

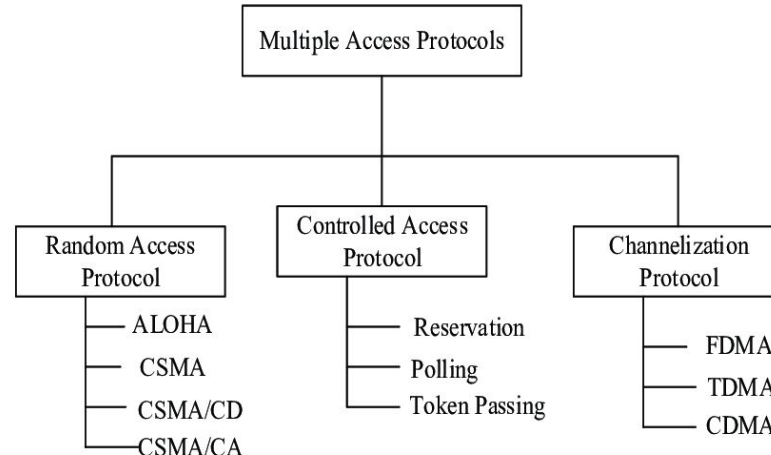
# **Adaptations, Optimisations Écoénergétique de réseaux Direct-2-Satellite IoT 5G/6G pour l'Agriculture Connectée**

