple). Dans ce cas, le PD est pénalisé en multipliant le nombre de paquets de demande envoyés par le prix des services, ce qui est représenté par  $X_{21}$ .  $Y_{21}$  représente l'échec du CD à consommer un service.

### **II.5.2.3 Combinaison de stratégies (Ne pas offrir et Ne pas consommer)**

Dans ce cas, les gains PD et CD seront nuls puisque ni ne fournissent ni ne consomment le service.

## **II.5.3 Équilibre de Nash**

L'utilité de l'équilibre de Nash (NE) est de prédire l'avenir comportement de PD et CD et déterminer l'état, c'est-à-dire que chaque joueur a intérêt à effectuer la même action. Nous utilisons le EN pour déterminer l'étape où les deux PD et CD ne changent pas leurs actions, qui sont respectivement donner et consommer.



**Théorème 1 :** Il existe une stratégie mixte EN {PD joueur (Offre,  $p^*$ ), Player CD (Consume,  $q^*$ )} dans lequel le PD choisit Proposer une action lorsque la probabilité  $p > p^*$  et la CD choisit l'action Consommer lorsque  $q > q^*$ .

**Preuve 1:**

La stratégie mixte du PD est définie comme suit :  $P = (p, 1 - p)$ , et les gains attendus du CD pour jouer

Consommer une action ou non sont :

$$U_{DC}(\text{consomme}) = Y_{11} * p + Y_{21} * (1 - p) = p * (Y_{11} - Y_{21}) + Y_{21}$$

$$U_{DC}(\text{ne consomme pas}) = Y_{12} * p + Y_{22} * (1 - p) = p * Y_{12}$$

Le CD jouera l'action Consommer lorsque  $U_{DC}(\text{consomme}) > U_{DC}(\text{ne consomme pas})$  Par conséquent, nous avons :

- $p > p^*$  où  $p^* = \frac{-Y_{12}}{Y_{11} + Y_{21} - Y_{12}}$  avec  $0 < p^* \leq 1$

**Preuve 2 :**

La stratégie mixte du CD est définie comme suit :  $q = (q, 1 - q)$ , et les gains attendus du PD pour jouer

Proposer ou non une action sont :

$$U_{DF}(\text{offre}) = X_{11} * q + X_{21} * (1 - q) = q + (X_{11} - Y_{12}) + Y_{12}$$

$$U_{DF}(\text{ne offre pas}) = X_{21} * q + X_{22} * (1 - q) = q * X_{21}$$

Le PD jouera l'action Offrir lorsque  $U_{DF}(\text{offre}) > U_{DF}(\text{ne offre pas})$ .

Par conséquent, nous avons :

- $q > q^*$  où  $q^* = \frac{-X_{12}}{X_{11} - X_{12} - X_{12}}$  avec  $0 < q^* < 1$

## II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les concepts du cloud véhiculaire, ainsi que les différents types de services qu'ils offrent. Nous avons également discuté de la sélection des services et de la manière de choisir les services appropriés pour répondre aux besoins des clients. Pour prendre des décisions de sélection efficaces, nous avons introduit le modèle de la théorie des jeux, en expliquant son fonctionnement et en fournissant des exemples concrets. Enfin, nous avons souligné l'importance de l'équilibre de Nash, qui se produit lorsque chaque partie prenante prend la meilleure décision possible en tenant compte des actions des autres parties prenantes, et comment il peut être appliqué dans le contexte de la sélection des services.

Ensuite, nous avons présenté notre approche SC-SF expliqué comment l'offre et la consommation de services faites entre les drones via une station de base. Nous avons détaillé le processus d'échange de paquets entre les drones dans le cadre de SC-SF. De plus, nous avons démontré comment la théorie des jeux peut être appliquée dans le contexte de SC-SF. Nous avons exploré les différents jeux qui peuvent se produire entre les drones lors de la sélection des services et comment les concepts de l'équilibre de Nash et des stratégies dominantes peuvent être utilisés.

---

Chapitre

**III**

**Analyse expérimental**

---

## III.1 Introduction

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la simulation de notre proposition après avoir étudié l'architecture globale de SC-SF dans le chapitre précédent. Tout d'abord, nous avons procédé à des différentes installations du système, en mettant l'accent sur la le générateur du réseau (Omnet et ses différentes frameworks) et du trafic (Xplane et Visuel studio). Nous avons expliqué les étapes nécessaires pour installer tous les composants essentiels. De plus, nous avons entamé les paramètres de la simulation, en particulier pour la génération de trafic et la mobilité des drones. Finalement, pour évaluer la performance de notre approche, des résultats de simulation ont été relevés et discutés.

## III.2 Différentes installations du système

### III.2.2 Génération de réseau

Pour générer le réseau et installer les logiciels nécessaires à la communication entre les drones, suivez les étapes suivantes :

#### **Étape 1 :** Création du dossier de collecte des fichiers

- Créez un nouveau dossier sur votre ordinateur pour collecter tous les fichiers nécessaires à la génération du réseau.

