

Quel réseau sans fil pour la Smart-City & le Smart-Building ?

par Pascal DARAGON



1 INTRODUCTION

Dans cette publication, nous allons examiner les différentes solutions pour assurer une connectivité réussie dans ces contextes particuliers, sachant que certains arguments seront tout aussi pertinents pour d'autres contextes comme les utilities, l'agriculture et l'industrie, ainsi que les applications de surveillance périphérique pour la sécurité et la défense.

Nous allons tout d'abord poser les limites des solutions LPWAN qui aujourd'hui représentent la plus grosse part de marché, pour en déduire les corrections à apporter et ce que doit être le réseau « idéal », et pour ensuite explorer l'univers des réseaux « Mesh » qui constitue, à notre sens, la meilleure réponse aux problèmes posés.

Nous finirons enfin par exposer ce qui fait d'**ORAMA-Net**, notre solution de connectivité LoRa™ Multi-Hop pour l'IoT, une réponse optimale, tant sur le plan technique qu'opérationnel.

2 LES LIMITES DES RESEAUX LPWAN

2.1 RESEAUX PUBLICS

En radio, la notion de distance n'est pas toujours conforme à la notion géographique que nous en avons ; un objet peut à la fois être proche d'une Base Station ou Gateway au sens euclidien, et à la fois inaccessible du point de vue radio à cause d'obstructions sur le parcours de l'onde (ex : parois de métal, façade d'immeuble, couvert végétal, etc.). La pénétration des signaux sur certains sites peut rapidement devenir un casse-tête pour les réseaux publics LPWAN (LTE-M, NB-IoT, Sigfox, LoRaWAN) car le choix d'implantation des Base Stations ou Gateways répond à des objectifs de couverture globale pour un éventail d'utilisateurs le plus large possible, sans prise en compte des besoins particuliers de chacun ; rajouter de l'infrastructure pour couvrir un site particulier n'est ni techniquement faisable, ni économiquement rentable.

2.2 RESEAUX PRIVES

Les déploiements LPWAN en réseaux privés permettent en principe de localiser ces antennes au plus près du site à couvrir, mais il n'en reste pas moins que cela se révèle toujours complexe et qu'il faut parfois plusieurs antennes pour assurer une bonne couverture ; plusieurs antennes nécessitent la mise en œuvre d'un cœur de réseau (Network Server NS) pour coordonner l'ensemble et on bute encore, certes dans une moindre mesure, sur la faisabilité technique et la viabilité économique ; c'est en bonne partie la raison pour laquelle ce type de déploiement reste confidentiel aujourd'hui.

2.3 CONTROLE DISTANT

L'IoT, ce n'est pas seulement de la collecte de capteurs (i.e. flux montant), mais aussi la capacité à contrôler ou commander un actionneur à distance (i.e. flux descendant), et ce dans un délai rapide et déterministe tout en contenait sa consommation énergétique. Les solutions LPWAN, qu'elles soient publiques ou privées, ne permettent pas d'atteindre cet objectif car l'objet doit au préalable émettre un message de réveil pour notifier le NS qu'il est disponible pour recevoir un message en retour ; dans ces conditions, réduire le délai d'attente, c'est augmenter la fréquence de réveil de l'objet et sa consommation ; réduire la fréquence de réveil, c'est augmenter ce délai et donc la possibilité de contacter l'objet à tout moment. Un autre inconvénient de ce type de protocole tient dans la probabilité non négligeable que le message de réveil ne soit pas reçu, et auquel cas que la consigne ne puisse être envoyée comme prévu.

3 QUEL RESEAU “IDEAL” ?

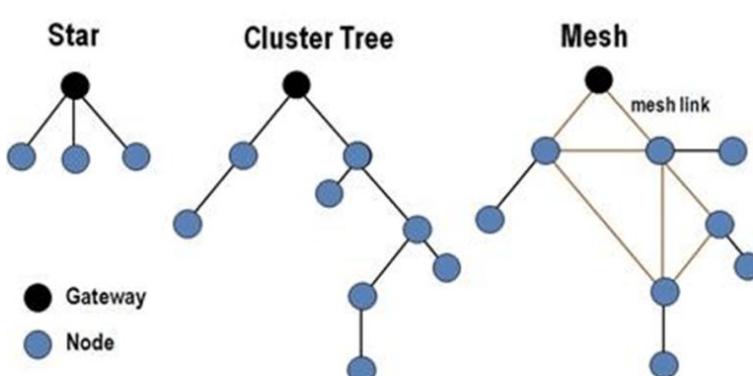
L'idéal pour la Smart-City & le Smart-Building (et par extension l'industrie) apparaît donc comme un système présentant les caractéristiques suivantes :

1. Bonne pénétration du signal sur un parcours semé d'obstacles entraînant de fortes atténuations entre l'objet et l'antenne de base,
2. Bonne immunité aux interférences radio dans la bande de travail, en particulier sur les sites industriels ou fortement urbanisés,
3. Une seule antenne de base ou gateway à installer sur site, et sans contraintes particulières sur le raccordement au réseau électrique et sur l'exposition des personnes aux rayonnements électromagnétiques,
4. Pas de cœur de réseau et une connexion directe de la gateway au serveur d'application, voire à l'automate de supervision pour la GTC (Gestion Technique Centralisée),
5. Une capacité à descendre une consigne dans un délai rapide et déterministe, sans fréquence de réveil programmée à l'avance et sans réception de notification préalable pour synchroniser l'objet et le serveur d'application.