# 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.

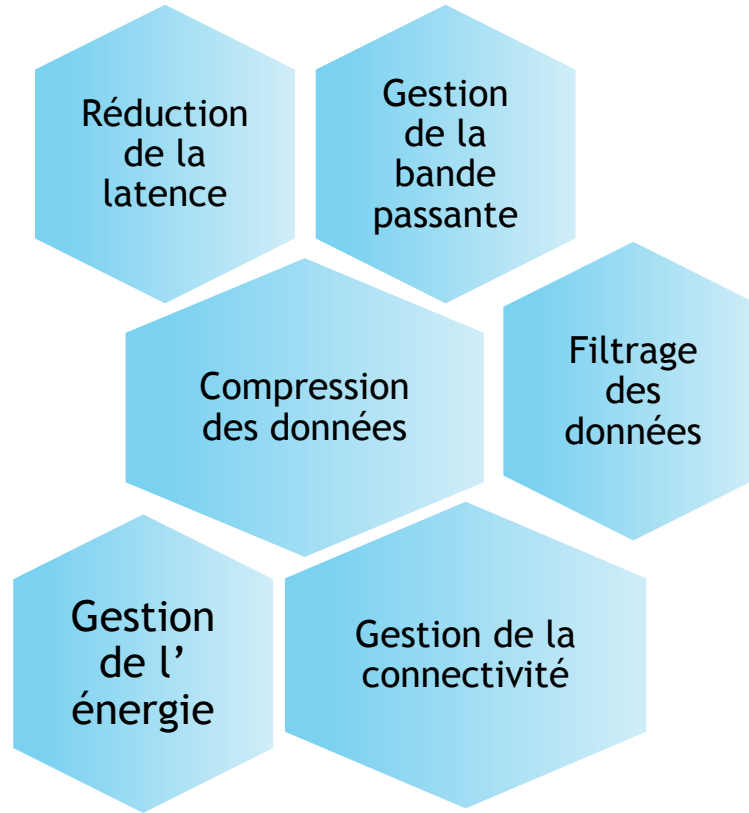


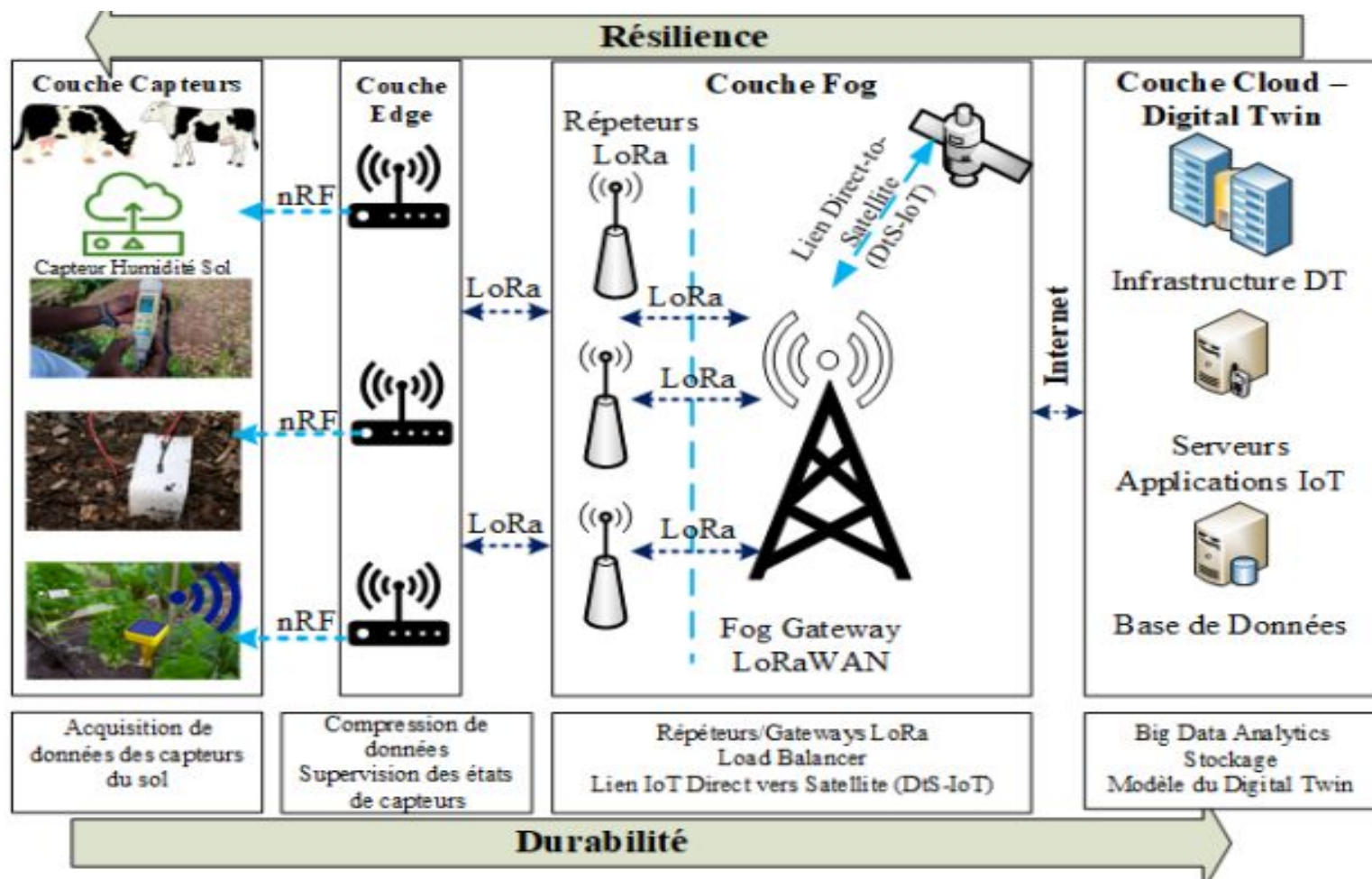
Technique	Principes de base	Avantages	Inconvénients	Exemples d'application
ALOHA (Pure et Slotted)	Transmission asynchrone sans écoute préalable.	Simplicité, faible latence.	Collisions fréquentes, inefficace à charge élevée.	Réseaux de capteurs, anciens réseaux de données
CSMA (et CSMA/CA)	Écoute du 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

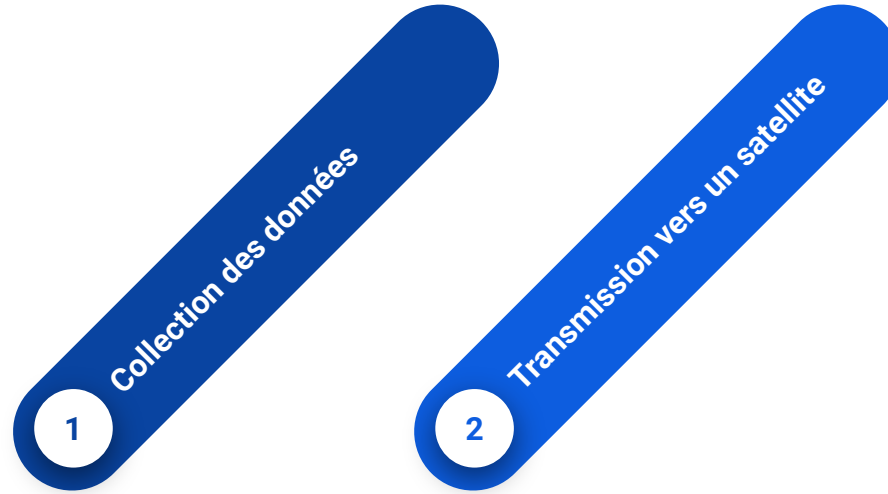
Protocole	Caractéristiques clés	Avantages	Inconvénients
LoRaWAN	- Utilise la modulation LoRa pour une grande portée.	- Grande portée de transmission.	- Débit de données limité.
	- Faible consommation d'énergie.	- Bonne pénétration des obstacles.	- Adapté principalement aux petits paquets.
	- Adapté aux 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