#### **Étape 2 :** Installation des logiciels

- Téléchargez OMNeT++ version 4.6 depuis le site officiel à l'adresse suivante : "<https://omnetpp.org/software/2014/12/02/omnet-4-6-released>" et suivez les instructions d'installation pour l'installer sur votre ordinateur.

- Téléchargez AVENS depuis "<https://www.lsec.icmc.usp.br/en/avens>" et suivez les instructions spécifiques fournies avec le logiciel pour l'installer correctement.

- Téléchargez la version 3.2.4 du framework INET correspondant à OMNeT++ à partir de "<https://inet.omnetpp.org/Download.html>" et suivez les instructions pour l'installer.

### Étape 3 : Configuration dans OMNeT++

- Lancez le logiciel OMNeT++ sur votre ordinateur.
- Importez le logiciel AVENS et le framework INET dans OMNeT++ en suivant les instructions fournies avec le logiciel.

Une fois ces étapes terminées, vous devriez être prêt à générer le réseau et à observer les communications entre les drones. Assurez-vous de consulter la documentation et les guides d'utilisation fournis avec chaque logiciel pour obtenir des informations détaillées sur la manière de les utiliser efficacement.

## III.2.2 Génération de trafic

Pour installer les logiciels permettant de changer les drones, la région, la météo, etc., suivez les étapes suivantes :

### Étape 1 : Installation de Visual Studio 2012

- Téléchargez Visual Studio 2012 depuis le lien suivant : "[https://drive.google.com/drive/folders/1TVrpS1KwIBGTTuCrnyGvBKqcXmJ\\_1p8G](https://drive.google.com/drive/folders/1TVrpS1KwIBGTTuCrnyGvBKqcXmJ_1p8G)".
- Suivez les instructions fournies pour l'installation de Visual Studio 2012 sur votre ordinateur.
- Assurez-vous d'ajouter le chemin d'accès à votre installation d'OMNeT++ lors de l'installation de Visual Studio 2012.

### Étape 2 : Installation de XPlane 10

- Téléchargez XPlane 10 depuis le site officiel : "<https://www.x-plane.com/product/x-plane-10-digital-download/>".
- Suivez les instructions fournies avec le logiciel pour l'installer sur votre ordinateur.
- Assurez-vous d'ajouter le fichier Debug/Plugins à votre installation de Visual Studio et OMNeT++ pour les associer.

### III.2.3 OMNeT++

OMNeT++ est une bibliothèque et un framework de simulation C++ extensible, modulaire et basé sur des composants, principalement pour la construction de simulateurs de réseau. "Réseau" est compris dans un sens plus large qui inclut les réseaux de communication câblés et sans fil, les réseaux sur puce, les réseaux de mise en file d'attente, etc. Fonctionnalité spécifique au domaine telle que la prise en charge des réseaux de capteurs, des réseaux ad hoc sans fil, des protocoles Internet, les réseaux, etc., sont fournis par des cadres modèles, développés en tant que projets indépendants. OMNeT++ offre un IDE basé sur Eclipse, un environnement d'exécution graphique et une foule d'autres outils. Il existe des extensions pour la simulation en temps réel, l'émulation de réseau, l'intégration de base de données, l'intégration SystemC et plusieurs autres fonctions. OMNeT++ est distribué sous une Licence Publique Académique.

OMNeT++ fournit une architecture de composants pour les modèles. Les composants (modules) sont programmés en C++ puis assemblés en composants et modèles plus grands à l'aide d'un langage de haut niveau (NED). La réutilisation des modèles est gratuite. OMNeT++ dispose d'un support GUI étendu, et grâce à son architecture modulaire, le noyau de simulation (et les modèles) peuvent être facilement intégrés dans vos applications [11]

### III.2.4 INET

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 prise en charge de la mobilité, 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. [17]

### III.2.5 AVENS

AVENS fait partie d'un important projet de recherche concernant la fourniture d'un banc d'essai pour simuler le vol et le contrôle d'UAV (Unmanned Aerial Vehicle) en utilisant différentes configurations contrôlées et évolutives. L'objectif principal d'AVENS est de fournir un banc d'essai de simulation pour des expérimentations virtuelles de couverture réseau et de connectivité entre drones volant en coopération ou partageant le même espace aérien.

L'objectif d'AVENS est de proposer une plateforme d'analyse de réseau mobile ad hoc où les drones sont des nœuds mobiles partageant le support sans fil pour échanger des messages. L'objectif est d'utiliser un simulateur de vol pour piloter des véhicules aériens et un simulateur de réseau pour obtenir des mesures

réseau telles que débit de transmission, goodput, RSSI (Received Signal Strength Indication), débit, perte de paquets, nombre de retransmissions, etc [18]

### III.3 Configuration de la simulation

Pour réaliser et évaluer notre proposition, nous avons utilisé OMNeT++ 4.6 ainsi que les bibliothèques AVENS et INET 3.2.4 pour gérer les aspects comportementaux. Nous avons également utilisé XPlane 10 comme simulateur de mobilité. Cependant, nous avons rencontré des problèmes avec XPlane 10, ce qui nous a amenés à apporter des modifications à AVENS et INET afin de répondre aux exigences de notre travail.

