



## Rapport du projet de graphe :

Mohammed NAHI(L4)/Achraf KHAIROUN(L3)

Département Sciences du Numérique - Deuxième année  
2023-2024

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Représentation graphique de l'essaim</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Étude des graphes non valués</b>	<b>4</b>
3.1	Degré moyen et coefficient de clustering . . . . .	4
3.1.1	Degré moyen . . . . .	4
3.1.2	Distribution du degré . . . . .	5
3.1.3	Coefficient de clustering moyen . . . . .	6
3.1.4	Distribution du degré de clustering . . . . .	7
3.2	Nombre de cliques et composantes connexes . . . . .	7
3.2.1	Nombre de cliques . . . . .	7
3.2.2	Nombre de composantes connexes . . . . .	8
3.3	Longueur des chemins les plus courts . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Étude des graphes valués</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>9</b>

# 1 Introduction

Le déploiement d'un essaim de nanosatellites en orbite lunaire pour développer une application d'interférométrie marque une avancée significative dans l'exploration spatiale. Ce projet se concentre sur la communication au sein de cet essaim, qui repose sur un routage opportuniste, permettant aux nanosatellites d'échanger des données lorsqu'ils se trouvent à portée les uns des autres. L'optimisation du taux de livraison des paquets et la minimisation du temps de latence sont les principaux objectifs, avec des caractéristiques dynamiques analysées au cours d'une révolution lunaire.

Le cadre de l'étude se concentre sur trois moments spécifiques, correspondant à trois configurations de densité de l'essaim. Les données de mobilité, fournies sous forme de fichiers sur Moodle, détaillent les positions des 100 satellites en fonction de la densité de l'essaim (faible, moyenne et forte). Les nanosatellites peuvent moduler leur débit pour transmettre à différentes portées (20 km, 40 km, 60 km), et l'objectif central est de transmettre les données de chaque satellite à tous les autres membres de l'essaim.

## 2 Représentation graphique de l'essaim

Nous avons initié le processus en important les bibliothèques essentielles et en créant des graphes pour différentes portées, à savoir 20 km, 40 km et 60 km, exprimées en mètres. Cette démarche s'est basée sur l'utilisation de trois fichiers de données correspondant à trois configurations de densité de l'essaim : "topology\_low.csv", "topology\_avg.csv" et "topology\_high.csv".

Nous avons généré des représentations graphiques en 3D des essaims de nanosatellites pour chaque configuration de densité et de portée. Les graphes résultants dépeignent les connexions entre les nanosatellites, offrant ainsi une visualisation claire de la topologie de l'essaim.

