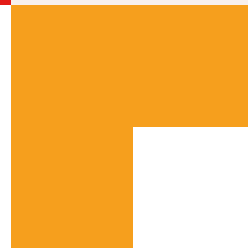


Comment fiabiliser des réseaux ad-hoc en essaim

Evelyne AKOPYAN – INSA Toulouse, LAAS-CNRS

evelyne.akopyan@insa-toulouse.fr



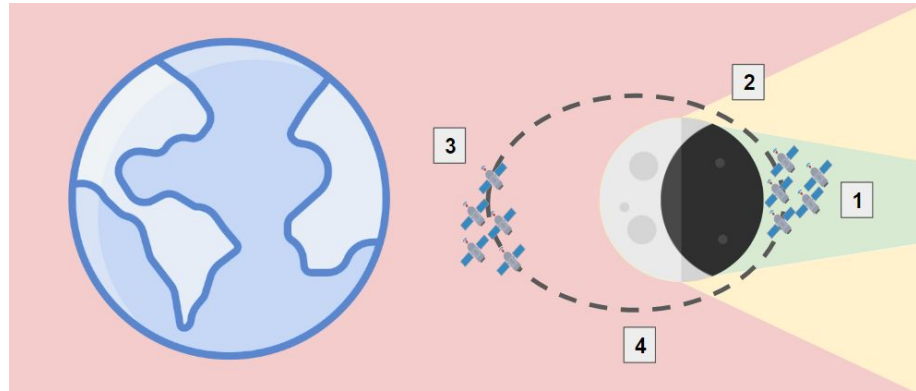


Les essaims en tant que systèmes spatiaux distribués

Ensemble de (nano)satellites groupés travaillant à un objectif commun

Intérêt : multiplicité des antennes, système distribué

Exemple : radiotélescope spatial distribué en orbite lunaire



Problème : très peu de contrôle sur le système → besoin de fiabilité



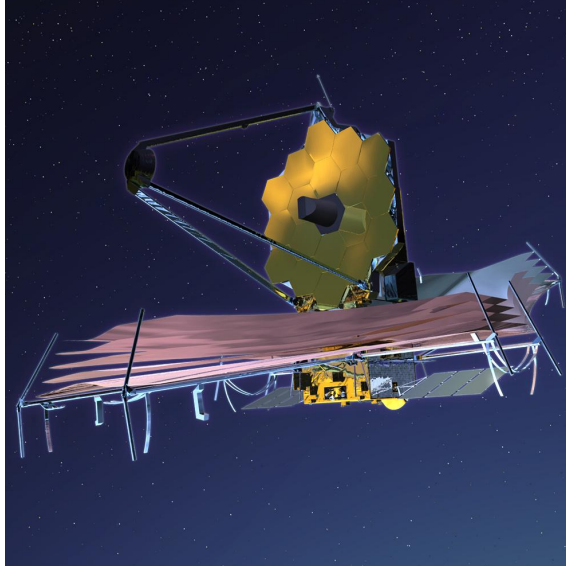


1. Prendre exemple sur l'existant

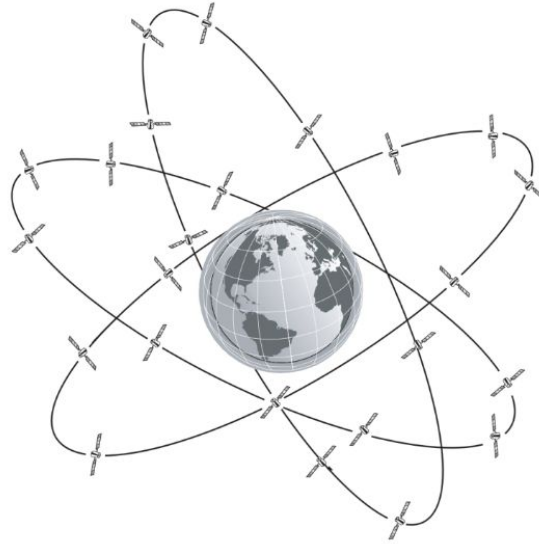
En collaboration avec :