#### III.3.1 Configuration globale de SC-SF

La figure 17 illustre le module réseau "Scenario" qui représente le scénario global de simulation. Il contient des paramètres et des sous-modules qui définissent l'environnement de simulation.

-Le paramètre "**hosts**" indique le nombre d'UAV (véhicules aériens sans pilote) dans le scénario, tandis que le paramètre "numGsc" représente le nombre d'entités Gsc (contrôle au sol).

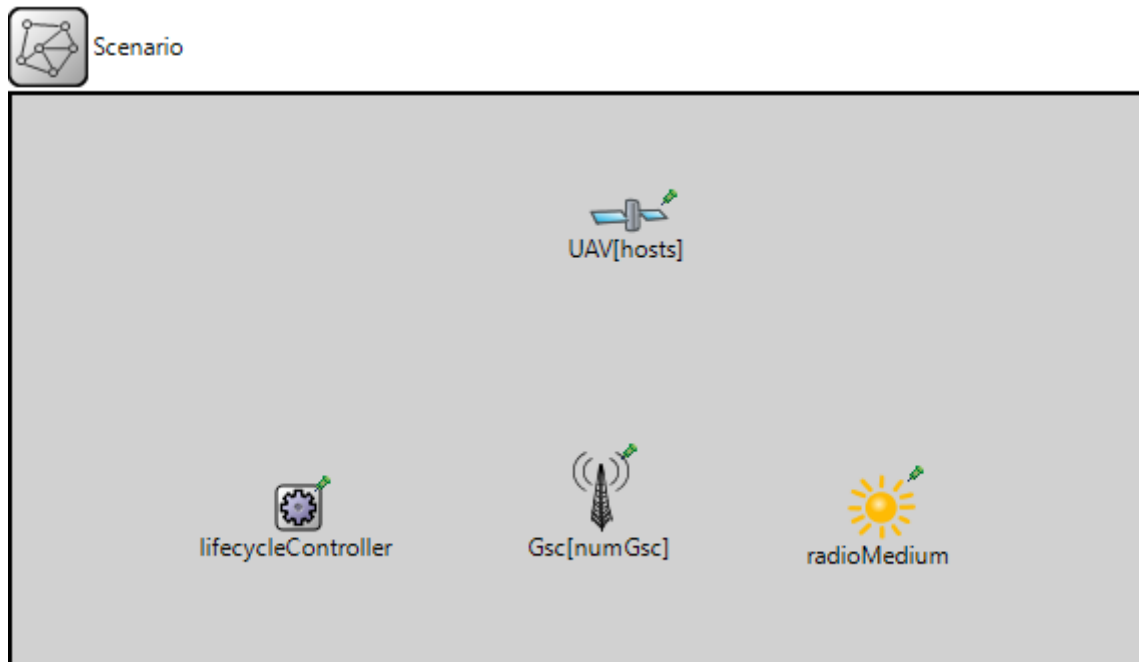
-Le sous-module "**UAV[hosts]**" est un vecteur de modules "UAV", dont la taille est déterminée par le paramètre "hosts". Chaque module "UAV" représente probablement un nœud UAV individuel dans le réseau.

-Le sous-module "**Gsc[numGsc]**" est un vecteur de modules "Gsc", dont la taille est déterminée par le paramètre "numGsc". Chaque module "Gsc" représente probablement une entité de contrôle au sol dans le réseau.

-Le sous-module "**radioMedium**" est une instance du module "IdealRadioMedium", qui représente le support radio utilisé pour la communication entre les nœuds du réseau.



-Le sous-module "**lifecycleController**" est une instance du module "LifecycleController", qui gère le cycle de vie des composants du réseau. Il dispose de certains paramètres liés à son affichage dans la simulation.



*Figure 17 : le module réseau "Scenario"*

#### - La configuration du omnet.ini

Le fichier .ini est utilisé dans OMNeT++ pour la configuration des simulations. Il permet de spécifier les paramètres de simulation tels que les modules à instancier, les valeurs des variables, les délais, etc. Grâce au .ini, les utilisateurs peuvent personnaliser facilement les paramètres de leurs simulations sans modifier directement le code source, ce qui facilite la reproductibilité et l'expérimentation. Il s'agit d'un outil essentiel pour la configuration flexible et la gestion des paramètres dans OMNeT++.

Voici quelques paramètres et réglages clés de la configuration :

**debug-on-errors = true** : Active le mode de débogage pour afficher les informations de débogage en cas d'erreurs.

**record-eventlog = true** : Enregistre un journal d'événements pendant la simulation.

**network = Scenario** : Spécifie la configuration ou la topologie du réseau à utiliser dans la simulation.

**sim-time-limit = 100s**: Définit le temps total de la simulation.

La configuration spécifie les coordonnées initiales (X, Y, Z) de chaque UAV à l'aide des paramètres **initialX**, **initialY** et **initialZ**.