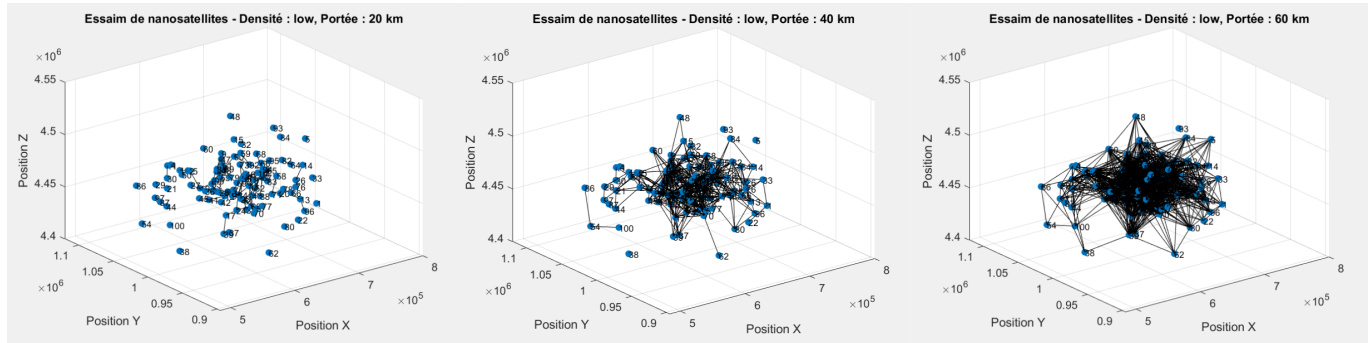


FIGURE 1 – Cas 3 - Densité faible

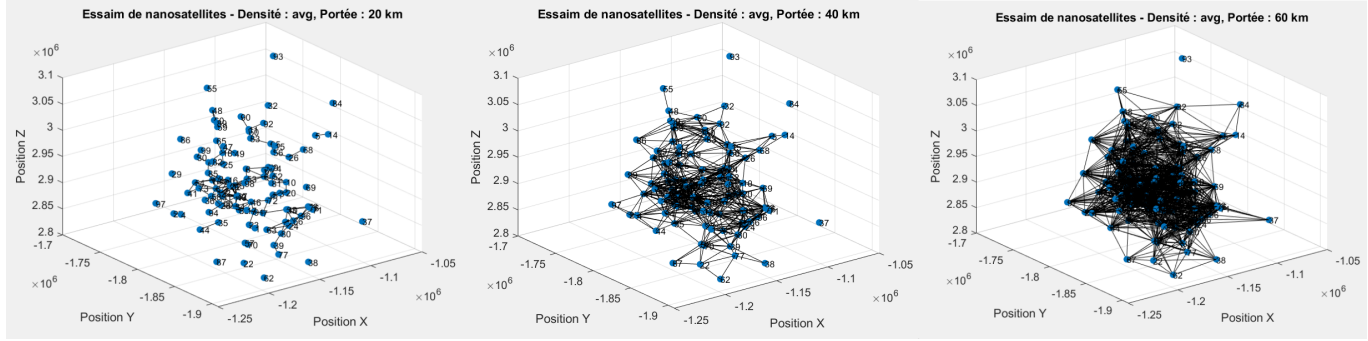


FIGURE 2 – Cas 3 - Densité moyenne

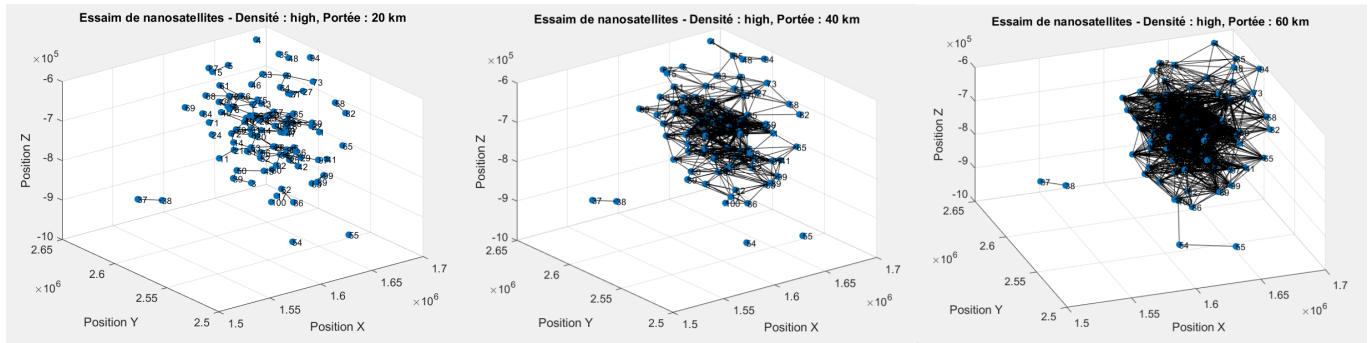


FIGURE 3 – Cas 3 - Densité élevée

L'analyse des graphes générés révèle des schémas de connectivité distincts, dépendant à la fois de la configuration de densité et de la portée de connexion.

### 3 Étude des graphes non valués

Dans cette partie, nous explorons les caractéristiques des graphes non valués résultants de la modélisation de l'essaim de nanosatellites. Nous examinons plusieurs aspects, notamment le degré moyen, la distribution du degré, le nombre de cliques, le nombre de composantes connexes, etc.

#### 3.1 Degré moyen et coefficient de clustering

Nous commençons par calculer le degré moyen des nuds dans les données pour différentes portées et densités. Le degré moyen nous donne une idée de la connectivité générale de l'essaim.

