



BANQUE des
TERRITOIRES



**La connectivité
sans fil
en intérieur :**
quelles solutions
pour les usages
actuels et futurs ?

AVANT PROPOS

Les terminaux mobiles de télécommunication ont une importance croissante dans nos activités journalières, que ce soit pour les activités personnelles ou professionnelles. Les applications numériques se multiplient et voient leurs usages exploser. Ces applications nécessitent naturellement une connexion à Internet sans fil.

Cette connectivité sans fil, socle des services que chacun de nous souhaite utiliser en tout lieu et en tout temps, n'est pas encore acquise. En particulier la connectivité sans fil à l'intérieur des bâtiments et des transports génère insatisfaction et frustration régulières.

Il nous a semblé utile de mener une étude sur cette problématique afin d'analyser les contraintes techniques et économiques de déploiement des réseaux mobiles, wifi et Internet des objets dans les bâtiments et les emprises spécifiques, pour en projeter les usages, rappeler les enjeux, les solutions et les voies d'amélioration possibles.

La Banque des Territoires s'engage et agit pour rendre les territoires français plus connectés, en très haut débit fixe (avec la fibre optique) mais aussi en mobile. L'intérieur des bâtiments et des transports nécessite des aménagements des réseaux de télécommunication, au même titre que les zones blanches et grises de la fibre et du mobile.

L'étude présentée ici s'adresse non seulement aux collectivités qui sont amenées à équiper des bâtiments ou infrastructures, mais aussi aux bailleurs et aux professionnels qui exploitent des surfaces. Ces acteurs sont souvent confrontés à des problèmes de connectivité sans fil. Ce document peut aider à envisager ce qui doit être fait pour connecter leurs applications numériques et rendre un service de qualité aux utilisateurs finals.

Après une synthèse et une introduction, le cœur du document décrit les besoins (partie 3) et les aspects techniques de la connectivité sans fil en intérieur (partie 4).

Cependant la question peut être abordée directement sous l'angle du marché et de son évolution (partie 5). L'analyse s'étend ensuite (partie 6) aux réseaux mobiles 5G et à l'IoT. La dernière partie (partie 7) présente rapidement les bonnes pratiques générales.

SOMMAIRE

Synthèse	4
Introduction	7
La connectivité au sein des emprises spécifiques : enjeu et défi actuels ?	8
Pourquoi évoquer aujourd'hui les défauts de connectivité de ces « zones blanches indoor » ?	9
Les défauts de connectivité, un enjeu global ?	9
Pourquoi cette étude sur la connectivité spécifique en France ?	10
Les usages sans fil actuels au sein d'emprises spécifiques	11
Des exemples de projets soulevant la question de la connectivité sans fil	12
Les usages d'une couverture radio intérieure	13
Les lieux qui nécessitent une couverture radio spécifique	18
Les solutions d'amélioration de la connectivité	19
Quels réseaux pour quels usages ?	20
Les contraintes à la propagation des ondes radios	26
Quelles solutions mettre en œuvre ?	29
Le marché des solutions radio en intérieur	45
Les étapes d'un projet d'amélioration de la connectivité	46
Les acteurs de cette réalisation	47
Les caractéristiques du marché	51
Les freins du marché	51
Les futurs usages et technologies	53
La 5G bousculera les usages et les infrastructures	54
Les réseaux nécessaires à l'utilisation des objets connectés	61
Les usages prospectifs à envisager dans un projet de couverture radio	72
Bonnes pratiques	75
Lexique	77



01

Synthèse

Des usages divers et croissants en intérieur au même titre qu'en extérieur

La connectivité sans fil présente un enjeu tel que l'ensemble des parties prenantes du secteur œuvrent à réduire les zones blanches. L'intérieur des bâtiments est privé, bien que généralement ouvert au public. Et leur couverture est souvent détériorée par rapport à l'extérieur. Pourtant les besoins des utilisateurs de terminaux mobiles ne sont pas moins exigeants en intérieur qu'en extérieur. Le temps passé et la densité de population sont même supérieurs en intérieur. Parmi les structures qui nécessitent classiquement un renforcement du réseau sans fil, arrivent en priorité :

- Les bâtiments tertiaires,
- Les sites industriels,
- Les transports, gares et terminaux, les tunnels,
- Les établissements de santé,
- Les espaces de sports et loisirs,
- Les commerces,
- Les établissements pénitentiaires,
- Les résidences de loisirs ou de voyages,
- Les locaux de l'administration publique, d'enseignements.

Des solutions techniques éprouvées pour chaque configuration

Les réseaux mobiles bénéficient aujourd'hui de technologies matures qui permettent des installations ad hoc selon les besoins et les configurations des bâtiments (hauteur, superficie, constitution du bâti etc.). La mutualisation de l'infrastructure antenne est le levier permettant d'optimiser les coûts des solutions. En effet, il est bénéfique d'installer une infrastructure qui pourra être utilisée par les différents opérateurs sans avoir à dupliquer pour chaque opérateur les investissements. L'architecture sépare ainsi la partie antenne et leur raccordement (mutualisés) et la partie relais opérateur, rassemblé en un point en amont du réseau.

Le premier enjeu des réseaux mobiles de demain est l'augmentation des débits. Il ne faut cependant pas oublier que les nouveaux usages pousseront les évolutions des réseaux : pour une plus faible latence, pour une meilleure disponibilité, pour une plus faible consommation d'énergie, etc. Les solutions les plus favorables à cela déportent les modules de transmission sur les surfaces à couvrir au plus près des antennes. Aussi le raccordement en fibre optique des équipements en intérieur promet des débits supérieurs et des déploiements facilités.

Les réseaux Wi-Fi apportent des solutions complémentaires selon des usages et dans des configurations spécifiques : bureautique en entreprise, salle de spectacle ou stade, etc. Cependant, le Wi-Fi ne remplace pas une bonne couverture mobile.

Un marché de taille mais sous développé et qui peut évoluer rapidement

Les acteurs du secteur sont aujourd'hui nombreux : opérateurs intégrés, opérateurs alternatifs, intégrateurs, opérateurs d'infrastructures, etc. Chacun de ses acteurs possède les moyens techniques, humains et financiers pour réaliser les travaux de déploiement des réseaux sans fil intérieur. Cependant, le marché des réseaux mobiles intérieur dont la taille pourrait atteindre en France un milliard d'euros annuel n'est développé qu'à seulement 1% aujourd'hui. Les blocages sont divers :

- Le premier facteur de blocage est certainement le manque d'intégration des besoins de couverture sans fil intérieure lors de la conception ou de la rénovation des bâtiments,
- Il n'y a pas d'offre standard. Les solutions présentent aujourd'hui des coûts très variables ce qui désoriente les initiatives de déploiement de réseau en intérieur. Les coûts des solutions de raccordement aux opérateurs restent élevés alors qu'ils peuvent être plus mutualisés (raccordement fibre, coûts d'installation des relais opérateurs). Toutefois, depuis le 1er janvier 2019, les opérateurs mobiles ont l'obligation de présenter à une entreprise ou personne publique qui en fait la demande une offre raisonnable d'amélioration de la couverture intérieure de bâtiments.
- Les acteurs du secteur (installateurs, aménageurs, bailleurs, équipementiers, opérateurs, certificateurs, etc.) ne forment pas encore un écosystème coordonné et efficace où chacun assumerait son rôle à valeur ajoutée dans une chaîne solide.

02

Introduction

La connectivité au sein des emprises spécifiques : enjeu et défi actuels ?

Aujourd'hui les utilisateurs de terminaux numériques mobiles comme les smartphones, tablettes et montres et objets connectés sont de plus en plus nombreux. A cet accroissement du nombre d'utilisateurs et de terminaux s'ajoute celui de leur consommation de données, de leur mobilité et de leurs exigences.

Quelques chiffres permettent de mesurer l'importance de l'utilisation des terminaux numériques connectés en France¹ :

Les smartphones se sont imposés comme le téléphone mobile de référence, équipant 3 personnes sur 4 en 2018 (+2 points par rapport à 2017), contre seulement 17% en 2011. On observe également une montée en puissance du réseau 4G qui est utilisé par près de 60% de la population (+19 points en deux ans).

Un utilisateur de terminal numérique mobile a besoin en permanence d'un accès à des flux de données de qualité, fiables. Tout au long de sa journée, il fréquente des lieux variés aux caractéristiques spécifiques : son domicile, les transports, bureaux, centres commerciaux, salles de spectacle. Chacun de ces lieux est plus ou moins fréquenté, plus ou moins privé, plus ou moins souterrain ou difficile d'accès, plus ou moins bien connecté... Cette notion de « connectivité » est aujourd'hui centrale et fait l'objet de cette étude.

Le terme « *emprises spécifiques* » recouvre un large spectre de configurations : l'intérieur des bâtiments ouverts au public ou l'intérieur des bureaux des entreprises, les infrastructures de loisirs de sport, de tourisme ou les enceintes spécifiques à usage industriel ou de transport public.

Une première question se pose : qui garantit l'accès à un réseau de qualité ? Il est naturel de se tourner vers les opérateurs de réseaux mobiles d'une part, et vers les exploitants de réseaux Wi-Fi d'autre part. Les premiers sont les fournisseurs historiques, qui disposent leurs antennes relais sur l'ensemble du territoire et qui ont des objectifs de couverture à respecter. Cependant, ces réseaux ne sont pas conçus pour assurer une connectivité en tout lieu. En extérieur, la propagation des ondes radio permettant une connectivité sans fil est rarement perturbée en dehors des contraintes topographiques. En revanche, en intérieur ou au sein de lieux spécifiques, la situation est toute autre. La pénétration du réseau radio mobile extérieur peut être « bloquée » par l'architecture du lieu. Le Wi-Fi quant à lui fournit une connectivité sans fil limitée quand les conceptions des réseaux ne sont pas faites dans les règles de l'art. Le Wi-Fi souffre également des interférences. Ces « blocages » sur les réseaux mobiles ou Wi-Fi sont à l'origine d'une absence totale ou partielle d'accès aux réseaux pour l'utilisateur en situation de mobilité.

Ces variations imprévisibles de qualité de connectivité, couplées à des usages en forte hausse, ont fait de l'accès aux réseaux sans fil un enjeu pour les exploitants de ces emprises spécifiques : acteurs de la mobilité, du commerce, ou encore de l'industrie. C'est ainsi que les demandes d'une bonne connectivité intérieure se sont petit à petit intensifiées et étendues au-delà des zones extérieures habituelles et se reportent sur des acteurs qui ne sont plus uniquement les opérateurs mobiles nationaux. Ce report des demandes et les réponses apportées par le marché sont à l'origine de grandes disparités en termes de services, les acteurs n'ayant pas systématiquement le budget ni l'expertise pour déployer des infrastructures réseau dédiées répondant aux besoins.

¹ Baromètre du Numérique 2018, 18^{ème} Edition, ARCEP, https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/barometre-du-numerique-2018_031218.pdf

Pourquoi évoquer aujourd'hui les défauts de connectivité de ces « zones blanches indoor » ?

Aujourd'hui, un tiers des Français utilisent leur smartphone dans les centres commerciaux, 40% disent l'utiliser dans les transports, et 60% au travail.

(Statistiques Omnicom; SFR Group; PHD, Baromobile 2015 page 15, novembre 2015)

Les différences de qualité de connectivité sans fil en fonction des lieux pèsent sur les utilisateurs qui se trouvent freinés dans leurs activités et leur productivité, qu'ils soient professionnels ou particuliers. Ce nouvel enjeu de la connectivité nécessite dès maintenant des solutions afin de n'exclure aucun territoire, aucun utilisateur, et de soutenir la croissance de notre pays.

L'accroissement du nombre de smartphones, la portabilité accrue des objets mais aussi l'utilisation de plus en plus répandue de capteurs de confort (température, maintenance etc.) expliquent en partie la mise en lumière de cette problématique. La majorité des technologies apparues au cours de la dernière décennie nécessite l'implémentation d'une couverture réseau fiable et sans couture afin d'en exploiter tout le potentiel.

A titre d'exemple, plus qu'un outil de communication, le smartphone permet une diversité d'activités grâce à l'utilisation des capacités des réseaux sans fil. Vidéos, réseaux sociaux, messageries instantanées : c'est un outil du quotidien, à toute heure et en tout lieu.

Les défauts de connectivité, un enjeu global ?

En 2018, il y a plus de 5 milliards d'utilisateurs de smartphone dans le monde (Ericsson Mobility Report, novembre 2018).

Les médias, les voyages, permettent aux utilisateurs de comparer les offres de connectivité entre pays. C'est d'ailleurs à ce titre que beaucoup de franciliens font le procès de la couverture radio du métro parisien. Après avoir emprunté celui d'autres métropoles dans le monde, les utilisateurs ne peuvent comprendre l'absence de couverture 4G régulière et sans couture dans le métro parisien. Il en va de même pour les utilisateurs des réseaux de métro des villes de province dont peu sont actuellement couverts par les réseaux mobiles même si de récentes avancées de déploiement semblent dessiner une amélioration prochaine de la situation. De même l'absence de couverture réseau sans fil au cœur de centres commerciaux n'est pas une situation que les utilisateurs peuvent accepter plus longtemps. Les voyages contribuent à rendre l'utilisateur de mobile en France plus exigeant. De ces comparaisons entre les qualités des différents réseaux internationaux naît un besoin, celui d'une amélioration de la connectivité générale des bâtiments et des transports sur le territoire français.

Ceci est d'autant plus criant que la France est une destination touristique. A titre d'exemple, à Disneyland Paris, qui constitue la première destination touristique européenne, il est difficile d'utiliser son mobile en période d'affluence sans recourir au Wi-Fi du parc d'attractions. Cette situation devient difficilement tenable avec la suppression des frais d'itinérance internationale et l'augmentation inexorable du besoin de connectivité dans les lieux touristiques ainsi que dans les métropoles.

Pourquoi cette étude sur la connectivité spécifique en France ?

Cette étude vise à :

- Sensibiliser aux questions de connectivité au sein d'emprises spécifiques
- Promouvoir la démocratisation des solutions existantes afin que les acteurs confrontés à ces problèmes en France planifient des évolutions avisées et préparent l'arrivée des technologies futures.

Elle se présente en quatre parties :

- dans la première partie est présenté un panorama des usages actuels des réseaux sans fil,
- dans la seconde partie sont exposées les solutions techniques permettant l'amélioration de la couverture des réseaux sans fil dans les emprises spécifiques,
- suivies par une présentation en troisième partie du marché et de ses enjeux,
- Les perspectives d'avenir font l'objet de la quatrième partie.

Enfin, en conclusion de cette étude, des bonnes pratiques sont formulées à destination des opérateurs immobiliers, des propriétaires ou des exploitants d'emprises spécifiques, et des responsables de l'aménagement numérique des territoires pour réduire cette autre zone blanche le plus efficacement possible.

03

**Les usages
sans fil actuels
au sein
d'emprises
spécifiques**

Des exemples de projets soulevant la question de la connectivité sans fil

Construction d'une tour destinée à des bureaux

Lors de la rédaction du cahier des charges de la construction d'un bâtiment de bureaux, d'autant plus s'il s'agit d'une tour, il est crucial de **clairement promouvoir les besoins en connectivité numérique** : mobile, Wi-Fi et filaire. Aujourd'hui les besoins du type lignes téléphoniques, interphones ou gestion technique des bâtiments (« GTB ») sont souvent intégrés par défaut (car ces besoins sont connus de longue date). Il est nécessaire de vérifier que les besoins en réseaux sans fil sont bien pris en compte. Ces besoins impactent la construction sur deux plans : le passage des câbles pour relier les antennes installées à l'intérieur du bâtiment d'une part et l'intégration de ces antennes dans les finitions d'autre part. Au-delà de l'aspect maçonnerie, matériel, main d'œuvre pour le passage des câbles et l'installation des équipements, il faut **réaliser une étude de dimensionnement afin de réaliser une conception du réseau d'antennes à installer** : « quelles antennes ? et où ? ».

Dimensionner les chemins de câbles pour intégrer le passage des câbles coaxiaux, et si possible passer ces câbles et installer les antennes dans la phase travaux apporte de multiples bénéfices : pas de goulotte ou de tranchées après la livraison de l'ouvrage : gain de temps, d'esthétique et de coûts. Aussi, en diminuant les contraintes des passages de câbles, les dispositions des antennes peuvent être optimisées pour une meilleure couverture. Les antennes peuvent ainsi être intégrées dans les plafonds et murs de manière plus esthétique.

Bien planifié avec la construction, ces travaux facilitent la commercialisation, accélère la prise de bail et l'installation des locataires. **Cela augmente la satisfaction des occupants, dès le premier jour !**

Rénovation d'un immeuble pour des logements sociaux

Lors d'une rénovation, il est recommandé d'étudier les cheminements des câbles et la possibilité d'intégrer les antennes dans les finitions. **Ces travaux pourront ainsi être réalisés à coûts marginaux et sans retarder le planning.** En intégrant ces éléments dans le gros œuvre, les mêmes gains présentés dans le paragraphe précédent peuvent être obtenus. Il faut bien imaginer qu'à l'issue de travaux, il peut paraître paradoxal aux nouveaux entrants d'avoir des logements rénovés dans lesquels ils ne peuvent utiliser leurs téléphones mobiles. Ceci est d'autant plus le cas que **les isolations thermiques et les vitrages sont aujourd'hui plus « bloquantes » et peuvent fortement dégrader la couverture des réseaux mobiles** à l'intérieur du bâtiment après les travaux : « **C'est beau, mais avant le téléphone passait !** ».

Il faut aussi garder en tête que l'accès au réseau mobile est aujourd'hui **un gage de sécurité** pour de nombreuses tranches de la population : personnes âgées, parents, adolescents. Aussi les intervenants dans les immeubles sont amenés à utiliser les réseaux mobiles pour réaliser **les opérations de maintenances des bâtiments** ou des travaux ponctuels : plombiers, chauffagistes, livreurs, etc.

Si la décision est prise dans un second temps, un projet d'installation de réseau hors projet de rénovation sera a priori plus coûteux et plus difficile à mettre en œuvre. Aussi, un tel projet n'est pas en mesure de retarder les travaux et au contraire il s'agit d'éviter le cumul des délais de réalisation de chacun des projets en parallélisant et mutualisant les tâches.

Les cheminements nouvellement créés auront pour objet de faire passer les câbles pour étendre une couverture mobile défaillante. Bien entendu, ils servent aussi au **passage de fibre optique** pour alimenter les différents logements. Il est aussi envisageable de fournir des **accès à du Wi-Fi dans les espaces partagés** : lieux de rencontre, d'évènements, accueil.

L'opportunité est aussi à saisir pour réaliser une **couverture radio destinée aux objets connectés**, tels que les compteurs de fluides : eau, électricité, chauffage, etc.

Rénovation d'une salle de spectacle dans les bâtiments municipaux

Dans le cadre d'une salle qui rassemblerait un nombre important de personnes, il peut être nécessaire de prioriser l'installation de Wi-Fi plutôt que de renforcer la couverture de téléphonie mobile. En effet, le **Wi-Fi apportera plus de connectivité s'il est adéquatement calibré** : nombre et capacité des bornes, raccordement à la fibre. Attention, la mise en place d'un réseau Wi-Fi ne se limite pas à l'installation des antennes, il faut également : communiquer aux visiteurs **les modalités pour connecter** leur terminal et veiller à ce que les modalités pour **la première connexion soient faciles**. Aussi, il faut assurer la **sécurité des accès au Wi-Fi** et respecter les exigences réglementaires (cf. le guide publié par la Banque des Territoires « Le wifi territorial, une solution pour votre collectivité »).

Construction d'un centre commercial

Un centre commercial doit pouvoir proposer à la fois la **connexion mobile en tous points**, et du **Wi-Fi mais ponctuellement**. Le Wi-Fi sera utile sur des espaces spécifiques, ou pour le besoin des locataires et professionnels du centre. La connexion mobile sera a priori la connexion par défaut. Dans le cadre d'un espace de travail, d'un espace restauration ou repos, on peut imaginer des usages plus intensifs, privés ou professionnels, de la bande passante. Bien entendu la consommation importante proviendra de la vidéo : conversation en visio, visualisation des vidéos en prenant une boisson en groupe, etc.

Au même titre que la scénographie des lieux sera choisie avec soin, il faut imaginer que **la connectivité disponible façonnera l'usage des lieux** : un espace de pause ou un lieu de restauration favorisés par une bonne connexion, peut être un gage d'une visite prolongée et répétée du centre.

Prise en charge de la couverture d'un entrepôt ou de l'espace d'une usine en zone blanche

Il est courant d'avoir des **entrepôts** qui ne bénéficient pas d'une bonne couverture intérieure en radio mobile. Ces entrepôts sont soit derrière des surfaces qui bloquent la propagation depuis les antennes des opérateurs (entrepôt derrière un supermarché par exemple) ou parce que l'entrepôt se trouve en bordure de zone urbaine ou dense, or la qualité de la couverture chute parfois sur ces secteurs.

Au-delà des entrepôts, il est prudent de prendre en compte **l'évolution de l'industrie** en intégrant les dimensions évolutives des modes de production : imprimantes 3D, robotisation, automatisation, autonomie des chaînes de production et de la logistique. Dans ce cadre, une connectivité de qualité est nécessaire pour les opérations de l'entreprise qu'il s'agisse de 4G aujourd'hui ou demain de 5G.

Les usages d'une couverture radio intérieure

Les usages liés à l'utilisation de réseaux sans fil se multiplient d'année en année. Pour accéder à un réseau mobile ou local à l'intérieur d'une emprise spécifique il faut que celle-ci bénéficie d'une couverture radio de qualité. La notion de couverture radio est une notion large. Elle doit permettre de satisfaire différents usages : conversations téléphoniques, l'accès à l'Internet, la communication entre objets.

Le besoin en connectivité dite « grand public »

Sous cette appellation sont définies les attentes des utilisateurs dans leur vie quotidienne, lors de leurs déplacements ou de leurs achats.

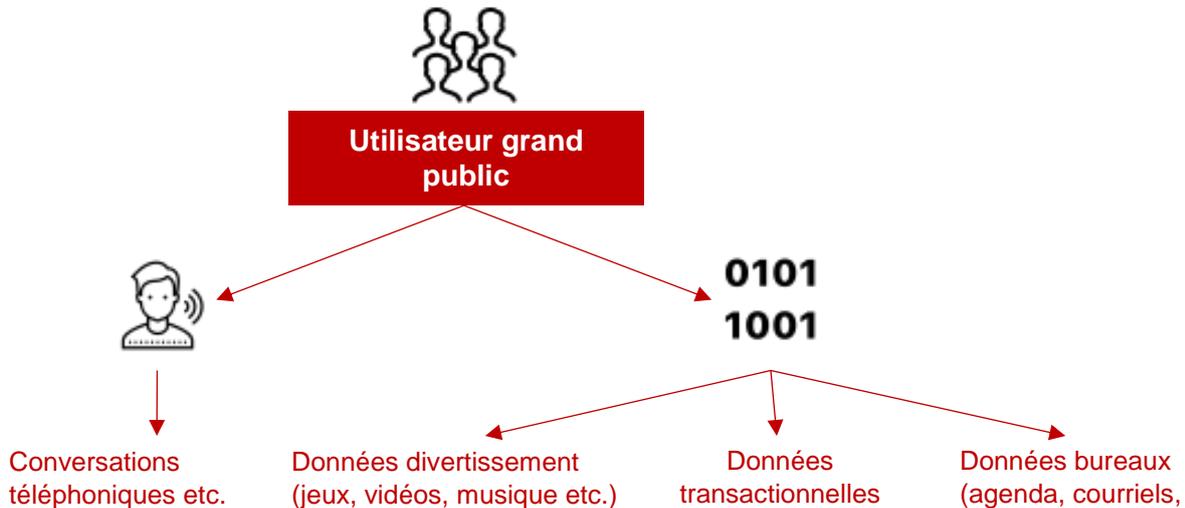


Figure 1 – Les usages « grand public »

Les besoins « grand public » Voix

Les usages « voix » des technologies réseaux sans fil restent le premier critère visible de satisfaction pour les utilisateurs. En tant qu'usage initial du téléphone portable, il s'agit de la première attente théorique. Si l'on peut encore parfois se satisfaire de la faible qualité d'une vidéo regardée sur son smartphone à partir d'une application de diffusion de contenu, il n'est pas acceptable d'avoir un taux d'échec important des appels ou de subir des coupures de ses communications téléphoniques en rentrant dans un bâtiment ou dans un moyen de transport.

