



Faculté des sciences de Tunis



Adaptations, Optimisations Écoénergétique de réseaux Direct-2-Satellite IoT 5G/6G pour l'Agriculture Connectée

Encadrées par:

M. Akram Hakiri

Mme. Hella KAFFEL

Mme. Nedra MELLOULI

Réalisée par:

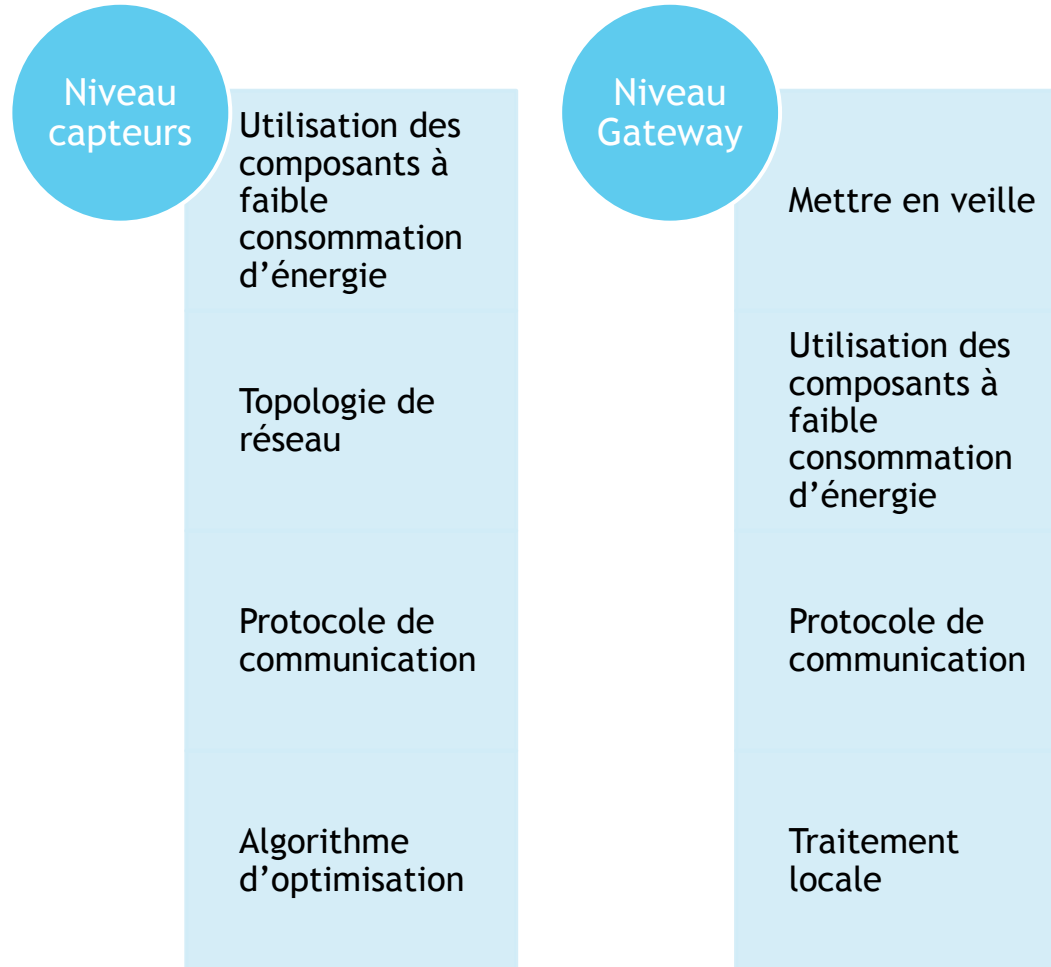
Marwa SAID

Adaptations, Optimisations Écoénergétique de réseaux Direct-2-Satellite IoT 5G/6G pour l'Agriculture Connectée

