



Projet graphes : Essaim de nanosatellites

Amal El Mosslih
Adam Rochdi

Année: 2024/2025

Sommaire

1	Introduction	2
2	Modélisation graphique de l'essaim	2
3	Étude des graphes non valués	3
3.1	Degré moyen et coefficient de clustering moyen	3
3.2	Distribution des degrés, coefficient de clustering	3
3.2.1	Distribution des degrés	3
3.2.2	distribution du coefficient de clustering	4
3.3	Nombre de cliques et nombre de composantes connexes	5
3.4	Longueur des chemins les plus courts, distribution des plus courts chemins et nombre des plus courts chemins	5
3.4.1	nombre des plus courts chemins	5
3.4.2	Longueur des chemins les plus courts, distribution des plus courts chemins	6
4	Étude des graphes valués	7
4.1	Longueur des chemins les plus courts, distribution des plus courts chemins et nombre des plus courts chemins	7
5	Conclusion	7

1 Introduction

Les avancées technologiques dans le domaine spatial ont conduit à la création des nanosatellites, des dispositifs compacts et efficaces utilisés pour diverses missions scientifiques et techniques, telles que l'interférométrie. Ce projet explore la connectivité et les échanges de données entre ces satellites positionnés autour de la Lune. Leur communication repose sur un mécanisme opportuniste, où chaque satellite transmet des informations lorsqu'il est à portée d'un autre. L'objectif principal est d'analyser comment la densité et la portée influencent la structure et l'efficacité de cet essaim de satellites.

Pour ce faire, l'essaim est modélisé à l'aide de graphes, et ses caractéristiques topologiques sont étudiées sous différentes configurations. Le travail se divise en trois étapes : la modélisation graphique de l'essaim, l'étude des propriétés structurelles à travers des graphes non pondérés, et enfin l'analyse de graphes pondérés prenant en compte les distances entre les nanosatellites. Ces étapes visent à mieux comprendre les dynamiques internes de l'essaim et à fournir des informations pour optimiser la communication entre les satellites.

2 Modélisation graphique de l'essaim

Dans cette partie, nous présentons les résultats de la modélisation graphique de l'essaim de nanosatellites pour différentes configurations de densité et de portée. Les graphes obtenus permettent d'illustrer la structure de connectivité au sein de l'essaim et de visualiser l'évolution de cette connectivité en fonction des paramètres étudiés.

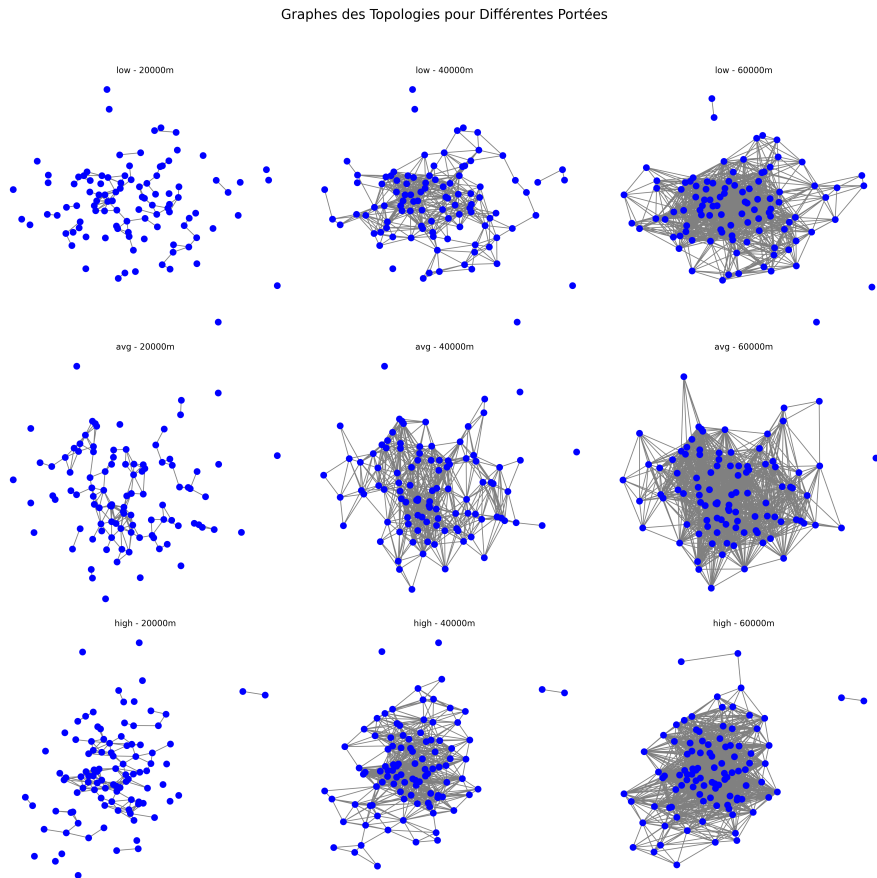


Figure 1: Enter Caption

Les résultats présentés ci-dessus montrent l'évolution de la connectivité de l'essaim en fonc-