EXEMPLE UTILISATEURS :

En descendant de son avion sur le tarmac, le voyageur souhaite appeler ses proches afin de les prévenir de son arrivée sans être gêné par le pic d'utilisation du réseau mobile.

Les besoins « grand public » Données

Avec l'avènement des smartphones et autres objets connectés (portatifs ou non), les possibilités d'usages se multiplient, chacune répondant à des besoins particuliers.

Besoins de type « bureautique »

Cette catégorie regroupe les attentes en matière d'accès aux données bureautiques (personnelles et professionnelles) du grand public, n'importe où et n'importe quand. En France, 48% du temps d'utilisation hebdomadaire des smartphones consiste en l'utilisation de sa boîte mail professionnelle ou personnelle². Derrière cette attente se cache un besoin grandissant de mobilité et d'accès à distance. Dans un aéroport, dans un magasin ou au musée, chacun s'attend à pouvoir consulter ses courriels, accéder à son réseau professionnel ou gérer son agenda électronique en temps réel.

EXEMPLE UTILISATEURS :

Un entrepreneur traverse chaque midi un centre commercial afin d'aller chercher son déjeuner et souhaite accéder à son agenda électronique via le réseau WiFi du centre commercial.

Besoins de type « divertissement et contenu »

Ces besoins grandissent en même temps que l'offre de contenu sur mobile et autres objets portatifs connectés s'étoffe. En plus de l'augmentation de l'offre, la qualité croissante des vidéos (notamment HD) oblige à augmenter les capacités des réseaux :

- 42% des français consultent leurs emails grâce à leur smartphone,
- 33% l'utilisent pour regarder des vidéos, (Statistiques TNS Infratest, consumerbarometer, avril 2017).

EXEMPLE UTILISATEURS :

Un jeune actif attend le transport public en regardant un épisode d'une série en HD grâce à son smartphone et au réseau mobile.

Besoins transactionnels de paiements

Aujourd'hui, les offres de paiement mobile se développent à grande vitesse. Qu'il s'agisse de régler en utilisant une application dédiée ou de transformer son téléphone directement en carte bancaire capable de payer à la caisse sans contact : les Français semblent de plus en plus prêts à la dématérialisation. Le développement de cette tendance est contraint par la qualité de la couverture réseaux sans fil. Payer en utilisant son téléphone portable n'est possible qu'avec une couverture réseau permettant de garantir l'intégrité de la communication de la transaction et la sécurité du paiement. D'ici 2021 le nombre d'utilisateurs d'Apple Pay, la solution de paiement sans contact par téléphone développée par Apple, devrait atteindre les 500 millions d'utilisateurs. Aujourd'hui seulement 13% des possesseurs de technologie Apple dans le monde ont activé cette fonctionnalité³.

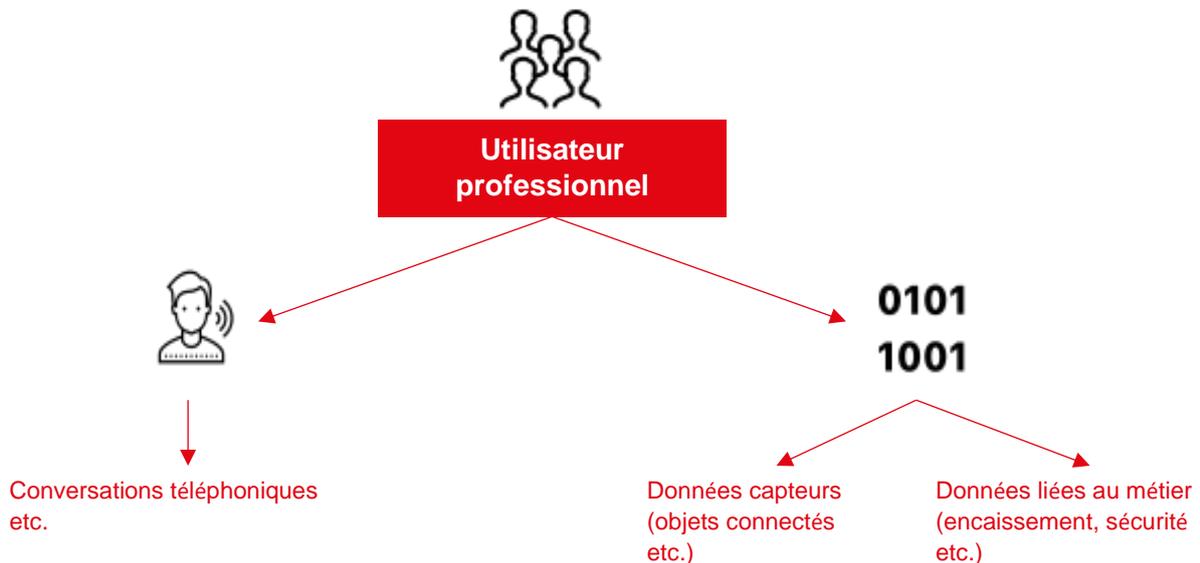
EXEMPLE UTILISATEURS :

Un utilisateur se rend dans son hypermarché habituel, il a oublié son portefeuille chez lui mais peut payer avec son téléphone grâce au réseau mobile.

² Statistiques TNS Infratest, consumerbarometer, avril 2017

³ Données Zdnet, « Apple Pay est en avance sur ses concurrents mais le paiement par Iphone est toujours limité », 11 avril 2017

Le besoin en connectivités dites « professionnelles »



Besoins Professionnels Voix

Au bureau ou en déplacement, dans le cadre de son travail, chacun doit pouvoir communiquer avec ses collègues de travail ou ses clients.

EXEMPLE UTILISATEURS :

La foncière spécialisée dans la gestion d'espaces de bureaux a veillé à fournir une couverture 3G/4G de qualité à l'intérieur des locaux ; les salariés de l'entreprise locataire peuvent communiquer sans se heurter au manque de réseau.

Besoins Professionnels Données

Capteurs

Ce besoin doit être relié à l'utilisation d'objets connectés. Surveillance de température, de fréquentation, suivi de marchandise sont autant d'opérations pouvant être réalisées par des objets connectés reliés à un réseau mobile dédié (mobile, IoT - Internet des Objets, ou Wi-Fi). Leur pleine efficacité repose sur la fiabilité de la couverture radio.

EXEMPLE UTILISATEURS :

Afin de suivre le nombre d'utilisateurs garés dans le parking, un centre commercial peut installer des capteurs de présence relevant en permanence le nombre de véhicules.

Flux métier

Une bonne connexion aux réseaux sans fil peut être nécessaire à la réalisation de tâches professionnelles dont les circonstances et le cadre sont multiples. Les besoins directement liés à la gestion des paiements ou des entrées sont les plus courants.

EXEMPLE UTILISATEURS :

Dans un stade, les billets d'entrée sont vérifiés par un scanner connecté relié au réseau mobile. Une fois dans l'enceinte sportive, l'encaissement est fait de manière mobile, par scan d'un QR code émis par les applications de paiement des visiteurs. Le caissier doit donc bénéficier d'une couverture radio de qualité afin de réaliser les tâches qui lui sont confiées.

Sécurité (communication, surveillance, logiciel de gestion des flux)

Afin d'organiser au mieux la sécurité d'un lieu, la possibilité de communication entre le personnel doit être assurée. A cet effet, certaines catégories d'ERP sont dans l'obligation de mettre en œuvre des réseaux sans fil réservés aux forces de secours et sécurité. Ces dispositions sont dues au titre de l'article MS 71 du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (ERP).

EXEMPLE UTILISATEURS :

Dans un centre commercial, les équipes de surveillance sont reliées entre elles grâce à un réseau de communication dédié et sécurisé. Leur possibilité de communication sans fil en tout lieu doit être garantie.

Les lieux qui nécessitent une couverture radio spécifique

La plupart des usages liés aux terminaux connectés nécessitent l'accès à un réseau sans fil. Ces besoins sont aussi mobiles que leurs utilisateurs. A l'intérieur des bâtiments, enceintes et structures spécifiques, l'utilisateur ne doit pas voir son utilisation contrainte.

A chaque lieu sont associés des types d'usages correspondant à la satisfaction des besoins décrits ci-dessus. Afin de mieux cibler les besoins en couverture radio, l'ensemble des types de bâtiments, enceintes et structures a été listé, étudié puis regroupé en fonction des usages associés afin d'obtenir douze catégories de lieux aux caractéristiques similaires. Les douze catégories de lieux présentés regroupent les principaux lieux d'usages au sein d'emprises spécifiques dans lesquels un besoin en couverture spécifique peut se faire sentir.

Dans la suite du présent document, tous ces lieux sont visés par l'expression « emprises spécifiques ».

<p>Transport voyageur lourd</p>  <p>Aéroports Gares ferroviaires Tunnels ferroviaires Métro</p>	<p>Transit voyageur léger</p>  <p>Aires d'autoroutes Parkings souterrains Débarquement passagers Tunnels urbains Gares routières</p>	<p>Transport collectif surface</p>  <p>Tramways et bus urbains Transports régionaux et bus tourisme</p>	<p>Etablissement santé</p>  <p>Etablissements de santé</p>
<p>Tunnels</p>  <p>Tunnels</p>	<p>Tertiaire</p>  <p>Hauts bâtiments collectifs Bureaux</p>	<p>Sport et loisir</p>  <p>Spectacles, Monuments et centres culturels, Terrains de sport, loisirs (int. et extérieurs) Stations balnéaires/ ski et parcs d'attractions</p>	<p>Commerces</p>  <p>Centres commerciaux Hypermarchés Magasins multisites Boutiques</p>
<p>Industriel</p>  <p>Usines Zones Industrielles Plateformes logistiques Ports</p>	<p>Etab. Pénitentiaire</p>  <p>Etablissements pénitentiaires</p>	<p>Usage nomade</p>  <p>Résidences Logements individuels Hôtels Campings</p>	<p>Lieu faible usage</p>  <p>Locaux administratifs Enseignement primaire et secondaire</p>

04

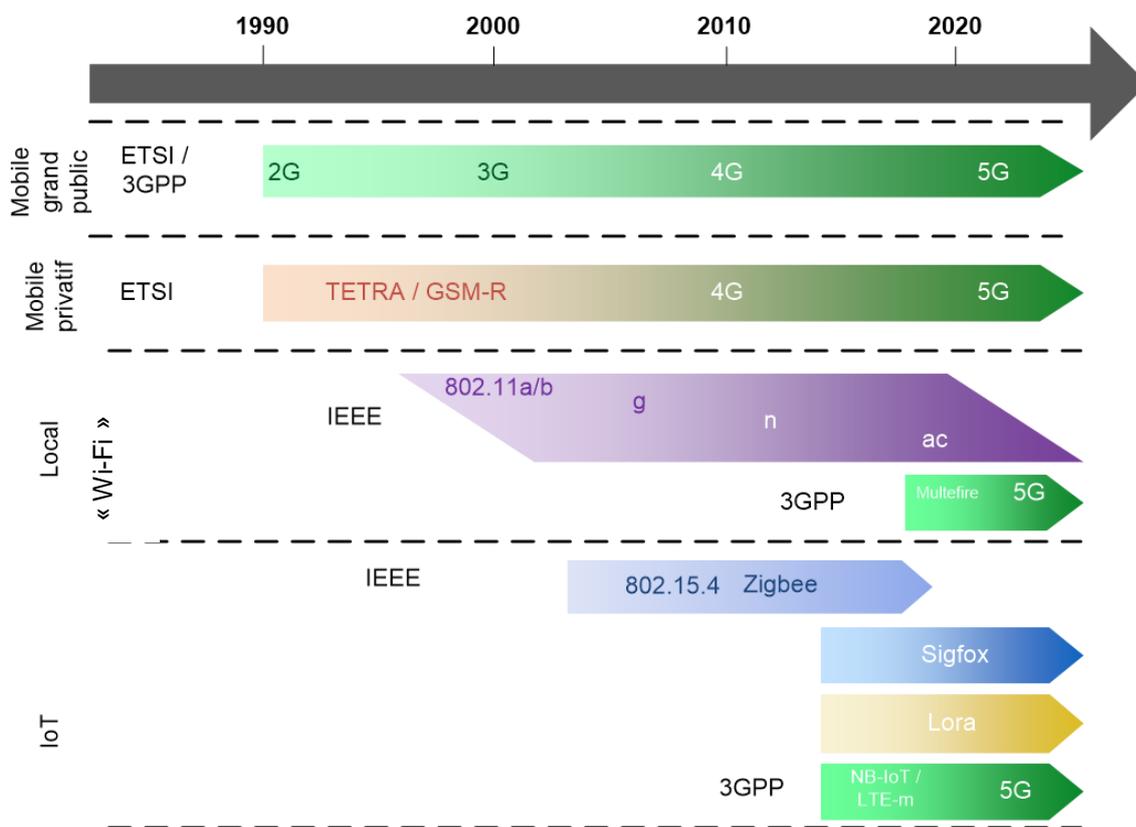
**Les solutions
d'amélioration
de la
connectivité**

Quels réseaux pour quels usages ?

La connectivité sans fil dans les entreprises spécifiques fait appel à plusieurs technologies dont les spécificités et usages sont amenés à évoluer dans le temps. Le présent document étudie les quatre catégories de technologie suivantes :

- Réseaux Mobiles,
- Réseaux professionnels (ou PMR),
- Réseaux locaux (ou Wi-Fi),
- Réseaux d'Internet des Objets (IoT).

Ces technologies ont considérablement évolué ces trente dernières années et nous présentons ci-dessous un schéma des différentes étapes. Elle sont expliquées dans les sections suivantes.



Réseaux mobiles

L'arrivée des réseaux mobiles remonte aux années 1980. A cette époque, l'objectif était de transposer les fonctionnalités des réseaux de téléphonie filaire dans le domaine du sans fil (radio). Il s'agissait alors principalement d'appels téléphoniques vocaux. C'est sur cette base que l'Europe via l'organisme ETSI (European Telecommunications Standards Institute) a défini les standards de la technologie GSM, qui a connu une véritable explosion à la fin des années 1990. Cette technologie a donné lieu aux réseaux mobiles dits « de deuxième génération (2G) ».

Depuis, la standardisation a été reprise par l'organisme mondial 3GPP (3rd Generation Partnership Project) qui a élaboré les standards de la 3G et de la 4G. La figure qui suit synthétise les évolutions principales depuis la 2G.

La première génération de réseaux était dédiée aux flux vocaux. Aujourd'hui, les flux vocaux représentent un flux parmi les nombreux flux de données accueillis par un réseau. La transmission de débits de données toujours plus élevés constitue l'objectif premier des opérateurs. Il a conduit les régulateurs à affecter de manière continue de nouvelles bandes de fréquences (800 MHz, 2,6 GHz, 700 MHz...) aux opérateurs mobiles.

Année de lancement du service	Opérateur
1993	Orange
1994	SFR
1996	Bouygues
2012	Free Mobile

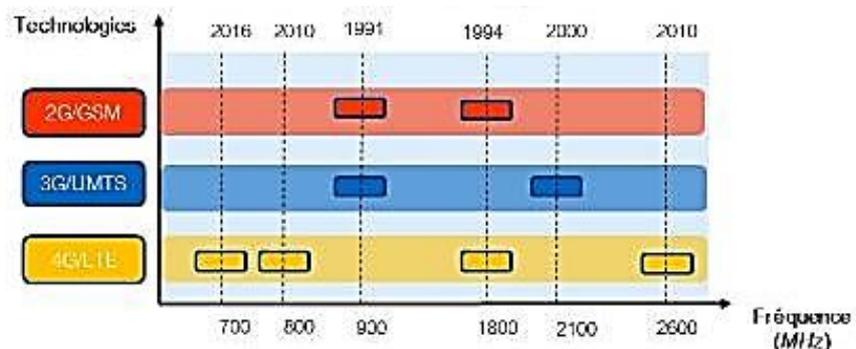


Figure 2 - Affectation des bandes de fréquences aux opérateurs

Les opérateurs mobiles déclinent actuellement la 4G sur l'ensemble de leur spectre de fréquence. Ils maintiendront un certain temps encore les technologies 2G et 3G sur une canalisation réduite afin de garantir le service aux abonnés dotés de terminaux anciens, notamment des abonnés M2M (Machine To Machine).

L'élaboration du standard 5G décrite plus loin s'inscrit, entre autres, dans le prolongement des objectifs d'accroissement des débits.

Synthèse des évolutions des réseaux mobiles

2G		4G	
Voix et SMS	1 cellule : 32 appels et 9,6 kbit/s	Données à haut débit	1 cellule : 128 Mbit/s desc. 25Mbit/s mont.
Latence élevée	5 à 10 s	Faible latence	10 ms
Bande étroite	200 kHz	Large bande	Jusqu' à 20 MHz
Débit fixe	Constant au sein d'une cellule	Débit variable	Selon niveau du signal
Planification des fréquences		Gestion des interférences	
Transmission simple voie (SiSo)		Transmission double voie (MiMo)	
Mode circuit (approche déterministe)		Mode paquet (approche statistique)	

Réseaux professionnels (ou PMR)

A l'instar des réseaux mobiles, l'émergence des réseaux PMR (de l'anglais signifiant réseaux Radio Mobile Professionnel) remonte aux années 1970/1980. En l'absence de solutions de réseaux mobiles répondant à leurs besoins spécifiques, des acteurs professionnels ont pris l'initiative de mettre en œuvre leur propre solution de radiocommunication.

A l'inverse des réseaux de téléphonie mobile, ces réseaux se sont donc développés pour répondre à des besoins exprimés par des utilisateurs professionnels et plus spécifiquement pour répondre au besoin de communiquer en groupe. Ainsi, la fonctionnalité phare des réseaux PMR est l'appel de groupe actionné par un bouton d'alternat. Les premiers réseaux étaient ainsi limités aux usages voix. A partir des années 1990 sont apparues les technologies numériques inspirées du GSM, permettant de combiner les appels voix et l'envoi de messages courts. Ces technologies ont été adoptées par divers acteurs industriels au moment où les opérateurs de téléphonie mobile GSM commençaient à proposer des offres de services « opérés ».

A l'heure actuelle, le marché est segmenté de la manière suivante :

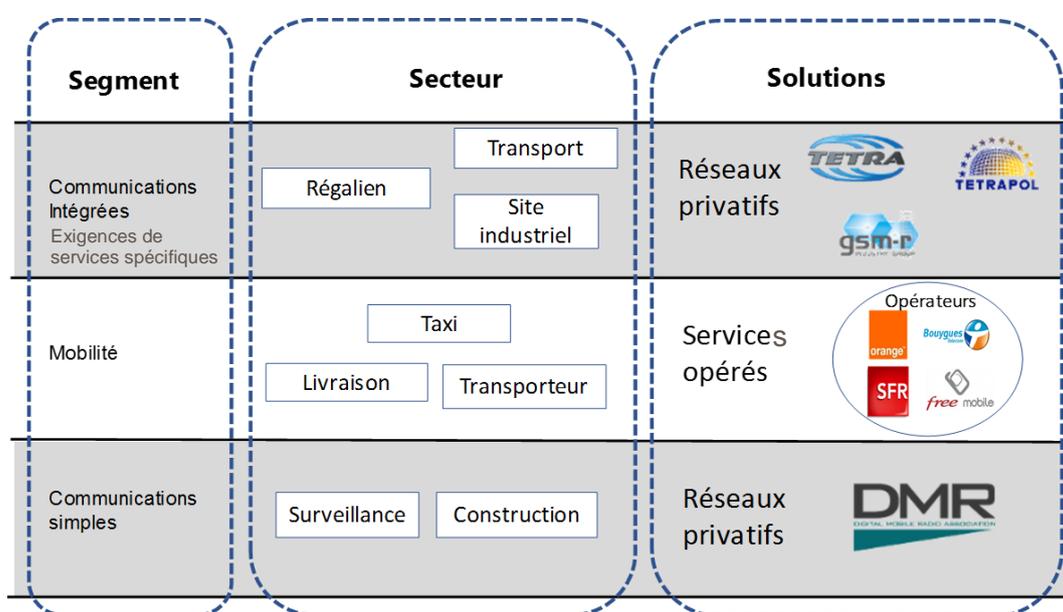


Figure 3 - Segmentation du marché des communications PMR

Le secteur des PMR a opéré une convergence technologique avec les technologies grand public à partir de la 4G. En effet, à la demande des acteurs professionnels, l'organisme 3GPP a intégré dans la définition des standards de la 4G (versions 12, 13 et 14) les spécificités (appels de groupe etc.) des réseaux PMR. L'intérêt pour les acteurs professionnels est de bénéficier du large écosystème de produits des réseaux mobiles.

Selon les cas, les actuels utilisateurs de services PMR :

- Feront évoluer leurs réseaux vers la technologie 4G sur des bandes de fréquence dédiées. En France, les bandes 400, 700, 2300 et 2600⁴ MHz sont identifiées pour ce type d'usage
- Migreront vers des offres opérées par les opérateurs mobiles dans la mesure où ils proposent des offres adaptées (faible latence, communication de groupe...)

Il est à noter que les applications industrielles, auxquelles peuvent répondre les réseaux PMR, constituent des usages qui sont fortement mis en avant dans le cadre de la transition vers la 5G. Il s'agit d'une mise en lumière inédite pour les réseaux/services PMR d'ordinaire plus confidentiels.

⁴ Il s'agit de la bande 38 qui est bande intercalée entre les fréquences affectées respectivement aux liaisons montantes et descendantes des opérateurs mobiles (bande 7)

Réseaux locaux (ou Wi-Fi)

L'émergence des réseaux Wi-Fi (réseaux radio locaux) s'inscrit dans la lignée du développement de l'Internet au cours des années 1990. L'ambition initiale des réseaux Wi-Fi est de prolonger en sans fil la liaison filaire Ethernet, du moins sur une zone limitée.

L'organisme IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), chargé d'établir les standards de la technologie, a milité d'entrée pour l'usage du spectre en accès « libre » en arguant que la taille réduite des zones de couverture limitait en elle-même le risque d'interférence.

La technologie Wi-Fi est définie de manière à transposer le protocole IP du fil au sans fil. Elle s'est déclinée d'abord sur la bande des 2,4 GHz puis, en raison de l'étroitesse de cette dernière (100 MHz de spectre disponible), a trouvé des extensions dans la bande des 5 GHz (500 MHz de spectre disponible).