##### 3.1.1 Degré moyen

La moyenne des degrés des données se calcule en additionnant les degrés de chaque noeud, puis en divisant par le nombre total de noeuds. Voici les résultats :

- Pour la densité faible :
  - Portée de 20 km : Degré moyen = 1.8
  - Portée de 40 km : Degré moyen = 11.42
  - Portée de 60 km : Degré moyen = 29.42
- Pour la densité moyenne :

- Portée de 20 km : Degré moyen = 3.46
- Portée de 40 km : Degré moyen = 16.84
- Portée de 60 km : Degré moyen = 35.64
- Pour la densité élevée :
  - Portée de 20 km : Degré moyen = 3.72
  - Portée de 40 km : Degré moyen = 18.68
  - Portée de 60 km : Degré moyen = 37.4

L'analyse des résultats pour le degré moyen à différentes densités (faible, moyenne, élevée) et portées (20 km, 40 km, 60 km) révèle plusieurs observations significatives. Tout d'abord, il est clair qu'il existe une tendance générale à une augmentation du degré moyen avec la densité du réseau. Cette observation suggère que dans des conditions de densité plus élevée, les nuds ont tendance à être davantage connectés, indiquant une plus grande interconnectivité dans ces scénarios. De plus, une autre tendance notable se manifeste avec une augmentation du degré moyen à mesure que la portée augmente. Cette dynamique suggère que les nuds ont tendance à établir des connexions plus étendues à mesure que la portée de la modulation de leurs débits augmente, soulignant l'importance de la portée dans la configuration des connexions.

### 3.1.2 Distribution du degré

Nous avons également examiné la distribution du degré des nuds. La distribution du degré nous donne des informations sur la variabilité de la connectivité des nuds. Les résultats sont visualisés dans les histogrammes suivants .

