



IUT
de Blois



PROJET ARCHINET

Étude d'Ingénierie Système et Déploiement Réseau

Rapport Technico-Économique Global (Île 8)

Auteurs :

Clément GORAU & Alexis TAHON

Étudiants BUT R&T

Table des matières

1	Introduction et Périmètre de l'Étude	2
1.1	Contexte Géographique et Positionnement de l'Île 8	2
1.2	Objectifs Techniques et Enveloppe Budgétaire	2
2	Matrice de la Demande Locale	2
3	Option I : Solution Hybride Fibre (FTTH) et Backhaul Radio	3
3.1	Ingénierie du Réseau d'Accès Optique (GPON)	3
3.1.1	Choix et Optimisation des Câbles Optiques	3
3.1.2	Bilans d'Atténuation Optique Locaux	3
3.2	Bilan Financier Intégral et Charge Citoyenne	4
4	Option II : Architecture Radio Distribuée (Étendue)	6
4.1	Bilans de Propagation et Ellipses de Fresnel Locales	6
4.2	Bilan Budgétaire et Charge Citoyenne	6
5	Option III : Topologie Radio Consolidée (Centralisée)	8
5.1	Bilans de Propagation et Ellipses de Fresnel Locales	8
5.2	Bilan Budgétaire et Charge Citoyenne	8
6	Bilan de Liaison Commun : Transit Inter-Îles (Backhaul)	10
7	Synthèse Comparative et Matrice d'Arbitrage	12
8	Conclusion et Recommandation d'Arbitrage	12
	Annexe : Topologie Globale de l'Archipel	13

1 Introduction et Périmètre de l'Étude

1.1 Contexte Géographique et Positionnement de l'Île 8

Le projet Archinet s'inscrit dans le déploiement d'un réseau de télécommunications à l'échelle d'un archipel. Comme l'illustre la carte globale, l'Île 8 est située sur le flanc oriental (extrémité droite) du territoire.

Bien qu'elle soit excentrée par rapport au cœur géométrique de l'archipel, elle joue un rôle de relais périphérique essentiel. Elle agit non seulement comme une zone de desserte locale pour ses propres administrés, mais elle constitue également un point de transit hertzien indispensable sur cette façade maritime pour relier l'Île 13 (située au nord-ouest) et l'Île 9 (située au sud-ouest).

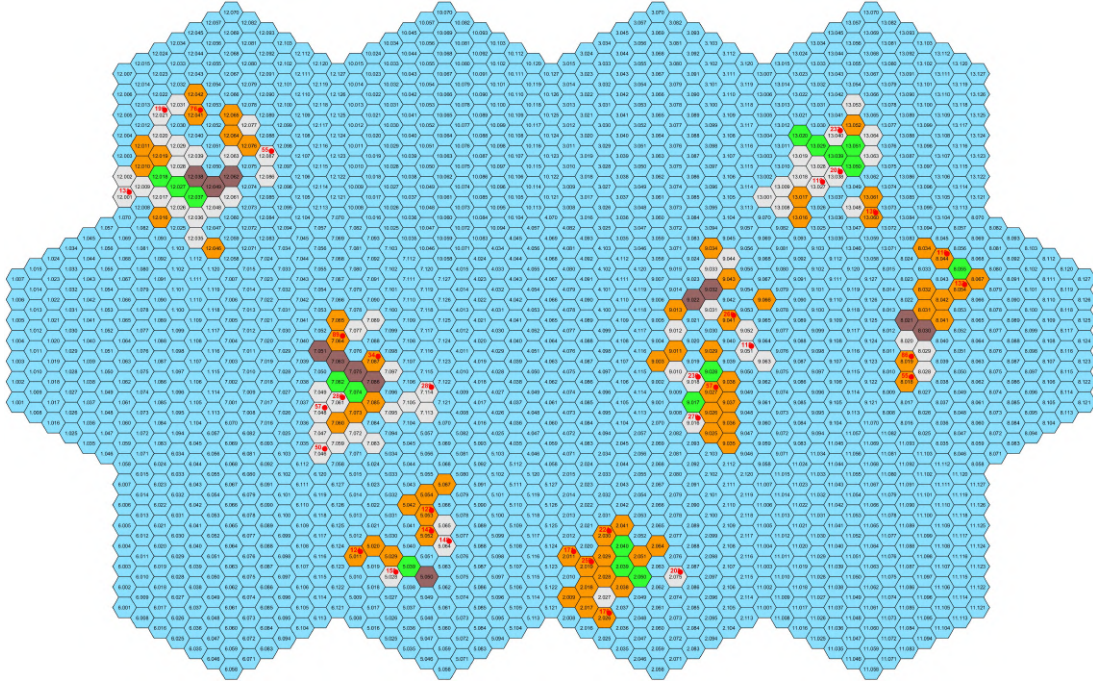


FIGURE 1 – Carte globale de l'archipel et positionnement périphérique de l'Île 8

1.2 Objectifs Techniques et Enveloppe Budgétaire

Le déploiement de l'infrastructure de l'Île 8 est conditionné par une double obligation technique :

1. Desservir les abonnés locaux avec un débit symétrique et garanti.
2. Assurer le transit hertzien (backhaul) à haute capacité entre l'Île 13 et l'Île 9.