- ❑ Riadh DHAOU – Toulouse INP, IRIT
- ❑ Emmanuel LOCHIN – ENAC

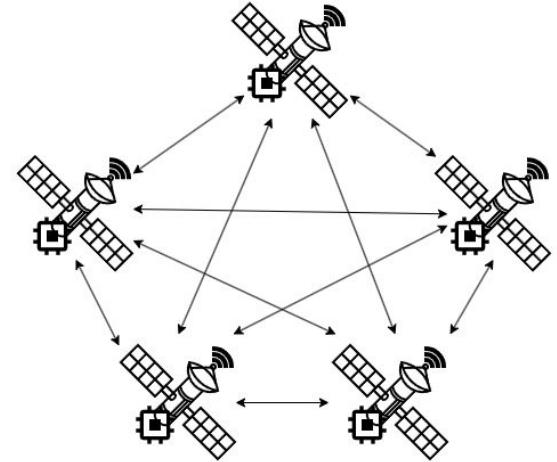
Choix de l'architecture du système



Satellite monolithique
(James Webb)



Constellation (Galileo)

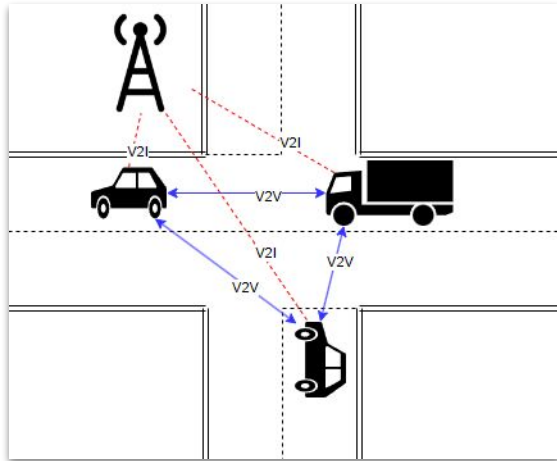


Essaim (NOIRE)

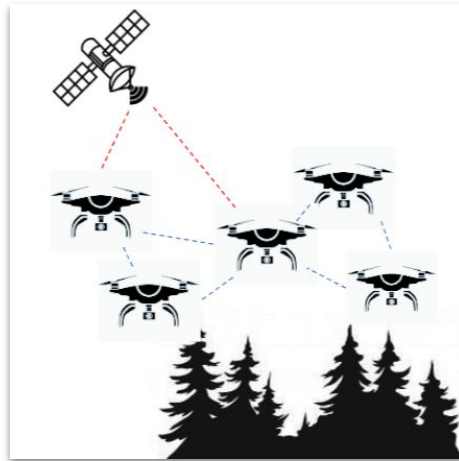


Principe de communication

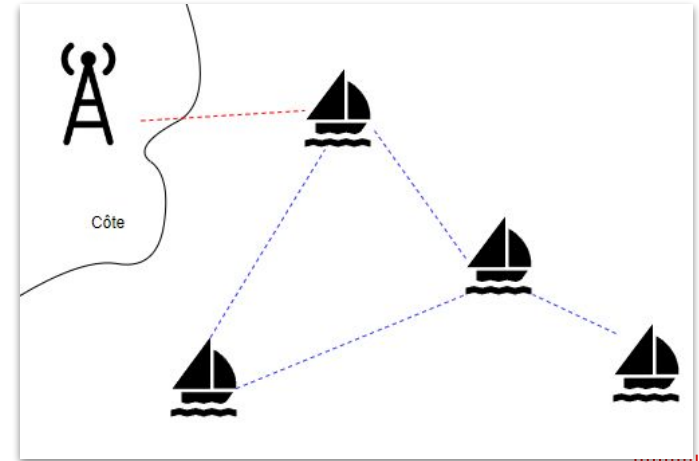
Mobile Ad-hoc Network (MANET) : réseau mobile sans infrastructure dédiée



Réseau routier (VANET)



Réseau de drones (FANET)



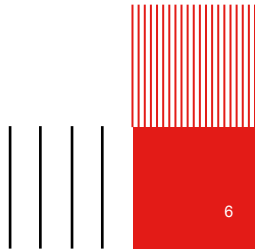
Réseau maritime (SANET)



