



RÉSEAU WI-FI PROFESSIONNEL DE 4 KM

Architecture, matériel et installation pour une zone de 4 km de rayon et
50 à 200 utilisateurs simultanés

Albertho Lapierre
Créateur et formateur

WISP • Stations relais • CPE • Hotspots • Énergie solaire • Gestion des clients

Note au lecteur

Ce guide répond à un besoin précis: couvrir une zone de 4 km de rayon, accueillir 50 à 200 utilisateurs simultanés et fonctionner dans un environnement comportant des arbres et des bâtiments.

Conclusion technique immédiate

Une seule antenne centrale ne peut pas garantir cette couverture. Il faut une station centrale, plusieurs relais, des antennes clientes sur les toits et des hotspots locaux pour les téléphones.

Les quantités constituent une base de conception. Une étude du terrain, une analyse radio, un calcul de liaison et la validation des fréquences par le CONATEL sont indispensables avant la commande.

Les tours, mâts, protections électriques et systèmes solaires doivent être calculés et installés par des professionnels qualifiés.

Sommaire

Note au lecteur	1
1. Comprendre le défi	3
2. Architecture recommandée	3
3. Station centrale	4
4. Stations relais	5
5. Installation chez les clients	6
6. Hotspots pour téléphones	7
7. Fréquences et plan radio	8
8. Internet et capacité	9
9. Énergie et protection	9
10. Gestion commerciale et technique	10
11. Étude du terrain	11
12. Installation du réseau	11
13. Tests et mise en service	12
14. Budget et liste de contrôle	13
Conclusion	14
Références	14

1. Comprendre le défi

Un rayon de 4 km correspond à environ 50 km². Les obstacles transforment ce projet en réseau multi-site, pas en simple hotspot.

1.1 Pourquoi une seule antenne échoue

- Les arbres absorbent et dispersent fortement le signal, particulièrement en 5 GHz.
- Les bâtiments créent des zones d'ombre et des réflexions.
- Une antenne puissante ne corrige pas un trajet totalement bloqué.
- Le téléphone possède une faible puissance et une petite antenne; il ne peut pas répondre correctement à une tour distante de 4 km.
- La capacité d'un seul point radio serait insuffisante lorsque de nombreux utilisateurs transmettent simultanément.

Principe fondamental

La portée annoncée par un fabricant suppose généralement une bonne ligne de vue, un alignement correct, un spectre utilisable et une antenne adaptée des deux côtés.