L'enveloppe budgétaire publique allouée par les instances dirigeantes est fixée à **400 Cr par foyer**, soit un budget de base de **153 200 Cr** pour les **383 foyers** répertoriés sur la tuile.

Suite à l'autorisation de lever une contribution financière auprès des habitants pour absorber les surcoûts d'infrastructure matérielle, ce rapport évalue de manière exhaustive trois scénarios technologiques. Quel que soit le mode de distribution local choisi (Filaire ou Radio), l'intégration des liaisons hertziennes inter-îles est obligatoire et impacte directement le bilan économique de l'Île 8.

2 Matrice de la Demande Locale

L'infrastructure locale doit garantir un débit symétrique de **5 Mbit/s en heure de pointe** par foyer aux quatre villages de la tuile :

TABLE 1 – Besoins en débits nominaux par village

Identifiant Village	Nombre de Foyers	Débit Requis (Mbit/s)
Village 8.054	132	660
Village 8.044	110	550
Village 8.019	86	430
Village 8.018	55	275
Total	383	1915

3 Option I : Solution Hybride Fibre (FTTH) et Backhaul Radio

3.1 Ingénierie du Réseau d'Accès Optique (GPON)

Le dimensionnement de l'architecture FTTH est soumis à la contrainte stricte d'utilisation de la capacité à **75% maximum**. Sur un splitter 1 :32, cela limite la charge à 24 foyers. L'éclatement géographique des villages interdit la mutualisation des splitters, exigeant un calcul de charge par zone :

- **Village 8.054** (132 foyers) : $132/24 \rightarrow 6$ splitters
- **Village 8.044** (110 foyers) : $110/24 \rightarrow 5$ splitters
- **Village 8.019** (86 foyers) : $86/24 \rightarrow 4$ splitters
- **Village 8.018** (55 foyers) : $55/24 \rightarrow 3$ splitters

Le réseau nécessite donc un total de **18 splitters SPL-32**, regroupés stratégiquement au sein de **4 boîtiers de rue** (un Point de Mutualisation par village), et **18 fibres actives** issues du NRÎ.

3.1.1 Choix et Optimisation des Câbles Optiques

La règle d'occupation de 75% s'applique également aux brins des câbles optiques déployés. Un câble F0-12F ne fournit que $12 \times 0,75 = 9$ fibres utiles.

- **Axe de transport Nord (Villages 8.054 et 8.044) :** Le besoin cumulé est de $6 + 5 = 11$ fibres. Afin d'éviter le recours à un câble capacitaire F0-48F facturé 1 500 Cr/km, la stratégie retenue consiste à tirer **deux câbles F0-12F en parallèle** (24 brins, soit 18 fibres utiles). Cette optimisation fait chuter le coût de la liaison à 1 000 Cr/km (2×500 Cr), soit une économie budgétaire directe de 33%.
- **Axe de transport Sud (Villages 8.019 et 8.018) :** Le besoin cumulé est de $4 + 3 = 7$ fibres. Un unique câble F0-12F (500 Cr/km) est suffisant.

3.1.2 Bilans d'Atténuation Optique Locaux

L'atténuation totale de chaque liaison est modélisée par l'équation suivante :

$$A_{\text{tot}} = A_{\text{fibre}} + A_{\text{splitter}} + A_{\text{connecteurs}} + A_{\text{épissures}} + A_{\text{forfait}} \quad (1)$$

Les pertes fixes se décomposent ainsi :

- Affaiblissement du splitter : 17 dB
- Pertes de 4 connecteurs : 0,8 dB
- Pertes de 4 soudures/épissures : 0,2 dB
- Pénalité RAC-DIF (terrain difficile) : 1,0 dB

La base fixe d'atténuation (matériel passif hors câble) s'élève donc à 19,0 dB. L'atténuation linéique de la fibre est de 0,35 dB/km.

Pour valider la conformité de la couche physique, il faut calculer la puissance reçue ($P_{\text{reçue}} = P_{\text{émission OLT}} - A_{\text{tot}}$) sachant que $P_{\text{émission OLT}} = +2$ dBm, puis vérifier la marge ($M = P_{\text{reçue}} - \text{Sensibilité ONT}$) avec une sensibilité de -27 dBm.

TABLE 2 – Bilans optiques (GPON) par village - Option I

Desserte Locale	Distance	Atténuation Totale	Puissance Reçue	Marge (To- lérance > 5 dB)
Village Nord	3 km	20,05 dB	-18,05 dBm	+ 8,95 dB
Village Extrême Nord / Est	5 km	20,75 dB	-18,75 dBm	+ 8,25 dB
Village Sud	2 km	19,70 dB	-17,70 dBm	+ 9,30 dB
Village Extrême Sud / Ouest	3 km	20,05 dB	-18,05 dBm	+ 8,95 dB

Toutes les marges sont largement supérieures aux 5 dB de sécurité requis, validant la viabilité de l'architecture optique.