Techniques de fiabilisation

- ❑ Mécanismes d'économie d'énergie, optimisation des trajets
- ❑ Contrôle de congestion, répartition de la charge
- ❑ Mise en place de chemins alternatifs

En résumé : fiabiliser l'essaim de nanosatellites comme un MANET





2. Diviser pour mieux régner

En collaboration avec :

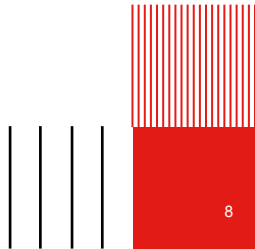
- ❑ Riadh DHAOU – Toulouse INP, IRIT
- ❑ Emmanuel LOCHIN – ENAC



Recherche d'une solution adaptée

- ❑ Particularités de l'essaim :
 - ❑ Système distribué autonome : peu de contrôle sur son fonctionnement
 - ❑ Pas de centralisation
 - ❑ Faible puissance de calcul embarquée
- ❑ Forte complexité calculatoire des mécanismes cités

Solution préconisée pour fiabiliser un tel système distribué : le *clustering*

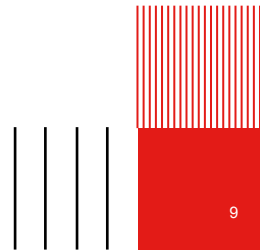




Impact du clustering sur le système

- ❑ Résultat connu : le clustering permet de réduire la charge du réseau
 - ❑ Fonctionne pour les réseaux terrestres et non terrestres
- ❑ Réduction de la consommation énergétique des noeuds du réseau
- ❑ Prolongation de la durée de vie du système

En résumé : fiabiliser l'essaim de nanosatellites en formant des groupes





3. La division équitable

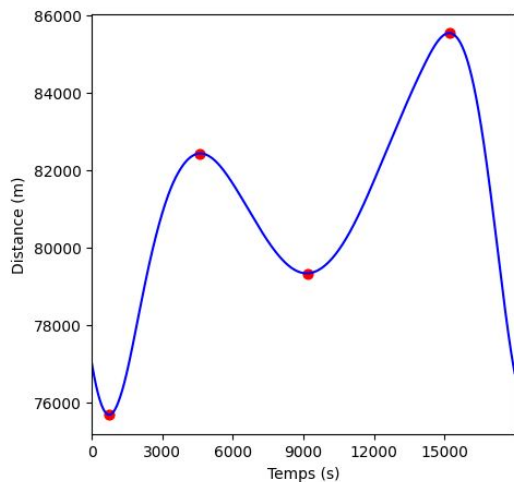
En collaboration avec :

- ❑ Riadh DHAOU – Toulouse INP, IRIT
- ❑ Emmanuel LOCHIN – ENAC

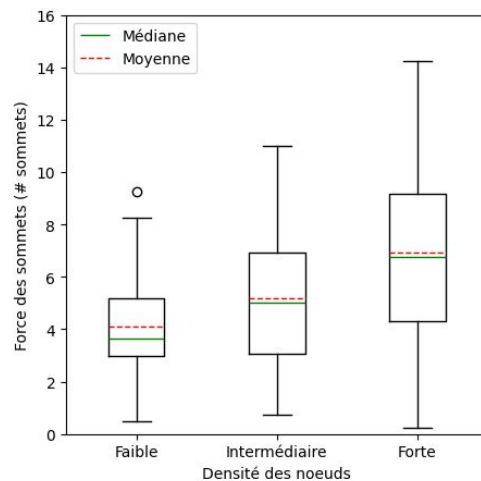
Propriétés du réseau de l'essaim

Système fortement hétérogène !