4 EST-CE UN RESEAU “MESH” ?

Le protocole ORAMA-Net répond à 100% à ces 5 points, et ce n'est effectivement pas un LPWAN de type réseau en étoile ou « star », mais ce qu'il est convenu d'appeler un réseau maillé ou « mesh » ; étant donné le nombre de variantes de ce type de réseau, nous devons affiner cette notion trop générale de « mesh » pour la diviser au moins en 2 catégories distinctes :

1. Les versions **décentralisées ou « Off-Grid »**, tels que goTenna Pro, MeshCore ou Meshtastic dont l'objectif est essentiellement d'assurer l'échange d'information au sein d'une communauté de nœuds, sans notion de hiérarchie, toutes les mailles possibles étant utilisées à un instant T via un mode de propagation de l'information de type « flooding », contrôlé ou pas ; ce type de réseau présente peu d'intérêt pour de la supervision centralisée et se révèle peu efficace sur le plan énergétique,
2. Les versions **centralisées ou WSN (Wireless Sensor Network)**, le plus souvent en topologie arborescente de type « **Tree** » caractérisée par une structure en niveaux avec un nœud racine au sommet, des nœuds intermédiaires (branches), et des nœuds terminaux (feuilles) aux extrémités ; selon les protocoles, cette arborescence n'est pas figée et peut se recomposer en fonction de son environnement, tout en maintenant un chemin vers le nœud racine ; pour un parcours donné, une seule maille est utilisée à un instant T pour plusieurs mailles possibles ; c'est cette catégorie que l'on retiendra pour la suite de l'étude.



4.1 LES RESEAUX WSN

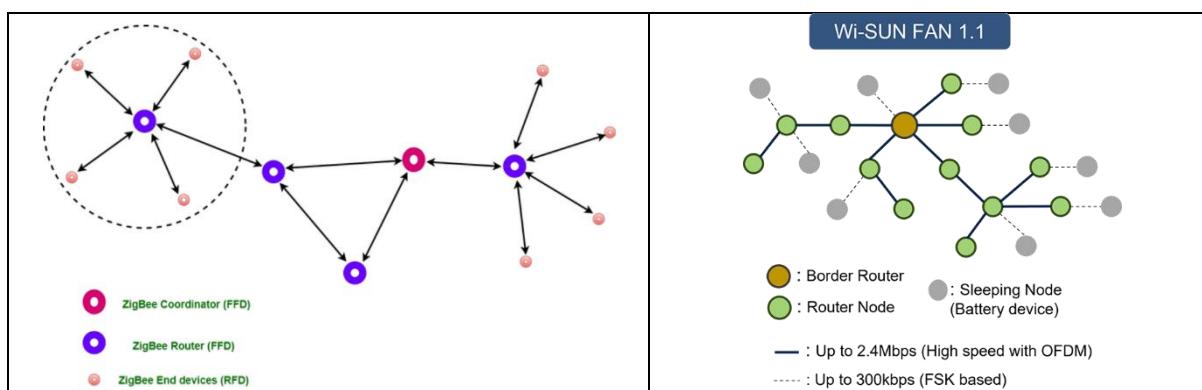
Plusieurs protocoles de ce type existent sur le marché, et sans être exhaustif, nous pouvons citer le plus connu avec Zigbee (2.4GHz), Wirepas avec plusieurs variantes (5G ou NR+, 2.4GHz, Sub-GHz), plus récemment l'initiative Wi-SUN (Sub-GHz, 2.4GHz) et enfin ORAMA-Net (Sub-GHz, 2.4GHz). Le terme « Sub-GHz » regroupe principalement 2 bandes relativement proches :

1. EU863-870 pour l'Europe, comprise entre 863MHz et 870MHz,
2. US902-928 pour les USA, comprise entre 902MHz et 928MHz.

ZigBee et Wi-SUN sont tous les deux basés sur les spécifications publiques IEEE 802.15.4, tandis que Wirepas 5G est basé sur la spécification publique ETSI NR+, les autres variantes de Wirepas et ORAMA-Net étant basées sur des spécifications propriétaires.

ZigBee et Wi-SUN FAN (Field Area Network) ont des architectures très proches, héritées de leur fondation commune ; on retrouvera 3 catégories de nœud selon leur hiérarchie dans le réseau :

1. Le nœud « Coordinator » ou « Border Router », qui assure l'animation de plusieurs PAN (Personal Area Network) et la fonction de passerelle vers le backend (i.e. le cloud),
2. Le nœud « Router », qui assure la communication ascendante et descendante au sein d'un PAN pour un sous-groupe de nœuds pour lesquels il assure la fonction relai ; ce nœud peut également être un capteur ou actionneur, mais sa charge ne lui permet pas dans la majorité des cas de fonctionner sur piles ou batterie,
3. Le nœud « End » ou « Sleeping » qui constitue le capteur ou actionneur proprement dit fonctionnant sur piles ou batterie ; c'est un nœud terminal qui ne peut se connecter qu'à un nœud router, et ne peut donc servir de relai pour un autre nœud.