tion de la densité et de la portée. À faible densité et portée limitée (20 km), la connectivité globale est faible avec plusieurs satellites isolés et des petits clusters indépendants. À densité moyenne et avec une portée accrue (40 km), les satellites commencent à former des clusters plus grands, permettant une meilleure connectivité globale. Enfin, à densité forte et portée maximale (60 km), l'essaim devient quasiment complètement connecté, assurant une communication efficace entre la majorité des satellites.

3 Étude des graphes non valués

3.1 Degré moyen et coefficient de clustering moyen

Densité	20 km	40 km	60 km
Low	1.8 / 0.2261	11.42 / 0.5205	29.42 / 0.6724
Avg	3.46 / 0.3637	16.84 / 0.6370	35.64 / 0.7280
High	3.72 / 0.3981	18.68 / 0.6651	37.4 / 0.7281

Table 1: *degré moyen / clustering moyen*

Les résultats montrent que le degré moyen et le coefficient de clustering augmentent avec la densité et la portée. Cela reflète une connectivité accrue entre les sommets et une cohésion locale plus forte au sein des clusters lorsque le réseau devient plus dense.

3.2 Distribution des degrés, coefficient de clustering

3.2.1 Distribution des degrés

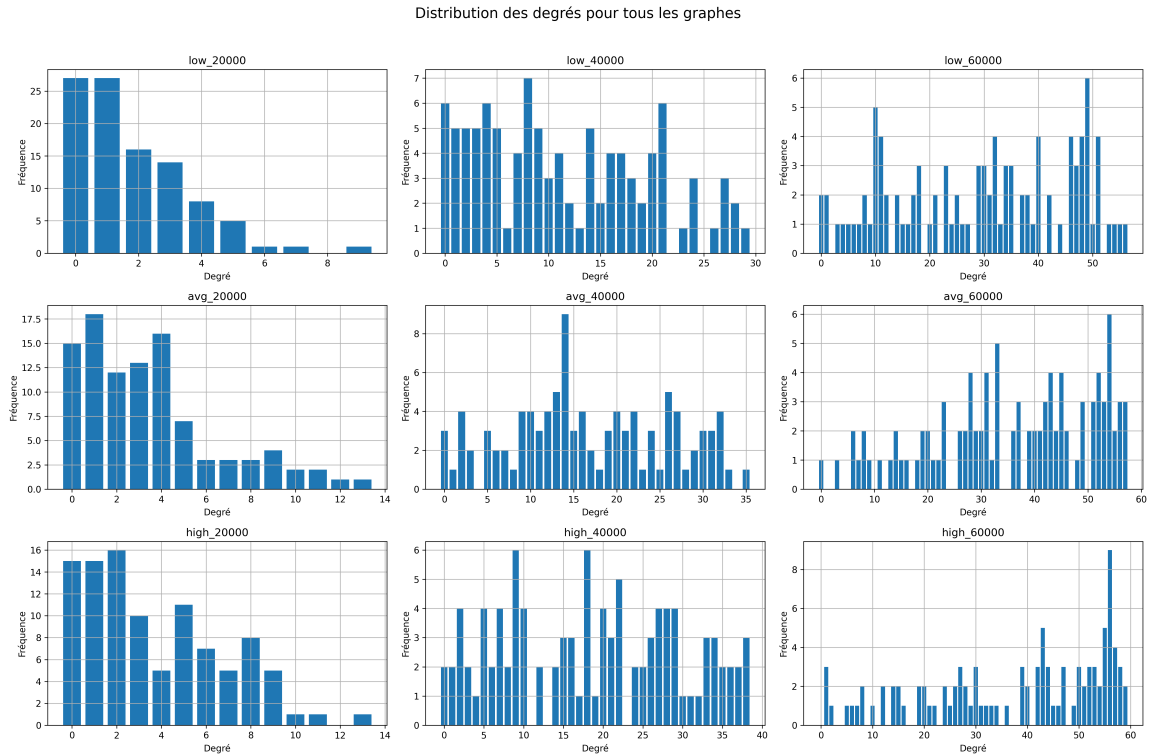


Figure 2: Distribution des degrés des sommets d'un graphe selon différentes densités et portées

Les résultats de la distribution des degrés pour chaque type de topologie (dense, moyenne, élevée), calculés pour différentes portées, montrent qu'à mesure que la portée augmente, les degrés des sommets du graphe augmentent progressivement. Cela indique qu'en étendant leur portée, chaque nanosatellite peut transmettre des données à un nombre croissant de voisins 2.

