



Modélisation d'un essaim de nanosatellites par un graphe

EL MOKRIE EL IDRISSI Zaid - ZHANI Reda - ZOUICHA Mohammed

Département Sciences du Numérique - Deuxième année - B
2023-2024

Table des matières

1	Introduction	3
2	Outils choisis	3
3	Modélisation par des graphes non valués	3
3.1	Degré moyen et moyenne du degré de clustering	3
3.2	La distribution du degré	4
3.3	Distribution du degré de clustering	5
3.4	Distribution des plus courts chemins	5
4	Modélisation par un graphe pondéré	6
5	Conclusion	7

Table des figures

1	Les 3 graphes pour la densité faible	3
2	Evolution du degré moyen et de moyenne de clustering	4
3	Distribution du degré du graphe à différentes densité	4
4	Distribution du degré du clustering des graphes à différentes densité	5
5	Distribution du chemins à densité basse	6
6	Même graphe à portée différente	7
7	Distribution du chemins pour une portée = 60000	7

1 Introduction

Le long de ce projet, nous allons étudier un essaim de nanosatellites durant trois instants différents représentant trois topologies différentes, et cela, pour trois portées de communications différentes. Dans un premier lieu, nous allons modéliser l'essaim par un graphe non valué et donc les distances ne seront pas prises en compte pour la détermination des chemins les plus courts (Ceci est naturellement pas un choix pertinent dans la réalité puisque la transmission de l'information par ondes à faible fréquence est affectée par les distances). En deuxième lieu, l'étude sera reprise avec une modélisation par graphe pondéré afin de prendre en compte les distances entre les nanosatellites.

2 Outils choisis

Nous avons choisi d'utiliser la librairie Networkx sur Python pour effectuer le projet. Ce choix est justifié par la pertinence et l'utilité des fonctions fournies pour la modélisation des graphes, ainsi que notre familiarité avec le langage Python.

3 Modélisation par des graphes non valués

Nous avons pu observer dans cette partie les changements qui ont lieu avec l'augmentation de la portée des nanosatellites (des augmentations assez évidentes dans les degrés et le nombre des arêtes) mais aussi de comprendre les différences entre les distributions et les effets qu'ils ont sur les caractéristiques du réseau.

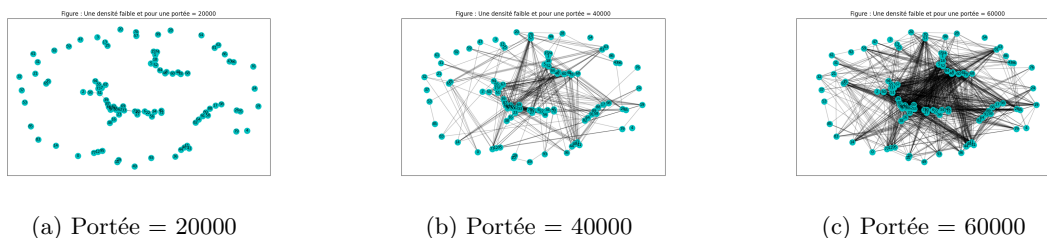
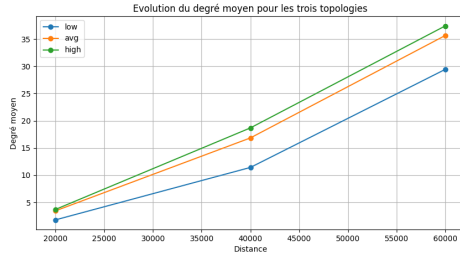


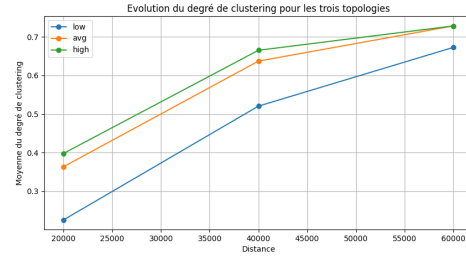
FIGURE 1 – Les 3 graphes pour la densité faible

3.1 Degré moyen et moyenne du degré de clustering

Les variations entre les niveaux de topologie (bas, moyen et haut) montrent des comportements différents en fonction du topologie du réseau. Par exemple, les niveaux de topologie plus élevés semblent avoir des degrés et des coefficients de clustering plus élevés, ce qui suggère une densité de connexion plus élevée et une organisation en clusters plus prononcée dans ces parties du réseau.