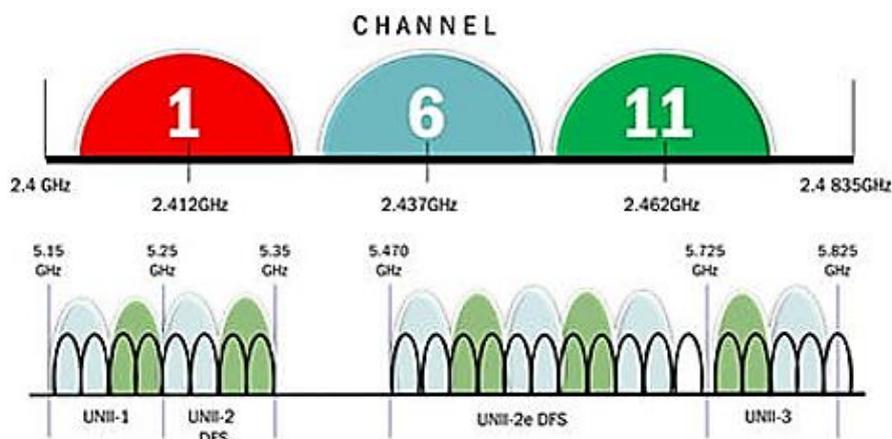


Figure 4 - Spectre disponible usage Wi-Fi

Le développement de la technologie Wi-Fi répond au souci d'offrir des débits de transferts de données toujours plus élevés. Ses évolutions se sont réalisées de manières incrémentales (a/b, g, n et ac). L'accroissement des débits est obtenu via :

- L'introduction de nouvelles techniques de modulation
- L'agrégation de plusieurs porteuses
- L'introduction de fonctionnalités de MiMo ou « entrées multiples, sorties multiples » (technique de diversité et multiplexage spatial permettant d'accroître les débits)
- L'usage de technique d'antenne adaptative (technique d'optimisation du diagramme de rayonnement d'une antenne en fonction de la localisation du (des) utilisateurs)

L'accroissement permanent des débits est une manière de pallier le manque de gestion de la qualité du réseau (QoS) et en particulier l'impossibilité de prioriser les flux. Cette absence de garantie sur la qualité du réseau, aggravé par le risque d'interférence, mais aussi les limitations à la mobilité, constituent les handicaps majeurs des réseaux Wi-Fi.

Le risque d'interférence relié à l'usage « libre » des fréquences constitue le principal danger relatif aux performances des réseaux WiFi et ce, particulièrement dans les zones denses

La simplification des cœurs de réseaux opérée lors de la standardisation de la technologie 4G permet d'envisager une déclinaison de cette technologie sur le mode de réseau local. Les principaux fabricants de réseaux mobiles se sont regroupés au sein de l'alliance Multefire⁵ pour définir un premier jet (V1.0) de standard basé sur les versions 13 et 14 du 3GPP du 4G qui est destiné à l'usage de fréquences libres dans le but de concurrencer frontalement l'écosystème Wi-Fi.

Le 3GPP poursuit ce développement dans le cadre de la 5G qui prévoit sa déclinaison sur des fréquences libres.

Réseaux d'Internet des Objets (IoT)

Les réseaux d'Internet des objets (IoT) existaient avant leur soudaine mise en lumière intervenue ces dernières années. On retrouve ainsi :

- Des objets connectés via des réseaux PMR (TETRA...)
- Des offres d'abonnement M2M commercialisées par les opérateurs en GSM (initialement en 2G, maintenant en 3 et 4G)
- Des objets connectés via des réseaux locaux (Zigbee...)

Une section de ce document est dédiée à l'IoT et décrit comment l'introduction récente des réseaux à bande étroite (Sigfox, LoRa...) est venue bousculer le marché. On retrouve désormais un marché des réseaux et services IoT segmenté selon les débits de transmission de données.

⁵ L'alliance Multefire a environ 45 membres dont ceux représentés dans la direction : Boingo Wireless, CableLabs, Ericsson, Huawei, Intel, Nokia, Qualcomm et SoftBank.

Les contraintes à la propagation des ondes radios

Les défauts de connectivité sont difficilement prévisibles. Sans étude poussée, la connectivité à l'intérieur d'un bâtiment en cours de construction ou encore la perméabilité d'un nouveau bâtiment aux fréquences plus hautes lors d'une migration au sein du spectre des fréquences utilisées est difficile à estimer. Beaucoup de facteurs sont à prendre en compte lors d'un état des lieux de la couverture radio d'une structure spécifique (bâtiment, transport, stade etc.).

La pénétration des ondes radio ne se devine pas. Les ondes possèdent leurs propriétés physiques propres et évoluent au sein des structures en fonction des composants de celles-ci.

Le tableau ci-dessous présente quelques matériaux types et leur niveau approximatif d'atténuation :

Matériaux	Affaiblissement	Exemple
Air	Aucun	Cour, rue, parc d'attractions
Bois	Faible	Cloison, décoration, sol
Plastique	Faible	Meuble, cloison
Verre	Faible	Cloison, parois vitrées
Verre teinté	Moyen	Vitres teintées
Eau	Moyen	Mur d'eau, fontaine
Briques	Moyen	Cloisons
Plâtre	Moyen	Murs
Céramique	Elevé	Sol
Béton	Elevé	Murs porteurs, étages, piliers
Verre blindé	Elevé	Voitures, vitres pare-balles
Métal	Très élevé	Béton armé, miroirs, armoire métallique, cage d'ascenseur

Figure 5 - La pénétration des ondes et les matériaux

En fonction de ses caractéristiques et des matériaux utilisés lors de sa construction, chaque bâtiment, enceinte ou infrastructure aura une manière différente de propager les ondes radios.

La perméabilité de l'infrastructure aux ondes venant de l'extérieur et leur propagation à l'intérieur doivent le plus souvent être mesurées et ne peuvent pas être systématiquement anticipées pour les bâtiments existants : à chaque bâtiment sa réaction. Ce constat explique aujourd'hui des variations des performances des réseaux sans fil.

La hauteur des bâtiments

La hauteur des infrastructures peut être un frein à la qualité de la propagation des ondes radios. Dans les Immeubles de Grande Hauteur (IGH) beaucoup de problématiques réseau sont liées à l'absence de réflexion lors de la construction concernant la couverture réseau. A de telles hauteurs, il est difficile de « capter » dans de bonnes conditions les signaux provenant des antennes relais des opérateurs installées une cinquantaine de mètres en dessous. Aux problématiques habituelles liées aux matériaux ou à la fréquentation des lieux s'ajoute la distance au sol.

Les hauts bâtiments, quel que soit leur usage, doivent faire l'objet d'une étude approfondie de leurs caractéristiques matérielles afin de construire en leur sein un système de distribution antenneaire permettant l'utilisation, en plus d'un réseau Wi-Fi, du réseau mobile. Les réseaux mobiles sont de plus utilisés par le personnel de sécurité pour communiquer en conformité avec la réglementation spécifique aux IGH.

EXEMPLE TYPE :

A la livraison de bureaux situés dans une tour au cœur du centre d'affaires d'une métropole, les locataires constatent l'absence de réseau mobile à l'intérieur de la tour. Les communications téléphoniques sont impossibles une fois un certain étage dépassé. Les matériaux sont en partie responsables mais la hauteur de la tour rend indéniablement sa couverture délicate par les relais opérateurs installés au sol. Les locataires se plaignent naturellement au bailleur qui doit trouver une solution rapidement quitte à réaliser de nouveaux travaux alors que l'ouvrage vient d'être livré.

Usage en mobilité

Le long des infrastructures de transport la couverture mobile est difficile à garantir, principalement à cause du mouvement des véhicules. Ainsi, dans un TGV, le débit du Wi-Fi proposé à bord est fonction de la qualité de la couverture mobile des lieux traversés.

Pour garantir une couverture réseau sans couture lors d'un déplacement, il faut à la fois penser à l'architecture réseau spécifique à installer et aux contraintes liées aux variations de milieu.

EXEMPLE TYPE :

Un passager de la ligne TGV Paris-La Rochelle monte dans le train persuadé de pouvoir continuer sa conversation une fois le train lancé à pleine vitesse mais réalise rapidement que ce ne sera pas possible.

Lieux très fréquentés

Le nombre d'utilisateurs influe beaucoup sur la qualité de la couverture 3G/4G ou Wi-Fi. Un réseau peut être saturé par un trop grand nombre d'utilisateurs simultanés ou par de trop grosses demandes en données.

EXEMPLE TYPE :

Un spectateur se rend à un concert dans une grande salle de spectacle intérieure. Il souhaite partager ce moment avec ses amis grâce aux réseaux sociaux. Il n'est pas le seul à poursuivre cet objectif et doit renoncer en raison de la saturation du réseau 3G/4G ou WiFi. La capacité du réseau n'a pas résisté à l'affluence de spectateurs au concert.

Souterrains

Certaines infrastructures ont des particularités liées à leur conception ou leur usage. A ce titre les ondes radio sont par exemple ralenties par le sol ou parfois même arrêtées ce qui fait souvent des lieux souterrains des zones blanches. Il est, de plus, difficile d'y aménager et équiper des installations spécifiques de couverture étant donné l'étroitesse de ces structures, leurs difficultés d'accès ou encore des besoins de climatisation dans les locaux (pour le refroidissement des équipements de transmission), notamment lorsqu'ils sont souterrains.

EXEMPLE TYPE :

Une régie de transport souhaite équiper son métro d'une couverture mobile de qualité. Cependant les contraintes propres aux lieux sont loin d'être négligeables et constituent de véritables challenges techniques. Dans un métro vieux de plus d'un siècle, il n'y a parfois pas la place d'installer un local technique pour abriter les relais radio des opérateurs

Certifications et labels

Les différents labels et certifications (HQE, BREEAM par exemple) ayant vu le jour sont à l'origine de l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments neufs. Cependant cela ne va pas sans renforcer leur imperméabilité à la pénétration des ondes radio. En effet, les vitres isolantes intègrent des couches métalliques sur lesquelles réfléchissent les signaux émanant des relais des réseaux mobiles.

EXEMPLE TYPE :

Une résidence étudiante construite en 2018 selon les exigences environnementales ne permet pas à ses occupants de capter le réseau mobile extérieur. Ceux-ci se replient donc sur le réseau WiFi.

Quelles solutions mettre en œuvre ?

Réseaux mobiles

Solutions historiques

Couverture résultant de relais extérieurs (couverture dite « naturelle »)

Comme évoqué précédemment, au sein même d'un bâtiment, la couverture dite « naturelle », qui résulte de l'émission des ondes radioélectriques en provenance des relais extérieurs, ne peut être garantie. En effet, l'atténuation du signal dépend de plusieurs facteurs : distance du relais par rapport au bâtiment en question, topographie des lieux, sursol, bâtis dans les zones urbaines denses et nature même de la construction. Ce phénomène de masquage s'est accentué depuis quelques années avec l'apparition de nouvelles normes environnementales qui transforment les immeubles en véritables cages de Faraday, limitant ainsi la pénétration du signal à l'intérieur.

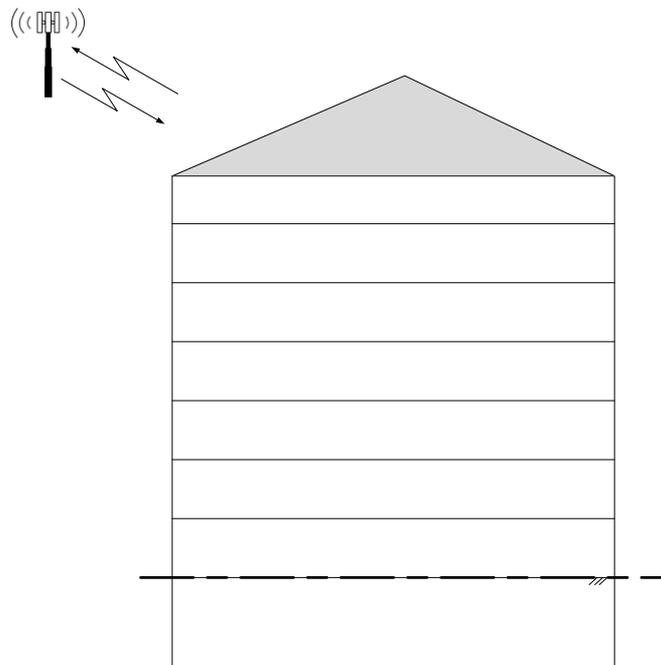


Figure 6 - La couverture naturelle

En outre, quand bien même le niveau de couverture pourrait s'avérer satisfaisant en raison de la proximité immédiate d'un relais, on constate souvent, en particulier dans les zones urbaines denses où le trafic est élevé, que les performances obtenues dans les bâtiments sont dégradées, notamment pour ce qui relève du débit des flux de données. Ces phénomènes s'expliquent par une saturation des relais extérieurs.

Pour toutes ces raisons, les relais extérieurs déployés en surface ne peuvent garantir une bonne qualité de service pour des applications mobiles au sein même des bâtiments, et tout particulièrement dans les zones urbaines denses.

Répéteur hertzien

Le répéteur hertzien est un dispositif capte les signaux des réseaux extérieurs, grâce à une antenne généralement installée en terrasse, et les retransmet amplifiés à l'intérieur même du bâtiment. Le répéteur peut être large bande ou sélectif et offrir une puissance plus ou moins importante, laquelle dépend de la surface totale des espaces à couvrir. Le répéteur est totalement autonome et ne nécessite pas, pour fonctionner, de raccordement filaire au cœur de réseau des opérateurs.

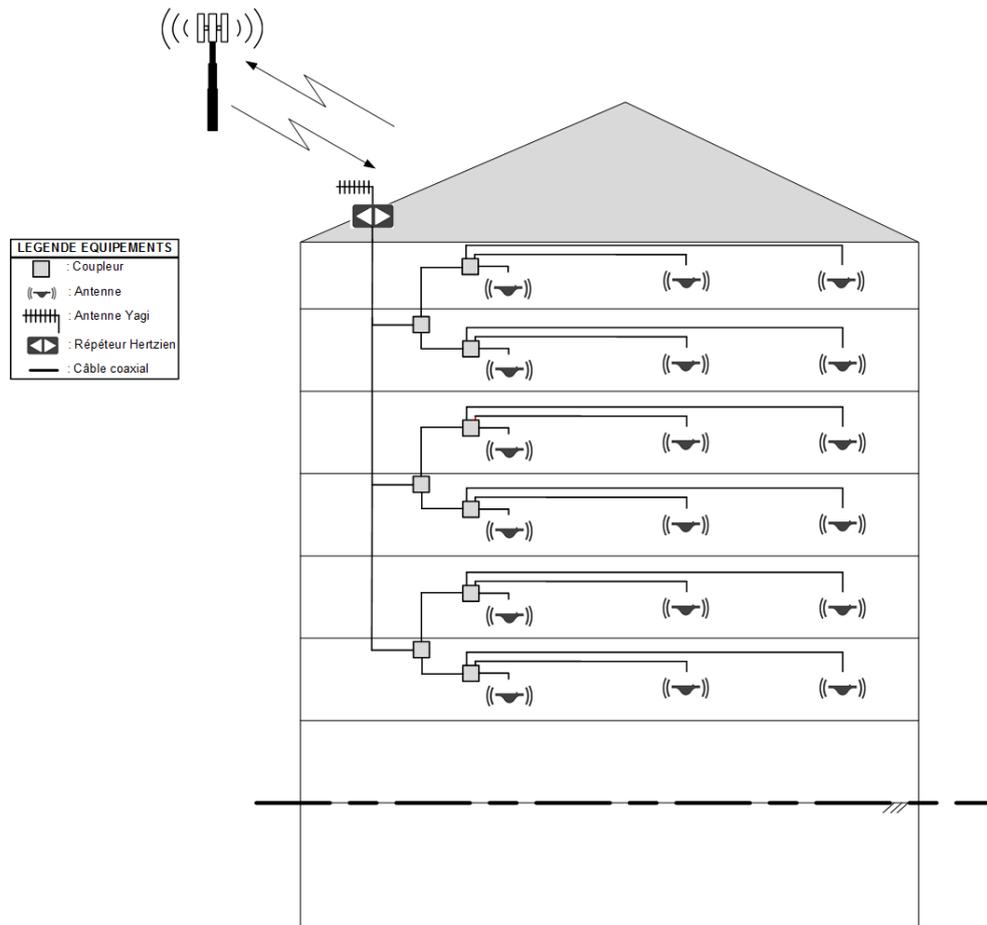


Figure 7 - Le répéteur hertzien

Toutefois, ce type de solution est soumis à l'autorisation des opérateurs⁶. Or ceux-ci voient en ces dispositifs une source de perturbation de leurs relais extérieurs, en particulier dans les zones denses et surtout lorsqu'ils sont mis en œuvre sans concertation avec eux. En effet, le répéteur est susceptible de générer du bruit sur la voie montante et de dégrader ainsi les performances et le bon fonctionnement des relais.

De plus, dans les zones à fort trafic, le répéteur n'est d'aucune utilité pour résorber les problèmes liés à la congestion des relais extérieurs puisqu'il se contente d'étendre la couverture extérieure à l'intérieur du bâtiment.

⁶ Site de l'Arcep - <https://archives.arcep.fr/index.php?id=11946> : « Seules sont établies librement les installations radioélectriques n'utilisant pas des fréquences spécifiquement assignées à leur utilisateur, conformément à l'article L. 33-3 du code des postes et des communications électroniques. Les équipements répéteurs fonctionnant dans les bandes de fréquences (800 MHz, 900 MHz, 1 800 MHz, 2 100 MHz, et 2 600 MHz) utilisées pour les réseaux mobiles (GSM, UMTS et LTE) n'entrent pas dans ce cas : en effet ces bandes de fréquences sont uniquement assignées aux opérateurs mobiles, sur le fondement de l'article L. 42-1 du CPCE. En ce sens, il revient aux seuls opérateurs titulaires d'exploiter leurs fréquences et d'installer, à cet effet, toutes les installations relatives à leur réseau mobile, dont les équipements répéteurs. En cas de défaut de couverture, à l'intérieur d'un bâtiment par exemple, il convient de s'adresser aux opérateurs mobiles en vue d'évaluer, avec ces derniers, les solutions techniques susceptibles d'être apportées. »

Femto

La Femto ou FemtoCell est un produit relativement récent, qui a été développé pour répondre à des problématiques de déficit de couverture dans des espaces de taille modeste et généralement confinés, comme une salle de réunion, un plateau de travail ou encore un auditorium. Avec un niveau de puissance limitée à 100 mW, elle peut être comparée à une borne Wi-Fi. En raison de sa puissance d'émission, même si la Femto a des fonctionnalités standards communes avec celles d'un relais classique, ses capacités de trafic sont fortement limitées et le nombre maximum de communications simultanées possibles s'en trouve réduit.

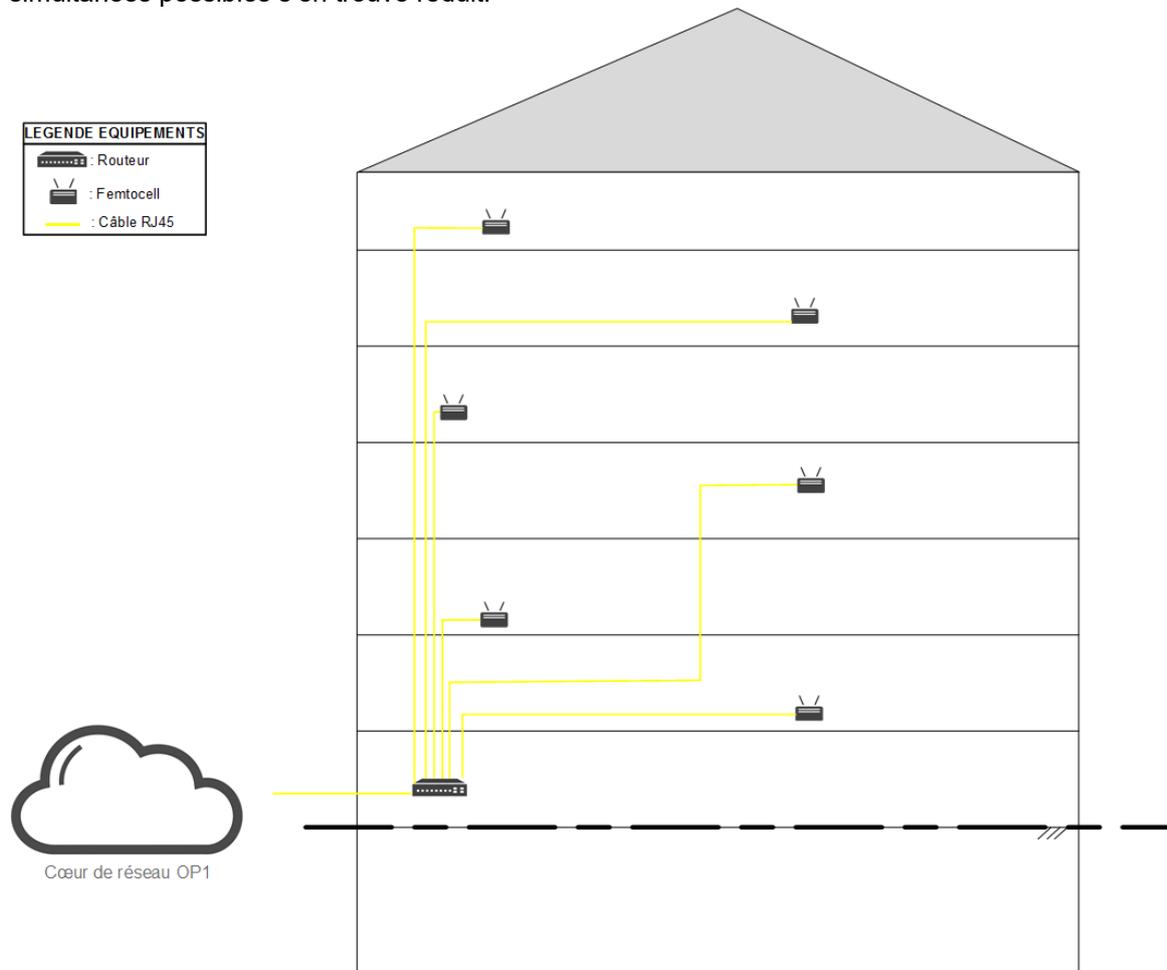


Figure 8 - La femto

La Femto est raccordée directement au cœur du réseau de l'opérateur par une liaison filaire légère de type SDSL. Pour assurer la couverture de plusieurs espaces confinés, il est possible d'associer plusieurs Femto et de constituer ainsi un réseau à l'aide d'un routeur.

Il est important de noter que les Femto sont exploitées par les opérateurs sur un réseau indépendant de celui gérant les relais extérieurs. En conséquence, aucune mobilité d'un réseau à l'autre n'est généralement assurée, ce qui explique les coupures de communication fréquentes, voire systématiques, en particulier lorsque des signaux des cellules extérieures sont captés à l'intérieur du bâtiment.

En conclusion, ces dispositifs peuvent être utiles pour résoudre un déficit de couverture mais uniquement pour des surfaces restreintes et bien isolées du réseau de surface (parking, galerie souterraine...).

Relais couplé à une infrastructure antenne

Lorsque la taille du bâtiment est conséquente ($> 10\,000\text{ m}^2$), la mise en œuvre d'un relais couplé à une infrastructure antenne s'impose. L'infrastructure antenne désigne les éléments qui assurent le transport et le rayonnement des signaux radioélectriques dans l'ensemble de l'ouvrage. Elle regroupe les antennes, les sections de câbles coaxiaux ainsi que les coupleurs. Cette infrastructure se réfère à une bande de fréquence plus ou moins large et non à une technologie en particulier.