On relèvera que la construction d'un réseau ZigBee ou Wi-SUN nécessite un niveau particulier de spécialisation des nœuds, ce qui peut s'avérer être un handicap dans certaines situations : instabilité du lien radio et/ou mobilité de l'objet.

Sur un plan plus dynamique, Wirepas et ORAMA-Net présentent des modèles de fonctionnement très proches, pour lesquels il n'existe que 2 niveaux hiérarchiques préétablis :

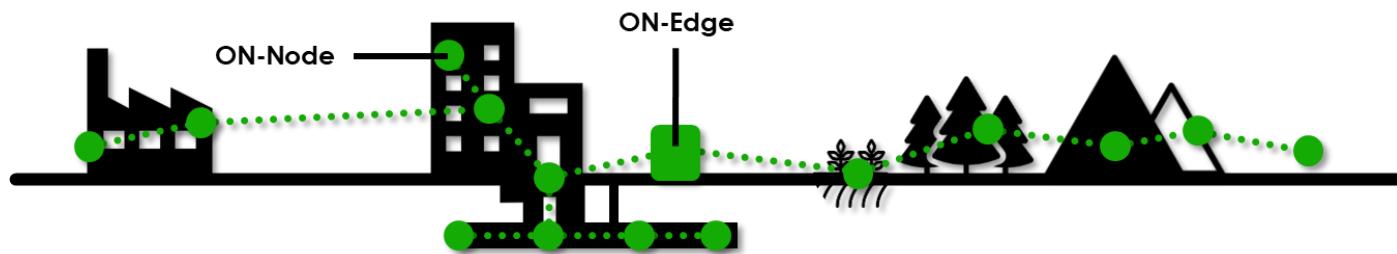
1. Le nœud « Edge » ou « Sink », qui assure l'animation d'un cluster d'objets et la fonction passerelle/gateway vers le backend,
2. Le nœud « Node », qui peut se connecter au « Edge » en direct ou via un autre « Node » qui lui servira de relai, cette construction de route s'opérant de façon dynamique et autonome pour chaque nœud, doublée de capacités d'autoréparation en cas de perte d'un nœud sur une route (i.e., Self-Healing).

Tous les deux peuvent fonctionner avec plusieurs « Edge » concurrents sur un même site, et chaque message Peer-To-Peer (P2P) entre « Node » fait l'objet d'un acquittement et de re tentatives

multiples en cas d'échec de transmission, ce qui permet d'atteindre un SLA (Service Level Agreement) supérieur ou égal à 99.9% sans acquittement bout en bout.

Tous les deux utilisent également des mécanismes sophistiqués pour gérer de manière optimale le spectre RF, éviter les collisions et répondre aux réglementations radio en vigueur selon les régions de déploiement, des normes européennes ETSI EN-300-220 pour le Sub-GHz et EN-300-328 pour le 2.4GHz, en passant par la directive américaine FCC part 15.247 pour les 2 bandes.

Pour sa part, ORAMA-Net utilise le LBT (Listen Before Talk) ou PSA (Polite Spectrum Access) tel que défini dans la norme ETSI, combiné à un algorithme AFA (Adaptive Frequency Agility) garantissant un accès pseudo-aléatoire et équiprobable de tous les canaux disponibles dans la bande de travail, règle imposée par la directive FCC. Au demeurant, cette combinaison permet d'échapper à la contrainte du Duty Cycle à 1% qui gouverne la bande européenne EU863-870.



4.2 ORAMA-NET VERSUS WIREPAS

ORAMA-Net étant calibré pour des objets alimentés par piles ou batterie et pouvant fonctionner plusieurs années sans intervention, nous écarterons dans ce comparatif la version 5G de Wirepas car nous ne disposons pas d'informations précises sur la consommation des nœuds. De plus, sachant que la fréquence de la porteuse joue un rôle important dans la portée du signal radio, nous pouvons comparer sans biais les variantes Sub-GHz et 2.4GHz disponibles dans les 2 solutions.

Les différences entre Wirepas et ORAMA-Net vont principalement se situer sur 2 points :

1. Le plus évident réside dans le choix de la **couche physique**, Wirepas utilisant des formes d'onde (ou modulation) proches de celles de Bluetooth pour les versions Sub-GHz & 2.4GHz ; pour sa part, ORAMA-Net s'appuie sur la modulation CSS (Chirp Spread Spectrum) de la radio LoRa™ en Sub-GHz & 2.4GHz, reconnue pour sa faible consommation, sa portée multi-kilométrique et sa forte immunité aux interférences,
2. Le moins évident (mais pas le moins important) se concentre sur la **construction du réseau** ; le nœud Wirepas procède en mode « Discovery », c'est-à-dire qu'il commence par émettre un message de découverte de son voisinage et en attend une ou plusieurs réponses qui vont conditionner la suite ; un nœud ORAMA-Net sera moins « bavard », et va d'abord se placer en écoute périodique d'une balise ou « Beacon » émise par le « Edge » et repropagée par les nœuds intermédiaires, un peu à l'image d'une onde à la surface de l'eau. Le bénéfice de cette approche versus le mode « Discovery » est que les nœuds ORAMA-Net restent silencieux en dehors de toute zone de couverture, sachant que le nombre de cercles concentriques sera borné en pratique à 9 rangs ou sauts pour limiter la taille et la latence du réseau (configuration standard, sachant qu'il est toujours possible d'ajuster ce nombre entre 5 et 15 sauts pour des usages spécifiques).