3.2 Bilan Financier Intégral et Charge Citoyenne

TABLE 3 – Bilan budgétaire détaillé de l'Option I (Fibre + Backhaul)

Catégorie	Désignation du Matériel / Travaux	Quantité	Coût (Cr)
Génie Civil	Bâtiment / Local Technique central (NRI)	1 unité	5 000
	Chambres de tirage (1 tous les 2 km)	11 unités	8 800
	Boîtiers de rue et d'épissurage (Boi)	4 unités	2 000
	Déploiement linéaire (Fouilles, aérien et élagage)	22 km	42 000
Réseau Passif (Optique)	Câblage Nord (2x F0-12F en parallèle)	12 km	12 000
	Câblage Sud / Distrib (F0-12F)	10 km	5 000
	Connectique, pigtaills et cassettes de soudure	Kit complet	1 250
Réseau Actif & Abonnés	Châssis de distribution central OLT-32 ports	1 unité	8 000
	Splitters optiques passifs SPL-32 (1 vers 32)	18 unités	4 500
	Raccordement final & ONT (Forfait RAC-DIF)	383 foyers	114 900
Backhaul	Pont hertzien inter-îles haute capacité PTP Extrem	5 unités	70 000
COÛT TOTAL DE L'INFRASTRUCTURE			273 450

Le besoin de financement complémentaire pour équilibrer ce scénario s'établit à :

$$\text{Déficit}_{\text{FTTH}} = 273\,450 \text{ Cr} - 153\,200 \text{ Cr} = 120\,250 \text{ Cr} \quad (2)$$

La contribution requise par foyer est de :

$$\text{Contribution}_{\text{FTTH}} = \frac{120\,250 \text{ Cr}}{383 \text{ foyers}} \approx \mathbf{313,97 \text{ Cr}} / \text{foyer} \quad (3)$$

Île 8

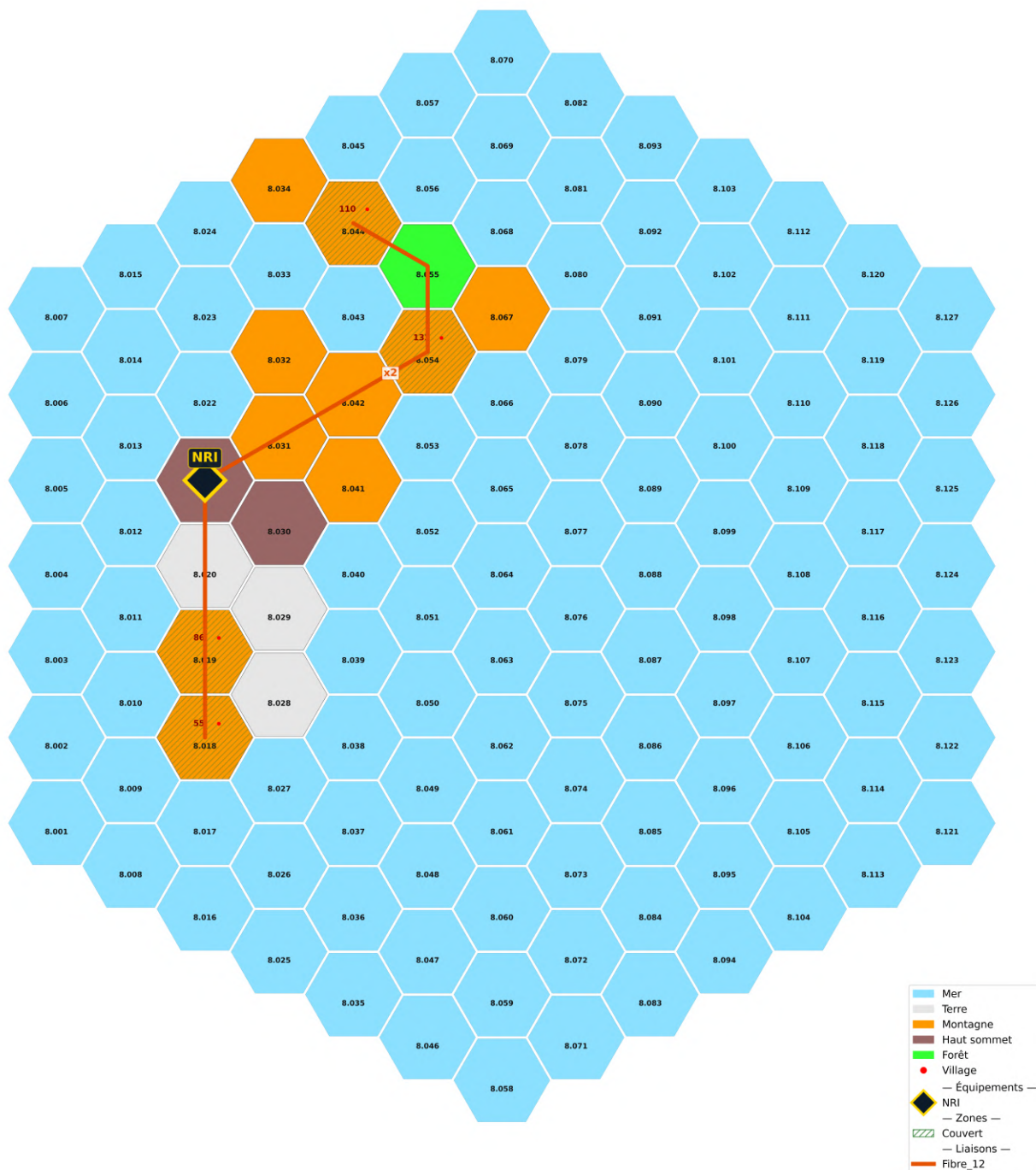


FIGURE 2 – Option I : Réseau de distribution FTTH terrestre et liaisons de transit inter-îles

4 Option II : Architecture Radio Distribuée (Étendue)

4.1 Bilans de Propagation et Ellipses de Fresnel Locales

Cette architecture utilise deux liaisons de collecte locale à 11 GHz (ULTRA) pour lier le NRÎ aux relais locaux, qui assurent ensuite une desserte terminale via des secteurs FWA-90 à 5,8 GHz.

