

TDF INNOVATION

MESURER POUR MIEUX CONCEVOIR LA COUVERTURE MOBILE INDOOR

Retour d'expérience d'une campagne d'essai en laboratoire.

En partenariat avec :



L'INNOVATION COMMENCE PAR LA MESURE



Une architecture indoor ne se conçoit pas sur catalogue. Avant de recommander une distance, une topologie ou un équipement, il faut avoir mesuré son comportement.

C'est le rôle du laboratoire TDF : reconstituer une chaîne complète, la pousser jusqu'à sa limite, et transformer ce qu'on observe en règles de conception utilisables sur un projet réel.

Les besoins de connectivité mobile dans les bâtiments ne cessent d'évoluer. Immeubles de grande hauteur, campus, gares, hôpitaux ou sites industriels présentent des architectures de plus en plus complexes.

Dans ce contexte, les architectures BTS Hotel offrent une réponse particulièrement adaptée : elles mutualisent en un point unique les équipements radio, puis desservent plusieurs bâtiments ou plusieurs zones d'un même site.

Cette architecture repose toutefois sur un paramètre déterminant : la distance séparant le BTS Hotel des bâtiments desservis. Afin d'en mesurer l'impact réel, TDF Innovation a mené une campagne de tests pour répondre à la question suivante :

Jusqu'où peut-on éloigner les équipements radio des antennes indoor tout en conservant le même niveau de service de la technologie 5G ?



COMMENT CA MARCHE ?

Chaque maillon joue un rôle précis entre le téléphone et l'application appelée



1. LE TÉLÉPHONE UTILISATEUR

Il formule la demande de l'utilisateur : une page web, un appel, une vidéo. Tout le reste de la chaîne sert à l'acheminer, puis à rapporter la réponse.

2. L'ANTENNE ACTIVE

Installée dans le bâtiment, elle émet et reçoit le signal radio, puis l'amplifie et le met en forme avant sa transmission vers le local technique ou vers le client.

3. LA FIBRE OPTIQUE

C'est le canal de transport entre l'antenne et le local technique. Le signal y voyage bien, mais il s'y affaiblit lentement et il met du temps à parcourir la distance. Ces deux effets fixent une longueur maximale.

4. LE MASTER UNIT

Il régénère le signal et le répartit vers l'ensemble des antennes du bâtiment, bande de fréquence par bande de fréquence, opérateur par opérateur.

5. LA BTS

Équipement de l'opérateur hébergé dans le BTS Hotel. Elle produit le signal radio et assure l'interface avec le réseau mobile.

6. LE COEUR DE RÉSEAU

Le centre de contrôle de l'opérateur. Il identifie l'abonné, vérifie ses droits et dirige la demande vers l'application, puis renvoie la réponse.

UNE QUESTION SIMPLE



JUSQU'OU PEUT-ON ÉLOIGNER LES ÉQUIPEMENTS RADIO DES ANTENNES INDOOR TOUT EN CONSERVANT LE MÊME NIVEAU DE SERVICE DE LA TECHNOLOGIE 5G ?

La campagne d'essais consistait à faire varier progressivement la distance de fibre entre le master unit et l'antenne active, afin d'observer son impact sur les performances de l'ensemble du système.

Cette question n'est pas théorique. Plus la distance admissible entre le BTS Hotel et les antennes est grande, plus un même point de mutualisation peut desservir de bâtiments.

Chaque bâtiment raccordé à un BTS Hotel existant, c'est un local technique, des équipements radio et un système de refroidissement en moins.

Connaître précisément cette distance permet donc d'intégrer la mutualisation dès la conception, de réduire la consommation énergétique de l'infrastructure et d'abaisser le coût total de la solution.

POURQUOI CETTE QUESTION EST-ELLE IMPORTANTE ?