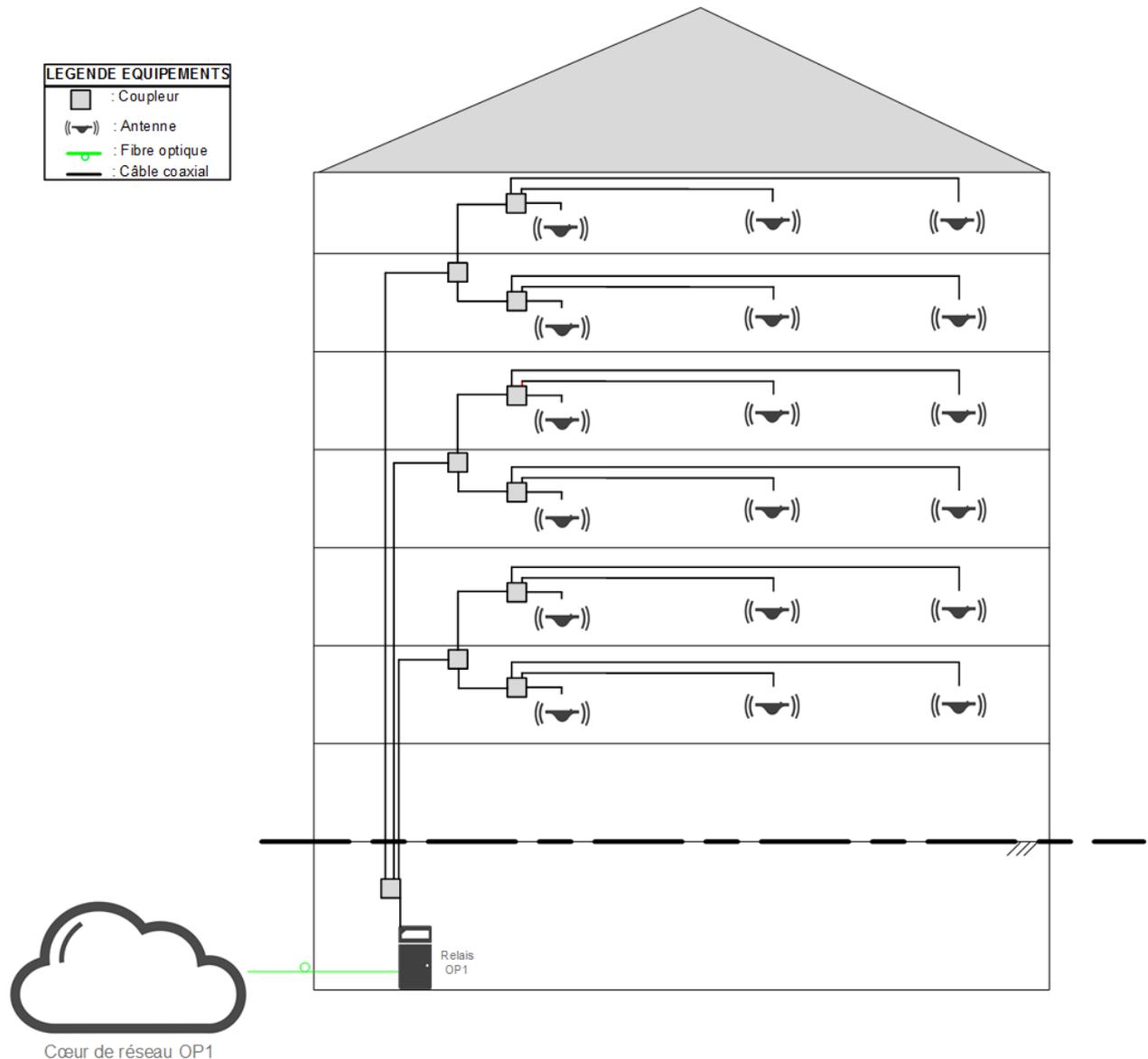


Figure 9 - Le relais couplé à une infrastructure antenne

L'infrastructure antenne a l'avantage d'être purement passive et non alimentée électriquement. Elle ne demande aucune maintenance et a en outre une durée de vie quasi illimitée (vingt à trente ans). Ce type d'architecture est historiquement utilisé par les opérateurs pour répondre à des déficits de couverture au sein des entreprises qui ont souscrit à des abonnements de flotte (i.e. des salariés utilisateurs des mobile professionnels fournis par l'entreprise). Elle n'est pas conçue pour accueillir plusieurs opérateurs.

Relais couplé à une infrastructure antenne avec retransmission optique

Lorsque la taille du bâtiment est plus importante ($> 20\,000\text{ m}^2$), il convient de mettre en œuvre un système de retransmission optique. Les équipements de retransmission optique permettent de transporter les signaux sur de longues distances avec de très faibles pertes. Ils constituent une interface entre les relais des opérateurs, positionnés dans un local technique principal, et le système de distribution antenne déployé dans l'ouvrage. Un système de retransmission optique est constitué d'un master optique qui agit comme concentrateur des signaux émis par l'ensemble des relais opérateurs. Ce master optique est ainsi interfacé avec les relais des opérateurs dans le même local. Il est raccordé par un réseau de fibres optiques à des répéteurs répartis dans le bâtiment. Il s'agit d'une architecture centralisée permettant de déporter les signaux sur différentes zones, qui peuvent être très éloignées les unes des autres. Suivant les constructeurs, un même master peut alimenter en moyenne jusqu'à huit répéteurs optiques.

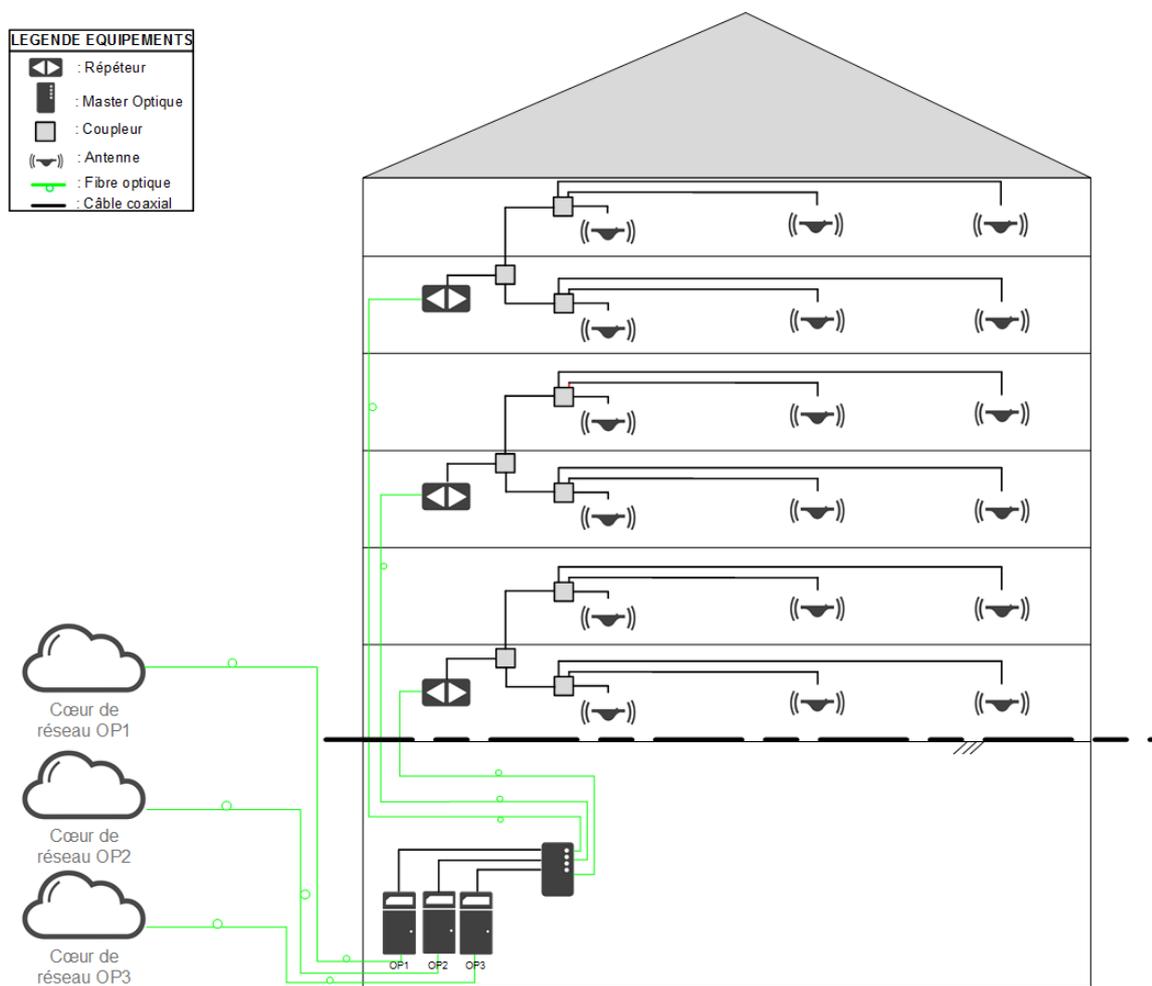


Figure 10 - Le système de retransmission optique

Les constructeurs proposent également des modèles de répéteurs qui intègrent directement l'antenne. Plus compacts et économiques, ces systèmes sont malgré tout moins évolutifs. Ils peuvent se justifier lorsque le nombre de points d'injection augmente grâce à leur facilité de mise en œuvre. Ces emprises de tailles conséquentes attirent les opérateurs mobiles. Une unique infrastructure est suffisante pour que les différents opérateurs fournissent le service.

Evolutions récentes

Déport RRH:

L'architecture à base de modules RRH déportés est un concept relativement récent, développé dans le but de faciliter les opérations de déploiement des relais lorsque les conditions environnementales présentent de fortes contraintes. Cette technologie sépare physiquement l'intelligence du relai de l'émetteur radio. Même si les modules RRH font partie intégrante du relais de l'opérateur, ils assurent le déport de la partie émission/réception des signaux RF au plus près du système de distribution antennaire. On les trouve ainsi très souvent positionnés au sommet des pylônes, au plus près des antennes.

La mise en œuvre d'une architecture à base de modules déportés RRH, est une alternative particulièrement intéressante pour les cas où le bailleur/preneur prend en charge lui-même la mise en œuvre de la solution d'extension de couverture. En effet, cela lui évite de financer un système de retransmission RF/optique tel que décrit précédemment, pour lequel il lui faudrait assurer en outre l'exploitation et la maintenance.

L'inconvénient de cette solution est qu'il est nécessaire de déporter un module par opérateur et bandes de fréquence à chaque départ de distribution antennaire ce qui implique de laisser un espace suffisant dans les locaux techniques. Elle reste intéressante pour des bâtiments de très grande taille comme les stades, les gares ou les aéroports, toutefois la surface ne doit pas dépasser pas les 30 000 m².

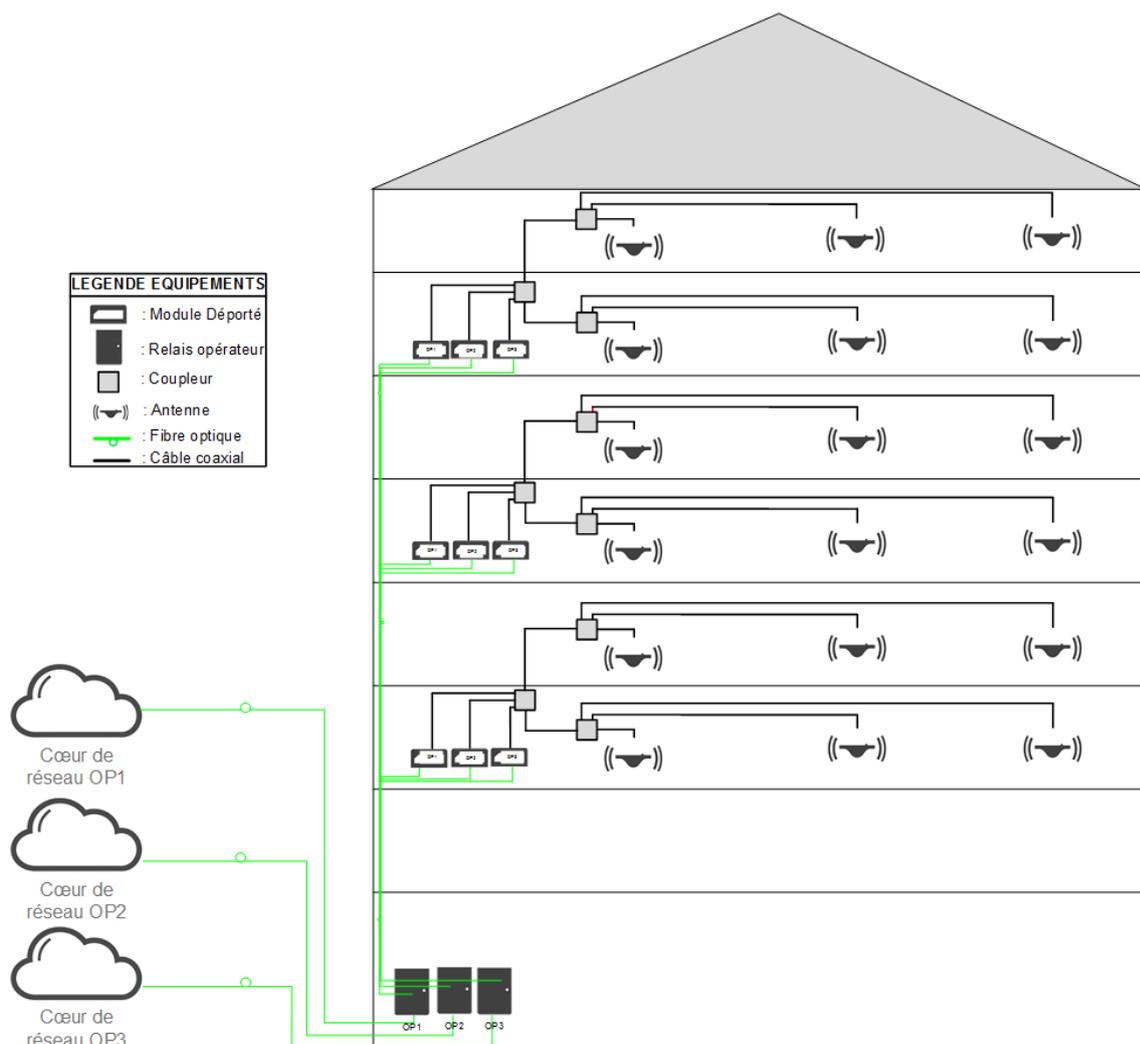


Figure 11 - Les déports RRH

Les solutions dites « toutes actives »

Les solutions dites « toutes actives », encore dénommées DAS Actif, ont été développées très récemment dans le but d'offrir une couverture des services de téléphonie mobile pour les bâtiments tertiaires. Elles ne visent pas à se substituer de manière systématique aux solutions classiques basées sur le schéma master-répéteurs ou déport RRH, mais plutôt à répondre à un besoin sur des ouvrages de taille intermédiaire. En ce sens, le positionnement du DAS Actif est très clairement orienté vers les immeubles de bureaux, d'autant plus que le concept qui sous-tend cette solution se rapproche quelque peu de celle d'un réseau informatique interne.

Les antennes de diffusion sont actives et ont une apparence similaire à celle des bornes Wi-Fi. Les équipements intermédiaires entre le cœur de réseau et les antennes ont un fonctionnement semblable à celui des routeurs. Les liens qui constituent cette architecture sont des câbles réseau avec des terminaisons RJ45.

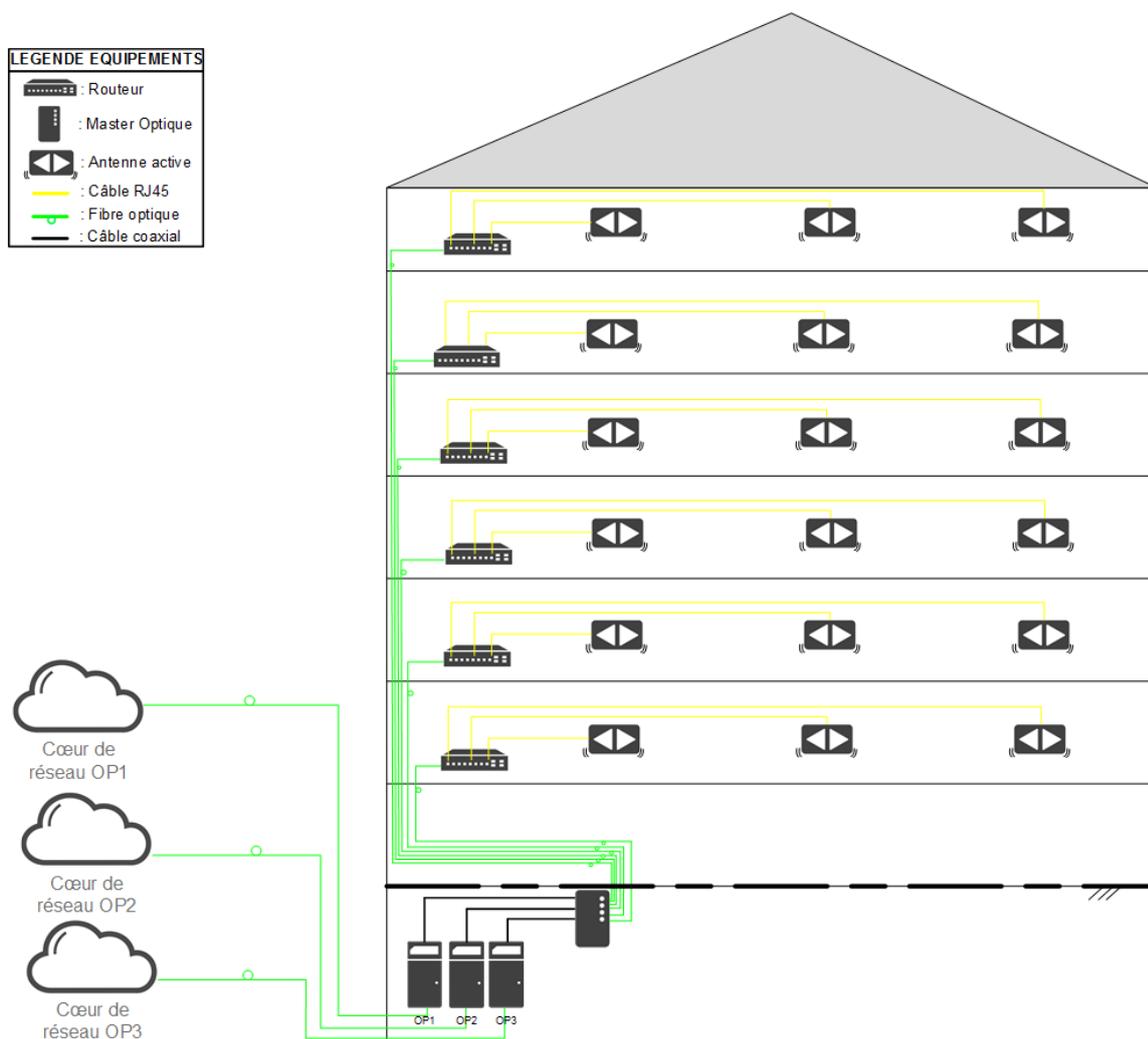


Figure 12 - Les solutions dites « toutes actives »

Cette solution innovante peut sembler séduisante de prime abord mais présente toutefois des inconvénients majeurs, comme son coût (deux fois supérieur ou plus à celui d'une installation équivalente basée sur le déploiement d'une infrastructure antennaire passive) ou la nécessité pour le bailleur d'assurer l'exploitation et la maintenance des équipements actifs, ainsi qu'une évolutivité limitée.

Modalités de mise en œuvre

La mise en œuvre d'un réseau de téléphonie mobile au sein d'un bâtiment peut suivre deux stratégies.

Clef en main

L'offre clef en main consiste à s'adresser directement à l'opérateur de son choix et à lui confier l'intégralité du projet de déploiement, incluant l'installation de l'infrastructure antennaire et la mise à disposition des relais. La conception est dès lors assurée par l'opérateur et le déploiement par des installateurs référencés chez ce même opérateur. L'opérateur est dans ce cas l'interlocuteur unique du bailleur, il porte l'intégralité du projet et assure le rôle de maître d'œuvre.

Pour un bailleur, confier un projet clef en main à un opérateur est une option qui peut être intéressante, à condition d'avoir une idée assez précise des prix pratiqués sur le marché pour la solution recommandée.

Allotissement

Si le bailleur ne souhaite pas confier l'intégralité du déploiement de la solution à un opérateur, il peut opter pour l'allotissement qui lui permet de dissocier la partie infrastructure antennaire de la partie relais opérateurs. Il conçoit dès lors, ou fait concevoir par un tiers, l'infrastructure antennaire propre à son bâtiment, laquelle pourra être déployée par l'installateur de son choix. Une telle démarche peut permettre de baisser les coûts du projet notamment pour la partie antennaire.

La mise en œuvre des relais est ensuite une négociation entre le bailleur/l'exploitant et les opérateurs mobiles. Cette solution nécessite une plus grande implication des donneurs d'ordre, ou une assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) externe.

Aspects réglementaires liés aux ondes radioélectriques

Les valeurs limites d'expositions sont définies par les textes réglementaires au niveau européen. Elles incluent des marges de sécurité importantes et se situent (41 à 61 V/m) donc au-dessus des seuils pour lesquels des effets nocifs sont pressentis, au regard des dernières études scientifiques.

Dans la pratique, les infrastructures antennaires indoor respectent le seuil de 6 V/m qui est une valeur assez largement partagée et appliquée comme « bonne pratique » par les acteurs du marché (opérateurs, intégrateurs, bureau d'ingénierie...).

Perspectives d'évolutions vertueuses des solutions

Micro cellules

Ces équipements sont des émetteurs de petite taille et peuvent constituer une alternative intéressante à l'installation de relais conventionnels pour assurer la couverture des ouvrages de taille intermédiaire. En effet, la micro cellule est un équipement compact, de petite dimension et qui ne nécessite pas de servitudes aussi contraignantes que les classiques relais « macro ». Elles peuvent être installées dans des locaux de petite dimension ou sur un pan de mur. Leur puissance d'émission est de 5 Watts, moindre que celle d'un module déporté (RRH) standard qui émet à 20 Watts. Cependant leur couverture est restreinte.

De surcroît, leur coût de mise en œuvre est bien moindre que celui d'un relai conventionnel.

Signalons enfin que certains constructeurs proposent désormais des équipements qui intègrent les technologies 3G et 4G dans un même coffret.

Liaison optique

Le raccordement des relais aux cœurs de réseau respectif des opérateurs est réalisé majoritairement en fibre optique. Le fait que chaque opérateur utilise un lien fibre dédié constitue un frein très important car cela augmente le coût, tant sur la partie investissement initial que sur la partie exploitation annuelle.

Il s'agit véritablement du point qui dissuade les bailleurs/occupants de mettre en place des solutions d'extension des réseaux mobiles au sein de leur bâtiments.

La solution est que ces liens fibres optiques soient mutualisés pour les différents opérateurs.

