



AZDAD Bilal

Groupe M1 : Rapport du Projet de Graphe

Contents

1	Introduction	2
2	Modélisation de l'Essaim sous Forme de Graphe	3
2.1	Représentation Graphique de l'Essaim	3
2.2	Analyse et Commentaires	3
3	Étude des Graphes Non Valués	4
3.1	Caractéristiques des Graphes	4
3.2	Analyse et Commentaires	4
3.3	Analyse et Commentaires	5
3.4	Analyse et Commentaires	6
3.5	Analyse et Commentaires	7
4	Étude des Graphes Valués	8
4.1	Approche et Méthodologie	8
5	Analyse et Conclusion	8

List of Figures

1	Représentation des topologies pour une portée de 20km	3
2	Représentation des topologies pour une portée de 40km	3
3	Représentation des topologies pour une portée de 60km	3
4	Distribution des degrés selon la portée et la densité	4
5	Distribution des degrés selon la portée et la densité	5
6	Distribution des chemins les plus courts pour graphe non valué en mètre	7
7	Le Méta-modèle Tableau	8

1 Introduction

Face aux défis encore posés par l'univers, de nouvelles technologies sont développées, notamment pour l'exploitation des ondes radio basses fréquences qui sont en riches en information [1].

Ce projet est issu de travaux récents [1], l'objectif est de développer une application d'interférométrie par le déploiement d'un essaim de satellites en orbite autour de la lune.

La communication intra-essaim est un défi de ce projet, elle se fait par routage opportuniste où les nanosatellites échangent des données lorsqu'ils se trouvent à proximité les uns des autres. Les caractéristiques dynamiques d'un tel essaim ont déjà été explorées dans des travaux antérieurs [1], qui ont examiné son comportement sur une orbite lunaire.

Dans le cadre de ce projet, nous portons notre attention sur trois configurations de densité distinctes de l'essaim, correspondant à des photos pris à trois moments distincts de son orbite. **Deux hypothèses fondamentales sont formulées :**

- **un nanosatellite peut transmettre à différentes portées (20, 40, 60km)**
- **les données d'un satellite doivent être transmises à tous les autres**

L'objectif de ce rapport est de présenter une analyse détaillée des caractéristiques de l'essaim dans ces trois scénarios de densité. Nous cherchons à éclairer les implications de ces configurations sur la performance du réseau de communication et à identifier les défis qui se posent pour optimiser l'architecture de l'essaim.

2 Modélisation de l'Essaim sous Forme de Graphe

2.1 Représentation Graphique de l'Essaim

Pour se donner une idée de la distribution des satellites il est intéressant d'en faire des représentations graphiques, cela nous permettra de sentir certains résultats que l'on obtiendra par la suite, en particulier les distributions seront modélisées par des graphes, les satellites seront les noeuds, et une arête est formée entre deux nanosatellites s'ils sont à portée l'un de l'autre.