### Exemple :

```
*.uav[0].mobility.initialX = 480m
```

```
*.uav[0].mobility.initialY = 250m
```

```
*.uav[0].mobility.initialZ = 200m
```

**\*\*UAV\*.mobilityType = "MassMobility"** La mobilité des UAV est définie par le module **MassMobility**, qui spécifie l'intervalle de changement, l'angle de changement, la vitesse et l'intervalle de mise à jour du mouvement de chaque UAV.

La communication entre les UAVs et la GSC est établie à l'aide des modules **UDPBasicApp**. Les nœuds du réseau possèdent un **UDPBasicApp** au niveau de la couche (07) application pour recevoir des paquets UDPs.

```
*.Gsc[0].numUdpApps = 1
```

```
*.Gsc[0].udpApp[0].typename = "UDPBasicApp"
```

```
*.UAV[*].numUdpApps = 1
```

```
*.UAV[*].udpApp[0].typename = "UDPBasicApp"
```

La configuration comprend également des paramètres pour l'interface du réseau sans fil (**wlan**), les modèles d'énergie (**energyStorage**, **energyConsumer**, **energyGenerator**) et l'enregistrement des résultats. Ces paramètres spécifient que le type de stockage d'énergie utilisé est "**SimpleEnergyStorage**" et le type de consommateur d'énergie est "**StateBasedEnergyConsumer**".

Les autres paramètres sont les suivants :

**\*\*energyStorage.nominalCapacity = 100J** : Capacité nominale du stockage d'énergie, définie ici à 100J.

**\*\*energyStorage.nodeShutdownCapacity = 0J** : Capacité d'arrêt du nœud, définie à 0J, ce qui signifie que le nœud ne peut pas fonctionner lorsque sa capacité d'énergie atteint cette valeur.

**\*\*energyStorage.nodeStartCapacity = 0.5** Capacité de démarrage du nœud, définie à 0.5 \* la capacité nominale du stockage d'énergie. Cela signifie que le nœud peut redémarrer lorsque sa capacité d'énergie atteint la moitié de sa capacité nominale.

**\*\*energyStorage.initialCapacity = 100J** : Capacité initiale du stockage d'énergie, définie ici à 100J.

**\*\*udpapp.\*.vector-recording = true** : Lorsqu'il est activé pour une application UDP spécifique (udpapp.\*), il enregistrera les événements liés à cette application

**\*\*vector-recording = true** : active l'enregistrement vectoriel pour l'ensemble de la simulation, ce qui signifie que tous les modules et événements seront enregistrés.

### III.3.2 Les paramètres de simulation

Pour mettre en œuvre et évaluer SC-SF, le tableau 04 montre tous les paramètres nécessaires qui ont été pris dans les différents scénarios de la simulation. SC-SF est déployé dans un espace de 1500m\*1500m\*1500m. Nous avons couvert cet espace avec une seule Gsc (Station de base). La densité des drones varie entre 30, 50 et 100 drones en prenant trois cas de densité de drones fournisseurs : un quart, un tiers et la moitié de drones. Les détails des paramètres de simulation sont indiqués dans le Tableau suivant :

<i>Paramètres</i>	<i>Values</i>
<i>Framework de simulation</i>	OMNeT++, INET, Avens
<i>Le modelé de mobilité</i>	MassMobility
<i>Temps de simulation</i>	100 s
<i>Zone de simulation</i>	1500 m × 1500 m × 1500 m
<i>Portée de transmission</i>	500 m
<i>Taux de Transfer</i>	2 Mb/s
<i>Densité de drone</i>	[30-50-100]Drones
<i>Vitesse de drone</i>	20mps, 8mps
<i>Densité de drone fournisseurs</i>	1/4, 1/3, et 1/2 de densité des drones
<i>La taille de paquet enregistrement, demande et de données</i>	100 bytes
<i>Nombre de demande de services</i>	[1-5]
<i>Nombre maximum de services offerts pas fournisseurs</i>	[1-5]
<i>Prix de service</i>	[1-10] \$

**Tableau 05** : Paramètre de simulation

### III.3.3 Résultats et discussion

Après avoir construit le UAV cloud au niveau de la base de station, cette dernière applique la théorie des jeux de chaque drone client (CD) avec tous les fournisseurs de services (PDs) en calculant le  $q$ . Cette opération nous permet d'extraire la probabilité la plus élevée pour affecter des drones fournisseurs à ces derniers-là, en prenant en considération la gestion des queues. Une **Convergence de probabilité (CP)** a été calculée, étudiée et discutée. Pour être plus réaliste et nous avons aussi mis l'accent sur l'interaction probabiliste entre les PD et les CD, en simulant le SC-SF dans trois périodes de périodes différentes : les heures creuses (Off-peak) où la demande de service est faible (par exemple, la nuit), les heures de pointe intermédiaires (Mid-peak) où la demande de service est moyenne et les heures de pointe (On-peak) où nous avons une demande élevée de service pour les drones.