L'intensité et la puissance reçue s'expriment par :

$$I_{(W)} = \frac{P_{0(W)}}{4\pi D^2} \implies P_{R(dBm)} = 10 \log_{10} \left(\frac{I_{(W)}}{10^{-3}} \right) + G_{\max} \quad (4)$$

Pour s'assurer qu'aucun obstacle ne vient dégrader le signal, le dégagement de la première zone de Fresnel est impératif. Le rayon maximal (demi-petit axe de l'ellipsoïde) au centre de la liaison se calcule par :

$$R_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c}{f}} \times D \quad (5)$$

TABLE 4 – Bilans de liaison de la distribution radio décentralisée - Option II

Liaison Locale	Fréq. / Gain	Distance	Puissance Reçue (P_R)	Rayon Ellipse ($R_{\max}$)
Collecte Nord (NRÎ → 8.054)	11 GHz / 24 dBi	3 400 m	-37,62 dBm	4,82 m
Collecte Sud (NRÎ → 8.019)	11 GHz / 24 dBi	2 000 m	-33,01 dBm	3,69 m
Desserte Nord (8.054 → 8.044)	5,8 GHz / 14 dBi	1 500 m	-44,51 dBm	4,40 m
Desserte Sud (8.019 → 8.018)	5,8 GHz / 14 dBi	1 000 m	-40,99 dBm	3,60 m

Tous les signaux arrivent avec une marge supérieure à 30 dB par rapport aux seuils de sensibilité habituels (-78 dBm).

4.2 Bilan Budgétaire et Charge Citoyenne

TABLE 5 – Bilan budgétaire détaillé de l'Option II (Radio Distribuée)

Catégorie	Désignation du Matériel / Travaux	Quantité	Coût (Cr)
Génie Civil	Bâtiment / Local Technique central (NRI)	1 unité	5 000
	Pylône léger de 10m (Py10)	2 unités	6 000
	Boîtiers de rue d'interconnexion	3 unités	1 500
Matériel Radio & Abonnés	Antenne de collecte Point-à-Point (ULTRA)	2 unités	36 000
	Antenne sectorielle de desserte (FWA-90)	8 unités	20 000
	Boîtier terminal client usager (CPE)	383 unités	38 300
Réseau Actif	Commutateur Ethernet de transit	2 unités	1 200
Backhaul	Pont hertzien inter-îles haute capacité PTP Extrem	5 unités	70 000
COÛT TOTAL DE L'INFRASTRUCTURE			178 000

Le besoin de financement complémentaire pour équilibrer ce scénario s'établit à :

$$\text{Déficit}_{\text{Distrib}} = 178\,000 \text{ Cr} - 153\,200 \text{ Cr} = 24\,800 \text{ Cr} \quad (6)$$

La contribution requise par foyer est de :

$$\text{Contribution}_{\text{Distrib}} = \frac{24\,800 \text{ Cr}}{383 \text{ foyers}} \approx \mathbf{64,75 \text{ Cr / foyer}} \quad (7)$$