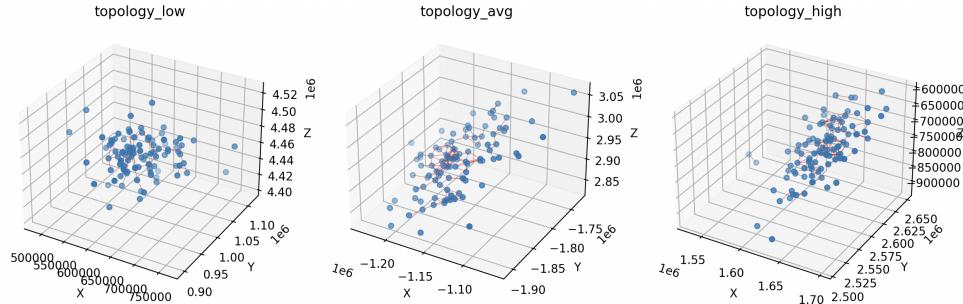


Figure 1: Représentation des topologies pour une portée de 20km

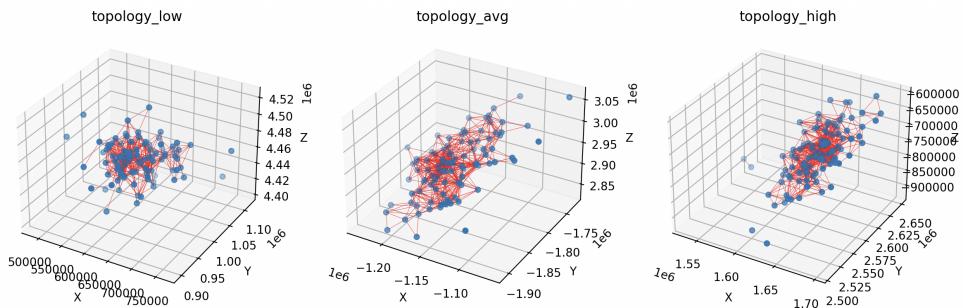


Figure 2: Représentation des topologies pour une portée de 40km

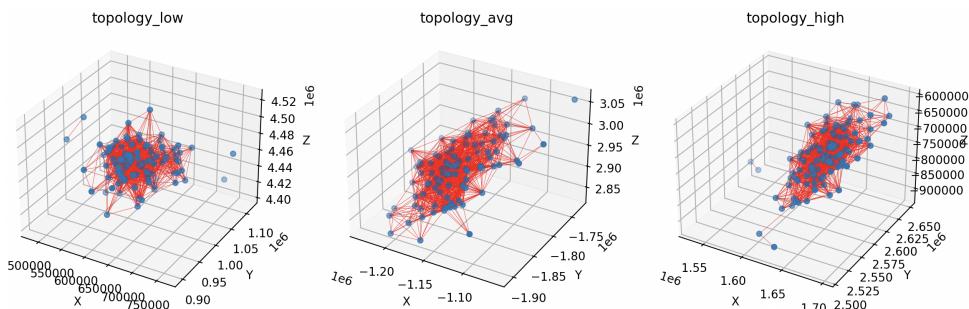


Figure 3: Représentation des topologies pour une portée de 60km

2.2 Analyse et Commentaires

- Assez naturellement, plus la portée augmente plus le nombre d'arêtes augmente.
- La distribution la plus dense tend à former plus d'arêtes.

3 Étude des Graphes Non Valués

3.1 Caractéristiques des Graphes

Analyse des neuf cas distincts en termes de degré moyen, distribution du degré, degré de clustering, nombre de cliques, composantes connexes et chemins les plus courts.