Coûts

Le tableau qui suit propose une approche synthétique des coûts de mise en œuvre des différentes solutions, à titre indicatif :

Estimatif Budgétaire € HT

	Infrastructure commune		Équipement pour chaque opérateur	
	Investissement	Exploitation annuelle	Investissement	Exploitation annuelle
Solutions à usage très limité à des espaces très petits (< 5 000 m ²) ; en voie d'abandon	0 à 20 K€	0 à 500 €	0 à 5 K€	0 à 5 K€
	12 à 15 €/ m ²	0,5 €/ m ²		
	10 à 12 €/m ²	0,5 €/ m ²	30 à 80 K€	3 à 10 K€
Solution pour les grands sites (surface supérieure à 40 000 m ²)	15 à 20 €/ m ²	1 €/ m ²		
Solution pour les sites de taille moyenne (Surface entre 5 000 et 40 000 m ²)				
Axes d'amélioration / Baisse de coûts	Inchangé		Cible : 5 à 10 K€	Cible : 2 K€

Figure 13 – Synthèse des coûts de mise en œuvre des solutions d'extension de couverture des réseaux mobiles

Le tableau qui suit propose une approche synthétique de l'ensemble des solutions

Solutions historiques	Répéteur	<p>Avantage : Faibles couts et simplicité d'installation</p> <p>Inconvénient : Performances très limitées, nécessite une autorisation des opérateurs</p> <p>→ <i>En perte de vitesse</i></p>
	Femto	<p>Avantage : Faibles couts et simplicité d'installation</p> <p>Inconvénient : Solution mono-opérateur, interaction limitée avec réseau extérieur</p> <p>→ <i>En perte de vitesse, limitée aux espaces très isolés</i></p>
	Relais couplé à une infrastructure antenneaire	<p>Avantage : Configuration simple, maintenance facilitée</p> <p>Inconvénient : Solution mono-opérateur</p> <p>→ <i>Concept intégré dans la solution « déport RRH »</i></p>
	Relais couplé à une infrastructure antenneaire avec retransmission optique	<p>Avantage : Solution multi-opérateur</p> <p>Inconvénient : Solution coûteuse composée de plusieurs systèmes différents</p> <p>→ <i>Solution adaptée pour les grands bâtiments (>30 000 m²) ou les enceintes complexes (métro, stade, etc.)</i></p>
Evolutions récentes	Déport RRH	<p>Avantage : Solution multi-opérateur, maintenance facilitée</p> <p>Inconvénient : Espace important à prévoir dans les locaux techniques</p> <p>→ <i>Solution adaptée pour les bâtiments de taille moyenne (8 000 à 30 000 m²)</i></p>
	Solutions « toute active »	<p>Avantage : Possibilité d'utilisation de câblage Ethernet existant</p> <p>Inconvénient : Solution très couteuses composée de plusieurs systèmes différents</p> <p>→ <i>Solution adaptée aux bâtiments de taille moyenne (8 000 à 30 000 m²) déjà occupés et où il est compliqué de réaliser des travaux de câblage</i></p>

Figure 14 – Tableau de synthèse des solutions d'extension de couverture des réseaux mobiles

Réseaux PMR

L'évolution vers le haut débit d'une partie des réseaux PMR s'impose, pour trois motifs principaux :

- De nouveaux usages se développent, liés par exemple aux échanges de flux vidéo et connexions à des bases de données distantes, en plus des besoins pérennes de téléphonie et de transmission de messages courts (vidéo d'exploitation, vidéoprotection / caméras de surveillance, prises de photos, données de supervision et de maintenance etc.) ;
- Dans le cadre du renouvellement de réseaux actuels à bande étroite en voie d'obsolescence, les utilisateurs doivent intégrer les évolutions technologiques disponibles sur le marché ;
- La technologie Wi-Fi, qui repose sur une utilisation de fréquences libres (sans licence), s'avère souvent inadaptée pour répondre aux besoins professionnels (faiblesse des mécanismes de gestion de la qualité de service, interférences, gestion limitée de la mobilité, etc.).

Ce besoin d'évolution des réseaux PMR vers le haut débit soulève la question liée aux perspectives d'accès à de nouvelles bandes de fréquences.

L'Arcep prévoit d'ouvrir un guichet d'attribution d'autorisation d'utilisation de fréquences 2,6 GHz TDD pour répondre à l'évolution des réseaux PMR vers le haut débit. Ces premières attributions sont prévues pour le début de l'année 2019.

Cette bande est ciblée par les exploitants de réseaux de transport et les industriels pour renouveler les réseaux actuels dans les emprises de types gare, aéroport, métro, usine ou centrale.

Pour des besoins de couverture plus importants (ligne ferroviaire, ville, autoroute...) les utilisateurs privilégieront les bandes de fréquences plus basses :

- 700 MHz : partage du spectre qui a été affecté au Ministère de l'Intérieur en 2015 dans cette bande, notamment les deux blocs de 3 MHz (733-736 MHz et 788-791 MHz) pour lequel il existe un écosystème terminaux conséquent
- 400 MHz : libération par l'ARCEP des bandes de spectre continues dans les bandes 450-470 MHz.

Réseaux Wi-Fi

Solutions historiques : déploiement de bornes classiques sous forme de réseau dédié

Initialement les réseaux se limitaient à des déploiements de réseaux dédiés sur des emprises spécifiques constitués de :

- Bornes Wi-Fi (ou AP pour *Access Point*)
- Equipements de commutation (switch)
- Serveurs d'authentification ou service d'authentification sur une plateforme partagée
- Câblage informatique du réseau intérieur (LAN) et raccordement extérieur (WAN) haut débit et lorsque possible très haut débit avec la fibre (qui devient maintenant une nécessité pour fournir le débit adéquat aux groupes utilisateurs)

L'ingénierie radio restait très limitée tant du point de vue de la conception de réseaux que du point de vue des mesures de performances. Cette absence d'ingénierie était compensée par un surdimensionnement en matière de bornes Wi-Fi.

A la faveur de nouvelles exigences et contraintes, les architectures et méthodologies de mise en œuvre se sont progressivement améliorées.

Indications de coûts moyens de la solution classique :

- Investissement : 1 000 € par pas de surface de 250 m²
- Exploitation annuelle : 15 % du montant d'investissement

Evolutions récentes

Borne plus capacitive

Avec l'évolution de la norme qui a permis au fil des années d'offrir des débits plus importants, de nouveaux usages se sont développés comme l'interopérabilité des réseaux Wi-Fi notamment avec les smartphones. L'objectif est de faciliter l'accès à l'Internet mobile pour le grand public en offrant des débits de plus en plus importants.

Les bornes bi-bandes 2,4-5 GHz ont fait leur apparition sur le marché avec la norme 802.11n. Cela a permis un débit théorique de 600 Mbit/s dans la bande des 5 GHz.

La dernière évolution grand public est la norme 802.11ac qui offre un débit théorique de 1 300 Mbit/s en utilisant des canaux de 80 MHz dans la bande des 5 GHz.

Cette évolution s'est également accompagnée d'une augmentation :

- Des coûts d'investissement et de maintenance,
- De la taille et du poids des bornes

Cette augmentation à la fois des performances, des coûts mais aussi des contraintes de mise en œuvre, incite à plus de prudence dans le déploiement de solutions Wi-Fi.

Design plus prédictif

Afin de répondre à des exigences de dimensionnement et de performance plus précises, les acteurs chargés de mettre en œuvre les réseaux Wi-Fi recourent de plus en plus à :

- Des études de conception impliquant des simulations de couverture
- Des relevés de performances au moyen d'outils de trace

Ces outils permettent de donner des gages sur l'atteinte des objectifs. Des exemples de restitutions d'analyse sont fournis à la suite pour illustration de deux configurations de bâtiments : la couleur indique la qualité de la réception sans fil dans chaque zone des deux plans ci-dessous :

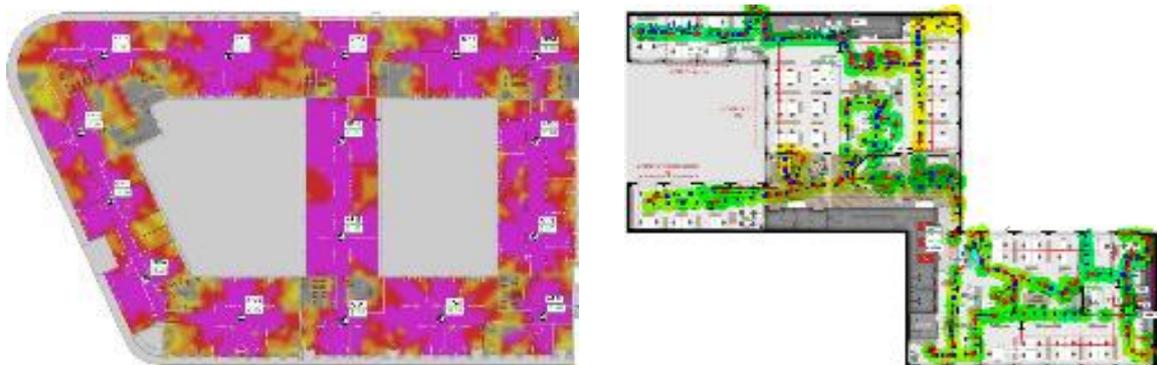


Figure 15 - Exemple de simulation de couverture et de relevée de mesures

Déport antenne

Si la plupart des bornes Wi-Fi intègrent à la base l'élément rayonnant, certaines se déclinent avec une ou plusieurs prises coaxiales permettant d'y raccorder une ou plusieurs antennes extérieures.

Ce type de borne a initialement été développé pour un usage en extérieur mais trouve également son utilité dans des environnements indoor. Ainsi, en raccordant un système de distribution antenne à une sortie de la borne Wi-Fi, il est possible d'assurer la couverture d'une surface plus étendue que celle assurée par une seule borne déployée de manière conventionnelle. Les principaux avantages qui en découlent sont les suivants :

- Le nombre de bornes Wi-Fi à déployer est inférieur à celui nécessaire dans le cas d'un réseau conventionnel, ce qui implique un coût moindre à la fois en termes d'investissement et d'exploitation
- Une borne alimentant une branche antenne peut être dissimulée dans une gaine technique et donc rendue invisible, argument jouant en faveur de l'esthétique.

Cloud

Dans la lignée des grandes tendances du secteur informatique, les réseaux Wi-Fi sont concernés par la virtualisation des fonctions de cœur de réseau. On peut aujourd'hui de manière équivalente :

- Déployer un réseau Wi-Fi entièrement indépendant dans une emprise spécifique
- Se limiter au déploiement des bornes Wi-Fi et des équipements de commutation dans l'emprise spécifique et faire héberger à distance les équipements de cœur de réseau

Bon nombre d'opérateurs alternatifs proposent désormais des offres dites « Wi-Fi Cloud » basées sur ce deuxième type d'architecture.

Voix sur Wi-Fi

La voix sur Wi-Fi est une fonctionnalité assez ancienne que proposent les réseaux Wi-Fi. Elle a été introduite dans un premier temps pour offrir des services de téléphonie interne aux entreprises :

- Soit en remplacement des solutions existantes (exemple : DECT)
- Soit en accompagnement des systèmes de partage informatique en ligne pour les particuliers ou les entreprises de type WhatsApp, Skype et autre.

L'activation récente de la fonctionnalité « VoLTE » (service de Voix sur le réseau 4G) chez les opérateurs Orange, SFR et Bouygues Télécom a été l'occasion de proposer à leurs abonnés la possibilité de faire basculer les appels téléphoniques vers un réseau Wi-Fi enregistré. Il s'agit de la fonctionnalité « Wi-Fi Calling ». Cette fonctionnalité n'est disponible que pour les abonnés ayant souscrits à la fonctionnalité VoLTE.

Cette solution présente l'intérêt de pouvoir pallier un déficit de couverture mobile dans un endroit où un réseau Wi-Fi est déjà déployé. Cette solution possède toutefois des inconvénients :

- Elle n'est pas « sans couture » et nécessite de s'enregistrer au préalable sur un réseau Wi-Fi.
- La qualité de la communication vocale dépend de la qualité de la conception du réseau Wi-Fi et de sa charge. Or les réseaux Wi-Fi sont dépourvus de mécanismes de qualité de service permettant de préserver l'intégrité des flux voix en cas de saturation.

Si on ajoute le risque d'interférence lié au libre accès des bandes de fréquences Wi-Fi, l'expérience utilisateur qui en résulte n'est pas garantie. Cette solution relève plus d'un palliatif ponctuel et temporaire que d'une approche solide et pérenne.

Réseaux IoT - Internet des Objets,

Une des promesses des réseaux IoT et notamment des réseaux à bande étroite (LPWAN) est de couvrir plus facilement les bâtiments à partir des relais du réseau extérieur.

Ceci est vrai jusqu'à un certain point. En effet, dans le cas des grands bâtiments, cette couverture dite « naturelle » reste partielle. Pour pallier ces problèmes, les opérateurs de réseaux sont amenés ponctuellement à déployer des petits relais dans les bâtiments. Cette solution reste peu coûteuse dans la mesure où les micro-relais sont en mesure d'assurer une couverture sur des espaces très importants.

Dans la mesure où les réseaux IoT 3GPP sont opérés sur des équipements communs avec les réseaux mobiles, les solutions palliatives à un éventuel déficit de couverture sont liées avec celles des réseaux mobiles.

Les incitatifs réglementaires

Evolution de la réglementation en France

Le New Deal Mobile annoncé en janvier 2018 a permis d'adresser le sujet de la couverture des bâtiments par les opérateurs mobiles.

Avant le New Deal Mobile, l'Arcep avait introduit la notion de niveaux de couverture, dans sa décision n°2016-1678, qui impose aux opérateurs mobiles de publier des cartes de couverture qui différencient les zones de « très bonne couverture », de « bonne couverture », de « couverture limitée », et celles où il n'y a pas de couverture, pour les services de voix et de SMS. Ces cartes de couverture enrichies visent à refléter de manière plus fidèle la réalité vécue par les utilisateurs, notamment en introduisant la possibilité pour les utilisateurs de savoir si la couverture des opérateurs en un point donné leur permet de passer des appels et d'envoyer des SMS « dans certains cas » (bonne couverture) ou « dans la plupart des cas » (très bonne couverture) à l'intérieur des bâtiments.

→ Ces cartes de couvertures ainsi que les résultats des enquêtes de qualité de service, dont certaines mesures sont réalisées en indoor, ont été rassemblés dans l'outil cartographique monreseau-mobile.fr et sont disponibles en open data.

Les forts besoins en connectivité dans les emprises spécifiques ont amené le régulateur à renforcer les dispositions sur le sujet.

Au travers du New Deal mobile, l'Arcep a relevé son niveau d'exigence en matière de couverture mobile puisque les autorisations d'utilisation de fréquences fixent désormais des obligations en « bonne » couverture, visant à pousser les opérateurs à densifier leurs sites pour augmenter le niveau de réception en indoor. Par ailleurs, une autre obligation du New Deal Mobile re-transcrite de la manière suivante dans les décisions modifiant les licences des opérateurs pour les bandes 900, 1800 et 2100 MHz publiées le 3 juillet 2018 porte spécifiquement sur la couverture à l'intérieur des bâtiments :

« Conformément aux engagements qu'il a souscrits dans son dossier de candidature, le titulaire est tenu, à compter du 31 décembre 2018, de :

- mettre en service la voix et les SMS sur Wi-Fi sur son cœur de réseau, rendre accessible gratuitement l'option sur toutes ses offres, sauf difficulté exceptionnelle dûment justifiée, aux clients ayant un terminal compatible et informer ces clients de la disponibilité de l'option et de la méthode permettant de l'activer ;*
- commercialiser une offre permettant à des entreprises ou des personnes publiques qui en font la demande d'obtenir, pour un tarif raisonnable, une amélioration de la couverture des services de radiotéléphonie mobile et d'accès mobile à très haut débit à l'intérieur des bâtiments qui permette aux occupants et visiteurs de ces bâtiments d'avoir accès à la couverture des réseaux mobiles ouverts au public des autres opérateurs ayant souscrit l'engagement lié à la couverture à la demande à l'intérieur des bâtiments. Pour ce faire, la société peut recourir à toutes solutions technologiques adéquates,*

telles que la voix et les SMS sur Wi-Fi, les pico-cellules, les répéteurs, les systèmes d'antennes distribués (DAS), etc. ;

Lorsqu'une telle offre est souscrite auprès d'un opérateur ayant souscrit l'engagement lié à la couverture à la demande à l'intérieur des bâtiments, faire droit à la demande dudit titulaire de rendre ses services de radiotéléphonie mobile et d'accès mobile à très haut débit disponibles à l'intérieur des bâtiments concernés, dans des conditions techniques et tarifaires raisonnables. »

Les contraintes vers les opérateurs de réseaux mobiles sur leurs offres, en particulier vers les professionnels sont encore limitées : en termes de prix, contenu des offres, délais de raccordements, etc.

L'implication d'autres acteurs de l'écosystème (comme les bailleurs ou les aménageurs dans la construction des offres) serait en mesure d'amener une nouvelle dynamique à ce secteur.

Par ailleurs, il peut être tentant pour les opérateurs mobiles d'utiliser l'argument avec ou sans justification de la réglementation :

- afin de justifier des prix élevés de service comme par exemple pour le prix du raccordement de leurs équipements en fibre optique dédiée fournie par le même opérateur au prix fort,
- et/ou pour s'imposer comme interlocuteur incontournable auprès des bailleurs et des collectivités du fait de la criticité de l'exposition aux ondes radioélectriques.

Au quatrième trimestre 2018, l'Arcep a mené une consultation publique sur l'attribution de nouvelles fréquences pour la 5G et a interrogé le secteur sur les problématiques soulevées par la couverture 5G à l'intérieur des bâtiments et les dispositions susceptibles de l'améliorer.

Des approches alternatives à l'étranger

Pour dynamiser le marché de la couverture des réseaux mobiles des emprises spécifiques, d'autres pays ont octroyé du spectre destiné à des usages locaux. On retrouve ainsi l'approche CBRS (<https://www.cbسالiance.org/>) initiée par la FCC aux Etats-Unis et qui prévoit d'attribuer 150 MHz dans la bande 3,5 GHz pour des usages locaux tels que la connexion réseau au sein des bâtiments ou l'usine connectée. L'originalité de la démarche est d'associer à l'usage de ce spectre un mécanisme de partage dynamique de spectre.

Dans d'autres pays, certains acteurs qui ne sont pas opérateurs mobiles n'ont pas hésité à participer à des enchères pour des attributions de spectre avec pour objectif d'employer ce spectre à des cas d'usage locaux. C'est le cas par exemple de la société Airspan Spectrum Holdings qui s'est vu attribuer jusqu'à 60 MHz de spectre par endroit en bande 3,5 GHz en Irlande. En Allemagne, le régulateur a annoncé en novembre 2018 réserver la bande de fréquence 3,7-3,8 GHz pour des attributions régionales (opérateur locaux, industrie etc...)

La bande 3,5 GHz fera l'objet d'une attribution prochaine en France.

05

Le marché des solutions radio en intérieur

La mise en œuvre de solutions permettant d'améliorer la connectivité des emprises spécifiques nécessite de faire appel à un écosystème d'acteurs spécialisés. Or force est de constater que ce marché est peu structuré et peu développé.

Les étapes d'un projet d'amélioration de la connectivité

Une fois le constat fait d'un déficit de couverture réseau à l'intérieur d'une infrastructure spécifique au stade de projet ou déjà construite, il peut être décidé d'y remédier.

Une fois la décision prise de lancer un chantier d'amélioration de la connectivité sans fil, plusieurs étapes sont incontournables :

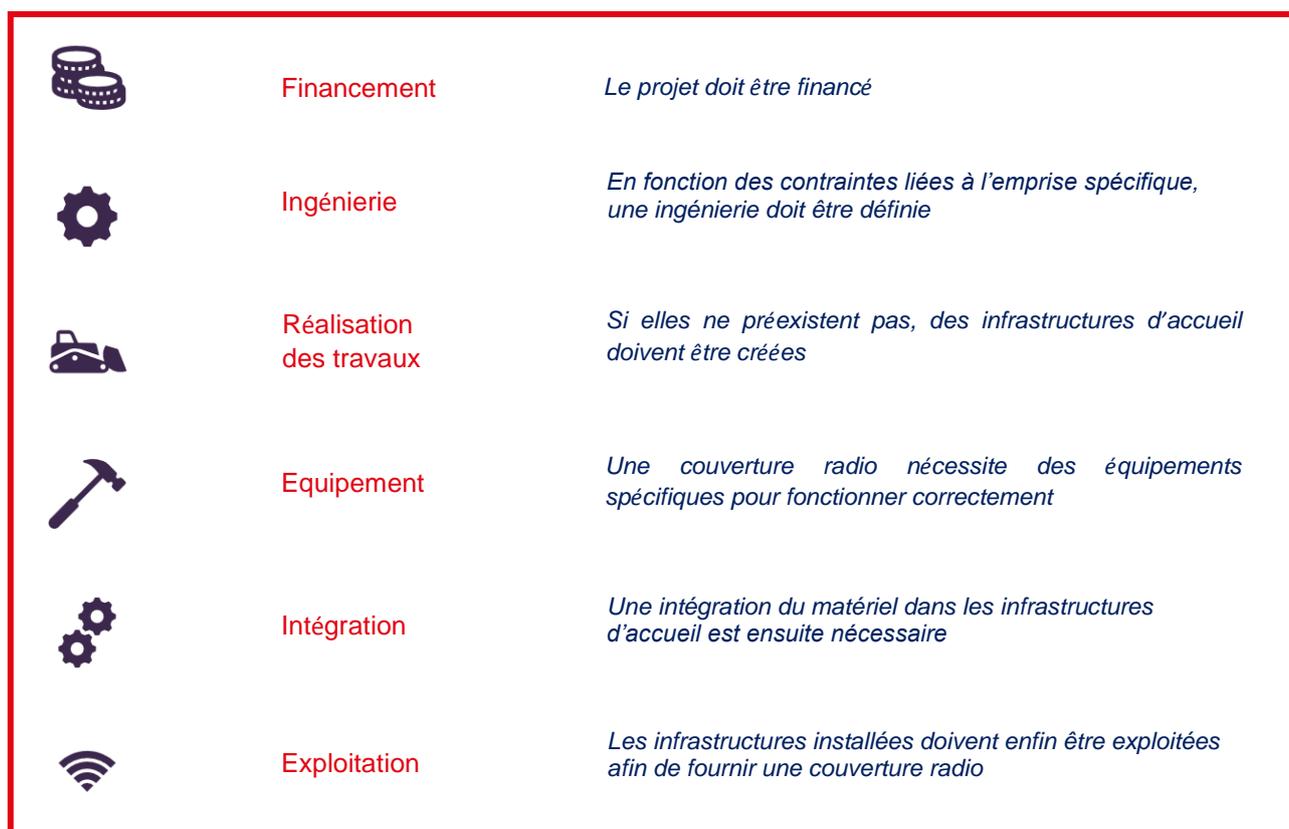


Figure 16 - Les étapes de réalisation d'une couverture réseau spécifique

Les acteurs de cette réalisation

La création d'une architecture réseau spécifique nécessite l'intervention de différents acteurs, chacun selon ses compétences.

Afin de comprendre le marché de la connectivité des emprises spécifiques, il faut détailler les différentes familles d'acteurs du secteur.

La figure ci-dessous fait apparaître les principaux acteurs des différentes catégories identifiées.