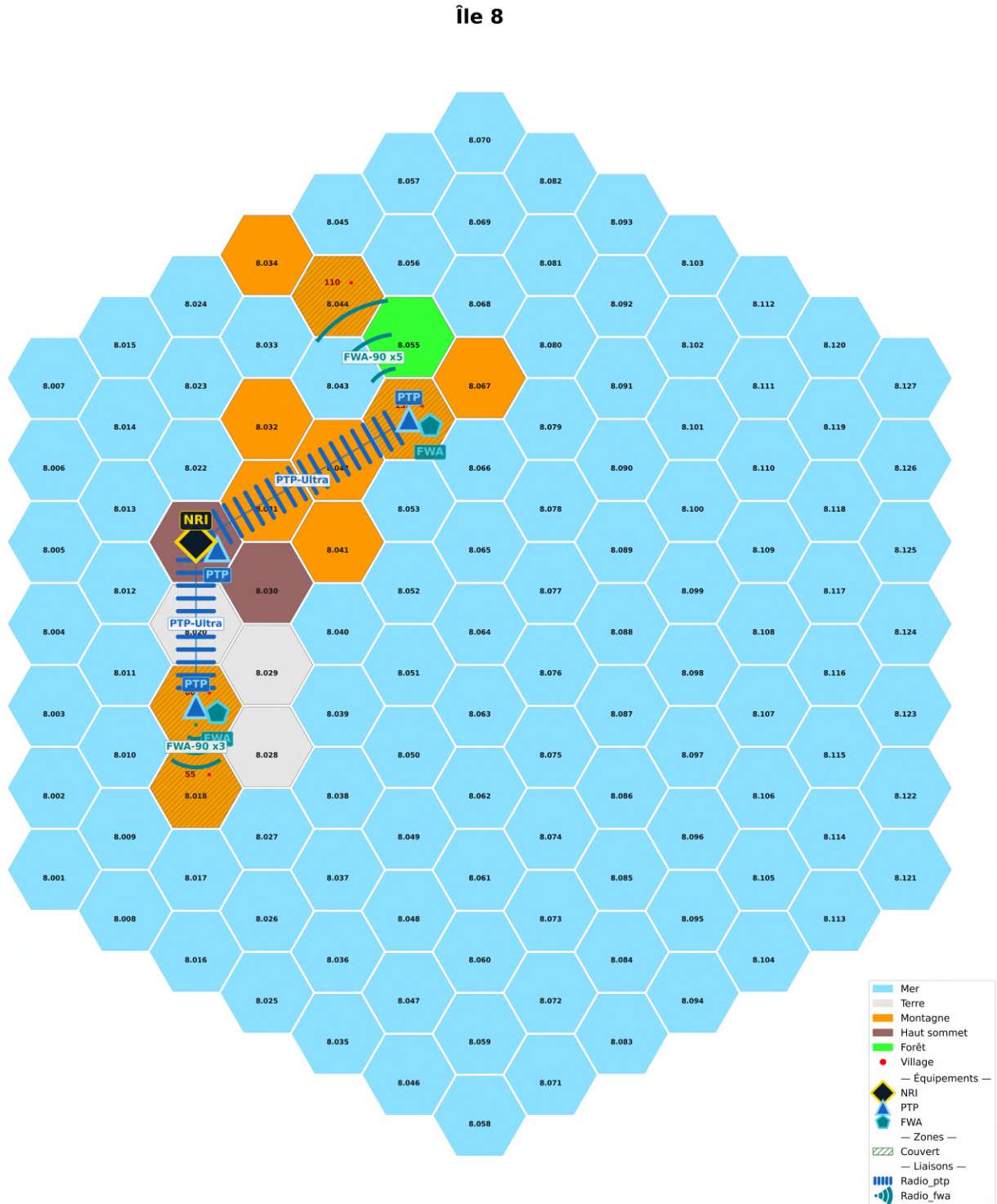


FIGURE 3 – Option II : Architecture distribuée avec relais locaux et liaisons inter-îles

5 Option III : Topologie Radio Consolidée (Centralisée)

5.1 Bilans de Propagation et Ellipses de Fresnel Locales

Cette architecture regroupe l'intégralité de la desserte locale sur l'hexagone culminant **8.021** (80 mètres d'altitude). Cette concentration absolue permet d'optimiser le génie civil à un seul pylône de 10 mètres (Py10). L'intégralité des villages est desservie via des antennes FWA-90 (Gain de 14 dBi, Puissance d'émission 16 dBm $\equiv$ 0,0398 W à 5,8 GHz).

En appliquant les formules d'intensité surfacique et de dégagement de l'ellipsoïde de Fresnel (R_{max}), nous obtenons les résultats suivants :

TABLE 6 – Bilans de liaison de la distribution radio consolidée - Option III

Desserte Directe (FWA)	Distance du NRÎ	Densité de Puissance (I)	Puissance Reçue (P_R)	Rayon Ellipse (R_{max})
Hub → Village Nord 8.054	1 803 m	-60,11 dBm	-46,11 dBm	4,82 m
Hub → Village Ouest 8.044	$\approx$ 1 500 m	-58,51 dBm	-44,51 dBm	4,40 m
Hub → Village Sud 8.019	1 000 m	-54,99 dBm	-40,99 dBm	3,60 m
Hub → Village Extr. 8.018	$\approx$ 1 600 m	-59,07 dBm	-45,07 dBm	4,55 m

5.2 Bilan Budgétaire et Charge Citoyenne

TABLE 7 – Bilan budgétaire détaillé de l'Option III (Radio Consolidée)

Catégorie	Désignation du Matériel / Travaux	Quantité	Coût (Cr)
Génie Civil	Bâtiment / Local Technique central (NRI)	1 unité	5 000
	Pylône léger de 10m (Py10)	1 unité	3 000
Matériel Radio & Abonnés	Antenne sectorielle de desserte (FWA-90)	10 unités	25 000
	Boîtier terminal client usager (CPE)	383 unités	38 300
Réseau Actif	Commutateur Ethernet de transit	2 unités	1 200
Backhaul	Pont hertzien inter-îles haute capacité PTP Extrem	5 unités	70 000
COÛT TOTAL DE L'INFRASTRUCTURE			142 500
ENVELOPPE BUDGÉTAIRE DISPONIBLE			153 200
SURPLUS BUDGÉTAIRE (RÉSERVE DE MAINTENANCE)			+10 700

L'architecture étant entièrement couverte par l'enveloppe publique initiale, elle ne nécessite aucun apport complémentaire :

$$\text{Contribution}_{\text{Consolidée}} = \mathbf{0,00} \text{ Cr / foyer} \quad (8)$$