Les choix du point n°2 découlent du point n°1 qui détermine les débits disponibles en fonction des modulations utilisées ; là où Wirepas dispose de débits bruts allant de 250Kbps à 1Mbps, ORAMA-Net ne peut compter que sur des débits allant de 5Kbps à 20Kbps, soit jusqu'à 50 fois moins ! Par conséquent, ORAMA-Net est conçu pour fonctionner avec une signalisation minimale, libérant de la bande passante pour la messagerie applicative, et un nombre fini de sauts à partir du « Edge » pour limiter la population dans un cluster ; cette limite reste malgré tout élevée puisque le modèle est dimensionné pour prendre en charge jusqu'à 65K nœuds par cluster.

Ce qui peut paraître un handicap se transforme en avantage lorsque l'on raisonne du point de vue de la sensibilité du récepteur, c'est-à-dire, sa capacité à recevoir correctement un signal radio très faible, voire même en dessous du plancher de bruit ; sur ce plan, la modulation CSS LoRa™ est incomparablement supérieure à la modulation (G)FSK utilisée par Bluetooth. Là où la sensibilité d'un récepteur Wirepas sera au mieux à -100dBm, celle d'un récepteur ORAMA-Net atteindra -120dBm en DR6 (SF7/250KHz en Sub-GHz) ; il faut savoir qu'un gain de -6dBm revient à doubler la distance de communication entre un émetteur de puissance fixe et un récepteur, ce qui signifie que dans un même environnement, la distance potentielle de communication entre 2 nœuds ORAMA-Net est au moins 8 fois supérieure à celle entre 2 nœuds Wirepas !

Un calcul simpliste (mais réaliste) permet donc d'affirmer que 9 sauts en ORAMA-Net sont l'équivalent de 72 sauts en Wirepas ; ou pour un même rayon de cluster de 9km, chaque saut ORAMA-Net représentera 1km alors qu'il ne représentera que 125m en Wirepas. Ce rapport devient critique dans des situations de propagation difficiles, avec de fortes atténuations (ex : paroi de béton) et/ou des sources d'interférence sur le trajet d'onde ; la distance de communication peut chuter à 200m pour ORAMA-Net, soit moins de 25m pour Wirepas.

Le constat est qu'un réseau ORAMA-Net présente une meilleure « élasticité », en donnant plus de souplesse dans l'implantation des points de mesure ou contrôle, limitant ainsi le besoin de placer un nombre important de nœuds relai pour maintenir une route viable.