(a) Degré moyen

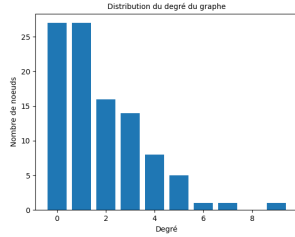


(b) moyenne de clustering

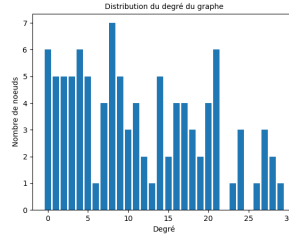
FIGURE 2 – Evolution du degré moyen et de moyenne de clustering

3.2 La distribution du degré

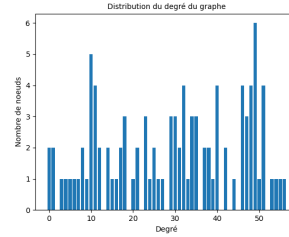
Lorsque nous examinons la **distribution du degré** des noeuds en fonction de la portée dans notre réseau, nous observons la tendance précédemment mentionnée : à mesure que la portée augmente, de plus en plus de noeuds ont un degré plus élevé. En d'autres termes, avec une plus grande portée, les nanosatellites ont la possibilité de se connecter à un plus grand nombre de voisins, ce qui se reflète dans une augmentation du degré des noeuds dans le réseau.



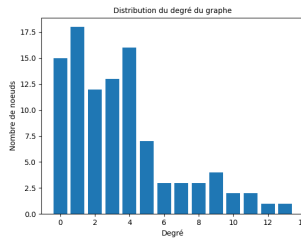
(a) densité basse- portée:20km



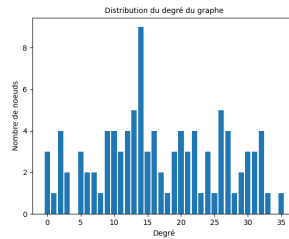
(b) densité basse- portée:40km



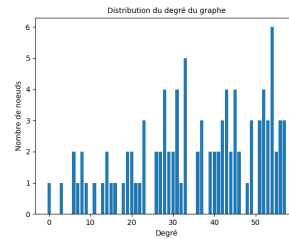
(c) densité basse- portée:60km



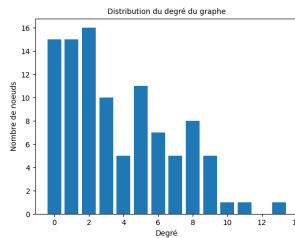
(d) densité moy- portée:20km



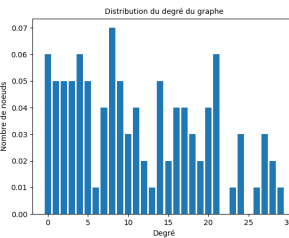
(e) densité moy- portée:40km



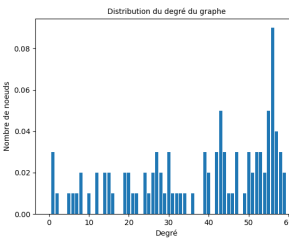
(f) densité moy- portée:60km



(g) densité haute- portée:20km



(h) densité haute- portée:40km



(i) densité haute- portée:60km

FIGURE 3 – Distribution du degré du graphe à différentes densités

3.3 Distribution du degré de clustering

En théorie des graphes et en analyse des réseaux sociaux, le **coefficient de clustering** d'un graphe est la probabilité que deux noeuds soient connectés, sachant qu'ils ont un voisin en commun. Dans notre cas, pour une haute densité, quand on augmente la portée, on inclut plus de noeuds qui sont connectés entre eux de manière dense. Cela conduit à une augmentation du nombre de noeuds présentant des coefficients de clustering élevés, car les interactions entre les noeuds tendent à se concentrer localement, formant ainsi des clusters de connexions fortes. En d'autres termes, une plus grande portée favorise la formation de structures densément interconnectées dans le réseau.