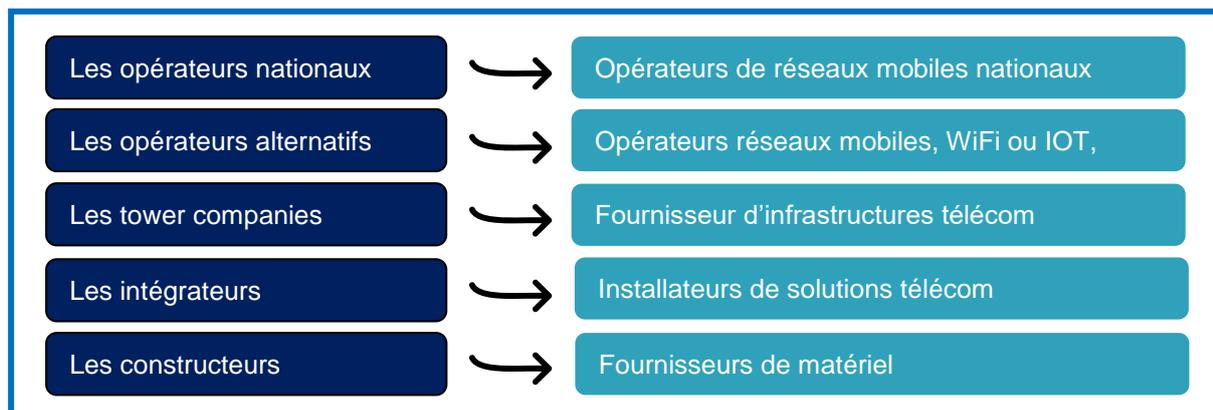
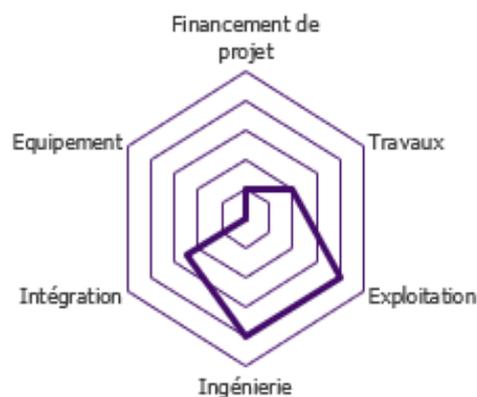


Figure 17 - Les familles d'acteurs

Les opérateurs mobiles nationaux

Les opérateurs nationaux fournissent différents services mobiles à leurs clients. Ils fournissent les cartes SIM rendant possible l'accès au réseau mobile de l'opérateur, la facturation et l'assistance aux clients. Ils s'occupent aussi de la construction, de l'opération ainsi que de l'exploitation des réseaux téléphoniques. Dans le cadre de l'accord New Deal Mobile annoncé en janvier 2018 et retranscrit dans leurs licences modifiées en juillet 2018, les opérateurs mobiles métropolitains (Bouygues Télécom, Free, Orange et SFR), sont tenus d'équiper l'ensemble de leurs sites existants (2G / 3G) et nouveaux sites en 4G.

Les opérateurs prennent en charge le développement et les coûts des infrastructures réseau extérieures et sont tenus, dans le cadre du New Deal Mobile, de respecter différentes obligations relatives à la couverture à l'intérieur des bâtiments :



Voix sur Wi-Fi

Le titulaire est tenu, d'une part, au plus tard le 31 décembre 2018, de mettre en service la voix et les SMS sur Wi-Fi sur son cœur de réseau et de permettre à ses clients ayant une offre grand public post payée non bloquée et un terminal compatible d'activer l'option voix sur Wi-Fi, et, d'autre part, au plus tard le 1er octobre 2019, de permettre à ses clients ayant une offre grand public post payée non bloquée et un terminal compatible d'activer les options voix et SMS sur Wi-Fi. Il est également tenu d'informer ses clients éligibles de la disponibilité des options et de la méthode permettant de les activer. Il est enfin tenu de tout mettre en œuvre pour permettre au 31 décembre 2019 à au moins 80% des clients ayant un terminal compatible d'activer les options voix et SMS sur Wi-Fi.

Amélioration de la couverture mobile à l'intérieur des bâtiments

Le titulaire est tenu de commercialiser au plus tard le 31 décembre 2018 une offre permettant aux entreprises ou aux personnes publiques qui en font la demande d'obtenir, pour un tarif raisonnable, une amélioration de la couverture des services de radiotéléphonie mobile et d'accès mobile à très haut débit à l'intérieur des bâtiments qui permette aux occupants et visiteurs de ces bâtiments d'avoir accès à la couverture des réseaux mobiles ouverts au public des autres opérateurs soumis à la même obligation. Pour ce faire, le titulaire peut recourir à toutes solutions technologiques adéquates, telles que la voix et les SMS sur Wi-Fi, les pico-cellules, les répéteurs, les systèmes d'antennes distribués (DAS) etc.

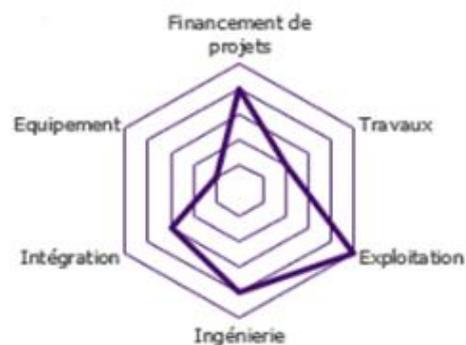
Lorsque l'offre mentionnée au paragraphe précédent est souscrite auprès d'un opérateur mobile soumis à la même obligation, le titulaire est tenu de faire droit à la demande dudit opérateur de rendre disponibles ses services de radiotéléphonie mobile et d'accès mobile à très haut débit à l'intérieur des bâtiments concernés, dans des conditions techniques et tarifaires raisonnables.

Le fait que cette obligation ait été ajoutée aux licences des opérateurs mobile corrobore le constat que les opérateurs mobiles sont aujourd'hui peu mobilisés pour apporter des réponses aux problèmes de couverture réseau des emprises spécifiques. Et leurs offres, quand ils en font, sont proposées aux entreprises, bailleurs et pouvoirs publics, sur mesure.

Les opérateurs alternatifs

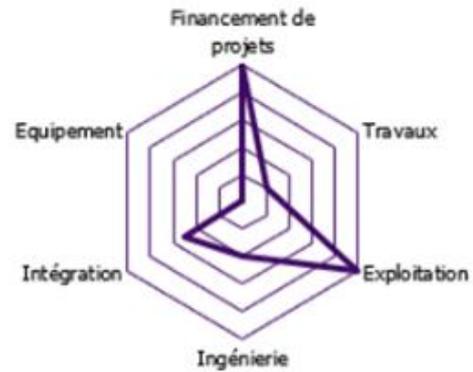
Les opérateurs alternatifs détaillés sont des opérateurs de réseau Wi-Fi comme Noodo, Wi-First, Nomosphère ou des opérateurs de Wi-Fi / réseau mobile comme HubOne. A la manière des opérateurs nationaux ils construisent, opèrent et exploitent des réseaux dans des emprises spécifiques.

La couverture d'emprises spécifiques est beaucoup plus proche de leur cœur de métier. Les réseaux alternatifs peuvent parfois représenter une alternative au défaut de couverture radio mobile par les opérateurs nationaux. Le Wi-Fi vient alors combler le manque de 3G/4G lorsque celui-ci n'est pas prévu dans le projet.



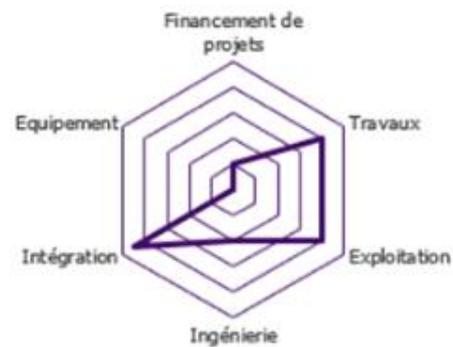
Les opérateurs d'infrastructures antennaires ou « tower companies »

Les « tower companies » ou (tower co) ont pour métier l'acquisition et la construction d'infrastructure de support des relais des opérateurs de réseaux sans fil (mobile, IoT - Internet des Objets, radio, etc.) qu'il s'agisse de pylônes ou de toit terrasse. Elles n'ont, a priori, aujourd'hui pas beaucoup d'influence directe sur le marché de la couverture réseau intérieure. Les acteurs tels que TDF, ATC ou Cellnex sont des tower co et sont légitimes pour développer des projets d'infrastructures radios intérieures. Ils se positionnent alors en opérateur neutre louant des installations aux opérateurs nationaux. TDF a réalisé sur ce modèle la couverture radio du métro de Rennes, inauguré en octobre 2018.



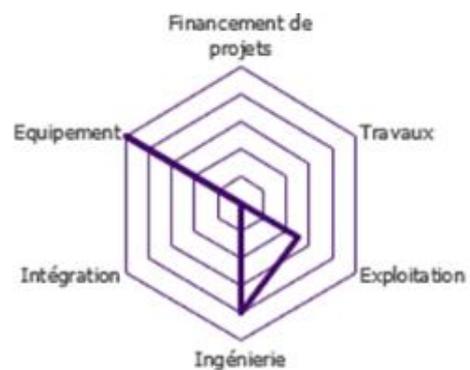
Les intégrateurs

Les intégrateurs (Axians, Axione, Eiffage, Engie, Sade Telecom, Scopelec, Snel, Sogetrel, Spie, etc.) réalisent les travaux d'installation en tant que sous-traitants des opérateurs nationaux ou des tower co. Ils possèdent le savoir-faire et l'expertise technique. La réalisation de couverture radio spécifique ne pose pas de problème technique particulier aux intégrateurs, qui savent réaliser ce type d'installation. Pourtant, ces installations ne constituent pas aujourd'hui leur cœur de métier.



Les constructeurs

Les constructeurs de matériel (Aruba, Cisco, Commscope, Ericsson, Kathrein, Huawei, Kerlink, etc.), possèdent un large panel de compétences, dont la réalisation du matériel antenne (actif) nécessaire à la construction d'infrastructures réseaux. Chaque évolution technologique est l'occasion pour eux de se positionner.



Les certificateurs

De nouveaux acteurs du métier de la certification sont apparus ces dernières années afin d'évaluer de manière objective les niveaux de connectivité au sein des bâtiments à usage professionnels. Ces nouvelles certifications visent à donner des garanties aux preneurs de ces espaces sur la facilité (locaux technique, présence de cheminement...) d'y mettre en œuvre des réseaux filaires et sans fil. Ces certifications intègrent également la prise en compte de réserves relatives à la mise en œuvre de solutions d'extension de la couverture des réseaux mobiles.

La société américaine Wirescore est la première à avoir introduit ce type de certification en France en 2016. Elle est suivie depuis 2018 du label R2S qui émane de la Smart Building Association (SBA).

Comparaison des compétences de chacun

Chaque acteur possède des compétences particulières spécifiques en fonction de son domaine d'activité. La représentation graphique ci-dessous permet de visualiser les compétences clés de chaque type d'acteur et de les comparer. L'amélioration de la couverture radio de structures spécifiques est rarement le cœur de métier des acteurs précédemment détaillés.

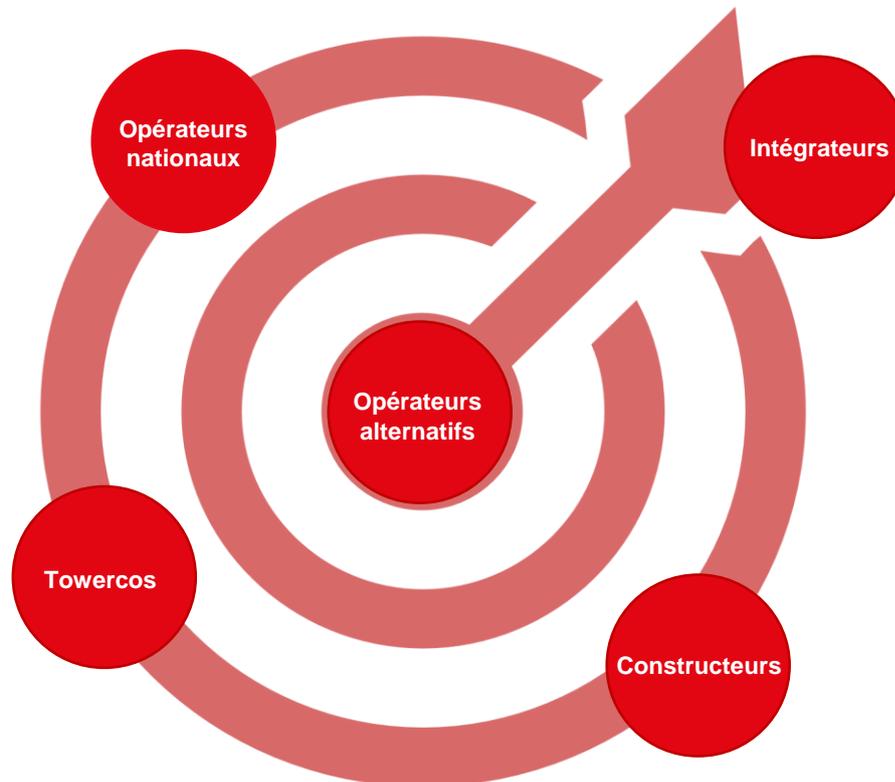


Figure 19 - La couverture d'emplacements spécifiques est rarement le cœur de métier des acteurs

Les caractéristiques du marché

Le marché de la connectivité sans fil des emprises spécifiques aujourd'hui

	Parc d'équipements (nombre total d'équipements)	Flux d'équipements 2018 (Evolution du parc et renouvellement des infrastructures)
Wi-Fi	400 000	80 000 à 90 000
Mobile	1 000	200 à 300

La mise en œuvre des réseaux Wi-Fi s'est beaucoup professionnalisée durant la dernière décennie avec la montée en compétence parallèle des fournisseurs et des clients. Le Wi-Fi conserve toutefois des limites intrinsèques déjà évoquées, notamment en termes de qualité de service, et qui sont couramment constatées dans les zones ouvertes au public. Toutefois son rapport qualité-prix est apprécié des clients. Cela explique la dominance actuelle de cette technologie

Si le marché du Wi-Fi restait relativement stable dans les années à venir, le marché mobile de couverture spécifique pourrait être multiplié par 15 d'ici 5 ans pour atteindre 750 M€, sous réserve de la levée de certains blocages actuels.

Les freins du marché

Plusieurs verrous expliquent le faible développement du marché de la couverture mobile au sein des bâtiments, enceintes et infrastructures spécifiques par rapport à celui du Wi-Fi.

Le prix

400 000 € est le coût moyen d'une infrastructure radio spécifique pour un bâtiment de plus de 50 000 m² (sans l'installation des relais opérateurs qui peut s'élever à 80 000 € par opérateur) en 2018

La réalisation de ce type de projet a un coût élevé, qui freine le développement du marché. Ce coût s'explique par deux raisons :

- Le matériel et l'installation d'une infrastructure de couverture radio au sein de bâtis, structures et enceintes spécifiques coûtent cher
- Les prix pratiqués par les opérateurs pour le raccordement à leurs réseaux sont également significatifs.

La compréhension de la problématique

Peu de maitres d'ouvrage appréhendent bien la question de la connectivité sans fil des emprises spécifiques.

- Beaucoup de maitres d'ouvrage ne se tournent que vers les opérateurs mobiles, faute de connaître les acteurs alternatifs.
- Les installations Wi-Fi sont nombreuses et elles pallient, dans une certaine mesure seulement, les problèmes de couverture mobile.

La rédaction du présent document vise justement à mieux faire comprendre les enjeux et les solutions disponibles.

06

Les futurs usages et technologies

La 5G bousculera les usages et les infrastructures

Qu'est-ce que la 5G ?

Depuis un an ou deux, la 5G prend une place prépondérante dans les publications du secteur des télécoms : on tend à lui assimiler toutes les innovations technologiques. Il convient de décrire les caractéristiques de cette nouvelle technologie car elle est amenée prochainement à être mise en œuvre dans le monde entier.

La 5G est régie par l'organisme 3GPP. Il s'agit d'un institut mondial résultant d'un partenariat public-privé ayant pour fonction de fédérer les standards des réseaux mobiles. Y sont associés, entre autres, six organismes de standardisations « régionaux » (ARIB, CCSA, TTA, ATIS, TTC et ETSI).

3GPP s'est créé en 1999 pour définir la norme UMTS (3G) dans le prolongement des travaux de normalisation que l'ETSI avait réalisés seule pour le GSM (2G). Contrairement aux technologies précédentes (GSM, UMTS et LTE) auxquelles on a affecté des chiffres de générations (XG) a posteriori pour faciliter leur commercialisation, la dénomination de 5G a été directement choisie par le 3GPP dès son évocation.

Dans le cadre des réseaux mobiles, on assimile historiquement les basculements technologiques des changements d' « interface air », c'est-à-dire de changement du format des signaux qui sont échangés entre les relais et les terminaux. Ainsi depuis le début des années 1980, un basculement de ce type a lieu à peu près tous les dix ans.

Toutefois, les évolutions technologiques ne se limitent pas à ceux-ci. En effet, tous les deux ans environ, le 3GPP publie de nouveaux standards (appelés « release ») sur lesquels les industriels s'appuient pour faire évoluer leurs lignes de produit.



Figure 20 - Historique de la publication des standards par le 3GPP depuis 1999

La 5G correspond à la « release 15 » dont une première version de standard a été publiée en décembre 2017. Afin d'établir cette standardisation, les acteurs membres du 3GPP représentant les principaux opérateurs et équipementiers mondiaux se sont réunis pour définir les objectifs fonctionnels de la 5G.

De cette consultation ressort les trois axes de développement que l'on retrouve dans le triptyque habituel suivant :

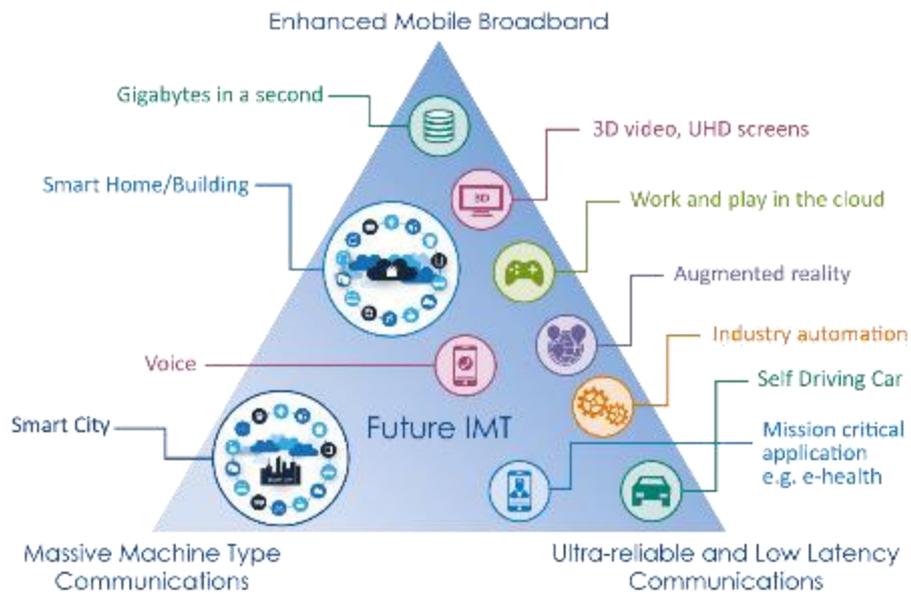


Figure 21 - Objectifs affichés par la 5G

Les trois promesses qui suivent correspondent à chaque pointe du triangle :

- Accroissement des débits de transmission de données
- Augmentation des capacités d'interconnexion d'objets
- Réduction des temps de latence lors des communications

Pour atteindre ces objectifs, la 5G compte sur les innovations suivantes :

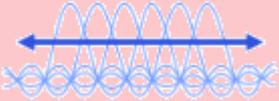
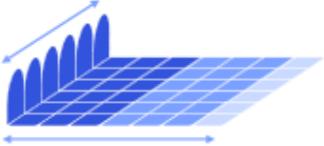
<p>Scalable OFDM based air-interface</p> 	<p>S'il l'on conserve la modulation OFDM déjà adoptée pour la 4G, la 5G prévoit de paramétrer des sous-porteuses de largeur de bande plus large que les 180 kHz actuels afin de se décliner sur les bandes de fréquences plus larges prévues par la 5G → Accroissement des débits</p>
<p>Flexible slot based framework</p> 	<p>La 5G rend plus « flux-flexible » la déclinaison des différents flux de données sur la trame d'envoi → Réduction de la latence associée à certains flux</p>
<p>Advanced channel coding</p> 	<p>La 5G s'appuie sur de nouvelles techniques de codage sur les signaux radio permettant d'accroître le nombre de bit transmis par hertz de signal → Accroissement des débits</p>
<p>Massive MiMo</p> 	<p>Si la fonctionnalité MiMo ne date pas de la 5G, cette dernière en améliorera les performances pour ce qui relève de la liaison montante → Accroissement des débits</p>
<p>Mobile mmWave</p> 	<p>La 5G prévoit de se décliner sur des bandes plus hautes que celles utilisées jusqu'à maintenant (ex. 26 GHz). Il s'agit des bandes dites « millimétriques » car la longueur d'onde des signaux y est de l'ordre du millimètre. Ces bandes possèdent du spectre disponible en abondante quantité → Accroissement des débits</p>

Figure 22 - Innovations technologiques propres à la 5G

Les promesses de la 5G s'inscrivent naturellement dans le prolongement de ce qui a déjà été réalisé dans la technologie 4G. En effet, la 4G a standardisé dans ses dernières releases (13 et 14) les technologies LTE-M et NB-IoT destinées à développer des services d'objets connectés. Les temps de latence des communications ont également été ramenés de plusieurs secondes en 3G à environ 10 ms en 4G ce qui représente un gain conséquent.

La 5G, à ses débuts, se focalisera sur la résolution de la problématique de saturation des réseaux 4G actuels. Celle-ci s'observe principalement dans les zones denses. Cette orientation a été prise à la publication des premiers jets de standardisation de la release 15 et sera réaffirmée par la release 16. Afin de démarrer rapidement, les premiers réseaux 5G utiliseront un canal de contrôle 4G pour opérer. Il s'agit de la version dite « Non Stand Alone » de la 5G. Il faudra attendre quelques mois de plus pour que soient déployés des réseaux 5G indépendants de la 4G (version dite « Stand Alone »).

Pour accompagner l'essor de la 5G, les régulateurs ont identifié de nouvelles ressources spectrales à lui attribuer.