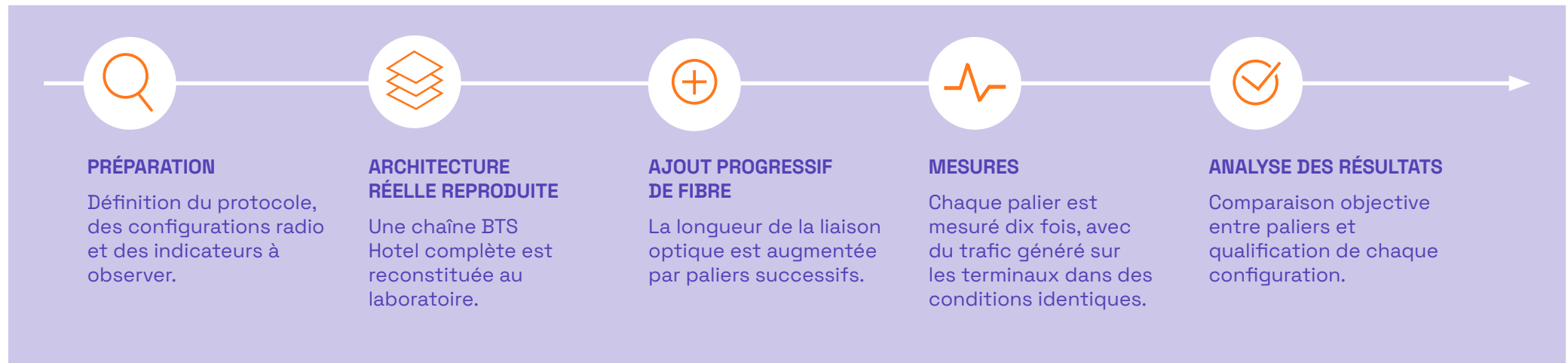
Parce que la réponse influence directement quatre dimensions très concrètes de chaque projet :

- La conception des projets
- La flexibilité des architectures
- L'implantation des locaux techniques
- Les possibilités d'aménagement

UNE DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE RIGOUREUSE



Un protocole simple, reproductible et comparable d'une configuration à l'autre



- Les essais ont été réalisés dans le laboratoire TDF à partir d'une architecture 5G représentative d'un déploiement BTS Hotel.
- Les équipes ont progressivement augmenté la longueur de la liaison fibre afin d'observer le comportement de la chaîne complète.
- Deux configurations radio 5G sur la bande 3500 Mhz, représentatives des réseaux mobiles français, ont été testées.
- Pour chaque configuration, plusieurs indicateurs ont été analysés : établissement de la connexion radio, stabilité des communications, performances IP et débit descendant.
- Le protocole a été conçu pour être reproductible et permettre des comparaisons objectives entre les différentes distances testées.

ZOOM SUR LE PROTOCOLE TECHNIQUE ET L'ARCHITECTURE REPRODUITE



Une chaîne 5G complète reconstituée au laboratoire TDF



Brassage optique aux deux extrémités du lien, jarretières de raccordement de deux mètres, liaison radio de dix mètres entre l'antenne et les terminaux.
Les affaiblissements du câble optique, des épissures et brassages sont conformes aux normes et recommandations de l'Arcep.

BANDE ET PORTEUSE

Bande NR n78, mode TDD
Largeur de porteuse de 100 MHz
Fréquence centrale de 3500 MHz
Espacement de sous-porteuses de 30 kHz

DÉROULEMENT

Longueur de fibre augmentée par paliers
Dix itérations de mesure par palier
Fenêtre de mesure de deux minutes
Trafic généré par ping et iPerf

INDICATEURS OBSERVÉS

Succès de l'accès initial du terminal
Stabilité de la session de données
Débit descendant moyen, minimal, maximal
Alarmes de synchronisation et alarmes optiques

LES DEUX CONFIGURATIONS RADIO TESTÉES



Des paramètres représentatifs des réseaux mobiles français,
repris sans réglage de faveur

Les essais ont été conduits avec deux jeux de paramètres correspondant à des pratiques de déploiement courantes sur les réseaux mobiles français. Le détail des réglages n'est pas publié : il reste proche de configurations d'opérateurs identifiables.