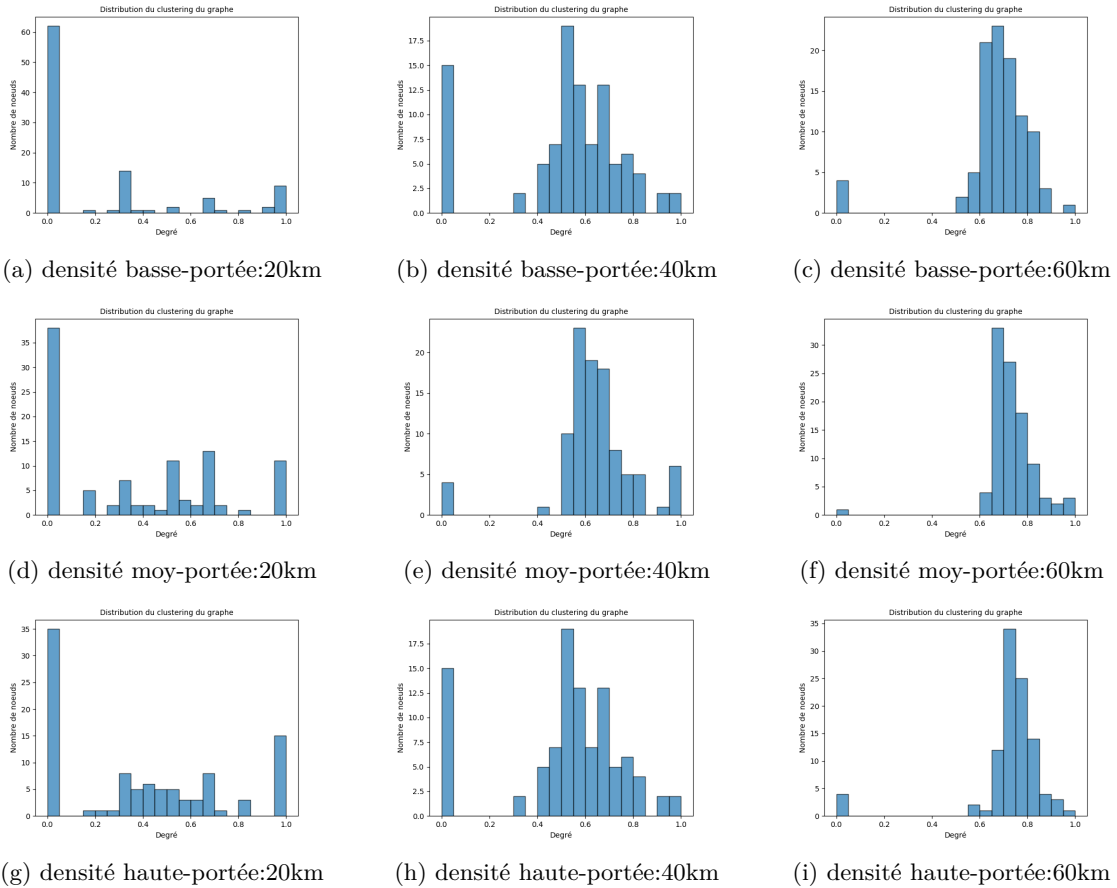


FIGURE 4 – Distribution du degré du clustering des graphes à différentes densité

3.4 Distribution des plus courts chemins

Cette augmentation de portée a l'effet opposé sur **la longueur des plus courts chemins**, qui elle rétrécit puisque le réseau devient plus directement connecté. Les noeuds éloignés n'ont plus besoin de passer par d'autres noeuds intermédiaires.