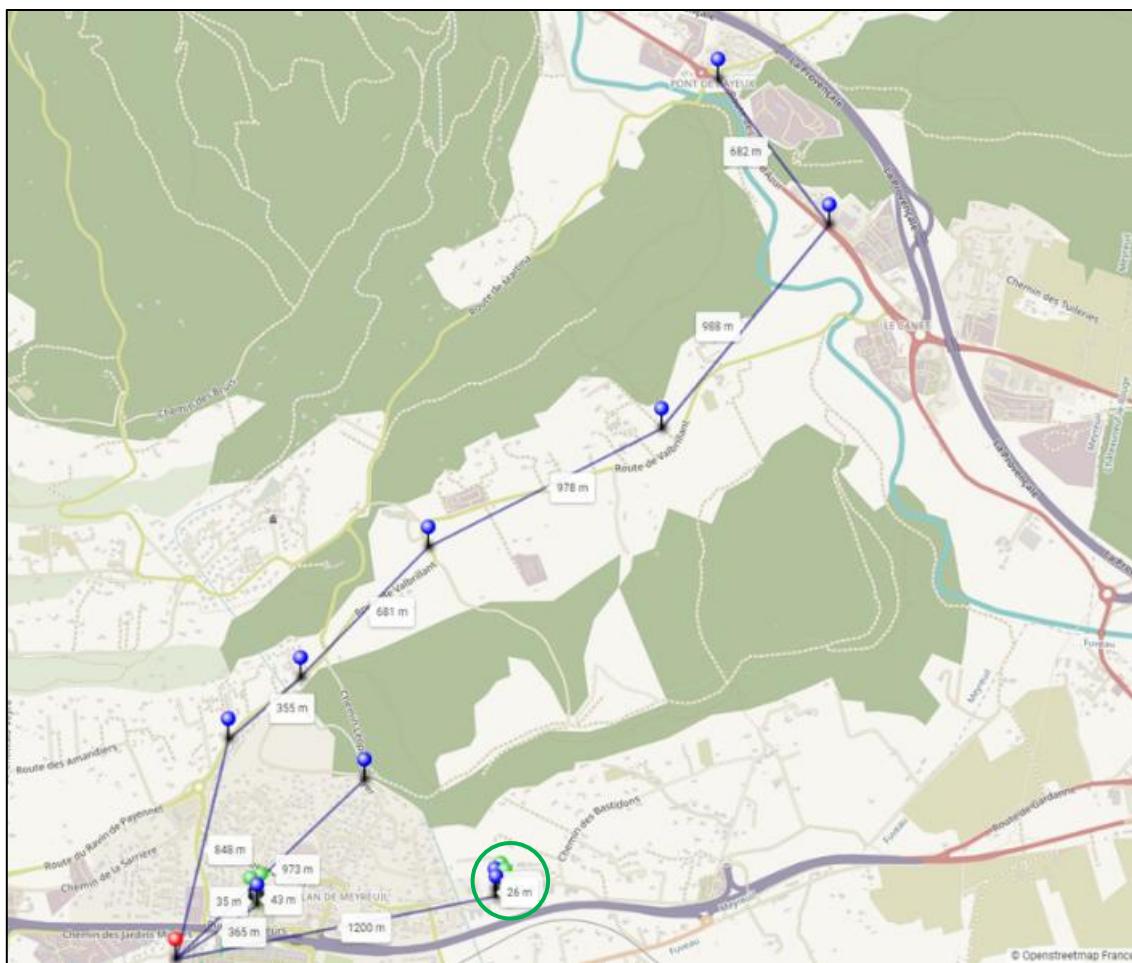
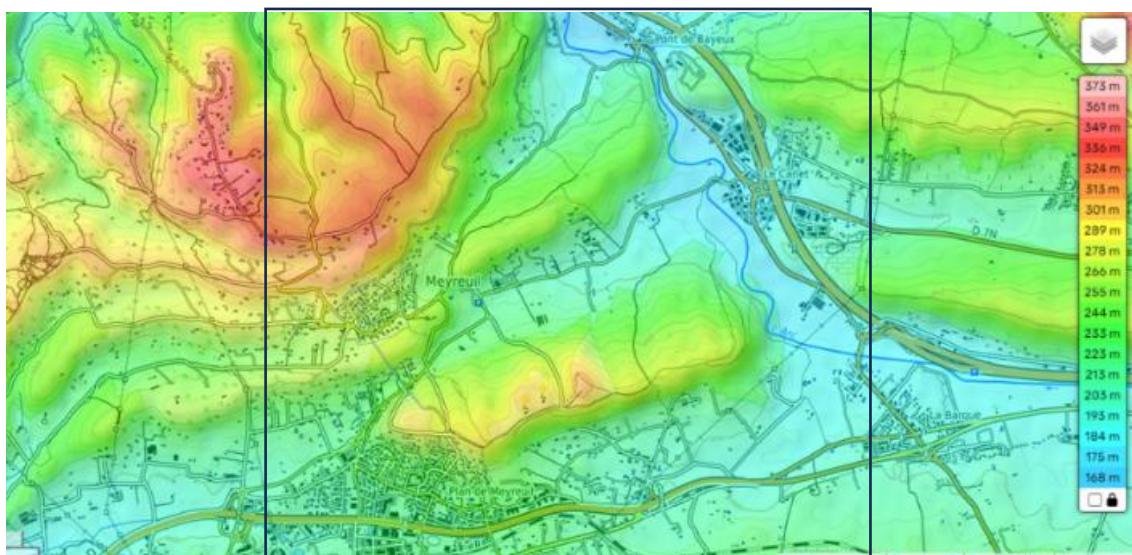
Wirepas revendique la possibilité de mettre en réseau plus de 1000 nœuds par m³ ; à contrepied, **ORAMA-Net revendique un réseau opérationnel avec une densité aussi faible que 1 nœud par km³.**

5 ORAMA-NET EN DETAILS

5.1 COUVERTURE

La meilleure preuve est de faire parler le terrain ; ci-dessous 2 images représentant à la même échelle le déploiement d'un site pilote d'une profondeur de 6 sauts max. sur la commune de Meyreuil (2500 hectares), qui accueille nos bureaux :

1. Vue topographique montrant un environnement mixte de bâtiments urbains et de massifs forestiers qui constituent de multiples barrières d'atténuation du signal radio ; le cadre noir représente l'aire effective de déploiement circonscrite dans un pavé de 5x5km environ correspondant à la vue reprise en (2),
2. Vue OpenStreetMap, montrant le nœud rouge « Edge » (i.e., gateway) et la distribution des nœuds bleus « Nodes » (i.e., capteurs de température, de qualité de l'air, d'humidité couplé à un actionneur pilotant une électrovanne d'arrosage), et les distances de sauts associés.



Dans cet environnement complexe et étendu, on relève des sauts proches ou supérieurs à 1km, en particulier à 1200m pour le capteur entouré en vert. Il est également intéressant de noter que la gateway n'a pas besoin de se situer sur un point haut ; son antenne active ON-Edge est placée sur le toit de notre bureau de plain-pied sur un mat de 1.5 mètres, ce qui équivaut à une hauteur totale par rapport au sol de 4 mètres environ (photo ci-dessous).



5.2 CONSOMMATION

ORAMA-Net est conçu pour un fonctionnement pluriannuel d'objets alimentés par piles ou batterie ; il faut donc faire preuve d'une grande parcimonie dans l'utilisation de l'énergie embarquée.

Le poste de consommation le plus important à considérer n'est pas forcément le coût énergétique de chaque message transmis car c'est une donnée très volatile et dépendante de l'application ; certains cas d'usage demanderont 2 messages par jour tandis que d'autres en exigeront un toutes les 15 minutes, et pour des tailles allant de 20 octets jusqu'à 200 octets.