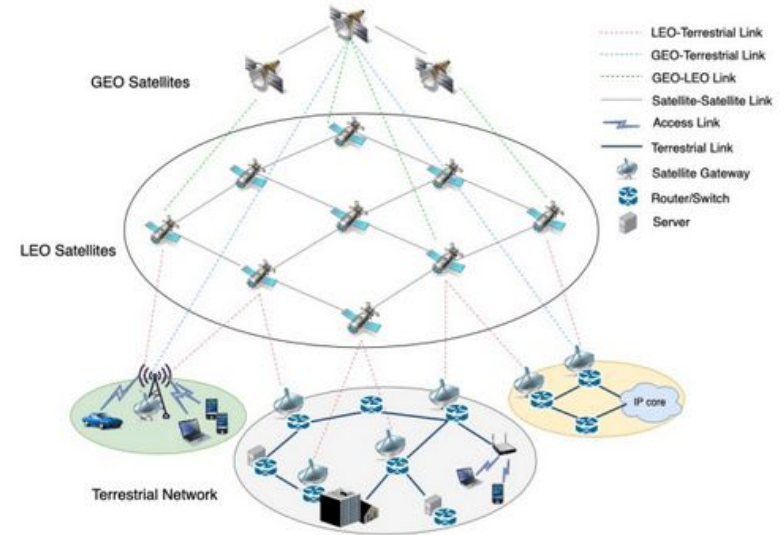
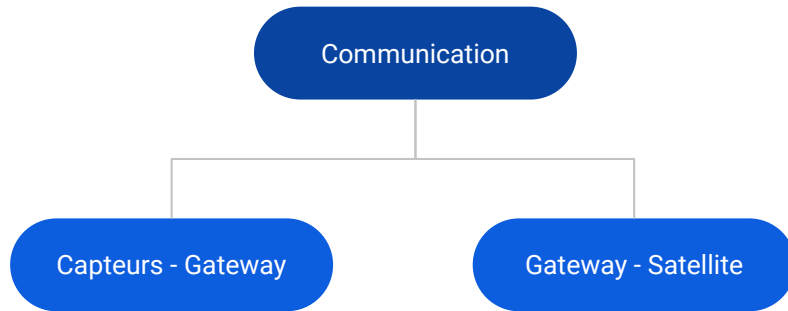


# Rôle du Gateway LoRaWAN





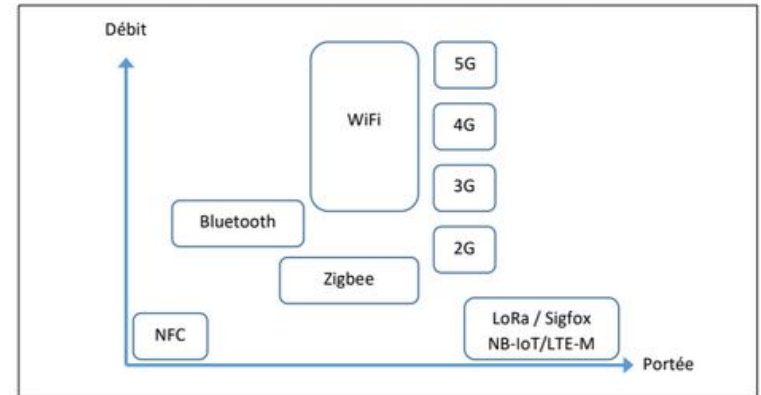
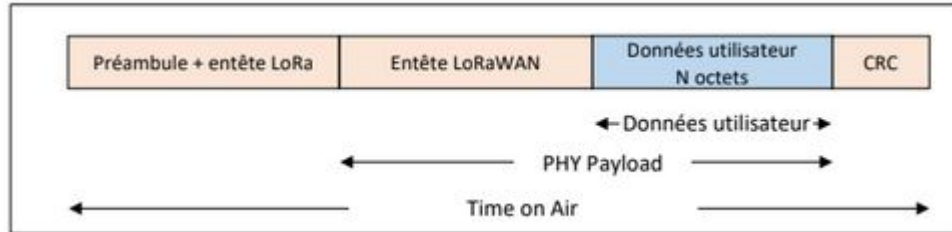
# Types de communication