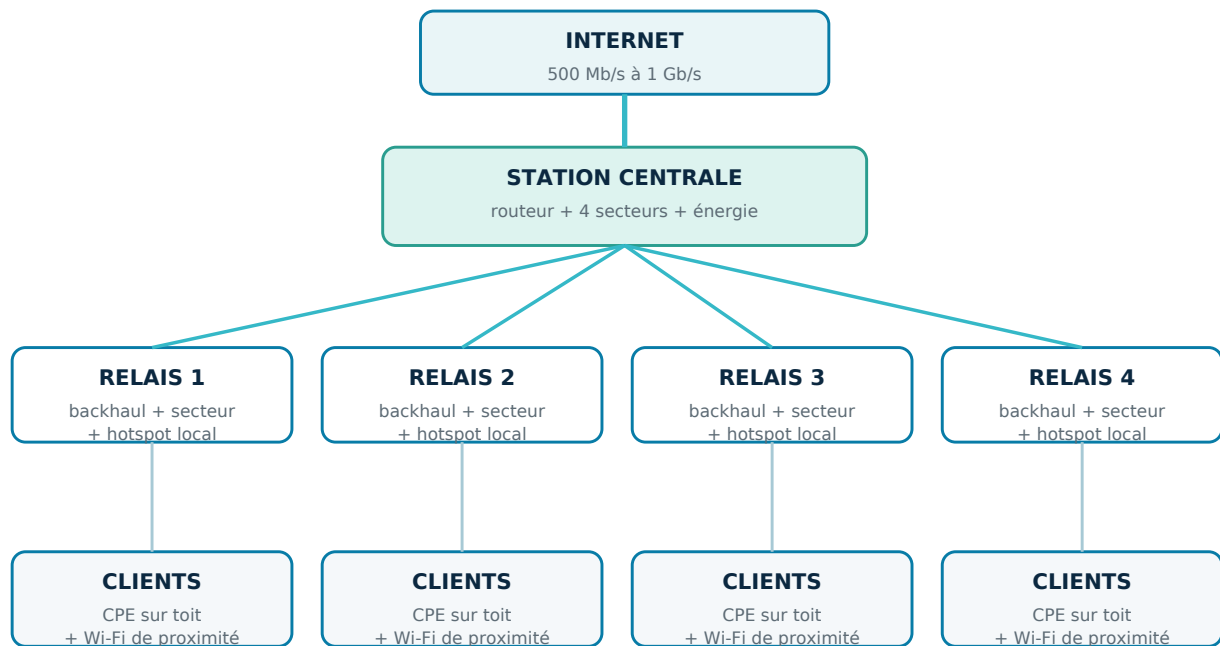
1.2 Deux services différents

Service	Équipement côté utilisateur	Portée réaliste
Internet fixe	CPE extérieur sur le toit + routeur intérieur	Plusieurs kilomètres si le CPE voit une station ou un relais.
Hotspot téléphone	Téléphone connecté directement à un point d'accès proche	Souvent 50 à 150 m avec obstacles, parfois moins.

La conception recommandée privilégie l'accès fixe pour les longues distances et place des hotspots dans les zones où les téléphones doivent se connecter directement.

2. Architecture recommandée

Les relais rapprochent la radio des utilisateurs et contournent les obstacles qui masquent la station centrale.



Architecture de principe: les relais contournent les arbres et les bâtiments

2.1 Configuration de départ

Élément	Quantité initiale
Tour centrale	1, hauteur indicative de 24 à 36 m
Secteurs principaux	4 x 90° ou 6 x 60°
Stations relais	4 à 8, selon visibilité et densité
Hotspots locaux	8 à 20 pour les lieux prioritaires
CPE clients	1 par abonnement fixe, soit 50 à 200
Internet	1 Gb/s principal + liaison secondaire

2.2 Chemin du trafic

- 1 Le fournisseur Internet alimente le routeur de la station centrale.
- 2 Le routeur applique les VLAN, limitations et politiques clients.
- 3 Les secteurs desservent les CPE visibles et les relais.
- 4 Chaque relais redistribue le service dans un quartier masqué.
- 5 Le CPE du client fournit ensuite la connexion à son routeur Wi-Fi intérieur.

3. Station centrale

Le site principal concentre l'arrivée Internet, le routage, les secteurs, la supervision et l'alimentation de secours.

3.1 Liste du matériel

Matériel	Quantité	Spécification
Tour ou pylône	1	24 à 36 m comme base; hauteur finale après étude et calcul structurel.
Radios PtMP	4 ou 6	Équipement WISP professionnel, synchronisable et administrable.
Antennes sectorielles	4 ou 6	90° ou 60°, gain et ouverture adaptés au plan radio.
Routeur	1 + sauvegarde config	MikroTik CCR2004, CCR2116 ou équivalent.
Commutateur PoE	1 + réserve	Administrable, Gigabit/10 Gb/s, budget PoE suffisant.
Coffret / rack	1	Verrouillé, ventilé et protégé contre poussière et humidité.
Onduleur	1	3 à 5 kVA selon mesure de charge.
Parafoudres	1 par câble	Compatibles Ethernet et PoE.
Mise à la terre	1 système	Tour, coffret, radios, parafoudres et alimentation.

3.2 Choisir les secteurs

Une option haut de gamme repose sur des points d'accès sectoriels Cambium ePMP 4500. Des solutions Ubiquiti UISP/airMAX ou MikroTik peuvent réduire le budget, à condition que l'installateur maîtrise leur planification et leur supervision.