Île 8

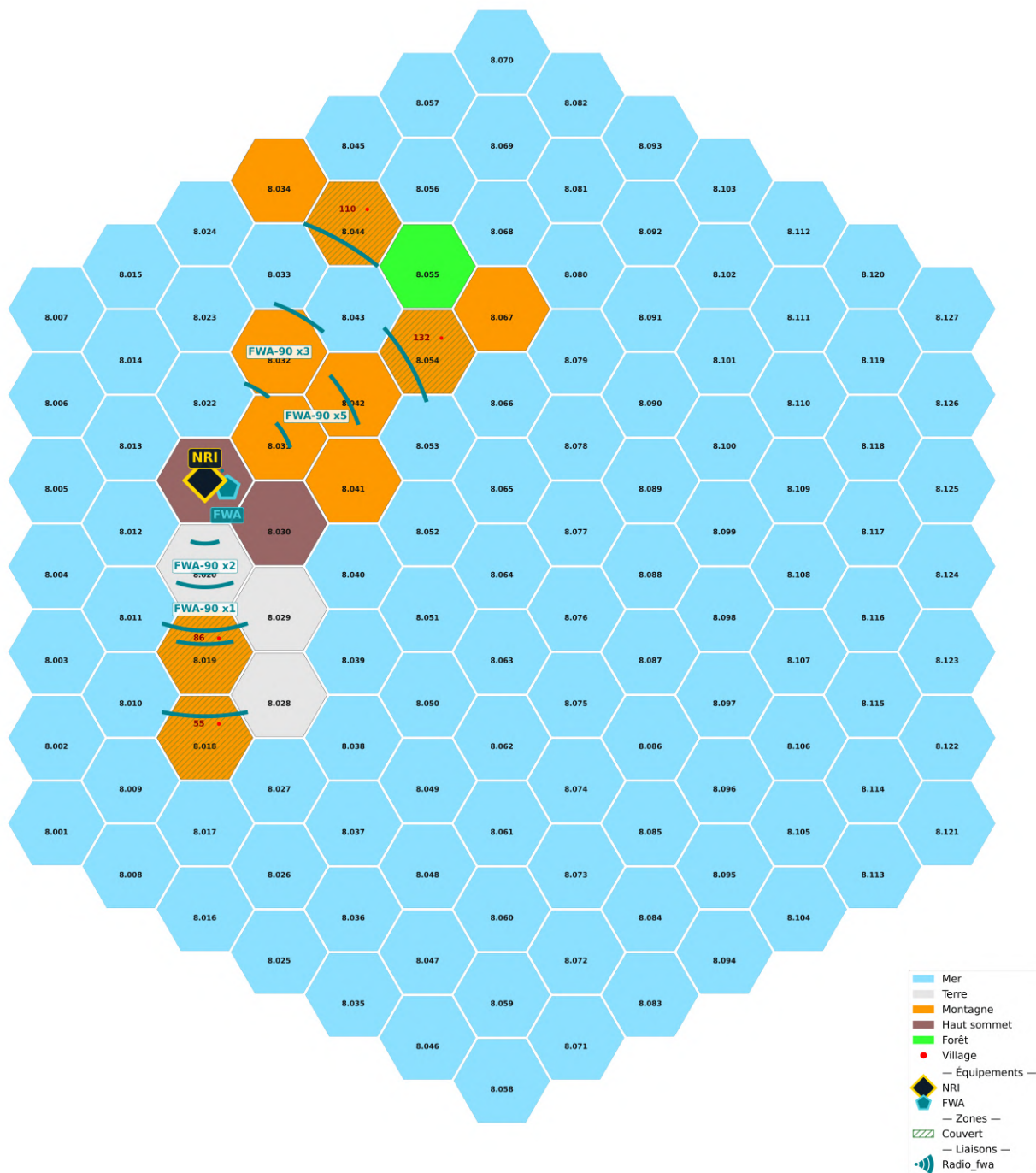


FIGURE 4 – Option III : Concentration absolue des faisceaux de desserte et de transit sur le hub 8.021

6 Bilan de Liaison Commun : Transit Inter-Îles (Backhaul)

Quel que soit le scénario technique retenu (Options I, II ou III), le NRÎ de l'Île 8 joue le rôle de nœud d'interconnexion régional. Ce statut impose le déploiement de liaisons de transit très haut débit vers les îles 9 et 13.

Ces faisceaux sont assurés par des équipements lourds **PTP Extrem** opérant à **18 GHz**, avec une puissance d'émission de 20 dBm (0,1 W) et un gain d'antenne hautement directif de 26 dBi. L'ellipsoïde de Fresnel pour de si longues distances doit être particulièrement surveillé vis-à-vis du niveau de la mer et de la courbure terrestre.

TABLE 8 – Bilan hertzien des axes de transit inter-îles (18 GHz)

Liaison Backhaul	Distance	Densité de Puissance (I)	Puissance Re- çue (P_R)	Rayon (R_{max})	Ellipse
NRÎ → Île 13	7 632 m	-68,64 dBm	-42,64 dBm	5,64 m	
NRÎ → Île 9	12 369 m	-72,84 dBm	-46,84 dBm	7,18 m	