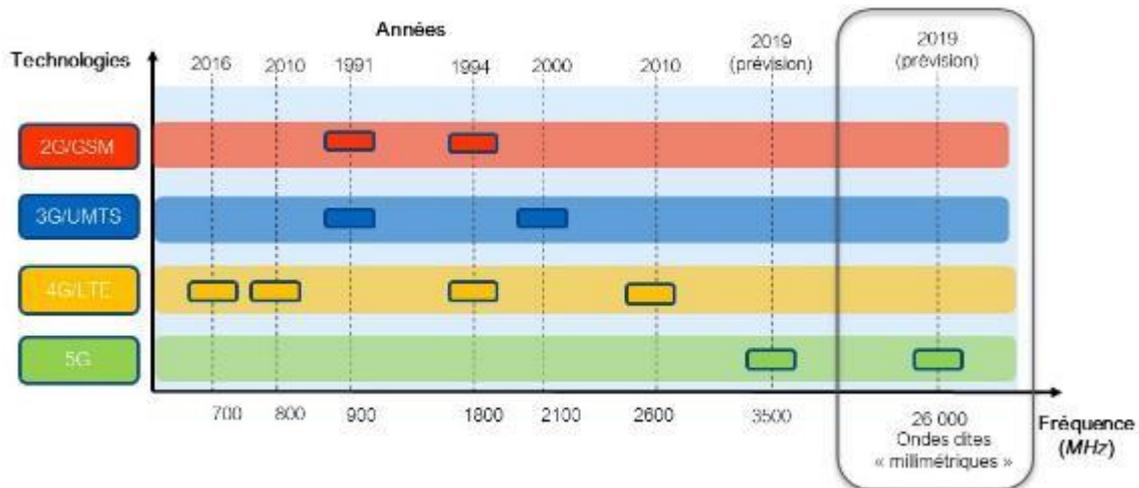


Figure 23 - Tableau de répartition des fréquences aux réseaux mobiles

On retrouve comme cible principale la bande dite des « 3,5GHz ». Cette bande s'étend des fréquences 3,4 à 3,8 GHz et offre 400 MHz de spectre potentiellement exploitable. Historiquement réservée aux usages BLR, cette bande n'a, jusqu'à maintenant, jamais été utilisée avec succès. Elle est aujourd'hui destinée à être utilisée par les opérateurs mobiles afin d'accroître la capacité de leurs réseaux dans les zones urbaines.

On retrouve dans les cibles d'usage potentiel la bande des 26 GHz, jusqu'à maintenant utilisée pour des communications dites « point à point ». Si cette bande offre du spectre en abondance, il ne faut pas en oublier les limitations de propagations. La transmission y sera possible sur de courtes distances et sans obstacle (ligne de vue). Il est inconcevable de couvrir la surface d'une ville à ces hautes fréquences.

Afin de permettre des couvertures larges, la 5G devrait utiliser la bande 700 MHz, l'une des bandes dites *pionnières* de la 5G d'après la Commission Européenne.

Enfin, la 5G aura vocation à se décliner sur les bandes de fréquences déjà utilisées dans une logique de convergence technologique. A moyen terme, la 5G devrait se retrouver sur l'ensemble du spectre de fréquences affecté aux opérateurs.

Les évolutions des réseaux déjà en cours sans attendre la 5G

Comme évoqué dans la section précédente, la 5G est l'innovation technologique majeure agitant tout le secteur des télécoms. Nombreuses sont les innovations qui apparaissent ou vont apparaître sur le marché qui lui sont d'ailleurs attribuées à tort.

Les innovations suivantes, initiées avec la technologie 4G, continueront leur développement dans le cadre de la 5G :



Figure 24 - Innovations initiées avec la 4G

Les défis de la 5G

La mise en œuvre de la 5G présente de nombreux défis qui ne seront pas tous relevés même à moyen terme :

Acquisition de points hauts : l'usage de la 5G obligera les opérateurs à densifier le nombre d'antennes dans les zones urbaines, voire à installer des antennes au niveau de la voirie. Or il existe de nombreuses oppositions sociétales à la mise en œuvre de ces attentes.

Monétisation : le déploiement massif de la 5G requerra des investissements massifs de la part des opérateurs mobiles. Monétiser ces investissements auprès des abonnés sera un défi dans un contexte de guerre de prix permanente.

Pénétration indoor : viser les très hauts débits implique l'usage de hautes fréquences et de signaux à bande large, qui rendent encore plus difficile la pénétration à l'intérieur des bâtiments. De surcroît, c'est dans ces derniers que le trafic de données est amené à croître le plus. La couverture indoor devrait devenir une préoccupation majeure pour les opérateurs.

Régulation : contrairement aux attributions de fréquences précédentes, la couverture complète du territoire en s'appuyant sur des fréquences élevées n'est pas réaliste du point de vue économique. L'autorité de régulation sera contrainte de trouver le juste équilibre entre les contraintes économiques et l'égalité des territoires dans la mise en œuvre de sa politique.

Propriétés des ondes millimétriques : les réseaux opérant sur des fréquences de 26 GHz auront des portées très limitées et verront celles-ci très sensibles aux obstacles. Trouver des usages qui intègrent ces contraintes constituera un défi.

5G fixe : la 5G est plébiscitée aux Etats-Unis pour répondre à la problématique du raccordement des zones rurales au haut débit. Ce débouché est moins attractif en France dans la mesure où l'Etat pilote un plan de fibrage du territoire.

Impact pour la couverture indoor

Ainsi, les caractéristiques de la 5G se combinent à d'autres facteurs de sorte que la couverture indoor deviendra un sujet majeur pour les opérateurs de la 5G :

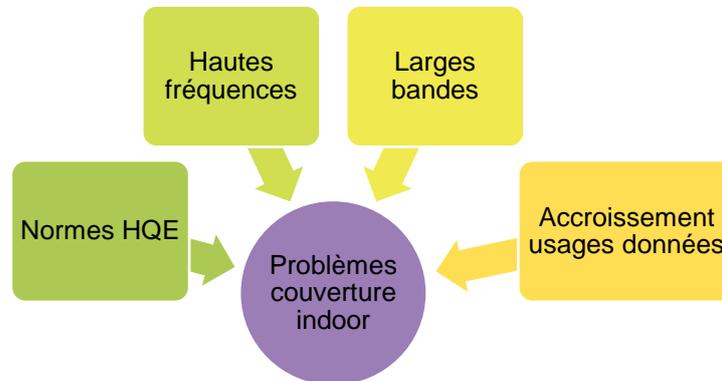


Figure 25 - Forces interagissant autour de la couverture indoor

L'accroissement envisagé des usages mobiles dans les logements, en partie dû aux nouvelles offres de forfaits à débit « illimité », apparaît d'ores et déjà comme un défi majeur pour les opérateurs.

Anticiper la mise en œuvre des solutions réseaux dédiées permettant à terme l'intégration de la 5G est aussi un des enjeux majeurs pour les acteurs de la construction.

De nouvelles relations entre les acteurs de l'immobilier (bailleur, preneur) et les opérateurs sont également à développer afin de fluidifier la mise en œuvre des solutions de couverture radio des emprises spécifiques.

Conclusions

S'il n'existe aucun doute quant à la future adoption de la 5G dans le secteur des télécoms, il convient de rester prudent sur la perception véritable qu'aura le public de cette technologie. A ce stade, le principal apport de la 5G consistera en la désaturation du trafic des réseaux opérateurs dans les zones denses (prévu dès 2020).

La mise en œuvre de ses autres fonctionnalités emblématiques dépendra de l'adoption par les différents écosystèmes des cas d'usages variés (voitures connectées, télévision, industrie...) qu'elle rend possibles.

Les réseaux nécessaires à l'utilisation des objets connectés

Historique et définition

L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) donne une définition assez large de l'Internet des objets : « une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ».

Tout objet qui peut se connecter à un réseau est un objet dit « connecté ». Les objets ne se connectent pas uniquement à l'Internet. Il est possible de raccorder les objets à des réseaux privés (plus courant dans l'industrie, notamment pour la gestion technique des bâtiments et dans le secteur de la sécurité).

Si l'on retrouve des objets connectés dans divers secteurs de la vie courante, le monde professionnel constitue la cible de choix pour le développement de ce type d'application.



Figure 26 - Applications s'appuyant sur les objets connectés

Les objets connectés le sont généralement via des réseaux filaires. Toutefois, dans les deux cas de figures suivants, la connexion de l'objet se fait via un réseau sans fil :

- L'objet est mobile.
- Ou bien il est techniquement infaisable ou économiquement déraisonnable de le connecter via un réseau filaire.

Ce Livre Blanc est logiquement focalisé sur le réseau d'Internet des objets sans fil.

Comme le montre la figure qui suit, les réseaux sans fil d'Internet des objets ont une existence déjà ancienne.

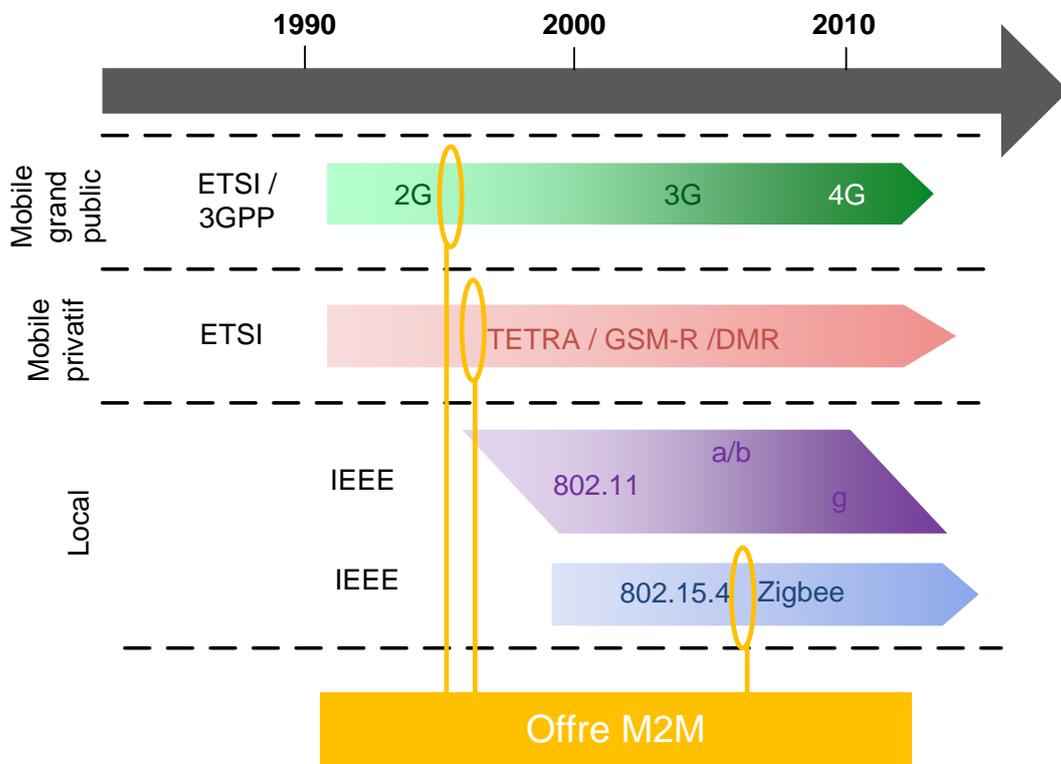


Figure 27 - Historique des solutions de M2M sans fil

La communication entre objets est une composante intégrante des **réseaux PMR** « historiques ». C'était particulièrement le cas dans le domaine du transport où les véhicules (métro, bus, tramway, train...) sont de longue date connectés via des réseaux sans fil (TETRA, GSM-R, etc.) à leurs postes de contrôle de rattachement.

En parallèle des forfaits de radiotéléphonie, les opérateurs de téléphonie mobile n'ont pas tardé, quant à eux, à proposer des offres dites de « Machine to Machine » (ou **M2M**) destinées spécifiquement à l'interconnexion d'objets.

Enfin, des solutions de connectivité « locales » ont été déclinées à partir du standard IEEE 802. On retrouve ainsi la technologie Zigbee qui s'est développée avec un certain succès dans le domaine du bâtiment. Il faut noter que le Wi-Fi reste également abondamment utilisé dans le cadre d'applications locales.

L'usage de ces technologies s'est retrouvé au carrefour de différents secteurs (informatique, transport, logistique, bâtiment, etc.). Les freins à une adoption plus massive ont été les suivants :

- Coûts d'accès à la technologie (modem, abonnement...)
- Consommation électrique importante
- Complexité de mise en œuvre et gestion (paramétrage...)

Emergence de nouvelles technologies

Cet écosystème a été fortement bousculé au début des années 2010 par de nouveaux acteurs qui ont pris le parti d'attaquer le marché par le « bas », c'est à dire de mener délibérément une politique d'offre en proposant des services à faibles coûts de mise en œuvre et d'exploitation, destinés principalement au marché des capteurs. Les offres historiques étaient en effet largement surdimensionnées pour ce type d'application dont l'usage se limite à l'envoi de quelques messages courts par jour.

Ce constat a conduit de nouveaux acteurs à développer des technologies aux antipodes des grandes tendances du secteur des télécommunications qui pouvaient se résumer jusqu'alors à « des débits toujours plus élevés ».

Ces nouvelles technologies s'appuient sur :

- Une canalisation de fréquence très étroite qui permet des liaisons sur des longues distances
- Un protocole d'échange très simplifié qui permet de réduire la consommation électrique des modems

De manière très astucieuse, les nouveaux acteurs ont contourné le besoin d'attribution de spectre en utilisant des bandes de fréquences dites « libres » pour opérer ces nouveaux réseaux. La cible de choix s'est portée sur la bande 868 MHz qui était initialement ciblée pour les usages de communications directes (sans réseau) à courte distance. Ces technologies relèvent désormais de la dénomination LPWAN (Low Power Wide Area Network).

Sigfox a été le premier acteur à proposer une offre de service basée sur ce type de technologie avec l'ambition de déployer un réseau à l'échelle mondiale. Il propose des abonnements sans carte SIM à des coûts très faibles (1 à 5 euros par an selon la quantité) pour un nombre de communications limité dans la journée. Une particularité forte de SigFox est d'être à la fois opérateur et constructeur. Il reste donc entièrement propriétaire de sa technologie qu'il réserve à son usage propre.

Cette situation a conduit d'autres acteurs à développer une technologie similaire concurrente. Il s'agit de la technologie LoRa, créée à l'initiative du fabricant de puces « Semtech » et désormais sous l'égide de l'alliance LoRa.

L'émergence de ce nouveau type de service a pris les opérateurs de téléphonie mobile au dépourvu, tout comme l'organisme mondial 3GPP chargé de définir les standards des réseaux mobiles.

La première réaction des opérateurs de téléphonie mobile a été de proposer de nouveaux services basés sur ces nouvelles technologies LPWAN. En France, les opérateurs Orange et Bouygues Télécom ont lancé des offres de services LoRa, là où SFR a préféré faire alliance avec Sigfox.

A plus long terme, les opérateurs de téléphonie mobile cherchent à reprendre l'avantage sur ce nouveau marché grâce à de nouvelles technologies développées par le 3GPP (LTE-M et NB-IoT) spécifiquement pour ces usages. Ces technologies se présentent comme une « évolution » des réseaux existants (3G/4G), ce qui facilite leur déploiement, notamment à l'échelle d'un pays. La figure qui suit illustre de manière « allégorique » les évolutions du secteur dans la dernière décennie.

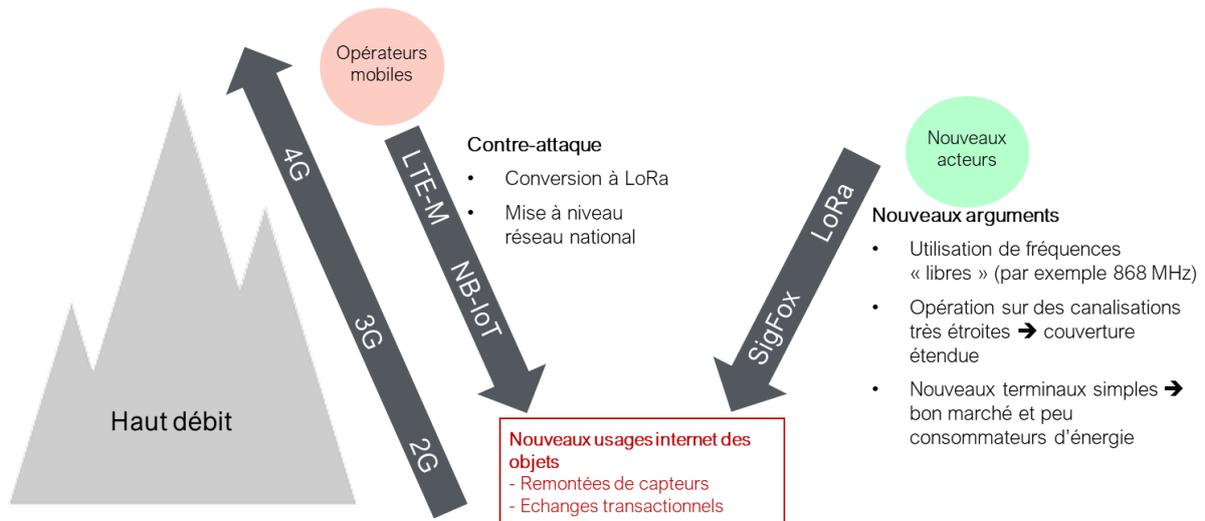


Figure 28 - Evolution des réseaux d'Internet des Objets sans fil

Si les technologies récemment standardisées par le 3GPP (NB-IoT et LTE-M) sont plus adaptées aux transmissions à faible débit de données que les technologies de réseaux mobiles 3G/4G, elles ne rejoignent toujours pas en simplicité les technologies LPWAN Sigfox et Lora. Ces dernières restent les plus à même d'adresser les usages dits de « capteurs ».

Pour autant, les technologies 3GPP pourraient trouver des débouchés commerciaux intéressants pour des usages à faible/moyen débit continu (borne, interphone...) et des flux transactionnels sécurisés (terminaux de paiement...). Si on ajoute les réseaux 3G/4G (et bientôt 5G) destinés à adresser les besoins d'Internet des objets à haut débit (caméra mobile...) on retrouve une segmentation des réseaux IoT en fonction du débit.



Figure 29 - Segmentation des réseaux Internet des objets sans fil

Comme indiqué dans les sections précédentes, l'Internet des objets constitue un des objectifs fonctionnels de la 5G. Il ne sera toutefois pas ciblé dans les premières versions de la standardisation de cette technologie. En effet, le premier objectif de la technologie sera d'accroître les débits pour répondre à la prochaine saturation des actuels réseaux 4G. De surcroît, la standardisation des technologies NB-IoT et LTE-M est récente. Il est donc logique d'attendre la mise en œuvre commerciale de ces technologies avant d'envisager de nouvelles évolutions.

Technologies et services IoT (Internet des objets)

Sigfox

Sigfox est le premier acteur à se positionner sur le marché des réseaux IoT LPWAN en 2009. La société présente l'originalité majeure de commercialiser des offres de services en s'appuyant sur une technologie qu'elle a développée elle-même et dont elle reste propriétaire. Sigfox a récemment ouvert son protocole radio aux développeurs et concepteurs d'objets connectés.



La technologie Sigfox s'inspire de protocoles de communication utilisés dans le domaine militaire et connus pour leur simplicité et robustesse. Sigfox a la particularité d'opérer son réseau avec une canalisation de fréquence très étroite (100 Hz). Cette caractéristique permet de réaliser des communications sur des distances très étendues et plus facilement au travers de bâtiments. A contrario, le réseau se limite à l'envoi ponctuel de messages de faible taille (12 octets).

L'accès au service se fait via la souscription à des abonnements intégrant une itinérance mondiale (là où le service est déployé), de quelques euros par an et par objet connecté, le prix variant selon le nombre de messages envoyés et le volume d'objets connectés.

Opération sur la bande libre des 868 MHz

Maximum 140 messages montants et 4 descendants (taille 12 octets) par jour

Alliance LoRa

L'alliance LoRa a été créée en 2015 pour permettre aux acteurs autres que Sigfox de se positionner sur le marché des réseaux IoT. Il s'agit d'un organisme à but non lucratif qui rassemble plus de 500 membres dans le monde entier. Elle encadre la standardisation de la technologie LPWAN LoRa dans le but de garantir l'interopérabilité entre les équipements réseaux.



Les réseaux LoRa offrent une flexibilité en matière d'utilisation des fréquences :

- Déclinaison spectrale → de 137 MHz et 1020 MHz
- Largeur de bande des porteuses → de 7,8 kHz à 500 kHz

La majeure partie des applications concrètes s'appuie sur l'utilisation de la bande libre 868 MHz avec une largeur de bande de 125 kHz. La technologie LoRa offre des débits variables (de 200 bits à 10 kbit/s), fonction du facteur d'étalement de spectre (ou spreading factor) défini et de la largeur de bande des signaux. Logiquement, la distance des communications diminue lorsque les débits augmentent.

Les opérateurs Orange et Bouygues Télécom (Objenious) proposent des abonnements LoRa à l'échelle nationale comprenant un nombre limité de messages courts quotidiens en liaison montante et descendante. Les réseaux LoRa sont également déployés par des tiers pour leurs usages propres, la plupart du temps pour des usages localisés. Ces derniers approvisionnent les relais auprès de fabricants télécom.

Accès au service via souscription à des abonnements (mobilité nationale) ou via le déploiement d'infrastructure en propre

Opération sur la bande libre des 868 MHz (ou 433 MHz)

Débits variables (200 bits à 10 kbits) fonction du facteur d'étalement et de la distance de couverture

Alliance Wize

L'alliance Wize s'est constituée en 2017 sous l'égide de GRDF, Suez et Sagemgroup avec pour ambition de proposer un service adapté à la télérelève de compteur. Les compteurs sont généralement installés dans des endroits cloisonnés, voire enterrés. En raison des obstacles, ils sont généralement hors de la couverture des réseaux mobiles, voire des réseaux des opérateurs LPWAN qui opèrent en bande 868 MHz.



Le pari de l'alliance Wize est de constituer des réseaux opérant dans la bande libre des 169 MHz dédiés aux applications de comptage sans fil. Les signaux de ces bandes de fréquences ont la propriété de mieux pénétrer les bâtiments.

La technologie relève du protocole Wireless M-Bus (standard EN 13757). Elle permet des débits variables entre 2,4 et 20 kbit/s en fonction des configurations. En pratique les usages se limitent à l'envoi de quelques messages quotidiens seulement, afin notamment de préserver la durée de vie des batteries des capteurs.

Bien qu'il s'agisse d'un système ouvert, ce type de réseau est plutôt mis en œuvre par des entreprises de service public sur des zones très étendues. En France, les sociétés Suez et GRDF l'ont déployé sur une part importante du territoire et ils proposent des offres destinées à des tiers, notamment des collectivités locales.

Accès au service via souscription à des abonnements (couverture régionale / nationale) ou via le déploiement d'infrastructure en propre
Opération sur la bande libre des 169 MHz
Débit variable (2,4 à 20 kbit/s)
Service ciblé sur l'interconnexion des compteurs

NB-IoT

Afin de riposter à l'essor des réseaux LPWAN, le 3GPP a conçu des technologies qui ont vocation à s'intégrer facilement aux réseaux actuels 2G/3G/4G des opérateurs, si possible par simple modification logicielle du parc de relais. Les technologies 3GPP ont vocation à être opérées sur du spectre « licencié » donc bénéficiant :



- D'une protection sur les éventuelles interférences
- D'une autorisation d'émission de signaux plus élevés

En juin 2016, le 3GPP a adopté les deux standards suivants destinés au marché de l'Internet des objets sans fil :

- NB-IoT
- EC-GSM

Le premier constitue une nouvelle technologie alors que le second standard est une évolution de la technologie GSM (2G) destinée à améliorer son adéquation avec les besoins IoT. Le EC-GSM suscite une faible adhésion dans le monde et ne semble pas voué à se concrétiser.

A l'inverse, la technologie NB-IoT semble trouver un meilleur essor. 24 opérateurs mondiaux ont annoncé leur décision de mettre en œuvre cette technologie parmi lesquels SFR en France.

Le NB-IoT ambitionne ouvertement de concurrencer les technologies LoRa et Sigfox. Le réseau opère sur un canal de 180 kHz déclinable sur l'ensemble du spectre attribué aux opérateurs, soit indépendamment, soit en combinaison avec les technologies 2G/3G/4G. Le signal de la liaison descendante est modulé en OFDM alors que celui de la liaison montante est modulé en SC-FMDA. Le NB-IoT offre des débits continus de 250 kbit/s montants et descendants.