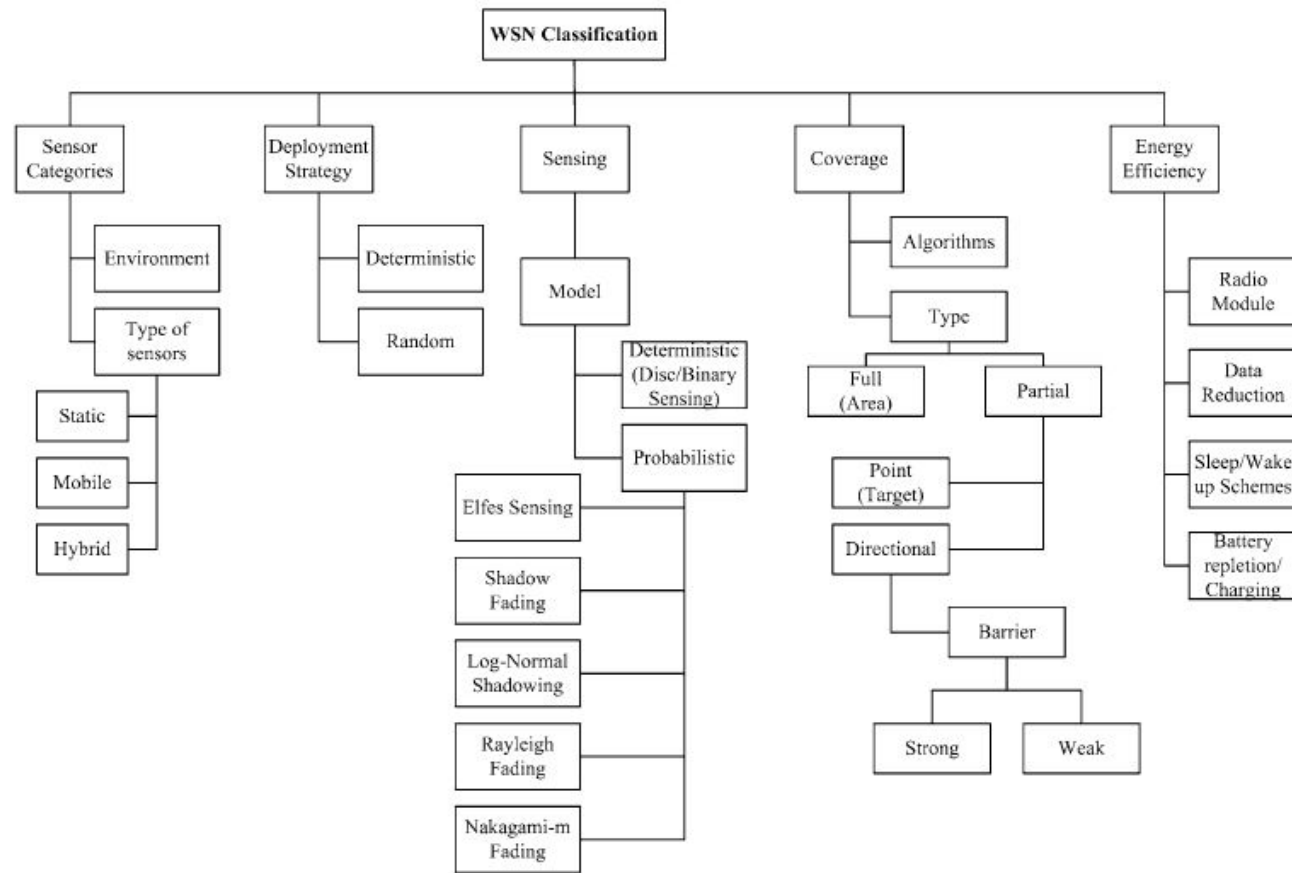
Types d'Optimisation



Optimisation [1]