3.2.2 distribution du coefficient de clustering

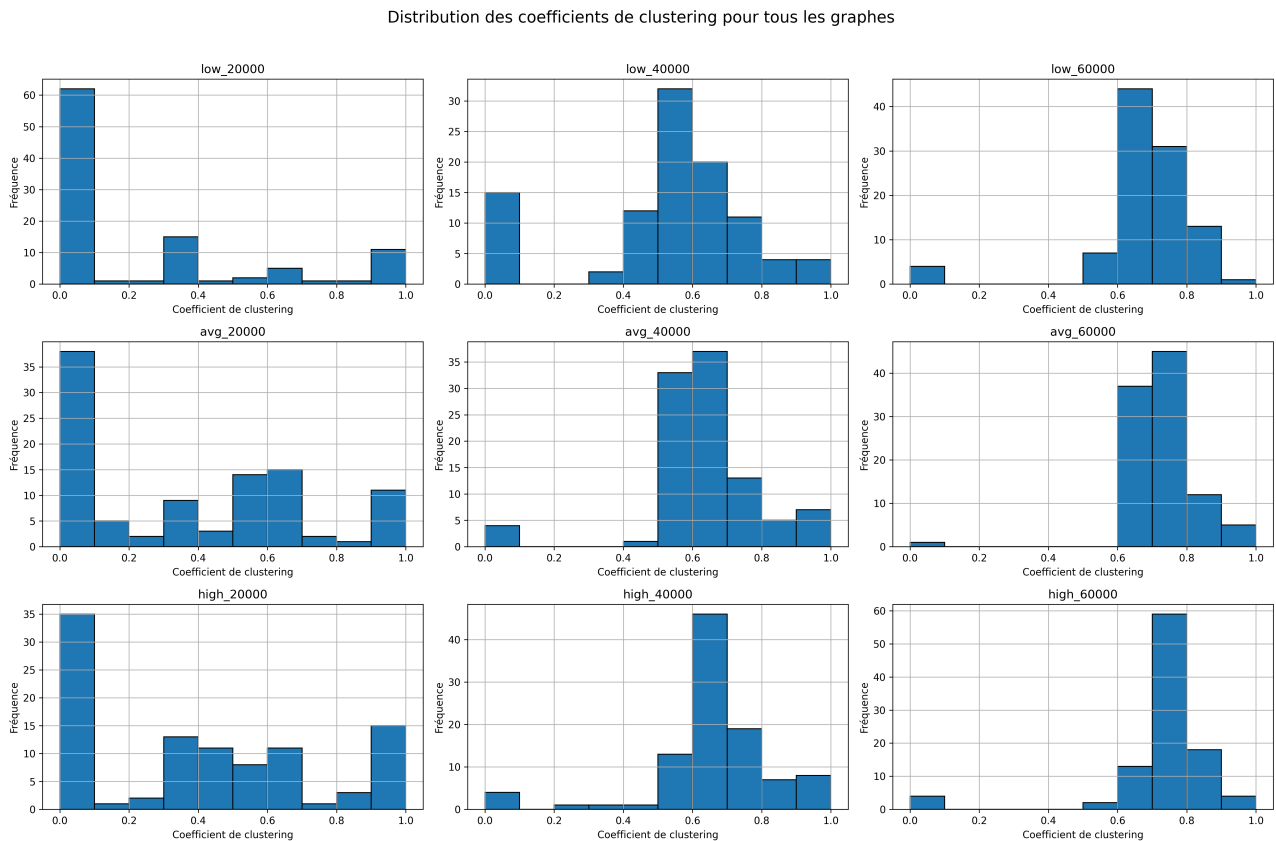


Figure 3: Distribution du coefficient de clustering des graphes selon différentes densités et portées

Le coefficient de clustering, également appelé indice d'agglomération, mesure la propension des nœuds d'un graphe à se regrouper en communautés ou en clusters. Cette métrique offre un éclairage sur les tendances observées, comme l'illustre la Figure 3. En effet, à mesure que la densité et la portée augmentent, les nœuds ont tendance à s'intégrer dans des groupes plus compacts, où les connexions entre voisins sont significativement renforcées. Autrement dit, dans des graphes à la fois plus denses et de plus grande portée, les nœuds ne sont pas seulement davantage connectés, mais ils forment aussi des structures plus solidaires et interconnectées.