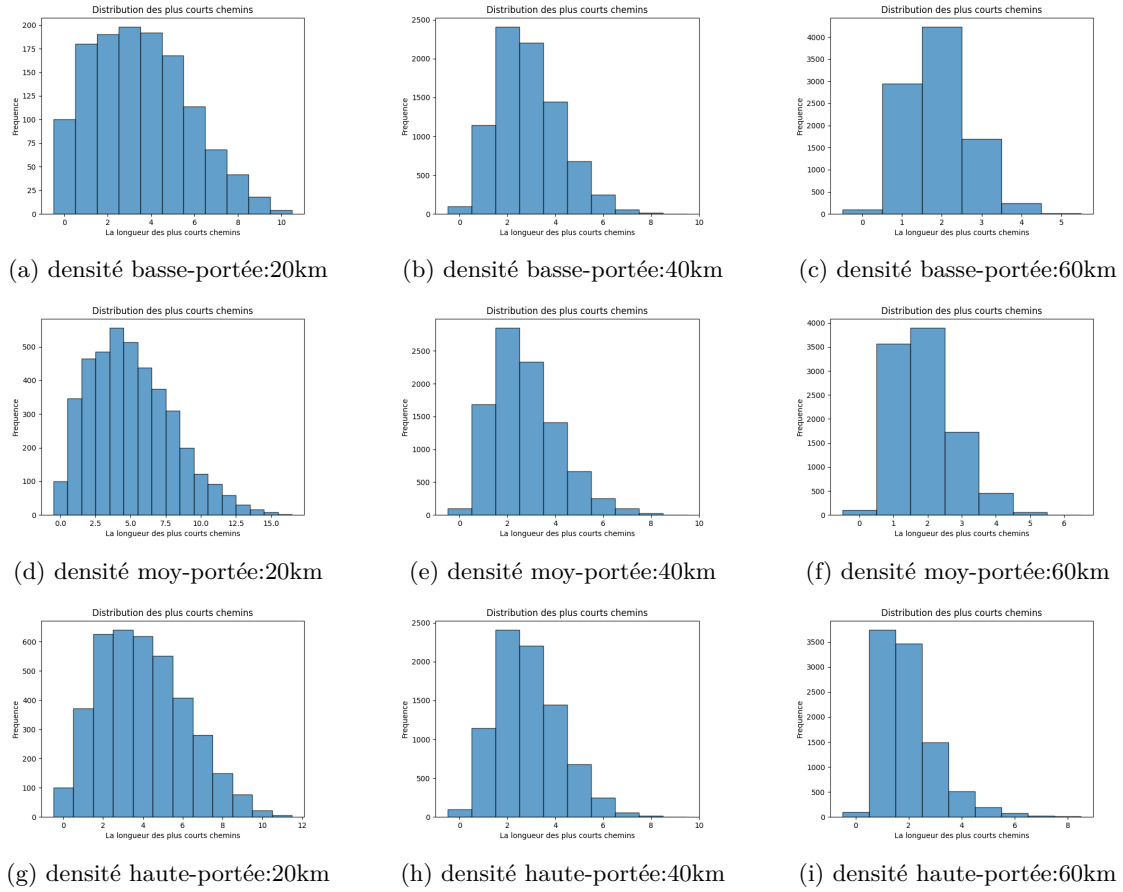


FIGURE 5 – Distribution du chemins à densité basse

4 Modélisation par un graphe pondéré

L'étude par un graphe pondéré nous permet de prendre en compte le facteur réel de la distance. Après avoir évalué les caractéristiques lors de la première étude, il est naturel de penser qu'une augmentation de la portée sera toujours bénéfique puisqu'elle réduit les longueurs des chemins les plus courts et permet ainsi une communication plus efficace, cependant ceci n'est pas le cas, lors de la prise en compte du cout (un cout assez conséquent dans notre cas parce que c'est le carré d'une distance) on peut voir que même avec une augmentation de portée les chemins les plus courts ne varient pas en longueur de façon qui justifierait cette augmentation (une augmentation qui d'ailleurs n'est pas gratuite puisqu'elle requiert un cout énergétique/technologique). On peut le voir clairement avec l'exemple simple suivant :