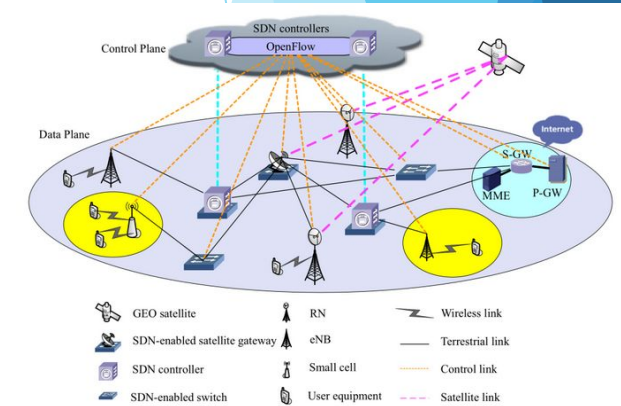
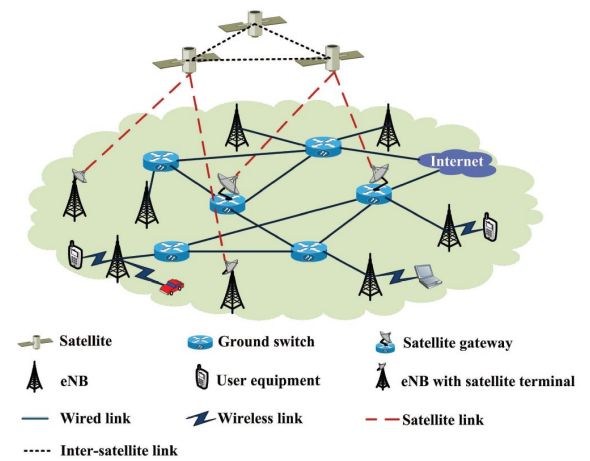


Optimisation Capteurs [9]