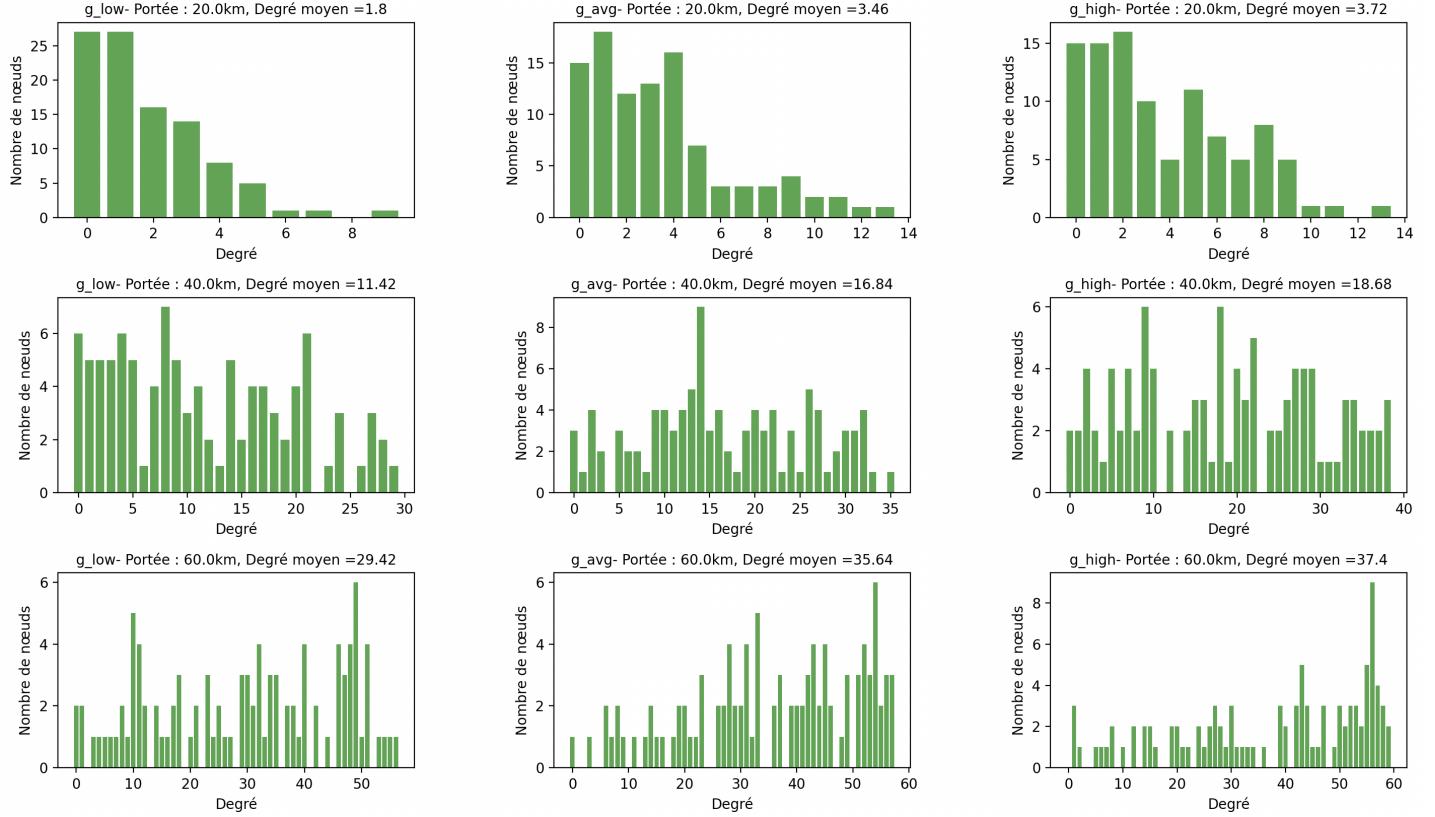


Figure 4: Distribution des degrés selon la portée et la densité

3.2 Analyse et Commentaires

- Assez naturellement, c'est la distribution la plus dense qui présente le degré moyen le plus élevé, ainsi que les noeuds avec les degrés les plus grands, puis vient la distribution de densité moyenne et enfin la densité faible.
- Il est à noter que la densité moyenne présente un degré moyen très proche de la densité forte, quelque soit la portée, on pourrait deviner une frontière de densité à partir de laquelle il est possible de fixer la portée.