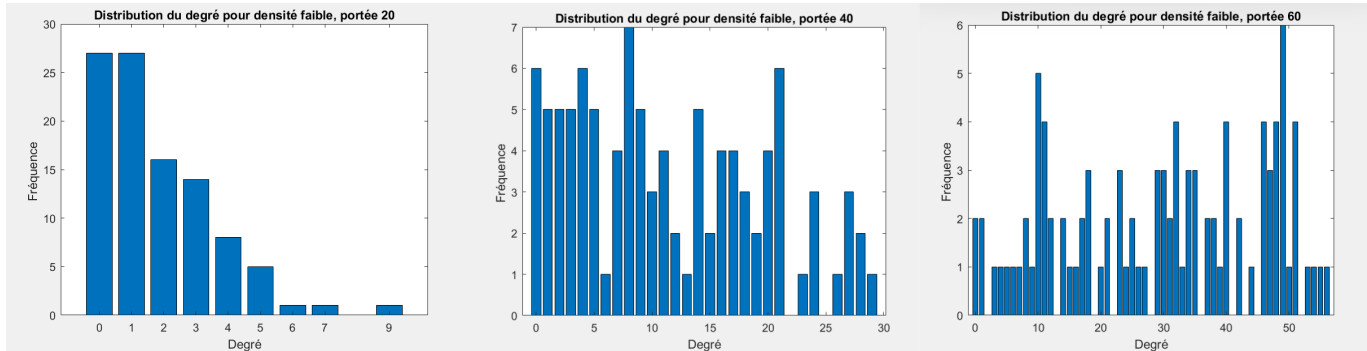


FIGURE 4 – Cas 1 - Densité faible

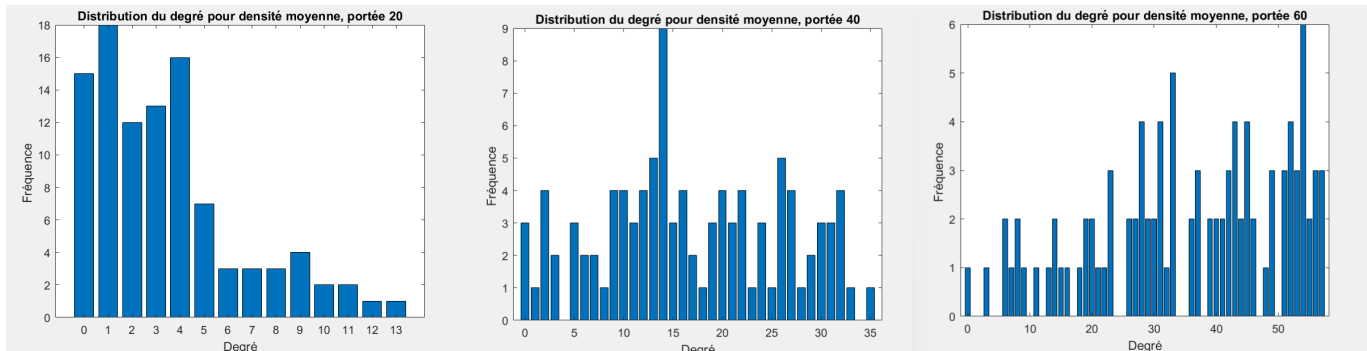


FIGURE 5 – Cas 2 - Densité moyenne

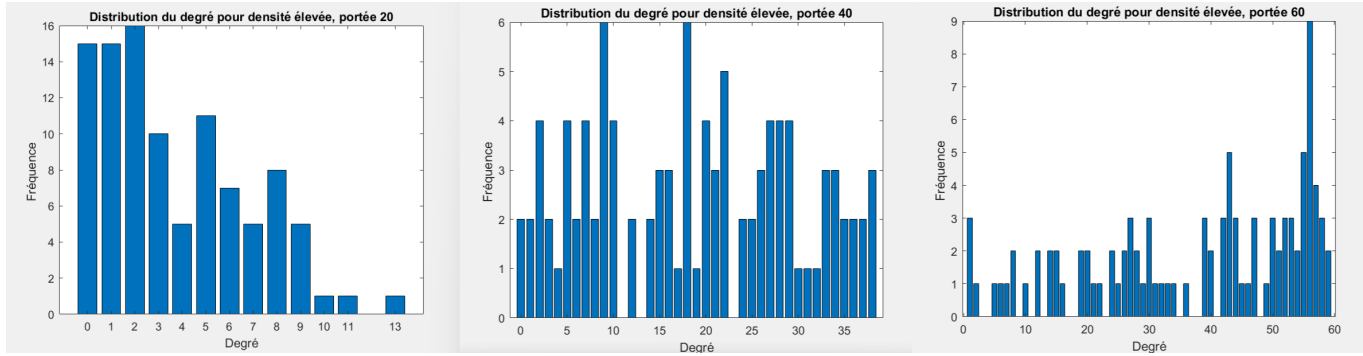


FIGURE 6 – Cas 3 - Densité élevée

Concernant la distribution du degré, les histogrammes ci-dessus illustrent de manière explicite les résultats précédents. On observe clairement qu'avec l'augmentation de la portée et de la densité du réseau, à la fois le degré moyen et la fréquence des sommets augmentent. Cette observation suggère une corrélation positive entre la densité du réseau, la portée et la connectivité des nuds. Plus spécifiquement, à mesure que la portée augmente, les nuds semblent ajuster leurs connexions pour répondre aux différentes distances, entraînant une augmentation globale du degré des nuds et, par conséquent, de la fréquence des sommets dans le réseau.

### 3.1.3 Coefficient de clustering moyen

Le coefficient de clustering moyen mesure la tendance des nuds à former des groupes densément connectés. Les résultats sont les suivants :

- Pour la densité faible :
  - Portée de 20 km : Coefficient de clustering moyen = 0.22608
  - Portée de 40 km : Coefficient de clustering moyen = 0.52047
  - Portée de 60 km : Coefficient de clustering moyen = 0.67238
- Pour la densité moyenne :
  - Portée de 20 km : Coefficient de clustering moyen = 0.36371
  - Portée de 40 km : Coefficient de clustering moyen = 0.63695
  - Portée de 60 km : Coefficient de clustering moyen = 0.72803
- Pour la densité élevée :
  - Portée de 20 km : Coefficient de clustering moyen = 0.39812
  - Portée de 40 km : Coefficient de clustering moyen = 0.66506
  - Portée de 60 km : Coefficient de clustering moyen = 0.72806

Les résultats du coefficient de clustering moyen mettent en évidence une tendance à la formation de groupes densément connectés dans le réseau. Avec l'augmentation de la densité et de la portée, le coefficient de clustering moyen croît, indiquant une connectivité plus étroite entre les nuds et soulignant l'importance de ces facteurs dans la structure locale du réseau.

### 3.1.4 Distribution du degré de clustering

L'histogramme du coefficient de clustering illustre de manière visuelle la distribution des connexions locales, soulignant la prévalence de nuds formant des clusters densément connectés dans le réseau.