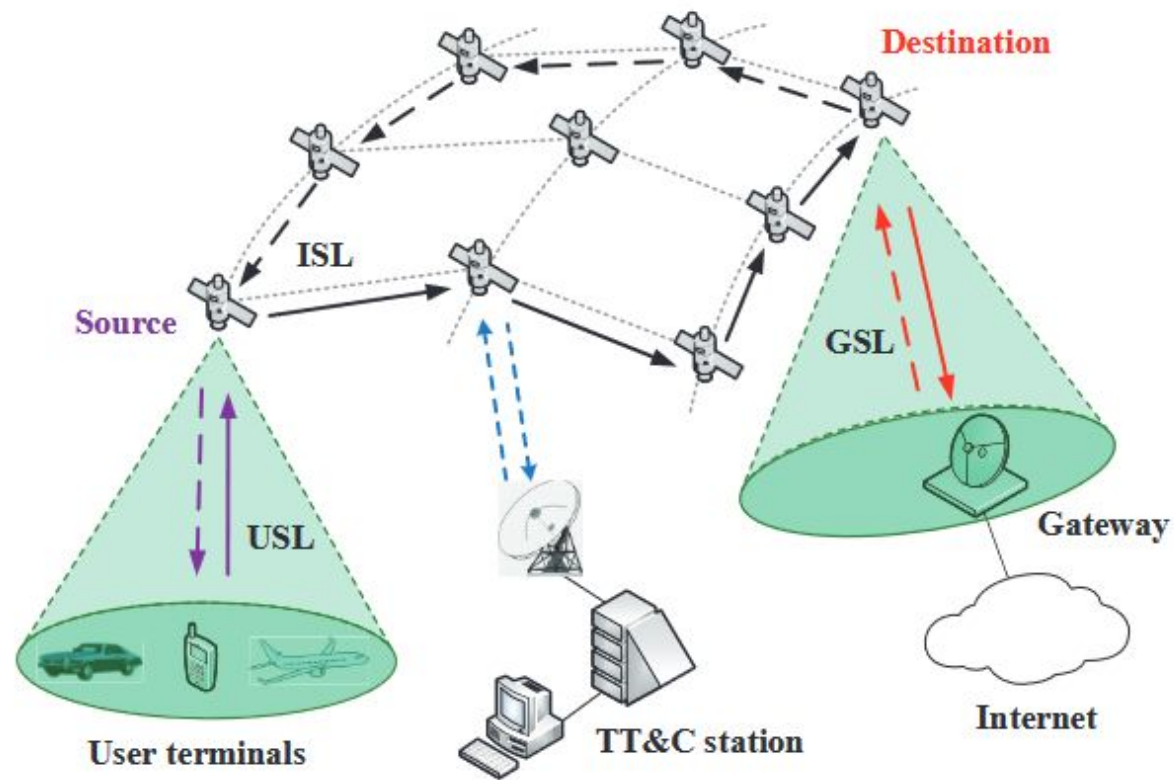


Optimisation Gateways

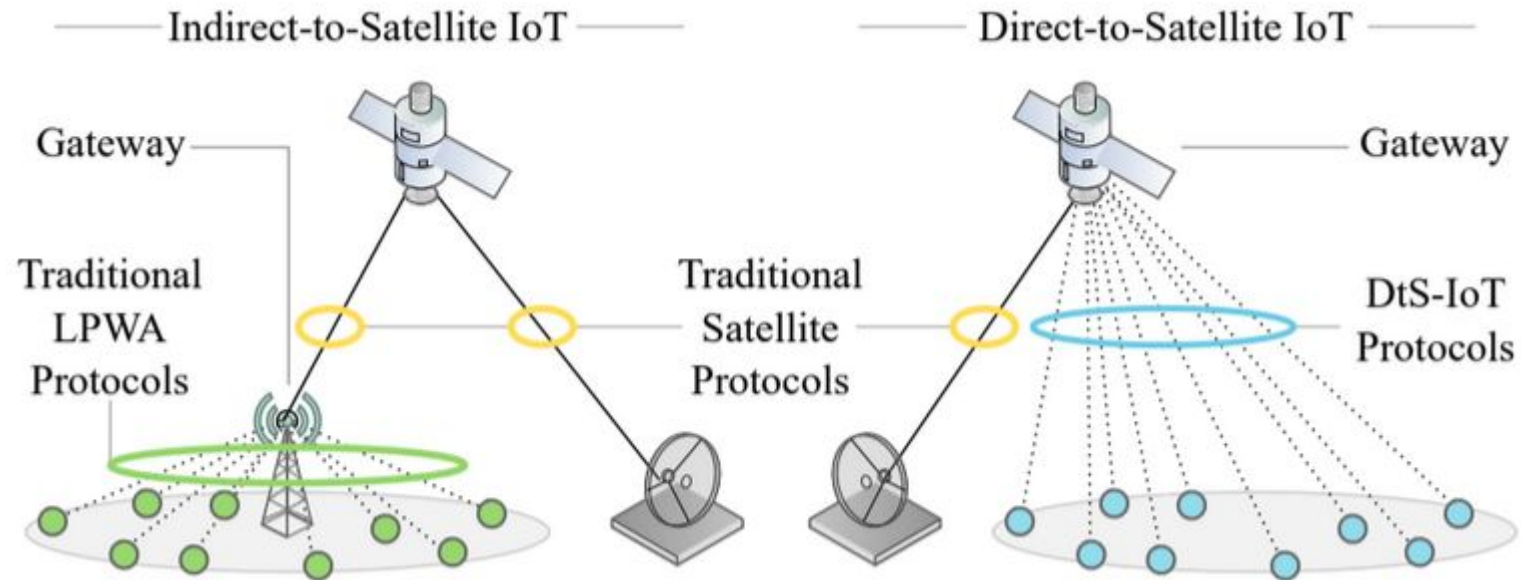
Étude	Objectif d'optimisation	Méthode utilisée	Limitations
[80]	Maximiser la fiabilité moyenne pondérée ou minimiser la latence du réseau sous contraintes de capacité	schéma d'énumération(OEPA) schéma heuristique(HGPA)	Simplification du modèle de placement de passerelle
[82]	Maximiser la fiabilité minimiser la latence du réseau sous contraintes de capacité	optimal brute force algorithm (OBFA) particle swarm based optimization approximate algorithm (PSOA)	Simplification du modèle de placement de passerelle
[84]	Minimiser la latence du réseau	Méthode approximative basée sur l'annulation simulée	Simplification du modèle de placement de passerelle
[79]	Résoudre le problème de placement conjoint des contrôleurs et des passerelles	Méthode de k-means	Simplification du modèle de placement de passerelle
[10]	Optimisation de placement de Gateway dans LEO	Méthode GPO	constellations, l'estimation du trafic et l'utilisation d'une méthode d'optimisation discrète PSO