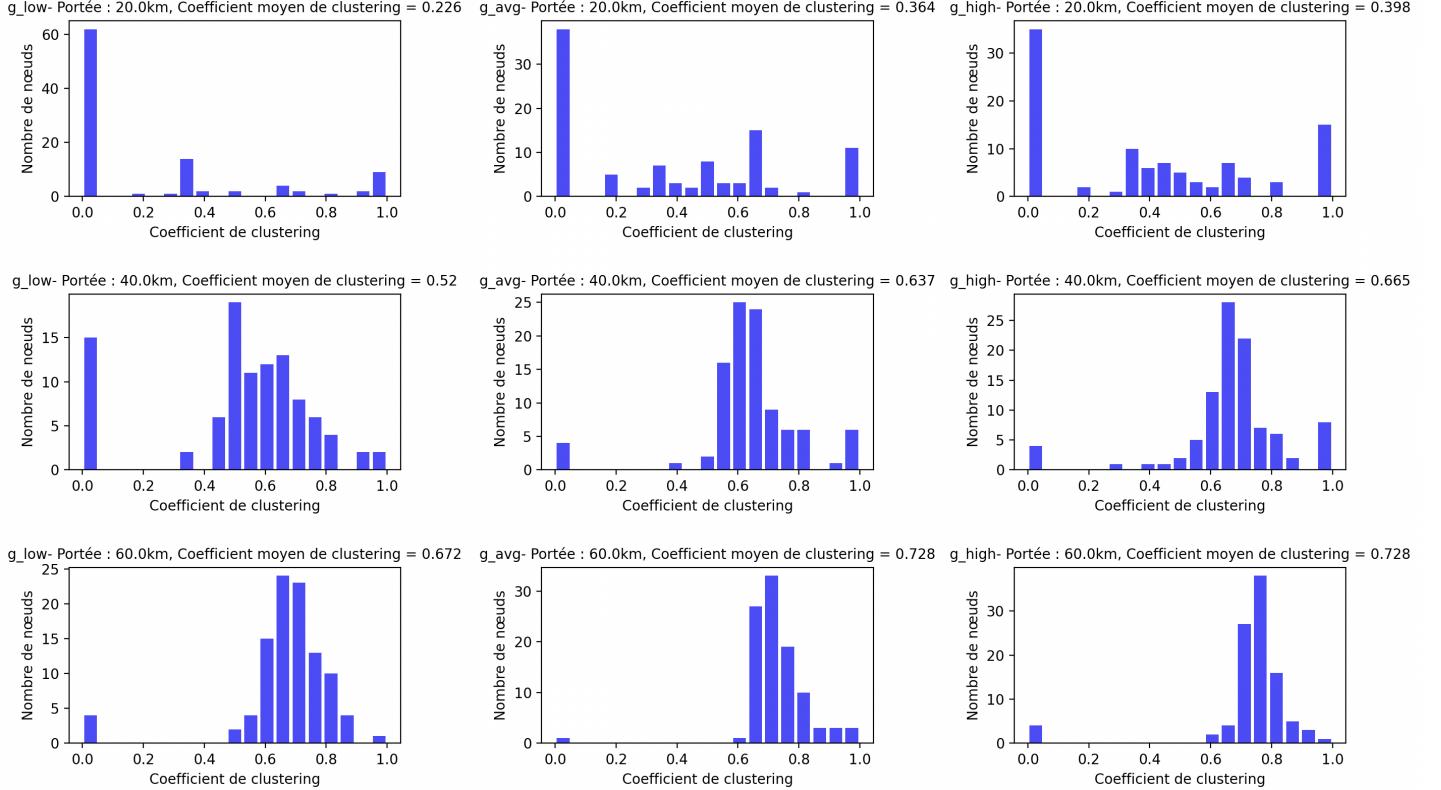


Figure 5: Distribution des degrés selon la portée et la densité

3.3 Analyse et Commentaires

- Une portée de 20km ne favorise pas l'apparition de cluster, la plus part des satellites n'ont pas tendance à se lier, une portée de 20km n'est pas suffisante pour satisfaire les besoins. Un portée de 40km devient tout de suite plus intéressante le **degré moyen de clustering** a presque doublé et les densités moyennes et fortes sont très proches et deviennent égales pour une portée de 60km à 0,728.
- Ainsi, au delà d'une certaine densité, augmenter la portée n'apporte plus de changement conséquent, c'est une analyse intéressante qui permettra de faire des choix sur la conception technique des satellites.

Table 1: Graphes avec portée de 20km

	Nombre de Cliques	Ordre Max Clique	Nombre Composantes Connexes	Ordre Max Composante
g_low	77	5	39	31
g_avg	83	7	22	63
g_high	85	5	23	61

Table 2: Graphes avec portée de 40km

	Nombre de Cliques	Ordre Max Clique	Nombre Composantes Connexes	Ordre Max Composante
g_low	147	12	8	91
g_avg	171	16	4	97
g_high	139	21	4	91

Table 3: Graphes avec portée de 60km

	Nombre de Cliques	Ordre Max Clique	Nombre Composantes Connexes	Ordre Max Composante
g_low	301	24	4	31
g_avg	258	27	2	63
g_high	200	31	2	61

3.4 Analyse et Commentaires

- Naturellement, Pour de grandes portées, la densité high présente l'ordre de clique le plus important, cependant cela est à tempérer par le nombre composante connexe, en effet le nombre de composantes connexes est égal celui de la densité average, et l'ordre de ces composante est très proche
- Notre analyse précédente se confirme, cependant puisqu'on a au minimum 2 composante connexe, cela signifie que notre hypothèse de base est invalide, car les satellites ne communiquent pas tous entre eux. Ainsi même si une portée plus grande ne différenciera pas les densité avg et high, il faut trouver une solution pour faire communiquer tout le monde.
- Ainsi la capacité des satellites à moduler la portée doit se baser sur la densité actuelle de l'essaim.