0	Off-peak				Mid-peak				On-peak			
	ID de CD	ID de PD	Probabilité de consommation	Probabilité de offre	ID de CD	ID de PD	Probabilité de consommation	Probabilité de offre	ID de CD	ID de PD	Probabilité de consommation	Probabilité de offre
1	15	28	0.987	0.89	15	28	0.983	0.966	15	28	0.72	0.97
2	3	10	0.983	0.91	3	10	0.979	0.930	3	10	0.70	0.95
3	29	16	0.97	0.87	29	16	0.978	0.982	29	16	0.67	0.987
4	19	22	0.95	0.93	19	22	0.970	0.976	19	22	0.63	0.98

**Tableau 06** : les tops quatre fournisseurs sélectionnés

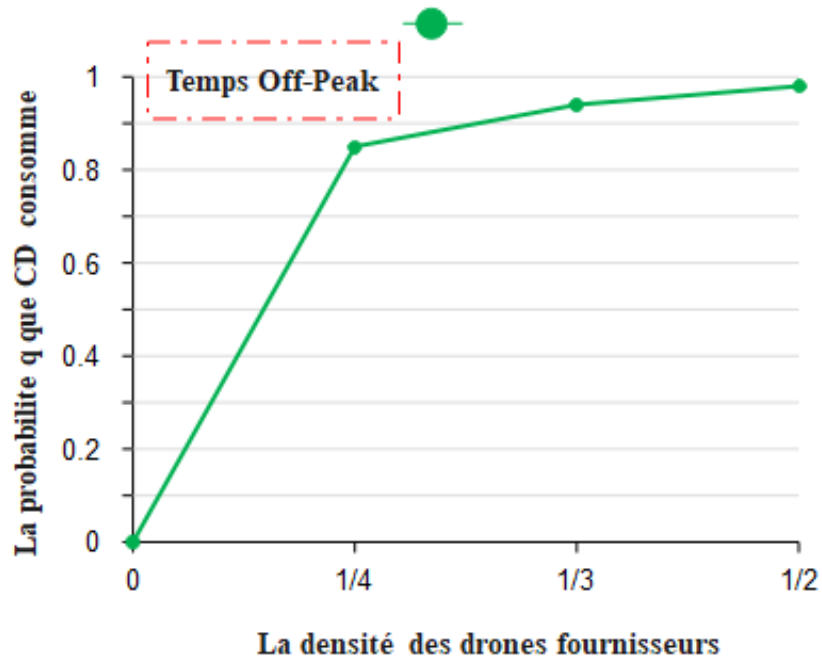


Figure 18: Convergence de probabilité q dans la période de temps Off-Peak

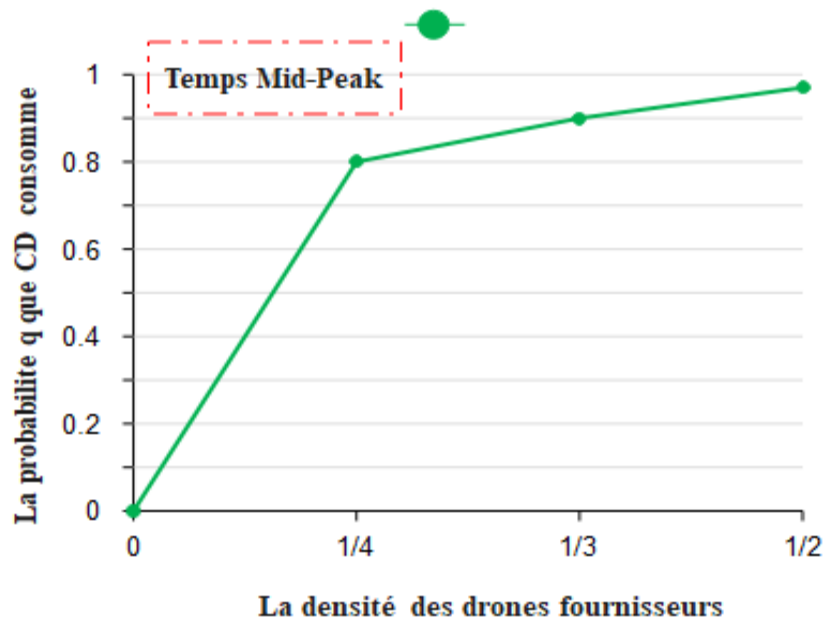
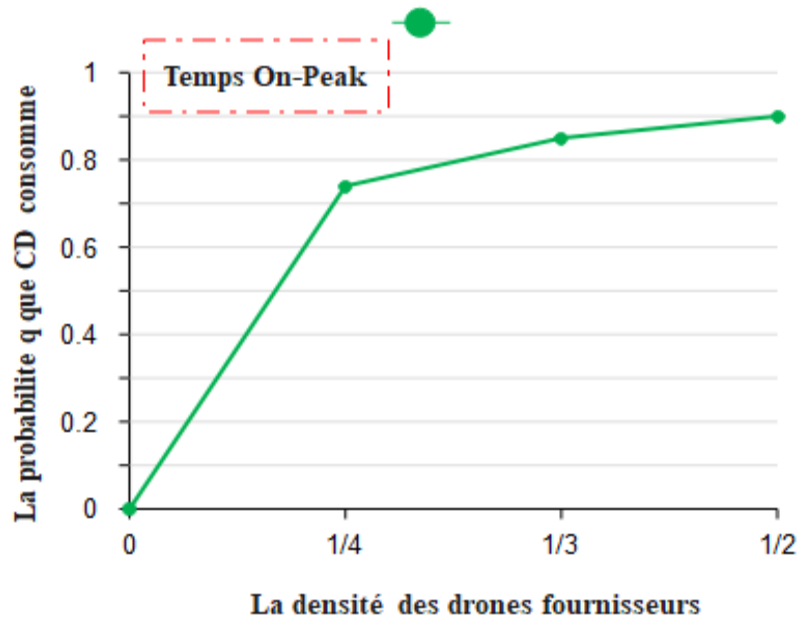
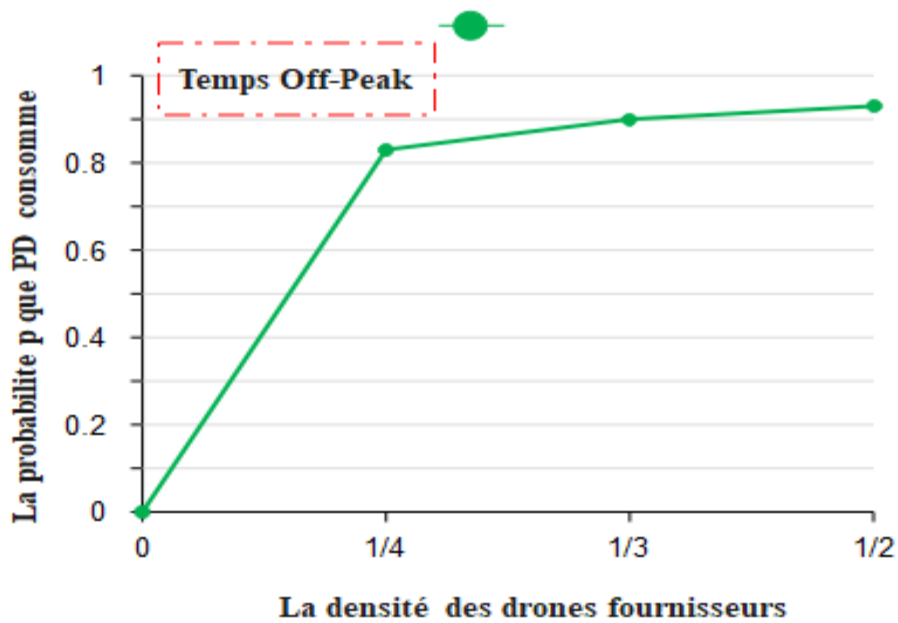