Ce qui va véritablement servir de « mètre étalon » sera l'énergie dépensée pour le maintien en fonctionnement du réseau et le coût de la signalisation associée ; sur ce plan, nous disposons de 2 leviers remarquables, véritables points forts du protocole :

1. Le **WOR (Wake On Radio)**, mécanisme d'écoute et de réveil ultra-basse consommation qui ne consomme que $25\mu\text{A.h}$ (configuration standard EU863-870),
2. L'**URS (Ultra Relaxed Synchronization)**, procédé de synchronisation qui ne coûte que $15\mu\text{A.h}$, à raison d'un beacon toutes les 20 minutes (nœud équipé de quartz standard).

C'est avec ce **budget constant de $40\mu\text{A.h}$** par nœud que le réseau ORAMA-Net se construit, se maintient et se reconfigure si nécessaire (Self-Healing) ; c'est un point important dans le sens qu'un changement d'organisation des routes n'a pas d'impact sur ce budget.

5.3 BIDIRECTIONNALITE

ORAMA-Net offre les mêmes débits nets en flux montant et descendant ; en configuration standard DR6 (SF7/250KHz), ce débit de données utiles se monte à **1.1KByte par seconde**.

Les transceivers LoRa™ utilisés ne pouvant émettre et recevoir en même temps (i.e. mode half-duplex), l'arbitrage entre flux montant et descendant est opéré par le biais d'un mécanisme de division du temps appelé TDD (Time Division Duplexing).

En flux descendant, ce principe garantit une latence maximale de **20 secondes** entre l'envoi d'un message par la gateway et sa réception par un objet situé sur le dernier rang du cluster, c'est-à-dire à une distance de 9 sauts.

En flux montant, le besoin de déterminisme est moins sensible et le délai entre l'émission d'un message par un objet situé au dernier rang et sa réception par la gateway sera de **1 minute** pour les messages étiquetés prioritaires (hors retransmission suite à un échec), car ce tag applicatif désactive la fonctionnalité d'agrégation au niveau des nœuds relai ; ce délai sera bien évidemment inférieur pour les nœuds à proximité de la gateway, et à fortiori nul pour les nœuds de rang 1.

Pour les messages non prioritaires, ce délai peut par contre atteindre plusieurs minutes en fonction des paramètres d'agrégation (timeout, water-level) ; à titre d'exemple simple, avec un seuil temporel fixé à 30 secondes et sans autres messages émis par les nœuds rattachés à sa route, le message d'un nœud de rang 9 arrivera à la gateway sous un délai de 4 minutes.

5.4 SCALABILITE

En configuration standard, le cadencement d'ORAMA-Net est basé sur des cycles de 20 secondes, soient 4320 cycles par jour, décomposés comme suit :

- Une fenêtre de 2s à 4s réservée au flux descendant,
- Une fenêtre de 16s à 18s réservée au flux montant.

En flux descendant, le potentiel journalier de transfert est de 4MByte (jusqu'à 4 messages de 245 octets par cycle) ; chaque message peut être destiné, soit à tous les nœuds du cluster (i.e., broadcast), soit à un nœud en particulier (i.e., unicast).

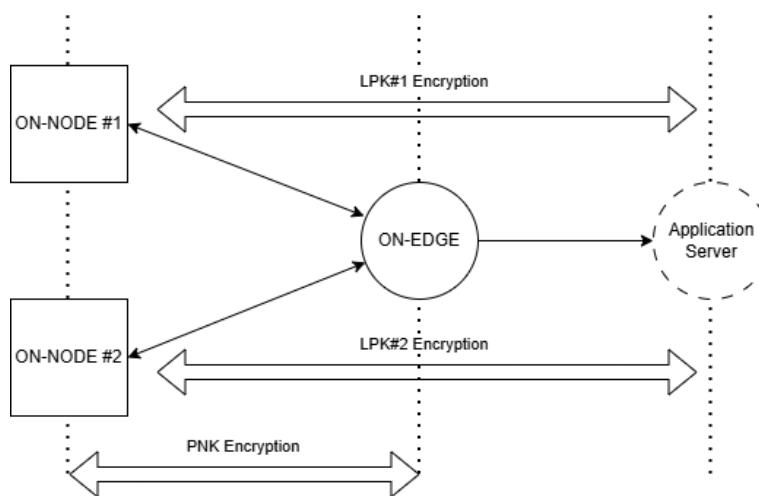
En flux montant, tous les messages sont unicast puisqu'à destination du « Edge » ; nous nous placerons dans une configuration où la charge de transfert vers la gateway est à 20% de sa capacité théorique et avec un taux d'agrégation de 25% au niveau des nœuds de 1^{er} rang (i.e., purge du cache à partir de 4 messages) ; pour un message unitaire par nœud de 48 octets de données utiles, la gateway peut absorber jusqu'à 192K messages par jour, ce qui représente :

- Un message toutes les 8 heures pour un cluster de 64K nœuds,
- Un message toutes les 2 heures pour un cluster de 16K nœuds,
- Un message toutes les 30 minutes pour un cluster de 4K nœuds,
- Un message toutes les 7 minutes et 30 secondes pour un cluster de 1K nœuds.