CE QUI DISTINGUE LES DEUX JEUX

- Structure de trame
- Paramètres d'accès initial
- Période de garde
- Décalage temporel

POURQUOI DEUX CONFIGURATIONS ?

La structure de trame et les paramètres d'accès initial diffèrent d'un réseau à l'autre. Tester deux jeux de paramètres permet de vérifier que les observations ne dépendent pas d'un réglage particulier.

INSTRUMENTATION

- Terminaux commerciaux 5G NR en mode autonome
- Terminal de trace dédié et logiciel d'analyse radio
- Bobines et jarretières de fibre fournies par Aginode

Les deux jeux partagent la même bande, la même largeur de porteuse et le même format de préambule.

ZOOM SUR LES RÉSULTATS

Première phase des essais, terminal unique, dix itérations par palier



CONTRIBUTION THÉORIQUE À LA LATENCE

Distance	Fibre	Master unit	Total
2 km	9,88 μ s	12 μ s	21,88 μ s
6 km	29,49 μ s	12 μ s	41,49 μ s
8 km	39,29 μ s	12 μ s	51,29 μ s
10 km	49,09 μ s	12 μ s	61,09 μ s
12 km	58,90 μ s	12 μ s	70,90 μ s
14 km	68,70 μ s	12 μ s	80,70 μ s

Latence du master unit annoncée par le constructeur pour une architecture nominale de laboratoire.

DÉBIT DESCENDANT MESURÉ

Distance	Config. 1	Config. 2	Conclusion
2 km	822 Mbit/s	877 Mbit/s	Validé
6 km	813 Mbit/s	888 Mbit/s	Validé
8 km	818 Mbit/s	876 Mbit/s	Validé
10 km	835 Mbit/s	878 Mbit/s	Validé
12 km	non mesuré	non mesuré	Hors domaine
14 km	non mesuré	non mesuré	Hors domaine

Débit descendant moyen sur dix itérations. La dispersion (minimum et maximum) n'est pas publiée à ce stade. Les paliers non mesurés correspondent à la limite des modules optiques employés lors de cette campagne, et non à une limite de l'architecture elle-même. Pour fixer un ordre de grandeur, 800 Mbit/s, c'est un film en haute définition téléchargé en une vingtaine de secondes, pour un seul utilisateur.

À RETENIR :

La contribution de la fibre reste le facteur dominant sur les longues distances. Cependant, son allongement jusqu'à 10 km ne s'est pas traduit par une dégradation notable des débits.

Le retard ajouté par la fibre reste par ailleurs très inférieur aux marges disponibles. Sur les quatre paliers de 2 à 10km, les débits descendants varient de moins de 3 % au sein d'une même configuration.

LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS



Ce que la campagne apporte à l'ingénierie des architectures indoor

LES PERFORMANCES RESTENT STABLES

Sur l'ensemble des configurations testées, les performances observées demeurent comparables. L'allongement du lien optique jusqu'à 10 km ne s'est pas traduit par une dégradation notable des débits. Le retard ajouté par la fibre reste par ailleurs très inférieur aux marges disponibles.

LA DISTANCE N'EST PAS LE SEUL FACTEUR

Les performances dépendent aussi du paramétrage radio, de la latence globale de la chaîne et des équipements traversés. Deux architectures de même longueur peuvent se comporter différemment.

LA CHAÎNE SE CONSIDÈRE DANS SON ENSEMBLE

Chaque équipement contribue au comportement global. Certaines limites observées tiennent aux composants employés plutôt qu'à l'architecture elle-même.

LES ESSAIS NOURISSENT L'INGÉNIERIE

Ces tests permettent d'affiner les conceptions d'architectures BTS Hotel. Ainsi les recommandations de déploiement sont plus adaptées aux différents projets.

UNE CAMPAGNE QUI SE POURSUIT

Ces premiers essais ouvrent la voie à de nouvelles expérimentations : autres composants optiques, autres configurations radio et mesures complémentaires.