Figure 19 : Convergence de probabilité q dans la période de temps Mid-Peak



**Figure 20** : Convergence de probabilité q dans la période de temps On-Peak



**Figure 21** : Convergence de probabilité p dans la période de temps Off-Peak

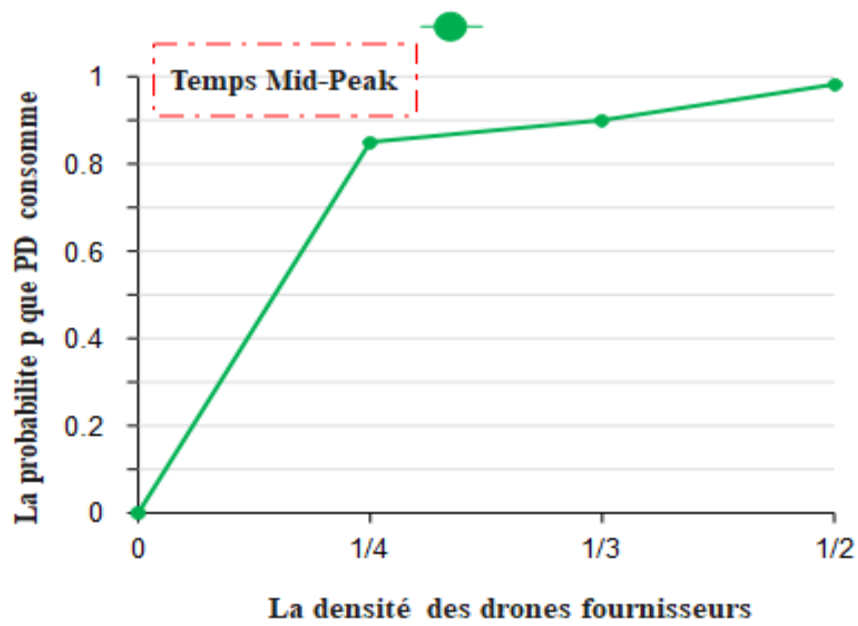


Figure 22 : Convergence de probabilité  $p$  dans la période de temps Mid-Peak

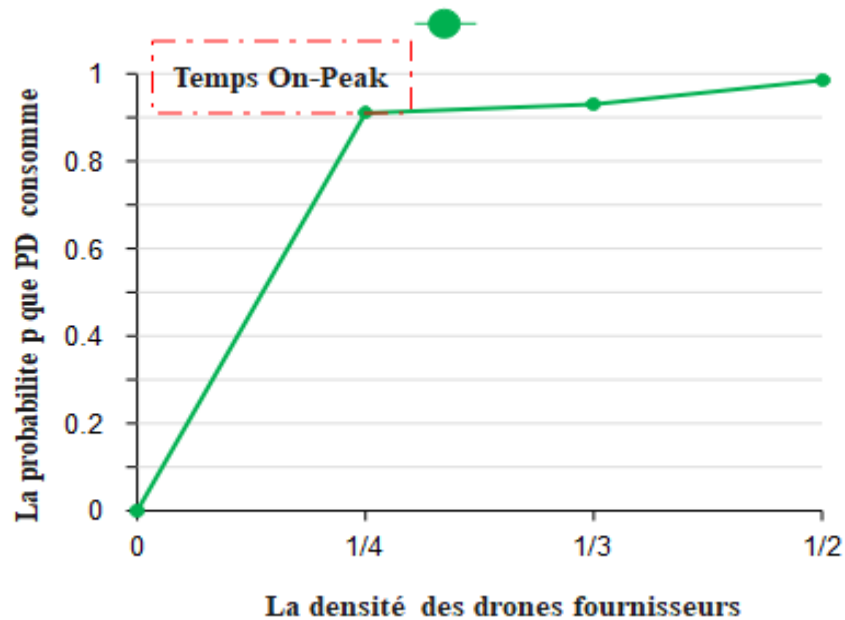


Figure 23 : Convergence de probabilité  $p$  dans la période de temps On-Peak



L'objectif de notre étude de simulation est de trouver des réponses à la question fondamentale suivante : quand et comment les CD (drones consommateurs) peuvent-ils choisir le meilleur service ? Le tableau 06 présente les quatre principaux drones fournisseurs sélectionnés et les probabilités de consommation et d'offre correspondantes, pendant les trois périodes de temps (Off-Peak, Mid-Peak et On-Peak).

Nous observons que la probabilité de consommation peut atteindre jusqu'à 0,987 en Off-Peak. Cette valeur diminue à 0,983 et 0,72 en période de Mid-Peak et d'On-Peak, respectivement. D'autre part, la probabilité d'offre augmente de 0,93 en Off-Peak à 0,983 et 0,987 en période de Mid-Peak et On-Peak, respectivement.

Ces résultats sont également confirmés dans les Figures 18, 19, 20, 21, 22 et 23 ce qui peut s'expliquer par le fait que de la Off-Peak, à la On-Peak, la demande de service augmente, ce qui entraîne une augmentation du prix de vente proposé par les PD (drones fournisseurs). Par conséquent, ces derniers peuvent augmenter leurs prix, en particulier lorsque le nombre de consommateurs est important, afin d'augmenter leurs gains. Ainsi, les PDs ont davantage intérêt à proposer leurs services pendant les On-Peak que pendant les heures des Off-Peaks. De plus, la diminution de la probabilité de consommation de la Off-Peak à la On-Peak est également due à l'augmentation de la demande, ce qui entraîne une augmentation des prix. Cela oblige les consommateurs à consommer leurs services avec le moins d'argent possible pendant ces périodes. Nous remarquons également que la probabilité d'offre diminue et que la probabilité de consommation augmente lorsque nous augmentons la densité des fournisseurs (1/4, 1/3 et 1/2).

La présence de plus de PD dans le réseau implique que les CD ont plus de chances de trouver les PD les plus adaptés, ce qui fait augmenter la probabilité p

(Les Figure 21, 22,23) et augmente la probabilité  $q$  (Les Figure 18,19 ,20). Afin de consommer à moindre coût et maximiser leurs profits, il est judicieux d'encourager les CD à consommer pendant les Off-Peak, par exemple la nuit. Ainsi, les PD doivent choisir la bonne politique de tarification pour équilibrer l'offre et la demande.

### III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé différentes étapes de l'installation du système, notamment la configuration dans les Frameworks de travail OMNeT++, INET et AVENS. Nous avons également présenté le scénario de SC-SF et détaillé les paramètres de simulation utilisés. Ensuite, nous avons procédé à l'évaluation de notre proposition et de discuter des résultats obtenus.

---

## Conclusion générale

---

Notre travail de recherche s'est concentré sur les FANETs (Flying Ad-Hoc Networks), en se penchant sur l'offre et la consommation de services dans ces environnements dynamiques. Nous avons exploré différentes facettes de ces domaines, en présentant les concepts, les architectures, les modèles de mobilité et les mécanismes de sélection des services.

Dans le premier chapitre, nous avons établi les bases en définissant les FANETs, en mettant en évidence leurs caractéristiques et leurs applications potentielles. Nous avons également examiné les différentes architectures des FANETs et ces modèles de mobilité.