5.5 SECURITE

ORAMA-Net implémente un schéma de sécurité à 2 niveaux :

1. La sécurité point à point ou P2P (Peer-To-Peer) et couvrant le segment allant du nœud jusqu'à la gateway ; chaque nœud, y compris le « Edge », encrypte/décrypte et signe/vérifie les trames sur la base d'une clé **PNK (Private Network Key)** propre à chaque réseau privé ; un nœud ne possédant pas la bonne clé PNK ne pourra pas rejoindre le cluster et sera rejeté par tous les autres nœuds,
2. La sécurité bout en bout ou E2E (End-To-End) et couvrant le segment allant du nœud jusqu'au serveur d'application AS (Application Server) ; cette dernière est optionnelle et activable par l'application si le dispositif ne dispose pas de son propre SE (Secure Element) et utilise la clé **LPK (Licence Provisioning Key)** attribuée individuellement à chaque nœud.



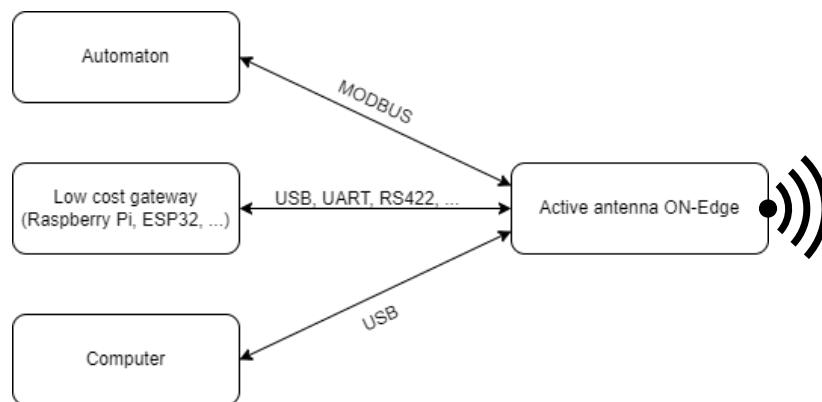
L'ensemble de ces éléments de sécurité est encapsulé dans un certificat unique, téléchargé dans le dispositif à l'activation de la stack ORAMA-Net.

ORAMA-Net utilise la cryptographie **AEAD (Authenticated Encryption with Additional Data)** avec des clés de 256 bits (32 octets), en conformité avec les recommandations **NIST 800-38C**.

5.6 SIMPLICITE

Pas de hardware RF spécifique pour la gateway → un objet ORAMA-Net connecté en UART, USB ou RS-422 à un PC, un automate industriel ou une carte passerelle low-cost suffit (ex : Raspberry Pi) ; seul le firmware sera différent :

- **ON-Edge** pour l'objet faisant office d'antenne active de la gateway,
- **ON-Node** pour l'objet faisant office de capteur ou actionneur.



ON-Edge gère l'intégralité du réseau, y compris la sécurité P2P :

- Il transmet à la carte passerelle les données applicatives reçues des nœuds du cluster après les avoir décryptées et vérifiées avec la clé réseau PNK,
- Il reçoit de la carte passerelle les données applicatives transmises par le serveur d'application, les signe et les encrypte avec la clé PNK avant de les propulser dans le réseau.

Entre ON-Edge et la carte passerelle, et à fortiori entre la passerelle et le serveur d'application, les données sont toujours protégées, soit par la sécurité logicielle E2E basée sur la clé LPK unique par nœud, soit par la sécurité matérielle d'un SE (Secure Element) si le dispositif cible en est doté.

Note : la charge pour la carte passerelle est notoirement faible puisqu'elle fonctionne de manière totalement asynchrone avec le cadencement du réseau ORAMA-Net intégralement pris en charge par ON-Edge; pour nos besoins de démonstration et de POC, nous avons développé une plateforme hardware ON-Spot, à base d'une simple MCU de la famille ESP32-S3, connectée à l'antenne active ON-Edge via une liaison RS-422 sur câble Ethernet standard RJ45-Cat6 autorisant une séparation de plusieurs centaines de mètres entre les 2 éléments.



Le principe d'ORAMA-Net faisant qu'une gateway n'échange des messages qu'avec les objets enregistrés dans son cluster rend superflue la présence d'un cœur de réseau, matérialisé par un serveur dédié supplémentaire NS (Network Server) qui s'interpose entre la gateway et le serveur d'application AS (Application Server). Même dans le cas d'un AS connecté à plusieurs clusters, il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre un NS pour coordonner le tout.

Enfin, il n'est pas nécessaire d'installer la gateway sur un point haut pour couvrir un large périmètre ; comme illustré dans le paragraphe 5.1, le principe du LoRa™ Multi-Hop permet de s'affranchir de cette contrainte de terrain.

5.7 POLYVALENCE

ORAMA-Net a été conçu pour adresser un large spectre de cas d'usage dans l'IoT dans lesquels nous retrouverons par conséquent une grande variété de capteurs ou actionneurs, le seul point commun étant qu'ils utilisent tous la technologie radio LoRa™.