# Communication Capteurs - Gateway

Le processus de communication :

1. Le capteur collecte des données et les encode dans un paquet LoRaWAN.
2. Le capteur transmet le paquet LoRaWAN au gateway le plus proche.
3. Le gateway reçoit le paquet LoRaWAN et le déchiffre.
4. Le gateway transmet le paquet LoRaWAN au satellite.



# Niveau de collecte des données



Pour minimiser la consommation d'énergie:

- utiliser des capteurs à faible consommation d'énergie
- Collectez les données à une fréquence appropriée
- Utilisez un protocole de communication efficace
- Évitez les interférences

Algorithmes:

- La moyenne mobile
- La variance
- L'écart type
- Les tests statistiques

Le gateway peut être programmé pour détecter les anomalies dans les données qu'il reçoit.

Cela peut être fait en utilisant un algorithme qui compare les valeurs actuelles aux valeurs normales.

Algorithmes:

- Les algorithmes de machine learning
- Les algorithmes de réseau neuronal
- Les algorithmes d'analyse de séries chronologiques

# Communication Gateway- Satellite

La communication entre un gateway LoRaWAN et un satellite LEO se fait via une liaison radio bidirectionnelle.

Le gateway LoRaWAN utilise une fréquence radio dédiée pour communiquer avec le satellite LEO.

La fréquence radio est généralement comprise entre 400 et 500 MHz.

Le protocole de communication utilisé entre le gateway LoRaWAN et le satellite LEO est le LoRa.

LoRa est un protocole de communication radio LPWAN (Low Power Wide Area Network) qui est optimisé pour la transmission de données à faible débit sur de longues distances.

Le processus de communication entre un gateway LoRaWAN et un satellite LEO est le suivant :

1. L'appareil IoT LoRaWAN transmet ses données au gateway LoRaWAN.
2. Le gateway LoRaWAN encode les données de l'appareil IoT LoRaWAN dans un format compatible avec le protocole LoRa.
3. Le gateway LoRaWAN transmet les données de l'appareil IoT LoRaWAN au satellite LEO.
4. Le satellite LEO reçoit les données du gateway LoRaWAN.
5. Le satellite LEO transmet les données au réseau terrestre.
6. Le réseau terrestre transmet les données au serveur d'application.

# Emplacement de Gateway

Tab

# Modèle d'optimisation

MIP (mixed-integer programming)

$$x_i = r_{grid} \cdot \frac{\text{lon}_i - \text{lon}_{min}}{\text{lon}_{max} - \text{lon}_{min}} \quad (1)$$

$$y_i = r_{grid} \cdot \frac{\text{lat}_i - \text{lat}_{min}}{\text{lat}_{max} - \text{lat}_{min}} \quad (2)$$

$$\text{lon}_i = \frac{(\text{lon}_{max} - \text{lon}_{min}) \cdot x_i}{r_{grid}} + \text{lon}_{min} \quad (3)$$

$$\text{lat}_i = \frac{(\text{lat}_{max} - \text{lat}_{min}) \cdot y_i}{r_{grid}} + \text{lat}_{min} \quad (4)$$

$$\text{minimize } \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} G_{ij} \quad (5)$$

variable	description
$G$	grid representation of the terrain
$S$	set of sensors in the network
$N$	number of sensors in the network
$R$	gateway coverage range
$r_{grid}$	scale of the grid (resolution)
$\text{lon}_i, \text{lat}_i$	projected coordinates of the $i^{th}$
$x_i, y_i$	grid coordinates of the $i^{th}$ node
$s_x, s_y$	grid coordinates of sensor $s \in S$

$$\forall (s \in S) \left( \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} G_{ij} \cdot f(i, j, s_x, s_y) \leq 1 \right) \quad (6)$$

$$f(x_i, y_i, x_j, y_j) = \begin{cases} 1 & E(x_i, y_i, x_j, y_j) \leq R \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$E(x_i, y_i, x_j, y_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (8) \quad 15$$