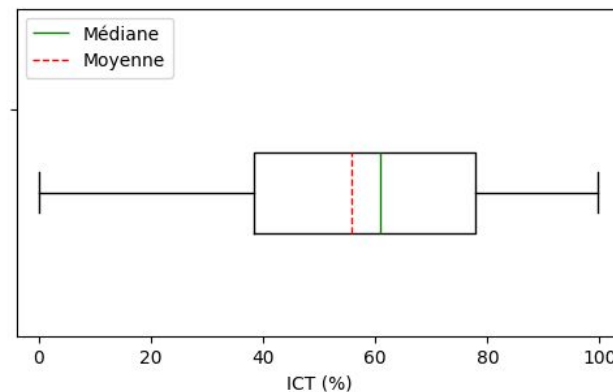
Distance relative des satellites



Densité des satellites



Disponibilité des liens inter-satellites





Comment obtenir une division équitable

Division de graphe : agréger des entités de sorte à ce que les groupes formés soient similaires

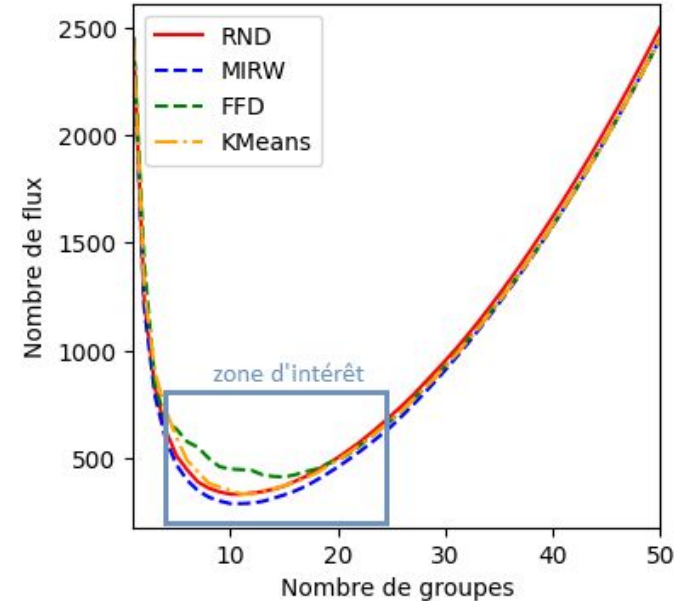
Algorithmes proposés :

- ❑ *Random Node Division* (RND) : sélection aléatoire de noeuds
- ❑ *Multiple Independent Random Walks* (MIRW) : propagation par marche aléatoire
- ❑ *Forest Fire Division* (FFD) : propagation épidémique
- ❑ *K-means* : agrégation géographique en k groupes (clustering)



Performances des algorithmes

- ❑ Distribution équitable du nombre de noeuds par groupe : **MIRW** (garantie de faire des groupes de même taille)
- ❑ Préservation des propriétés du réseau : **RND** (groupes similaires au graphe de référence)
- ❑ Limitation de la consommation énergétique : **MIRW** (divise par 10 le nombre de paquets à transmettre)





4. Le concept de fiabilité réseau

En collaboration avec :

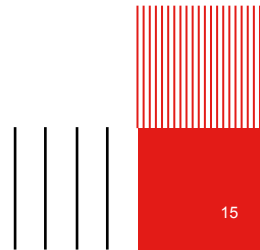
- ❑ Riadh DHAOU – Toulouse INP, IRIT
- ❑ Emmanuel LOCHIN – ENAC
- ❑ Juan A. FRAIRE – INRIA Lyon



Définition et évaluation de la fiabilité réseau

- ❑ Robustesse : capacité d'un système à résister aux pannes, ou à les éviter
Métriques : robustesse de flux, coût de routage, efficacité réseau
- ❑ Résilience : capacité d'un système à maintenir un niveau de fonctionnement malgré la présence de pannes
Métriques : redondance et disparité des chemins, présence de noeuds critiques

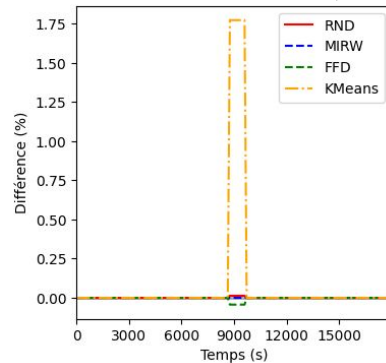
Fiabilité : capacité d'un système à prévenir et tolérer les pannes