Périmètre de validité : résultats obtenus en laboratoire, sur une architecture représentative, avec un terminal unique et une liaison radio de dix mètres.
Ils qualifient le comportement du lien optique, non la couverture d'un bâtiment réel.

POURQUOI CETTE DÉMARCHE EST UTILE POUR VOS PROJETS ?



CONCEVOIR DES PROJETS PLUS FLEXIBLES

L'emplacement des locaux techniques n'est plus une contrainte figée : les marges de manœuvre sont connues et documentées.

MUTUALISER AU LIEU DE DUPLIQUER

Chaque bâtiment raccordé à un BTS Hotel existant, c'est un local technique, des équipements radio et un refroidissement en moins.

SÉCURISER LES CHOIX DÈS LA PHASE D'ÉTUDE

Disposer de données issues de mesures en laboratoire limite les incertitudes dès les premières phases d'un projet.

ANTICIPER LES BESOINS DES BÂTIMENTS DE DEMAIN

Les usages mobiles évoluent vite. TDF prépare les architectures qui accompagneront ces nouveaux services connectés.

UNE EXPERTISE CONSTRUITE SUR L'EXPÉRIMENTATION

Chaque campagne enrichit les méthodes de conception et l'accompagnement des maîtres d'ouvrage et des bureaux d'études.

CE QUE CELA SIGNIFIE CONCRÈTEMENT

- Une meilleure compréhension des architectures indoor
- Des choix techniques éclairés par des mesures
- Une plus grande capacité à répondre aux contraintes des bâtiments
- Moins de locaux techniques et d'équipements à dupliquer
- Une infrastructure plus sobre en énergie
- Un coût total de solution plus bas

UNE DÉMARCHE COLLABORATIVE TOURNÉE VERS L'AVENIR



L'innovation est un travail collectif

Cette campagne de mesures illustre la volonté de TDF de travailler avec l'ensemble de l'écosystème afin de faire progresser les connaissances sur les architectures de couverture mobile indoor.



Au-delà des résultats eux-mêmes, cette démarche témoigne de l'engagement de TDF à développer des solutions toujours plus robustes, fondées sur des données objectives et une expertise technique reconnue.

MESURER, COMPRENDRE, PARTAGER

TDF poursuit ses campagnes d'essais sur les architectures de couverture mobile indoor et reste ouvert aux échanges avec les opérateurs, les équipementiers, les bureaux d'études et les maîtres d'ouvrage.



ANNEXE TECHNIQUE

Méthodologie, paramètres radio et principaux résultats

COMPRENDRE LA NOTION DE BUDGET DE LATENCE



Chaque équipement traversé ajoute un très léger délai de transmission. Pris individuellement, ces délais sont imperceptibles. Additionnés, ils constituent ce que les ingénieurs appellent **un budget de latence**.

L'objectif n'est donc pas uniquement de mesurer une distance, mais de vérifier que l'ensemble de la chaîne de communication reste dans le temps de réponse attendu par le réseau.

Cette approche permet d'analyser les performances d'une architecture dans sa globalité, plutôt qu'au travers d'un seul critère. Elle explique aussi pourquoi une longueur de fibre ne se lit jamais seule : elle se lit toujours au regard du budget disponible.

L'IMAGE DU TRAJET

Le réseau accorde un temps maximal pour rejoindre le cœur de réseau. Peu importe la distance parcourue, il faut arriver dans ce temps imparti. Au-delà, la communication est considérée comme non établie.

OÙ PASSE LE TEMPS DANS LA CHAÎNE ?



TÉLÉPHONE VERS ANTENNE

quelques mètres, négligeable

TRAITEMENT DU DAS

constant, quelle que soit la distance

PARCOURS DE LA FIBRE

croît avec la longueur du lien

BTS ET CŒUR DE RÉSEAU

périmètre de l'opérateur

Proportions illustratives.
Les valeurs mesurées figurent dans l'annexe technique.