Accès au service via souscription à des abonnements aux opérateurs mobiles qui ont activé la technologie (SFR)
Opération sur les bandes de fréquences opérateur (700 à 2600 MHz)
Canalisation de 180 kHz
Débit de 250 kbit/s

LTE-M

A l'inverse du NB-IoT, le LTE-M n'est pas une technologie nouvelle mais s'apparente plus à un bridage de la technologie LTE (4G). En effet du point de vue des infrastructures, le LTE-M consiste en la déclinaison du LTE sur une largeur de bande de 1,4 MHz, soit la plus étroite du standard. Le 3GPP a défini une nouvelle catégorie de terminal (M1) avec des spécifications allégées afin de diminuer sa consommation électrique.



La technologie LTE-M est ainsi conçue pour permettre des débits continus montants et descendants de 1 Mbit/s. Cela ne s'apparente plus à du bas débit mais plutôt à du moyen débit. L'opérateur Orange a annoncé en novembre 2018 le lancement d'une offre LTE-M à l'échelle nationale.

Accès au service via souscription à des abonnements aux opérateurs mobiles qui ont activé la technologie (Orange actuellement en France)

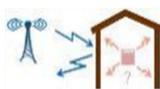
Opération sur les bandes de fréquences opérateurs (700 à 2600 MHz)

Canalisation de 1,4 Mbits

Débit de 1 Mbit/s

Différentes offres de service

On retrouve des propositions sous forme de réseau privé ou de souscription à un service rendu par un opérateur, service qui est alors dit « opéré » :

	Service Opéré	Réseau privé
Acteurs		
Contractualisation	 Souscription abonnement	 Déploiement solution réseau dédiée
Type de solution	 Déploiement solution réseau dédiée	 Couverture optimisée dans l'ensemble du bâtiment

Les services opérés sont incontournables pour répondre à des besoins :

- De mobilité dépassant les limites d'un immeuble ou d'une zone géographique délimitée
- De déploiement d'objets connectés sur de vastes étendues

Ils présentent l'avantage de la simplicité pour les clients abonnés dans la mesure où l'opérateur se charge entièrement de l'exploitation de la partie réseau. La couverture dite « naturelle » de ces derniers peut toutefois s'avérer insuffisante dans les bâtiments.

A l'inverse, la mise en œuvre de réseaux privés offre plus de flexibilité et permet des couvertures optimisées dans les bâtiments. Elle offre la possibilité de maintenir l'ensemble des flux de communication à l'intérieur de ce dernier, ce qui peut présenter un intérêt en matière de sécurité informatique. La mise en œuvre et l'exploitation de solutions réseaux dédiées requièrent toutefois des compétences informatiques et télécoms en interne.

Usages

On peut proposer une segmentation des objets selon les débits et l'étendue des zones de couverture comme suit :

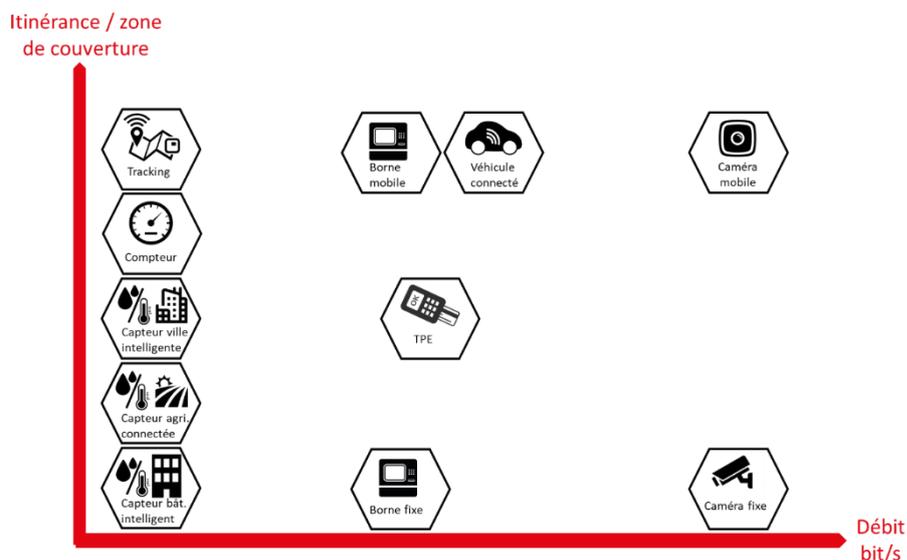


Figure 30 - Segmentation des usages de réseaux IoT

La correspondance entre ces usages et les offres de service est logiquement la suivante :

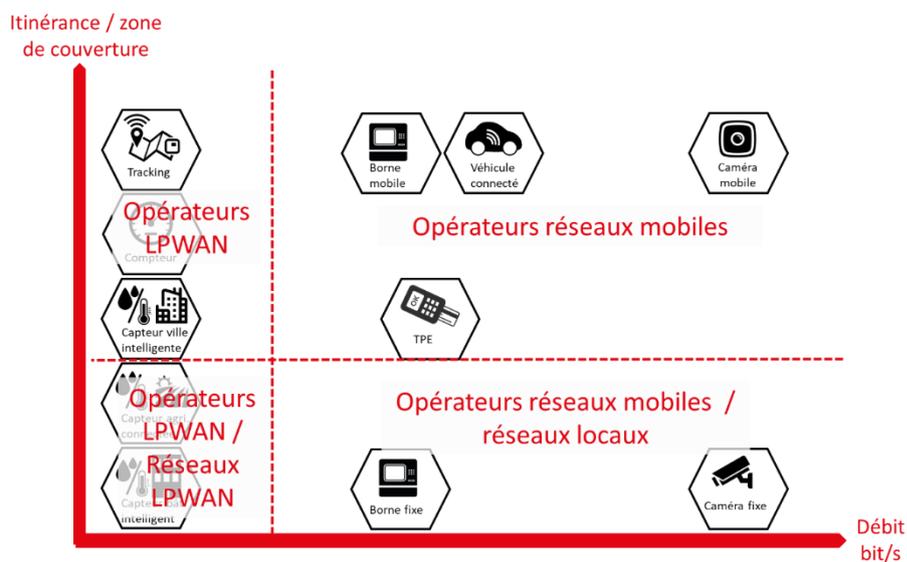


Figure 31 - Correspondance entre les usages et les offres de service

Un LPWAN est un réseau WAN (extérieur, large étendue) qui nécessite une faible consommation d'énergie (LP = « Low Power » en anglais). Ces réseaux peuvent nécessiter des extensions de couverture par des réseaux privés au sein d'entreprises spécifiques.

Impact pour la couverture indoor

La qualité du service en intérieur différencie les réseaux privés et les offres de service opéré. Ainsi, Sigfox a mis en avant l'argument de la pénétration naturelle des signaux de son réseau à l'intérieur des bâtiments lors du lancement de son service. Les opérateurs de la technologie Wize s'appuient sur cette caractéristique pour proposer des services de télérelève de compteurs.

Le degré de pénétration des signaux à l'intérieur des bâtiments intervient logiquement dans le choix de souscrire à un abonnement auprès d'un opérateur de réseaux IoT - Internet des Objets, ou de déployer un réseau privé.

De manière générale, la capacité d'un réseau à assurer un bon service à l'intérieur d'un bâtiment dépend des deux facteurs physiques suivants :

- **Fréquence d'opération** : plus la fréquence d'un signal RF est élevée, moins il pénètre facilement à l'intérieur d'un bâtiment
- **Largeur de bande** : plus la largeur de bande d'un signal RF est élevée, plus forte doit être sa puissance pour s'élever au-dessus du niveau de bruit. Or le flux de transmission haut débit requiert des largeurs de bande importantes.

Il est donc logique qu'un réseau LPWAN opérant sur la bande 169 MHz couvre, via ses antennes extérieures, un bâtiment plus facilement qu'un réseau 4G opérant sur la bande des 2600 MHz.

De même, lorsque l'on constate un déficit de couverture, les solutions palliatives ne relèvent pas forcément de la même catégorie pour les différentes solutions :

Comparatif des solutions palliatives à un déficit de couverture

RESEAUX	SOLUTION PALLIATIVE	COMMENTAIRES
LPWAN	Recours à la pose soit de répéteurs, soit de micro-relais à quelques endroits dans le bâtiment	Solution aux coûts modiques, déployées de manière opportuniste
Mobiles 2G/3G/4G	Nécessité de déployer une solution d'extension de couverture sur l'ensemble du bâtiment	Solution coûteuse requérant la mise en place d'un projet

Il est à noter que pour répondre à une volonté de rationalisation du déploiement d'équipement réseaux à l'intérieur des bâtiments, il est possible pour un réseau LPWAN d'utiliser (sous réserve de disponibilité de points d'injection) les solutions d'extension de la couverture des réseaux mobiles pour retransmettre les signaux dans les différents espaces.

Conclusion

Si l'émergence des réseaux IoT - Internet des Objets, offre de nouvelles possibilités d'innovation pour un nombre important de secteurs, il faut également reconnaître qu'elle a contribué à rendre la compréhension des différentes technologies et services plus difficile pour les acteurs non experts du secteur des télécoms.

Chaque technologie possède des spécificités particulièrement adaptées à certains segments de marché, ce qui devrait assurer sa pérennisation à long terme.

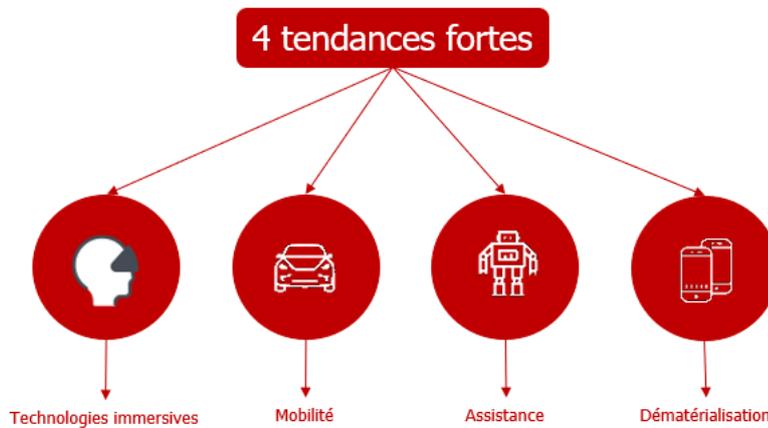
La spécialisation de ces technologies constitue un frein à une adoption plus large et donc au développement du marché.

Les usages prospectifs à envisager dans un projet de couverture radio

Depuis plus de quinze ans la digitalisation de la société française se poursuit à tambour battant. Les équipements se renouvellent et s'ajoutent les uns aux autres, les technologies évoluent et se succèdent à un rythme toujours plus soutenu. Les équipements nomades se multiplient et le nombre de smartphones explose.

41 % des individus possèdent aujourd'hui une tablette en France (Baromètre 2018 du numérique)

Quatre tendances fortes influencent les innovations à venir ainsi que leur impact sur la consommation de données mobiles.



L'avènement des technologies immersives

La réalité augmentée et la réalité virtuelle commencent dès aujourd'hui à faire parler d'elles. Leurs multiples applications sont pleines de promesses à la fois pour le monde des loisirs mais aussi pour celui, professionnel, de la médecine ou de l'industrie.

Grâce à la réalité augmentée il est notamment possible de garder contact avec le réel tout en l'agrémentant de détails virtuels. Le principe de la réalité virtuelle est quant à lui tout autre, il s'agit de plonger l'utilisateur dans un monde artificiel créé numériquement.

Les domaines de la médecine, ou de l'industrie mais aussi de l'éducation pourraient énormément bénéficier de la réalité augmentée.

La réalité augmentée n'a pas toujours besoin de connexion réseau mobile pour fonctionner seule. Ce sont ses applications réseaux et la transmission des informations utilisateurs qui sont consommatrices de données. Les jeux immersifs en réseau pourraient être à l'avenir de gros consommateurs de données mobiles.

Dans le secteur de l'éducation, l'utilisation de la réalité augmentée pourrait faire évoluer les manières d'enseigner en accroissant l'interactivité en classe. Cette technologie peut aussi permettre un enseignement pratique immersif, notamment dans le domaine de la médecine.

La mobilité

La mobilité est aujourd'hui au cœur de toutes les innovations. Les activités fixes et sédentaires tendent à se désolidariser de leurs lieux d'ancrage. Les usages se font nomades ce qui entraîne un besoin grandissant d'accès à des données en mobilité.

De même la mobilité accrue s'accompagne d'un changement d'habitudes global de la part des utilisateurs : ils cherchent en effet à optimiser leur temps et la qualité de leur connexion.

La multiplication des usages nécessitant une connexion réseau de qualité déclenche une évolution des attentes utilisateurs. Ceux-ci se font plus exigeants et supportent de moins en moins l'absence de connexion ou sa mauvaise qualité.

Les besoins en données en mobilité vont continuer à augmenter dans les années à venir, et les réseaux 3G/4G, IoT - Internet des Objets, et Wi-Fi sont donc indispensables afin de satisfaire ces besoins en connectivité, même à domicile :

55% des Français privilégient la connexion mobile au WiFi une fois à leur domicile (Baromètre 2018 du numérique)

Le partage des moyens de transport nécessite une desserte radio sans couture afin de gérer le parc et le partage des véhicules. Avec l'arrivée des transports autonomes, la connexion fiable et sans couture au réseau mobile devient une nécessité.

L'assistance à la réalisation de tâches

Aujourd'hui le nombre d'assistants explose. Les robots, les cobots⁷, les assistants personnels, les capteurs et autres objets connectés entrent dans nos maisons, dans les usines, les écoles et les hôpitaux.

La cobotique, ou l'art de faire travailler ensemble robots et humains a aujourd'hui le vent en poupe. Le robot dans ce cadre intervient de deux manières différentes :

- En tant que « troisième main », pour décharger l'humain par exemple des tâches de portages,
- En interagissant avec l'homme qui lui montre les tâches à accomplir.

Les assistants vocaux, connectés aux réseaux sans fil sont porteurs de nombreuses promesses, en termes d'achats intelligents mais aussi d'aide aux personnes.

En 2017, 19% de la population française déclare se servir régulièrement d'un assistant vocal

L'usage de la cobotique au sein des locaux de production nécessite la garantie d'un réseau sans couture couvrant la totalité des structures de production afin d'assurer le contrôle des robots en tout lieu.

⁷ Assistance robotique à l'humain

La dématérialisation

Des moyens de paiement, aux achats, en passant par les démarches administratives, nombreux sont les actes à être effectués à distance, sur mobile, tablette ou ordinateur et nécessitant de ce fait un accès aux réseaux sans fil.

Le paiement mobile s'impose de plus en plus comme un moyen de paiement au même titre que le liquide ou le chèque. Des magasins comme le concept store « Le Drugstore Français », issu d'un partenariat entre les groupes Casino et l'Oréal ont équipé leurs vendeurs de boîtier destinés à l'encaissement mobile.

Afin de sécuriser les paiements ou encore d'assurer l'accès aux données dématérialisées, une couverture réseau fiable et sans couture est nécessaire.

3G/4G, réseau IoT - Internet des Objets, et Wi-Fi sont ici encore indispensables afin de satisfaire ces besoins en connectivité intérieure.

07

**Bonnes
pratiques**

Pour améliorer la connectivité sans fil en emprise spécifique, quelques bonnes pratiques peuvent être proposées :

1

Se saisir du sujet

La formidable adoption de la technologie 4G rend désormais indispensable l'intégration des réseaux mobiles dans tous les projets de construction ou de réaménagement de bâtiments.

2

Anticiper

Il est important d'étudier la mise en œuvre des réseaux mobiles le plus tôt possible lorsqu'un projet de construction ou de réaménagement est initié. Une bonne anticipation facilite l'intégration des infrastructures réseaux dans l'emprise et offre la possibilité d'assurer l'esthétique globale.

3

Recueillir les besoins

Il est essentiel de recueillir au démarrage d'un projet l'ensemble des besoins et attentes vis-à-vis des réseaux sans fil et de déterminer les données de dimensionnement pour chacune d'elles (trafic, surface, ...).

4

Examiner plusieurs solutions pour choisir la meilleure

Plusieurs types de solutions existent et devraient être envisagées. De même plusieurs types de prestataires potentiels existent et devraient être consultés.

5

Rationaliser

Traiter en commun les projets de mise en œuvre des réseaux radio ouvre des possibilités de synergie, qu'il s'agisse de la mutualisation d'équipements réseaux (antenne, fibre, etc.) ou de partage d'équipements d'aménagement (local technique, chemin de câble, etc.)

Cela permet également d'appréhender au plus tôt les éventuels problèmes de cohabitation électromagnétique (CEM) pouvant dégrader les performances des réseaux et de proposer les mesures de précaution adéquates.

6

Prévoir à long terme

La durée de vie d'un projet immobilier est généralement de l'ordre d'une quinzaine d'année. La mise en œuvre et l'exploitation des réseaux mobiles doit se caler sur une durée équivalente. Il faut donc comparer les solutions en se basant sur leur coût de revient à cet horizon, anticiper sur les évolutions et le traitement de l'obsolescence, et enfin prendre en compte les contraintes de maintenabilité dans le choix de la solution à mettre en œuvre.

08

Lexique

3GPP ou 3rd Generation Partnership Project (3GPP) : un organisme de standardisation en télécommunications chargées de définir les standards des réseaux mobiles.

AP : bornes Wi-Fi, (*Access Point*)

BTS : “base transceiver station” (en français, station de transmission de base ou station émettrice-réceptrice de base); un des éléments de base du système cellulaire de téléphonie mobile, aussi appelé antenne relais.

Certification BREEAM : cet acronyme signifie *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*. Cette méthode permet d'évaluer les bâtiments en fonction de leur comportement environnemental a été développée par le Building Research Establishment (organisme privé britannique de recherche, spécialisé dans le secteur du bâtiment).

Certification HQE : datant de 2004, il s'agit d'un concept environnemental français visant à la réduction des impacts environnementaux de la construction ou rénovation de bâtiments. La certification « NF Ouvrage Démarche HQE® » est délivrée par l'AFNOR (Association française de normalisation) aux bâtiments remplissant les critères. La certification cible les économies d'énergie et incite les bailleurs à mettre en œuvre des vitrages à forte isolation thermique. Ces vitrages dégradent la pénétration des signaux radioélectriques à l'intérieur des bâtiments.

Connectivité : désigne la capacité d'un objet/personne à offrir des connexions avec une autre personne d'autres objet/personne.

Couverture radio/réseaux sans fil : zone à l'intérieur de laquelle des personnes/objets peuvent communiquer.

Emprises spécifiques : bâtiments, complexe ou zone fermée

IGH (Immeuble Grande Hauteur) : l'appartenance d'un immeuble à la catégorie IGH dépend de sa hauteur. Celle-ci est mesurée du niveau du sol au plancher du dernier étage. Concernant les immeubles d'habitation, est IGH tout bâtiment de plus de 50 m de haut. Pour tous les autres immeubles la hauteur référentielle sera de 28 m.

Internet : réseau informatique mondial, accessible à tous.

IOT : internet des objets (*Internet of Things*). L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) donne une définition assez large de l'Internet des objets : « une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ».

M2M : Service de communication d'objet à objet ciblé au domaine industriel

Marché de la couverture radio/ réseaux sans fil spécifique : ensemble des acteurs et des chantiers de réalisation de projet de couverture réseaux sans fil spécifique.

Objets connectés : d'après l'UIT (Union internationale des Télécommunications), tout objet qui peut se connecter à un réseau ouvert sur Internet est potentiellement un objet connecté.

Ondes millimétriques : ondes radioélectriques couvrant les fréquences de 30 à 300 GHz.

Ondes radios ou ondes radioélectriques : l'UIT en donne la définition suivante « ondes électromagnétiques dont la fréquence est par convention inférieure à 300 GHz, se propageant dans l'espace sans guide artificiel ».

PMR : voir Réseaux PMR

RRH : « remote radio head » (RRH), ou « remote radio unit » (RRU), partie de la station de base comprenant les antennes, l'autre partie de la station étant la BBU « Base Band Unit ».

Spectre de fréquences mobiles : une onde radio est identifiée par sa fréquence exprimée en Hertz (Hz). L'ensemble des fréquences constitue le spectre radiofréquence. L'attribution de bandes de ce spectre aux opérateurs mobiles est gérée en France par l'ARCEP.

Terminal numérique mobile : appellation regroupant les objets nomades permettant de se connecter aux réseaux sans fil. A titre d'exemple, sont inclus dans cette catégorie les téléphones portables, les ordinateurs portables, les tablettes.

Réseaux 2G : Réseaux mobiles dits de deuxième génération répondant à la norme GSM (3GPP)

Réseaux 3G : Réseaux mobiles dits de troisième génération répondant à la norme UMTS (3GPP)

Réseaux 4G : Réseaux mobiles dits de quatrième génération répondant à la norme LTE (3GPP)

Réseaux 5G : Réseaux mobiles dits de cinquième génération (3GPP)

Réseaux IoT : Réseaux de communication pour les objets connectés

Réseaux PMR : Réseaux radio professionnels

Zone blanche : zone du territoire peu ou pas desservie par un réseau de la téléphonie mobile ou par l'Internet filaire, selon le contexte d'emploi.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les entités et les personnes qui ont participé à cette étude en répondant à nos sollicitations pour des entretiens :

- **Agence Nationale des Fréquences**
- **Airspan**
- **ARCEP**
- **ATC France**
- **Axione**
- **CommScope**
- **Free Mobile**
- **Huawei**
- **HubOne**
- **Red Technologies**
- **Sytral**
- **TDF**



La Banque des Territoires a réalisé cette étude avec les cabinets :



S'appuyant sur 15 ans d'expérience, PMP est un cabinet de **conseil en stratégie, développement et transformation** qui accompagne les directions générales pour définir et mettre en œuvre leur stratégie. PMP intervient à la fois sur des **missions stratégiques et opérationnelles** avec une approche « business partner » auprès de ses clients orientés résultats. Professionnels aux profils variés et riches d'une expérience locale et internationale. L'équipe est composée de **110 professionnels sur 4 bureaux** : Montréal, Paris, Casablanca, Bruxelles. **Les secteurs** sur lesquels le cabinet intervient sont les télécoms, les médias, le transport/nouvelles mobilités, l'énergie, l'industrie du tourisme, la banque et l'assurance.



expertise • solutions

LD est une société spécialisée dans l'ingénierie des réseaux sans fil. Créée en 2002, elle intervient sur deux segments de marchés majeurs :

- Accompagnement des **acteurs des « verticales » de l'économie**, pour la mise en œuvre de réseaux mobiles privatifs, capables de répondre aux exigences métiers spécifiques, dans des environnements parfois contraints (emprises des transports, industries, ...)
- Accompagnement des **acteurs de l'immobilier et du secteur tertiaire**, pour la mise en œuvre de solutions de connectivité sans fil dans des environnements intérieurs

LD intervient auprès de ses clients sur les phases suivantes de leurs projets :

- Conseil et stratégie : veille technologique et réglementaire, orientations stratégiques, conseil sur les choix technologiques et la conception des réseaux, conseil sur les stratégies d'acquisition des solutions de réseaux.
- Ingénierie et suivi de projet : recueil des besoins fonctionnels, cadrage et conception de réseaux, mesures de qualification et réception, diagnostic sur le terrain et analyse des performances, suivi opérationnel de projet.



banquedesterritoires.fr



| **@BanqueDesTerr**