- Utiliser des secteurs plutôt qu'une antenne omnidirectionnelle pour mieux contrôler capacité et interférences.
- Attribuer des fréquences distinctes aux secteurs voisins lorsque nécessaire.
- Conserver des largeurs de canal raisonnables; un canal plus large n'est pas toujours plus rapide dans un spectre bruyant.
- Prévoir une radio de réserve et des alimentations PoE compatibles.

3.3 Routeur central

- Deux liens Internet et basculement automatique.
- VLAN séparés pour gestion, clients, hotspots, relais et vidéosurveillance.
- DHCP, pare-feu, QoS et limitation des abonnements.
- Export des journaux et supervision.
- Sauvegarde automatique de la configuration.
- Ports 10 Gb/s si le trafic agrégé approche ou dépasse 1 Gb/s.

4. Stations relais

Les relais doivent posséder une liaison dégagée vers le site principal ou vers un autre relais. Ils ne doivent pas simplement répéter un signal faible.

4.1 Kit par relais

Composant	Quantité par site
Mât ou support	1, généralement 9 à 18 m selon site
Radio et antenne point-à-point	1 ensemble vers le site amont
Secteurs locaux	1 à 3 selon la zone
Hotspots Wi-Fi 6	1 à 3 selon fréquentation
Commutateur PoE administrable	1
Coffret IP65/IP66	1, verrouillé et ventilé
Parafoudres et terre	Pour chaque câble extérieur
Énergie	Réseau, batterie ou solaire

4.2 Backhaul

La liaison entre la station centrale et chaque relais est appelée backhaul. Elle utilise une paire de paraboles point-à-point précisément alignées. Ubiquiti airFiber 5XHD, Cambium PTP ou une liaison micro-ondes licenciée peuvent remplir ce rôle selon le budget et les autorisations.

Visibilité indispensable

Une liaison point-à-point en 5 GHz exige un trajet suffisamment dégagé. Si les arbres ou bâtiments bloquent le trajet, déplacer le relais, augmenter raisonnablement la hauteur, ajouter un relais intermédiaire ou installer de la fibre.

4.3 Capacité

- Dimensionner chaque backhaul au-dessus du trafic maximal du relais.
- Conserver une marge d'au moins 25 à 30 %.
- Utiliser une liaison dédiée plutôt que la même radio pour recevoir et redistribuer.
- Surveiller signal, bruit, modulation, débit, retransmissions et disponibilité.

5. Installation chez les clients

Chaque client fixe reçoit un lien extérieur stable, puis un réseau Wi-Fi intérieur séparé.

5.1 Kit CPE

Matériel	Fonction
CPE extérieur	Communiquer avec le secteur ou relais.
Mât/support	Placer le CPE au-dessus des obstacles proches.
Cat6 extérieur blindé	Transporter données et alimentation PoE.
Parafoudre Ethernet	Réduire les dommages par surtension.
Injecteur PoE	Alimenter le CPE.
Routeur Wi-Fi intérieur	Desservir téléphones et ordinateurs du client.
Petit onduleur	Maintenir le service pendant une coupure courte.

5.2 Procédure d'installation

- 1 Choisir le secteur ou relais présentant le meilleur trajet.
- 2 Fixer le support sur une structure solide et mettre à la terre selon la conception.
- 3 Orienter le CPE avec les outils de mesure du fabricant.
- 4 Vérifier signal, bruit, qualité et modulation, pas seulement le niveau reçu.
- 5 Créer une boucle d'égouttement, protéger les connecteurs et fixer le câble.
- 6 Installer le parafoudre près de l'entrée du bâtiment.
- 7 Connecter le routeur intérieur et appliquer le forfait du client.
- 8 Tester débit, latence, navigation et stabilité pendant plusieurs minutes.

5.3 Compatibilité

Le CPE doit être compatible avec la technologie du point d'accès sectoriel. Éviter de mélanger au hasard les plateformes; une solution homogène simplifie synchronisation, dépannage, mises à jour et stocks de pièces.

6. Hotspots pour téléphones

La couverture directe des smartphones exige des points d'accès proches des utilisateurs.

6.1 Emplacements prioritaires

- Marchés et rues commerciales.
- Écoles et centres de formation.
- Places publiques et terrains de sport.
- Stations de transport.
- Zones résidentielles denses.
- Points de vente et partenaires locaux.