Architecture typique d'un réseau satellitaire [10]



Les réseaux Direct-2-Satellite [2]



Comparaison entre Direct 2 Satellite et Indirect 2 satellite [3]

Caractéristiques	Direct to Satellite (DtS)	Indirect to Satellite (ItS)
Type de Communication	Communication directe entre les dispositifs IoT et les satellites en orbite basse (LEO).	Communication via des passerelles terrestres.
Latence	Généralement plus faible, car il n'y a pas d'intermédiaire.	Peut avoir une latence plus élevée en raison de la passerelle.
Couverture	Nécessite un réseau de satellites en orbite basse pour assurer une couverture continue.	Utilise la couverture des passerelles terrestres existantes.
Complexité du Réseau	Plus simple en termes de gestion de réseau, mais nécessite une constellation de satellites.	Peut être plus complexe en raison de la gestion des passerelles.
Consommation d'Énergie	Les dispositifs IoT peuvent être optimisés pour une faible consommation d'énergie.	Les passerelles terrestres peuvent nécessiter plus d'énergie.
Scalabilité	Peut être plus scalable pour les grandes zones géographiques.	La scalabilité dépend de la densité des passerelles.
Configuration des Dispositifs IoT	Les dispositifs IoT doivent être équipés de capacités de communication satellite.	Les dispositifs IoT nécessitent des capteurs et une connectivité terrestre.
Utilisation	Adapté aux zones où la couverture cellulaire est limitée ou inexistante.	Convient aux zones avec une connectivité terrestre robuste.

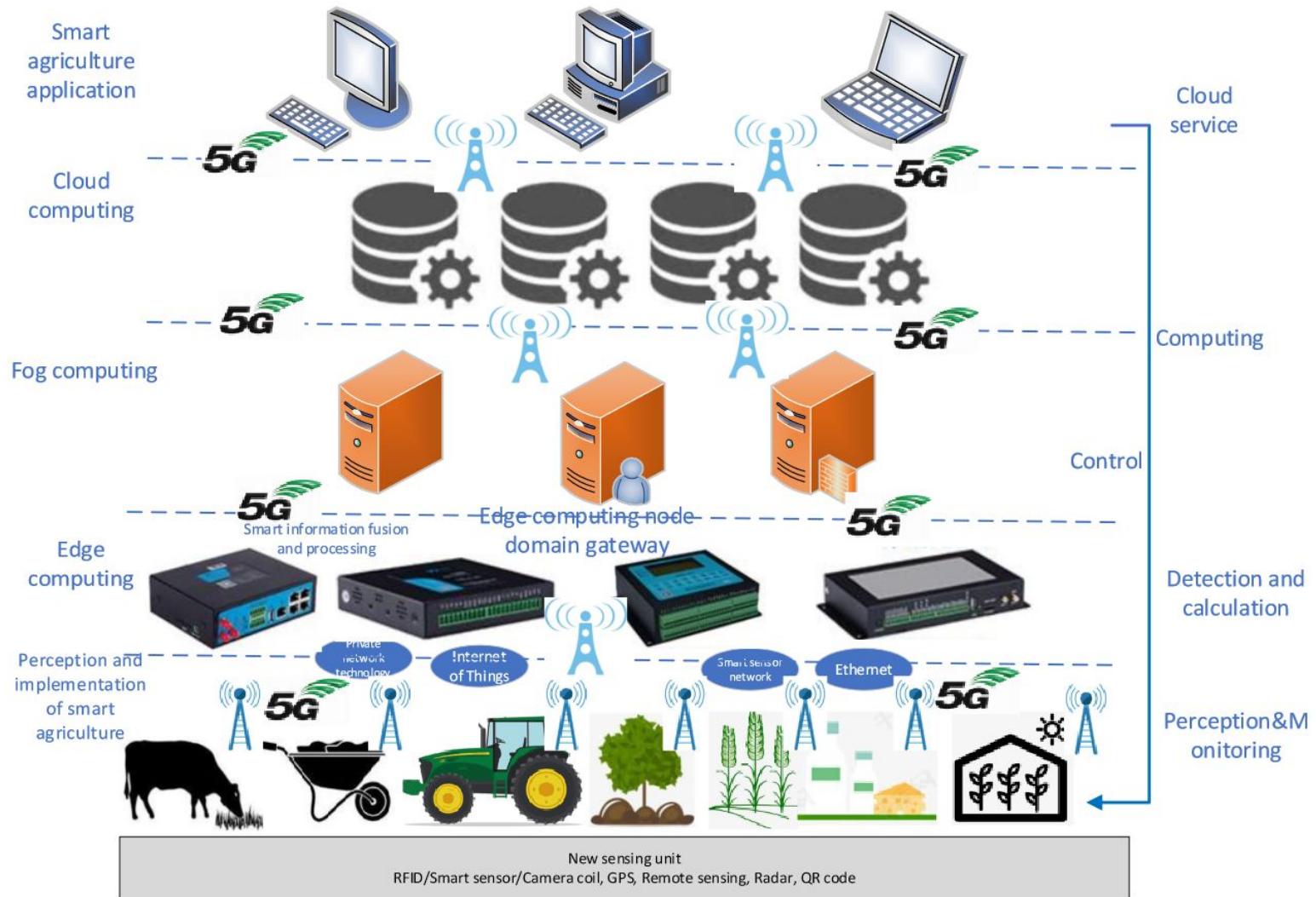
Direct-to-Satellite IoT[4]