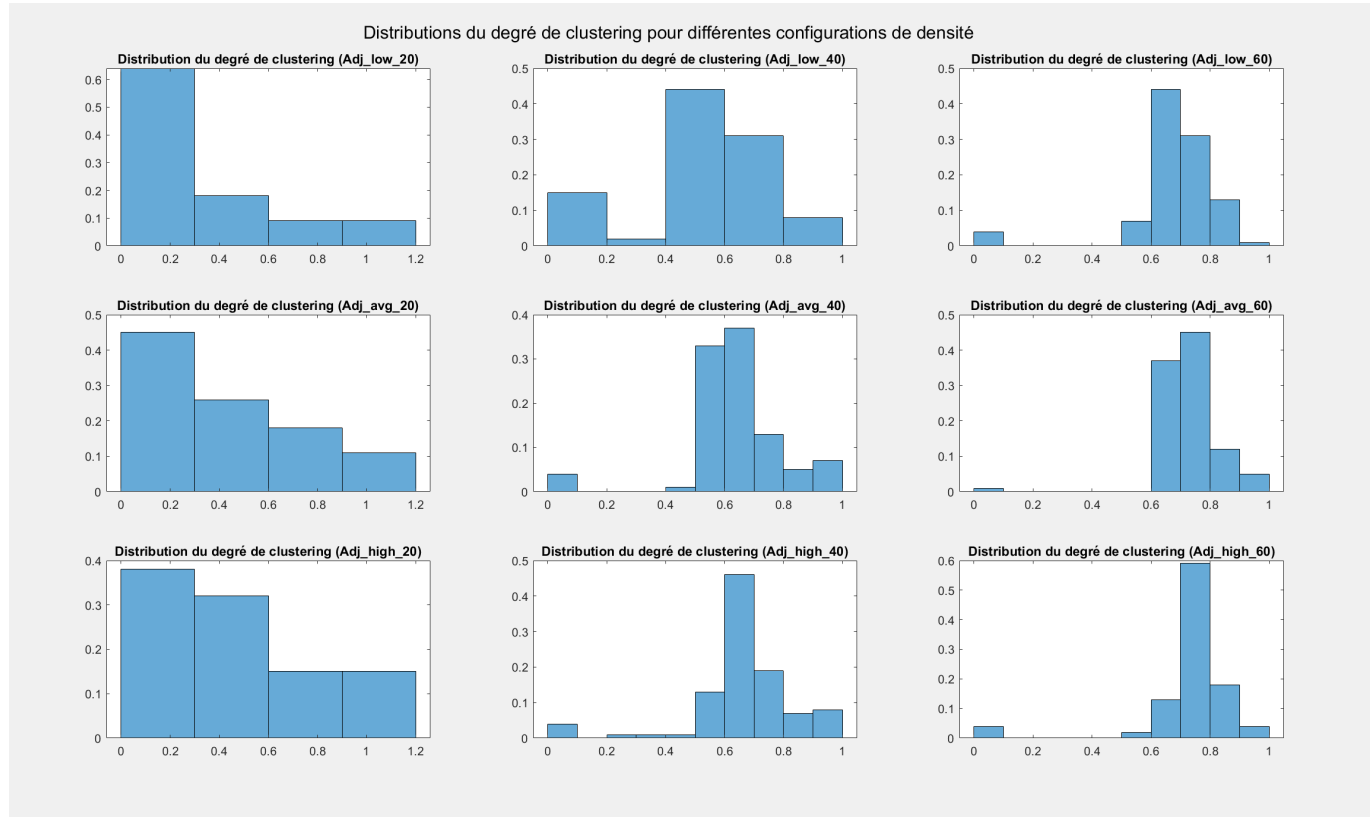


FIGURE 7 – Distribution du degré de clustering pour différentes configurations de densité

## 3.2 Nombre de cliques et composantes connexes

Dans cette partie, nous examinons le nombre de cliques et de composantes connexes dans les graphes non valués.