6.2 Équipement

- Point d'accès extérieur Wi-Fi 6 avec gestion centralisée.

- Support élevé mais restant proche des utilisateurs.
- Commutateur PoE ou injecteur protégé.
- Backhaul dédié vers le relais ou fibre optique.
- Coffret, parafoudre, mise à la terre et alimentation de secours.
- Portail captif et limitation de bande passante.

À éviter

Les répéteurs Wi-Fi domestiques et les montages en chaîne réduisent le débit, augmentent les pannes et rendent la supervision difficile.

6.3 Quantité

Huit à vingt hotspots peuvent couvrir les lieux prioritaires. Ils ne couvriront pas nécessairement chaque rue des 50 km². Une couverture continue demanderait potentiellement des dizaines ou centaines de points d'accès selon la densité et les obstacles.

7. Fréquences et plan radio

La fréquence se choisit selon le trajet, la capacité, les interférences et les règles du pays.

Bande	Usage conseillé	Limites
2,4 GHz	Hotspots de proximité et appareils anciens	Peu de canaux, interférences, capacité limitée.
5 GHz	Secteurs PtMP et backhuls	Exige un trajet dégagé; arbres et murs pénalisants.
6 GHz	Capacité locale lorsque autorisée	Portée et obstacles; réglementation à confirmer.
60 GHz	Backhaul court à très haut débit	Visibilité excellente requise; aucun arbre sur le trajet.
Bandes licenciées	Backhaul critique	Autorisation, coût et équipement spécialisé.

7.1 Fresnel et hauteur

Voir les deux antennes ne suffit pas toujours: une partie de l'espace autour du trajet radio, appelée zone de Fresnel, doit rester dégagée. La hauteur finale dépend du relief, des arbres, des bâtiments, de la fréquence et de la distance.

- Relever les coordonnées GPS et altitudes.
- Mesurer la hauteur réelle des obstacles.
- Calculer le profil du trajet et la zone de Fresnel.
- Faire un scan du spectre à chaque site.
- Établir un budget de liaison conforme à la puissance autorisée.

7.2 Autorisation

CONATEL

Avant l'exploitation commerciale, confirmer auprès du Conseil National des Télécommunications les bandes utilisables, la puissance, les équipements homologués et les autorisations nécessaires.

8. Internet et capacité

Le débit doit être dimensionné sur la consommation simultanée, pas seulement sur le nombre de comptes vendus.

Usage dominant	Accès Internet conseillé
Navigation, messages, services essentiels	300 à 500 Mb/s
Réseaux sociaux et vidéo modérée	500 Mb/s à 1 Gb/s
Vidéo intensive et clientèle professionnelle	1 Gb/s ou plus

Exemple: 200 utilisateurs consommant en moyenne 3 Mb/s au même moment représentent environ 600 Mb/s. Ajouter une réserve de 20 à 30 % et prévoir une seconde connexion pour les pannes.

- Mesurer le trafic aux heures de pointe.
- Définir les forfaits et le débit maximal par utilisateur.
- Éviter qu'un seul téléchargement sature le lien.
- Prioriser DNS, authentification, voix et services essentiels.
- Surveiller chaque secteur et chaque backhaul séparément.

9. Énergie et protection

Dans une zone sujette aux coupures, la radio doit disposer d'une énergie autonome et d'une protection complète contre les surtensions.

9.1 Site central

- Onduleur en ligne de 3 à 5 kVA après calcul de la charge.
- Autonomie suffisante pour démarrer le groupe électrogène.
- Tableau électrique dédié et protections correctement dimensionnées.
- Deux alimentations lorsque les équipements le permettent.
- Supervision de l'onduleur, batterie et température.

9.2 Relais solaire indicatif

Élément	Base initiale à calculer
Panneaux	400 à 800 W
Batterie LiFePO4	24 V, 100 à 200 Ah
Régulateur	MPPT avec protections DC
Coffret	Étanche, ventilé et verrouillé
Surveillance	Tension, courant, température et état de charge

La batterie doit être calculée à partir de la consommation réelle, des heures sans soleil, de l'autonomie recherchée, des pertes et de l'ensoleillement local.