3.3 Nombre de cliques et nombre de composantes connexes

Configuration	Nombre de Cliques	Nombre de Composantes Connexes
low_20000	77	39
low_40000	147	8
low_60000	301	4
avg_20000	83	22
avg_40000	171	4
avg_60000	258	2
high_20000	85	23
high_40000	139	4
high_60000	200	2

Table 2: Nombre de cliques et de composantes connexes pour chaque configuration

Les résultats montrent qu’avec l’augmentation de la portée et de la densité, le nombre de cliques augmente tandis que celui des composantes connexes diminue. Par exemple, à faible portée (low_20000), les graphes sont plus fragmentés avec de nombreuses composantes connexes et un nombre limité de cliques. À l’inverse, à grande portée (high_60000), les graphes deviennent plus connectés, formant des cliques plus grands et moins de composantes connexes, ce qui indique une meilleure intégration entre les nœuds. Cela reflète l’impact de la portée et de la densité sur la cohésion du réseau.

3.4 Longueur des chemins les plus courts, distribution des plus courts chemins et nombre des plus courts chemins

3.4.1 nombre des plus courts chemins

Configuration	Nombre total	Moyenne	Nombre maximum	Nombre minimum
low_20000	2190.0	1.72	9.0	1.0
low_40000	111562.0	13.45	495.0	1.0
low_60000	181178.0	19.65	1006.0	1.0
avg_20000	100520.0	24.42	440.0	1.0
avg_40000	287884.0	30.59	2101.0	1.0
avg_60000	481666.0	49.14	9839.0	1.0
high_20000	19578.0	5.09	86.0	1.0
high_40000	602548.0	65.34	8738.0	1.0
high_60000	711614.0	74.06	13087.0	1.0

Table 3: Résumé des plus courts chemins pour les différentes configurations.

Les résultats montrent qu’à mesure que la portée et la densité augmentent, le nombre total de plus courts chemins et la longueur moyenne des chemins augmentent également. Dans les graphes à faible portée, les distances sont plus courtes, avec un nombre de chemins moins complexe. En revanche, dans les graphes à portée plus élevée, les chemins deviennent plus nombreux et plus longs, indiquant une augmentation de la complexité des connexions entre les nœuds. Ces tendances soulignent l’impact de la densité et de la portée sur la connectivité et la transmission des informations dans les réseaux de nanosatellites.