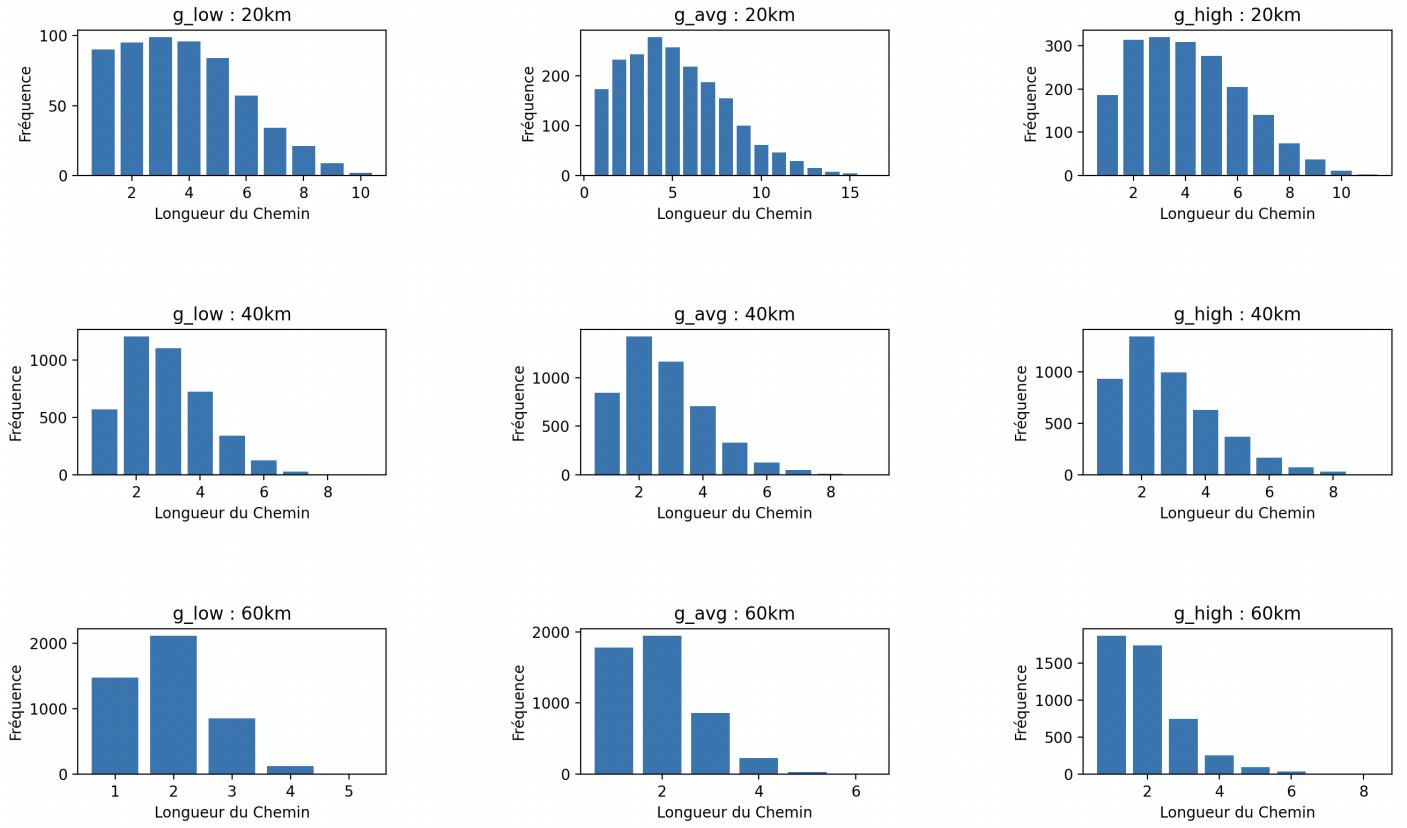


Figure 6: Distribution des chemins les plus courts pour graphe non valué en mètre