9.3 Mise à la terre

- Relier tour, mât, coffret et protections à un système de terre conçu pour le site.
- Installer les parafoudres aux bons endroits et avec des conducteurs courts.
- Séparer proprement énergie AC, énergie DC et câbles réseau.
- Inspecter périodiquement corrosion, connexions, câble et valeur de terre.

10. Gestion commerciale et technique

Une plateforme centralisée transforme l'infrastructure radio en service facturable et contrôlable.

10.1 Fonctions

- Comptes individuels, tickets ou vouchers.
- Forfaits mensuels et expiration automatique.
- Limitation de vitesse et quotas.
- Suspension pour impayé selon les règles commerciales.
- Historique de consommation et de connexion.
- Inventaire des CPE et attribution au client.
- Surveillance des radios, relais et batteries.
- Alertes de panne et rapports de capacité.

10.2 Outils possibles

Solution	Usage
MikroTik User Manager / RADIUS	Authentification et gestion de base.
Splynx	Facturation, abonnements, réseau, inventaire et support WISP.
Powercode ou équivalent	Gestion intégrée d'un fournisseur Internet.
Plateforme du fabricant	Configuration et supervision des radios.

10.3 Sécurité

- VLAN de gestion inaccessible aux clients.
- Mots de passe uniques et authentification multifacteur.
- Sauvegarde des configurations hors des équipements.
- Mises à jour testées avant déploiement généralisé.
- Accès administrateur journalisé.
- DNS, DHCP et pare-feu protégés contre les abus.

11. Étude du terrain

L'étude radio évite d'acheter des antennes avant de savoir où elles pourront réellement communiquer.

- 1 Tracer la zone de 4 km sur une carte et identifier les quartiers prioritaires.
- 2 Relever les coordonnées GPS de la tour, des relais potentiels et des lieux publics.
- 3 Mesurer hauteurs, relief, arbres, bâtiments et accès à l'électricité.
- 4 Vérifier les lignes de vue avec photos, jumelles, drone autorisé ou outils cartographiques.
- 5 Scanner les bandes disponibles à différentes heures.
- 6 Créer le profil et le budget de chaque liaison.
- 7 Calculer capacité par secteur et backhaul.
- 8 Confirmer fréquences et autorisations avec le CONATEL.
- 9 Préparer un plan d'implantation et un devis avant la commande.

11.1 Livrables de l'étude

- Carte des sites et clients potentiels.
- Profils d'élévation et zones de Fresnel.
- Tableau des canaux et puissances.
- Budget de liaison avec marge.
- Plan de capacité et d'adressage.
- Liste finale du matériel par site.
- Plan d'alimentation et de mise à la terre.
- Risques, accès, propriétaire du site et autorisations.

12. Installation du réseau

Le réseau se construit du cœur vers les utilisateurs, avec validation à chaque étape.



12.1 Site principal

- 1 Faire valider fondation et tour par un ingénieur.
- 2 Installer terre, énergie, rack et protections.
- 3 Monter les secteurs avec séparation et polarisation correctes.
- 4 Tirer du câble extérieur blindé et créer des boucles d'égouttement.
- 5 Installer routeur, commutateur, contrôleur et onduleur.
- 6 Configurer VLAN, Internet, DHCP, DNS, pare-feu et supervision.
- 7 Mesurer bruit et performances de chaque secteur.

12.2 Relais

- 1 Choisir un emplacement contournant les obstacles.
- 2 Installer mât, coffret, terre et énergie.
- 3 Monter et aligner la paire point-à-point.
- 4 Valider capacité et stabilité du backhaul.
- 5 Installer les secteurs ou hotspots locaux.
- 6 Configurer les VLAN et la gestion distante.
- 7 Tester le relais pendant une coupure électrique.

12.3 Clients

Installer progressivement les CPE, enregistrer numéro de série, coordonnées GPS, secteur, niveau radio et forfait. Photographier l'installation et documenter le chemin du câble.