Ref	Sujet	Méthodologie/Expérimentation	Résultats et Conclusions
[47]	Spectre partagé entre LEO satellite IoT et IoT terrestre (LoRa et NB-IoT)	Modélisation	Partage de spectre entre les systèmes IoT LEO satellites et terrestres, détails non fournis.
[83]	Performance LoRa sur des liens longue distance	Expériences en laboratoire et en extérieur, tests sur des liens longue distance jusqu'à 250 km.	Focus sur la performance LoRa sur des liens longue distance (pertinent pour les satellites LEO).
[81]	Effets Doppler	Expériences en laboratoire et en extérieur, liens sous et au-dessus de 550 km, radios logicielles pour les effets Doppler.	Effets Doppler sur différents types de liens, résultats contradictoires par rapport à des études antérieures.

IOT et Agriculture connectée [5]



5G/6G [6]



Modèle de machine agricole sans pilote 5G[6]

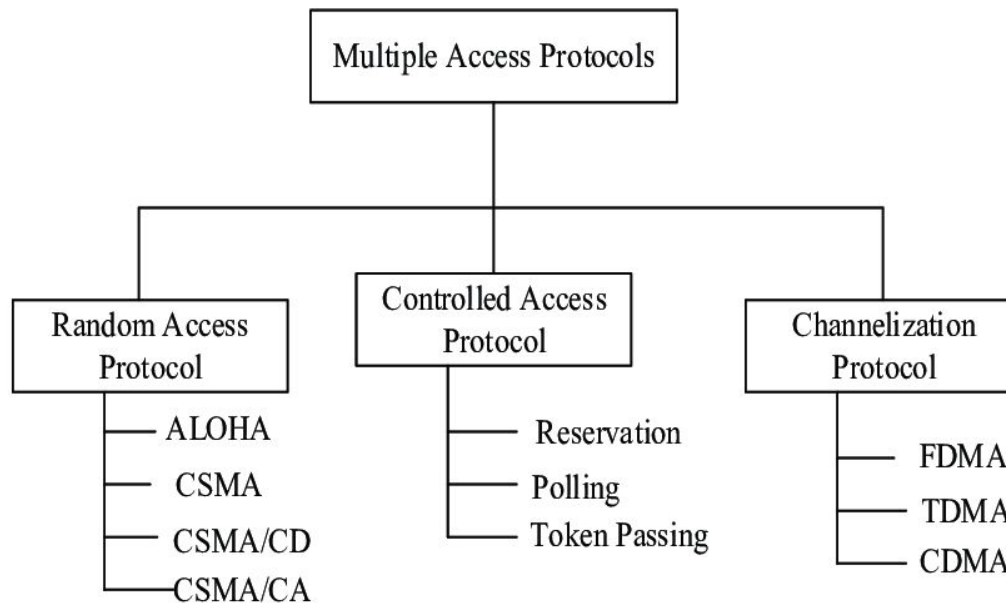


Problématique

Dans un contexte de déploiement massif de l'Internet des Objets (IoT) par satellite, comment concevoir et optimiser de manière écoénergétique les réseaux IoT, en intégrant des techniques d'accès multiple, des protocoles de communication adaptés aux satellites, et des mécanismes d'optimisation au niveau des passerelles, tout en garantissant la fiabilité des communications et la durée de vie des réseaux IoT dans des environnements dynamiques et hétérogènes ?

Techniques d'accès multiple [7]