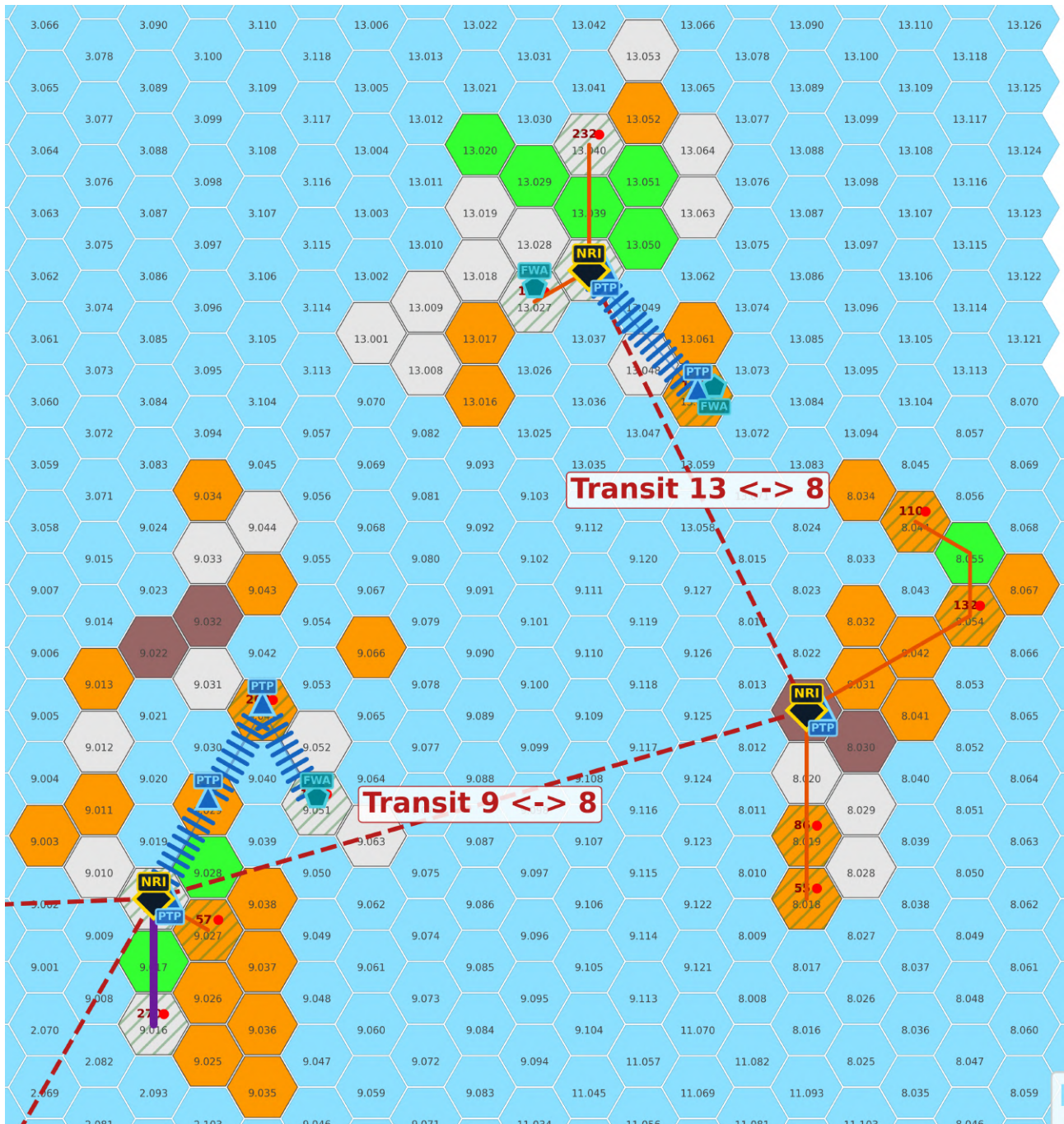


FIGURE 5 – Transit Inter-Îles

7 Synthèse Comparative et Matrice d'Arbitrage

TABLE 9 – Matrice d'arbitrage technico-économique des architectures

Critère d'évaluation	Option I : FTTH	Option II : Distribuée	Option III : Consolidée
Débit maximal par accès	≥ 1 Gbit/s (Évolutif)	5 Mbit/s (Borné)	5 Mbit/s (Borné)
Sensibilité climatique	Nulle (Desserte filaire)	Modérée (Bande 18 GHz)	Modérée (Bande 18 GHz)
Pylônes nécessaires sur l'île	Aucun (Desserte filaire)	2 pylônes de 10m	1 pylône de 10m
Coût total de l'infrastructure	273 450 Cr	178 000 Cr	142 500 Cr
Financement Public	153 200 Cr	153 200 Cr	142 500 Cr
Reste à Charge Collectif	120 250 Cr	24 800 Cr	0 Cr (Surplus +10 700 Cr)
Contribution unitaire / Foyer	313,97 Cr	64,75 Cr	0,00 Cr

8 Conclusion et Recommandation d'Arbitrage

L'intégration obligatoire des infrastructures de backhaul radio inter-îles sur l'ensemble des scénarios a permis de modéliser et de chiffrer trois architectures distinctes pour la desserte de l'Île 8 :

1. **L'Option I (FTTH)** : Une architecture filaire très haut débit, nécessitant un investissement citoyen de 313,97 Cr par foyer pour combler le déficit de l'enveloppe publique.
2. **L'Option II (Radio Distribuée)** : Un compromis de proximité avec un effort financier modéré (64,75 Cr par foyer), mais qui multiplie les sites actifs à entretenir sur le territoire.
3. **L'Option III (Radio Consolidée)** : La solution la plus économique à court terme (reste à charge nul et réserve de 10 700 Cr), mais dont la centralisation limite les évolutions futures.