13. Tests et mise en service

La montée en charge progressive révèle les secteurs faibles avant qu'ils ne touchent tout le réseau.

- 1 Tester 10 utilisateurs et corriger les problèmes d'installation.
- 2 Passer à 25 puis 50 utilisateurs.
- 3 Vérifier les relais pendant les heures de pointe.
- 4 Atteindre 100 utilisateurs et mesurer la capacité par secteur.

- 5 Tester 200 utilisateurs ou simuler leur trafic.
- 6 Couper le lien Internet principal et vérifier le basculement.
- 7 Couper l'énergie d'un relais et mesurer l'autonomie.
- 8 Restaurer une configuration depuis la sauvegarde.

13.1 Mesures à conserver

Indicateur	Contrôle
Signal et SNR	Stables et suffisants pour la modulation visée.
Latence	Mesurée localement, par backhaul et vers Internet.
Perte de paquets	Faible et sans hausse importante en pointe.
Capacité secteur	Marge disponible au moment le plus chargé.
Retransmissions	Absence de hausse indiquant bruit ou mauvaise liaison.
Énergie	Autonomie, recharge et température des batteries.
Expérience client	Navigation, vidéo, appels et stabilité.

14. Budget et liste de contrôle

Le coût total comprend les sites, l'énergie, la main-d'œuvre, les autorisations et les pièces de rechange, pas seulement les radios.

14.1 Postes budgétaires

- Tour centrale, génie civil et sécurité.
- Radios sectorielles et antennes.
- Quatre à huit sites relais.
- CPE pour chaque client.
- Hotspots des lieux publics.
- Routeur, commutateurs et contrôleur.
- Fibre ou backhuls point-à-point.
- Solaire, batteries, onduleurs et groupe électrogène.
- Parafoudres, terre, coffrets, mâts et câbles.
- Internet principal et secours.
- Logiciel WISP, facturation et supervision.
- Installation, formation, véhicules, stock et maintenance.

14.2 Avant d'acheter

- Étude terrain et spectre terminée.
- Sites relais disponibles avec accords écrits.
- Hauteurs et structures validées.

- Fréquences et puissance confirmées auprès du CONATEL.
- Budget de liaison et capacité calculés.
- Matériel compatible dans chaque secteur.
- Énergie calculée à partir de la consommation réelle.
- Pièces de rechange et garantie disponibles.
- Plan de support et de surveillance défini.

Recommandation finale

Commencer par un pilote composé de la station centrale, d'un relais, d'un hotspot et de dix clients. Mesurer pendant plusieurs semaines avant de reproduire le modèle dans toute la zone.

Conclusion

La couverture de 4 km est réalisable comme réseau WISP multi-site, mais pas comme simple Wi-Fi émis par une seule antenne.

La solution de départ comprend une tour centrale, quatre secteurs de 90°, quatre à huit relais, des backhauls dédiés, des CPE sur les toits, huit à vingt hotspots prioritaires, un routeur professionnel et une alimentation protégée.

La priorité est de contourner les obstacles et de rapprocher les radios des utilisateurs. La hauteur, la puissance et le gain ne remplacent pas une ligne de vue et un plan de fréquences correctement étudiés.

Après le pilote, les mesures réelles permettront de décider où ajouter un relais, un secteur, un lien fibre ou un nouveau point d'accès.

Références

Sources officielles et documentation technique utilisées comme points de départ.

Vérifier les versions, disponibilités et exigences réglementaires au moment de la commande.

CONATEL - Fréquences de téléphonie mobile et boucles locales radio
<https://www.conatel.gouv.ht/frequences-telephonie-mobile-et-blr/>

Cambium Networks - ePMP 4500
<https://www.cambiumnetworks.com/blog/new-year-new-performance-why-upgrading-to-the-epmp-4500-is-a-smart-move/>

Ubiquiti - Guide airFiber 5XHD
https://dl.ui.com/qsg/AF-5XHD/AF-5XHD_EN.html

MikroTik - CCR2116
https://mikrotik.com/product/ccr2116_12g_4splus