Sur le plan de l'implémentation, au-delà de cette exigence, ORAMA-Net ne requiert pas de spécialisation de l'objet pour son exécution, ni changement hardware pour les objets déjà existants ; passer du protocole LoRaWAN à ORAMA-Net se fait par simple migration/portage logiciel. Les firmwares ON-Edge & ON-Node sont compatibles avec les dernières générations de composants Semtech SX126x, SX128x et LR11xx, et toutes les MCU basées sur l'architecture ARM® Cortex-M4 (ex : famille STM32L4) universellement adoptée par les fabricants de microcontrôleur 32bit.

Sur le plan opérationnel, comme déjà évoqué dans le paragraphe 4, ORAMA-Net ne procède pas par spécialisation des nœuds comme dans les protocoles dérivés du standard IEEE 802.15.4, et offre plus de souplesse dans l'installation des points de mesure ou contrôle par rapport à des protocoles comme Wirepas.

Enfin, ORAMA-Net n'est pas un protocole figé et reste volontairement ouvert à des ajustements de ses paramètres de fonctionnement pour répondre de manière optimale à différents cas d'usage :

- Tout d'abord, le SF (Spreading Factor) est variable entre SF6 & SF9 ; plus le SF sera faible, plus la consommation induite et la distance de chaque saut seront faibles ; plus le SF sera élevé, plus ces 2 métriques seront élevées.

- Le nombre maximal de rangs ou sauts au sein d'un cluster est variable entre 5 & 15 ; plus ce nombre sera faible, plus la latence dans le réseau sera faible, que ce soit en flux montant ou descendant ; plus ce nombre sera élevé, plus cette latence sera élevée.
- Le rythme de « Beaconing » définit la susceptibilité du réseau à des changements dans la répartition spatiale et/ou à la dérive des horloges des nœuds. Ce paramètre peut varier d'une période de 5 minutes pour un scenario de nœuds mobiles (ex : suivi de troupeau) ou à forte dérive des horloges, à 80 minutes pour un scenario statique et très faible dérive des horloges (ex : capteurs sur TCXO).

ORAMA-System accompagne le client dans la sélection de ces paramètres pour évaluer les meilleurs réglages ; le tableau ci-dessous résume les caractéristiques techniques des différentes variantes.

Layer	Parameter	Value
PHY (Physical)	Frequency Bands	EU: 863MHz to 870MHz (ETSI EN-300-220) US: 902MHz to 928MHz (FCC part 15.247)
	Transmit Power (ERP)	EU: +14dBm (25mW) US: +22dBm (150mW)
	Modulation	LoRa™ CSS (Chirp Spread Spectrum)
	Receive Sensitivity	-116dBm to -123dBm (SF6 to SF9)
	Link Budget	130dBm min. & 145dBm max. → LoS (Line of Sight) range of 2.75km min. & 15km max.
MAC (Media Access Control) & LLC (Logical Link Control)	Medium Access Method	PSA (Polite Spectrum Access) + AFA (Adaptive Frequency Agility) → duty cycle up to 4.375%
	Hopping Channels	20 to 80 (depending on band interval and LoRa bandwidth 125KHz, 250KHz or 500KHz)
	Listening Mode consumption	14µA.h to 77µA.h (Wake-On-Radio with SF6 to SF9)
	Data throughput	14.4Kbps down to 2Kbps (SF6 to SF9)
NET (Network)	Topology	Clustered WSN (Wireless Sensor Network)
	Routing Protocol	Self-Configuring & Self-Healing Multi-hop (up to 9 hops of more than 1km each)
	Communication Latency	Less than 20 seconds in downlink direction (between ON-Spot and any ON-Node)
	Cluster capacity	Up to 65534 ON-Node connected to a single ON-Spot
	Feature Level	No device specialization as per IEEE 802.15.4 → ON-Node can be both an end-device (RFD) and a router (FFD) for other nodes, so run on battery power like any end-device

Note : ce tableau est donné pour un nombre fixe de 9 sauts max. ; pour un nombre maximal de sauts N , la formule sur la latence T est la suivante :

$$T = (2 * N) + 2$$

On retrouve bien 20s pour 9 sauts, et cela donnera 12s pour 5 sauts et 32s pour 15 sauts.

6 CONCLUSION

Nous espérons que ce tour d'horizon vous aura permis de comprendre pourquoi nous avons créé ORAMA-Net avec la conviction que ce protocole a toute sa place dans l'échiquier des solutions sans fil pour le marché de l'IoT.

Nous n'avons pas la prétention de résoudre tous les problèmes de connectivité sans fil ; ORAMA-Net est avant tout une réponse pragmatique à des problématiques précises posées par les cas d'usage Smart-City & Smart-Building, avec le formidable potentiel qu'offre la technologie radio LoRa™.

ORAMA-Net se présentant sous forme d'une suite logicielle à intégrer dans les objets connectés, ORAMA-System n'adresse pas les utilisateurs finaux de ces objets, mais les fabricants de capteurs ou actionneurs, les intégrateurs et les verticaux IoT ou « **Solution Maker** », comme nous le faisons déjà avec un acteur de référence dans le domaine de l'éclairage public solaire.

Si vous appartenez à l'une de ces catégories, et que vous souhaitez en savoir plus et tester ORAMA-Net via notre **démo kit**, je vous invite à prendre contact par mail à contact@orama-system.com