À l'issue de cette étude technico-économique, notre recommandation d'arbitrage se porte définitivement sur le déploiement de l'**Option I (Architecture FTTH)**.

Bien que cette solution exige l'effort financier le plus important de la part des administrés, elle représente l'unique investissement garantissant une pérennité absolue à l'infrastructure de l'Île 8. Ce choix stratégique s'appuie sur trois facteurs décisifs :

- **Évolutivité (Future-Proof)** : Contrairement aux ondes radio (actuellement bridées à 5 Mbit/s par les équipements), la fibre optique permettra de monter en charge vers des débits gigabits (voire multigigabits) dans les décennies à venir sans avoir à remplacer le réseau de transport physique.
- **Résilience physique** : Le réseau filaire présente une insensibilité totale aux contraintes météorologiques et aux perturbations électromagnétiques, un atout majeur de fiabilité dans un environnement insulaire soumis aux intempéries.
- **Impact paysager et centralisation** : Le déploiement passif en aérien évite la construction de multiples pylônes au cœur des villages. La maintenance des équipements actifs est quant à elle entièrement centralisée et sécurisée au NRI.

En conclusion, le surcoût initial de l'Option I doit être perçu comme un investissement d'avenir. Il dote l'Île 8 d'un réseau de pointe, garantissant son attractivité et son désenclavement numérique définitif au sein de l'archipel.

Annexe : Topologie Globale de l'Archipel

La figure suivante présente la topologie globale une fois l'intégralité des liaisons de communication établies. Elle illustre l'interconnexion complète de l'archipel et met en évidence le maillage général dans lequel l'Île 8 s'intègre pour assurer la continuité du réseau.

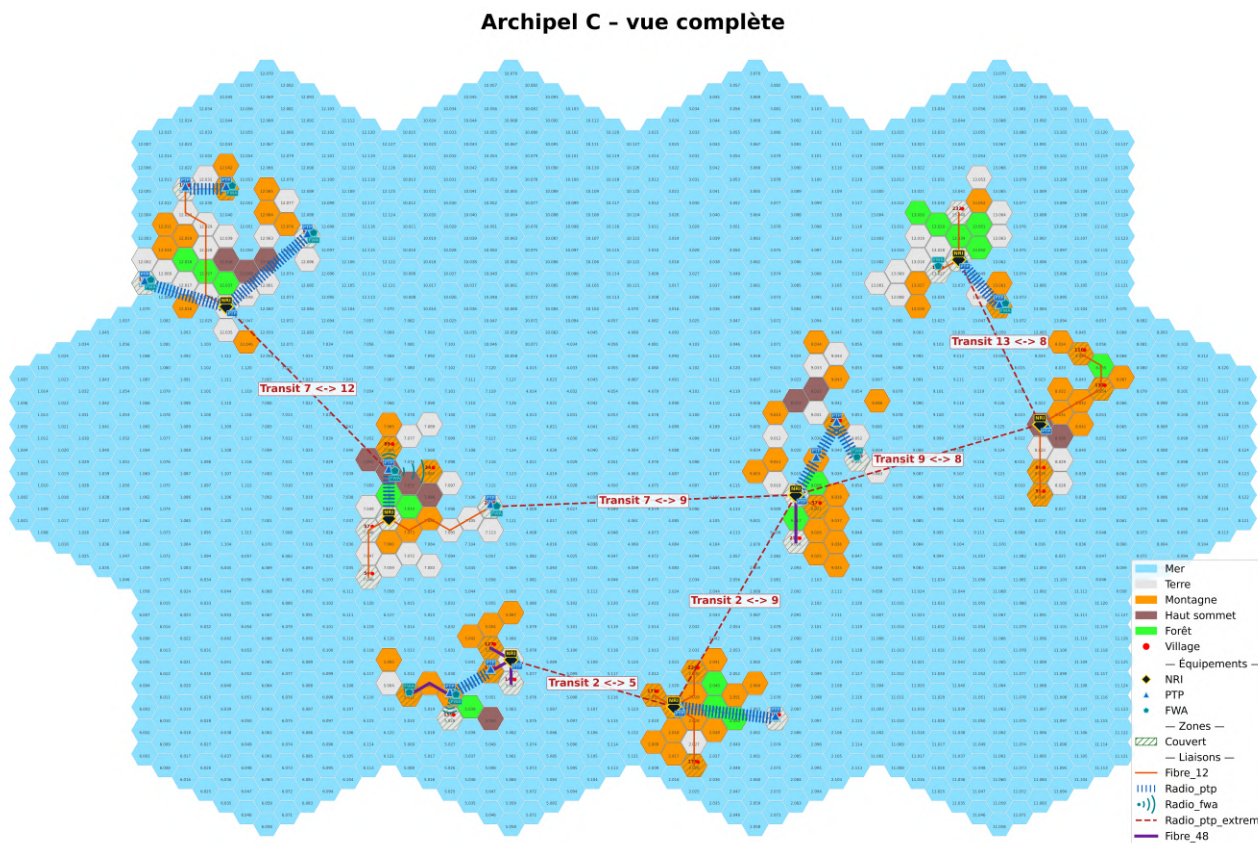


FIGURE 6 – Vue d'ensemble de l'archipel entièrement connecté