3.5 Analyse et Commentaires

- La distribution des plus courts chemins offre un point de vue très intéressant notamment entre la densité average et la densité high, contre intuitivement une portée plus grande pour une densité plus élevée ne va pas drastiquement réduire la longueur des chemins, des chemins de longueurs plus grandes encore vont apparaître, les propriétés de connexité étudiées précédemment nous indique que paradoxalement pour une portée de 60km la densité moyenne est plus intéressante.
- Il est important de préciser qu'ici la modélisation n'est pas représentative de la réalité, inclure la notion de poids dans le groupe nous aidera à conclure.
- Il est à noter, qu'ici c'est la fonction `shortest_path_length` de la bibliothèque `networks` qui a été utilisé, ainsi entre deux sommets, s'il existe plusieurs chemins de même longueur un seul sera pris en compte, c'est un choix volontaire, car pour assurer la communication il suffit d'une seule liaison.

4 Étude des Graphes Valués

4.1 Approche et Méthodologie

Ici nous introduisons la notion de poids (carré de la distance entre 2 arêtes), cette modélisation plus fidèle permet de mettre en perspective la notion de distance dans la distribution des plus courts chemins, les autres notions seront identiques aux graphes non valués.

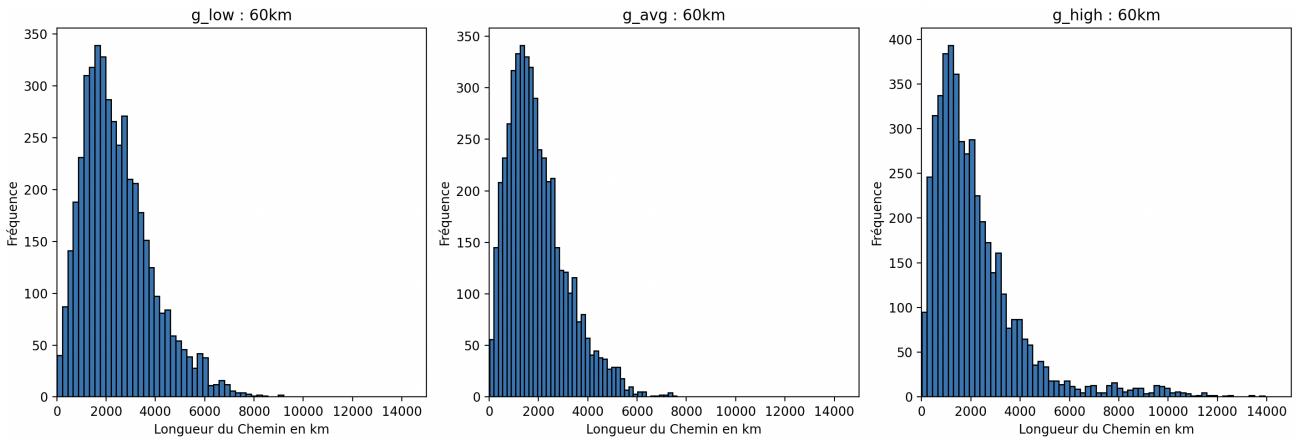


Figure 7: Le Méta-modèle Tableau

5 Analyse et Conclusion

Même avec l'introduction de la notion de poids, pour une portée de 60 km, (on rappelle qu'à cette portée il y a 2 composantes connexes pour la densité moyenne et forte), la densité moyenne offre des longueurs de chemins plus courts en général que la densité forte, la densité forte en apporte également ainsi que la densité faible.

En conclusion le choix de la portée du nanosatellite doit se baser sur la densité de l'essaim à l'instant t , selon la densité la portée doit changer, mais à partir d'une densité moyenne fixer la portée à 60 km est un bon choix de conception.

Il s'agit maintenant de mettre en place un moyen pour que les satellites connaissent la configuration de l'essaim. Etant donné que les satellites sont en orbite, on peut supposer que la configuration de l'essaim est périodique, on pourrait peut-être stocker dans les satellites les temps à partir desquels il faut augmenter ou diminuer la portée pour être efficace et rentable énergétiquement.

Références

1. Evelyne Akopyan, Riadh Dhaou, Emmanuel Lochin, Bernard Pontet, Jacques Sombrin. On the Network Characterization of Nano-Satellite Swarms. 28th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2023), IEEE, Jul 2023. (Lien)