Les techniques d'accès multiple à temps aléatoire (Random Access Multiple Access Techniques) sont des méthodes de communication sans fil où plusieurs dispositifs peuvent transmettre des données sur un même canal de manière asynchrone. Ces techniques sont particulièrement adaptées aux réseaux où de nombreux dispositifs doivent partager efficacement un canal de communication.

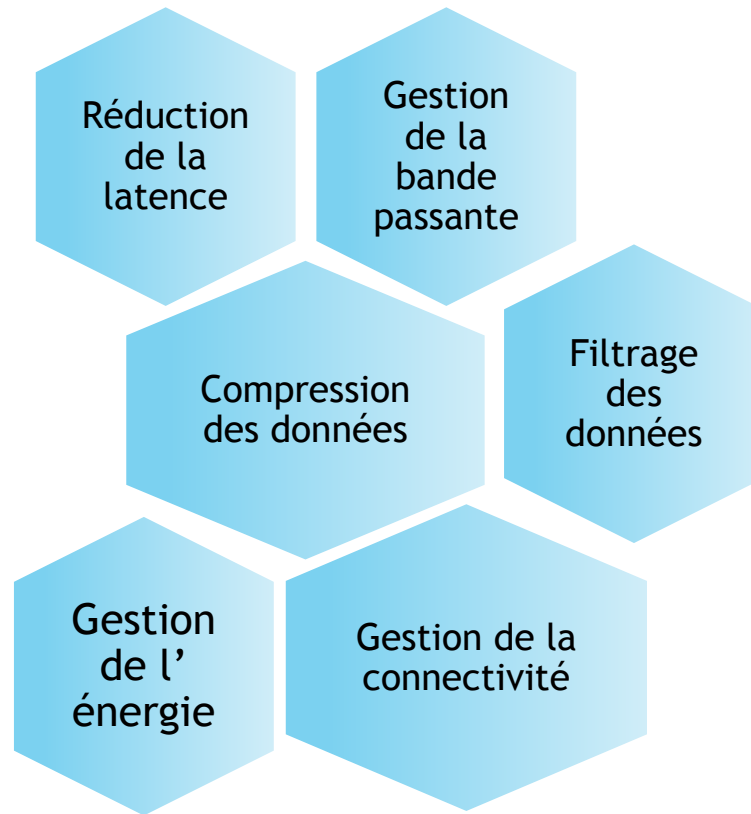


Technique	Principes de base	Avantages	Inconvénients	Exemples d'application
ALOHA (Pure et Slotted)	Transmission asynchrone sans écoute préalable.	Simplicité, faible latence.	Collisions fréquentes, inefficace à charge élevée.	Réseaux de capteurs, anciens réseaux de données
CSMA (et CSMA/CA)	Écoute du canal avant la transmission.	Réduit les collisions, adapté aux réseaux Wi-Fi.	Latence accrue, surdétermination du canal.	Réseaux Wi-Fi, Ethernet
CDMA (Code Division Multiple Access)	Utilisation de codes uniques pour chaque dispositif.	Utilisation efficace de la bande passante.	Complexité de la gestion des codes.	Téléphonie mobile, 3G, 4G, 5G
FDMA (Frequency Division)	Division de la bande passante en sous-bandes de fréquence.	Évite les collisions, bon pour la voix.	Inefficace pour les données à haut débit.	Réseaux cellulaires
TDMA (Time Division)	Division du temps en intervalles, chaque dispositif a le sien.	Utilisation efficace du temps, faible latence.	Synchronisation requise, complexité.	Réseaux téléphoniques, GSM
Random Access	Transmission asynchrone avec détection de collision.	Simple, adapté aux réseaux peu denses.	Collisions fréquentes, inefficace à charge élevée.	IoT, RFID, réseaux ad hoc