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes concentrés sur le cloud véhiculaire et la sélection des services. Nous avons introduit le concept de théorie des jeux pour prendre des décisions de sélection efficaces, en nous appuyant sur l'équilibre de Nash comme objectif à atteindre. Nous avons présenté notre approche SC-SF pour l'offre et la consommation de services entre les drones via une station de base, en détaillant le processus d'échange de paquets et en explorant les jeux possibles entre les drones lors de la sélection des services.

Le troisième chapitre a porté sur l'implémentation et l'évaluation du système. Nous avons présenté les étapes d'installation et de configuration, ainsi que le scénario de simulation utilisé. Nous avons procédé à une évaluation approfondie du système et avons discuté des résultats obtenus.

En résumé, notre travail de recherche a permis de mieux comprendre les FANETs, le cloud véhiculaire et les mécanismes de sélection des services. Nous avons proposé une approche SC-SF pour l'offre et la consommation de services entre les drones, en utilisant la théorie des jeux comme cadre de décision. Nos résultats expérimentaux ont démontré l'efficacité de notre approche.

Pour les perspectives futures, il reste encore de nombreux défis à relever, tels que la sécurité des communications, l'optimisation des performances du système et l'intégration de nouvelles technologies telles que la blockchain. Ces domaines offrent des opportunités intéressantes pour de futures recherches et développements.

## Les références

---

- [1] Ben Bezziane, M., Korichi, A., Kerrache, C. A., & Fekair, M. E. A. (2021). RCVC: RSU-Aided Cluster-Based Vehicular Clouds Architecture for Urban Areas. *Electronics*, 10(2), 193.
- [2] Bekmezci, I., Sahingoz, O. K., & Temel, Ş. (2013). Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey. *Ad Hoc Networks*, 11(3), 1254-1270.
- [3] Sahingoz, O. K. (2014). Networking models in flying ad-hoc networks (FANETs): Concepts and challenges. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 74, 513-527.
- [4] Leonov, A. V., & Litvinov, G. A. (2018, May). Simulation-based packet delivery performance evaluation with different parameters in flying ad-hoc network (FANET) using AODV and OLSR. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1015, No. 3, p. 032178). IOP Publishing.
- [5] Kumari, K., Sah, B., & Maakar, S. (2015). A survey: different mobility model for FANET. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5(6).
- [6] Camp, T., Boleng, J., & Davies, V. (2002). A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless communications and mobile computing*, 2(5), 483-502.
- [7] Broch, J., Maltz, D. A., Johnson, D. B., Hu, Y. C., & Jetcheva, J. (1998, October). A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. In *Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking* (pp. 85-97)
- [8] Yassein, M. B., & Alhuda, N. (2016). Flying ad-hoc networks: Routing protocols, mobility models, issues. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(6).

- [9] Bouachir, O., Abrassart, A., Garcia, F., & Larrieu, N. (2014, May). A mobility model for UAV ad hoc network. In *2014 international conference on unmanned aircraft systems (ICUAS)* (pp. 383-388). IEEE.
- [10] Bekmezci, I., Ermis, M., & Kaplan, S. (2014, May). Connected multi UAV task planning for flying ad hoc networks. In *2014 IEEE international black sea conference on communications and networking (BlackSeaCom)* (pp. 28-32). IEEE.
- [[11] <https://doc.omnetpp.org/inet/apicurrent/neddoc/inet.mobility.single.MassMobility.html> (visité le 19/06/2023)
- [12] Skourletopoulos, G., Mavromoustakis, C. X., Mastorakis, G., Batalla, J. M., Dobre, C., Panagiotakis, S., & Pallis, E. (2017). Big data and cloud computing: a survey of the state-of-the-art and research challenges. *Advances in mobile cloud computing and big data in the 5G Era*, 23-41.
- [13] Fernando, N., Loke, S. W., & Rahayu, W. (2013). Mobile cloud computing: A survey. *Future generation computer systems*, 29(1), 84-106.
- [14] Hagenauer, F., Higuchi, T., Altintas, O., & Dressler, F. (2019). Efficient data handling in vehicular micro clouds. *Ad Hoc Networks*, 91, 101871.
- [15] Brik, B., Lagraa, N., Lakas, A., & Ghamri-Doudane, Y. (2015, September). Finding a public bus to rent out services in vehicular clouds. In *2015 IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC2015-Fall)* (pp. 1-7). IEEE.
- [16] Mkiramweni, M. E., Yang, C., Li, J., & Han, Z. (2018). Game-theoretic approaches for wireless communications with unmanned aerial vehicles. *IEEE Wireless Communications*, 25(6), 104-112.
- [17] <https://inet.omnetpp.org/> (visité le 19/06/2023)
- [18] <https://www.lsec.icmc.usp.br/en/avens> (visité le 19/06/2023)
- [19] Cappello, G. M., Colajanni, G., Daniele, P., Galluccio, L., Grasso, C., Schembra, G., & Scrimali, L. R. M. (2022, June). A Multi-UAVs' Provider Model for the Provision of 5G Service Chains: A Game

Theoretic Approach. In *International Conference on Learning and Intelligent Optimization* (pp. 445-459). Cham: Springer International Publishing.