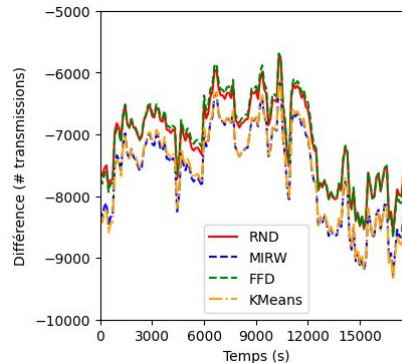
Impact de la division à court terme (1 jour)



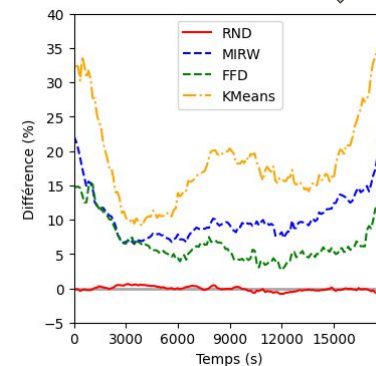
Robustesse de flux



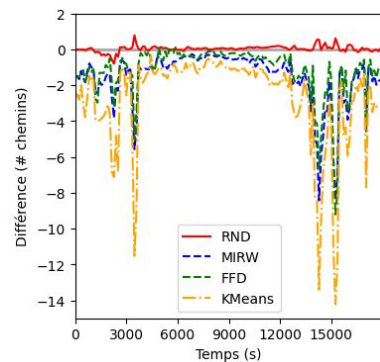
Coût de routage



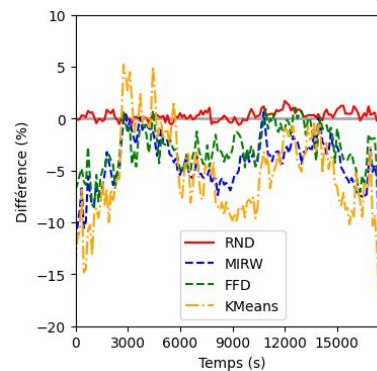
Efficacité réseau



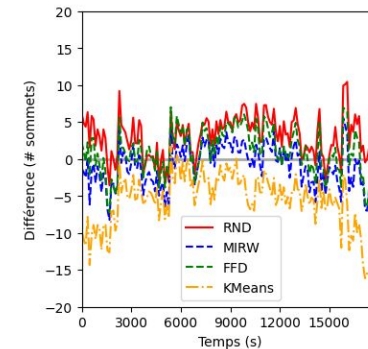
Redondance des chemins



Disparité des chemins

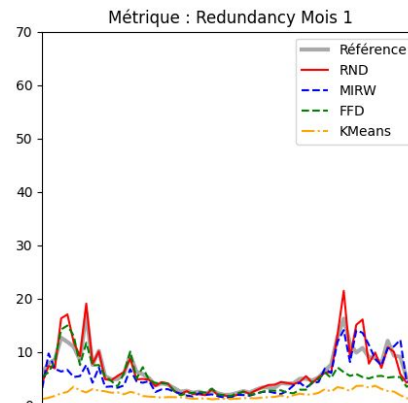
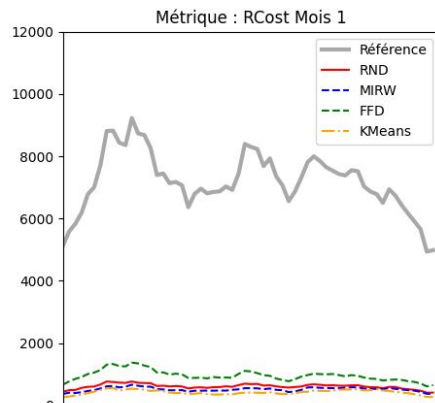