Les protocoles de communication adaptés aux satellites [8]

Protocole	Caractéristiques clés	Avantages	Inconvénients
LoRaWAN	- Utilise la modulation LoRa pour une grande portée.	- Grande portée de transmission.	- Débit de données limité.
	- Faible consommation d'énergie.	- Bonne pénétration des obstacles.	- Adapté principalement aux petits paquets.
	- Adapté aux réseaux basse puissance et longue portée.	- Architecture de réseau évolutive.	
Iridium Short Burst	- Utilise le réseau satellite Iridium.	- Couverture mondiale.	- Coût élevé des services Iridium.
NB-IoT (3GPP)	- Standard 3GPP pour l'IoT cellulaire.	- Utilise l'infrastructure cellulaire existante.	- Coût potentiellement élevé.
	- Prise en charge de la mobilité des appareils.	- Fiabilité élevée.	- Consommation d'énergie modérée.
	- Débit de données adapté aux applications IoT.		
Sigfox	- Technologie LPWAN basée sur la modulation UNB.	- Grande portée.	- Débit de données très bas.
	- Faible consommation d'énergie.	- Faible consommation d'énergie.	- Capacité limitée pour de grands réseaux.
	- Faible coût.	- Coût abordable pour les dispositifs IoT.	

Les mécanismes d'optimisation au niveau des passerelles



Références

- [1] HASEEB, Khalid, UD DIN, Ikram, ALMOGREN, Ahmad, *et al.* An energy efficient and secure IoT-based WSN framework: An application to smart agriculture. *Sensors*, 2020, vol. 20, no 7, p. 2081.
- [2] CAPEZ, Gabriel Maiolini, HENN, Santiago, FRAIRE, Juan A., *et al.* Sparse satellite constellation design for global and regional direct-to-satellite IoT services. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2022, vol. 58, no 5, p. 3786-3801.
- [3] FRAIRE, Juan A., CÉSPEDES, Sandra, et ACCETTURA, Nicola. Direct-to-satellite IoT-a survey of the state of the art and future research perspectives: Backhauling the IoT through LEO satellites. In : *International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless*. Cham : Springer International Publishing, 2019. p. 241-258.
- [4] ZADOROZHNY, Alexander M., DOROSHKIN, Alexander A., GOREV, Vasily N., *et al.* First Flight-Testing of LoRa Modulation in Satellite Radio Communications in Low-Earth Orbit. *IEEE Access*, 2022, vol. 10, p. 100006-100023.
- [5] CIHAN, Pınar. IoT Technology in Smart Agriculture. In : *International Conference on Recent Academic Studies*. 2023. p. 185-192.
- [6] LIU, Jun, SHU, Lei, LU, Xu, *et al.* Survey of Intelligent Agricultural IoT Based on 5G. *Electronics*, 2023, vol. 12, no 10, p. 2336.
- [7]
- [8]
- [9] AMUTHA, J., SHARMA, Sandeep, et NAGAR, Jaiprakash. WSN strategies based on sensors, deployment, sensing models, coverage and energy efficiency: Review, approaches and open issues. *Wireless Personal Communications*, 2020, vol. 111, p. 1089-1115.
- [10] GUO, Jianming, RINCON, David, SALLENT, Sebastia, *et al.* Gateway placement optimization in LEO satellite networks based on traffic estimation. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2021, vol. 70, no 4, p. 3860-3876.