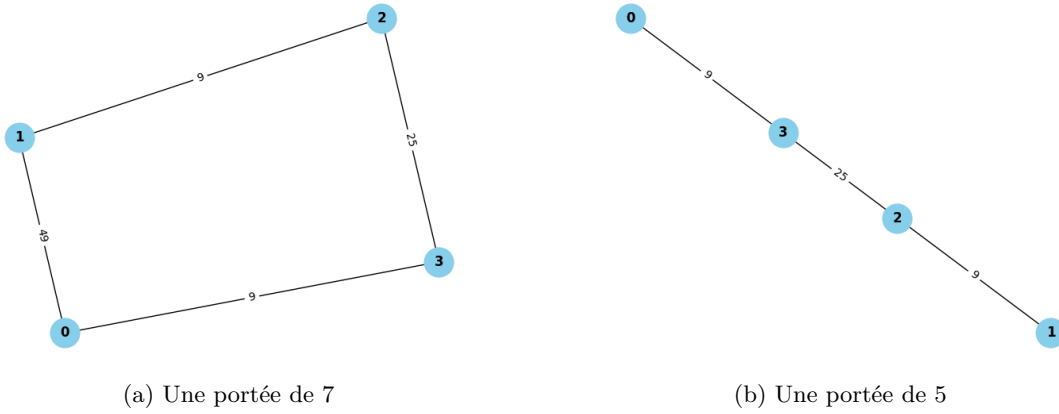


FIGURE 6 – Même graphe à portée différente

Malgré l'augmentation de la portée, cela ne garantit pas toujours une amélioration dans la recherche du plus court chemin. Dans ce contexte, où le coût est le carré de la distance, simplement augmenter la portée ne conduit pas nécessairement à un chemin le plus court plus efficace. Par exemple, même avec une portée de 7, le plus court chemin reste (0-3-2-1) comme illustré par l'inégalité $49 > 9+9+25$. Ce résultat est appuyé par les comparaisons des distributions des chemins les plus courts :

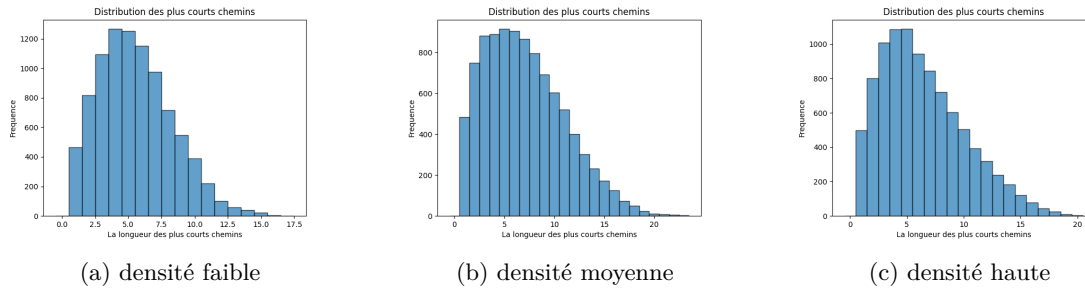


FIGURE 7 – Distribution du chemins pour une portée = 60000

5 Conclusion

En résumé, ce projet a mis en évidence que l'ajout de nouveaux noeuds dans un réseau en raison de l'augmentation de la portée ne garantit pas automatiquement une amélioration du plus court chemin. Par conséquent, il est vivement recommandé de mener une analyse approfondie des coûts du graphe pour garantir une communication optimale au sein de l'essaim de nanosatellites. Cela inclut notamment l'optimisation du taux de livraison des paquets et la minimisation du temps de latence.