Criticité

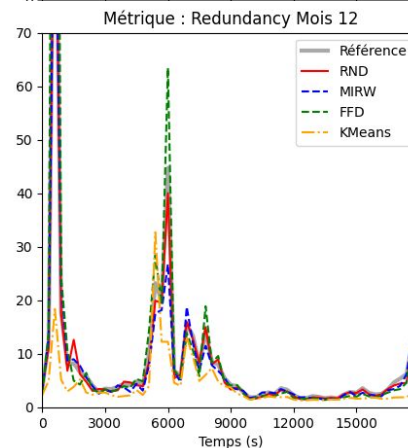
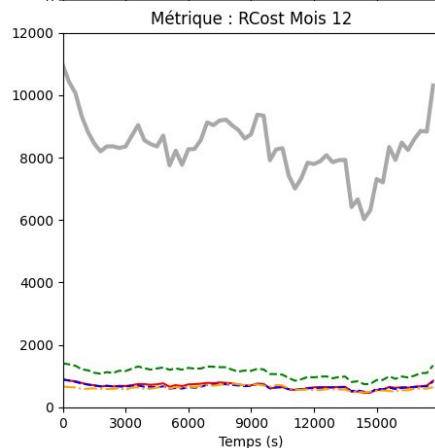


Impact de la division à long terme

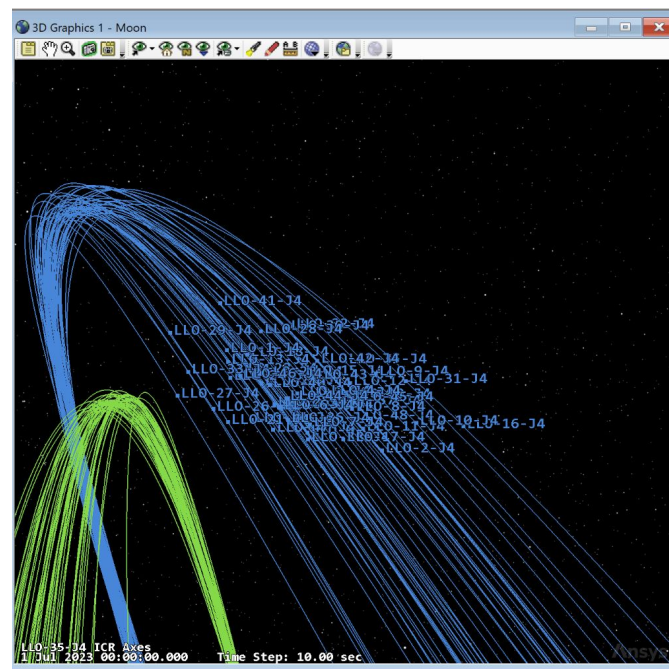
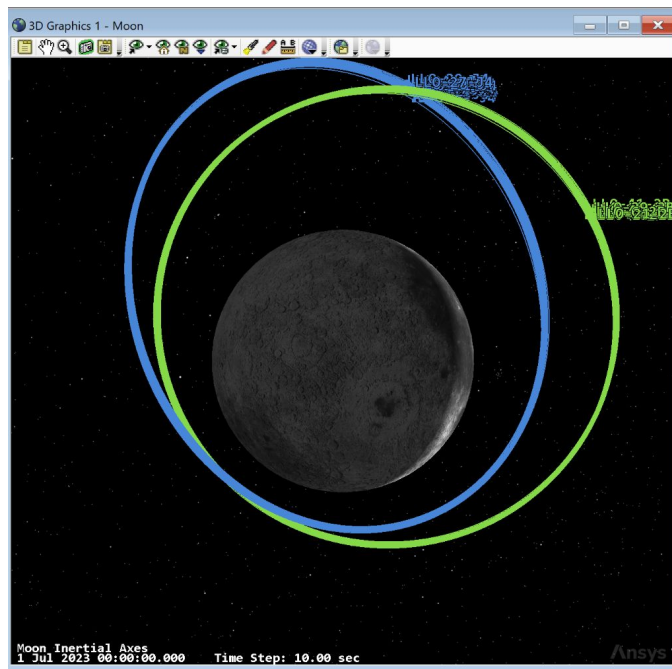
Au lancement



Après 1 an



Quel est le problème ?





Conclusion

Comment fiabiliser un essaim de nanosatellites pour une mission spatiale ?

- ☐ Effectuer une division réseau équitable (MIRW)
- ☐ Amélioration drastique de la robustesse
- ☐ Pas d'amélioration nette de la résilience : est-ce grave ?
- ☐ Prolongation de la durée de vie du système

Merci de votre attention !

Contact : evelyne.akopyan@insa-toulouse.fr