3.4.2 Longueur des chemins les plus courts, distribution des plus courts chemins

Distribution des longueurs des plus courts chemins pour tous les graphes

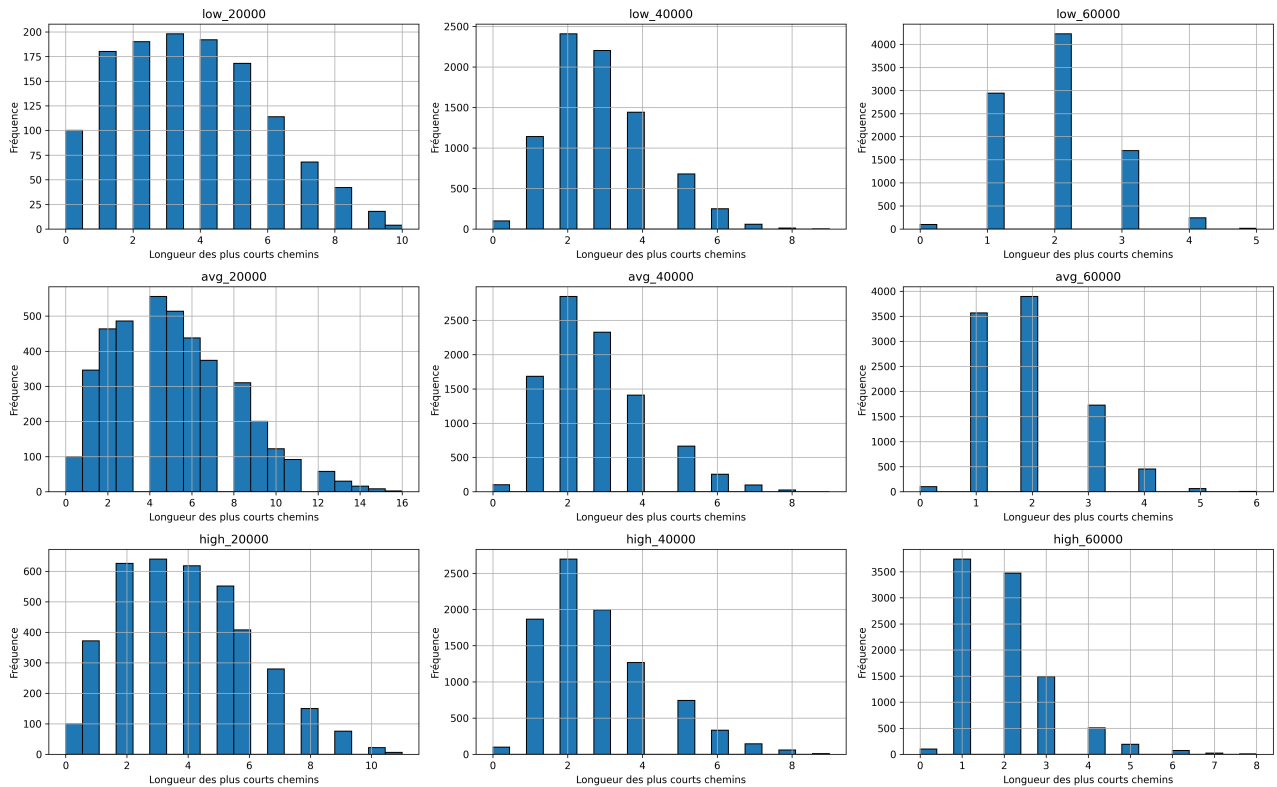


Figure 4: Distribution des plus courts chemins selon différentes densités et portées.

On constate que le nombre de chemins de longueur plus élevée diminue et il y a donc plus de plus courts chemins de longueur plus faible. C'est intuitif : une portée plus élevée implique plus de connexions entre des noeuds éloignés et alors moins de sauts à effectuer pour se rendre de l'un à l'autre.

4 Étude des graphes valués

4.1 Longueur des chemins les plus courts, distribution des plus courts chemins et nombre des plus courts chemins

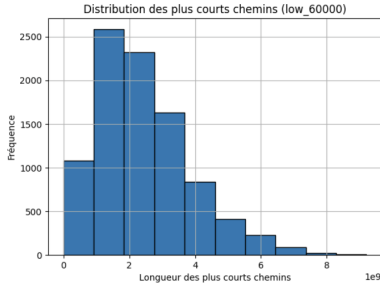


Figure 5: low_60000

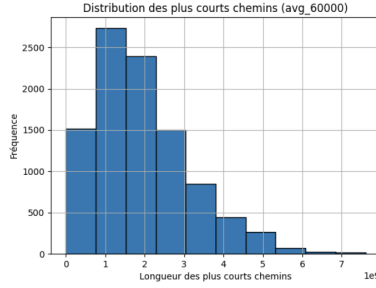


Figure 6: avg_60000

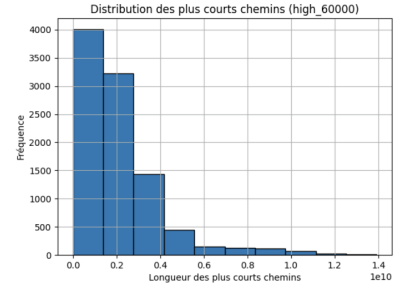


Figure 7: high_60000

Figure 8: Les trois figures côte à côte : low, avg et high_60000.

Avec une portée de 60 km et un coût défini par le carré de la distance, l'analyse révèle des tendances claires. Dans **low_60000**, la moyenne des degrés pondérés est plus faible (56.7×10^9), avec un clustering élevé (0.30) et des plus courts chemins coûteux (2.43×10^9), reflétant un réseau éparé mais localement interconnecté. À **avg_60000**, l'équilibre entre densité et coût est optimal : les degrés pondérés augmentent (62.5×10^9), le clustering diminue légèrement (0.28) et les plus courts chemins sont les moins coûteux (1.93×10^9). En revanche, dans **high_60000**, bien que les degrés pondérés soient les plus élevés (62.6×10^9), le clustering diminue encore (0.27) et les plus courts chemins augmentent (2.16×10^9) en raison de la forte pondération des connexions longues. Ainsi, **avg_60000** semble offrir le meilleur compromis entre densité, interconnectivité locale et coût global, tandis que **low_60000** favorise un réseau peu coûteux mais moins dense, et **high_60000** risque de devenir prohibitif en coût total.

5 Conclusion

Notre analyse a mis en évidence comment la densité de distribution des satellites et leur portée impactent la connectivité du réseau et l'efficacité des communications. En ajustant ces deux paramètres - la portée et la densité - nous pouvons optimiser la configuration du réseau satellitaire pour répondre au mieux à nos objectifs spécifiques.