### 3.2.1 Nombre de cliques

Le nombre de cliques dans un graphe est calculé pour chaque jeu de données et portée. Nous avons également déterminé l'ordre de chaque clique. Les résultats sont les suivants :

- Pour la densité faible :
  - Portée de 20 km : Nombre de cliques = 77
  - Portée de 40 km : Nombre de cliques = 147
  - Portée de 60 km : Nombre de cliques = 301
- Pour la densité moyenne :
  - Portée de 20 km : Nombre de cliques = 83
  - Portée de 40 km : Nombre de cliques = 171

- Portée de 60 km : Nombre de cliques = 258
- Pour la densité élevée :
  - Portée de 20 km : Nombre de cliques = 85
  - Portée de 40 km : Nombre de cliques = 139
  - Portée de 60 km : Nombre de cliques = 200

Le nombre de cliques augmente proportionnellement à la densité du réseau et à la portée. En particulier, à densité faible, une croissance significative du nombre de cliques est observée avec l'extension de la portée, indiquant une diversité accrue des sous-structures. À densité moyenne, bien que l'augmentation persiste, elle est plus modérée. Enfin, à densité élevée, le nombre de cliques reste relativement stable, suggérant une cohésion structurelle même sur de plus grandes distances entre les nuds.

### 3.2.2 Nombre de composantes connexes

Le nombre de composantes connexes dans un graphe mesure la séparation des nuds en groupes distincts. Les résultats sont les suivants :

- Pour la densité faible :
  - Portée de 20 km : Nombre de composantes connexes = 39
  - Portée de 40 km : Nombre de composantes connexes = 8
  - Portée de 60 km : Nombre de composantes connexes = 4
- Pour la densité moyenne :
  - Portée de 20 km : Nombre de composantes connexes = 22
  - Portée de 40 km : Nombre de composantes connexes = 4
  - Portée de 60 km : Nombre de composantes connexes = 2
- Pour la densité élevée :
  - Portée de 20 km : Nombre de composantes connexes = 23
  - Portée de 40 km : Nombre de composantes connexes = 4
  - Portée de 60 km : Nombre de composantes connexes = 2

Les résultats montrent une diminution du nombre de composantes connexes avec l'augmentation de la densité et de la portée du réseau. À densité faible, la fragmentation est notable, avec un nombre élevé de composantes à des portées plus courtes. Cependant, à densité moyenne et élevée, la fragmentation diminue, indiquant une connectivité plus robuste sur de plus grandes distances.

## 3.3 Longueur des chemins les plus courts

La fonction "chemins" a été développée pour analyser les plus courts chemins dans un graphe non pondéré représentant le réseau de communication. Cette fonction prend en compte la matrice d'adjacence A du graphe. Elle retourne une matrice qui contient les chemins les plus courts entre les sommets. Pour visualiser les résultats, il est nécessaire de décommenter cette partie du code s'il est commenté.



## 4 Étude des graphes valués

Cette section se penche sur l'analyse des graphes en considérant des poids spécifiques aux arêtes, définis comme le carré de la distance entre les nanosatellites en extrémités. Il est important de noter que, malgré cette prise en compte des poids, les caractéristiques telles que le nombre de cliques, les degrés des sommets et les composantes connexes demeureront inchangées, car ces mesures ne sont pas directement affectées par les valeurs pondérées. Dans le cadre de cette étude, notre attention se focalise principalement sur la modification potentielle du plus court chemin dans le réseau, offrant ainsi un aperçu spécifique des implications des poids des arêtes sur cette caractéristique particulière.

Pour récupérer les résultats liés au plus court chemin, le fichier `partie3.m` utilise la fonction `floydWarshall`. Cette fonction génère deux matrices : la première contient les plus courtes distances entre chaque paire de sommets, tandis que la deuxième matrice indique le chemin le plus court entre deux sommets. Pour visualiser ces résultats, il suffit de décommenter les lignes appropriées dans le script.

## 5 Conclusion

Cette étude approfondie des réseaux de nanosatellites dans des environnements variés met en lumière l'impact des paramètres tels que la densité du réseau et la portée de communication sur leurs propriétés structurelles. L'analyse des caractéristiques, comme le degré moyen, la distribution du degré, le coefficient de clustering, le nombre de cliques, et les composantes connexes, révèle des variations significatives. En outre, l'utilisation de graphes pondérés dans la dernière partie souligne l'importance des distances dans la modélisation des réseaux spatiaux. Ces résultats offrent des perspectives essentielles pour la conception et l'optimisation de réseaux de nanosatellites, contribuant ainsi au développement futur de missions spatiales basées sur ces technologies.