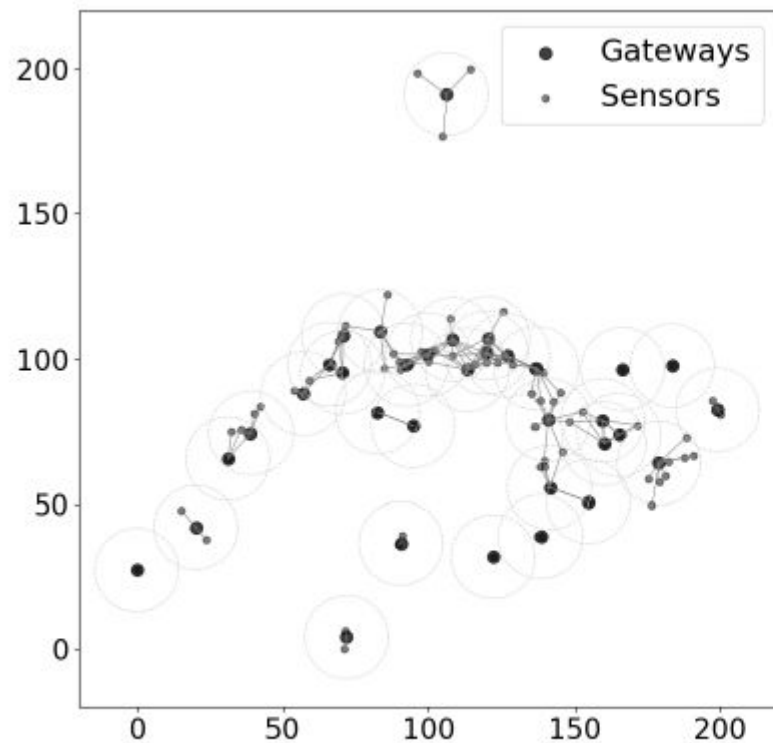
# Simulation

Les outils de simulation sont:

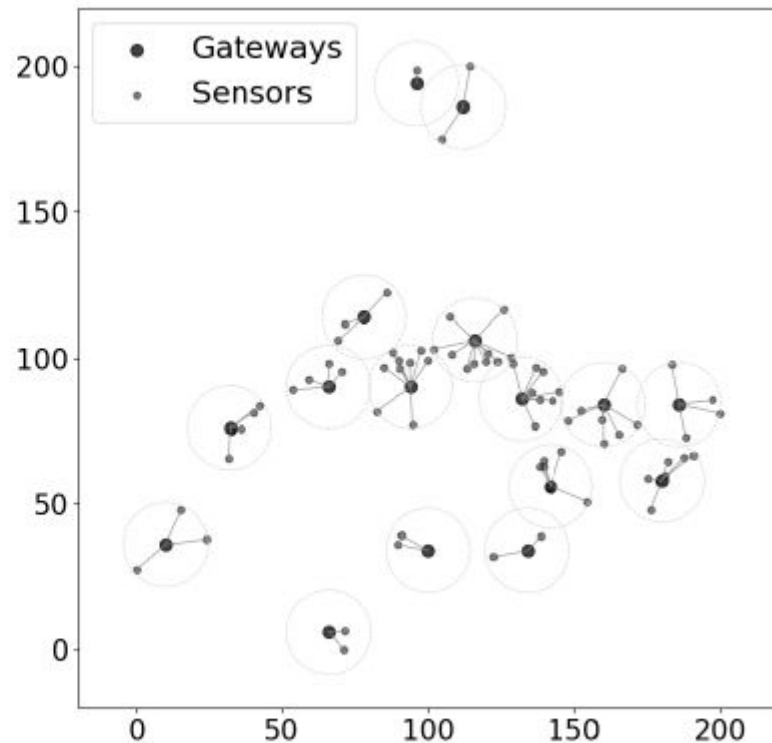
- NS-3
- LoRaPLAN



# Résultats



(a) Placement by coverage intersection.



(b) Placement by MIP formulation.